ISSN 2225-2401

ورقة فنية عن
مصايد الأسماك
وتربية الأحياء المائية
صادرة عن
منظمة الأغذية والزراعة

٥٨٩

منظمة
الأغذية والزراعة
للأمم المتحدة

إنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية على نطاق صغير

الزراعة السمكية النباتية التكاملية

صور الغلاف:

الغلاف العلوي: رسم توضيحي لنظام سرير وسائط النمو في الزراعة الأحيومائية، والذي يبين بوضوح اتصال حوض الأسماك ومنطقة زراعة النباتات. وفي الأسفل من اليمين إلى اليسار: مزارعة تحصد الطماطم (*Solanum lycopersicum*) من نظام الزراعة الأحيومائية على السطح (بإذن من Christopher Somerville), مزارع يرفع طوافات البوليسترين لإظهار جذور الكرنب المجعد (*Brassica oleracea*) ينمو داخل نظام الزراعة الأحيومائية بتقنية المياه العميقة (بإذن من Hilla Noam), وتربية مختلطة لسمك البُلطي (*Oreochromis niloticus*), وسمك السّلور (*Clarias fuscus*) في نظام الزراعة الأحيومائية (بإذن من Irene Nurzia Humburg).

ورقة فنية عن
مصايد الأسماك
وتربية الأحياء المائية
صادرة عن
منظمة الأغذية والزراعة

٥٨٩

إنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية على نطاق صغير

الزراعة السمكية النباتية التكاملية

Christopher Somerville
مستشار منظمة الأغذية والزراعة

Moti Cohen
مستشار منظمة الأغذية والزراعة

Edoardo Pantanella
مستشار منظمة الأغذية والزراعة

Austin Stankus
مستشار منظمة الأغذية والزراعة

Alessandro Lovatelli
مسؤول تربية الأحياء المائية بمنظمة الأغذية والزراعة

منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة
روما، ٢٠١٦

نشر هذا العمل أصلا على الانترنت من قبل منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة في عام 2014:
www.fao.org/3/a-i4021e.pdf

الأوصاف المستخدمة في هذه المواد الإعلامية وطريقة عرضها لا تعبر عن أي رأي خاص لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة في ما يتعلق بالوضع القانوني أو التنموي لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة، أو في ما يتعلق بسلطاتها أو بتعيين حدودها وتخومها. ولا تعبر الإشارة إلى شركات محددة أو منتجات بعض المصنعين، سواء كانت مرخصة أم لا، عن دعم أو توصية من جانب منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة أو تفضيلها على مثيلاتها مما لم يرد ذكره.

تمثل وجهات النظر الواردة في هذه المواد الإعلامية الرؤية الشخصية للمؤلف (المؤلفين)، ولا تعكس بأي حال وجهات نظر منظمة الأغذية والزراعة أو سياساتها.

ISBN 978-92-5-608532-0

© FAO, 2016

تشجع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة استخدام هذه المواد الإعلامية واستنساخها ونشرها. وما لم يذكر خلاف ذلك، يمكن نسخ هذه المواد وطبعها وتحميلها بغرض الدراسات الخاصة والأبحاث والأهداف التعليمية، أو الاستخدام في منتجات أو خدمات غير تجارية، على أن يشار إلى أن المنظمة هي المصدر، واحترام حقوق النشر، وعدم افتراض موافقة المنظمة على آراء المستخدمين وعلى المنتجات أو الخدمات بأي شكل من الأشكال.

ينبغي توجيه جميع طلبات الحصول على حقوق الترجمة والتصرف وإعادة البيع بالإضافة إلى حقوق الاستخدامات التجارية الأخرى إلى العنوان التالي: www.fao.org/contact-us/licence-request أو إلى: copyright@fao.org.

تتاح المنتجات الإعلامية للمنظمة على موقعها الإلكتروني التالي: www.fao.org/publications، ويمكن شراؤها بإرسال الطلبات إلى: publications-sales@fao.org.

إعداد هذه الوثيقة

تعرض هذه الورقة الفنية الحكمة الحالية من الزراعة الأحيومائية، مع التركيز على الإنتاج على نطاق صغير. ويشمل هذا المنشور تسعة فصول وتسعة ملاحق، وكل فصل مخصص لجانب معين من نظام الزراعة الأحيومائية. ويتكون الجمهور المستهدف من وكلاء الإرشاد الزراعي، ومسؤولي تربية الأحياء المائية، والمنظمات غير الحكومية، ومنظمات المجتمع والشركات والأفراد في جميع أنحاء العالم. والقصد من ذلك هو تحقيق الفهم العام للزراعة الأحيومائية للأشخاص الذين قد تقتصر معرفتهم عن جانب واحد فقط، أي وكلاء تربية الأحياء المائية اللذين ليس لديهم خبرة عن الزراعة المائية، والعكس صحيح.

ولا يوفر هذا المنشور نهجا توجيهيا للزراعة الأحيومائية، إنما هو ورقة مصادر وتتضمن وصفا ومناقشة للمفاهيم الرئيسة اللازمة للزراعة الأحيومائية. وهناك مجموعة واسعة من الأطراف التي قد تجد مصلحة في الزراعة الأحيومائية، وخصوصا البرامج الموجهة التي تشتمل على واحد على الأقل من الموضوعات التالية: الزراعة المستدامة، والطرق المرنة للإنتاج الغذائي المحلي، أو الأمن الغذائي في المناطق الحضرية وشبه الحضرية. وعلى الرغم من عدم وجود ضرورة قصوى، لبعض الخبرة عن الخضار و/أو إنتاج الأسماك تكون مفيدة للقارئ. كُتب هذا المنشور بأسلوب صمم ليكون مستساغا وقابلا للفهم من قبل القراء غير الفنيين. وتتضمن هذه الورقة الفنية مواضيع متنوعة عن تربية الأحياء المائية والزراعة المائية، وكيمياء المياه، وتوازن النظام الإيكولوجي والجوانب التقنية حول السباكة والإنشاء. وكان التحدي هو بناء جسر نحو فهم مشترك لمجال واسع من الزراعة الأحيومائية باستخدام تفاصيل فنية كافية بعمق كبير.

وهذا المنشور هو نتاج لخبرة عملية مع أنظمة الزراعة الأحيومائية المقامة على نطاق صغير والأنظمة التجارية، وتم تطويره؛ لتبادل دروس المعرفة الحالية المكتسبة، بحيث يمكن للمزارعين الحديثين الاستفادة من هذه التجارب.

تم إعداد هذا المنشور من خلال الاعتراف بالأهداف الاستراتيجية المتعددة للمنظمة، ومجالات العمل الرئيسة والمبادرات الإقليمية، ونظم الزراعة الأحيومائية على نطاق صغير، التي تعزز من المبادرات الخاصة بندرة المياه الإقليمية، وتدعم المجالات الرئيسة للعمل بشأن التكثيف المستدام للزراعة من خلال الاستخدام الفاعل للموارد.

ملخص

تبدأ هذه الورقة الفنية بتعريف مفهوم الزراعة الأحيومائية، بما في ذلك إعطاء نظرة تاريخية موجزة حول تطورها ومكانتها ضمن الفئة الأكبر من تقنية الزراعة بدون تربة والزراعة الحديثة. وتناقش المفاهيم النظرية الرئيسة للزراعة الأحيومائية، بما في ذلك دورة النتروجين، وعملية النترجة، ودور البكتيريا، ومفهوم موازنة وحدة الزراعة الأحيومائية، ثم تنتقل لتغطية اعتبارات مهمة، مثل: عناصر جودة المياه، واختبار المياه، ومصادر المياه للزراعة الأحيومائية، فضلا عن أساليب ونظريات تصميم الوحدة، بما في ذلك الطرق الثلاثة الرئيسة لأنظمة الزراعة الأحيومائية: أسرة وسائط النمو، وتقنية غشاء المغذيات، والزراعة في المياه العميقة.

ويناقش المنشور بالتفصيل المجموعات الثلاث من الكائنات الحية (البكتيريا، والنباتات، والأسماك) التي تشكل النظام البيئي للزراعة الأحيومائية. كما يعرض استراتيجيات الإدارة لممارسات تحرّي الخلل وإصلاحه، فضلا عن المواضيع ذات الصلة، سيّما تسليط الضوء على المصادر المحلية والمستدامة لمدخلات الزراعة الأحيومائية.

ويتضمن هذا المنشور تسعة ملاحق، وهي تعطي تفصيلات إضافية عن الموضوعات الرئيسة التالية: الظروف المثالية للنباتات الشائعة التي تزرع في الزراعة الأحيومائية، والمكافحة الكيميائية والحيوية للآفات والأمراض الشائعة بما في ذلك دليل الزراعة المتوافق، وأمراض الأسماك المشتركة والأعراض المرتبطة بها وأسبابها وسبل علاجها، وأدوات حساب الأمونيا، وكمية وسائط الترشيح الحيوي المطلوبة لكثافة محددة من الأسماك وكمية محددة من الأعلاف السمكية التي تضاف إلى النظام، وإنتاج أعلاف الأسماك محلية الصنع. وكذلك المبادئ التوجيهية والاعتبارات لإنشاء وحدات الزراعة الأحيومائية، وتحليل التكاليف والمنافع لوحدات سرير وسائط النمو للزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير. ودليلا شاملا لإنشاء وحدات صغيرة الحجم من كل طرق الزراعة الأحيومائية الثلاث. والنشرة المرجعية المختصرة لهذا المنشور، كملحق قصير وسهل الطباعة، للاستخدام في التطبيقات والتعليم والإرشاد والتوعية.

منظمة الأغذية والزراعة. 2016.

إنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية على نطاق صغير. الزراعة السمكية النباتية التكاملية، من قبل Christopher Somerville; Moti Cohen; Edoardo Pantanella; Austin Stankus & Alessandro Lovatelli

ورقة فنية عن مصايد الأسماك وتربية الأحياء المائية صادرة عن منظمة الأغذية والزراعة رقم ٥٨٩. روما، إيطاليا.

المحتويات

إعداد هذه الوثيقة		iii
ملخص		iv
شكر وتقدير		x
المؤلفون		xi
المصطلحات والإختصارات		xii
حقوق الأشكال		xiv
قائمة الأشكال		xv
قائمة الجداول		xx
1. مقدمة عن الزراعة الأحيومائية		**1**
1.1	الزراعة المائية والزراعة بدون تربة	1
2.1	تربية الأحياء المائية	3
3.1	الزراعة الأحيومائية	4
4.1	تطبيق الزراعة الأحيومائية	4
5.1	لمحة تاريخية للتكنولوجيا الحديثة للزراعة الأحيومائية	7
6.1	التطبيقات الحالية للزراعة الأحيومائية	8
1.6.1	الزراعة الأحيومائية المحلية والوحدات الصغيرة	8
2.6.1	الزراعة الأحيومائية التجارية وشبه التجارية	8
3.6.1	التعليم	9
4.6.1	التدخلات الإغاثية الإنسانية والأمن الغذائي	9
2. الزراعة الأحيومائية		**11**
1.2	المكونات الحيوية المهمة للزراعة الأحيومائية	11
1.1.2	دورة النتروجين	11
2.2	المرشح الحيوي	13
3.2	الحفاظ على مستعمرة بكتيرية صحية	14
1.3.2	مساحة السطح	14
2.3.2	الرقم الهيدروجيني للمياه (pH)	14
3.3.2	درجة حرارة المياه	15
4.3.2	الأكسيجين المذاب	15
5.3.2	الأشعة فوق البنفسجية UV	15
4.2	موازنة النظام البيئي للزراعة الأحيومائية	16
1.4.2	توازن النترات	16
2.4.2	نسبة معدل الأعلاف	17
3.4.2	اختبار صحة الأسماك والنباتات	18
4.4.2	اختبار النتروجين	18
5.2	ملخص الفصل	19
3. جودة المياه في الزراعة الأحيومائية		**21**
1.3	العمل ضمن مجموعة التسامح لكل كائن حي	21
2.3	أهم المعايير الخمسة لنوعية المياه	22
1.2.3	الأكسيجين	22
2.2.3	الأس الهيدروجيني (pH)	23
3.2.3	درجة الحرارة	25
4.2.3	مجموع النتروجين: الأمونيا، والنتريت، والنترات	25
5.2.3	عسر المياه	26

3.3	المكونات الرئيسة الأخرى لجودة المياه: الطحالب، والطفيليات	28
1.3.3	نشاط التمثيل الضوئي للطحالب	28
2.3.3	الطفيليات والبكتيريا والكائنات الصغيرة الأخرى التي تعيش في المياه	29
4.3	مصادر المياه للزراعة الأحيومائية	29
1.4.3	مياه الأمطار	30
2.4.3	الخزانات، أو المياه الجوفية	30
3.4.3	مياه الإمدادات المنزلية	30
4.4.3	الماء المرشح	31
5.3	التحكم في درجة الحموضة	31
1.5.3	خفض درجة الحموضة بواسطة الحمض	31
2.5.3	زيادة درجة الحموضة بمعامل المقاومة أو القاعدية	32
6.3	اختبار المياه	33
7.3	ملخص الفصل	33
4. تصميم وحدات الزراعة الأحيومائية		**35**
1.4	اختيار الموقع	38
1.1.4	الاستقرار	39
2.1.4	التعرض للرياح والأمطار والثلوج	39
3.1.4	التعرض لأشعة الشمس والظل	39
4.1.4	المرافق، والأسوار وسهولة الوصول إلى الموقع	40
5.1.4	اعتبارات خاصة: الزراعة الأحيومائية على أسطح البنايات والمساكن	40
6.1.4	البيوت المحمية وهياكل التظليل	40
2.4	المكونات الأساسية لوحدة الزراعة الأحيومائية	42
1.2.4	حوض الأسماك	42
2.2.4	الترشيح – الميكانيكي والحيوي	44
3.2.4	مكونات الزراعة المائية – أسرة وسائط النمو، وأنظمة غشاء المغذيات (NFT)، والمياه العميقة (DWC)	48
4.2.4	حركة المياه	49
5.2.4	التهوية	51
6.2.4	خزان تجميع المياه الأرضي (Sump tank)	53
7.2.4	مواد السباكة	53
8.2.4	مجموعات اختبار المياه	54
3.4	تقنية سرير وسائط النمو	54
1.3.4	ديناميكية تدفق المياه	55
2.3.4	بناء سرير وسائط النمو	55
3.3.4	اختيار وسائط النمو	56
4.3.4	الترشيح	59
5.3.4	المناطق الثلاث لسرير وسائط النمو – الخصائص والعمليات	60
6.3.4	ري سرير وسائط النمو	60
4.4	تقنية غشاء المغذيات (NFT)	64
1.4.4	ديناميكية تدفق المياه	64
2.4.4	الترشيح الميكانيكي والبيولوجي	65
3.4.4	إنشاء وزراعة أنابيب النمو بواسطة تقنية غشاء المغذيات (NFT)	65
5.4	تقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)	68
1.5.4	ديناميكية تدفق المياه	68
2.5.4	الترشيح الميكانيكي والحيوي	69
3.5.4	قنوات النمو في نظام المياه العميقة (DWC) الإنشاء والزراعة	69
4.5.4	الوحدات التي تعمل بطريقة (DWC): انخفاض كثافة الأسماك وبدون مرشحات	71
6.4	مقارنة تقنيات الزراعة الأحيومائية	73
7.4	ملخص الفصل	75

5. البكتيريا في الزراعة الأحيومائية 77

1.5 البكتيريا الآزوتية والمرشح الحيوي 77

1.1.5 مساحة سطح كبيرة 78

2.1.5 الرقم الهيدروجيني للمياه (pH) 78

3.1.5 درجة حرارة المياه 78

4.1.5 الأكسيجين المذاب 78

5.1.5 ضوء الأشعة فوق البنفسجية 79

6.1.5 رصد النشاط البكتيري 79

2.5 البكتيريا المتغايرة والتمعدن 79

3.5 البكتيريا غير المرغوب فيها 80

1.3.5 البكتيريا الحادة من الكبريتات 80

2.3.5 البكتيريا النازعة للنترات 80

3.3.5 البكتيريا المسببة للأمراض 81

4.5 تدوير النظام والبدء بمستعمرة المرشح الحيوي 81

1.4.5 إضافة الأسماك والنباتات خلال عملية التدوير 83

5.5 ملخص الفصل 83

6. النباتات في الزراعة الأحيومائية 85

1.6 الاختلافات الرئيسة بين إنتاج المحاصيل من التربة وبدون تربة 85

1.1.6 الأسمدة 86

2.1.6 استخدام المياه 87

3.1.6 الاستفادة من الأراضي غير الصالحة للزراعة 87

4.1.6 الإنتاجية والعائد 87

5.1.6 عبء العمل المخفّض 87

6.1.6 الزراعة الأحادية المستدامة 88

7.1.6 زيادة المضاعفات والاستثمار الأولي 88

2.6 البيولوجيا الأساسية للنباتات 88

1.2.6 التشريح الأساسي للنبات والوظيفة 88

2.2.6 التمثيل الضوئي 89

3.2.6 المتطلبات الغذائية 89

4.2.6 مصادر الزراعة الأحيومائية من العناصر الغذائية 92

3.6 جودة المياه للنباتات 93

1.3.6 الرقم الهيدروجيني (pH) 93

2.3.6 الأكسيجين المذاب 93

3.3.6 درجة الحرارة والموسم 93

4.3.6 الأمونيا، والنتريت، والنترات 94

4.6 اختيار النباتات 94

5.6 صحة النبات ومكافحة الآفات والأمراض 95

1.5.6 الآفات النباتية والإنتاج والإدارة المتكاملة للآفات 96

2.5.6 أمراض النبات والإدارة المتكاملة للأمراض 100

6.6 تصميم الزراعة 103

7.6 ملخصُ الفصل 104

7. السمك في الزراعة الأحيومائية 105

1.7 علم تشريح الأسماك، ووظائف الأعضاء والتكاثر 105

1.1.7 علم تشريح الأسماك 105

2.1.7 تناسل الأسماك ودورة الحياة 107

2.7 تغذية الأسماك والعناصر الغذائية 108

1.2.7 المكونات والعناصر الغذائية لأعلاف الأسماك 108

	2.2.7 حبوب أعلاف الأسماك	108
	3.2.7 نسبة تحويل الأعلاف للأسماك ومعدل التغذية	109
3.7	جودة المياه للأسماك	110
	1.3.7 النتروجين	110
	2.3.7 الأس الهيدروجيني (pH)	111
	3.3.7 الأكسيجين المذاب	111
	4.3.7 درجة الحرارة	111
	5.3.7 النور والظلام	112
4.7	اختيار الأسماك	112
	1.4.7 البُلطي (Tilapia)	112
	2.4.7 الشَّبُّوط (Carp)	112
	3.4.7 سمكة السِّلور	114
	4.4.7 سمك السلمون المرقط	115
	5.4.7 القاروص الأسود	116
	6.4.7 القريدس (الجمبري)	117
5.7	تأقلم الأسماك	118
6.7	صحة الأسماك والمرض	119
	1.6.7 صحة الأسماك والرفاه	119
	2.6.7 الإجهاد	120
	3.6.7 أمراض الأسماك	120
7.7	جودة المنتج	120
8.7	ملخص الفصل	123
	8. الإدارة واستكشاف الأخطاء وإصلاحها	**125**
1.8	حسابات المكونات والنسب	125
	1.1.8 منطقة نمو النباتات، وكمية أعلاف الأسماك، وكمية الأسماك	125
	2.1.8 حجم المياه	127
	3.1.8 متطلبات الترشيح – المرشح الحيوي والفاصل الميكانيكي	127
	4.1.8 ملخص حسابات المكون	128
2.8	أنظمة الزراعة الأحيومائية الجديدة والإدارة الأولية	129
	1.2.8 بناء وإعداد الوحدة	129
	2.2.8 تدوير النظام وإنشاء المرشح الحيوي	129
3.8	الممارسات الإدارية للنباتات	129
	1.3.8 استعراض للمبادئ التوجيهية للزراعة	130
	2.3.8 إنشاء مشتل	130
	3.3.8 زرع الشتلات	132
	4.3.8 حصاد النباتات	134
	5.3.8 إدارة النباتات في النظم الناضجة	134
	6.3.8 النباتات – ملخص	135
4.8	الممارسات الإدارية للأسماك	135
	1.4.8 معدلات التغذية والنمو لدى الأسماك	135
	2.4.8 الحصاد والتخزين المتداخل	136
	3.4.8 الأسماك – ملخص	138
5.8	ممارسات الإدارة الروتينية	138
	1.5.8 الأنشطة اليومية	138
	2.5.8 الأنشطة الأسبوعية	138
	3.5.8 الأنشطة الشهرية	139
6.8	السلامة في العمل	139
	1.6.8 السلامة الكهربائية	139

2.6.8	سلامة الأغذية	139
3.6.8	السلامة العامة	140
4.6.8	السلامة – ملخص	140
7.8	استكشاف الأخطاء وإصلاحها	140
8.8	ملخص الفصل	142

9. موضوعات إضافية عن الزراعة الأحيومائية **143**

1.9	البدائل المحلية المستدامة لمدخلات الزراعة الأحيومائية	143
1.1.9	السماد العضوي	143
2.1.9	أعلاف الأسماك البديلة	145
3.1.9	جمع البذور	148
4.1.9	تجميع مياه الأمطار	149
5.1.9	تقنيات البناء البديلة لوحدات الزراعة الأحيومائية	149
6.1.9	الطاقة البديلة لوحدات الزراعة الأحيومائية	150
2.9	تأمين مستويات المياه لإنشاء وحدة صغيرة الحجم	151
1.2.9	مفاتيح التعويم	151
2.2.9	أنابيبُ الماء الفائض	152
3.2.9	أنابيب تصريف المياه العمودية	152
4.2.9	أسوار الحماية من الحيوانات	152
3.9	دمج الزراعة الأحيومائية مع حدائق أخرى	152
1.3.9	الري والتسميد	152
2.3.9	ري أسرة الفتل	153
4.9	أمثلة عن تجهيزات الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير	154
1.4.9	الزراعة الأحيومائية لكسب العيش في ميانمار	154
2.4.9	الزراعة الأحيومائية المالحة	155
3.4.9	تقنية البومينا واليومينا	156
5.9	ملخص الفصل	157

مراجع لمزيد من القراءة **159**

المصطلحات **165**

الملاحــق **169**

الملحق الأول – **المبادئ التوجيهية لإنتاج إثني عشر صنفا شائعا من الخضار من نباتات الزراعة الأحيومائية** **171**

الملحق الثاني – **الآفات النباتية، ومكافحة الأمراض** **185**

الملحق الثالث – **الآفات السمكية، ومكافحة الأمراض** **189**

الملحق الرابع – **حساب كمية الأمونيا ووسائط الترشيح في المرشح الحيوي لوحدة الزراعة الأحيومائية** **195**

الملحق الخامس – **إنتاج أعلاف الأسماك محلية الصنع** **197**

الملحق السادس – **الاعتبارات الرئيسة لإقامة نظام الزراعة الأحيومائية** **205**

الملحق السابع – **تحليل التكاليف والمنافع لوحدات الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير** **211**

الملحق الثامن – **دليل إنشاء أنظمة الزراعة الأحيومائية التي على النطاق الصغير خطوة بخطوة** **215**

نشرة مرجعية مختصرة عن الزراعة الأحيومائية **255**

شكر وتقدير

المؤلفون ممتنون للمساهمات الجوهرية للأفراد الذين قدموا الدعم أثناء عملية إعداد هذا المنشور، ويودون بأن يتقدموا بالشكر للأشخاص التالية أسماؤهم والذين قدموا الصور، والتحرير الأولي، وغيرها من الدعم الفني الآخر، وهم: Abu Ahmed, Iyad Al Attar, Yosi Bronfman, Rotem Bruner, Barak Cohen, Baruch Dach, Tim Evans, Mendy Falk, Eitan Hasman, Amit Hasman, Adar Marmur, Ayelet Ben Natan, Yoav Nevo, Irene Nurzia Humburg, Noga Perri, Nadav Reich, Valerie Rousselin, Tomr Sagee, Muhammad Shattali, Keren Taguri, Paolo Usseglio, Idan Ben Yaakov, Erez Yeruham, Efrat Zemer-Bronfman.

كما يود المؤلفون أن يتقدموا بالشكر والتقدير للمساهمات التي قدمت من طرف: Yogev Azulai, Akwak Geremew, Tal Pereg, Guy Rubinstein حول المواضيع ذات الصلة بتربية الأحياء المائية (بما في ذلك إنتاج أعلاف الأسماك على نطاق صغير)؛ Philip Jones, Michael Raviv, Nitzan Solan, Lorena Viladomat لمدخلاتهم المتعلقة بإنتاج الغذاء من الزراعة المائية والزراعة الأحيومائية.

كما يود المؤلفون بأن يتقدموا بالشكر الجزيل للخبراء التالية أسماؤهم؛ لقيامهم بالمراجعة الأولية لمسودات الوثيقة وتقديم إسهاماتهم خلال عملية المراجعة وهم: من منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة ,Wilfried Baudoin Allison Hodder من قسم إنتاج وحماية النباتات، وTony Jarrett من قسم مصايد الأسماك وتربية الأحياء المائية، James Ebeling من الولايات المتحدة الأمريكية.

وقد استفاد المؤلفون في تطوير هذا المنشور من العديد من المزارعين، والعلماء، والمتخصصين في هذا القطاع، وأصحاب الأعمال، والفنيين الذين تكرموا بمشاركتنا مهاراتهم وخبراتهم.

وقد حظي هذا المنشور بدعم مالي أولي من الاتحاد الأوروبي من خلال برنامج (Indian Ocean Commission SmartFish Programme)، وبرنامج الدعم الدوري لمنظمة الأغذية والزراعة.

وشكر خاص لـ Hilla Noam لجهودها في إعداد الرسومات الفنية المدرجة في هذا المنشور. كما تم إعداد تخطيط الصفحات في هذا المنشور من قبل منصور مشوكي وشروق بنكبور.

وقد أنجزت الترجمة إلى العربية من قبل فهد صالح إبراهيم وزكية ماسك، لعملهما الدقيق وللمهنية المعروفان بها.

كما قام محمد صالح العجمي بعمليات التدقيق اللغوي على اللغة العربية.

وقد تمت الترجمة من خلال الدعم المالي للمبادرة الإقليمية للزراعة الصغيرة النطاق، التي ينفذها المكتب الإقليمي للشرق الأدنى وشمال إفريقيا لمنظمة الأغذية والزراعة كوسيلة، للحد من الفقر في المناطق الريفية في بلدان الشرق الأدنى وشمال إفريقيا.

وتحظى وزارة التغير المناخي والبيئة في دولة الإمارات العربية المتحدة بالتقدير الواجب لتقديمها، من خلال المكتب الإقليمي الفرعي لمنظمة الأغذية والزراعة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية واليمن، الأموال اللازمة لطباعة الدليل وتوزيعه على جميع البلدان الناطقة بالعربية.

المؤلفون

Chris Somerville

استشاري الزراعة الحضرية

عمل مع كل من المنظمات الدولية وغير الحكومية في مشاريع تتعلق بالزراعة الحضرية المستدامة في إثيوبيا والأردن وفلسطين، مع التركيز على الزراعة الأحيومائية الصغيرة والزراعة المائية. وتركز مشاريعه الحالية على تطوير نظم إنتاج الأغذية المبتكرة والمتكاملة بالتعاون مع منظمة الأغذية والزراعة في الضفة الغربية وقطاع غزة.

Moti Cohen

أخصائي الزراعة الأحيومائية

مالك / مدير شركة خاصة توفر تقنيات الزراعة المستدامة والحلول لمعالجة المياه على المستوى الأسري، مع التركيز بشكل خاص على الزراعة الأحيومائية. وقد قام بتصميم العديد من وحدات الزراعة الأحيومائية التجارية، وقد علّم ونفذ ورش عمل حول إنتاج الأغذية من الزراعة الأحيومائية ، وقدم الدعم الفني للمشاريع الدولية.

Edoardo Pantanella

أخصائي بيئة نباتية وعالم أبحاث الزراعة الأحيومائية

عالم أبحاث يتركز عمله على النظم الزراعية المتكاملة، وخصوصا الزراعة الأحيومائية. ويركز عمله على تنمية تربية الأحياء المائية، بما في ذلك الزراعة الأحيومائية في المياه العذبة والمالحة لنظم الغذاء المستدامة، وسبل المعيشة في القطاعات الريفية والحضرية، وخاصة في المناطق القاحلة والبيئات المالحة. وتشمل اهتماماته على التطوير التجاري للزراعة الأحيومائية لحضانات الأسماك، والزراعة البحرية، والزراعة في المياه المصرفة.

Austin Stankus

مستشار منظمة الأغذية والزراعة

تتمحور دراساته وخبراته العملية في النظم المتكاملة لتربية الأحياء المائية والزراعة، وعلى وجه التحديد الزراعة الأحيومائية والزراعة العضوية، ورسم خرائط الغابات في المناطق الحضرية والتخطيط المكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وإنتاج السماد الحيوي باستخدام ذبابة الجندي الأسود؛ لإعادة تدوير المخلفات الغذائية إلى أعلاف حيوانية بديلة، وإدماج الزراعة المستدامة في قطاع التعليم، كمشروع قائم لتعليم المزارعين الصغار.

Alessandro Lovatelli

مسؤول تربية الأحياء المائية بمنظمة الأغذية والزراعة

أخصائي علم الأحياء البحرية وأخصائي تربية الأحياء المائية مع خبرة واسعة في مجال تطوير تربية الأحياء المائية العالمي. عمل مع منظمة الأغذية والزراعة وغيرها من المنظمات الدولية. ويركز مجال عمله أساسا على تنمية تربية الأحياء المائية البحرية، ونقل تقنيات التربية وإدارة الموارد. وقد لعب دورا نشيطا في تعزيز تقنيات تربية الأحياء المائية المطبقة لإنتاج الغذاء في المناطق الفقيرة إلى موارد المياه العذبة.

المصطلحات والإختصارات

AC/DC	التيار المتردد أو التيار المستمر
AOB	البكتيريا المؤكسدة للأمونيا
C:N	نسبة الكربون إلى النتروجين
CaO	أكسيد الكالسيوم
$Ca(OH)_2$	هيدروكسيد الكالسيوم
$CaCO_3$	كربونات الكالسيوم
CO_2	ثاني أكسيد الكربون
CO_3^{2-}	النسبة الإجمالية من الكربونات
CHIFT-PIST	ارتفاع ثابت في خزان الأسماك – مضخة بداخل خزان تجميع المياه الأرضي
CP	بروتين خام
DE	الطاقة المهضومة
DIY	اصنعها بنفسك
DNA	الحمض الريبي النووي المنزوع الأكسيجين
DO	الأكسيجين المذاب
DWC	الزراعة في المياه العميقة
EAA	الأحماض الأمينية الأساسية
EC	الموصلية الكهربائية
EFA	الأحماض الدهنية الأساسية
FAO	منظمة الأغذية والزراعة (الفاو)
FCR	نسبة التحويل الغذائي
GAP	اعتماد الممارسات الزراعية الجيدة
GH	العسر العام
H^+	أيونات الهيدروجين
H_2CO_3	حمض الكربونيك
H_2S	كبريتيد الهيدروجين
H_2SO_4	حمض الكبريتيك
H_3PO_4	حمض الفوسفوريك
HCl	حمض كلوريد الهيدروجين
HCO_3^-	البيكاربونات
HNO_3	حمض النيتريك
IBC	الحاوية الوسيطة
IPPM	الإدارة المتكاملة للإنتاج ومكافحة الآفات
K_2CO_3	كربونات البوتاسيوم
KH	صلابة الكربونات
$KHCO_3$	بيكربونات البوتاسيوم
KOH	هيدروكسيد البوتاسيوم
LDPE	البولي إثيلين منخفض الكثافة
LECA	كريّات الطين الخفيفة
NaCl	كلوريد الصوديوم
N	النتروجين
N_2	النتروجين الجزيئي
NFE	استخراجات خالية من النتروجين
NFT	تقنية غشاء المغذيات
NH_3	الأمونيا

NH_4^+	الأمونيوم
NHO_3	حامض النيتريك
NO_2^-	النتريت
NO_3^-	النترات
NOB	البكتيريا المؤكسدة للنتريت
µS/cm	ميكروسيمنز/سم
pH	الرقم الهيدروجيني للمياه
ppm	أجزاء في المليون
ppt	أجزاء في الألف
PVC	البولي فينيل كلوريد
RAS	أنظمة تربية الأحياء المائية المغلقة
RCD	جهاز المتبقية المتداولة (قاطع الدورة)
SSA	المساحة السطحية النوعية
TAN	مجموع النتروجين والنشادر
TDS	مجموع المواد الصلبة الذائبة
USD	دولار أمريكي
UV	أشعة فوق البنفسجية

حقوق الأشكال

رقم الشكل	حقوق
1.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.2 - 5.2 - 6.2 - 7.2 - 8.2 - 9.2 - 10.2 - 11.2 - 12.2 - 13.2 - 14.2 - 1.3 - 2.3 - 3.3 - 4.3 - 5.3 - 6.3 - 7.3 - 10.3 - 11.3 - 12.3 - 13.3 - 14.3 - 9.4 - 13.4 - 29.4 - 41.4 - 44.4 - 45.4 - 49.4 - 53.4 - 54.4 - 55.4 - 56.4 - 57.4 - 58.4 - 59.4 - 63.4 - 71.4 - 73.4 - 1.5 - 2.5 - 3.5 - 4.5 - 6.5 - 3.6 - 4.6 - 6.6 - 1.7(ب) - 2.7 - 3.7 - 4.7 - 5.7 - 2.8(أ) - 3.8 - 9.8 - 15.9 - 6.1أ - 17.1أ	Hilla Noam
2.1 - 7.1 - 8.1 - 9.1 - 1.9 - 2.4 - 6.4 - 10.4 - 24.4 - 25.4 - 26.4 - 27.4 - 28.4 - 33.4 - 38.4 - 46.4 - 47.4 - 50.4 - 60.4 - 62.4 - 66.4 - 67.4 - 68.4 - 69.4 - 72.4 - 74.4 - 76.4 - 5.6(د) - 8.6(ج) - 10.6 - 11.6(ب) - 13.7 - 7.8(ب،ج) - 1.9 - 8.9 - 11.9 - 5.1أ - 13.1أ - 22.1أ	Moti Cohen
6.1	Gilad Lugasy
10.1 - 8.3 - 5.4 - 17.4 - 18.4 - 22.4 - 31.4 - 35.4 - 36.4 - 37.4 - 52.4 - 5.5 - 7.5 - 1.6 - 2.6 - 7.6 - 8.6(ب) - 9.6 - 11.6(أ) - 13.6 - 1.8 - 2.8(ب) - 4.8 - 12.9(أ) - 16.9 - 1.1أ - 2.1أ - 3.1أ - 4.1أ - 7.1أ - 8.1أ - 9.1أ - 11.1أ - 12.1أ - 14.1أ - 15.1أ - 16.1أ - 18.1أ - 20.1أ - 21.1أ	Christopher Somerville
3.4 - 43.4 - 14.9	Austin Stankus
4.4 - 51.4 - 12.6	Mosh Kasirer
7.4	Yizhak Ben Israel
8.4	Yaniv Fieldust
11.4	Yehuda Feingold
12.4 - 75.4	Mendi Falck
14.4 - 70.4	Alon Zimerman
15.4 - 64.4 - 65.4 - 8.6(أ) - 5.8 - 6.8 - 7.8(أ) - 8.8 - 3.9 - 7.9	Idan Ben Yakov
16.4 - 10.1أ	Iugene Korn
19.4	Fahad Saleh Ibrahim
20.4	Yuval Aliba
21.4	Tal Munchas
23.4	Yugav Azulai
30.4 - 32.4	Ethan Hasman
34.4 - 48.4	Amit Hasman
2.9 - 5.9 - 6.9 - 39.4	Irene Nurzia Humburg
40.4	Guy Tabak
42.4	Paolo Usseglio
61.4	James Ebeling
4.9 - 5.6(أ،ب،ج)	Nitzan Solan
1.7(أ)	Livingreen Systems
6.7 - 7.7(أ) - 9.7(أ) - 10.7(أ) - 11.7(أ) - 12.7	FAO
7.7(ب)	Ming Junchao
8.7	Koi on Demand Ltd
9.7(ب)	Victor Pouomogne
10.7(ب)	Produttori Ittici Trevigiani
11.7(ب)	Marc Towers
14.7	Pierpaolo Patarnello
9.9	Yaniv Cohen
10.9	Karen Tagury
12.9(ب) - 13.9	Itai Levi
17.9 - 18.9 - 19.9 - 20.9	Edoardo Pantanella
21.9	Slamet Widayadi
19.1أ	Nir Kroshanivski

قائمة الأشكال

رقم الشكل		صفحة
1	مقدمة عن الزراعة الأحيومائية	1
1.1	البلطي في حوض الزراعة الأحيومائية	1
2.1	نباتات مزروعة باستخدام الزراعة الأحيومائية	1
3.1	وحدة زراعة مائية بسيطة	2
4.1	نظام تربية الأحياء المائية المغلق	3
5.1	وحدة زراعة أحيومائية بسيطة	5
6.1	وحدة زراعة أحيومائية محلية في الفناء الخلفي في منطقة قاحلة	8
7.1	وحدة زراعة أحيومائية تجارية متوسطة الحجم	8
8.1	وحدة زراعة أحيومائية مركبة: (أ) تقنية غشاء المغذيات، (ب) تقنية سرير وسائط نمو، (ج) تقنية المياه العميقة، (د) حوض أسماك	9
9.1	وحدة زراعة أحيومائية على نطاق صغير	10
10.1	وحدة زراعة أحيومائية على نطاق صغير على سطح منزل	10
.2	الزراعة الأحيومائية	11
1.2	المركب الحيوي في الزراعة الأحيومائية: الأسماك، والنبات، والبكتيريا	11
2.2	دورة النتروجين (مبسطة)	12
3.2	الرسم البياني لتدفق النتروجين في الطبيعة	12
4.2	الرسم البياني لتدفق النتروجين في التربة	13
5.2	الرسم البياني لتدفق النتروجين في الزراعة الأحيومائية	13
6.2	عملية النترجة في الزراعة الأحيومائية	14
7.2	سرير وسائط النمو للزراعة الأحيومائية مليء بالحصى البركاني يوفر مساحة مسطحة كبيرة لنمو البكتيريا	14
8.2	جهاز قياس الحموضة ودرجة حرارة الماء	15
9.2	مرشح بيولوجي بتهوية (أ) يحتوي على وسائط الترشيح (ب)	15
10.2	تفوق الكتلة الحيوية للأسماك قدرة تحمل المرشح الحيوي؛ مما يؤدي إلى ظهور تجمع الأمونيا السامة والنتريت	16
11.2	تكافؤ بين الأسماك والمرشح الحيوي، لكن لايوجد توازن في النظام؛ بسبب وجود عدد بسيط من النباتات، وبالتالي فهناك مستوى عال من النترات	16
12.2	تكافؤ بين الأسماك والمرشح الحيوي، لكن لايوجد توازن في النظام؛ بسبب وجود عدد كبير من النباتات، وبالتالي يؤدي إلى مستوى غير كاف من النترات	17
13.2	نظام متوازن حيث الأسماك والنباتات والبكتيريا في حالة توازن ديناميكي	17
14.2	عدة فحص مستوى النترات	18
.3	جودة المياه في الزراعة الأحيومائية	21
1.3	أدوات فحص جودة المياه	21
2.3	النظام البيئي للزراعة الأحيومائية	21
3.3	المدى العام لتحمل الأسماك لمختلف مستويات الأكسيجين المذاب	23
4.3	ذوبان الأكسيجين في الماء عند درجات حرارة مختلفة	23
5.3	التمثيل المرئي لمقياس الرقم الهيدروجيني	23
6.3	ترابط أيونات الهيدروجين والكربونات	27
7.3	البيكربونات، وارتباط حمض النيتريك في الزراعة الأحيومائية	28
8.3	نمو الطحالب في نظام الزراعة الأحيومائية	29

9.3	طحالب تنمو على الأنبوب البلاستيكي	29
10.3	فحص مستوى حموضة الماء (pH) باستخدام مقياس رقمي	31
11.3	الحمض الفوسفوري (H_3PO_4 بتركيز 85%) لخفض حموضة الماء (pH)	32
12.3	إضافة أصداف بحرية موضوعة في كيس شبكي لإطلاق الكربونات في وحدة الزراعة الأحيومائية	32
13.3	أدوات فحص المياه العذبة للحموضة (pH)، والأمونيا، والنترات والنتريت	33
14.3	يتم تحديد القيم من خلال مقارنة لون مياه الاختبار مع البطاقة المرجعية أشرطة الترميز اللوني لفحص جودة المياه	33

.4	تصميم وحدات الزراعة الأحيومائية	35
1.4	رسم توضيحي لوحدة سرير وسائط النمو على نطاق صغير	35
2.4	مثال على وحدة سرير وسائط النمو تم تجميعها حديثا باستخدام حاويات السوائب الوسيطة	36
3.4	نبات القلقاس (*Colocasia esculenta*) ينمو في وحدة سرير وسائط النمو ذو حجم شبه تجاري، تم إنشاؤها من الخشب المبطن ببطانة البولي إيثيلين	36
4.4	نمو الخضراوات المورقة في وحدة سرير وسائط النمو في الفناء الخلفي	36
5.4	وحدة سرير وسائط النمو مزروعة بالفلفل الحار (*Capsicum* spp.)	36
6.4	رسم توضيحي لوحدة على نطاق صغير تعمل بتقنية غشاء المغذيات	37
7.4	نبتة البقدونس (*Petroselinum* sp.) تنمو في وحدة على نطاق صغير تعمل بتقنية غشاء المغذيات	37
8.4	مزارعان يهتمان بزراعة نبات الطماطم في وحدة تقنية غشاء المغذيات، والأكواب الشبكية مصنوعة من الزجاجات البلاستيكية المعاد تدويرها مع ثقوب في أسفل الكوب	37
9.4	وحدة تقنية غشاء المغذيات باستخدام المساحة الأفقية	37
10.4	رسم توضيحي لوحدة صغيرة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة	38
11.4	نباتات الخس تنمو في وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة	38
12.4	أصناف متعددة من نباتات الخس تنمو في وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة	38
13.4	جذور نبات الكالي (*Brassica* sp.) تنمو في وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة	38
14.4	وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة تأثرت بسبب تساقط الثلوج	39
15.4	مواد تظليل (زرقاء) تقلل من ضوء الشمس على حوض الأسماك	40
16.4	وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة سرير وسائط النمو على سطح مبنى	40
17.4	أنظمة متعددة للزراعة الأحيومائية على سطح مبنى	41
18.4	أصناف متعددة من الخضار تنمو على سطح مبنى في نظام تقنية غشاء المغذيات	41
19.4	وحدة زراعة أحيومائية صغيرة داخل بيت محمي	41
20.4	وحدة زراعة أحيومائية جديدة تم تحضيرها داخل بيت محمي	41
21.4	بيت محمي شبكي لإيواء وحدة أحيومائية صغيرة	42
22.4	حوض أسماك مصنوع من برميل البولي إثيلين الأبيض	43
23.4	أسماك صغيرة يافعة في حوض للزراعة الأحيومائية. خط منفذ المياه (أعلى)، ومخرج التصريف واضحا في القاع	43
24.4	حوضا أسماك واسعان (1 000 لتر لكل واحد) مستطيلا الشكل، بهما أسماك صغيرة ذات مجموعات لأعمار مختلفة	44
25.4	رسم توضيحي لمرشح عزل المخلفات الصلبة	45
26.4	صورة لعازل المخلفات الصلبة الميكانيكي	45
27.4	رسم توضيحي لمرشح عزل المخلفات الصلبة بصفائح رأسية لتغيير مسار المياه وتبطئة سرعتها	45
28.4	رسم توضيحي لمرشح حيوي لوحدات صغيرة تعمل بتقنية غشاء المغذيات وتقنية المياه العميقة	46
29.4	بيانات وسائط المرشح البيولوجي البلاستيكية والتي لديها مساحة سطح كبيرة	46
30.4	بيانات لمرشح بيولوجي توضح: (أ) مرشح ميكانيكي إضافي، (ب) وسائط المرشح الحيوي	46

31.4	وحدة صغيرة لسرير وسائط النمو تستخدم شبكا إضافيا لمزيد من الترشيح الميكانيكي	47
32.4	سرير وسائط نمو يُستخدم كمرشح في وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة	47
33.4	رسم توضيحي لمرشح عزل المخلفات الصلبة (يمين) موصل بمرشح حيوي (يسار)	48
34.4	منظر أفقي لمرشح عزل المخلفات الصلبة (يمين) موصل بمرشح حيوي (يسار)	48
35.4	خضر تنمو في وحدة سرير وسائط النمو	49
36.4	خضر مختلفة تنمو في نفس سرير وسائط النمو	49
37.4	نباتات الخس تنمو في أنابيب دائرية في وحدة تقنية غشاء المغذيات	49
38.4	نباتات الخس تنمو في أنابيب مربعة الشكل في وحدة تقنية غشاء المغذيات	49
39.4	نبتة السلق (Swiss chard, *Beta* sp.) معلقة على طوافة عائمة من البوليسترين في وحدة تقنية الزراعة في المياه العميقة	49
40.4	خس ينمو في وحدة تقنية الزراعة في المياه العميقة	49
41.4	مضخة مياه غاطسة متوافرة بعلامات تجارية مختلفة، تستخدم في وحدات الاستزراع الأحيومائية الصغيرة	50
42.4	أداة بسيطة لنقل الماء بواسطة الهواء	50
43.4	نظام الزراعة الأحيومائية في باحة خلفية، لا يتم فيه استخدام مضخة مائية	51
44.4	مضخة هواء صغيرة متوافرة بعلامات تجارية مختلفة	51
45.4	حجارة الهواء التي تستخدم لنشر الهواء المضغوط بشكل فقاعات ناعمة في المياه	51
46.4	صور توضيحية خطوة بخطوة للبخاخ الماص (Venturi siphons)، يتم إدخال جزء صغير من الأنابيب (أ) في نهاية الأنبوب الرئيس للمياه (ب). يتم قطع حز صغير (ج، د) في الأنبوب الضيق الذي يتم من خلاله امتصاص الهواء (و)	52
47.4	خزان تجميع مياه مدفون في الأرض؛ للسماح بتجميع المياه بواسطة الجاذبية	53
48.4	مجموعة مختارة من مواد السباكة الشائعة الاستخدام	53
49.4	أدوات فحص المياه، متوافرة بعلامات تجارية مختلفة، وتشتمل على فحوصات الأمونيا، والنتريت، والنترات، والحموضة والقلوية	54
50.4	رسم توضيحي لوحدة سرير وسائط النمو صغيرة	55
51.4	وحدة سرير وسائط النمو تم إنشاؤها من الحاويات الوسيطة (IBCs)	55
52.4	خزانات من الألياف الزجاجية في وحدة سرير وسائط النمو	56
53.4	الحصى البركاني يستخدم في وحدات السرير كوسائط للنمو	57
54.4	حجر جيري يستخدم في وحدات السرير كوسائط للنمو	57
55.4	كريّات الطين الخفيفة تستخدم في وحدات السرير كوسائط للنمو	58
56.4	المناطق الثلاث لسرير وسائط النمو خلال دورة تصريف المياه	61
57.4	المناطق الثلاث لسرير وسائط النمو خلال دورة تصريف المياه	62
58.4	رسم توضيحي لتقنية الشفط بالجرس ومركباته، تم تركيبه في سرير وسائط النمو	63
59.4	رسم توضيحي للأنبوب الرأسي وحاجز وسائط النمو	62
60.4	رسم توضيحي لوحدة صغيرة تعمل بتقنية غشاء المغذيات	64
61.4	خس ينمو في وحدة تجارية تعمل بتقنية غشاء المغذيات	64
62.4	خس ينمو على أنابيب مربعة الشكل في وحدة تعمل بتقنية غشاء المغذيات	65
63.4	أنابيب النمو منظمة رأسياً لوحدة تعمل بتقنية غشاء المغذيات	66
64.4	مجموعة من أنابيب النمو تظهر المسافة بين الثقوب	66
65.4	ركائز النبات وتظهر وسيطة نمو، والكوب الشبكي	66
66.4	نبتة خس كاملة تم حصادها من وحدة تعمل بتقنية غشاء المغذيات، ويتضح في الشكل كوب شبكي موصل به قطعة من أنبوب – PVC لمده للأعلى	67
67.4	نبتة خس موضوعة في أنبوب نمو بشكل مباشر وبدون كوب شبكي	67
68.4	رسم توضيحي لوحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة يستخدم فيها سرير وسائط النمو كمرشح	68
69.4	رسم توضيحي لوحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة يستخدم فيها مرشح منفصل	68
70.4	وحدة كبيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة	69
71.4	وحدة أحيومائية صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة. يمكن مشاهدة جذور النبات تحت الطوافة المصنوعة من البوليسترين	69

72.4	حجارة الهواء تستخدم في قناة وحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة	70
73.4	رسم توضيحي لوحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة تستخدم طريقة "كراتكي"، ويشاهد فيها الفصل بين الطوافة وسطح الماء	70
74.4	صفائح من البوليسترين في وحدة صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة يشاهد عليها ثقوب أكواب الزراعة	71
75.4	طريقة وضع النبتة والحصى خطوة بخطوة (أ) في الكوب الشبكي، (ب) ووضعه في علبة البوليسترين في وحدة صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة (ج)	71
76.4	رسم توضيحي لوحدة صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة بدون عازل ميكانيكي للمخلفات الصلبة، أو مرشح حيوي	72

.5	البكتيريا في الزراعة الأحيومائية	77
1.5	عملية النترجة في الزراعة الأحيومائية	77
2.5	هيكل جرثوم المجموعة المتغايرة	79
3.5	مستويات الأمونيا، النتريت والنترات خلال الأسابيع القليلة الأولى في نظام تربية الأحياء المائية المغلق	81
4.5	غذاء الأسماك كمصدر للأمونيا	82
5.5	سماد الدواجن كمصدر للأمونيا	82
6.5	عدة فحص توضح مستوى منخفض للأمونيا (0–0,5 ملغم/لتر) (أ)، ومستوى عالٍ للأمونيا (4 ملغم/لتر)(ب)	83
7.5	إضافة غرسة نبتة في سرير وسائط النمو خلال عملية التدوير	83

.6	النباتاتُ في الزراعة الأحيومائية	85
1.6	طماطم (*Solanum* sp.) تنمو في التربة	85
2.6	السلق السويسري (*Beta* sp.) ينمو في نظام أحيومائي	85
3.6	رسم توضيحي للهيكل الأساسي للنبتة	88
4.6	عملية التمثيل الضوئي	89
5.6	نقص النتروجين على الأوراق القديمة الشاحبة (أ)، نقص البوتاسيوم يمكن رؤيته على شكل بقع بنية على هامش الورقة (ب)، نقص الكبريت يظهر على الأوراق ككرة لولبية واصفرار (ج)، نقص الحديد يظهر كلون أخضر شاحب على نبات النعناع (د)	92
6.6	تأثير الحموضة (pH) على توافر المغذيات للنباتات	93
7.6	الخضراوات التي تتطلب نسب مغذيات عالية تنمو في سرير وسائط النمو، بما في ذلك الباذنجان (*Solanum* sp.) (أ)، والطماطم (*Solanum* sp.) والقرنبيط (*Brassica* sp.) (ب)	95
8.6	الأمراض الشائعة في النباتات، وتشمل العفن الذي يسببه الفطر (أ)، وآفة اللفحة التي تسببها البكتيريا (ب)، وبقع الورق التي تسببها البكتيريا أو الفطريات (ج)	96
9.6	وحدات الزراعة الأحيومائية على سطح مبنى معزولة عن بعض آفات الأرض	97
10.6	الإزالة اليدوية للآفات الحشرية	97
11.6	فخ لزج أصفر (أ) مثبت في بيت محمي (ب)	98
12.6	مثال لسريرين من وسائط النمو تنمو فيهما أنواع متعددة من الخضراوات	103
13.6	أمثلة على تعظيم المساحة في سرير وسائط النمو باستخدام المحاصيل المتسلقة (أ)، والزراعة المتداخلة (ب)	104

.7	السمك في الزراعة الأحيومائية	105
1.7	صغار أسماك البلطي (أ)، وأسماك كبيرة (ب) في وحدة الزراعة الأحيومائية	105
2.7	رسم توضيحي للملامح التشريحية الخارجية الرئيسة للسمكة	106
3.7	دورة الحياة العامة للسمكة	106

4.7 مثال على غذاء الأسماك على شكل حبيبات ومسحوق يستخدم لفئات حجم مختلفة من الأسماك 109

5.7 وزن عينة سمكة باستخدام ميزان 110

6.7 رسم تخطيطي وصورة لسمكة البلطي النيلي (*Oreochromis niloticus*) 113

7.7 رسم تخطيطي وصورة لسمكة شبوط الحشائش (*Ctenopharyngodon idella*) 114

8.7 أسماك الزينة، الشبوط الملون (*Cyprinus carpio*) في وحدة الزراعة الأحيومائية 115

9.7 رسم تخطيطي وصورة لسمكة السلور الإفريقية (*Clarias gariepinus*) 115

10.7 رسم تخطيطي وصورة لسمكة السلمون المرقط قوس قزح (*Oncorhynchus mykiss*) 116

11.7 رسم تخطيطي وصورة لسمكة القاروص الأسود (*Micropterus salmoides*) 117

12.7 رسم تخطيطي وصورة للجمبري النهري العملاق (*Macrobrachium rosenbergii*) 118

13.7 أقلمة الأسماك: يتم نقل صغار الأسماك في كيس من البلاستيك (أ) وتوضع في خزان الأسماك (ب) ويتم الإفراج عن الأسماك بعد الأقلمة (ج) 119

14.7 الأسماك المريضة وتظهر العديد من الأعراض السريرية: (أ) الضرر الخيشومي (ب) نخر خيشومي شديد 121

8. الإدارة واستكشاف الأخطاء وإصلاحها 125

1.8 نبات الخس تمت زراعته بكاثفة عالية في سرير وسائط النمو (1 م^2) 126

2.8 نموذج لحضانة نباتات (أ) وشتلات الخس (ب) 130

3.8 صينية البيض يتم استخدامها للإنبات 131

4.8 وضع البذور مباشرة في سرير وسائط النمو باستخدام القطن للاحتفاظ بالرطوبة 131

5.8 شتلات الخس، وتمت إزالة التربة من جذورها قبل نقلها إلى الوحدة 132

6.8 إجراء نقل الشتلات إلى وحدة سرير وسائط النمو خطوة بخطوة: إزالة الشتلات من صينية الحضانة (أ)، حفر حفرة صغيرة في وسائط النمو (ب)، زراعة الشتلات (ج)، تغطية الجذور بالوسائط (د) 132

7.8 إعداد الشتلات: وسائط النمو، كوب بلاستيكي شبكي، وقطعة من أنبوب الـ PVC لمده للأعلى لوحدة تقنية غشاء المغذيات (أ)، وضع الشتلات والوسائط في الكوب الشبكي (ب)، إدراج الكوب الشبكي في أنبوب النمو (ج) 133

8.8 إعداد الشتلات: وسائط النمو، كوب بلاستيكي شبكي لوحدة تقنية المياه العميقة (أ)، وضع الشتلات والوسائط في الكوب الشبكي (ب)، إدراج الكوب الشبكي في الطوافة العائمة (ج) 133

9.8 يتم إزالة النبتة كاملة بالجذور خلال عملية الحصاد 134

9. موضوعات إضافية عن الزراعة الأحيومائية 143

1.9 وحدة تصنيع السماد العضوي 144

2.9 الديدان الحمراء (*Eisenia fetida*) من وحدة الفيرمي كومبوست 144

3.9 تخمير شاي السماد (وضع في الشبك) في دلو باستخدام مضخة الهواء 145

4.9 طحلب أو عشب بُطي ينمو في حاوية كغذاء مكمل لغذاء الأسماك 146

5.9 طحلب الأزولا (*Azolla* spp.) ينمو في حاوية كغذاء مكمل لغذاء الأسماك 146

6.9 ذبابة الجندي الأسود (*Hermetia illucens*)، الكبيرة (أ)، واليرقات (ب) 147

7.9 جمع البذور من نبات الريحان الجاف (*Ocimum* spp.) 148

8.9 تجميع مياه الأمطار من السطح 149

9.9 حوض استحمام تم إعادة استخدامه كسرير لوسائط النمو 150

10.9 الخلايا الضوئية المستخدمة لتشغيل مضخة المياه 150

11.9 تقنية تسخين المياه باستخدام أنبوب أسود تم ترتيبه على شكل دوامة 151

12.9 مفتاح عائم للسيطرة على ضخ المياه (أ)، ووصلة سوداء، وصمام تعويم للتحكم في مصدر المياه الرئيس (ب) 151

13.9 أنبوب لتصريف الفائض من المياه من المرشح الحيوي 152

14.9 أنبوب أفقي في قناة الزراعة في المياه العميقة؛ للحفاظ على ارتفاع عمود الماء 152

15.9 رسم توضيحي لنظام سرير الفتل (wicking bed) 153

16.9	مثال لسرير الفتل باستخدام وعاء من البلاستيك	153
17.9	إطار من الخيزران مليء بالتربة (أ)، تحفر حفرة ثم يتم وضع بطانة من البولي إيثيلين لإنشاء قناة نمو وسرير وسائط النمو (ب)	154
18.9	نبتة الروثا (قطيفة) تمنو في مياه مالحة بنسبة ثلثي ملوحة مياه البحر. نبتة الروثا تنتج 2–5 كغم/م^2 كل شهر	155
19.9	نبتة بنجر السكر تنمو على صفائح البوليسترين الطافية في وحدة الزراعة في المياه العميقة في مياه مالحة بنسبة ثلثي ملوحة مياه البحر	155
20.9	نباتات الطماطم المطعمة (المركبة) تنمو في الرمل بمياه مالحة بنسبة عشر ملوحة مياه البحر	155
21.9	أنظمة البومينا (Bumina) في إندونيسيا مع وجود حوض أسماك في الوسط (أ، ب)، ويحيط به سرير وسائط نمو لزراعة الفراولة (ج)، ونباتات الطماطم (د)	156

قائمة الجداول

رقم الجدول		صفحة
1.2	مدى تسامح البكتيريا الآزوتية لعناصر جودة المياه	16
1.3	مدى تحمل الأسماك (المياه الدافئة أو المياه الباردة)، نباتات الزراعة المائية والبكتيريا الآزوتية لعناصر جودة المياه	22
2.3	العناصر المثالية للزراعة الأحيومائية كحل وسط للكائنات الثلاثة	22
1.4	خصائص وسائط النمو المختلفة.	58
2.4	نقاط القوة والضعف للتقنيات الرئيسة في الزراعة الأحيومائية	74
1.6	جدول ملخص لمقارنة إنتاج النبات القائم على التربة وبدون تربة	86
2.6	تأثير التغذية على قابلية النباتات للإصابة بالأمراض	102
1.7	عناصر جودة المياه، ومتطلبات الأعلاف، ومعدلات النمو المتوقع لسبعة أنواع من الأحياء المائية التجارية التي يشيع استخدامها في الزراعة الأحيومائية	111
2.7	أسباب وأعراض الإجهاد في الأسماك	120
1.8	دليل تصميم النظام العملي لوحدات الزراعة الأحيومائية على نطاق صغير	128
2.8	معدلات النمو المحتملة للبُلطي في خزان واحد لأكثر من عام باستخدام طريقة التخزين المقترحة	137
8.3	معدلات النمو المحتملة للبُلطي في خزان واحد لأكثر من عام باستخدام تقنية الحصاد التقدمية	137
8.4	استكشاف الأخطاء وإصلاحها للمشاكل الشائعة في أنظمة الزراعة الأحيومائية	140

1. مقدمة عن الزراعة الأحيومائية

يُعطي هذا الفصل وصفا متكاملا لمفهوم الزراعة الأحيومائية، وهي تقنية تجمع بين الزراعة المائية وتربية الأحياء المائية في نظام تزرع فيه النباتات مع الأحياء المائية في الأنظمة المغلقة (الشكلين 1.1 و2.1). كما يقدم موجزا عن طبيعة الزراعة وتطورها بدون تربة، وتربية الأحياء المائية العامة. ثم يصف الزراعة الأحيومائية و كيفية جمع هذه التقنيات، بما في ذلك اعتبارات إضافية أخرى، وموجزا لتاريخ تطورها. مع الأخذ في الحسبان نقاط القوة والضعف الرئيسة في إنتاج الغذاء بواسطة الزراعة الأحيومائية، مع تناول الأماكن والسياقات الأكثر والأقل ملاءمة لها. وأخيرا فإنه يقدم وصفا موجزا عن التطبيقات الرئيسة للزراعة الأحيومائية التي يتم مشاهدتها في الوقت الراهن.

الشكل 1.1
البلطي في حوض الزراعة الأحيومائية

1.1 الزراعة المائية، والزراعة بدون تربة

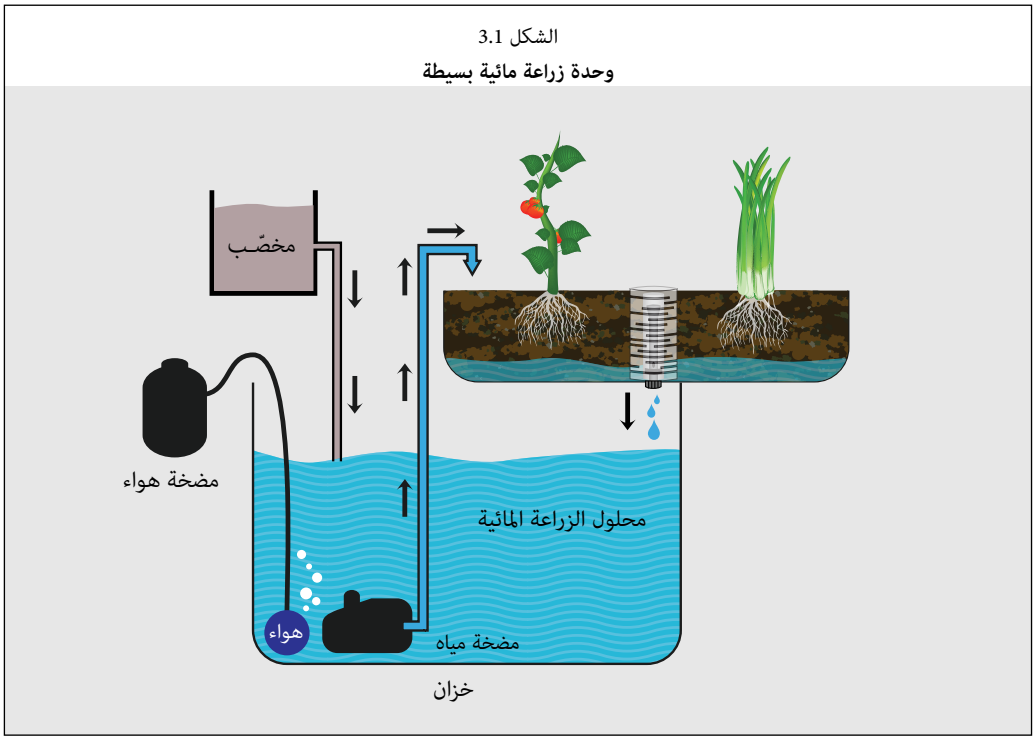
الزراعة بدون تربة هي تربية المحاصيل الزراعية بدون استخدام التربة، فبدلا من التربة يتم استخدام أوساط خاملة مختلفة أو بما يسمى بالركائز. وتوفر هذه الأوساط دعائما للنباتات مع الاحتفاظ بالرطوبة. ويتم دمج أنظمة الري داخل هذه الأوساط، بحيث تقوم على إدخال المحلول المغذي إلى مناطق جذور النباتات، ويوفر هذا الحل جميع العناصر الغذائية اللازمة لنمو النباتات، وهو الأسلوب الأكثر شيوعا للزراعة بدون تربة (الزراعة المائية)، والذي يتضمن زراعة النباتات إما على ركيزة، أو في وسط مائي بالجذور العارية. وتوجد هناك العديد من التصاميم لأنظمة الزراعة المائية، ويتم استخدام كلّ منها لأغراض مختلفة، إلا أن جميع هذه الأنظمة تتشارك في الخصائص الأساسية (الشكل 3.1).

الشكل 2.1
نباتات مزروعة باستخدام الزراعة الأحيومائية

وقد استخدمت الزراعة بدون تربة؛ للحد من الآفات والأمراض التي تنتقل عن طريق التربة التي تؤثر على محاصيل الزراعة الأحادية عن طريق تجنب الاتصال بين النباتات والتربة، ولأن الأوساط بدون تربة يمكن تعقيمها وإعادة استخدامها بين المحاصيل. كما أن إعادة استخدام هذه الأوساط عوضاً عن التربة يلبي بشكل خاص مطالب الإنتاج المكثف للمحاصيل، علما بأن بعض هذه الأوساط أو الركائز هي أفضل بكثير من التربة، لاسيما من حيث القدرة على الاحتفاظ بالماء وإمدادات الأكسيجين في منطقة جذر النباتات. كما أن المزارعين قاموا أيضاً بتحسين أداء الإنتاج من خلال زيادة السيطرة على عدة عوامل حاسمة لنمو النباتات، حيث يتم التحكم في توافر العناصر الغذائية عند جذور النباتات بشكل أفضل، ومراقبتها والسيطرة عليها بشكل أحسن؛ مما يؤدي إلى ارتفاع إنتاج الكمية والنوعية. علاوة على ذلك فإن معظم تقنيات الزراعة بدون تربة تستعمل جزءا ضئيلا من المياه اللازمة للإنتاج التقليدي القائم على التربة؛ وذلك لأن المحلول المغذي يُعاد تدويره.

وتعتبر الزراعة بدون تربة أحد الجوانب الكبرى للتطورات العلمية والاقتصادية والتكنولوجية في مجال الزراعة عموماً على مدى القرنين الماضيين. و بشكل عام، ولكن في الغالب ففي الدول المتقدمة وفي المناخات المعتدلة، كانت هناك زيادة في الطلب على المحاصيل ذات القيمة العالية خارج الموسم الزراعي. وهذا نتيجة لنطاق واسع للتحسن في مستويات المعيشة، وقد أدى هذا الارتفاع في الطلب إلى التوسع في

الشكل 3.1
وحدة زراعة مائية بسيطة



العديد من أنواع أنظمة الزراعة المحمية لزيادة طاقة الإنتاج، وإطالة إنتاج المحاصيل على مدار العام. ولكن، ومن أجل الحفاظ على قدرتها الإنتاجية التنافسية مع الزراعة الحقلية المفتوحة، تمت الزيادة في كثافتها من أجل تعويض ارتفاع تكاليف الإنتاج المرتبطة بالبيئة التي يتم السيطرة عليها، ونتيجة لذلك فقد كان هناك تحوّل من الإنتاج بواسطة الزراعة بالتربة إلى الزراعة بدون تربة؛ لتلبية الاحتياجات المتغيرة للزراعة. ويوفر هذا النهج بدائل لتعقيم التربة السامة لمكافحة الآفات ومسببات الأمراض، ويمكن أن يساعد في التغلب على مشاكل التربة التي جلبتها ممارسات الزراعة الأحادية.

وبالإضافة إلى العائدات المهمة الملحوظة مقارنة مع الزراعة التقليدية، فإن الزراعة بدون تربة هي أيضاً ذات أهمية من حيث الكفاءة في استهلاك الماء واستخدام الأسمدة؛ مما يجعل الزراعة المائية التقنية الأكثر ملاءمة في المناطق القاحلة، أو في أية أماكن أخرى تشكل فيها تشتت المغذيات قضية بيئية واقتصادية. إن إزاحة التربة يجعل الزراعة المائية لا غنى عنها في المناطق التي لا تتوافر فيها الأراضي الصالحة للزراعة، ويمكن عوضاً عن ذلك تطوير الزراعة بدون تربة في الأراضي القاحلة، وفي المناطق المعرضة للتملح، وكذلك في البيئات الحضرية والضواحي، أو في أية أماكن تزيد فيها المنافسة على الأراضي والمياه، أو بسبب الظروف المناخية غير المواتية، والتي تتطلب اعتماد نظم الإنتاج المكثف. إن الإنتاجية العالية من مساحة صغيرة يجعل استخدام الزراعة بدون تربة طريقة مثيرة للاهتمام بالنسبة للأمن الغذائي، أو لتطوير الزراعة على نطاق صغير بمسافة مقدارها صفر ميل غذاء (أي أنه لا توجد مسافة بين موقع الإنتاج والمستهلك) او بما يسمى بالإنجليزية (zero food miles).

وعموما فإن الأسباب الرئيسة الأربعة التي تجعل الزراعة بدون تربة نشاطا زراعيا يتوسع باضطراد، هي: انخفاض وجود الأمراض المنقولة عن طريق التربة ومسببات الأمراض بسبب الحالة المعقمة والخالية من الآفات، وتحسين ظروف النمو التي يمكن التحكم فيها لتلبية المتطلبات المثلى المؤدية إلى زيادة الغلة،وزيادة الكفاءة في استخدام الماء والأسمدة، وإمكانية تطوير الزراعة حيث الأراضي الصالحة ليست متاحة. بالإضافة إلى الارتفاع في الطلب على المنتجات الخالية من المواد الكيميائية والمبيدات وإلى الممارسات الزراعية المستدامة. كان هناك بحث واسع النطاق في أساليب الزراعة العضوية والزراعة بدون تربة. وتناقش الفقرة (1.6) هذه الاختلافات بمزيد من التفاصيل.

هناك مصدر رئيسّي للقلق بشأن استدامة الزراعة الحديثة ألا وهو الاعتماد الكلي على تصنيع الأسمدة الكيميائية لإنتاج الغذاء. ويمكن للعناصر الغذائية للنباتات أن تكون باهظة الثمن، بالإضافة إلى صعوبة مصدرها، وغالبا ما تأتي من الممارسات القاسية للبيئة التي تسهم بشكل كبير في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) من الزراعة. كما أن مصادر العديد من هذه المغذيات الأساسية تنضب بوتيرة سريعة، مع توقعات

نقص عالمي في العقود القليلة القادمة. ومع ذلك فإن الزراعة المائية هي أكثر كفاءة من حيث استخدام المياه والمغذيات من الزراعة القائمة على التربة، ولكن إدارتها أكثر تعقيدا وتتطلب مجموعة مختلفة من المدخلات خاصة أثناء الإنشاء، كما أن هناك حاجة بوجه عام للكهرباء لتدوير الماء وتشبيعه بالأكسيجين. ومع ذلك فإن هذا النظام لا يحتاج إلى وقود لحرث التربة، ولا يتطلب طاقة إضافية لضخ كميات كبيرة من المياه للري، أو لإزالة الأعشاب الضارة والسيطرة عليها، وأنها لا تعرقل المواد العضوية في التربة من خلال الممارسات الزراعية المكثفة. إن التكاليف الأولية، ومواد البناء، والاعتماد على الكهرباء والمدخلات سيكون أيضا من القيود الهامة للزراعة الأحيومائية، ولكن في هذه الحالة سيتم إزالة الحاجة إلى الأسمدة الكيميائية تماما.

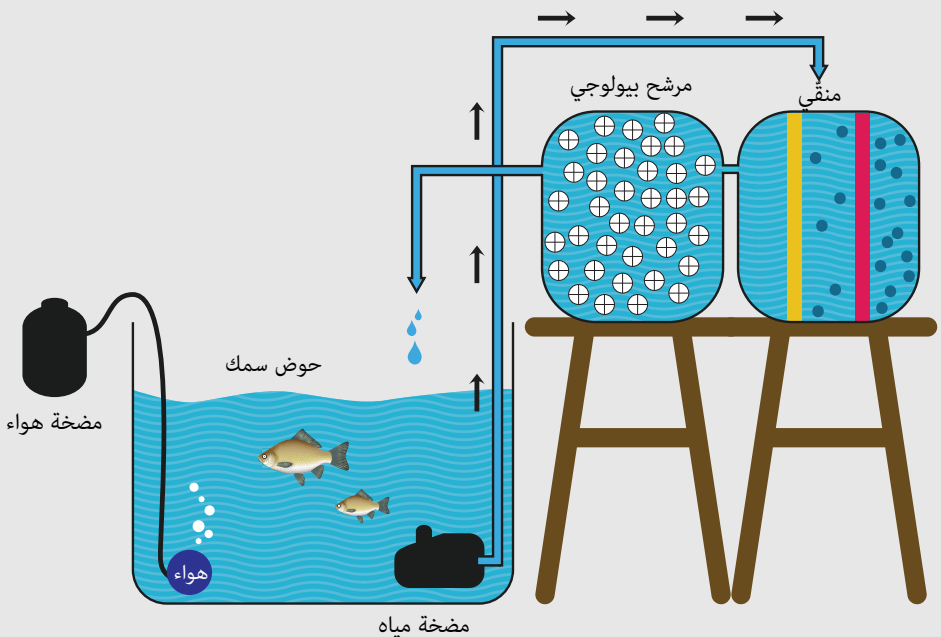
2.1 تربية الأحياء المائية

تربية الأحياء المائية هي تربية وإنتاج الأسماك والأحياء والنباتات المائية الأخرى تحت ظروف خاضعة للرقابة، حيث يتم تربية العديد من أنواع الأحياء المائية، خصوصا الأسماك والقشريات والرَّخويات والنباتات المائية والطحالب. وقد تم تطوير أساليب إنتاج تربية الأحياء المائية في مناطق مختلفة من العالم، وتم تكييفها وفقا للظروف البيئية والمُناخية المحددة في تلك المناطق. وتشمل الأنظمة الرئيسة الأربعة لتربية الأحياء المائية أنظمة المياه المفتوحة (مثل: الأقفاص، والحبال الطويلة، والتربية في البرك المائية، والمجاري المائية المتدفقة)، وأنظمة الاستزراع المغلقة (RAS). أما في أنظمة الاستزراع المغلقة (RAS) مثلما يوضحها الشكل (4.1) فيتم إعادة استخدام الماء للأسماك بعد عملية التنظيف والتصفية، وعلى الرغم من أن أنظمة الاستزراع المغلقة (RAS) ليست أرخص أنظمة للإنتاج؛ وذلك يعود إلى ارتفاع تكاليف الاستثمار والطاقة والإدارة، إلا أن هذا النظام يمكن له أن يزيد الإنتاجية من وحدة الأرض إلى حد كبير، نتيجة التكنولوجيا الأكثر كفاءة لتوفير المياه في تربية الأسماك، كما أن أنظمة الاستزراع المغلقة (RAS) هي الأسلوب الأكثر قابلية للتطبيق وللتكامل بين نظم الزراعة وتربية الأحياء المائية؛ بسبب إمكانية استخدام المنتجات الثانوية والمغذيات المائية العالية التركيز لإنتاج المحاصيل النباتية. وتم تطوير الزراعة الأحيومائية من التراكم المفيد للمواد الغذائية التي تظهر في أنظمة الاستزراع المغلقة (RAS)؛ وبالتالي فإن هذا الموضوع هو الذي سيتم التركيز عليه في هذا الدليل.

تعتبر تربية الأحياء المائية مصدرا متزايد الأهمية في إنتاج البروتين العالمي. وتمثل تربية الأحياء المائية ما يقرب من نصف كمية الأسماك التي تستهلك في العالم، وقد تطابق الإنتاج من تربية الأحياء المائية مع الإنتاج من مصايد الأسماك لأول مرة في عام 2012م. إن تربية الأحياء المائية لديها القدرة على تخفيف الضغط على مصايد الأسماك على المستوى العالمي، وإلى حد كبير خفض العلامة المرجعية لنظم تربية الحيوانات الأرضية الأقل استدامة في توفير البروتين الحيواني للبشر. ومع ذلك فيمكن معالجة جانبين من جوانب تربية الأحياء

الشكل 4.1

نظام تربية الأحياء المائية المغلق



المائية لتحسين استدامة هذه التقنية الزراعية. إلا أن معالجة مياه الصرف الغنية بالمغذيات تعتبر واحدة من أكبر التحديات لاستدامة تربية الأحياء المائية، وهو منتوج جانبي لجميع أنظمة تربية الأحياء المائية المذكورة آنفاً. وتبعاً للأنظمة والتشريعات البيئية التي وضعتها مختلفُ البلدان، والتي تفرض على المزارعين إما تصريف المخلفات السائلة أو علاجها، والتي يمكن أن تكون مكلفة ومضرّة للبيئة. كما أن تصريف المياه الغنية بالمغذيات بدون معالجة يمكن أن يؤدي إلى زيادة المغذيات ونقص الأكسيجين في مستجمعات المياه والمناطق الساحلية المحلية، فضلا عن فرط نمو وازدهار الطحالب الكبيرة في قيعان الشعاب المرجانية، والاضطرابات البيئية والاقتصادية الأخرى. إن زراعة النباتات التي تنمو داخل تيار المخلفات السائلة هو أسلوب واحد لمنع تصريف هذه النفايات في البيئة، وللحصول على منافع اقتصادية إضافية غير مكلفة من زراعة المحاصيل مع المنتجات الثانوية من خلال الري، والأراضي الرطبة الاصطناعية، وغيرها من التقنيات. وهناك تخوفٌ من الاستدامة فيما يخص تربية الأحياء المائية، وذلك من حيث إنها تعتمد بشكل كبير على المساحيق السمكية باعتبارها أعلاف الأسماك الأولية، فمن وجهة نظر حماية المصادر الطبيعية فإن الاعتماد على المساحيق السمكية بشكل أساسي هو استغلال موارد لحساب مورد آخر، وبالتالي يجب إيجاد مكونات العلف البديلة، والتي تُعد من الاعتبارات المهمة لمستقبل تربية الأحياء المائية. ويكرس معظم هذا الدليل على إعادة استخدام المخلفات السائلة المصرّفة في تربية الأحياء المائية كقيمة مضافة للمنتوج، كما سيتم أيضاً في الفقرة (2.1.9) مناقشة أعلاف الأسماك البديلة، وطرق مساهمتها للإقلال من العلامة المرجعية لتربية الأحياء المائية.

3.1 الزراعة الأحيومائية

الزراعة الأحيومائية هي إدماج وتكامل تربية الأحياء المائية بالأنظمة المغلقة (RAS) والزراعة المائية في نظام إنتاج واحد. وفي وحدة الزراعة الأحيومائية تدور المياه خلال حوض الأسماك وعبر المرشحات والوسائط التي تنمو فيها النباتات، ومن ثم تعود للأسماك، كما يبينه الشكل (5.1). أما في المرشحات فإن مخلفات الأسماك تتم إزالتها من الماء، أولا باستخدام مرشح ميكانيكي يقوم بإزالة المخلفات الصَّلبة، وبعد ذلك من خلال مرشح حيوي يقوم على معالجة المخلفات الذائبة. ويوفر المرشح الحيوي موقعاً جيداً لنمو البكتيريا، والتي تعمل على تحويل الأمونيا السامة بالنسبة للأسماك إلى نترات، والذي يعد أكثر المغذيات وصولاً للنباتات. وتُسمى هذه العملية (النترجة)، حيث يقوم الماء (الذي يحتوي على النترات والعناصر الغذائية الأخرى) بالانتقال عن طريق الأوساط التي تنمو فيها النباتات، حيث تعمل على امتصاص هذه العناصر الغذائية، وأخيرا يعود الماء إلى خزان الأسماك مرشَّحا ونقيا. وتسمح هذه العملية للأسماك والنباتات والبكتيريا بالازدهار في تناغم تام، والعمل معا لخلق بيئة صحية بشكل متزايد لبعضها البعض، شريطة أن يكون ذلك في نظام متوازن.

في الزراعة الأحيومائية يتم تحويل المخلفات السائلة من خلال الأوساط التي تنمو فيها النباتات ولا تطلق في البيئة هكذا، بينما في نفس الوقت يتم توفير المواد الغذائية للنباتات من مصدر مستدام وفاعل من حيث التكلفة وخالي من المواد الكيميائية. وهذا التكامل يزيل بعض العوامل غير المستدامة التي تسببها أنظمة تربية الأحياء المائية والزراعة المائية بشكل مستقل. وإذا ما نظرنا إلى ما وراء المنافع التي يجنيها هذا التكامل، فقد أظهرت الزراعة الأحيومائية أن النباتات والأسماك التي يتم إنتاجها هي قابلة للمقارنة مع الزراعة المائية والنظم المغلقة لتربية الأحياء المائية، كما يمكن للزراعة الأحيومائية أن تكون أكثر إنتاجية، وذات جدوى اقتصادية في بعض الحالات، وخصوصا حيث الأراضي والمياه محدودة. ومع ذلك فإن الزراعة الأحيومائية غير معقدة إلا أنها تتطلب تكاليف تشغيلية عالية، فمثلا زيادة الإنتاج في هذا النظام يجب أن تعوّض ارتفاع تكاليف الاستثمارات المطلوبة لدمج النظامين، وقبل الالتزام بنظام كبير أو باهظ الثمن، ينبغي إجراء خطة عمل كاملة تغطي الجوانب الاقتصادية والبيئية والاجتماعية واللوجستية.

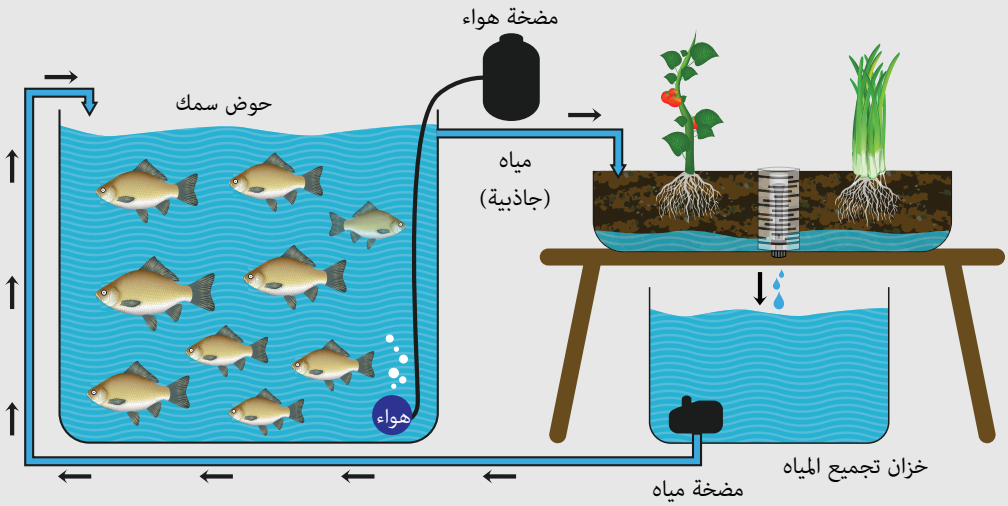
وعلى الرغم من أن إنتاج الأسماك والخضراوات هو الناتج الأكثر وضوحا في وحدة الزراعة الأحيومائية، فمن الضروري أن نفهم أن الزراعة الأحيومائية هي إدارة كاملة لنظام بيئي يشتمل على ثلاث مجموعات رئيسة من الكائنات الحية: الأسماك، والنباتات، والبكتيريا.

4.1 تطبيق الزراعة الأحيومائية

إن تطبيق الزراعة الأحيومائية تجمع بين اثنين من أكثر الأنظمة إنتاجية في مجالات تخصصهم. ولقد شهدت أنظمة تربية الأحياء المغلقة (RAS) والزراعة المائية التوسع في العالم على نطاق واسع، ليس فقط لزيادة الغلة ولكن أيضا للاستخدام الأفضل للأراضي والمياه، وإيجاد أساليب أبسط للسيطرة على التلوث، وتحسين إدارة

الشكل 5.1

وحدة زراعة أحيومائية بسيطة



العوامل الإنتاجية، وكذلك الجودة العالية وزيادة سلامة الأغذية المنتجة منها (الإطار 1). ومع ذلك فإن الزراعة الأحيومائية يمكن أن تكون معقدة ومكلفة بشكل مفرط، وتتطلب توافر بعض المدخلات بشكل متسق، ولكن مع التخطيط والرؤية الواضحة يمكن التغلب على هذه الصعوبات أو التقليل من حدتها.

تعتبر أنظمة الزراعة الأحيومائية تقنية ذات مكانة في السياق الأوسع لاستدامة الزراعة المكثفة، لا سيما في التطبيقات على النطاق الأسري. وتقدم طرق تعاونية وداعمة لإنتاج الخضراوات والأسماك، مع امكانية انتاج كميات كبيرة من المواد الغذائية في المواقع والحالات التي يستحيل فيها الاعتماد على التربة للزراعة. إن استدامة الزراعة الأحيومائية تأخذ في الاعتبار الديناميّات البيئية والاقتصادية والاجتماعية؛ ولذا فإن هذه الأنظمة تتطلب استثمارات أولية كبيرة، ولكن تليها تكاليف متكررة منخفضة وعوائد مشتركة من كل من الأسماك والخضراوات.

الإطار 1

الفوائد ونقاط الضعف في الإنتاج الغذائي من الزراعة الأحيومائية

الفوائد الرئيسة لإنتاج الغذاء بواسطة الزراعة الأحيومائية، هي:

- نظام إنتاج غذائي مستدام ومكثف.
- إنتاج نوعين من المنتجات الزراعية (السمك، والخضر) من مصدر نتروجيني واحد (غذاء الأسماك).
- غاية في الكفاءة في استهلاك المياه.
- استخدام التربة غير مطلوب.
- عدم استخدام الأسمدة، أو المبيدات الكيماوية.
- ارتفاع العوائد والإنتاج النوعي.
- الإدارة والإنتاج شبيهة بالتقنية العضوية.
- مستوى مرتفع من الأمن الحيوي، وانخفاض المخاطر الناجمة عن الملوثات الخارجية.
- سيطرة عالية على الإنتاج تؤدي إلى انخفاض الخسائر.
- استخدامها على الأراضي غير الصالحة للزراعة، مثل: الصحارى، والتربة المتدهورة، أو المالحة، والجزر الرملية.
- المخلفات المتبقية قليلة.
- المهام اليومية والحصاد والزراعة توفر العمالة، وبالتالي يمكن أن تشمل جميع النوعين من مختلف الأعمار.
- إنتاج اقتصادي للمحاصيل لإنتاج غذاء الأسرة، أو توفير المردود المالي في العديد من المواقع.
- توافر مواد البناء وقاعدة البيانات على نطاق واسع.

يتبع

تتمة الإطار 1

نقاط الضعف الرئيسة لإنتاج الغذاء بواسطة الزراعة الأحيومائية، هي:

- تكاليف بدء التشغيل الأولية باهظة الثمن مقارنة مع إنتاج الخضراوات بواسطة التربة أو الزراعة المائية.
- الحاجة إلى معرفة الأسماك والبكتيريا والإنتاج النباتي لكل مزارع لضمان نجاحها.
- لا يمكن تطابق متطلبات الأسماك والنباتات على الدوام.
- لا يُوصى به في الأماكن التي لا تلبي درجة الحرارة المثلى لنمو الأسماك والنباتات.
- قلة الخيارات الإدارية مقارنة بأنظمة تربية الأحياء المائية أو الزراعة المائية.
- إمكانية تسبب الأخطاء أو الحوادث في انهيار كارثي للنظام.
- إلزامية الإدارة بصورة يومية.
- الحاجة إلى توفير الطاقة الكهربائية.
- طلب الحصول على مصادر للكهرباء موثوقة، وبذور الأسماك وبذور النباتات.
- عدم توفير الزراعة الأحيومائية لوحدة نظام غذائي كامل.

ومن الناحية البيئية فإن الزراعة الأحيومائية تحد من تصريف المخلفات السائلة الناتجة عن تربية الأحياء المائية وتلويث مستجمعات المياه. وفي الوقت نفسه توفر تحكما كبيرا في استهلاك الماء والإنتاج، كما أنها لا تعتمد على المواد الكيميائية للتسميد، أو السيطرة على الآفات أو الأعشاب الضارة؛ مما يجعل الغذاء المنتج أكثر أمانا ضد المواد المتبقية. وعلى الصعيد الاجتماعي فيمكن للزراعة الأحيومائية أن توفر تحسينات نوعية للحياة، حيث ينتج الغذاء محليا، كما يمكن زراعة المحاصيل المناسبة التي تتماشى مع الثقافة المحلية، وفي الوقت نفسه يمكن للزراعة الأحيومائية دمج استراتيجيات سبل العيش؛ لتأمين الغذاء والدخل لأولئك الذين لا يمتلكون الأراضي والأسر الفقيرة. ناهيك على أن الانتاج المحلي للغذاء، والوصول إلى الأسواق واكتساب المهارات، وهي أدوات لا تقدر بثمن؛ لتأمين تحرير وتمكين المرأة في البلدان النامية، كما يمكن للزراعة الأحيومائية أن توفر الأساس الاجتماعي والاقتصادي العادل والمستدام. بالإضافة إلى أن بروتين السمك هو إضافة قيّمة للاحتياجات الغذائية للكثير من الناس، وغالبا ما تفتقر أنظمة البستنة الصغيرة إلى البروتين.

تعد الزراعة الأحيومائية الأنسب عندما تكون كلفة الأرض مرتفعة، والمياه شحيحة، والتربة تفتقر إلى مقومات الزراعة، حيث الصحارى، والمناطق الجافة، والجزر الرملية. والحدائق الحضرية وهي أكثر المواقع المناسبة لقيام أنشطة الزراعة الأحيومائية؛ لأنها تستخدم أدنى حد ممكن من المياه. وليست هناك حاجة للتربة، وكما تتجنب الزراعة الأحيومائية القضايا المرتبطة بانضغاط التربة والتملح والتلوث والأمراض والتعب. وبالمثل فإنه يمكن استخدام الزراعة الأحيومائية في البيئات الحضرية وشبه الحضرية، حيث انعدام الأراضي أو توافرها بنسبة قليلة، وتوفير وسيلة لزراعة المحاصيل بكثافة على الشرفات الصغيرة، والباحات في الداخل، أو على أسطح المنازل.

ولكن هذه التقنية يمكن أن تكون مكلفة، علاوة على أن الوحدة الإنتاجية التي تقام على نطاق صغير لن توفر كل الغذاء الذي تحتاجه الأسرة. إن أنظمة الزراعة الأحيومائية باهظة الثمن، ويجب على صاحب المشروع أن يقوم بتركيب نظام كامل لتربية الأحياء المائية ونظام الزراعة المائية، وهذا هو أحد أهم العناصر التي يجب أن تأخذ في الاعتبار عند البدء في نظام الزراعة الأحيومائية، علاوة على ذلك فإن الإدارة الناجحة تتطلب معرفة شاملة، وصيانة يومية للمجموعات من الكائنات الحية الثلاث المعنية، كما أنه ينبغي مراقبة جودة المياه والتحكم بها حسب الحاجة، وتعد المهارات التقنية ضرورية لبناء وتركيب الأنظمة، وخاصة في حالة السباكة والتسليك الكهربائي. وقد تكون الزراعة الأحيومائية غير عملية وغير ضرورية في المواقع التي تتوافر فيها الأراضي والتربة الخصبة، والمساحة الكافية والمياه الوفيرة. وبعض المجتمعات الزراعية قد تجد الزراعة الأحيومائية معقدة أكثر من اللازم عندما يمكن زراعة نفس الغذاء مباشرة في التربة، وفي هذه الحالات يمكن للزراعة الأحيومائية أن تصبح هواية مكلفة بدلا من نظام إنتاج غذائي موجه، وعلاوة على ذلك تتطلب الزراعة الأحيومائية توافر بعض مصادر الإنتاج بشكل ثابت كالكهرباء مثلا، فهي مطلوبة بشكل أساسي لجميع نظم الزراعة الأحيومائية التي تم وصفها في هذا الدليل، وشبكات الكهرباء التي لا يمكن الاعتماد عليها، أو ارتفاع تكلفة الكهرباء، كلها يمكن أن تجعل الزراعة الأحيومائية غير مجدية في بعض المواقع، ويجب أن يكون

شراء أعلاف الأسماك على أساس منتظم، وأن يكون هناك إمكانية الوصول إلى بذور الأسماك وبذور النباتات. ويمكن تخفيض هذه المدخلات (الألواح الشمسية، وإنتاج أعلاف الأسماك، وتفريخ الأسماك، وانتشار النباتات)، ولكن هذه المهام تتطلب معارف إضافية، كما تزداد الحاجة إلى الوقت المتاح للإدارة اليومية، كما أنها قد تكون مرهقة للغاية، وتستهلك وقتا طويلا في الأنظمة الصغيرة.

عموما يمكن القول أن نظام الزراعة الأحيومائية الأساسي يعمل في مجموعة واسعة من الظروف والوحدات، ويمكن تصميم وتوسيع نطاقه؛ لتلبية مستوى المهارات لدى العديد من المزارعين واهتمامهم. وهناك مجموعة واسعة من التصاميم للزراعة الأحيومائية بدءا من التكنولوجيا الفائقة إلى التكنولوجيا المنخفضة، ومن أسعار باهظة إلى مستويات أسعار معقولة، فالزراعة الأحيومائية قابلة للتكيف تماما، ويمكن أن تطور من المواد والمعرفة المحلية. وتتناسب الزراعة الأحيومائية مع الثقافة والشروط والبيئة المحلية، ولكنها تتطلب دائما شخصا مهتما أو مجموعة من الأشخاص من الذين يكرسون وقتهم لها، وذلك للحفاظ وإدارة النظام على أساس يومي، وتتوافر معلومات التدريب بشكل كبير من خلال الكتب والمقالات ومجتمعات الإنترنت، وكذلك من خلال الدورات التدريبية والمرشدين الزراعيين ومشورة الخبراء. والزراعة الأحيومائية هي نظام مركب، ويعني أن كلا من التكاليف والفوائد هي قابلة للتضخيم. كما أن النجاح في هذه الأنظمة نابع من الإنتاج المحلي المستدام المكثف لكل من الأسماك والنباتات، وربما يمكن أن يكون هذا أعلى من العنصرين إذا ما اتخذا بشكل منفصل، وما دامت تستخدم الزراعة الأحيومائية في المواقع المناسبة مع مراعاة حدودها.

5.1 لمحة تاريخية للتكنولوجيا الحديثة للزراعة الأحيومائية

إن مفهوم استخدام إفرازات أو مخلفات الأسماك لتسميد النباتات قد عرف منذ آلاف السنين مع الحضارات الزراعية القديمة في كل من آسيا وأمريكا الجنوبية، ومن خلال العمل الريادي لمعهد الكيمياء الجديد والمؤسسات الأكاديمية في أمريكا الشمالية وأوروبا في أواخر السبعينيات من القرن الماضي، وأسهمت البحوث التي أنجزت في العقود التي تلتها في تطوير هذا الشكل المبسط من الزراعة الأحيومائية إلى نظم إنتاج حديثة للغذاء نشهدها اليوم. في حين أن معظم المحاولات لدمج الزراعة المائية وتربية الأحياء المائية قبل التقدم التكنولوجي في الثمانينيات لقيت نجاحا محدودا. وشهدت حقبة الثمانينيات والتسعينيات من القرن الماضي تقدماً في تصميم أنظمتها، وفي الترشيح الحيوي، وتحديد النسب المثلى بين الأسماك والنباتات أدى إلى إنشاء الأنظمة المغلقة التي تسمح بإعادة تدوير المياه وتراكم المغذيات التي تساعد على نمو النباتات، وفي دراسة علمية أجريت في جامعة ولاية نورث كارولينا بالولايات المتحدة الأمريكية أثبتت أن استهلاك المياه في الأنظمة المتكاملة يشكل 5 في المائة فقط من تلك المستخدمة في بركة تربية سمكة البلطي في أوائل أنظمة الزراعة المائية، وهذا التطور من بين المبادرات الرئيسة الأخرى يشير إلى مدى ملاءمة الأنظمة المتكاملة لتربية الأحياء المائية والزراعة المائية لتربية الأسماك وزراعة الخضراوات، وخاصة في المناطق القاحلة المفتقرة إلى المياه.

على الرغم من أن الزراعة الأحيومائية تطبق منذ الثمانينيات من القرن الماضي، إلا أنها لا تزال طريقة جديدة نسبيا لإنتاج الغذاء، إضافة إلى قلة البحوث ذات الصلة بهذا الموضوع ومراكز التطبيق التي تمتلك الخبرة الشاملة في جميع أنحاء العالم. وكان (James Rakocy) من رواد هذه الصناعة حيث اشتغل في مجال البحث والتطوير من خلال عمله في جامعة الجزر العذراء في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث استطاع أن يطور نسبا مهمة وعمليات حسابية من أجل تعظيم إنتاج كل من السمك والخضر مع الحفاظ على توازن النظام البيئي. وفي أستراليا قام (Wilson Lennard) بوضع الحسابات الرئيسة وخطط الإنتاج لأنواع أخرى من الأنظمة. وفي كندا أعطت نتائج البحوث التي قام بها (Nick Savidov) على مدى سنتين إلى نتائج تبين أن إنتاج وحدات الزراعة المائية من الطماطم (البندورة) والخيار يفوق بكثير الأنظمة الأخرى عندما يتم توفير العناصر الغذائية الرئيسة بالمستويات المطلوبة. أيضاً قام محمد عبد السلام من الجامعة الزراعية ببنغلاديش بتعزيز هذا المجال من خلال مفهوم "الزراعة لغرض الكفاف" في نطاق المنازل للزراعة الأحيومائية. إن ثورة هذه الأبحاث فضلا عن البحوث الأخرى في هذا المجال قد مهدت الطريق لمختلف المجموعات التي تمارس هذا النشاط والشركات الداعمة لها، والتي توفر التدريب الذي بدأ يزدهر في جميع أنحاء العالم، وتتمة لهذا الفصل فقد تم إدراج قائمة بالقراءات المقترحة عن الأعمال التي تعد حجر الزاوية في الزراعة الأحيومائية في نهاية هذا الدليل.

6.1 التطبيقات الحالية للزراعة الأحيومائية

يناقش هذا القسم الأخير بإيجاز بعض التطبيقات الرئيسة للزراعة الأحيومائية التي يتم مشاهدتها في جميع أنحاء العالم، وهذه القائمة ليست بأي حال من الأحوال شاملة، بل هي نافذة صغيرة تطل على الأنشطة التي تستخدم مفهوم الزراعة الأحيومائية، ويتضمن الملحق (6) مزيدا من التوضيح حول: إلى أين، وبأية سياقات يمكن تطبيق الزراعة الأحيومائية بشكل أكبر.

1.6.1 الزراعة الأحيومائية المحلية والوحدات الصغيرة

تعد وحدات الزراعة الأحيومائية وحدات صغيرة عندما يكون حجم حوض الأسماك بسعة 1000 لتر، وقد تصل المساحة الكلية للمحاصيل المزروعة بها إلى 3م^2، ومناسبة للإنتاج المحلي لمنزل أسرة (الشكل 6.1). وقد تم تجربة واختبار أنظمة وحدات من هذا الحجم، وأعطت نتائج ناجحة بشكل كبير في العديد من المناطق في جميع أنحاء العالم. والغرض الرئيس من هذه الوحدات هو إنتاج الغذاء من أجل البقاء والاستخدام المنزلي، حيث يمكن زرع مختلف أنواع الخضراوات والأعشاب في العديد من هذه الوحدات وفي آن واحد. ولقد تطورت مجموعات الزراعة الأحيومائية والجمعيات والمنتديات بشكل كبير في السنوات الخمس الماضية، وعملت على نشر الاستشارات والدروس المستخلصة من هذه الوحدات الصغيرة؛ مما ساعد على تبادل المعرفة ونقل الخبرات.

الشكل 6.1
وحدة زراعة أحيومائية محلية في الفناء الخلفي في منطقة قاحلة

2.6.1 الزراعة الأحيومائية التجارية وشبه التجارية

نظراً لارتفاع تكلفة البدء الأولية والتجربة الشمولية المحدودة مع هذا النطاق، فإن الزراعة الأحيومائية التجارية وشبه التجارية تبقى محدودة العدد (الشكل 7.1). وفشل الكثير من المشاريع التجارية يرجع إلى أن الأرباح لا تلبي المطالب للخطة الاستثمارية الأولية. وأغلب تلك المشاريع الموجودة حالياً تطبق ممارسات الزراعة الأحادية، وعادة تقوم بإنتاج الخس أو الريحان. على الرغم من أن العديد من المعاهد الأكاديمية في الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا وآسيا قد شيدت وحدات كبيرة وكانت أكثرها مخصصة للبحث الأكاديمي بدلاً من الإنتاج الغذائي، ولم تكن تهدف إلى التنافس مع المنتجين الآخرين في القطاع الخاص، وفي سبيل تنشيط هذا النوع من الزراعة فقد قام مجموعة من الخبراء في هاواي بالولايات المتحدة الأمريكية بتركيب نظام تجاري متكامل، وتمكنوا من الحصول على شهادة المنتجات العضوية لوحدتهم، مما مكنهم من جني عائد مالي أعلى لمنتجاتهم. وهناك أيضا نموذج آخر من الوحدات الكبيرة والناجحة على المستوى التجاري للزراعة الأحيومائية يقع في نيوبرا بنيويورك (الولايات المتحدة الأمريكية)، ويجني الأرباح من خلال مصادر دخل متعددة من أنواع مختلفة من الأسماك و النباتات، واستراتيجية التسويق الناجحة إلى المطاعم المحلية، والبقالات، وأسواق المزارعين والأغذية الصحية. إن توافر خطة عمل مفصّلة ودراسة شاملة على النباتات والأسماك الأكثر ربحا في الأسواق المحلية والإقليمية ضرورية لأي مشروع ناجح، كما هو مجرب في الوحدات الصغيرة لأنظمة الزراعة الأحيومائية وتربية الأحياء المائية التجارية والزراعة المائية التجارية.

الشكل 7.1
وحدة زراعة أحيومائية تجارية متوسطة الحجم

الشكل 8.1

وحدة زراعة أحيومائية مركبة: (أ) تقنية غشاء المغذيات، (ب) تقنية سرير وسائط نمو، (ج) تقنية المياه العميقة، (د) حوض أسماك

3.6.1 التعليم

يتم دعم الوحدات الصغيرة للزراعة الأحيومائية بمختلف المعاهد التعليمية، والمدارس الإبتدائية، والثانوية، والكليات، والجامعات، ومراكز تعليم الكبار، وكذلك منظمات المجتمع المحلي (الشكل 8.1). ويتم استخدام الزراعة الأحيومائية كأداة لسد الفجوة بين عموم السكان والتقنيات الزراعية المستدامة، بما في ذلك الأنشطة المستدامة المتطابقة، مثل حصاد المحاصيل الزراعية التي يتم ريُّها بواسطة مياه الأمطار، وإعادة تدوير المغذيات، وإنتاج الأغذية العضوية، والتي يمكن أن تكون متكاملة ضمن خطط التدريب، علاوة على ذلك فهذه الطبيعة المتكاملة للزراعة الأحيومائية توفر التدريب العملي على رأس العمل لموضوعات واسعة النطاق، مثل: التشريح، وعلم وظائف الأعضاء، وعلم الأحياء، وعلم النباتات، والفيزياء، والكيمياء، وكذلك الأخلاقيات، والطبخ، ودراسات الاستدامة العامة.

4.6.1 التدخلات الإغاثية الإنسانية والأمن الغذائي

مع ظهور أنظمة الزراعة الأحيومائية ذات الكفاءة العالية، كانت هناك رغبة في اكتشاف أثر هذا المفهوم في البلدان النامية، ويمكن رؤية أمثلة لمبادرات الزراعة المائية في: بربادوس، والبرازيل، وبوتسوانا، وإثيوبيا، وغانا، وغواتيمالا، وهايتي، والهند، وجامايكا، وماليزيا، والمكسيك، ونيجيريا، وبنما، والفلبين، وتايلاند، وزيمبابوي (الشكل 9.1). وللوهلة الأولى يبدو أن هناك قدرا كبيرا من النشاط للزراعة الأحيومائية ضمن المجالات الإنسانية. وبالإضافة إلى ذلك فإن الوحدات الصغيرة للزراعة الأحيومائية هي مكونات لبعض مبادرات الزراعة الحضرية أو شبه الحضرية، ولا سيما مع المنظمات غير الحكومية، وأصحاب المصلحة الآخرين في غذاء المناطق الحضرية والأمن الغذائي؛ بسبب القدرة على إنشائها في العديد من المناطق الطبيعية الحضرية المختلفة. وبشكل خاص فإن منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة قد جربت على نطاق صغير وحدات الزراعة الأحيومائية على أسطح المنازل في الضفة الغربية وقطاع غزة؛ لمواجهة قضايا الغذاء والأمن الغذائي المزمنة المنظورة عبر المنطقة (الشكل 10.1). وحتى الآن فإن هذا المشروع الرائد وما سيتلوه من توسع هو واحد من الأمثلة النامية حول العالم، حيث يجري بنجاح دمج الزراعة الأحيومائية كأنظمة متوسطة الحجم لتقوم بتدخلات وإسهامات فيما يخص الأمن الغذائي في حالات الطوارئ. ومع ذلك فإن العديد من تلك المحاولات تبقى مخصصة وانتهازية،

وفي كثير من الحالات تؤدي إلى تدخلات قائمة بذاتها، وتدخلات ذات تأثير منخفض؛ لذلك ينبغي توخي الحذر عند تقييم نجاح مشاريع الزراعة الأحيومائية التي أنشئت لأغراض إنسانية، وفي سبيل تلافي ذلك فقد أقيمت في السنوات الأخيرة العديد من المؤتمرات التي تعنى بالزراعة الأحيومائية في جميع أنحاء العالم، وإضافة إلى ذلك أن الزراعة الأحيومائية أصبحت بشكل متزايد جزءا من مادة المؤتمرات التي تعقد حول تربية الأحياء المائية والزراعة المائية. والعديد من هذه المؤتمرات واللقاءات أبدت القلق المتزايد بين أوساط الباحثين من مختلف التخصصات، وصانعي السياسات، وأصحاب المصلحة لإيجاد حلول مستدامة لضمان النمو طويل الأمد، وتأمين زيادة الإنتاج الغذائي لسكان العالم المتنامي.

الشكل 9.1

وحدة زراعة أحيومائية على نطاق صغير

الشكل 10.1

وحدة زراعة أحيومائية على نطاق صغير على سطح منزل

2. الزراعة الأحيوميائية

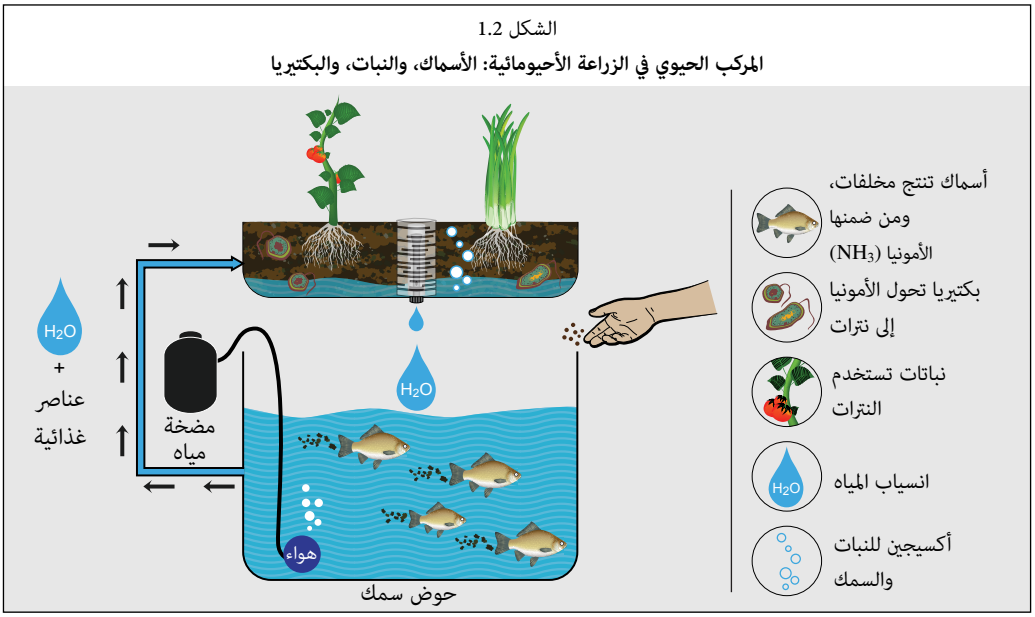
بناءً على التفسير الذي تمت مناقشته لمفهوم الزراعة الأحيوميائية في الفصل الأول، فإن هذا الفصل سيناقش العمليات الحيوية التي تحدث داخل وحدة الزراعة الأحيوميائية عبر مناقشة المفاهيم والعمليات الرئيسة المعنية، بما في ذلك عملية النترجة، ومن ثم سيتطرق للدور الحيوي للبكتيريا، والعمليات الحيوية الرئيسة. وأخيرا سيتناول أهمية تحقيق التوازن بين النظام البيئي للزراعة الأحيوميائية الذي يتكون من الأسماك والنباتات والبكتيريا، بما في ذلك كيفية تحقيقه مع الحفاظ على وحدة الزراعة الأحيوميائية مع مرور الوقت.

1.2 المكونات الحيوية المهمة للزراعة الأحيوميائية

كما هو موضح في الفصل الأول أن الزراعة الأحيوميائية هي شكلٌ من أشكال الزراعة المتكاملة التي تجمع بين اثنتين من التقنيات الرئيسة: تربية الأحياء المائية، والزراعة المائية. في وحدة واحدة تقوم بإعادة التدوير بشكل مستمر، تعيش الأسماك في حوض يحتوي على المخلفات الأيضيّة للأسماك، ومن أجل ذلك فإن هذه العملية تسير وفق الخطوات التالية: أولاً يمر الماء من خلال مرشح ميكانيكي يلتقط المخلفات الصلبة، ومن ثم يمر من خلال مرشح حيوي يقوم بأكسدة الأمونيا إلى نترات، ثم ينتقل الماء عبر الأوساط التي تنمو فيها النباتات فتمتصّ النباتات المواد المغذية منه، وأخيرا يعود الماء إلى حوض الأسماك منقى (الشكل 1.2). ويوفر المرشح الحيوي موئلاً للبكتيريا التي تعمل على تحويل مخلفات الأسماك إلى عناصر غذائية سهلة الوصول للنباتات، وهذه العناصر الغذائية تذوب في الماء، ثم يتم امتصاصها من قبل النباتات، ومن فوائد هذه العملية التي تقوم على إزالة العناصر الغذائية، المساعدة على تنظيف الماء، ومنع تسممه بالأشكال الضارة من النتروجين (الأمونيا والنتريت)، وبالتالي فإنه يسمح للأسماك والنباتات والبكتيريا بأن تزدهر في تناغم تام. وهكذا تعمل كل الكائنات الحية معا لخلق بيئة صحية متزايدة لبعضها البعض، شريطة أن يكون نظاما متوازنا.

الشكل 1.2

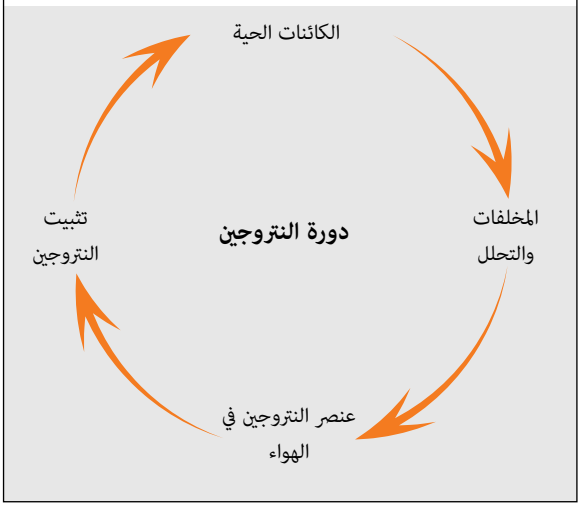
المركب الحيوي في الزراعة الأحيوميائية: الأسماك، والنبات، والبكتيريا



1.1.2 دورة النتروجين

تعتبر هذه الدورة العملية الحيوية الأكثر أهمية في عملية النترجة، والتي هي عنصر أساسٌي في دورة النتروجين الشاملة التي تشاهد في الطبيعة. والنتروجين (N) هو عنصر كيميائي ولبنة أساسية لجميع أشكال الحياة. ويوجد هذا العنصر في جميع الأحماض الأمينيّة، التي تشكل جميع البروتينات الضرورية للعديد من العمليات الحيوية المهمة للحيوانات، مثل: تنظيم الأنزيمات، والأوامر التي تصدر من الخلية، وبناء الهياكل، ويشكل النتروجين واحد من العناصر الغذائية غير العضوية الأكثر أهمية للنباتات.

الشكل 2.2
دورة النتروجين (مبسطة)

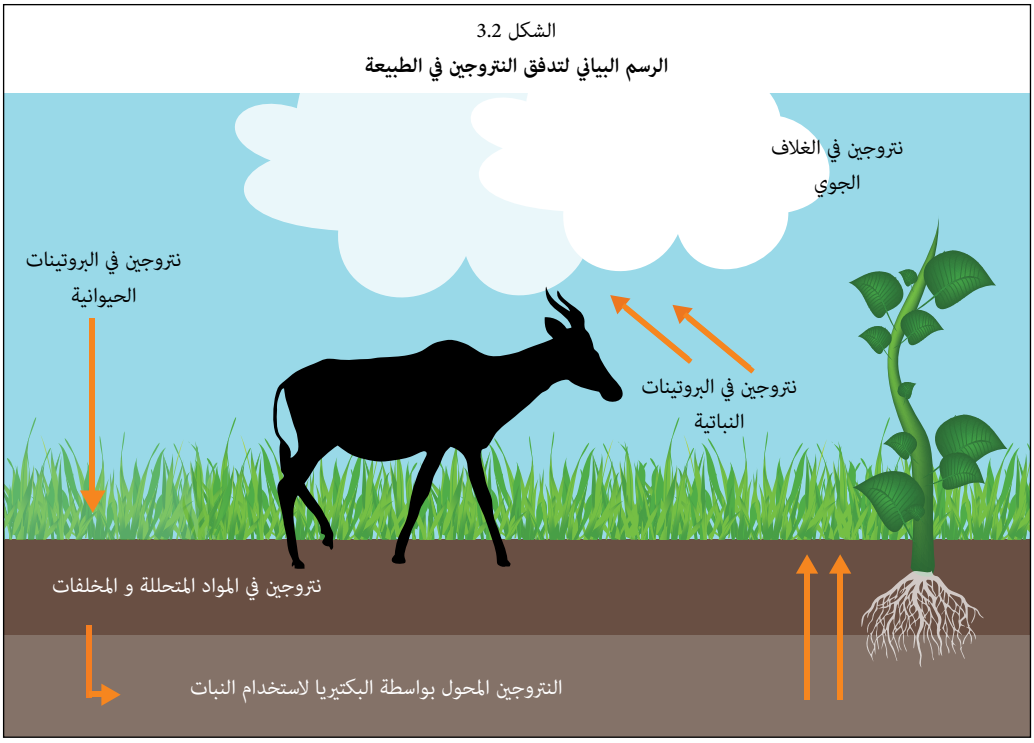


يعد عنصر النتروجين الغازيّ الأكثر وفرة في تكوين الغلاف الجوي للأرض، حيث يشكل نحو 78 في المائة منه، إلى جانب الأكسيجين الذي يشكل فقط نسبة 21 في المائة. وعلى الرغم من أن النتروجين يتوافر بنسبة عالية إلا أنه يكون في الغلاف الجوي على هيئة النتروجين الجزيئي (N_2)، وهي رابطة ثلاثية من ذرات النتروجين (غير قابلة للوصول إلى النباتات). لذا لابد من تغييره من صورة (N_2) قبل استخدام النباتات له لنموها، وتسمى هذه العملية تثبيت النتروجين. وهو جزء من دورة النتروجين (الشكل 2.2)، والذي يُشاهد في شتى أنحاء الطبيعة (الشكل 3.2). إن تثبيت النتروجين يحصل بواسطة البكتيريا التي تقوم بتغيير (N_2) كيميائياً عن طريق إضافة عناصر أخرى مثل الهيدروجين أو الأكسيجين وتخلق مركبات كيميائية جديدة مثل الأمونيا (NH_3) والنترات (NO_3^-)، والتي يمكن للنباتات استخدامها بسهولة. أيضا يمكن أن يكون تثبيت النتروجين الجوي من خلال عملية التصنيع المكثف للطاقة (عملية هابر أو Haber Process)، المستخدم لإنتاج الأسمدة الاصطناعية.

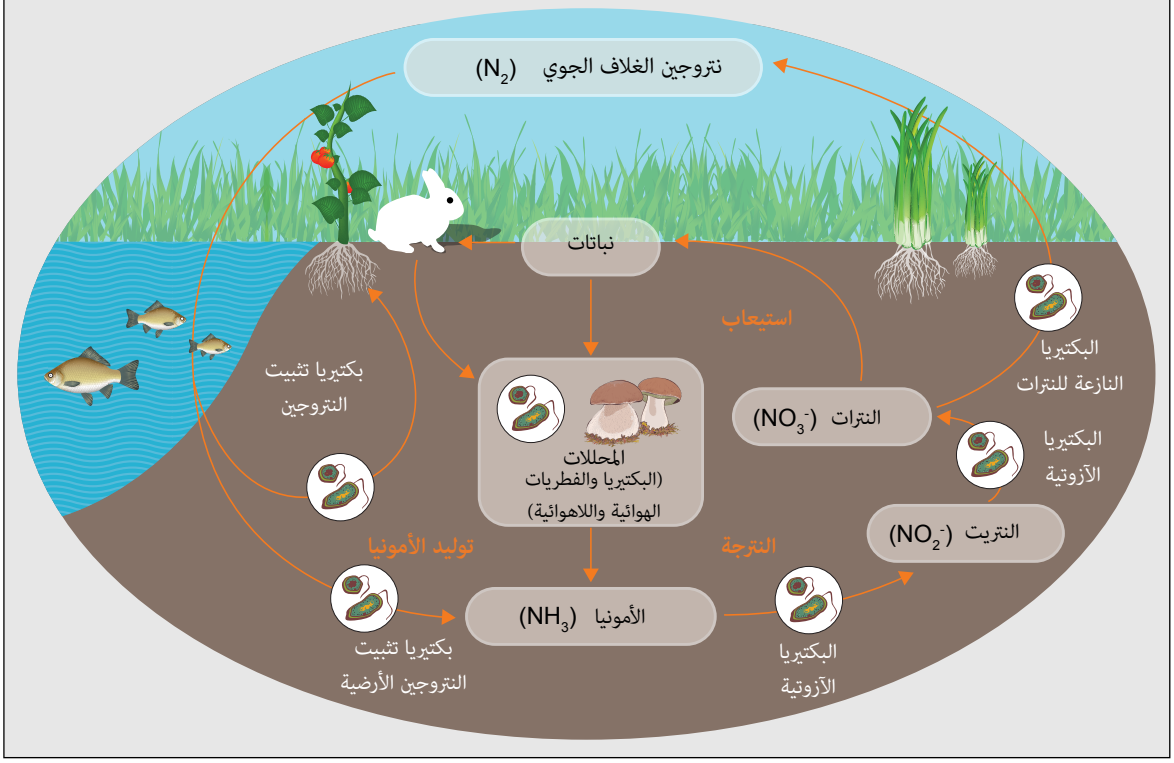
إن الحيوان الظاهر في الشكل (3.2) ينتج مخلفات (البراز والبول)، والتي هي متكونة إلى حد كبير من الأمونيا (NH_3). أما المواد العضوية الأخرى المتحللة الموجودة في الطبيعة، مثل النباتات أو الحيوانات النافقة، فإنها تتحلل بواسطة الفطريات ومجموعات مختلفة من البكتيريا إلى الأمونيا. وتتم عملية الاستقلاب أو التمثيل الغذائي للأمونيا من قبل مجموعة معينة من البكتيريا تدعى البكتيريا الآزوتية. وهو أمر مهم جدا للزراعة الأحيومائية، وتقوم هذه البكتيريا أولا بتحويل الأمونيا إلى مركبات النتريت (NO_2^-)، ثم أخيرا إلى مركبات النترات (NO_3^-). وتمتلك تلك النباتات المقدرة على استخدام كل من الأمونيا والنترات لأداء عمليات النمو، إلا أن النترات يتم امتصاصه بسهولة أكبر بواسطة الجذور.

إن البكتيريا الآزوتية التي تعيش في بيئات متنوعة، مثل: التربة، والرمال، والماء، والهواء، هي عنصر أساسٌ في عملية النترجة؛ التي خلالها يتم تحويل المخلفات النباتية والحيوانية إلى عناصر غذائية يمكنها الوصول إلى النباتات. والشكل (4.2)، يظهر العملية نفسها التي تم إيضاحها في الشكل (3.2)، إلا أنه يشتمل على رسم توضيحي أكثر تعقيدا يوضح جميع مراحل دورة النتروجين. وهذه العملية الطبيعية للنترجة بواسطة البكتيريا

الشكل 3.2
الرسم البياني لتدفق النتروجين في الطبيعة

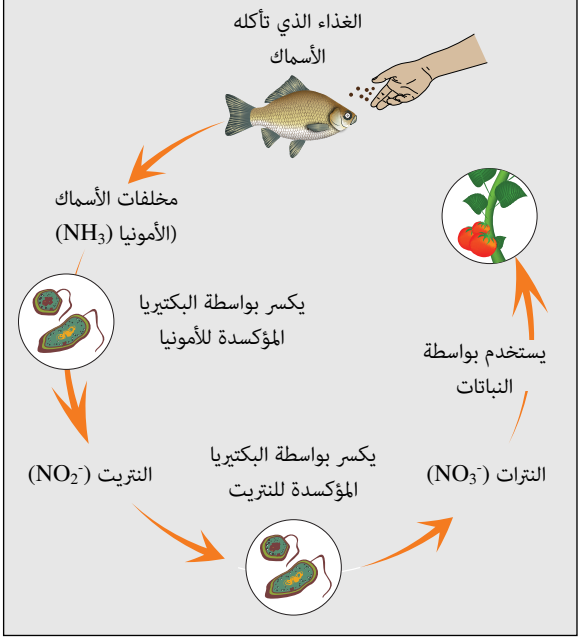


الشكل 4.2
الرسم البياني لتدفق النتروجين في التربة



والتي تحدث في التربة تحدث أيضا في المياه بالطريقة نفسها. أما في الزراعة الأحيومائية فإن المخلفات الحيوانية هي إفرازات الأسماك التي يتم إطلاقها في خزانات التربية، مع الإشارة إلى أن البكتيريا الآزوتية نفسها التي تعيش على الأرض توجد بشكل طبيعي في الماء أو على كل سطح رطب. وتعمل على تحويل الأمونيا من مخلفات الأسماك إلى نترات يمكن امتصاصها بسهولة بواسطة النباتات. إن عملية النترجة في الزراعة الأحيومائية توفر العناصر الغذائية للنباتات، وتعمل على إزالة أمونيا النتريت السامة (الشكل 5.2).

الشكل 5.2
الرسم البياني لتدفق النتروجين في الزراعة الأحيومائية

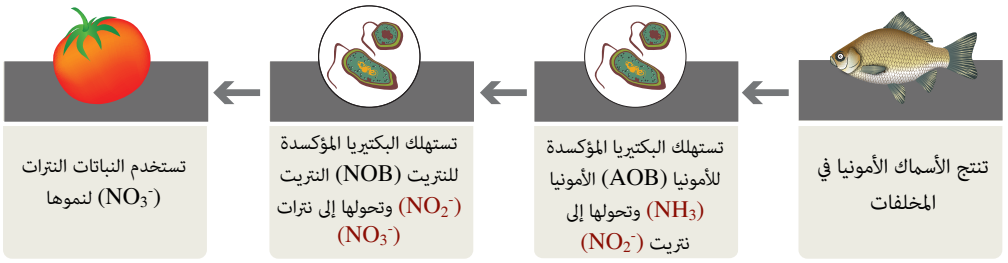


2.2 المرشح الحيوي

تعتبر البكتيريا الآزوتية مهمة للأداء العام لوحدة الزراعة الأحيومائية، والفصل الرابع من هذا الدليل يوضح كيفية عمل العنصر الحيوي لكل طريقة للزراعة الأحيومائية، ويبين الفصل الخامس مجموعات البكتيريا المختلفة التي تعمل في وحدة الزراعة الأحيومائية، وفي هذا السياق نشير إلى تشارك مجموعتين رئيستين من البكتيريا الآزوتية في عملية النترجة، وهما: 1) البكتيريا المؤكسدة للأمونيا (AOB)، و 2) البكتيريا المؤكسدة للنتريت (NOB)، والشكل (6.2) يبين ذلك. وتتم عملية استقلاب الأمونيا، أو تمثيلها كما في الترتيب التالي:

1. تعمل البكتيريا (AOB) على تحويل الأمونيا (NH_3) إلى نتريت (NO_2^-).
2. تعمل البكتيريا (NOB) على تحويل النتريت (NO_2^-) إلى نترات (NO_3^-).

الشكل 6.2
عملية النترجة في الزراعة الأحيومائية



كما هو مبين في الرموز الكيميائية، تقوم البكتيريا (AOB) بأكسدة الأمونيا بواسطة إضافة الأكسيجين، وإنتاج النتريت (NO_2^-)، وتقوم البكتيريا (NOB) بمزيد من الأكسدة للنتريت (NO_2^-)، وتحويله إلى نترات (NO_3^-). إن جنس النتريتية (Nitrosomonas)، وهي البكتيريا الأكثر شيوعا من نوع (AOB) في الزراعة الأحيومائية، وجنس النيتربكتير (Nitrobacter) هي البكتيريا الأكثر شيوعا من نوع (NOB). وتستخدم هذه الأسماء في كثير من الأحيان بشكل متبادل في المراجع العلمية و خلال هذا المنشور.

وباختصار فإن النظام البيئي داخل وحدة الزراعة الأحيومائية يعتمد كليا على البكتيريا، وفي حالة عدم وجود البكتيريا، أو إذا كانت تعمل بشكل غيرصحيح، فستصل تركيزات الأمونيا في الماء إلى مستويات قاتلة للأسماك. فمن الأهمية بمكان الحفاظ على إدارة المستعمرة البكتيرية بشكل صحي في النظام في جميع الأوقات؛ من أجل الحفاظ على مستويات قريبة من الصفر للأمونيا.

3.2 الحفاظ على مستعمرة بكتيرية صحية

المعايير الرئيسة التي تؤثر على نمو البكتيريا، والتي يجب أخذها في الاعتبار عند المحافظة على المرشح الحيوي صحياً هي المساحة الكافية لنمو البكتيريا والمياه بالشروط المناسبة، كما هي موضحة أدناه.

1.3.2 مساحة السطح

تزدهر المستعمراتُ البكتيرية على أية مادة، مثل: جذور النباتات، وعلى طول جدران خزان الأسماك، وداخل جميع الأنابيب. وإن إجمالي المساحة المتاحة لهذه البكتيريا ستحدد مقدار الأمونيا المتوافرة للاستقلاب. كما أن الأنظمة التي بها كثافة عالية من الأسماك تتطلب أن يكون عنصر الترشيح الحيوي منفصلاً، ويحتوي على مادة توفر مساحة سطح عالية، مثل الوسائط الخاملة كالحصى، أو الحجارة المسامية (Tuff)، أو كريّات الطين (Expanded clay)، (الشكل 7.2).

الشكل 7.2
سرير وسائط النمو للزراعة الأحيومائية مليء بالحصى البركاني يوفر مساحة مسطحة كبيرة لنمو البكتيريا

2.3.2 الرقم الهيدروجيني للمياه (pH)

الرقم الهيدروجيني (pH) هو المقاس الذي يحدد ما إذا كان السائل (الماء) حامضياً أم قلوياً. ومستوى الرقم الهيدروجيني للماء له تأثير على النشاط الحيوي للبكتيريا الآزوتية، وقدرتها على تحويل الأمونيا والنيتريت (الشكل 8.2). كما أن النطاقات للمجموعات الآزوتية أدناه تم تحديدها على أنها تساعد على نمو مثالي للبكتيريا، إلا أن البحوث العلمية المنشورة عن البكتيريا تشير إلى أن قوة التحمل أكبر من ذلك بكثير (6–8,5)؛ بسبب قدرة البكتيريا على التكيف مع محيطها. ومع ذلك فإن نطاق درجة الحموضة الأكثر ملاءمة في أنظمة الزراعة الأحيومائية هو (6–7)؛ وذلك لأن هذا النطاق هو الأفضل بالنسبة للنباتات والأسماك، وبهذه المنهجية يمكن فقدان الكفاءة البكتيرية إلا أنه يجب إيجاد المزيد من البكتيريا، وبالتالي يجب أن يكون حجم المرشحات الحيوية وفقا لذلك.

3.3.2 درجة حرارة المياه

درجة حرارة الماء من العناصر المهمة للبكتيريا والزراعة الأحيومائية بشكل عام، ونطاق درجة الحرارة المثالية لنمو البكتيريا وإنتاجيتها هو بين 17–34°م، فإذا انخفضت درجة حرارة الماء إلى أقل من 17°م سيؤدي ذلك إلى انخفاض إنتاجية البكتيريا، أما إذا انخفضت درجة حرارة الماء إلى أقل من 10°م فسيؤدي ذلك إلى انخفاض إنتاجية البكتيريا بنسبة 50 في المائة أو أكثر. إن درجات الحرارة المنخفضة لها تأثيرات كبيرة على إدارة وحدة الإنتاج خلال فصل الشتاء (انظر الفصل 8).

البكتيريا الآزوتية	الرقم الهيدروجيني الأمثل (pH)
Nitrosomonas spp.	7,8–7,2
Nitrobacter spp.	8,2–7,2

4.3.2 الأكسيجين المذاب

تحتاج البكتيريا الآزوتية إلى مستوى كاف من الأكسيجين المذاب في الماء (DO) في جميع الأوقات؛ من أجل الحفاظ على مستويات عالية من الإنتاجية، مع العلم أن النترجة هي رد فعل الأكسدة، حيث يُستخدم الأكسيجين كمادة كاشفة تقوم على إحداث التفاعل الكيميائي، وبدون الأكسيجين يتوقف التفاعل. إن المستويات المثلى للأكسيجين المذاب في الماء (DO) هي (4–8 ملغم/لتر). وستنخفض النترجة إذا كان انخفاض تركيز الأكسيجين المذاب أقل من (200 ملغم/لتر). وعلاوة على ذلك ففي حالة عدم توافر الأكسيجين المذاب بنسب كافية، فإنه يتم نمو نوع آخر من البكتيريا، من شأنها تحويل النترات القيم مرة أخرى إلى النتروجين الجزيئي غير الصالح للاستعمال في عملية لاهوائية المعروفة باسم نزع النتروجين.

الشكل 8.2
جهاز قياس الحموضة ودرجة حرارة الماء

5.3.2 الأشعة فوق البنفسجية UV

البكتيريا الآزوتية هي كائنات حساسة للضوء، وهذا يعني أن الأشعة فوق البنفسجية (UV) من الشمس تشكل تهديداً لها، وخاصة خلال التشكيل الأولي لمستعمرات البكتيريا عند تركيب نظام جديد للزراعة الأحيومائية. وبمجرد أن تستعمر البكتيريا الأسطح لمدة ثلاثة إلى خمسة أيام، فالأشعة فوق البنفسجية لن تشكل مشكلة كبرى، والطريقة البسيطة لإزالة هذا التهديد هي تغطية حوض الأسماك ومكونات الترشيح بالمواد الواقية للأشعة فوق البنفسجية، في حين ينبغي التأكد من أن الماء في النظام لا يتعرض لأشعة الشمس، على الأقل حتى يتم تشكيل مستعمرات البكتيريا بشكل كامل.

وبهذا ستنمو البكتيريا الآزوتية على المواد التي بها مساحة سطح كبيرة (الشكل 9.2)، ومحمية باستخدام مواد واقية للأشعة فوق البنفسجية، وتحت ظروف المياه المناسبة (الجدول 1.2).

الشكل 9.2
مرشح بيولوجي بتهوية (أ) يحتوي على وسائط الترشيح (ب)

الجدول 1.2

مدى تسامح البكتيريا الآزوتية لعناصر جودة المياه

	درجة الحرارة (°م)	pH	الأمونيا (ملغم/لتر)	النتريت (ملغم/لتر)	النترات (ملغم/لتر)	الأكسيجين المذاب (ملغم/لتر)
مدى التسامح	34–17	8,5–6	3>	3>	400>	8–4

4.2 موازنة النظام البيئي للزراعة الأحيومائية

يتم استخدام مصطلح (موازنة) لوصف جميع التدابير التي يأخذها المزارع الذي يعمل في نظام الزراعة الأحيومائية؛ للتأكد من أن النظام البيئي للأسماك والنباتات والبكتيريا هو في حالة توازن ديناميكي. كما لا يمكن المبالغة بأن الزراعة المائية الناجحة هي في المقام الأول الحفاظ على توازن النظام البيئي، وهذا يعني ببساطة أن هناك توازنا بين كمية الأسماك، وكمية من النباتات وحجم المرشح الحيوي، وهو ما يعني في الواقع كمية البكتيريا.

هناك نسبٌ تجريبية بين حجم المرشح الحيوي وكثافة النباتات وكثافة الأسماك للزراعة الأحيومائية، وليس من الحكمة أن تعمل الوحدة خارج هذه النسب المثلى دون المخاطرة بعواقب وخيمة قد تطرأ على النظام البيئي العام. كما يجب على الممارسين المتقدمين للزراعة الأحيومائية القيام بالتجارب اللازمة لضبط هذه النسب، ومن المستحسن أن تبدأ الزراعة الأحيومائية بهذه النسب. وسيوفر هذا القسم من الدليل فكرة وجيزة وضرورية لتحقيق التوازن للنظام، أما بالنسبة لأحجام المرشح الحيوي وكثافة الأسماك سيشار إليها بشكل معمق في الفصل الثامن.

1.4.2 توازن النترات

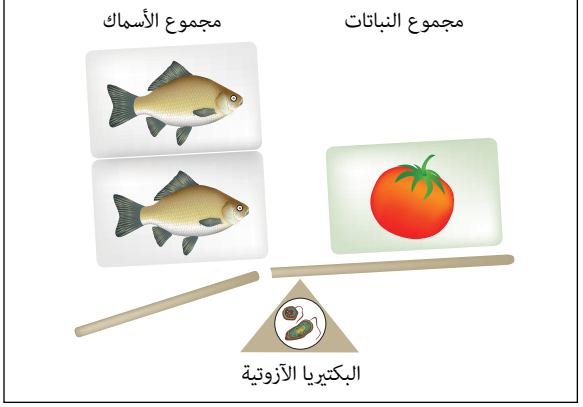
يمكن مقارنة التوازن في نظام الزراعة الأحيومائية بنطاق موازنة، حيث الأسماك والنباتات هي الأوزان التي توضع على أذرع الميزان عكس بعضها. أذرع الميزان هي البكتيريا الآزوتية، وبالتالي فمن الأساسي أن يكون الترشيح الحيوي قوي بما فيه الكفاية، لدعم العنصرين الآخرين، وهذا يتوافق مع سُمك الذراع (الشكل 10.2). لاحظ أن الأذرع لم تكن قوية بما يكفي لدعم كمية مخلفات الأسماك مما أدى إلى كسر الذراع، وهذا يعني أن الترشيح الحيوي لم يكن كافيا.

إذا كانت الكتلة الحيوية للأسماك وحجم المرشح الحيوي في توازن، فإن وحدة الزراعة الأحيومائية ستقوم بمعالجة الأمونيا إلى نترات على نحو كافٍ. ولكن إذا كان مكوّن النباتات أصغر، فسيقوم النظام بالبدء في تراكم العناصر الغذائية (الشكل 11.2). أما من الناحية العملية، فإن التركيزات العالية من العناصر الغذائية غير ضارة للأسماك ولا للنباتات، ولكنها إشارة إلى أن أداء النظام ضعيفٌ من جانب النباتات.

وهناك خطأ إداري مشترك يقع فيه البعض، وهو عندما يتم استخدام الكثير من النباتات وعدد قليل جدا من الأسماك، كما رأينا في السيناريو الثالث الموضح في الشكل (12.2). ففي هذه الحالة تتم معالجة الأمونيا

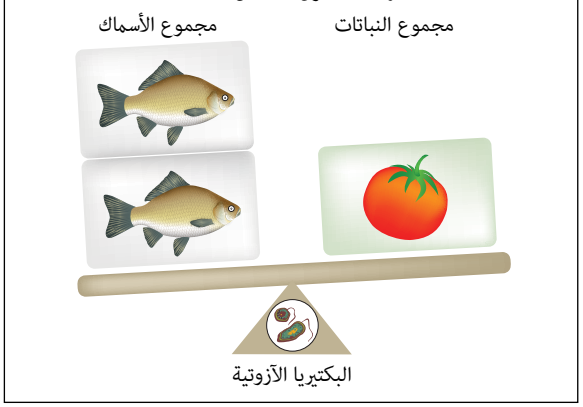
الشكل 10.2

تفوق الكتلة الحيوية للأسماك قدرة تحمل المرشح الحيوي؛ مما يؤدي إلى ظهور تجمع الأمونيا السامة والنتريت

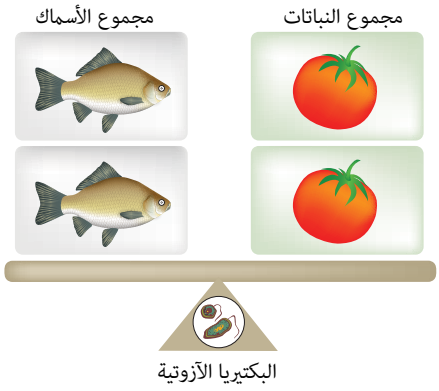


الشكل 11.2

تكافؤ بين الأسماك والمرشح الحيوي، لكن لايوجد توازن في النظام؛ بسبب وجود عدد بسيط من النباتات، وبالتالي فهناك مستوى عال من النترات



الشكل 12.2
تكافؤ بين الأسماك والمرشح الحيوي، لكن لايوجد توازن في النظام؛ بسبب وجود عدد كبير من النباتات، وبالتالي يؤدي إلى مستوى غير كاف من النترات



الشكل 13.2
نظام متوازن حيث الأسماك والنباتات والبكتيريا في حالة توازن ديناميكي

من قبل البكتيريا الآزوتية، ولكن تبقى كمية الناتج من النترات والمواد المغذية الأخرى غير كافية لتغطية احتياجات النباتات، وهذه الحالة تؤدي في نهاية المطاف إلى تخفيض تدريجي في تركيزات العناصر الغذائية، وبالتالي في المحاصيل النباتية.

والدرس الأبرز من كلا المثالين هو أن تحقيق الحد الأقصى من الإنتاج من الزراعة الأحيومائية يتطلب الحفاظ على توازن مناسب بين مخلفات الأسماك وطلب النباتات من العناصر الغذائية، مع ضمان مساحة كافية لتنمو مستعمرة البكتيريا؛ من أجل تحويل جميع مخلفات الأسماك. ويظهر هذا السيناريو متوازنا في الشكل (13.2). ويشار أيضا إلى هذا التوازن بين الأسماك والنباتات بنسبة الكتلة الحيوية. إن لدى نجاح وحدات الزراعة الأحيومائية، كتلة حيوية مناسبة للسمك بالنسبة للعدد النسبي من النباتات، أو بشكل أكثر دقة، فإن نسبة أعلاف الأسماك وحاجة النباتات للعناصر الغذائية هي متوازنة. ومع أن من المهم جدا أن تتبع النسب المقترحة للزراعة الأحيومائية لإنتاج غذاء جيد، هناك مجموعة واسعة من النسب قابلة للتطبيق، وسيعلم المزارع ذو الخبرة في الزراعة الأحيومائية بأن هذا النظام هو نظام يقوم على موازنة نفسه بنفسه. وعلاوة على ذلك سيصنع نظام الزراعة الأحيومائية مايطلق عليه المزارع اليقظ، مع وجود علامات التحذير في الوقت الذي يبدأ فيه النظام بالخروج عن التوازن، في شكل مقاييس جودة المياه، وصحة الأسماك، والنباتات، والتي سيتم مناقشتها تفصيلا في هذا الدليل.

2.4.2 نسبة معدل الأعلاف

عند موازنة النظام يتم أخذ العديد من المتغيرات في الاعتبار (انظر الإطار 2)، ولكن البحوث الواسعة النطاق قامت بتبسيط أسلوب موازنة الوحدة لنسبة واحدة تسمى نسبة معدل التغذية. إن نسبة معدل التغذية هي محصلة المتغيرات الثلاثة الأكثر أهمية، والتي هي: كمية الغذاء اليومي لأعلاف الأسماك (غرام في اليوم الواحد)، ونوع النبات (الخضري مقابل المثمر)، ومساحة النباتات التي تنمو في المتر المربع. هذه النسبة تشير إلى كمية تغذية الأسماك اليومية لكل متر مربع من مساحة زراعة النباتات، ولتحقيق توازن النظام بشكل أكثر فاعلية. يفضل بأن تحتسب كمية العلف التي تدخل في النظام عوضاً عن احتساب كمية الأسماك مباشرة باستخدام كمية العلف، ومن الممكن بعد ذلك حساب عدد الأسماك على أساس متوسط الاستهلاك اليومي.

إن نسب معدل التغذية توفر نظاما بيئيا متوازنا للأسماك والنباتات والبكتيريا، شريطة أن يكون هناك الترشيح الحيوي الكافي. وينصح باستخدام هذه النسبة عند تصميم نظام الزراعة الأحيومائية. ومن المهم أن نلاحظ أن نسبة معدل التغذية ليست سوى دليل لموازنة وحدة الزراعة الأحيومائية، كما أن المتغيرات الأخرى قد تكون لها آثار أكبر في مراحل مختلفة من الموسم، مثل التغيرات الموسمية في درجة حرارة الماء. إن ارتفاع نسبة تغذية الخضار الثمرية هو بسبب حاجتها لكمية من العناصر الغذائية اللازمة لإنتاج الزهور والثمار مقارنة مع الخضار الورقية الخضراء. وهناك شيئان مكملان لبعضهما البعض لضمان وجود نظام متوازن: الفحص الصحي، واختبار النتروجين.

الإطار 2

المتغيرات الرئيسة التي يجب أخذها في الاعتبار عند موازنة وحدة الزراعة الأحيومائية

- ماهي سعة النظام حتى يستطيع العمل.
- أسلوب إنتاج الزراعة الأحيومائية.
- نوع الأسماك (آكلة اللحوم مقابل آكلة اللحوم والنباتات، ومستوى النشاط).
- نوع أعلاف الأسماك (مستوى البروتين).
- نوع النباتات (الخضر الورقية، أو الدرنات، أو الثمار).
- نوع الإنتاج النباتي (واحد، أو أنواع متعددة).
- شروط جودة البيئة والمياه.
- طريقة الترشيح.

معدلات التغذية اليومية التي يوصى بها للأسماك هي:

- الخضار الورقية الخضراء: **40–50 غراما من العلف لكل متر مربع يوميا.**
- الخضار الثمرية: **50–80 غراما من العلف لكل متر مربع يوميا.**

3.4.2 اختبار صحة الأسماك والنباتات

غالبا ما تكون الأسماك أو النباتات غير الصحية تحذيراً بأن النظام خارج عن التوازن. كما أن أعراض النقص في النباتات عادة ما تكون مؤشرا على ضعف كفاية العناصر الغذائية الناتجة عن مخلفات الأسماك. ونقص العناصر الغذائية في كثير من الأحيان يظهر بشكل واضح كضعف في النمو، واصفرار في الأوراق، ونمو جذري ضعيف، والتي ستتم مناقشتها في الفصل السادس من هذا الدليل. وفي هذه الحالة يمكن زيادة كثافة الأسماك والأعلاف (إذا أكلتها الأسماك)، أو يمكن إزالة النباتات. وبالمثل إذا شوهدت على الأسماك علامات الإجهاد، مثل: مشاهدة الأسماك تلهث على سطح الماء، وفرك جسمها بجوانب الخزان، أو ظهور المناطق الحمراء حول الزعانف والعيون والخياشيم، أو في الحالات القصوى الموت، فغالبا ما يكون ذلك بسبب تراكم الأمونيا السامة أو مستويات النتريت. هذا ما يحدث غالبا عندما يكون هناك الكثير من المخلفات التي يجب على المرشح الحيوي معالجتها. إن أياً من هذه الأعراض في الأسماك أو النباتات تشير إلى أن المزارع يحتاج إلى أن يتحقق من المسببات وتصحيح السبب.

4.4.2 اختبار النتروجين

تتضمن هذه الطريقة اختبار مستويات النتروجين في المياه باستخدام عدة وسائل لاختبار المياه، وهي غير مكلفة (الشكل 14.2). وإذا كانت نسبُ الأمونيا أو النتريت مرتفعة (< 1 ملغم/ لتر)، فإن هذا يشير إلى أن الترشيح الحيوي غير كاف، وينبغي زيادة مساحة السطح الحيوي المتاحة. ومعظم الأسماك لاتتحمل هذه المستويات لأكثر من بضعة أيام. وبالتالي يتطلب الأمر زيادة مستوى النترات، ويعني ذلك توافر مستويات كافية من العناصر المغذية الأخرى اللازمة لنمو النبات. ويمكن للأسماك أن تتحمل مستويات مرتفعة من النترات، ولكن إذا استمر عند مستويات عالية (< 150 ملغم/ لتر) لعدة أسابيع فهذا فيلزم إزالة بعض الماء على أن يُستخدم في ري المحاصيل الأخرى. أما إذا كانت مستويات النترات منخفضة (< 10 ملغم/ لتر) على مدار عدة أسابيع، فيمكن زيادة أعلاف الأسماك بنسبة طفيفة؛ للتأكد من وجود ما يكفي من العناصر الغذائية للخضراوات. ومع ذلك يجب

الشكل 14.2

عدة فحص مستوى النترات

عدم ترك غذاء الأسماك غير المأكول في خزان تربية الأحياء المائية، وبالتالي زيادة كثافة تخزين الأسماك قد يكون ضروريا. وبدلا من ذلك فيمكن إزالة النباتات بحيث يكون هناك ما يكفي من العناصر الغذائية لتلك التي لا تزال قائمة. وتجدر الإشارة إلى أنه يُوصى باختبار مستويات النتروجين كل أسبوع؛ للتأكد من أن النظام متوازن بشكل صحيح. علاوة على ذلك فإن مستويات النترات هي مؤشر لمستوى العناصر الغذائية الأخرى في المياه. كل هذه العمليات الحسابية والنسب المذكورة أعلاه، بما في ذلك كثافة الأسماك، والقدرة الاستيعابية للنباتات، وحجم المرشح الحيوي، سيتم إيضاحها بتعمق أكبر في الفصول القادمة من هذا الدليل خاصة في الفصل (8). وكان الهدف من هذا القسم هو تقديم فهم جديد لمدى أهمية تحقيق التوازن في النظام البيئي داخل الزراعة الأحيومائية، وإبراز الأساليب البسيطة والاستراتيجيات للقيام بذلك.

5.2 ملخص الفصل

- الزراعة الأحيومائية هي نظام إنتاج يجمع بين تربية الأسماك وإنتاج الخضر بدون تربة في نظام مغلق واحد.
- تحول البكتيريا الآزوتية مخلفات السمك (الأمونيا) إلى عناصر غذائية للنبات (نترات).
- عملية النترجة التي تحدث في التربة تحدث أيضا في نظام الزراعة الأحيومائية.
- أهم جزء في الزراعة الأحيومائية هي البكتيريا، ولا يمكن مشاهدتها بالعين المجردة.
- العوامل الرئيسة للحفاظ على البكتيريا صحية هي درجة حرارة الماء، ودرجة الحموضة، والأكسيجين المذاب، وتوافر مساحة كافية لنمو البكتيريا.
- أنظمة الزراعة الأحيومائية الناجحة في حالة توازن. معدل نسب التغذية (feed rate ratio) هي الخط التوجيهي الرئيس لتحقيق التوازن بين كمية أعلاف الأسماك ومساحة زراعة النباتات، والتي تقاس بوحدة (غراما من العلف/يوم/متر^2 مساحة زراعة النباتات).
- نسبة معدل تغذية الخضراوات الورقية هي: (40–50 غراما/م^2/اليوم)، أما الخضراوات الثمريّة فنسبتها (50–80 غراما/م^2/اليوم).
- المراقبة الصحية اليومية للأسماك والنباتات ستعطي نتائج عن التوازن في النظام، فالمرض، ونقص التغذية، والموت هي أعراض نظام غير متوازن.
- اختبار المياه يوفر معلومات عن توازن النظام، فارتفاع الأمونيا أو النتريت يشير إلى عدم كفاية الترشيح الحيوي، وانخفاض النترات يشير إلى وجود العديد من النباتات، وكذلك وجود نسبة غير كافية من الأسماك. كما أن زيادة النترات مرغوب فيه، ويشير إلى وجود وفرة في العناصر الغذائية الكافية للنباتات، على الرغم من ذلك فإنه يجب تغيير الماء عندما يصل مستوى النترات إلى أكثر من 150 ملغم/لتر.

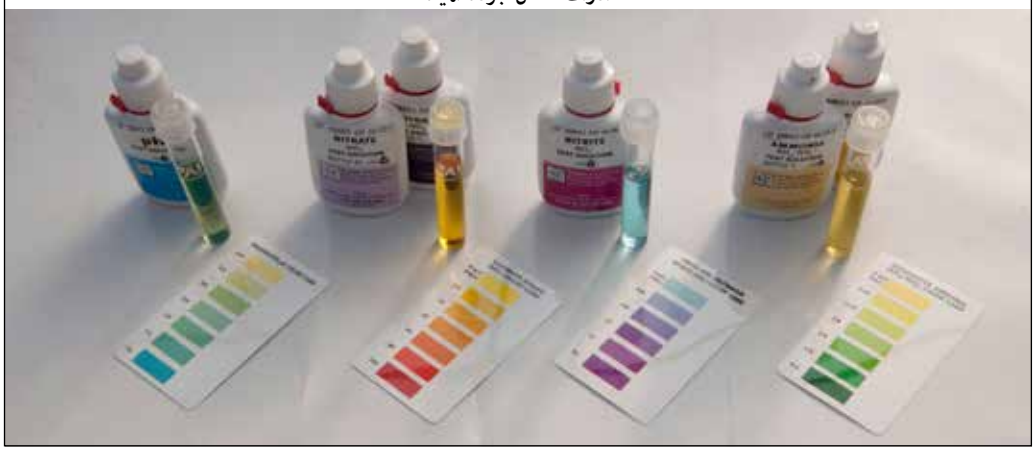
3. جودة المياه في الزراعة الأحيومائية

يتناول هذا الفصل المفاهيم الأساسية لإدارة المياه داخل نظام الزراعة الأحيومائية. فيبدأ بإطار وملحوظات عن نوعية المياه وجودتها لإنتاج الغذاء الناجح من الزراعة الأحيومائية. ثم يتطرق إلى عناصر جودة المياه الرئيسة بالتفصيل. ويتعرضُ كذلك إلى مناقشة طرق التحكم في إدارة هذه العناصر، لا سيما فيما يتعلق بمصادر المياه عندما يتم تجديد وحدة الزراعة الأحيومائية.

الماء هو شريان الحياة بالنسبة لنظام الزراعة الأحيومائية. وهو الوسط الذي يتم من خلاله نقل جميع العناصر الغذائية الدقيقة الأساسية للنباتات. والوسط الذي من خلاله تحصل الأسماك على الأكسيجين. وبهذا فهو واحد من أهم النقاط التي يجب فهمها فهما جيدا في هذا النظام، والتعامل معها بوعي تام. ولمزيد من الفهم في هذا الجانب ستتم مناقشة خمسة عناصر رئيسة لجودة المياه، وهي: الأكسيجين المذاب (DO)، ودرجة الحموضة (pH)، ودرجة الحرارة، ومجموع النتروجين، وقلويّة الماء. وكل عنصر من هذه العناصر له تأثير على جميع الكائنات الثلاثة في الوحدة: (الأسماك – النباتات – البكتيريا)، وفهم الآثار الناتجة عن كل عنصر هو أمر ذو أهمية. ورغم أن بعض جوانب المعرفة حول كيمياء المياه اللازمة للزراعة الأحيومائية تبدو معقدة، إلا أن إدارتها الفعلية بسيطة نسبيا بمساعدة أدوات اختبار جودة المياه البسيطة (الشكل 1.3). اختبار جودة المياه يبقى مهما لتوفير نوعية جيدة للمياه في النظام.

الشكل 1.3

أدوات فحص جودة المياه

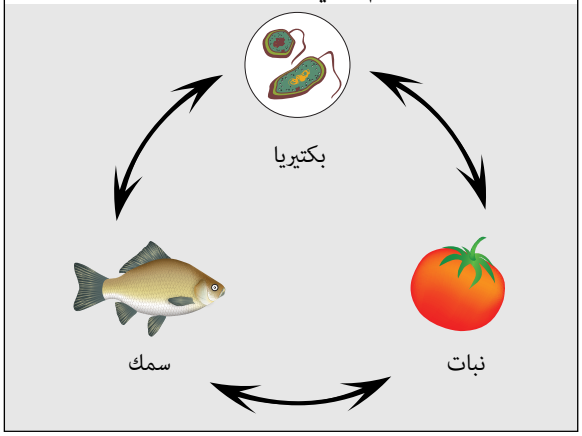


1.3 العمل ضمن مجموعة التسامح لكل كائن حي

كما نوقش في الفصل الثاني من هذا الدليل فإن الزراعة الأحيومائية ترتكز في المقام الأول على موازنة النظام البيئي لكل المجموعات الثلاث من الكائنات الحية: الأسماك، والنباتات، والبكتيريا (الشكل 2.3)، وكل كائن في وحدة الزراعة الأحيومائية لديه نطاق محدد لتحمل التغير في كل عنصر من عناصر جودة المياه (الجدول 1.3). ورغم أن نطاقات التحمل تتشابه نسبيا لجميع الكائنات الثلاثة، إلا أن هناك حاجة إلى حل وسط، وبالتالي بعض الكائنات الحية قد لا تعمل بالمستوى الأمثل.

الشكل 2.3

النظام البيئي للزراعة الأحيومائية



الجدول 1.3

مدى تحمل الأسماك (المياه الدافئة أو المياه الباردة) ونباتات الزراعة المائية والبكتيريا الآزوتية لعناصر جودة المياه

نوع الكائن	درجة الحرارة (°م)	pH	الأمونيا (ملغم/لتر)	النتريت (ملغم/لتر)	النترات (ملغم/لتر)	الأكسيجين المذاب (ملغم/لتر)
أسماك المياه الدافئة	32–22	8,5–6	3>	1>	400>	6–4
أسماك المياه الباردة	18–10	8,5–6	1>	0,1>	400>	8–6
نباتات	30–16	7,5–5,5	30>	1>	–	3<
بكتيريا	34–14	8,5–6	3>	1>	–	8–4

ويوضح الجدول (2.3) الحل الوسط الأمثل لعناصر جودة المياه المهمة في الزراعة الأحيومائية. ويتضح أن أهم عنصرين لتحقيق التوازن، هما: درجة الحموضة، ودرجة الحرارة. ومن المستحسن أن يتم الاحتفاظ بالرقم الهيدروجيني عند مستوى وسط بين الحمضية والقلوية (6–7)، أو أن يكون حامضيا قليلا.

الجدول 2.3

العناصر المثالية للزراعة الأحيومائية كحل وسط للكائنات الثلاثة

نوع الكائن	درجة الحرارة (°م)	pH	الأمونيا (ملغم/لتر)	النتريت (ملغم/لتر)	النترات (ملغم/لتر)	الأكسيجين المذاب (ملغم/لتر)
الزراعة الأحيومائية	30–18	7–6	1>	1>	150–5	5<

أما نطاق درجات الحرارة عموماً فيتراوح بين 18 و30°م، وينبغي أن تدار مع الأخذ في الاعتبار أنواع الأسماك المستهدفة، أو النباتات المزروعة، بحيث تزدهر البكتيريا خلال هذا النطاق. ومن المهم اختيار الأصناف المناسبة من الأسماك والنباتات، والأنواع التي تتناسب جيداً مع الظروف البيئية. وسيتم وصف درجات الحرارة المثلى للأسماك والنباتات الشائعة في الفصل السابع.

إن الهدف العام هو الحفاظ على النظام البيئي السليم بعناصر جودة المياه التي تلبي متطلبات تربية الأسماك والخضراوات والبكتيريا في وقت واحد. وهناك فترات يحتاج فيها المزارع إلى أن يقوم بمعالجة المياه؛ للتحكم في عناصر الجودة لتلبية هذه المعايير، والحفاظ على النظام لكي يعمل بشكل صحيح.

2.3 أهم المعايير الخمس لنوعية المياه

1.2.3 الأكسيجين

الأكسيجين عنصر ضروريٌ لكل الكائنات الثلاثة المشتركة في الزراعة الأحيومائية: النباتات والأسماك والبكتيريا، فجميعها تحتاج الأكسيجين للعيش. ويصف مستوى الأكسيجين المذاب (DO) كمية الأكسيجين الجزيئي داخل المياه، ويقاس بالملغرام/لتر. يعتبر هذا العنصر من عناصر جودة المياه الخمس، الأكثر تأثيرا آنياً وجذرياً على الزراعة الأحيومائية. وفي الواقع قد تنفق الأسماك خلال ساعات عندما تتعرض لانخفاض في الأكسيجين المذاب داخل خزانات الأسماك. وهكذا فإن ضمان مستويات كافية من الأكسيجين المذاب هو أمر حاسم للزراعة الأحيومائية. وعلى الرغم من أن مراقبة مستويات الأكسيجين المذاب مهمة جدا، فإنه يمكن أن يكون تحدياً حيث إن أجهزة قياس الأكسيجين المذاب الدقيقة قد تكون مكلفة، أو من الصعب الحصول عليها. ولذلك فغالبا ما يكون كافيا في الوحدات الصغيرة الحجم الاعتماد على المراقبة المتكررة لسلوك الأسماك، ونمو النباتات، وضمان استمرارية عمل مضخات الماء والهواء، وتهوية الماء. وتلعب الخبرة المكتسبة دورا مهما في إدارة ذلك.

وعلى الرغم من أن الأكسيجين يذوبُ مباشرة في سطح المياه من الغلاف الجوي، ويمكن للأسماك البقاء على قيد الحياة في هذه المياه في ظل الظروف الطبيعية. إلا أن في نظم الإنتاج المكثف التي تحتوي على كثافة أسماك عالية، فإن هذا الذوبان للأكسيجين الجوي الذي يحدث طبيعياً غير كاف لتلبية حاجة الأسماك والنباتات والبكتيريا؛ وبالتالي يجب استكمال نسبة الأكسيجين المذاب المطلوبة من خلال الاستراتيجيات الإدارية المنهجة. وهناك استراتيجيتان أساسيتان لأنظمة الزراعة الأحيومائية الصغيرة الحجم، وهما: استخدام مضخات المياه؛ لخلق ديناميكية تدفق مستمر للمياه، واستخدام أجهزة التهوية التي تنتج فقاعات الهواء في الماء، وتعتبر حركة المياه

والتهوية من الجوانب الحاسمة في كل وحدة من الزراعة الأحيومائية، ويُوصى بأن تكون مستويات الأكسيجين المذاب المثلى لكل كائن حتى يزدهر هي 5–8 ملغم/لتر (الشكل 3.3). إن بعض الأنواع من الأسماك كسمك الشبّوط والبلطي يمكن أن يتحملا مستويات منخفضة من الأكسجين المذاب والتي قد تصل إلى 2–3 ملغم/لتر، إلا أنه أكثر أماناً أن يتم الاحتفاظ بمستويات أعلى في الزراعة الأحيومائية، حيث إن جميع الكائنات الثلاثة تتطلب استخدام للأكسيجين المذاب في الماء.

والعلاقة الفريدة من نوعها التي توجد بين درجة حرارة المياه والأكسيجين المذاب، يمكن أن تؤثر على إنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية، فكلما ارتفعت درجة حرارة الماء انخفضت نسبة ذوبان الأكسيجين في الماء. وبعبارة أخرى فإن قدرة المياه لاستيعاب الأكسيجين المذاب تقل كلما زادت درجة الحرارة؛ وبالتالي فإن الماء الدافئ يحتوي على نسب أقل من الأكسيجين مقارنة بالماء البارد (الشكل 4.3)، وعلى هذا النحو فمن المستحسن أن يتم زيادة التهوية باستخدام مضخات الهواء في الأماكن الحارة، أو في الأوقات الحارة من العام، وخاصة إذا كانت تربى الأسماك الحساسة في الوحدة.

2.2.3 الأس الهيدروجيني (pH)

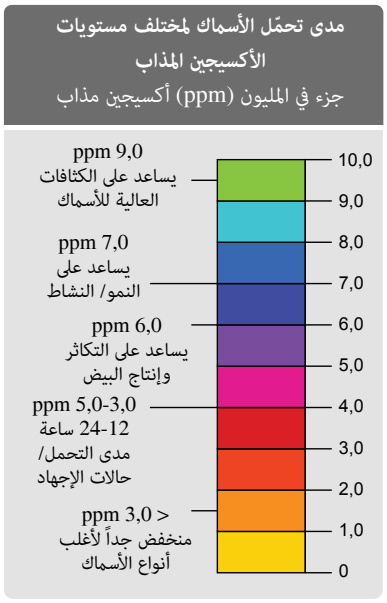
المعرفة العامة حول الحموضة مفيدة لإدارة نظم الزراعة الأحيومائية. والرقم الهيدروجيني للسائل هو مقياس لمدى الحمضية أو القاعدية للمحلول، وهو مقياس يتراوح بين (1–14). ودرجة الحموضة بمعدل (7) تعد محايدة (أي شيء أقل من 7 حامضي، بينما أي شيء فوق 7 فهو قلوي). الرقم الهيدروجيني هو المدى الذي تعرف بواسطته كمية أيونات الهيدروجين (H^+) في المحلول، وكلما زادت أيونات الهيدروجين أصبح المحلول حامضياً أكثر.

ومزيد من المعايير لمقياس الرقم الهيدروجيني هو موضح في الشكل (5.3).

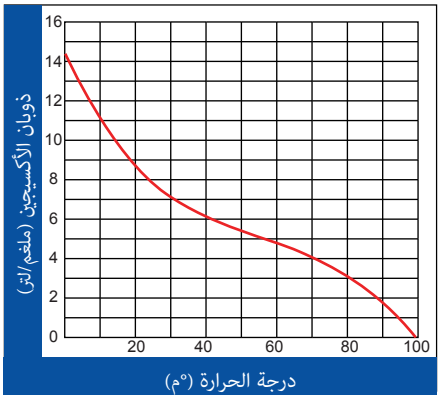
- عندما يكون مقياس الرقم الهيدروجيني سلبيا، فإن الرقم الهيدروجيني (7) لديه أيونات من الهيدروجين أقل من الرقم الهيدروجيني (6).
- عندما يكون مقياس درجة الحموضة لوغاريتمي، فإن الرقم الهيدروجيني (7) لديه عشر مرات أقل أيونات الهيدروجين مقارنة مع درجة الحموضة (6)، ومائة مرة أقل من عند درجة الحموضة (5)، وألف مرة أقل مع الرقم الهيدروجيني (4).

فعلى سبيل المثال، إذا كان الرقم الهيدروجيني الذي تم تسجيله في وحدة الزراعة الأحيومائية هو (7)، وبعد ذلك تم تسجيله عند (8)، فإن المياه أصبحت الآن أقل بعشر مرات من الشوارد الحرة (H^+)؛ لأن المقياس سلبي ولوغاريتمي. ومن المهم أن نكون على بينة حول الطبيعة اللوغاريتمية لمقياس الرقم الهيدروجيني؛ لأنها ليست بديهية بالضرورة. وبالعودة إلى المثال السابق فإذا أظهرت قراءة لاحقة الرقم الهيدروجيني عند (9)، فإن المشكلة ستكون مائة مرة أسوأ من ذلك، وبالتالي فإن الوضع حرج للغاية، بدلا من كونها مجرد أسوأ بضعفين.

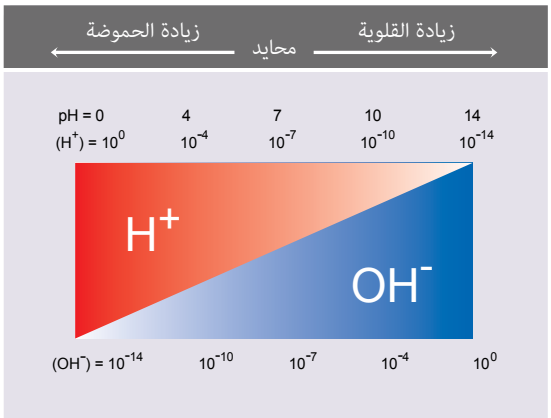
الشكل 3.3
المدى العام لتحمل الأسماك لمختلف مستويات الأكسيجين المذاب



الشكل 4.3
ذوبان الأكسيجين في الماء عند درجات حرارة مختلفة



الشكل 5.3
التمثيل المرئي لمقياس الرقم الهيدروجيني



أهمية الرقم الهيدروجيني

إن للرقم الهيدروجيني للمياه تأثيرا كبيرا على كل جوانب الزراعة الأحيومائية، وخاصة النباتات والبكتيريا. فبالنسبة للنباتات فإن درجة الحموضة تسيطر على مصدر الوصول إلى المغذيات الدقيقة والكبيرة . عند الرقم الهيدروجيني (6,5–6,0) تكون كل العناصر الغذائية متوافرة بسهولة، ولكن خارج هذا النطاق تصبح العناصر الغذائية صعبة الوصول إليها. كما أن الرقم الهيدروجيني (7,5) يمكن أن يؤدي إلى نقص العناصر الغذائية من الحديد والفوسفور والمنغنيز، وتعرف هذه الظاهرة بالقفل (lock-out) بالنسبة للمغذيات التي تبقى خارجا، وسيتم مناقشتها في الفصل السادس من هذا الدليل.

وتواجه البكتيريا الآزوتية صعوبة عندما يكون الأسّ الهيدروجيني أقل من (6)، وتنخفض كذلك مقدرة البكتيريا على تحويل الأمونيا إلى نترات في الحالات التي يكون فيها الماء أكثر حامضياً والرقم الهيدروجيني منخفضا. ويمكن أن يؤدي إلى انخفاض الترشيح الحيوي، ونتيجة لذلك تقل مقدرة البكتيريا على تحويل الأمونيا إلى نترات، عندها يمكن أن تبدأ مستويات الأمونيا في الزيادة، مما يؤدي إلى نظام غير متوازن ومجهد للكائنات الحية الأخرى.

كما ينبغي أن يُفهم جيدا أن لدى الأسماك مدى محدد لدرجة الحموضة أيضاً، إلا أن معظم الأسماك المستخدمة في الزراعة الأحيومائية لديها مدى تحمل للحموضة يتراوح بين 6,0 و 8,5. ومع ذلك فإن درجة الحموضة تؤثر على سُميّة الأمونيا للسمك، وكلما زادت درجة الحموضة أدى ذلك إلى سُمية أعلى. وسيُناقش هذا المفهوم بشكل كامل في القسم (4.3). وكخاتمة، فالمياه المثالية في الزراعة الأحيومائية هي حمضية قليلا، مع نطاق درجة حموضة مثلى (6–7)، وهذا النطاق يحافظ على البكتيريا لكي تعمل بقدرة عالية، بينما يسمح للنباتات بالوصول الكامل إلى جميع المغذيات الصغرى والكبرى. كما أن قيم درجة الحموضة التي تكون بين (7,5–5,5) تتطلب اهتماما في الإدارة والتغيير من خلال الوسائل البطيئة المدروسة، والتي ستناقش في القسم 5.3 وفي الفصل السادس. أما عندما تكون حموضة الماء عند الرقم الهيدروجيني أقل من (5) أو أعلى من (8) فيمكن أن تكون مشكلة خطيرة بالنسبة للنظام البيئي بأكمله، وبالتالي يتطلب الأمر اهتماما فوريا.

وهناك العديد من العمليات الحيوية والكيميائية التي تحدث في نظام الزراعة الأحيومائية التي تؤثر على الرقم الهيدروجيني للمياه، وبعضها أكثر بكثير من الأخرى، بما في ذلك عملية النترجة، وكثافة تخزين الأسماك، والعوالق النباتية.

عملية النترجة

تعمل عملية النترجة الطبيعية التي تقوم بها البكتيريا، على خفض الرقم الهيدروجيني لنظام الزراعة الأحيومائية. وينتج عن ذلك تركيزات ضعيفة من حمض النتريك، حيث تقوم البكتيريا على تحرير أيونات الهيدروجين من خلال تحويل الأمونيا إلى النترات. وعبر الوقت يصبح نظام الزراعة الأحيومائية تدريجيا أكثر حمضية؛ والذي يرجع في المقام الأول إلى النشاط البكتيري.

كثافة تخزين الأسماك

تفرز الأسماك في الماء ثاني أكسيد الكربون (CO_2) عند القيام بعملية التنفس، ويعمل غاز ثاني أكسيد الكربون على التقليل من درجة الحموضة، حيث إنه يتحول بشكل طبيعي إلى حمض الكربونيك (H_2CO_3) عند الاتصال بالماء، وكلما ارتفعت كثافة تخزين الأسماك في الوحدة كانت إفرازات ثاني أكسيد الكربون أكثر، وبالتالي يؤدي ذلك إلى خفض مستوى الرقم الهيدروجيني العام. ويزداد هذا التأثير عندما تكون الأسماك أكثر نشاطا، كما هو الحال عند درجات الحرارة المرتفعة.

العوالق النباتية

إن تنفس الأسماك يقلل من درجة الحموضة عن طريق إطلاق ثاني أكسيد الكربون في الماء، وعلى العكس من ذلك فإن عملية التمثيل الضوئي للعوالق والطحالب والنباتات المائية تعمل على إزالة ثاني أكسيد الكربون من الماء فترفع درجة الحموضة. كما أن تأثير الطحالب على درجة الحموضة يتبع نمطا يومياً، فترتفع درجة الحموضة أثناء النهار كلما قامت النباتات المائية بعملية التمثيل الضوئي وإزالة حمض الكربونيك، ثم تنخفض درجة الحموضة عندما تتنفس النباتات ليلاً وتطلق حمض الكربونيك. ولذلك يكون الرقم الهيدروجيني عند الحد الأدنى ساعة شروق الشمس وعند الحد الأقصى ساعة غروبها. وعادة ما تكون مستويات العوالق النباتية منخفضة في الأنظمة المغلقة (RAS) أو أنظمة الزراعة الأحيومائية، وبالتالي فإن دورة درجة الحموضة اليومية

لا تتأثر. ومع ذلك فإن بعض تقنيات تربية الأحياء المائية، مثل تربية الأحياء المائية في البرك، وبعض تقنيات إكثار الأسماك، تتعمد استخدام العوالق النباتية، ولذلك يجب اختيار وقت المراقبة بحكمة.

3.2.3 درجة الحرارة

تؤثر درجة حرارة الماء على كل جوانب نظم الزراعة الأحيومائية. وبصفة عامة فإن درجات الحرارة التي تتراوح بين 18 و30°م، تعتبر في مستوى جيد. كما أن لدرجة الحرارة تأثير على الأكسيجين المذاب، وكذلك على سُمية الأمونيا (التأيّن)، وتؤدي درجات الحرارة العالية إلى قلة الأكسيجين المذاب والمزيد من تأيّن الأمونيا السامة. ويمكن أيضا لدرجات الحرارة المرتفعة أن تحد من امتصاص الكالسيوم في النباتات؛ ولهذا ينبغي اختيار مزيج من الأسماك والنباتات؛ لتتناسب مع درجة حرارة المحيط لموقع النظام. كما أن عملية تغيير درجة حرارة الماء يمكن أن تستهلك كميات كبيرة من الطاقة، وبذلك تصبح مكلفة جدا. إن أسماك المياه الدافئة (مثل: البُلطي، والشبوط، والسلور) والبكتيريا الآزوتية تزدهر في درجات حرارة المياه العالية و المتراوحة بين 22 و29°م. كما أن بعض الخضراوات الأكثر شعبية، مثل: البامية، والكرنب الآسيوية، والريحان على عكس بعض الخضراوات الشائعة، مثل: الخس، والسلق السويسري، والخيار تنمو بصورة أفضل في درجات الحرارة المنخفضة (18–26°م). إلا أن أسماك المياه الباردة كالسلمون لا تتحمل درجات حرارة أعلى من 18°م. ولمزيد من الإيضاحات حول مدى درجة الحرارة المثلى بالنسبة للنباتات والأسماك، تابع الفصلين السادس والسابع، وراجع كذلك (الملحق 1) للحصول على معلومات عن الزراعة الأساسية لإثني عشر صنفاً من الخضراوات الأكثر شعبية.

على الرغم من أنه من الأفضل اختيار النباتات والأسماك التي تتكيف مع المناخ المحلي، هناك تقنيات إدارية يمكن أن تقلل من تأثير التقلبات في درجات الحرارة، وتطيل موسم الإنتاج. وتكون الأنظمة أكثر إنتاجية إذا كانت التقلبات في درجات الحرارة متدنية على مدار الساعة، ولذلك فإن المياه السطحية في كل خزانات الأسماك والوحدات المائية والمرشحات الحيوية يجب أن تكون محمية من أشعة الشمس باستخدام المظلات. وبالمثل فإن الوحدة يمكن أن تكون محمية حراريا باستخدام العزل ضد درجات الحرارة الباردة التي تحدث ليلا أينما وجدت. كما يمكن أن تتوافر بدائل أخرى بطرق ذاتية لانتقال الحرارة لوحدات الزراعة الأحيومائية باستخدام البيوت المحمية أو الطاقة الشمسية التي تعمل بالأنابيب الزراعية الملفوفة، وهي أكثر فائدة عندما تكون درجات الحرارة أقل من 15°م. وسيتم شرح هذه الأساليب بمزيد من الإيضاح في الفصلين الرابع والتاسع. ومن الممكن أيضا أن تبنى استراتيجية إنتاج الأسماك لتلبية الاختلافات في درجات الحرارة بين الشتاء والصيف، وخاصة إذا كان فصل الشتاء بمتوسط درجات حرارة أقل من 15°م لمدة أكثر من ثلاثة أشهر. وهذا يعني أن الأسماك والنباتات المتكيفة على الأجواء الباردة يتم تربيتها خلال فصل الشتاء، ويتم تغيير النظام بأسماك ونباتات المياه الدافئة عندما ترتفع درجات الحرارة مرة أخرى في فصل الربيع. وإذا لم تجد هذه الأساليب نفعا خلال مواسم الشتاء الباردة، فمن الممكن حصاد الأسماك والنباتات في بداية فصل الشتاء، وإغلاق النظام حتى فصل الربيع. وخلال موسم الصيف مع درجات الحرارة المرتفعة (أكثر من 35°م)، فمن الضروري تحديد الأسماك والنباتات المناسبة للزراعة (انظر الفصلين السادس والسابع)، وتظليل جميع الحاويات ومساحات زراعة النبات؛ للوقاية من أشعة الشمس المباشرة.

4.2.3 مجموع النتروجين: الأمونيا والنتريت والنترات

يعتبر النتروجين العنصر الرابع الحاسم لجودة المياه، حيث تحتاجه كل الكائنات الحية وجزء من كل البروتينات. يدخل النتروجين إلى نظام الزراعة الأحيومائية في الأصل بواسطة أعلاف الأسماك، ويوصف عادة بالبروتين الخام، ويقاس كنسبة مئوية. بعض هذا البروتين يستخدم من قبل الأسماك للنمو، ويتم إطلاق ما تبقى كنفايات بواسطة الأسماك، وتكون هذه النفايات في معظمها على شكل أمونيا (NH_3) أطلقت عن طريق الخياشيم وعلى شاكلة البول، كما يتم إطلاق النفايات الصلبة أيضا، ويتم تحويل البعض منها إلى الأمونيا بواسطة النشاط الميكروبي، ثم نترجة هذه الأمونيا بواسطة البكتيريا، والتي تمت مناقشتها في القسم 1.2، وتحويلها إلى النتريت (NO_2^-) والنترات (NO_3^-). تعد المخلفات النتروجينية سامة للسمك عند تركيزات معينة، وتعتبر الأمونيا والنيتريت أكثر سُمية من النترات بحوالي 100 مرة. وعلى الرغم من أنها سامة للأسماك فإن مركبات النتروجين مغذية للنباتات، بل هي عنصر أساسّي في الأسمدة النباتية. ويمكن استخدام كل أشكال النتروجين (NH_3, NO_2^-, NO_3^-) من قبل النباتات، ويعتبر النترات، إلى حد بعيد الأكثر وصولاً إليها في وحدة الزراعة الأحيومائية، التي تعمل بشكل كامل وبترشيح حيوي كاف. و ينبغي كذلك أن تكون مستويات الأمونيا والنيتريت قريبة من الصفر، أو تتراوح بين 0,25 و 1,0 ملغم/لتر على الأكثر. ويجب أن تقوم البكتيريا الموجودة في المرشح الحيوي بتحويل جميع الأمونيا والنيتريت تقريبا إلى نترات قبل أن يحدث أي تراكم.

آثار الأمونيا العالية

الأمونيا سامة للأسماك، ويمكن أن تظهر أعراضُ التسمم بالأمونيا على البُلطي والشبوط عند مستويات منخفضة مثل 1,0 ملغم/لتر، وعند التعرض لفترات طويلة عند أو فوق هذا المستوى سيسبب ذلك أضرارا في الجهاز العصبي المركزي للأسماك والخياشيم؛ مما سيؤدي إلى فقدان التوازن وضعف التنفس والتشنجات. ويمكن إجمال الأضرار التي تلحق بالخياشيم بالآتي: غالبا ما تظهر كاحمرار والتهاب في الخياشيم، وتحد من الأداء الصحيح للعمليات الفسيولوجية الأخرى؛ مما يؤدي إلى قمع نظام المناعة والموت في نهاية المطاف. وتشمل الأعراض الأخرى الشرائط الحمراء على الجسم والخمول واللهث على سطح الماء بحثاً عن الهواء. أما عندما تتعرض الأسماك لمستويات أعلى من الأمونيا فإن آثارا عديدة تحدث بسرعة، وتؤدي إلى الوفاة الفورية، مع الأخذ في الاعتبار أن المستويات الأقل سُمية وعلى فترات طويلة قد تؤدي إلى إجهاد الأسماك، وزيادة حالات المرض، وفقدان المزيد من الأسماك.

وكما ذكر أعلاه فإن سُمية الأمونيا تعتمد في الواقع على كلٍّ من درجة الحموضة، ودرجة الحرارة، حيث إن ارتفاع درجة الحموضة ودرجة حرارة الماء تجعل الأمونيا أكثر سُمية. كيميائياً، يمكن للأمونيا أن توجد في الماء على شكلين: المتأينة، والنقابية. وهذان الشكلان معاً يشكلان مجموع النتروجين والنشادر (TAN)، كما أن عُـدة اختبار جودة المياه غير قادرة على التمييز بين الاثنين. وفي الظروف الحمضية ترتبط الأمونيا مع أيونات الهيدروجين الزائدة (انخفاض الرقم الهيدروجيني يعني تركيزا عاليا في أيونات الهيدروجين (H^+) فتصبح أقل سُمية)، ويسمى هذا الشكل بالأمونيا المتأينة. وفي الحالات البسيطة تكون درجة الحموضة العالية، فوق (7)، وهذا يعني أنه لا يوجد ما يكفي من أيونات الهيدروجين فتبقى الأمونيا في أكثر حالاتها السامة. وحتى عند مستويات منخفضة من الأمونيا يمكن أن تكون مجهدة للأسماك، وفي ظروف المياه الدافئة فإن هذه المشكلة تتفاقم.

وينخفض بشكل كبير نشاط البكتيريا الآزوتية عند المستويات العالية من الأمونيا، علما بأن الأمونيا يمكن استخدامها كعامل مضاد للجراثيم. وعلى مستويات أعلى من 4 ملغم/لتر ستمنع وتقلل بشكل كبير من فعالية البكتيريا الآزوتية، ويمكن أن يؤدي هذا إلى تدهور الوضع بشكل كبير عندما تطغى الأمونيا على المرشح البيولوجي، وتموت البكتيريا وترتفع نسبة الأمونيا أكثر.

آثار النتريت العالية

يعتبر النتريت (NO_2^-) مادة سامة للأسماك، وعلى غرار الأمونيا يمكن أن تنشأ مشاكل صحية للأسماك عند التركيزات المنخفضة التي تصل إلى 0,25 ملغم/لتر. كما أن المستويات العالية من (NO_2^-) يمكن أن تؤدي على الفور إلى نفوق الأسماك بشكل سريع. مرة أخرى يمكن للمستويات المنخفضة والتي تستمر لفترة طويلة أن تؤدي إلى زيادة إجهاد الأسماك فالمرض ثم الموت.

وتمنع المستويات السامة من (NO_2^-) نقل الأكسيجين داخل مجرى الدم في الأسماك، ويتسبب في تحويل الدم إلى لون الشوكولاتة البني والتي تعرف أحيانا باسم (مرض الدم البني)، ويمكن رؤية هذا التأثير في خياشيم الأسماك أيضا. وتتأثر الأسماك بأعراض مشابهة لتسمم الأمونيا، لا سيما عندما تظهر الأسماك بأنها تعاني من الحرمان من الأكسيجين (oxygen deprived)، تشاهد الأسماك تلهث على السطح حتى في الماء الذي به تركيز عال من الأكسيجين المذاب. وسيتم تغطية صحة الأسماك بمزيد من التفصيل في الفصل السابع من هذا الدليل.

آثار النترات العالية

النتراتُ أقل سُمية بكثير من الأشكال الأخرى كالنتروجين، وهو أكثر شكل من أشكال النتروجين وصولاً للنباتات. وإنتاج النترات هو الهدف من وجود المرشح الحيوي، ويمكن للأسماك أن تتحمل مستويات تصل إلى 300 ملغم/لتر من النترات. كما أن هناك أنواعا من الأسماك تتحمل حتى 400 ملغم/لتر. إن المستويات العالية (> 250 ملغم/لتر) سيكون لها تأثير سلبي على النباتات؛ مما يؤدي إلى نمو النباتات بشكل مفرط والتراكم الخطر للنترات في أوراق النباتات، وهو أمر خطير على صحة الإنسان، ويُوصى بالحفاظ على مستويات النترات من 5 إلى 150 ملغم/لتر، وتغيير المياه عندما تصبح المستويات أعلى من هذا.

5.2.3 عسر الماء

عسر الماء هو العنصر الأخير لجودة المياه، وهناك نوعان رئيسان من العسر المائي: العسر الدائم، وعسرالكربونات (صلابة الكربونات)، أما العسر الدائم فهو قياس الأيونات الموجبة في الماء. عسر الكربونات، المعروف أيضا باسم القلوية، وهو مقياسٌ لقدرة احتفاظ الماء بمعدل حموضة مستقر. ليس لدى النوع الأول

من الصلابة تأثير كبير على عملية الزراعة الأحيومائية، ولكن صلابة الكربونات لديها علاقة فريدة من نوعها مع الرقم الهيدروجيني، وتستحق مزيدا من التوضيح.

العسر الدائم

العسر الدائم هو كمية الكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنيسيوم (Mg^{2+}) وإلى حد أقل أيونات الحديد (Fe^{+}) الموجودة في الماء. ويقاس بأجزاء من المليون (أي ما يعادل ملغم/لتر). وتوجد تركيزات عالية من العسر الدائم في مصادر الماء، مثل: طبقات المياه الجوفية الموجودة على الحجر الجيري، أو قيعان الأنهار. والحجر الجيري هو في الأساس متكوّن من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)، وكل من أيونات (Ca^{2+}) و(Mg^{2+}) هي مواد مغذية مهمة، ويتم امتصاصها من قبل النباتات عندما تتدفق المياه من خلال مكونات الزراعة المائية. ومياه الأمطار لديها نسبة عسر منخفضة؛ لأن هذه الأيونات لاتوجد في الغلاف الجوي، كما أن الماء العسر يمكن أن يكون مصدراً مفيداً للمغذيات الصغيرة (الدقيقة) للزراعة الأحيومائية، ولا يوجد لديه آثار صحية على الكائنات الحية. في الحقيقة إن وجود الكالسيوم في المياه يمكن أن يمنع الأسماك من فقدان الأملاح الأخرى، ويؤدي إلى أسماك أكثر صحة.

صلابة الكربونات أو القلوية

صلابة الكربونات هي النسبة الإجمالية من الكربونات (CO_3^{2-}) والبيكاربونات (HCO_3^{-}) الذائب في الماء، ويقاس أيضا بالملليغرام من كربونات الكالسيوم (CaCO3) للتر الواحد. وبشكل عام فإن صلابة الكربونات في الماء (KH) مرتفعة عند مستويات تصل إلى 121–180 ملغم/لتر، والمياه التي يكون مصدرها آبار الحجر الجيري، أو طبقات المياه الجوفية عادة ما تكون صلابة الكربونات فيها عالية عند مستويات تتراوح بين 50 و 180 ملغم/لتر.

إن لصلابة الكربونات (KH) في الماء تأثير على مستوى الرقم الهيدروجيني، وببساطة تعد الكربونات بمثابة منطقة عازلة أو مقاومة لانخفاض درجة الحموضة (Buffer). إن تواجد الكربونات والبيكربونات في الماء يقوم على ربط أيونات (H^{+}) التي تطلق من قبل أي حامض، وبالتالي إزالة هذه الأيونات (H^{+}) من المياه؛ ولذلك فإن درجة الحموضة تبقى ثابتة حتى مع زيادة أيونات جديدة من (H^{+}) من الحمض إلى الماء. وهذه المقاومة المؤقتة لصلابة الكربونات مهمة؛ لأن التغيرات السريعة في درجة الحموضة مجهدة للنظام البيئي وللزراعة الأحيومائية بأكملها. وتقوم عملية النترجة على إنتاج حمض النيتريك (HNO_3)، كما نوقش في القسم (2.2.3)، والذين انفصلا في المياه إلى عنصرين، أيونات الهيدروجين (H^{+}) والنترات (NO_3^{-})، والذي يستخدم كمصدر للمواد المغذية للنباتات، ومع ذلك فإن صلابة الكربونات لا تؤدي إلى رفع المعدل الحمضي للماء، وإذا لم تكن هناك أية كربونات وبيكربونات موجودة في المياه سينخفض الرقم الهيدروجيني بسرعة في وحدة الزراعة الأحيومائية، وكلما زاد تركيز صلابة الكربونات في الماء، زادت فترة مقاومته لدرجة الحموضة؛ للحفاظ على استقرار النظام ضد التحمّض الناجم عن عملية النترجة.

ويصف الجزء التالي هذه العملية بمزيد من التفصيل، وهي عملية معقدة إلا أنه من المهم أن يفهم الممارسون للزراعة الأحيومائية أن المياه المتاحة بطبيعة الحال تكون عسرة، كما في مناطق الحجر الجيري، أو صخر الأساس أو الطباشير، حيث يصبح التحكم في درجة الحموضة جزءا مهماً من إدارة الوحدة. ويتضمن القسم (5.3) على تقنيات محددة للتحكم في درجة الحموضة. الملخص الذي يلي الوصف الموسع ستدرج ما هو ضروري لجميع الممارسين معرفته فيما يخص الصلابة.

وكما تمت الإشارة سابقا، فإن النترجة الثابتة في وحدة الزراعة الأحيومائية تنتج حامض النيتريك، ويزيد من عدد أيونات الهيدروجين (H^{+}) التي من شأنها أن تقلل من درجة الحموضة في المياه. وفي حالة عدم وجود الكربونات أو البيكربونات؛ للتخفيف من أيونات (H^{+}) في المياه، فإن درجة الحموضة تنخفض بسرعة، حيث يتم إضافة المزيد من أيونات (H^{+}) في الماء. أما الكربونات والبيكربونات فكما هو مبين في الشكل (6.3) تترابط مع أيونات الهيدروجين (H^{+}) الذي تم إطلاقه من حمض النيتريك، وتحافظ على درجة الحموضة ثابتة

الشكل 6.3

ترابط أيونات الهيدروجين والكربونات

H_2CO_3	=>	HCO_3^{-}	+	H^{+}	&	HCO_3^{-}	+	H^{+}
(الحمض الكربوني)		(بيكربونات)		(هيدروجين حر)		(بيكربونات)		(هيدروجين حر)

عن طريق الموازنة بين الفائض من الهيدروجين (H^+) مع حمض الكربونيك، وهو حمضٌ ضعيفٌ جدا. أما أيونات الهيدروجين (H^+)، فتبقى مرتبطة بالمركب وغير حرة في الماء. ويظهر الشكل (7.3)، تفاصيل أكثر لعملية الترابط الذي يحدث مع حامض النيتريك.

الشكل 7.3
البيكربونات وارتباط حمض النيتريك في الزراعة الأحيومائية

HNO_3	+	HCO_3^-	=>	H_2CO_3	+	NO_3^-
(حمض النيتريك)		(بيكربونات)		(الحمض الكربوني)		(نترات)

ومن الضروري بالنسبة للزراعة الأحيومائية، أن بعض تركيزات صلابة الماء تتوافر في جميع الأوقات؛ حتى يمكنها تحييد الأحماض الناتجة بشكل طبيعي والحفاظ على ثبات درجة الحموضة. وبدون مستوى كاف من صلابة المياه يمكن أن تتعرض الوحدة لتغيرات سريعة في درجة الحموضة، والتي يكون لها الآثار السلبية على النظام كله لا سيما السمك. إن تجديد وحدة الإنتاج بالمياه من هذه المصادر سيعمل على تجديد مستويات صلابة المياه، ومع ذلك فمياه الأمطار منخفضة في صلابة الكربونات، وفي النظم التي تغذى بمياه الأمطار يعتبر مفيدا إضافة مصادر خارجية من الكربونات، كما هو موضح أدناه.

ملخص النقاط الأساسية حول عسر الماء

العسر العام هو قياس الأيونات الموجبة، وخاصة الكالسيوم والمغنيسيوم.

وصلابة الكربونات تقيس تركيز الكربونات والبيكربونات التي تقاوم الرقم الهيدروجيني (خلق مقاومة ضد تغير درجة الحموضة)، أما صلابة الكربونات فهي مقياس لصلابة المياه كما هو مبين أدناه:

يتراوح المستوى الأمثل لكلا النوعين من الصلابة للزراعة الأحيومائية بين 60 و140ملغم/لتر. وليس من الضروري التحقق من هذه المستويات في الوحدة، ولكن من المهم أن تكون لدى المياه المستخدمة لتجديد ماء الوحدة، تركيزات كافية من صلابة الماء؛ حتى يستمر تحييد حمض النيتريك المنتج أثناء عملية النترجة، وللتخفيف من درجة الحموضة، والحفاظ عليها عند مستواه الأمثل (6–7).

تصنيف صلابة المياه	ملغم/لتر
ناعم	0–60 ملغم/لتر
متوسط الصلابة	60–120 ملغم/لتر
صلب	120–180 ملغم/لتر
صلب جدا	> 180 ملغم/لتر

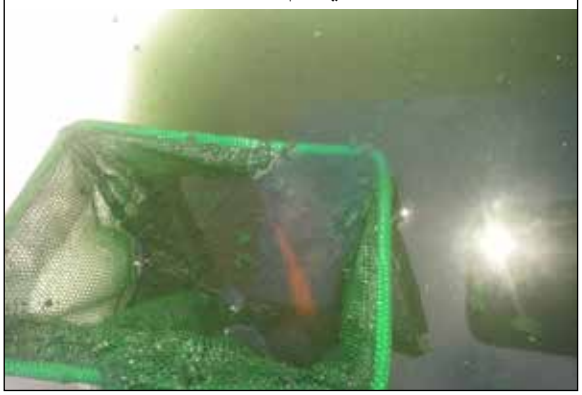
3.3 المكونات الرئيسة الأخرى لجودة المياه: الطحالب، والطفيليات

1.3.3 نشاط التمثيل الضوئي للطحالب

يؤثر نشاط التمثيل الضوئي والنمو للطحالب في وحدات الزراعة الأحيومائية على عناصر جودة المياه كمستويات الحموضة والأكسيجين المذاب والنتروجين. والطحالب فئة من الكائنات الضوئية التي تشبه النباتات، وتنمو بسهولة في أية هيئة من المياه الغنية بالمواد الغذائية المتعرضة لأشعة الشمس. وبعض الطحالب هي كائنات مجهرية وحيدة الخلية تدعى العوالق النباتية، والتي يمكن أن تحوّل لون الماء إلى اللون الأخضر (الشكل 8.3)، والطحالب الكبيرة هي أكبر من ذلك بكثير، وتشكل عادة حصيراً من الخيوط التي تعلق بقيعان وجوانب أحواض الأسماك، كما هو موضح في (الشكل 9.3).

والمهم في الزراعة الأحيومائية هو أن يمنع نمو الطحالب؛ لأنها مشكلة لعدة أسباب. فهي: تستهلك المواد المغذية في الماء، وتتنافس مع الخضار المستهدفة. وبالإضافة إلى ذلك تعمل كأداة لتصريف الأكسيجين المذاب، حيث تعمل على إنتاج الأكسيجين خلال النهار من خلال عملية التمثيل الضوئي، وتستهلك الأكسيجين في الليل أثناء التنفس، ويمكن أن تقلل بشكل كبير من مستويات الأكسيجين المذاب في الماء في الليل؛ مما قد يتسبب في نفوق الأسماك. ويرتبط هذا الإنتاج والاستهلاك للأكسيجين بإنتاج واستهلاك ثاني أكسيد الكربون، الذي يسبب التغيرات اليومية في درجة الحموضة؛ وذلك لأن حمض الكربونيك إما أن تتم إزالته (خلال النهار – ارتفاع درجة حموضة المياه) أو إعادته (خلال الليل – انخفاض درجة حموضة المياه) إلى النظام. وأخيرا يمكن للطحالب الخيطية أن تسد المصارف والمرشحات داخل الوحدة؛ مما يؤدي إلى مشاكل توزيع المياه. كما يمكن للطحالب الخيطية ذات اللون البني أن تنمو على جذور النباتات المائية، وخاصة في الزراعة المائية العميقة، ويؤثر ذلك سلبا على نمو النباتات. ومع ذلك تستفيد بعض أنشطة تربية الأحياء المائية بشكل كبير من عمليات زراعة الطحالب للتغذية، ويشار إلى هذه التقنية بالتربية في المياه الخضراء، بما في ذلك تربية أسماك البُلطي، والجمبري، وإنتاج وقود الديزل الحيوي، ولكن هذه المواضيع لا ترتبط مباشرة بالزراعة الأحيومائية، ولن تتم مناقشتها هنا.

الشكل 8.3
نمو الطحالب في نظام الزراعة الأحيومائية



الشكل 9.3
طحالب تنمو على الأنبوب البلاستيكي

إن تجنب الطحالب هو سهل نسبيا. فيجب أن تكون جميع المسطحات المائية مظللة، وينبغي أن تستخدم الأقمشة، وسعف النخيل المنسوجة، أو الأغطية البلاستيكية في تغطية أحواض الأسماك والمرشحات الحيوية بظل القماش، بحيث لايكون الماء في اتصال مباشر مع أشعة الشمس، وهذه الطريقة ستمنع الطحالب من الازدهار في الوحدة.

2.3.3 الطفيليات والبكتيريا والكائنات الصغيرة الأخرى التي تعيش في الماء

إن وحدة الزراعة الأحيومائية هي نظام بيئي يتألف أساسا من الأسماك والبكتيريا الآزوتية والنباتات. ومع مرور الوقت قد يكون هناك العديد من الكائنات الحية الأخرى المساهمة في هذا النظام البيئي، وبعضُ هذه الكائنات الحية قد تكون مفيدة، مثل ديدان الأرض، حيث تسهل تحلل مخلفات الأسماك، أما البعض الآخر فقد يكون غير خطير (لا يساعد ولا يضر بالنظام)، مثل مختلف القشريات التي تعيش في المرشح البيولوجي، أو البعض الآخر منها قد يشكل تهديداً للنظام. وبما أن وحدة الزراعة الأحيومائية ليست معقمة تماماً، فإنه من المستحيل تجنب الطفيليات والآفات والبكتيريا. إن السلوك الإداري الحسن لمنع هذه التهديدات الصغيرة من أن تصبح خطيرة هو أن تنمو الأسماك والنباتات في بيئة صحية خالية من الإجهاد عن طريق ضمان درجة عالية من الظروف الهوائية مع ضمان وصول الأحياء المائية المستزرعة إلى جميع العناصر الغذائية الأساسية، وبهذه الطريقة يمكن للكائنات الحية درء العدوى أو المرض باستخدام جهاز المناعة الصحية الخاص بها. والفصلان السادس والسابع سيناقشان الإدارة الإضافية للأسماك والنباتات لحمايتها من الأمراض، وسيغطي الفصل الثامن سلامة الغذاء والتهديد الحيوي بمزيد من التفاصيل.

4.3 مصادر المياه للزراعة الأحيومائية

في المتوسط يستخدم نظام الزراعة الأحيومائية من 1–3 في المائة من الكمية الكلية للمياه في اليوم الواحد، ويعتمد ذلك على نوع النباتات التي سيتم زراعتها وعلى الموقع، وتستخدم المياه من قبل النباتات من خلال التبخر الطبيعي، حيث يتم الاحتفاظ به داخل الأنسجة، كما يتم فقدان كميات إضافية من الماء عن طريق التبخر المباشر أو الرش. وعلى هذا النحو ستحتاج الوحدة إلى أن يتم تعويض الفاقد من الماء دوريا. إن مصدر المياه المستخدمة سيكون له تأثير على كيمياء المياه في الوحدة، وفيما يلي وصفٌ لبعض القواسم المشتركة لمصادر المياه الشائعة والتركيب الكيميائي الأكثر شيوعا في تلك المياه، حيث يجب أن تُختبر مصادر المياه الجديدة؛ لمعرفة درجة الحموضة، والصلابة، والملوحة، والكلور، وأية ملوثات أخرى؛ لضمان مياه آمنة للاستخدام.

وهنا فمن المهم أن نأخذ في الاعتبار عنصرا آخر مهما بالنسبة لجودة المياه وهو الملوحة، فالملوحة تشير إلى تركيز الأملاح في الماء، والتي تشمل ملح الطعام كلوريد الصوديوم (NaCl)، وكذلك المغذيات النباتية، والتي هي في الحقيقة أملاح. إن مستويات الملوحة سيكون لها تأثير كبير عند اختيار المياه التي سيتم استخدامها؛ لأنه يمكن للملوحة العالية أن تؤثر سلبا على إنتاج الخضار، لا سيما إذا كانت من مصدر كلوريد الصوديوم، ويعد الصوديوم ساما للنباتات. ويمكن قياس ملوحة المياه بواسطة جهاز قياس الموصلية الكهربائية (EC) أو جهاز قياس مجموع المواد الصلبة الذائبة (TDS) أو جهاز الإنكسار (refractometer)، أو مقياس ثقل السائل النوعي، أو يمكن للعاملين الرجوع إلى التقارير الحكومية المحلية حول نوعية المياه، ويتم قياس الملوحة إما بالموصلية الكهربائية (الناقلية الكهربائية)، أو كمية الكهرباء التي ستمر من خلال المياه

كوحدات الميكروسيمنز (microSiemens) لكل سنتيمتر (ميكروسيمنز/سم)، أو جهاز قياس مجموع المواد الصلبة الذائبة (TDS) بأجزاء في الألف (ppt) أو أجزاء في المليون (ppm) أو ملغم/لتر. وتجدر الإشارة إلى أن لدى مياه البحر موصلية كهربائية تقدر ب 50 000 ميكروسيمنز/سم (µS/cm) و35 جزءا في الألف (35 000 جزء في المليون) مجموع المواد الصلبة الذائبة (TDS). وعلى الرغم من أن تأثير الملوحة على نمو النباتات يختلف اختلافا كبيرا بين النباتات (القسم 2.4.9، الملحق 1)، فمن المستحسن أن يتم استخدام مصادر مياه ذات ملوحة منخفضة. وعموما فإن الملوحة تكون عالية جداً إذا كان لدى مصادر المياه خاصية موصلية أكثر من 1 500 ميكروسيمنز/سم، أو تركيز المواد الصلبة الذائبة أكثر من 800 جزء في المليون. ورغم أن الموصلية الكهربائية (EC) ومجموع المواد الصلبة الذائبة (TDS) تستخدم عادة في الزراعة المائية لقياس النسبة الإجمالية من الأملاح المغذية في المياه، وأدوات القياس هذه لاتوفر قراءة دقيقة لمستويات النترات، التي يمكن أن يتم مراقبتها بشكل أفضل بعدة اختبار النتروجين (nitrogen test kit).

1.4.3 مياه الأمطار

تعتبر مياه الأمطار التي يتم جمعها مصدرا جيدا للمياه المستعملة في نظام الزراعة الأحيومائية. وعادة ما يكون الرقم الهيدروجيني (pH) لهذا الماء محايدا، وبه تركيزات منخفضة جدا لكلا النوعين من العسر الدائم وعسر الكربونات. وكذلك تقترب نسبة الملوحة في هذه المياه من الصفر، وهو الأمثل لتجديد النظام وتجنب تجمع الأملاح على المدى البعيد. ولكن في بعض المناطق المتضررة من الأمطار الحمضية كما هو مسجل في عدد من الأحيان في شرق أوروبا، وشرق الولايات المتحدة الأمريكية، وجنوب شرق آسيا فإن الرقم الهيدروجيني (pH) لمياه الأمطار حمضي. وإجمالا فإن من الممارسات الجيدة لمقاومة الحمضية في مياه الأمطار، وزيادة القلوية كما هو مبين في القسم (3.5.2). بالإضافة إلى أن تجميع مياه الأمطار سيقلل من التكاليف التشغيلية العامة للوحدة، وأنها أكثر استدامة.

2.4.3 الخزانات، أو المياه الجوفية

إن نوعية المياه المأخوذة من الآبار أو الخزانات الجوفية يعتمد إلى حد كبير على مواد صخر الأساس لطبقة المياه الجوفية. فإذا كان الأساس هو الحجر الجيري فلربما يكون في الماء تركيزات عالية من العسر، والتي قد يكون لها تأثير على الرقم الهيدروجيني للمياه. أما صلابة المياه فهي ليست مشكلة رئيسة في الزراعة الأحيومائية؛ لأن القلوية تُستهلك بشكل طبيعي بواسطة حمض النيتريك الذي تنتجه البكتيريا الآزوتية. أما إذا كانت مستويات العسر عالية جدا وعملية النترجة عند الحد الأدنى؛ وذلك بسبب أن الكتلة الحيوية للأسماك صغيرة، فإن هذا سيؤدي إلى أن تبقى المياه قاعدية نسبياً (درجة الحموضة 7–8) ومقاومة للميل الطبيعي لأنظمة الزراعة الأحيومائية، لتصبح حمضية من خلال دورة النترجة وتنفس الأسماك. وفي هذه الحالة قد يكون من الضروري استخدام كميات صغيرة جدا من الحمض؛ للحد من القلوية قبل إضافة الماء إلى النظام، من أجل منع تقلبات درجة الحموضة داخل النظام. كما أن المياه العذبة في طبقات المياه الجوفية في الجزر المرجانية غالبا ما تتأثر بالمياه المستملحة على المياه العذبة، ويمكن أن ترفع مستويات الملوحة لدرجات عالية جداً للزراعة المائية التكاملية. لذلك فتجميع مياه الأمطار ضروري أو ما يعرف بترشيح التناضح العكسي للماء (reverse osmosis)، كما يمكن أن تكون من الخيارات المفضلة.

3.4.3 مياه الإمدادت المنزلية

تعالج غالبا مياه إمدادات المنازل بالمواد الكيميائية المختلفة وذلك من أجل تعقيمها، والمواد الكيميائية الأكثر شيوعا في المعالجة هي الكلور والكلورامينات. وتعتبر هذه المواد الكيميائية التي تستخدم لقتل البكتيريا في الماء، سامة للأسماك والنباتات والبكتيريا. وعلى هذا النحو فهي تضر بصحة النظام البيئي للزراعة الأحيومائية بشكل عام. ولكن هناك أدوات متوافرة لاختبار وقياس نسبة الكلور في الماء، وإذا ما أشار اختبار الكلور إلى مستويات عالية، فعندئذ يجب معالجة المياه قبل استخدامها. وأبسط طريقة للمعالجة هي تخزين الماء قبل الاستخدام، وبالتالي إتاحة الفرصة لجميع الكلورالتبدد في الغلاف الجوي. ويمكن أن تستغرق هذه العملية ما يزيد عن 48 ساعة، ولكن يمكن أن يحدث هذا بشكل أسرع إذا تم تهوية الماء بواسطة حجارة تذويب الهواء بشكل قوي، علما بأن الكلورامينات هي أكثر استقرارا ولا تتبدد بسهولة. وفي حالة استخدام الكلورامينات في مياه الإمداد المنزلي، فقد يكون من الضروري استخدام المواد الكيميائية في تقنيات المعالجة مثل الترشيح الفحمي، أو المواد الكيميائية الأخرى المعالجة للكلور. وحتى في ظل هذه الظروف فعادة ما تكفي نسبة تبديد الكلور في الوحدات صغيرة الحجم عندما تستخدم مياه الإمدادات المنزلية. والمبدأ التوجيهي الجيد هو أن لا يتم تغيير الماء بنسبة أكثر من

10 في المائة دون اختبار وإزالة الكلور أولا. أضف إلى ذلك أن نوعية المياه تعتمد على صخر الأساس لمصدر المياه الأولي؛ ولذلك يجب التحقق من مصادر المياه الجديدة لمعرفة مستويات صلابة ودرجة الحموضة، واستخدم الحمض إذا كان ذلك مناسبا وضروريا للحفاظ على درجة الحموضة ضمن المستويات المثلى المشار إليها أعلاه.

4.4.3 الماء المرشح

تعتمد نسبة إزالة معظم المعادن والأيونات من الماء على نوع الترشيح (أي التناضح العكسي أو الترشيح الكربوني)، حيث يتم إزالة معظم المعادن والأيونات خلال عملية الترشيح؛ مما يجعل المياه آمنة جدا للاستخدام، وسهلة نسبيا للتحكم. كما أن الماء الناتج عن عملية التناضح العكسي منزوع الأيونات مثل مياه الأمطار، لديه مستويات صلابة منخفضة، ولذلك ينبغي المحافظة عليها من التغير.

5.3 التحكم في درجة الحموضة

هناك طرقٌ بسيطة لمعالجة درجة الحموضة في وحدات الزراعة الأحيومائية، ففي المناطق التي بها صخر جيري أو صخر الأساس الطباشيري، غالبا ما تكون درجة حموضة المياه الطبيعية مرتفعة؛ لذلك قد يتطلب الأمر إضافة الحمض بشكل دوري؛ و ذلك لخفض درجة الحموضة. أما في مناطق صخر الأساس البركاني، فغالبا ما تكون المياه يسرة وليست عسرة، ومنخفضة القلوية، مما يدل على أنها تحتاج إلى إضافة دورية للمحاليل القاعدية، أو مقاومتها بكربونات تضاف إلى الماء؛ لمواجهة التحمّض الطبيعي لوحدة الزراعة الأحيومائية. ويلزم أيضا إضافة المحاليل القاعدية والمقاومة للحموضة للأنظمة المعتمدة على مياه الأمطار.

1.5.3 خفض درجة الحموضة بواسطة الحمض

تكون مياه الزراعة الأحيومائية حمضية بشكل طبيعي؛ وذلك بسبب النترجة وعملية التنفس. ولكن مع الوقت تنخفض مستويات الحموضة في كثير من الأحيان إلى النطاق المستهدف.

ومع ذلك فقد يكون من الضروري إضافة الحمض إذا كان مصدر المياه ذا خاصية قلوية ورقم هيدروجيني عالٍ، بالإضافة إلى نسبة التبخر العالية. في هذه الحالات الاستثنائية فإن كمية المياه التي تستخدم لإعادة إمداد النظام هي ما سيدفع الرقم الهيدروجيني للارتفاع فوق النطاقات المثلى بما يتغلب على التحمّض الطبيعي. إن إضافة الحمض ضرورية إذا كانت كمية الأسماك المخزنة في النظام غير كافية لإنتاج ما يكفي من الإفرازات لدفع عملية النترجة، وبالتالي رفع التحمض الناتج عن ذلك. وفي هذه الحالات فإن هذا الإمداد من المياه سيؤدي إلى إعادة عامل مقاومة الكربونات، كما أن إنتاج الحمض الطبيعي لن يكون كافياً ليتفاعل مع عامل المقاومة، وبالتالي ستنخفض درجة الحموضة، وعند ذلك سيتم فقط بإضافة الحمض إذا كان مصدر المياه عسرا جدا وقاعديا، وإذا لم تتوافر مياه الأمطار التي يمكن أن تمد النظام بمياه خالية من القلوية لمساعدة البكتيريا الآزوتية على أن تقوم بشكل طبيعي بخفض درجة الحموضة.

إن إضافة الحمض إلى نظام الزراعة الأحيومائية غير خطر، إلا أن الخطورة تكمن في أنه في البداية يتفاعل مع عوامل المقاومة لدرجة الحموضة (buffers) دون ملاحظة أي تغيير في درجة الحموضة، وبالتالي يُضاف المزيد والمزيد من الحمض دون ملاحظة أي تغيير في درجة الحموضة، وفي الأخير تتفاعل جميع عوامل المقاومة لدرجة الحموضة بشكل كبير، بما يؤدي في كثير من الأحيان إلى صدمة قوية ضاغطة على النظام.

ومن الممارسات الأفضل – إذا كان من الضروري – هي إضافة الحمض لمعالجة خزان تموين المياه بالحمض، ثم المياه المعالجة للنظام (الشكل 10.3)، وهذا يزيل الخطر عن النظام إذا تم استخدام حمضاً كثيرا. وينبغي دائما أن يضاف الحمض إلى إمدادات المياه الجديدة، كما يجب أخذ العناية القصوى بحيث لا يتم إضافة الحمض بنسبة عالية في النظام. وإذا كان النظام قد تم تصميمه بخط إمداد مياه تلقائي فقد يكون من الضروري إضافة الحمض مباشرة إلى النظام، ولكن سيتم مضاعفة مقدار الخطر على النظام.

الشكل 10.3

فحص مستوى حموضة الماء (pH) باستخدام مقياس رقمي

الشكل 11.3
الحمض الفوسفوري (H_3PO_4 بتركيز 85%) لخفض درجة حموضة الماء (pH)

الشكل 12.3
إضافة أصداف بحرية موضوعة في كيس شبكي لإطلاق الكربونات في وحدة الزراعة الأحيومائية

يمكن استخدام حمض الفوسفوريك (H_3PO_4) لخفض درجة الحموضة. ويعرف حمض الفوسفوريك بأنه حامض معتدل نسبيا، ويمكن العثور على النوعية الصالحة للاستهلاك البشري (food-grade) من محلات الزراعة المائية ومحلات الأدوات الزراعية تحت أسماء تجارية مختلفة. ويعد الفوسفور من المغذيات الكبيرة المهمة للنباتات، ولكن الإفراط من هذ الحامض يمكن أن يؤدي إلى تركيزات سامة من الفوسفور في النظام. أما في حالات التعامل مع مصادر مياه عسرة للغاية وقاعدية فيتم استخدام حمض الكبريتيك (H_2SO_4)، وباعتبار خاصية التآكل لدى هذه المادة فسيرتفع معدل الخطر على النظام؛ لذا لا ينصح باستخدامه للمبتدئين. حمض النتريك (HNO_3) تم أيضاً استخدامه بوصفه حمض محايد نسبيا. كما يتم أيضاً استخدام حامض الستريك، في حين أنه مغرٍ للاستخدام إلا أنه مضاد للميكروبات، ويمكن أن يقتل البكتيريا في المرشح الحيوي؛ لذا لا ينبغي أن يُستخدم حمض الستريك. إن الأحماض المركزة خطيرة على النظام والمشغل؛ لذا ينبغي استخدام احتياطات السلامة المناسبة بواسطة استخدام أدوات السلامة كالنظارات الواقية والقفازات (الشكل 11.3). وكقاعدة عامة يجب الأخذ بها دوما؛ نظراً لخاصية تفاعل الأحماض مع الماء، هي: عدم إضافة الماء للحمض بل إضافة الحمض دائما للمياه.

2.5.3 زيادة درجة الحموضة بمعامل المقاومة أو القاعدية

في حالة إنخفاض مستوى الرقم الهيدروجيني إلى أقل من 6,0، فمن الضروري إضافة محلول قاعدي و/ أو زيادة العسر الكربوني. والمحاليل القاعدية الأكثر شيوعا هي هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) وهيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$). إن هذه المحاليل القاعدية قوية، ويجب أن تضاف بنفس الطريقة التي تضاف بها الأحماض، كما ينصح دائما بتغيير الرقم الهيدروجيني ببطء. ولكن الحل الأكثر أمنا والأسهل هو إضافة كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)، أو كربونات البوتاسيوم (K_2CO_3)، الأمر الذي سيزيد على حد سواء معدل القلوية ودرجة الحموضة. وهناك العديد من المصادر الطبيعية وغير المكلفة من كربونات الكالسيوم التي يمكن أن تضاف إلى النظام، وتشتمل هذه المصادر على مسحوق قشر البيض، ومسحوق الصدف الناعم، والحصى الجيري الخشن، ومسحوق الطباشير. والطريقة الموصى بها هي وضع المواد في كيس مساميّة معلقة في خزان الحوض، كما في الشكل (12.3). ويجب مواصلة اختبار درجة الحموضة في الأسابيع القليلة التي تلي هذه العملية لرصد الزيادة في الرقم الهيدروجيني، ثم تتم إزالة الكيس إذا كان الرقم الهيدروجيني يزيد عن 7. وعوضاً عن ذلك قم بإضافة حفنتين أو ثلاث حفنات من هذه المواد لكل 1000 لتر، إما مباشرة في المثبتات أو في المرشح البيولوجي. وفي حالة استخدام الصدف كن متأكداً من غسل وإزالة الأملاح المتبقية قبل إضافة هذه المواد إلى النظام. إن اختيار القاعدية ومعامل المقاومة يمكن أيضا أن يكون مدفوعا بنوع النباتات التي تنمو في النظام، حيث إن كلا من هذه المركبات تعمل على إضافة المغذيات الكبيرة المهمة. ويمكن أيضا للخضراوات الورقية أن تفضل قواعد الكالسيوم؛ لتجنب الحروق على طرف الأوراق، بينما البوتاسيوم هو الأمثل لنباتات الثمار، ويعمل لصالح تكوّن الإزهار، وتشكل وثبات الثمار والنضج

الأمثل لها. وكثيرا ما تستخدم بيكربونات الصوديوم (صودا الخبز)؛ لزيادة صلابة الكربونات في الأنظمة المغلقة، ولكن لا ينبغي أبداً أن تستخدم في الزراعة الأحيومائية؛ بسبب الزيادة الناتجة من الصوديوم، والتي تضر بالنباتات.

6.3 اختبار المياه

من أجل الحفاظ على نوعية مياه جيدة في وحدات الزراعة الأحيومائية، فمن الأنسب إجراء اختبارات للمياه مرة واحدة في الأسبوع؛ للتأكد من أن جميع العناصر ضمن المستوى الأمثل. ومن حسن الطالع أن وحدات الزراعة الأحيومائية الناضجة سيكون لديها ثبات في كيمياء المياه، وليست هناك حاجة لفحصها في كثير من الأحيان، وفي هذه الحالات تجرى اختبارات المياه فقط إذا تم الاشتباه بوجود مشكلة. وتبقى المراقبة الصحية اليومية للأسماك والنباتات التي تنمو في الوحدة مؤشرا عن حالة المياه ونوعيتها. ولكن هذه الطريقة ليست دائما بديلاً مناسبا عن اختبار المياه.

لذا يُنصح بشدة توفير أدوات قياس المياه لكل وحدة من وحدات الزراعة الأحيومائية. وتتوافر مجموعات من أدوات اختبار المياه العذبة التي تعطي رموزاً ملونة وسهلة الاستخدام (الشكل 13.3). وتشمل مجموعات الاختبارات هذه كاشفات لهذه العناصر: قياس درجة الحموضة، والأمونيا، والنتريت، والنترات، والعسر الدائم، وعسر الكربونات. ويتم عند إجراء كل فحص بإضافة 5 ملليلتر من ماء الزراعة الأحيومائية إلى الكاشف، وكل اختبار من هذه الاختبارات لا يستغرق أكثر من خمس دقائق. وتشمل الأساليب الأخرى أجهزة القياس الرقمية للحموضة أو للنترات (مكلفة نسبيا ودقيقة جدا) أو شرائط اختبار المياه وهي أرخص ومتوسطة الدقة الشكل (14.3).

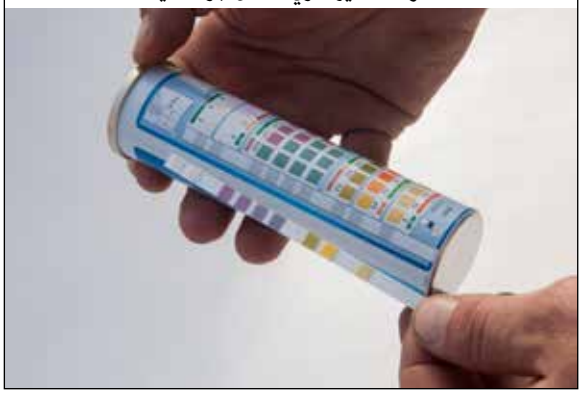
الشكل 13.3

أدوات فحص المياه العذبة لدرجة الحموضة (pH)،

والأمونيا، والنترات والنتريت. يتم تحديد القيم من خلال مقارنة لون مياه الاختبار مع البطاقة المرجعية

الشكل 14.3

أشرطة الترميز اللوني لفحص جودة المياه



أهم الاختبارات التي يتم إجراؤها أسبوعيا هي درجة الحموضة، والنترات، وصلابة الكربونات، ودرجة حرارة الماء. وذلك لأن هذه النتائج ستبين ما إذا كان النظام في حالة توازن أم لا. كما يحسن تسجيل النتائج لكل أسبوع في دفتر تدوين بحيث يمكن رصد الاتجاهات والتغيرات طوال موسم الزراعة. كما أن اختبار الأمونيا والنيتريت هو أيضا مفيد للغاية من أجل تشخيص المشاكل في الوحدة، وخصوصا في الوحدات الجديدة، أو إذا زاد نفوق السمك بحيث تثير المخاوف من السُّمية في النظام. وعموما، ليست هناك ضرورة للمراقبة الأسبوعية في الوحدات الناضجة، إلا أنها يمكن أن توفر مؤشرات قوية جدا عن مدى تحويل البكتيريا للمخلفات السمكية وصحة المرشح البيولوجي. إن اختبار الأمونيا والنترات هي الخطوة الأولى التي يجب إجراؤها إذا تم ملاحظة أي مشاكل مع السمك أو النباتات.

7.3 ملخص الفصل

- الماء هو شريان الحياة لنظام الزراعة الأحيومائية. وهذه هي الوسيلة التي تحصل من خلالها النباتات على العناصر الغذائية، وتحصل من خلالها الأسماك على الأكسيجين. ومن المهم جدا أن نفهم نوعية المياه والكيمياء الأساسية للمياه؛ من أجل الإدارة السليمة لوحدة الزراعة الأحيومائية.
- هناك خمسة عناصر رئيسة لجودة المياه في الزراعة الأحيومائية: الأكسيجين المذاب (DO)، ودرجة الحموضة (pH)، ودرجة حرارة المياه، ومجموع تركيزات النتروجين وصلابته، وقلويّة الماء. كما أن معرفة الآثار المترتبة عن كل عنصر من هذه العناصر على الأسماك والنباتات والبكتيريا هو أمر في غاية الأهمية.
- يتم إجراء حلول وسط بالنسبة لبعض عناصر المياه لتلبية احتياجات كل كائن حي في الزراعة الأحيومائية.
- يتراوح الهدف لمعدل عناصر جودة المياه كما يلي:

درجة الحموضة (pH)	7–6
درجة حرارة الماء	30–18°م
الأكسيجين المذاب	8–5 ملغم/لتر
الأمونيا	0 ملغم/لتر
النتريت	0 ملغم/لتر
النترات	150–5 ملغم/لتر
عسرالكربونات (صلابة الكربونات)	140–60 ملغم/لتر

- هناك طرق بسيطة لضبط درجة الحموضة. ففي المحاليل القاعدية، يمكن أحيانا إضافة الأحماض بكميات صغيرة في الماء؛ من أجل زيادة أو خفض درجة الحموضة على التوالي. وينبغي دائما أن تضاف الأحماضُ والقواعد بكميات بسيطة، وبعناية واهتمام؛ من أجل رفع أو خفض معدل الحموضة. ويمكن أن تستخدم مياه الأمطار بدلا من ذلك للسماح للنظام بشكل طبيعي بخفض درجة الحموضة من خلال البكتيريا الآزوتية المستهلكة لقلوية النظام. أما كربونات الكالسيوم من الصخر الجيري، والصدف، أو قشر البيض فتزيد من صلابة الكربونات، وتقاوم أو تحافظ على درجة الحموضة ضد التحمّض الطبيعي.
- بعضُ جوانب المعرفة بجودة المياه وكيمياء المياه اللازمة للزراعة الأحيومائية يمكن أن تكون معقدة، لا سيما العلاقة بين درجة الحموضة والعُسر، ولكن يمكن إجراء اختبارات المياه الأساسية؛ لتبسيط إدارة جودة المياه.
- اختبار الماء ضروري للحفاظ على نوعية المياه الجيدة في النظام، واختبار وتسجيل عناصر جودة المياه لكل أسبوع أيضا ضروري، لكل من: درجة الحموضة، و درجة حرارة المياه، والنترات، وصلابة الكربونات (عسر الكربونات)، مع الأخذ في الاعتبار أن فحص معدلات الأمونيا والنيتريت ينبغي أن يجرى خصوصا عند بدء تشغيل النظام، وكذلك إذا كان نفوق الأسماك غير طبيعي مثير للمخاوف المترتبة على السُّمية.

4. تصميم وحدات الزراعة الأحيومائية

سيناقشُ هذا الفصل الجانب النظري وتصميم نظم الزراعة الأحيومائية. وهناك العديد من جوانب التصميم التي يجبُ أخذها بعين الاعتبار، لأن كل العوامل البيئية والحيوية تقريباً لها تأثير على النظام البيئي للزراعة الأحيومائية. كما أن الهدف من هذا الفصل هو تقديم هذه الجوانب بالطريقة التي يمكن فهمها بصورة أفضل، وتقديم شرح دقيق لكل مكوّن داخل وحدة الزراعة الأحيومائية.

سيناقش القسم (1.4) العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار موقع لوحدة الزراعة الأحيومائية، بما في ذلك: أشعة الشمس، والرياح، والتعرّض للمطر، ومتوسط درجة الحرارة، وغيرها من العوامل الأخرى. وسيناقش القسم (2.4)، مكوّنات الزراعة الأحيومائية العامة الأساسية لطرق الزراعة الأحيومائية، بما في ذلك: مضخات حوض الأسماك، والماء، والهواء، والمرشح الحيوي، وطريقة نمو النباتات، والسباكة، والمواد المرتبطة بها. ثم ستتم مناقشة عنصر الزراعة المائية بمزيد من التفصيل، مع التركيز على الأساليب الثلاثة الأكثر شيوعاً واستخداماتها في الزراعة الأحيومائية، وهي طريقة وسائط نمو النباتات (الأشكال 1.4–5.4)، وطريقة تقنية غشاء المغذيات (NFT) (الأشكال 6.4–9.4)، وتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) (الأشكال 10.4–13.4).

الطريقة	المختصر	أسماء أخرى	اسم المساحة المخصصة للزراعة	القسم المعني في هذا الدليل
الزراعة بتقنية المياه العميقة	DWC	الطوافات العائمة	القناة – الحوض	3.4
الزراعة بتقنية غشاء المغذيات	NFT		أنابيب	4.4
وسائط النمو	غير موجود	الجسيمات	وسائط نمو – سرير/ صينية	5.4

الشكل 1.4

رسم توضيحي لوحدة سرير وسائط النمو على نطاق صغير

ثم سيستعرض نوعا معينا من الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) بكثافة أسماك منخفضة، وسيتم إدراج جدول للموجز النهائي لكل طريقة؛ من أجل المقارنة بين هذه الأساليب الثلاثة.

ويهدف هذا الفصل أيضا إلى شرح مكونات الوحدة الأساسية ومختلف طرق الزراعة الأحيومائية. ولمزيد من المعلومات حول نسب الأحجام والتصميم لمكونات الوحدة المختلفة، يرجى الإطلاع على الفصل (8)، والذي يوفر تفصيلا أكثر بالمعلومات، والأرقام، ومخطط التصميم اللازم لتصميم وبناء وحدات الزراعة الأحيومائية الصغيرة الحجم، بالإضافة إلى ذلك، يحتوي الملحق (8) على دليل كامل يشرح جميع المراحل اللازمة لبناء نسخة صغيرة الحجم من الطرق الثلاث الموضحة في هذا الفصل، باستخدام المواد المتاحة على نطاق واسع.

الشكل 2.4

مثال على وحدة سرير وسائط النمو تم تجميعها حديثا باستخدام حاويات السوائب الوسيطة

الشكل 3.4

نبات القلقاس (*Colocasia esculenta*) ينمو في وحدة سرير وسائط النمو ذو حجم شبه تجاري، تم إنشاؤها من الخشب المبطن ببطانة البولي إيثيلين

الشكل 4.4

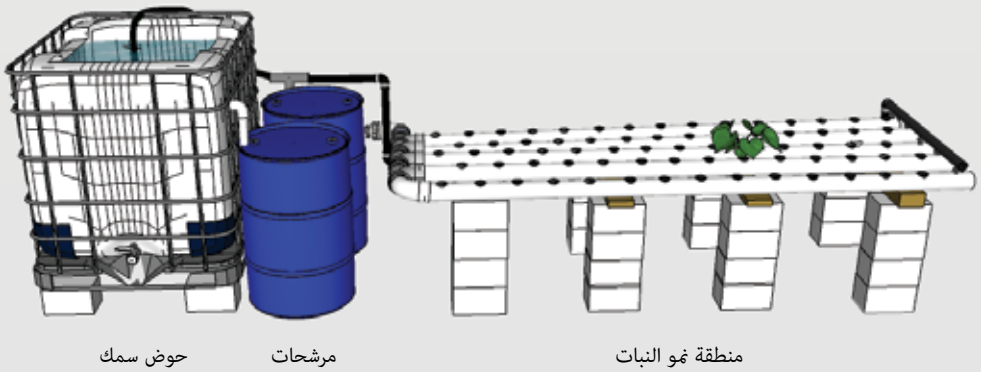
نمو الخضراوات المورقة في وحدة سرير وسائط النمو في الفناء الخلفي

الشكل 5.4

وحدة سرير وسائط النمو مزروعة بالفلفل الحار (*Capsicum* spp.)

الشكل 6.4

رسم توضيحي لوحدة على نطاق صغير تعمل بتقنية غشاء المغذيات



الشكل 7.4

نبتة البقدونس (*Petroselinum* sp.) تنمو في وحدة على نطاق صغير تعمل بتقنية غشاء المغذيات

الشكل 8.4

مزارعان يهتمان بزراعة نبات الطماطم في وحدة تقنية غشاء المغذيات، والأكواب الشبكية مصنوعة من الزجاجات البلاستيكية المعاد تدويرها مع ثقوب في أسفل الكوب

الشكل 9.4

وحدة تقنية غشاء المغذيات باستخدام المساحة الأفقية

الشكل 10.4
رسم توضيحي لوحدة صغيرة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة

الشكل 11.4
نباتات الخس تنمو في وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة

الشكل 12.4
أصناف متعددة من نباتات الخس تنمو في وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة

الشكل 13.4
جذور نبات الكالي (*Brassica* sp.) تنمو في وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة

1.4 اختيار الموقع

يعتبر اختيار الموقع أمرا مهما يجب مراعاته قبل إنشاء وحدة الزراعة الأحيومائية. ويشير هذا القسم عموما إلى وحدات الزراعة الأحيومائية التي أنشئت في الهواء الطلق دون استخدام البيوت المحمية، ومع ذلك فإن هناك تعليقات موجزة عن البيوت الزراعية المحمية، وشباك التظليل، والهياكل للوحدات الكبيرة. فمن المهم أن نتذكر أن بعض مكونات النظام، وخاصة الماء وحجارة وسائط نمو النباتات ثقيلة ويصعب نقلها؛ لذلك يستحسن بناء النظام في المكان النهائي، وينبغي أن تكون المواقع منتقاة على سطح مستقر ومستوٍ في منطقة محمية من حالات الطقس الشديدة، وفي الوقت نفسه يجب التأكد من أن هذه المنشآت تتعرض لأشعة الشمس الكثيرة.

1.1.4 الاستقرار

تأكد من اختيار الموقع المستقر والمستوي؛ لأن بعض المكونات الرئيسة لنظام الزراعة الأحيومائية ثقيلة الوزن؛ مما يؤدي إلى مخاطر محتملة ناتجة عن انغماس عوامد النظام في الأرض، كما يمكن أن يؤدي ذلك إلى تعطيل تدفق المياه والفيضانات أو انهيار كارثي، ومن هنا قم بالبحث من بين المواقع المتاحة عن موقع مستوٍ ذي أرضية صلبة، والألواح المصنوعة من الخرسانة مناسبة، ولكن لا تسمح لأي من المكونات بأن تدفن في الأرض، حيث يمكن أن يؤدي بروز الأشياء على سطح الأرض إلى مخاطر التعثر، وإذا ما تم بناء النظام على التربة فمن المفيد أن يتم تسوية التربة، ووضع مواد للتقليل من نمو الأعشاب الضارة عليها. بالإضافة إلى ذلك قم بوضع الكتل الخرسانية أو الأسمنت تحت أرجل أحواض وسائط نمو النباتات؛ لتحسين الاستقرار، وغالبا ما تستخدم حجارة الكسارة لتسوية استقرار مواقع التربة. علاوة على ذلك فمن المهم أن توضع أحواض الأسماك على قاعدة، وهذا سيساعد على توفير الاستقرار، وحماية الأحواض. كما يجب وضع مساحة تحت الأحواض لأعمال السباكة والصرف من قاع الأحواض، وعزل الأحواض حراريا من الأرض.

2.1.4 التعرض للرياح والأمطار والثلوج

يمكن أن تعمل الظروف البيئية القاسية على التأثير على النباتات وتدمير الهياكل (الشكل 14.4)، كما يمكن للرياح السائدة القوية أن تؤثر بشكل سلبي وقوي على الإنتاج النباتي، وأن تسبب ضررا على السيقان والأجزاء المنتجة. بالإضافة إلى ذلك يمكن للأمطار القوية أن تضرّ بالنباتات والمقابس الكهربائية غير المحمية، كما يمكن للأمطار الغزيرة أن تخفف من المغذيات الذائبة في المياه، و أن تُغرق النظام إذا لم يتم دمج آلية التخلص من الماء الزائد في الوحدة. ويسبب الثلج أيضا نفس المشاكل الناتجة عن الأمطار الغزيرة، مع تهديد إضافي آخر وهو البرد. فمن المستحسن أن يوضع النظام في منطقة محمية من الرياح، لاسيما إذا كانت الأمطار الغزيرة شائعة الحدوث. وقد يكون مجدياً حماية النظام بطوق من البلاستيك، على الرغم من أن هذا قد لا يكون ضروريا في جميع المواقع.

الشكل 14.4
وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة، تأثرت بسبب تساقط الثلوج

3.1.4 التعرض لأشعة الشمس والظل

أشعة الشمس أمر بالغ الأهمية بالنسبة للنباتات، وعلى هذا النحو تحتاج النباتات لتلقي الكمية الأمثل من ضوء الشمس أثناء النهار. وتنمو معظم النباتات الشائعة في الزراعة الأحيومائية بشكل جيد في ظروف الشمس الكاملة، ولكن مع ذلك فإذا كان ضوء الشمس كثيفا جداً يمكن تركيب هيكل الظل البسيط على صينية/سرير وسائط نمو النباتات. كما أن بعض النباتات حساسة لأشعة الشمس، مثل: الخس، وسلطة الخضر، وبعض أنواع الملفوف، فهي تأخذ الكثير من أشعة الشمس وتنقلها إلى البذور وتصبح مريرة وغير مستساغة. كما يمكن تكييف النباتات المدارية الأخرى على أرضية الغابة (Jungle floor) مثل: الكركم، وبعض نباتات الزينة التي قد تحترق أوراقها عندما تتعرض لأشعة الشمس المفرطة، كما أنها تنمو بشكل أفضل عند زراعتها في الظل. من ناحية أخرى ومع أشعة الشمس غير الكافية يمكن لبعض النباتات أن تشهد معدلات نمو بطيئة، ويمكن تجنب هذا الوضع عن طريق وضع وحدة الزراعة الأحيومائية في مكان مشمس. أما إذا كانت المنطقة الظليلة هي الموقع الوحيد المتوافر، فمن المستحسن غرس الأنواع التي تتحمل الظل.

وينبغي تصميم الأنظمة للاستفادة من حركة الشمس عندما تنتقل من الشرق إلى الغرب. عموما ينبغي ترتيب أسرّة الزراعة مكانياً بحيث يكون الضلع الأطول على محور الشمال والجنوب، وهذا سيسمح بالإستفادة من الشمس بكفاءة أكثر خلال النهار. أما إذا كانت نسبة الضوء المنخفضة هي المفضلة فلابد من توجيه الأسرة والأنابيب والقنوات إلى محور الشرق والغرب. ويجب أيضا الأخذ في الاعتبار متى وأين تتكون الظلال التي تعبر الموقع الذي تم اختياره، وكن حذرا في ترتيب النباتات بحيث لا تقوم النباتات عن غير قصد بتظليل الواحدة للأخرى، ومع ذلك فمن الممكن استخدام النباتات طويلة الساق من أجل تظليل النباتات الحساسة من الضوء

الشكل 15.4
مواد تظليل (زرقاء) تقلل من ضوء الشمس على حوض الأسماك

وخصوصاً بعد الظهر، عن طريق وضع النباتات طويلة الساق في الجانب الغربي أو توزيعها بشكل متناثر.

على عكس النباتات فإن الأسماك لا تحتاج لأشعة الشمس المباشرة، ومن المهم لأحواض الأسماك أن تكون في الظل. وعادة مايتم تغطية أحواض الأسماك بمادة قابلة للإزالة يتم وضعها فوق الحوض (الشكل 15.4)، ومع ذلك فحيثما كان ذلك ممكنا فمن الأفضل عزل أحواض الأسماك باستخدام هيكل تظليل منفصل؛ فذلك سيمنع نمو الطحالب، (انظر الفصل 3). وستساعد على الحفاظ على درجة حرارة الماء مستقرة خلال النهار. ومن المهم منع أوراق الشجر والفضلات العضوية من دخول أحواض الأسماك، حيث يمكن للأوراق المتحللة أن تعمل على تلوين المياه، وتؤثر كيميائياً على المياه، وتسد الأنابيب. ويضاف إلى ذلك أن أحواض الأسماك قد تكون عرضة للحيوانات المفترسة، وللوقاية من كل هذه التهديدات يستخدم التظليل الشبكي أو أي نوع من التظليل على حوض الأسماك والمصايد.

4.1.4 المرافق، والأسوار وسهولة الوصول إلى الموقع

عند اختيار الموقع من المهم النظر في توافر المرافق العامة، كالمنافذ الكهربائية؛ نظراً للحاجة لمضخات الماء والهواء، وينبغي أن تكون هذه المنافذ محمية من المياه، ومجهزة بجهاز المتبقية المتداولة (RCD)؛ وذلك للحد من خطر حدوث صدمة كهربائية. ويمكن شراء محولات (RCD) من المتاجر العادية، إضافة إلى ذلك فإنه ينبغي أن يكون الوصول إلى مصدر الماء سهل، سواء أكانت من مجمعات مياه الأمطار، أو من مياه شبكة المنازل. وبالمثل يجب النظر في طريقة تصريف المياه المستخدمة في الوحدة، فعلى الرغم من أن هذا النظام ذو كفاءة عالية في استخدام المياه، إلا أن أنظمة الزراعة الأحيومائية تتطلب أحيانا تغييرا للمياه، وتحتاج المرشحات أو المنقيات إلى أن تُغسل أو تُـشطف. ومن المستحسن أن تغرس بعض نباتات التربة في مكان قريب من الوحدة؛ كي تستفيد من هذه المياه المصرّفة. ويجب أن يكون النظام موجوداً في موقع يسهل الوصول إليه يوميا، وذلك للمراقبة المتكررة والتغذية اليومية. وأخيرا يجب النظر فيما إذا كان لابد من وضع سياج حول الوحدة أم لا. كما قد تكون، في بعض الأحيان، السياج والتسوير مطلوبٌة، وذلك لمنع السرقة والتخريب والآفات الحيوانية، وكذلك لتأمين بعض قواعد سلامة الأغذية.

5.1.4 اعتبارات خاصة: الزراعة الأحيومائية على أسطح البنايات والمساكن

إن أسطح المساكن في كثير من الأحيان هي مواقع مناسبة للزراعة الأحيومائية؛ لأنها مستوية ومستقرة، ومعرضة لأشعة الشمس (الأشكال 16.4–18.4). وعند بناء النظام على السطح فإنه من الأهمية بمكان، النظر في الوزن الكلي للنظام وهل قدرة السقف على تحمل هذا الوزن؟ ولذا فلا بد من التشاور مع مهندس معماري، أو مهندس مدني قبل عملية البناء. بالإضافة إلى ذلك يجب التأكد من أن المواد التي ستستعمل يمكن أن يتم نقلها بشكل آمن وفعال إلى الموقع على السطح.

الشكل 16.4
وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة سرير وسائط النمو على سطح مبنى

6.1.4 البيوت المحمية وهياكل التظليل

إن البيوت المحمية (Greenhouse) ليست ضرورية لوحدات الزراعة الأحيومائية صغيرة الحجم، ولكنها قد تكون مفيدة في تمديد موسم النمو في بعض المناطق (الشكلين 19.4–20.4). وهذا صحيح على وجه الخصوص في المناطق المعتدلة وغيرها من المناطق الباردة في جميع أنحاء العالم. والبيوت المحمية

الشكل 17.4
أنظمة متعددة للزراعة الأحيومائية على سطح مبنى

الشكل 18.4
أصناف متعددة من الخضار تنمو على سطح مبنى في نظام تقنية غشاء المغذيات

يمكن أن تستخدم للحفاظ على درجة حرارة الماء دافئة خلال الأشهر الباردة، وبالتالي السماح للإنتاج على مدار العام.

تكون البيوت المحمية مبنية من إطار من الخشب أو المعدن أو من البلاستيك، ويغطيها النايلون الشفاف والبلاستيك أو الزجاج. والغرض من هذا الهيكل هو السماح لأشعة الشمس (الإشعاع الشمسي) بالدخول إلى البيت المحمي واحتباس الحرارة فيه، ومن ثم الاحتفاظ بها حتى تبدأ بتسخين الهواء داخل البيت المحمي (الاحتباس الحراري). وعندما تبدأ الشمس بالظهور يتم الاحتفاظ بالحرارة في البيت المحمي بواسطة السقف والجدران، الذي من شأنه جعل درجة حرارة الهواء أكثر دفئاً وأكثر استقراراً خلال فترة 24 ساعة. كما أن البيوت المحمية توفر حماية عامة للبيئة من الرياح والثلوج والأمطار الغزيرة، وتعمل البيوت المحمية أيضا على تمديد موسم النمو بواسطة الاحتفاظ بدرجة حرارة الشمس المحيطة، ولكن في الوقت ذاته يمكن تسخينه من الداخل، كما يمكن للبيوت المحمية بأن تبعد الحيوانات وغيرها من الآفات، وتوفر أيضاً الأمن ضد السرقة، وتمكن البيوت المحمية العمل بارتياح خلال مواسم الشتاء الباردة ومواسم الصيف الحارة، كما توفر للمزارع حماية من تقلبات الطقس. ويمكن استخدام إطارات البيوت المحمية لدعم النباتات المتسلقة أو لتعليق المواد المظللة. إن مزايا البيت المحمي هذه إيجابية وتمكن من زيادة في الإنتاجية وفي تمديد موسم الحصاد.

ورغم ذلك تحتاج هذه الفوائد إلى أن تكون متوازنة ضد عيوب البيوت المحمية. كما أن تكاليف رأس المال الأولية للبيوت المحمية يمكن أن تكون عالية، وهذا يعتمد على درجة التكنولوجيا والتطور المنشود، وتتطلب البيوت المحمية أيضا تكاليف تشغيل إضافية؛ بسبب المراوح اللازمة لتدوير الهواء لمنع ارتفاع درجة الحرارة والظروف الرطبة بشكل مفرط. وبعض الأمراض والآفات الناتجة عن الحشرات هي أكثر شيوعا في البيوت المحمية؛ مما يعني استخدام ناموسيات الحشرات على الأبواب والنوافذ، على الرغم من أن هذه البيئة المحصورة يمكن أن تكون في صالح استخدام ضوابط لآفات معينة.

وفي بعض المناطق الاستوائية، تعد البيوت المحمية المغطاة بالشباك الواقية هي أكثر ملاءمة من البيوت المحمية التقليدية المغطاة بالبلاستيك أو الزجاج (الشكل 21.4)؛ وذلك لأن المناخات الحارة في المناطق الاستوائية أو شبه الاستوائية تغني عن الحاجة إلى تحسين التهوية؛ لتجنب ارتفاع درجات الحرارة والرطوبة.

الشكل 19.4
وحدة زراعة أحيومائية صغيرة داخل بيت محمي

الشكل 20.4
وحدة زراعة أحيومائية جديدة تم تحضيرها داخل بيت محمي

الشكل 21.4
بيت محمي شبكي لإيواء وحدة أحيومائية صغيرة

وتتكون البيوت المغطاة بالشباك من إطار يوضع على صياني نمو النباتات، مغطى بشبك على طول الجدران الأربعة، وسقف من البلاستيك. إن السقف البلاستيكي له أهمية خاصة حيث يمنع المطر من الدخول، وخاصة في المناطق التي بها مواسم أمطار شديدة، حيث يمكن للوحدات أن تُغمر بالمياه التي قد تفيض منها في غضون أيام. وتستخدم البيوت المحمية المغطاة بالشباك لإزالة التهديد والآفات الضارة المرتبطة بالمناطق المدارية، وكذلك الطيور والحيوانات الكبيرة. ويمكننا اعتبار الحجم المثالي للشباك الذي يتم وضعه في الجهات الأربع باستخدام حجم شبك بمقاس 0,5 ملم، وللحشرات الأصغر التي غالبا ما تكون ناقلة للأمراض الفيروسية، يجب أن يكون حجم الشبك سميكاً (شبك بمقاس 50). ويمكن للبيوت المحمية المغطاة بالشباك أن توفر بعض الظل إذا كان ضوء الشمس شديدا جدا. وتتفاوت نسبة التظليل لمواد التظليل هذه بين 25 و 60 في المائة.

2.4 المكونات الأساسية لوحدة الزراعة الأحيومائية

جميع أنظمة الزراعة الأحيومائية لها عدة عناصر مشتركة وأساسية، والتي تتكون من: حوض للأسماك، ومرشح ميكانيكي، ومرشح حيوي، وخزانات/قنوات مائية. وتستخدم جميع هذه الأنظمة الطاقة الكهربائية؛ لتدوير وتوزيع الماء عبر الأنابيب وتهوية المياه. وهناك ثلاثة تصاميم رئيسة لزراعة النباتات في هذه الأنظمة: صياني/أسرة الزراعة، وأنابيب الزراعة، وقنوات الزراعة. وسيناقش هذا القسم المكونات الإلزامية، بما في ذلك أحواض الأسماك، والمرشح الميكانيكي، والمرشح الحيوي، والسباكة، والمضخات. كما تم تخصيص الفقرات التالية لتقنيات الزراعة المائية المختلفة. وسيتم إجراء مقارنة لتحديد أنسب مزيج من التقنيات لعدة ظروف مختلفة.

1.2.4 حوض الأسماك

حوض الأسماك هو عنصر حاسم في كل وحدة، فيمكن لتكلفة حوض الأسماك أن تصل إلى 20 في المائة من كامل تكلفة وحدة الزراعة الأحيومائية. وتتطلب الأسماك ظروفا معينة من أجل البقاء على قيد الحياة والنمو، وبالتالي يجب اختيار حوض الأسماك المناسب بحكمة. وهناك عدة اعتبارات مهمة يجب أن تؤخذ في الاعتبار، بما في ذلك الشكل والمادة واللون.

شكل حوض الأسماك

على الرغم من أن أي شكل من أشكال الأحواض يمكن استخدامه للأسماك، إلا أن الأحواض ذات القيعان المستديرة والمسطحة هي الموصى بها، حيث إن الشكل الدائري للأحواض يسمح للمياه أن تدور بشكل موحد، وتساعد على نقل المخلفات الصلبة نحو مركز الخزان بواسطة قوة الجاذبية. أما الأحواض المربعة الشكل والقيعان المسطحة فهي مقبولة تماما، ولكنها تتطلب إزالة المخلفات الصلبة بشكل مستمر. ولذلك فشكل الخزان يؤثر بصورة كبيرة على توزيع المياه، وهو أمر محفوف بالمخاطر حيث قد لا يساعد الخزان على تدوير المياه بشكل جيد. ومن الجهة الفنية فإذا تم إنشاء الخزانات بأشكال غير هندسية، مع العديد من المنحنيات والإنحناءات، مما قد يخلق مناطق ميتة في الماء تفتقر إلى تدوير المياه فيها، وفي هذه الحالة يمكن أن تتجمّع المخلفات في المناطق الميتة وتعمل على خلق ظروف نقص الأكسيجين والتي هي خطيرة للأسماك. وإذا كان لابد من استخدام حوض غريب الشكل، قد يكون من الضروري إضافة مضخات المياه ومضخات الهواء؛ لضمان تدوير المياه بالشكل السليم وإزالة المواد الصلبة منه. ومن المهم أن يتم اختيار حوض يناسب خصائص الأحياء المائية التي يتم تربيتها في الوحدة؛ لأن العديد من الأنواع التي ترعى في القاع تظهر نمواً أفضل وتبذل جهداً أقل مع وجود مساحة أفقية كافية.

المادة المصنوع منها حوض الأسماك

يُوصى إما باستخدام المواد البلاستيكية الخاملة القوية، أو الألياف الزجاجية؛ بسبب متانتها وعمرها الطويل، ويجب تجنب المعادن؛ بسبب عرضتها للصدأ والتآكل. بالنسبة للبلاستيك والألياف الزجاجية فهي مريحة للتركيب (السباكة)، وخفيفة إلى حد المطاوعة. وفي حالة استخدام أحواض أو صياني بلاستيكية، يجب أن يتم اختيارها من النوع المقاوم للأشعة فوق البنفسجية؛ لأن أشعة الشمس المباشرة يمكن أن تدمر البلاستيك. وإجمالا فإن الأحواض المصنوعة من مادة البولي إثيلين منخفض الكثافة (LDPE) هي الأفضل؛ بسبب المقاومة العالية، ولأنها تمتلك الخصائص الصالحة للاستخدامات الغذائية (food-grade). وفي الواقع، فإن البولي إثيلين المنخفض الكثافة هو المادة الأكثر استخداما في تصنيع خزانات المياه للاستخدامات المدنية. وثمة خيار آخر هو البركة الأرضية، لكن إدارتها للزراعة الأحيومائية صعبة للغاية؛ لأن العمليات الحيوية الطبيعية تحدث بالفعل في القاع والطين في الجزء السفلي من البركة، ويمكن أن يكون من الصعب التحكم فيها، وغالبا ما تستهلك النباتات المائية المواد الغذائية في البركة قبل أن تصل إلى وحدة الزراعة الأحيومائية. كما أن الإسمنت أو البرك المبطنة بالبلاستيك هي أكثر قابلية، ويمكن أن تكون خيارا غير مكلف. أما البرك الأرضية فيمكن أن تجعل عمليات السباكة صعبة وينبغي النظر بعناية في تصميم السباكة قبل الإقدام على هذا الخيار. إن أبسط أحواض الأسماك هي حفرة في الأرض، مرصوصة بالطوب، ثم تبطن ببطانة للماء، مثل: البلاستيك. وتشمل الخيارات الأخرى استعمال الحاويات، مثل: أحواض الاستحمام، والبراميل، أو الحاويات المتوسطة (الحاويات الوسيطة (IBCs))، ومن المهم جدا التأكد من عدم استخدام الحاوية سابقا لتخزين مواد سامة، كالمواد الكيميائية التي تنتقل عن طريق المذيبات، فربما تكون قد توغلت في البلاستيك الذي يسهل اختراقه، والذي يكون من المستحيل إزالته مع الغسيل، ولهذا يجب اختيار الحاويات بعناية والتعرف على البائع إن أمكن.

اللون

يُنصح بشدة استخدام الألوان البيضاء أو الألوان الخفيفة؛ فهي تسمح بمشاهدة الأسماك بسهولة؛ من أجل التحقق من السلوك وكمية المخلفات التي تستقر في قاع الخزان (الأشكال 22.4–24.4)، كما أن الخزانات البيضاء تعكس أشعة الشمس، وتحافظ على الماء بارداً. ووصولا إلى هذه الغاية يمكن طلاء الخزان الملوّن بالألوان الداكنة باللون الأبيض من الخارج، وفي المناطق الساخنة جدا أو الباردة، قد يكون من الضروري عزل الخزانات حراريا.

الشكل 22.4
حوض أسماك مصنوع من برميل البولي إثيلين الأبيض

الشكل 23.4
أسماك صغيرة يافعة في حوض للزراعة الأحيومائية. خط منفذ المياه (أعلى)، ومخرج التصريف واضحا في القاع

الأغطية والتظليل

يجب تغطية جميع أحواض أو خزانات الأسماك، فأغطية الظل تمنع نمو الطحالب، بالإضافة إلى أنها تمنع السمك من القفز إلى خارج الحوض. وفي كثير من الأحيان يحدث هذا مع الأسماك المضافة حديثا، أو إذا كان نوع المياه دون المستوى الأمثل. وتمنع كذلك أوراق الشجر والحطام من الدخول إلى الحوض، والحيوانات المفترسة، مثل: القطط، والطيور من مهاجمة الأسماك. وفي أحيان أخرى تستخدم شباك التظليل الزراعية التي تمنع أشعة الشمس بنسبة 80–90 في المائة ، ويمكن تركيب قماش وشبك الظل على إطار خشبي بسيط؛ لتوفير الوزن وجعل الغطاء سهل الإزالة.

الحيطة والأمان

لا تدع حوض الأسماك يفقد مياهه، فسيموت السمك إذا استنزف الماء من حوض الأسماك. وعلى الرغم من أن بعض الحوادث لا يمكن تجنبها (مثل سقوط شجرة على الحوض)،

الشكل 24.4
حوضا أسماك واسعان (1000 لتر لكل واحد) مستطيلا الشكل، بهما أسماك صغيرة ذات مجموعات لأعمار مختلفة

وأن نفوق الأسماك الأكثر كارثية هي نتيجة الخطأ البشري، فيجب التأكد من أنه لا توجد وسيلة لاستنزاف الماء من الحوض بدون اختيار مشغل الوحدة. وفي حالة وجود مضخة الماء في حوض الأسماك، فتأكد من رفع المضخة عن الحوض الخزان للإطمئنان من أن الماء لن يتم استنزافه كلياً من الحوض. وكذلك استخدام أنبوب رأسي (standpipe) داخل الحوض؛ لضمان بقاء مستوى المياه عند الحد الأدنى. سيتم مناقشة هذا الموضوع بشكل مستفيض في (القسم 6.2.4).

2.2.4 الترشيح – الميكانيكي والحيوي

الترشيح الميكانيكي

في الأنظمة المغلقة (RAS) يمكن القول أن الترشيح الميكانيكي هو الجانب الأهم من جوانب التصميم، وهو يعني: فصل وإزالة مخلفات الأسماك الصلبة العالقة في أحواض الأسماك، ومن الضروري إزالة هذه المخلفات؛ للمحافظة على صحة النظام لأن إطلاق الغازات الضارة عن طريق البكتيريا اللاهوائية يحصل إذا تم ترك المخلفات الصلبة لتتحلل داخل أحواض الأسماك؛ وبالتالي فإن ذلك قد يُعيق عمل الأنظمة ويعطل تدفق الماء مما يتسبب في ظروف نقص الأكسيجين عند منطقة جذور النباتات. وأنظمة الزراعة الأحيومائية الصغيرة الحجم عادة ما تكون بها كثافة السمك أقل من الأنظمة المغلقة المكثفة التي في الأصل صُـممت لها هذه المرشحات الميكانيكية، ولكن توافر نسبة من الترشيح الميكانيكي هو أمر ضروري للحفاظ على نظام الزراعة الأحيومائية صحياً، بغض النظر عن طريقة الزراعة المائية المستخدمة.

وهناك عدة أنواع من المرشحات الميكانيكية. وأبسط طريقة هي وضع مرشح شبكي بين حوض الأسماك وأسرّة الزراعة، ويعمل هذا المرشح الشبكي على حجز المخلفات الصلبة، ويحتاج إلى أن يُـشطف بالماء في كثير من الأحيان، وبالمثل يمكن للمياه الخارجة من حوض الأسماك أن تمر عبر وعاء صغير مليء بالمواد الجسيمية، ومنفصلة عن سرير وسائط نمو النبات، هذا الوعاء هو أسهل لإجراء عملية الشطف بشكل دوري. إن هذه الطرق صالحة لبعض وحدات الزراعة الأحيومائية الصغيرة، ولكنها غير كافية في الأنظمة الأكبر، والتي تزداد فيها كثافة الأسماك، وبالتالي تزداد كمية المخلفات الصلبة.

وهناك أنواع عديدة من المرشحات الميكانيكية، بما في ذلك خزانات الترسيب، وأجهزة تنقية التدفق الإشعاعي (radial-flow clarifiers) أو المرشحات الرملية أو مرشحات الخرز (bead filters)، وكل واحد منها يمكن أن يستخدم وفقاً لكمية المخلفات الصلبة التي ينبغي إزالتها. لكن بالرغم من أن هذا الدليل يركز على أنظمة الزراعة الأحيومائية الصغيرة، فإن المروقات أو الفصل الميكانيكي للمخلفات الصلبة هي المرشحات الأنسب، والمروقات بصفة عامة يمكن أن تزيل ما يصل إلى 60 في المائة من مجموع المواد الصلبة القابلة للإزالة، ولمزيد من المعلومات حول الأساليب المختلفة من الترشيح الميكانيكي، يرجى الرجوع إلى قائمة القراءات المقترحة في نهاية هذا الدليل.

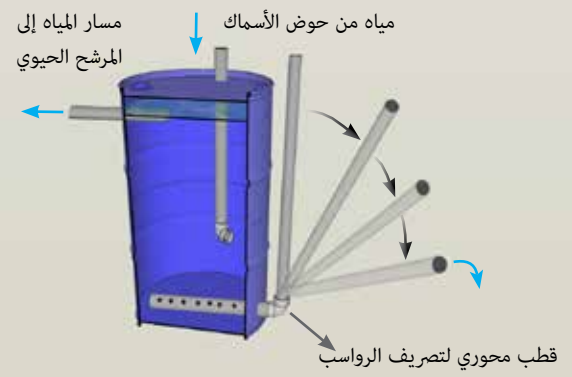
الفواصل الميكانيكية (الترسيب)

والمروق هو وعاء مخصصٌ يستخدم خصائص المياه لفصل الجزيئات، وبشكل عام فإن المياه التي تتحرك ببطئ غير قادرة على نقل العديد من الجزيئات؛ لذلك يتم إنشاء المروقات بطريقة تسرع وتبطئ المياه؛ لتركز الجسيمات في الجزء السفلي، ويمكن إزالتها في المروقات الدوامة (swirl clarifiers). يدخل الماء من حوض الأسماك إلى المروق من خلال أنبوب بالقرب من أسفل الجزء الأوسط، ويتم وضع هذه الأنابيب بشكل عرضي للحاوية، وبالتالي إجبار المياه على أن تشكل دوامة وتنساب داخل الحاوية في حركة دائرية بفعل قوة الجاذبية التي أنشأتها الحركة الدائرية للمياه، وبالتالي تجبر المخلفات الصلبة في الماء على أن تتمركز في مركز قاع الإناء؛ لأن الماء في وسط الدوامة أبطأ من تلك التي في الخارج، وعندما يتم جمع هذه المخلفات في الأسفل، يتم توصيل أنبوب بالجزء السفلي من الحاوية؛ من أجل التخلص من هذه المخلفات الصلبة بشكل دوري. وتخرج المياه

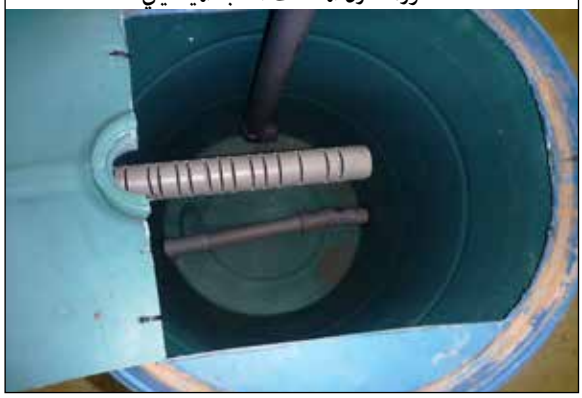
المنقّاة من المروقات من الأعلى عبر منفذ أنبوب كبير مغطى بشبك ترشيح ثانوي، ويصب بعد ذلك في المرشح الحيوي أو في أسرة وسائط النمو. تعرض الأشكال (25.4–27.4) أمثلة بسيطة من الفواصل الميكانيكية للوحدات الصغيرة والوحدات الكبيرة، كما أن المخلفات الصلبة التي تحصر الماء، ويتم إزالتها تحتوي على عناصر غذائية مفيدة للغاية بالنسبة للأنظمة أو لحديقة النباتات بصفة عامة. أما بالنسبة لموضوع تمعدن المخلفات الصلبة سيناقش في القسم التالي. وكأمر توجيهيّ بالنسبة للوحدات الصغيرة الحجم يكون حجم حاوية الفاصلة الميكانيكية حوالي سدس حجم حوض للأسماك، ولكن هذا يعتمد على كثافة تخزين الأسماك والشكل الأدق للتصميم. ولمزيد من التفاصيل فإن الملحق (8) يتضمن تفاصيل أكثر دقة بشأن بناء كل جزء من هذه النظم.

يعتبر الترشيح الميكانيكي الأولي الكافي مهما جدا، سيما في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT) وطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، ويستخدم كمصيدة لإزالة المخلفات الصلبة، وبدون هذه العملية الأولية فإن المخلفات الصلبة والعائمة ستتراكم في أنابيب نمو النباتات والقنوات، وستسد أسطح الجذور. أما المخلفات الصلبة التي تتراكم، فستتسبب في انسداد المضخات وشبكة المياه. وأخيرا فإن المخلفات غير المرشحة ستخلق بؤرا غير هوائية خطرة في النظام، ويمكن لهذه البقع غير الهوائية أن تكون مرفأ للبكتيريا التي تنتج كبريتيد الهيدروجين، وهو من الغازات السامة جداً والقاتلة للأسماك، الذي ينتج عن تخمير المخلفات الصلبة، وهو كريه الرائحة، وتشبه رائحته عفن البيض.

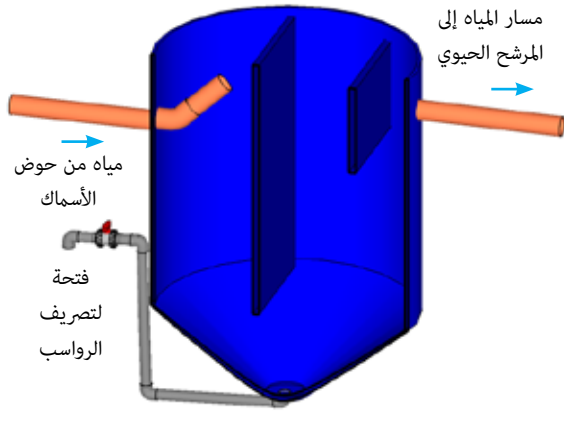
الشكل 25.4
رسم توضيحي لمرشح عزل المخلفات الصلبة



الشكل 26.4
صورة لعازل المخلفات الصلبة الميكانيكي



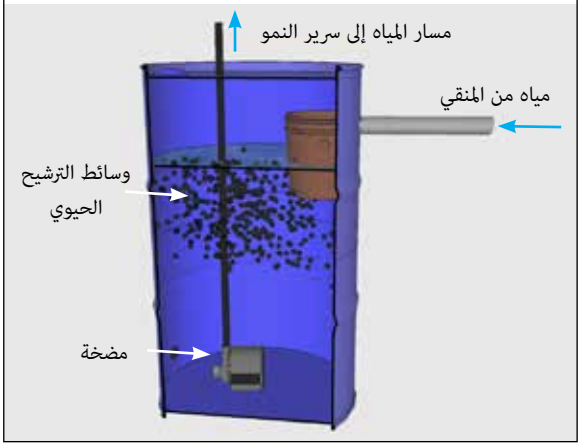
الشكل 27.4
رسم توضيحي لمرشح عزل المخلفات الصلبة بصفائح رأسية؛ لتغيير مسار المياه وتبطئة سرعتها



الترشيح الحيوي

الترشيح الحيوي هو تحويل الأمونيا والنتريت إلى نترات بواسطة البكتيريا الحية، ومعظم مخلفات الأسماك لايمكن ترشيحها باستخدام المرشح الميكانيكي؛ لأن المخلفات تذوب مباشرة في المياه، وحجم هذه الجسيمات صغير جداً ويصعب إزالتها ميكانيكيا؛ لذلك ومن أجل معالجة هذه المخلفات المجهرية يستخدم نظام الزراعة الأحيومائية البكتيريا المجهرية. كما أن الترشيح الحيوي أمر ضروري في الزراعة الأحيومائية؛ لأن الأمونيا والنتريت سامة حتى عند التركيزات المنخفضة، بينما تحتاج النباتات النترات في النمو. والمرشح الحيوي في وحدة الزراعة الأحيومائية هو عنصر يتم تركيبه عمداً لإيواء أغلب البكتيريا الحية، إضافة إلى ذلك فإن ديناميكية وحركة المياه داخل المرشح الحيوي ستعمل على تفتيت المواد الصلبة الدقيقة جدا التي مرت من خلال المرشح الميكانيكي أو المروقات، والذي يمنع المزيد من المخلفات من أن تتراكم على جذور النباتات في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC). ومع ذلك فإن بعض مرافق الزراعة الأحيومائية الكبيرة تطبق التصميم الذي وضعته جامعة جزر العذراء، والذي لايستخدم مرشحا بيولوجيا منفصلا؛ لأنه في الغالب يعتمد على الأسطح الرطبة في الوحدات وعلى جذور النباتات، وكذلك على عملية الامتصاص المباشر للنباتات؛ لمعالجة الأمونيا. أما الترشيح الحيوي المنفصل فهو غير ضروري في الطريقة التي تُستخدم فيها وسائط النمو؛ لأن هذه الوسائط نفسها تعمل كمرشح حيوي مكتمل.

الشكل 28.4
رسم توضيحي لمرشح حيوي لوحدات صغيرة تعمل بتقنية غشاء المغذيات وتقنية المياه العميقة



الشكل 29.4
بيانات وسائط المرشح البيولوجي البلاستيكية والتي لديها مساحة سطح كبيرة

الشكل 30.4
بيانات لمرشح بيولوجي توضح: (أ) مرشح ميكانيكي إضافي، (ب) وسائط المرشح الحيوي

تم تصميم المرشح الحيوي من أجل الحصول على أكبر مساحة تستفيد فيها المياه بالأكسيجين، ويتم تثبيت المرشح الحيوي بين المرشح الميكانيكي وأسرة الزراعة المائية. ويجب أن يمثل الحد الأدنى لحجم حوض المرشح الحيوي سدس حوض الأسماك. ويبين الشكل (28.4) مثالا للمرشح الحيوي المستعمل في الوحدات صغيرة الحجم.

إحدى الوسائط الأكثر شيوعاً في الاستخدام في المرشح الحيوي هي الكريات الحيوية (Bioballs®) منتوج ذو ملكية فكرية، ومتوافرة في مخازن تموين لوازم تربية الأحياء المائية، على الرغم من وجود علامات تجارية مماثلة (الشكل 29.4). إن هذه الكريّات مصممة لتكون مادة مثالية للمرشح البيولوجي؛ لأنها صغيرة ومصنوعة من البلاستيك ولديها مساحة سطح كبيرة مقارنة بحجمها (500–700 م^2/م^3). ويمكن استخدام وسائط أخرى بما في ذلك الحصى البركاني، وأغطية قنينات البلاستيك، وليفة الاستحمام المصنوعة من النايلون، والشباك، وقطع مخلفات البولي فينيل كلوريد (PVC). يحتاج أي مرشح حيوي إلى نسبة عالية من المساحة السطحية مقارنة بالحجم، وأن يكون ثابتاً وسهل الشطف. وتمتلك الكريّات الحيوية (Bioballs®) ما يقرب من ضعف المساحة المسطحة للحصى البركاني، وكلا النوعين لديهما نسبة أعلى من المساحة المسطحة مقارنة بأغطية قنينات البلاستيك. وعند استخدام مواد حيوية دون المستوى الأمثل، فمن المهم ملء المرشح الحيوي إلى أقصى حد ممكن، ولكن قد تكون المساحة المسطحة الكلية غير كافية لضمان الترشيح الحيوي الكافي؛ لذا فمن الأفضل دائما تكبير المرشحات الحيوية عند البناء الأولي. ويمكن إضافة مرشحات حيوية ثانوية لاحقا إذا لزم الأمر. كما أن المرشحات الحيوية تحتاج أحيانا إلى تقليب محتواها؛ للحيلولة دون انسدادها، وأحيانا تحتاج بأن تشطف إذا أدت المخلفات الصلبة إلى انسدادها حيث يؤدي هذا الانسداد إلى خلق مناطق نقص الأكسيجين، أنظر الفصل (8) والملحق (4)؛ للمزيد من المعلومات حول متطلبات حجم الترشيح الحيوي للوحدات صغيرة الحجم.

تعتبر التهوية مركبٌ آخر للمرشح الحيوي. فالبكتيريا الآزوتية تحتاج إلى الحصول على الأكسيجين بمعدلات كافية من أجل أكسدة الأمونيا، والحل الوحيد السهل هو استخدام مضخة الهواء، بحيث توضع حجارة الهواء في أسفل المرشح، وهذا يضمن حصول البكتيريا باستمرار على نسبة عالية ومستقرة من تركيزات الأكسيجين المذاب. كما أن مضخات الهواء تساعد على تفتيت أية مادة صلبة أو تعليق المخلفات التي لم يتم فصلها بواسطة المرشح الميكانيكي في عمود الماء عن طريق إبقاء الكريات الحيوية (Bioballs) عائمة في الماء. وإذا ما رغبت في الحصول على مزيد من العزل للمواد الصلبة داخل المرشح الحيوي، فمن الممكن إدراج دلو أسطوانيّ صغير من البلاستيك، يتم حشوه بالكامل بشباك النايلون، مثل: (Perlon ®)، والإسفنج، أو كيس مليء بالحصى البركاني يوضع أمام مدخل المياه إلى المرشح الحيوي (الشكل 30.4). ولعلك تلاحظ أن المخلفات تحاصر عن طريق هذا المرشح الميكانيكي الثانوي، الأمر الذي يسمح عبر المرشح للمياه المتبقية بالتدفق إلى الأسفل من خلال ثقوب صغيرة في الجزء السفلي من الدلو إلى المرشح الحيوي، مع ضرورة الانتباه إلى أن المخلفات المحصورة هي أيضا عرضة للتمعدن والتدهور البكتيري.

التمعدن

يشير التمعدن، فيما يختص بالزراعة الأحيومائية، إلى الطريقة التي تتم بها معالجة المخلفات الصلبة، وتمثيلها بواسطة البكتيريا لتصبح عناصر مغذية للنباتات. كما أن المخلفات الصلبة التي يتم محاصرتها من قِبل المرشح الميكانيكي تحتوي على عناصر غذائية، وعلى الرغم من أن طريقة معالجة هذه المخلفات تختلف عن طريقتها في الترشيح الحيوي، إلا أن الإبقاء على المواد الصلبة داخل عموم النظام يعمل على إضافة المزيد من العناصر الغذائية إلى النباتات، فأية مخلفات تبقى في المرشحات الميكانيكية، أو ضمن المرشحات الحيوية، أو في وسائط نمو النبات فإنها تتأثر ببعض التمعدن. كما أن ترك المخلفات في نفس المكان لفترة أطول يسمح بالمزيد من التمعدن، وأن ترك المخلفات لفترة أطول في المرشحات سيؤدي إلى مزيد من التمعدن ومزيد من تكوّن العناصر الغذائية التي يجري الاحتفاظ بها في النظام. ومع ذلك فإن هذه المخلفات الصلبة نفسها إذا لم يتم إدارتها بشكل صحيح والسماح لها بالتمعدن، ستمنع تدفق المياه، وستستهلك الأكسيجين وستؤدي إلى نقصه، والذي بدوره سيؤدي إلى إنتاج غاز كبريتيد الهيدروجين الخطير وإزالة النتروجين. وللتغلب على ذلك يتم في بعض النظم الكبيرة ترك المخلفات الصلبة عمداً داخل المرشحات، مع ضمان تدفق المياه ومستوى كافٍ من الأكسيجين، بحيث يتم تحرير العناصر الغذائية بحد أقصى. ومع ذلك فإن هذه الطريقة غير عملية على نطاق صغير للوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، وإذا ما نتج عمداً تمعدن هذه المواد الصلبة فإن هناك طرق بسيطة لتسهيل التحليل البكتيري في حاويات منفصلة. فببساطة يتم تخزين هذه المخلفات في هذه الحاويات المنفصلة مع توفير الأكسيجين الكافي باستخدام حجارة تذويب الهواء، وبعد فترة غير محددة من الوقت سيكون قد تم استهلاك المخلفات الصلبة وتمثيلها وتحويلها بواسطة البكتيريا غير ذاتية التغذية (heterotrophs). وفي هذه المرحلة يمكن إعادة صبّ هذا الماء في نظام الزراعة الأحيومائية، ويمكن للمخلفات المتبقية والتي انخفضت في الحجم أن تضاف إلى التربة الزراعية كمخصّب. كما يمكن بدلا من ذلك فصل هذه المخلفات الصلبة، وإزالتها وإضافتها إلى الزراعة الأرضية، أو الحديقة، أو الاحتفاظ بها في برميل حفظ مزيج الأسمدة باعتباره سمادا ذا قيمة عالية. ولكن مع ذلك إذا تم فقدان هذه المواد المغذية فإنه سيسبب نقصا في نمو النباتات، ومن ثم قد يحتاج النظام إلى إضافة مكملات مغذية، أنظر الفصل (6).

الشكل 31.4

وحدة صغيرة لسرير وسائط النمو تستخدم شبكا إضافيا لمزيد من الترشيح الميكانيكي

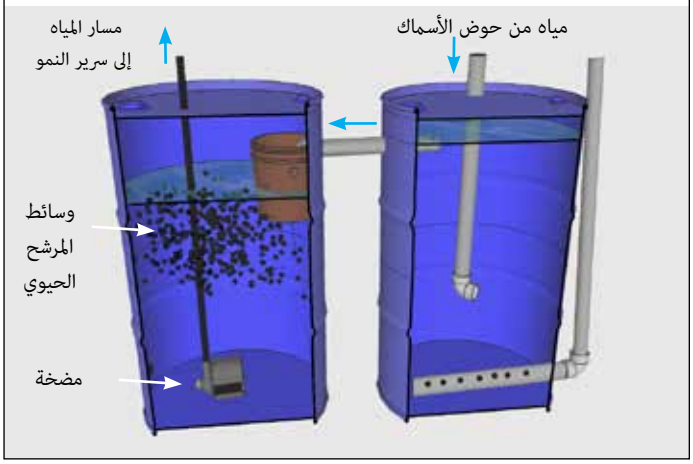
الشكل 32.4

سرير وسائط نمو يُستخدم كمرشح في وحدة تعمل بتقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة

استخدام وسائط النمو لتشكيل مزيج من الترشيح الميكانيكي والحيوي

من الممكن أيضا استخدام صينية أو حوض مليء بوسائط النمو كمرشح ميكانيكي وحيوي في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) (الشكلين 31.4-32.4). ويمكن أن تكون هذه الطريقة مهمة عندما لايمكن الحصول على المواد اللازمة لصناعة المروقات الدوامة (swirl clarifiers) أو إنشاء مرشح حيوي منفصل. وعموما فإن هذا الموضوع سيناقش بشكل كامل في الفصل الثامن، إلا أننا نكتفي هنا بالقول أن لكل 200 غرام من أعلاف الأسماك التي تتم إضافتها للنظام يومياً يستوجب استعمال مرشح حيوي سعته 300 لتر، وسيوفر هذا الحصى الصغير الترشيح الحيوي الكافي لحوالي 20 كغم

الشكل 33.4
رسم توضيحي لمرشح عزل المخلفات الصلبة (يمين) موصل بمرشح حيوي (يسار)



الشكل 34.4
منظر أفقي لمرشح عزل المخلفات الصلبة (يمين) موصل بمرشح حيوي (يسار)

من الأسماك، ووسائط النمو هذه ستوفر الترشيح الحيوي الكافي للوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، وكذلك تجميع وحصر المخلفات الصلبة. ويُوصى بوضع وسيلة إضافية بداخل صينية/سرير وسائط النمو عند موقع دخول المياه؛ من أجل حماية إضافية لصياني/أسرة وسائط النمو من الانسداد بواسطة مخلفات الأسماك الصلبة، وستحتاج وسائط النمو للشطف بشكل دوري؛ لإزالة المخلفات الصلبة.

وباختصار فإن توافر، حتى ولو قليل من، الترشيح أمر ضروري لجميع أنواع الزراعة الأحيومائية. كما أن كثافة الأسماك وتصميم النظام يحددان مدى ضرورة ومقدار الترشيح. وتعمل المرشحات الميكانيكية على فصل المخلفات الصلبة لمنع تراكم السموم، ويعمل الترشيح الحيوي على تحويل المخلفات النتروجينية إلى نترات (الشكلين 33.4–34.4). وتقوم أسرة وسائط النمو بدور المرشحات الميكانيكية والمرشحات الحيوية على حد سواء عند استخدام هذه التقنية، ولكن إضافة الترشيح الميكانيكي ضروري أحيانا عندما تكون كثافة الأسماك أعلى من (15 كغم/م^3). وبدون أسرة وسائط النمو كما هو الحال في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT) فإن وجود الترشيح المستقل أمر ضروري. كما أن تمعدن المخلفات الصلبة يعود بمزيد من العناصر الغذائية على النظام؛ مما يؤدي إلى تمعدن أسرة وسائط النمو، ولكن هناك حاجة لجهاز فصل المخلفات الصلبة ضمن الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT) والأنظمة التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC).

3.2.4 مكونات الزراعة المائية – وأسرة وسائط النمو وأنظمة غشاء المغذيات (NFT) والمياه العميقة (DWC)

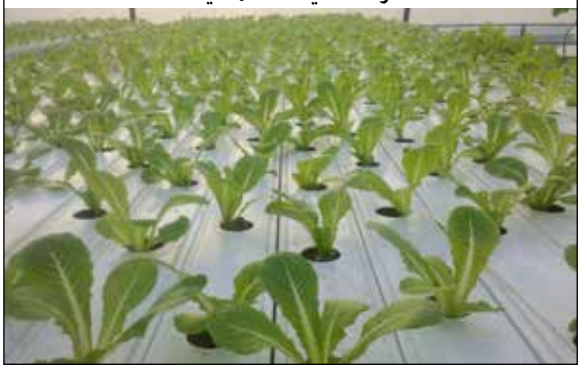
إن مكون الزراعة المائية هو مصطلح يصف أقسام نمو النبات في الوحدة، وهناك العديد من التصاميم، ثلاثة منها تمت مناقشتها بالتفصيل في هذا الدليل، كل واحد في قسم منفصل. وهذه التصاميم الثلاثة هي: وحدة أسرة وسائط النمو، التي تسمى أحيانا سرير الجسيمات (الركيزة التي يرتكز عليها النبات)، حيث تنمو النباتات ضمن هذه الركيزة (الشكلين 35.4–36.4)، ووحدات غشاء المغذيات (NFT) حيث تنمو النباتات مع جذورها في أنابيب واسعة يتم مدها بقليل من الماء (الشكلين 37.4–38.4)، ووحدات تقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، وتسمى أيضا الزراعة الأحيومائية بواسطة أنظمة السرير أو الطوافات العائمة، حيث يتم تعليق النباتات فوق خزان للمياه باستخدام مجموعة كبيرة من الطوافات العائمة (الشكلين 39.4–40.4). ولكل طريقة مزايا وعيوب، ولكل من هذه الأساليب مكوّن مختلف يتناسب مع احتياجات كل أسلوب، انظر الأقسام (3.4–6.4)؛ للحصول على تفاصيل حول كل منها.

الشكل 35.4
خضر تنمو في وحدة سرير وسائط النمو

الشكل 36.4
خضر مختلفة تنمو في نفس سرير وسائط النمو

الشكل 37.4
نباتات الخس تنمو في أنابيب دائرية في وحدة تقنية غشاء المغذيات

الشكل 38.4
نباتات الخس تنمو في أنابيب مربعة الشكل في وحدة تقنية غشاء المغذيات



الشكل 39.4
نبتة السلق (Swiss chard, *Beta* sp.) معلقة على طوافة عائمة من البوليسترين في وحدة تقنية الزراعة في المياه العميقة

الشكل 40.4
خس ينمو في وحدة تقنية الزراعة في المياه العميقة

4.2.4 حركة المياه

تعتبر حركة المياه أمرا أساسيا؛ لإبقاء جميع الكائنات الحية على قيد الحياة في الزراعة الأحيومائية، حيث يتحرك الماء المتدفق من أحواض الأسماك من خلال المرشح الميكانيكي ثم يصب في أسرة وسائط النمو والأنابيب أو القنوات، وفي نهاية المطاف يتم إزالة المغذيات الذائبة. وإذا ما توقفت حركة المياه فإن التأثير الأكثر سرعة للحصول هو الانخفاض في مستوى الأكسيجين المذاب، وتراكم المخلفات في حوض الأسماك، وبدون تصفية المياه ميكانيكياً وحيويا يمكن للأسماك أن تتأثر وتنفق في غضون ساعات قليلة. وبدون تدفق المياه ستجفّ خزانات وسائط النمو في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC).

والمبدأ التوجيهي الذي يُستشهد به هو أنه عادة، في أنظمة الزراعة الأحيومائية المكثفة يُسمح للمياه بأن تدور دورتين كاملتين في الساعة، وعلى سبيل المثال إذا كانت كمية المياه الكلية في وحدة الزراعة الأحيومائية تقدر ب1 000 لتر، فإن معدل تدفق المياه يجب أن يعادل 2 000 لتر/ساعة، بحيث تدور بمعدل مرتين في الساعة، ولكنها في الكثافات المنخفضة غير ضرورية، ويحتاج الماء فقط للدوران مرة واحدة في الساعة. وهناك ثلاث طرق شائعة تستخدم لنقل المياه من خلال النظام، وهي المضخات الغاطسة، أو بواسطة التدفق الهوائي، أو القوة البشرية.

الشكل 41.4
مضخة مياه غاطسة متوافرة بعلامات تجارية مختلفة، تستخدم في وحدات الاسترزاع الأحيومائية الصغيرة

مضخة المياه الغاطسة

إن استخدام المضخة الغاطسة أكثر شيوعا، وهي قلب وحدة الزراعة الأحيومائية، ويُوصى بهذا النوع من المضخات (الشكل 41.4). كما يمكن استخدام مضخات خارجية، لكنها تحتاج إلى مزيد من السباكة، وهي أكثر ملاءمة للتصاميم الكبيرة. ويفضل أن تستخدم مضخات المياه ذات الجودة العالية؛ من أجل ضمان عمر طويل وكفاءة أكثر للطاقة. كما أن المضخات العالية الجودة ستحافظ على قدرة الضخ والكفاءة على مدى سنة أو سنتين، مع عمر يصل إلى 3–5 سنوات، في حين أن المنتجات الرديئة ستفقد قوة الضخ في وقت أقصر؛ مما يؤدي إلى انخفاض كبير في تدفق المياه. وفيما يتعلق بمعدل التدفق فإن الوحدات الصغيرة الحجم التي تم وصفها في هذا الدليل هي بحاجة إلى معدل تدفق يصل إلى 2 000 لتر/ساعة عند ارتفاع مقداره 1,5 مترا للمضخة من موقع السحب. وستستهلك المضخة الغاطسة التي بهذه القدرة مامقداره (25–50 واط/ساعة)، ولحساب الطاقة والكفاءة للمضخات الغاطسة فيمكن إقرار أن المضخة يمكن أن تحرك 40 لترا من المياه في الساعة، وتستهلك ما مقداره واطا واحدا في هذه الساعة، على الرغم من أن بعض المضخات قد تعمل بضعفي هذه الكفاءة.

عند تصميم السباكة للمضخة، فإنه من المهم أن ندرك أنه يتم تقليل قوة ضخ المياه عند كل وصلة من وصلات الأنابيب، وتصل نسبة الفاقد في قوة التدفق إلى 5 في المائة من معدل التدفق الكلي عند كل وصلة إضافية في الأنابيب، وبالتالي يجب استخدام أقل عدد ممكن من الوصلات بين المضخة وأحواض الأسماك. ومن المهم أيضا أن نلاحظ أنه كلما صغر قطر الأنابيب، تضاعف الفاقد في تدفق المياه، وأن الأنابيب التي بمقاس (30 ملم) لديها ضعف تدفق أنبوب بمقاس (20 ملم)، حتى لو استخدمت مضخات بنفس القدرة، وبالإضافة إلى ذلك فإن الأمر لا يتطلب صيانة الأنابيب الكبيرة لإزالة تراكم المواد الصلبة المتراكمة في الداخل، ومن الناحية العملية يؤدي هذا إلى وفورات كبيرة في تكاليف الكهرباء والتشغيل. وعند تثبيت وحدة الزراعة الأحيومائية تأكد من وضع مضخة غاطسة في موقع يسهل الوصول إليه؛ بسبب الحاجة إلى التنظيف الدوري الضروري. وتحتاج المرشحات الداخلية للتنظيف كل 2-3 أسابيع، كما أن مضخات المياه الغاطسة ستتعطل إذا تم تشغيلها من دون ماء؛ لذا لاتقم بتشغيل المضخة وهي جافة.

الشكل 42.4
أداة بسيطة لنقل الماء بواسطة الهواء

النقل بواسطة الهواء (Airlift)

عمليات النقل بواسطة الهواء هي أسلوبٌ آخر من أساليب رفع الماء (الشكل 42.4)، حيث يتم استخدام مضخة الهواء عوضاً عن مضخة المياه، فيضغط الهواء إلى أسفل الأنابيب داخل حوض الأسماك وتتشكل فقاعات وتنفجر. وأثناء صعود

الفقاعات إلى سطح الماء تنقل معها الماء الموجود في الأسفل. والفائدة الوحيدة من عمليات النقل بواسطة الهواء هي كونها أكثر كفاءة كهربائيا، ولكن فقط على ارتفاعات منخفضة تقدر بحوالي (30–40 سم). ويكتسب النقل بواسطة الهواء القوة في الخزانات العميقة، وتعمل بشكل أفضل على عمق أكبر من متر واحد. وهناك قيمة مضافة أخرى وهي أن عمليات النقل بواسطة الهواء لا تنسد مثل المضخات الغاطسة، بالإضافة إلى ذلك يتم ضخ الأكسيجين في المياه أيضا من خلال الحركة الرأسية التي تديرها فقاعات الهواء، ومع ذلك فإن حجم الهواء الذي يتم ضخه ينبغي أن يكون كافيا لتحريك المياه على طول الأنبوب. وعموما فإن مضخات الهواء لديها حياة أطول من مضخات المياه الغاطسة، والفائدة الرئيسة تأتي من وفورات الحجم، حيث إن مضخة الهواء يمكن شراؤها لكلا الأمرين: التهوية وتوزيع المياه، مما يقلل من كلفة الاستثمار في مضخة ثانية.

الطاقة البشرية

تم تصميم بعض أنظمة الزراعة الأحيومائية لتستخدم الطاقة البشرية لنقل المياه (الشكل 43.4). ويمكن رفع المياه في دلاء، أو باستخدام البكرات، والعجلات المعدلة، أو بوسائل أخرى. كما يمكن ملء خزان علوي يدويا والسماح للماء بالاستنزاف ببطء طوال اليوم، وهذه الأساليب لا تنطبق إلا على المشاريع الصغيرة. وينبغي النظر في تطبيق هذه الوسيلة في الأنظمة التي تفتقر إلى الكهرباء، أو في حالة أن الإمدادات الكهربائية غير موثوق بها، حيث أن غالبية هذه النظم لديها نسب منخفضة من الأكسيجين المذاب، وغير كافية لخلط المواد المغذية، على الرغم من أنها يمكن أن تستخدم بنجاح بالتزامن مع تعديل لبعض التقنيات التي ستناقش في الفصل التاسع.

5.2.4 التهوية

مضخات الهواء تضخ الهواء إلى الماء من خلال أنابيب الهواء وحجارة تذويب الهواء، التي توضع داخل خزانات المياه، وبالتالي تعمل على زيادة مستويات الأكسيجين الذائب في الماء (الشكل 44.4). والأكسيجين الذائب المضاف هو مكوّن أساسي من مكونات الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC). وتقع حجارة تذويب الهواء في نهاية خط الهواء، وتعمل على نشر الهواء بواسطة فقاعات صغيرة (الشكل 45.4). إن لدى هذه الفقاعات الصغيرة مساحة سطح أكبر، وبالتالي تفرج عن الأكسيجين في الماء أفضل بكثير من الفقاعات الكبيرة، وهذا يجعل نظام التهوية أكثر كفاءة، ويسهم في توفير التكاليف؛ ولذا فمن المستحسن أن تستخدم حجارة ذات نوعية جيدة من أجل الحصول على فقاعات أصغر من الهواء، مع التنبه إلى أنه ستحدث ترسّبات حيوية على حجارة تذويب الهواء، ولذا يجب تنظيفها بانتظام أولا بمحلول الكلور، لقتل التجمعات البكتيرية، ومن ثم إذا لزم الأمر بحامض معتدل

الشكل 43.4
نظام الزراعة الأحيومائية في باحة خلفية، لا يتم فيه استخدام مضخة مائية

الشكل 44.4
مضخة هواء صغيرة متوافرة بعلامات تجارية مختلفة

الشكل 45.4
حجارة الهواء التي تستخدم لنشر الهواء المضغوط بشكل فقاعات ناعمة في المياه

جدا؛ لإزالة التمعدن، أو استبدالها عندما يكون تدفق الفقاعات غير منتظم، ولهذا فإن جودة مضخات الهواء هي عنصر لا غنى عنه في الزراعة الأحيومائية، وإذا كان ممكنا فمن الأفضل استخدام مزيج (AC/DC) من مضخة الهواء، لأن في حالة نقص الكهرباء ينقطع التيار المتردد، يمكن استخدام البطاريات (DC) لمواصلة العمل.

قياس أنظمة التهوية

بالنسبة للوحدات الصغيرة الحجم والتي بها حوالي 1 000 لتر حوض أسماك، فمن المستحسن وضع اثنين على الأقل من خطوط الهواء بحجارة تذويب الهواء، والتي تسمى أيضا الحاقنات، كما ينبغي وضعها مع حجارة تذويب الهواء في حوض الأسماك، وحاقن واحد في المرشح الحيوي. ولفهم كمية الهواء التي تدخل النظام فإنه من الجيد قياس معدل التدفق. وللقيام بذلك وببساطة اعكس جهاز قياس الحجم (زجاجة 2 لتر، كأس قياس مخبري، قنينة مخبرية ذات معيار) في حوض الأسماك، وبمساعدة شخص آخر ابدأ بتشغيل ساعة توقيت في نفس الوقت الذي يتم فيه إدخال حجر تذويب الهواء التي تخرج فقاعات في جهاز القياس ثم، أوقف ساعة التوقيت عندما تمتلئ الحاوية بالهواء، ثم حدد معدل التدفق باللتر في الدقيقة الواحدة باستخدام النسبة. إن الهدف الذي يجب الوصول إليه للأنظمة الموصوفة هنا هو 4–8 لتر/دقيقة لجميع حجارة الهواء في الوحدة، ومن الأفضل دائما أن يكون الأكسيجين المذاب فوق المعدل المطلوب بدلا من أن يكون ناقصاً.

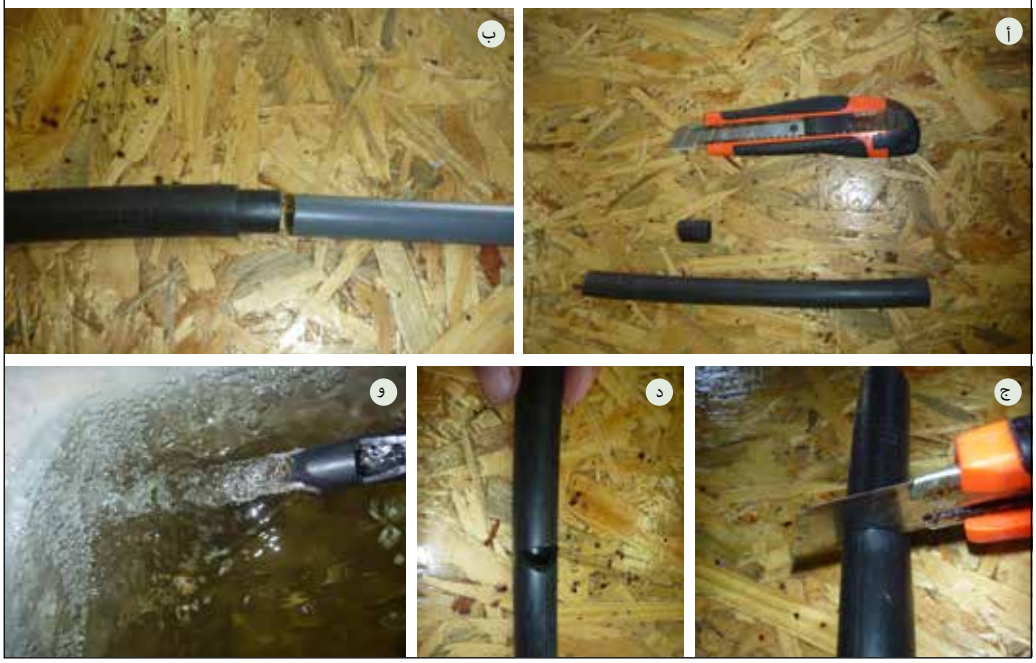
حاول وضع حجارة تذويب الهواء في وضعية بحيث لاتقوم بإعادة تعليق المواد الصلبة في عمود الماء والحيلولة دون ترسبها في قاع الحوض، وبالتالي منع إزالتها من القاع وقت التصريف.

البخاخ الماص (Venturi siphons)

تعد هذه التكنولوجيا بسيطة للإنشاء، وهي أسلوبٌ آخر لزيادة مستويات الأكسيجين المذاب في الزراعة الأحيومائية. هذه التقنية ذات قيمة خاصة للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC). وببساطة، فالبخاخ الماص يستخدم مبدأ الهيدروديناميكية التي تشد الهواء من الخارج عندما ينضغط الماء، ويتدفق بسرعة من خلال جزء من الأنابيب ذات قطر أصغر مع تدفق المياه المستمر، وإذا كان قطر أنبوب المياه يقلل من كمية المياه فإن سرعتها يجب أن تزيد، وهذه السرعة تخلق ضغطا سلبيا. يتكون البخاخ الماص من أجزاء قصيرة من الأنابيب (قطر 20 ملم، وطول 5 سم) توضع داخل أنبوب المياه الرئيس ذي القطر الأكبر (25 ملم) حيث تُجبرالمياه التي في الأنبوب الرئيس المرور من خلال الأنابيب الأضيق، فتخلق تأثيرا نفاثا

الشكل 46.4

صور توضيحية خطوة بخطوة للبخاخ الماص (Venturi siphons)، يتم إدخال جزء صغير من الأنابيب (أ) في نهاية الأنبوب الرئيس للمياه (ب). يتم قطع حز صغير (ج،د) في الأنبوب الضيق الذي يتم من خلاله امتصاص الهواء (و)



(الشكل 46.4). هذا التأثير النفاث يمتص الهواء المحيط إلى مجرى المياه من خلال ثقب صغير موضوع في أنبوب انقباض خارجي، وإذا كان البخاخ الماص موضوعا تحت الماء فيمكن أن يتصل الثقب الصغير بأنبوب طويل تكون فتحته الأخرى معرضة إلى الغلاف الجوي؛ من أجل سحب الهواء. كما يمكن أن يوضع البخاخ الماص بالتكامل في كل أنبوب مياه في قنوات الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، وهذا سيرفع مستوى الأكسيجين المذاب في القناة، كما أنها يمكن أن تكون بمثابة عملية مكررة لتهوية حوض الأسماك إذا تعطلت مضخة الهواء.

6.2.4 خزان تجميع المياه الأرضي (Sump tank)

الشكل 47.4
خزان تجميع مياه مدفون في الأرض؛ للسماح بتجميع المياه بواسطة الجاذبية

خزان تجميع المياه الأرضي هو خزان تجميع المياه عند أدنى نقطة في النظام، بحيث تنساب المياه دائما إلى الأسفل من الجزء الخاص بزراعة النباتات إلى هذا الخزان (الشكل 47.4). وغالبا ما يكون هذا الموقع هو المكان الذي يتم فيه وضع المضخة الغاطسة، وينبغي أن يكون حجم هذه الخزانات أصغر من خزانات الأسماك، كما ينبغي أن تكون قادرة على تخزين كمية تتراوح بين ربع وثلث كمية المياه التي في حوض الأسماك. أما بالنسبة لنوع أسرة وسائط النمو التي تعمل بنظام الغمس والتدفق فيجب أن يكون الخزان الأرضي كبيراً بما يكفي لتخزين مالا يقل عن كامل كمية المياه التي في أسرة وسائط النمو، انظر القسم (3.4). تستخدم الخزانات الأرضية لتجميع المياه أساسا في الوحدات التي بها أسرة وسائط النمو، ومع ذلك فإن الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) يمكن للقناة المائية الفعلية أن تُستخدم كخزان لتجميع المياه. وعلى الرغم من أن هذا الخزان مفيد إلا أنه ليس عنصرا أساسيا في النظام، وأن العديد من التصاميم لا توظف هذا الخزان الأرضي الخارجي. وفي الوحدات الصغيرة للغاية، والتي تعمل بحجم خزان أسماك بسعة 200 لتر، يمكن ببساطة ضخ المياه من حوض الأسماك إلى سرير النمو، ومن ثم تنساب المياه في حوض الأسماك مرة أخرى. ومع ذلك ففي الوحدات الأكبر من المفيد جدا أن يكون هناك خزان أرضي؛ لتجميع المياه.

من الطرق الشائعة في الزراعة الأحيومائية والموصى بها هنا هو أن يتم وضع غاطسة في هذا الخزان، وهناك وصف شائع الاستخدام يصف النقطتان الرئيستان في هذا التصميم، وهما: ارتفاع مستمر في حوض الأسماك، ومضخة في الخزان الأرضي لتجميع المياه (CHIFT – PIST). وباستخدام هذا الأسلوب فإن أي فاقد من المياه بما في ذلك التبخر والتسريب سيظهر تأثيره فقط داخل الخزان الأرضي لتجميع المياه، ولا يؤثر على كمية المياه داخل حوض الأسماك. وبهذه الطريقة يمكن مباشرة قياس كمية التبخر الطبيعي والفاقد من المياه وتحديد الاحتياجات المائية التي يجب إضافتها للنظام، و يمكن على الفور تحديد ما إذا كان هناك تسرب في النظام. ولعل الأهم من ذلك أن أي تسرب في نظام الزراعة الأحيومائية لن يضر بالأسماك. يناقش القسم (2.9) تأمين مستويات المياه بواسطة مختلف الطرق.

الشكل 48.4
مجموعة مختارة من مواد السباكة الشائعة الاستخدام

7.2.4 مواد السباكة

يتطلب كل نظام مجموعة مختارة من الأنابيب البلاستيكية، فالأنابيب والتجهيزات وخراطيم الـ (PVC) كما هي موضحة في الشكل (48.4). وتوفر هذه الأنابيب القنوات لتدفق المياه إلى كل مكوّن في الوحدة. كما أن هناك حاجة إلى صمامات الحاجز (Uniseals®)، وعازل السيليكون، وشريط التفلون. ويتم ربط الأجزاء المصنوعة من الـ(PVC) كالأنابيب ووصلاتها معا باستخدام الأسمنت المصنوع من الـ(PVC). وعلى الرغم من أنه يمكن استخدام السيليكون إذا كان قد تم تركيب السباكة بشكل مؤقت، وأن الوصلات والمفاصل لايوجد عليها

ضغوط عالية من المياه. بالإضافة إلى ذلك فهناك حاجة إلى بعض الأدوات العامة، مثل: المطارق، والمثقاب، والمناشير اليدوية، والمناشير الكهربائية، وشريط القياس، وكماشة، وكماشة قفل القناة، والمفكات، وأداة قياس المستويات، وما إلى ذلك. وهناك أداة مهمة وهي المنشار الدائري الذي يأتي بأقطار مختلفة، ويتم توصيله بالثاقب؛ لحفر فتحات أو ثقوب دائرية يصل قطرها إلى 8 سم، وهي ضرورية لإدخال الأنابيب إلى أحواض الأسماك والمرشحات، فضلا عن إحداث ثقوب في أنابيب الـ(PVC)، أو أسرة البوليسترين في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC). ويحتوي الملحق (8) على قائمة تفصيلية بالمواد المطلوبة لكل وحدة تم وصفها في هذا الدليل.

ومضافا إلى ما ذكر ينصح دائما بالتأكد من أن الأنابيب والوصلات المستخدمة في النظام لم يتم استخدامها في السابق لتخزين المواد السامة. ومن المهم أيضا أن وصلات السباكة المستخدمة هي من نوعية تمتلك الخصائص الصالحة للاستخدامات الغذائية (food-grade)؛ لمنع امتصاص المواد الكيميائية بواسطة المياه. هذا ومن المهم أيضا استخدام الأنابيب ذات اللون الأسود أو غير شفافة للضوء، وبالتالي إيقاف نمو الطحالب في الأنابيب.

8.2.4 مجموعات اختبار المياه

اختبارات المياه البسيطة هي شرط لكل وحدة من وحدات الزراعة الأحيومائية. وتوجد مجموعات متاحة ومتوافرة، وسهلة الاستخدام؛ لإختبار المياه العذبة، منها مرمزة الألوان (Colour-coded)، وبالتالي ينصح باستخدامها، كما يمكن شراؤها من محلات أسماك الزينة، أو عبر الإنترنت. وتشمل هذه المجموعات على اختبارات لدرجة الحموضة، والأمونيا، والنتريت، والنترات، والعسر الدائم (GH)، وعسر الكربونات (KH)، كما هو موضح في الشكل (49.4). وينبغي التأكد من أن الشركات المصنعة موثوق بها، وأن تاريخ انتهاء الصلاحية لا يزال ساري المفعول. أما الأساليب الأخرى فتشمل أجهزة قياس رقمية أو شرائط الاختبار. وإذا كنت تستخدم جهازا رقميا لقياس درجة الحموضة أو النترات تأكد من معايرة الوحدات وفقا لتوجيهات الشركة المصنعة. كما أن مقياس الحرارة ضروري لقياس درجة حرارة المياه، وبالإضافة إلى ذلك فإذا كان هناك خطر من المياه المالحة في مصدر المياه فيمكن استخدام مقياس ثقل السائل النوعي رخيص الثمن، أو جهاز الانكسار (Refractometer) فهو أكثر دقة إلا أنه أكثر تكلفة. تم إعطاء تفاصيل حول استخدام مجموعات اختبار مرمزة الألوان (colourimetric) في (القسم 6.3.3).

الشكل 49.4

أدوات فحص المياه، متوافرة بعلامات تجارية مختلفة، وتشتمل على فحوصات: الأمونيا، والنتريت، والنترات، والحموضة، والقلوية

3.4 تقنية سرير وسائط النمو

إن وحدة السرير المليء بوسائط النمو هي التصميم الأكثر شعبية بالنسبة للزراعة الأحيومائية الصغيرة، وينصح بهذه الطريقة بالنسبة لمعظم المناطق النامية. تتميز هذه التصاميم في كفاءتها في استغلال المساحات، وكذلك للانخفاض النسبي للتكلفة الأولية لها وهي مناسبة للمبتدئين؛ وذلك لبساطتها. وفي وحدات سرير وسائط النمو تستخدم الوسائط؛ لدعم جذور النباتات، وكذلك كعامل تصفية ميكانيكية وحيوية، هذه الوظيفة المزدوجة هي السبب الرئيس لبساطة وحدة سرير وسائط النمو. وتوضح الأقسام التالية كيف تعمل الوحدات بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، وهذه كلها تتطلب مكونات معزولة وأكثر تعقيدا للترشيح. ولكن مع ذلك فإن تقنية سرير وسائط النمو يمكن أن تصبح غير عملية ومكلفة نسبيا إذا ما طبقت على نطاق واسع. كما يمكن أن تنسد وسائط النمو إذا كانت كثافات الأسماك تفوق القدرة الاستيعابية لأسرة وسائط النمو، وعندها يمكن أن يتطلب هذا الوضع تنصيب ترشيح منفصل. وتكون نسبة تبخر المياه مرتفعة في سرير وسائط النمو؛ نظراً لوجود مساحة سطح أكبر معرضة لأشعة الشمس، كما أن بعض وسائط النمو ثقيلة.

وهناك العديد من التصاميم لأسرة وسائط النمو، وهذه هي على الأرجح التقنية الأكثر قدرة على التكيف. فعلى سبيل المثال: تقنية (Bumina) هي أسلوبٌ من أساليب الزراعة الأحيومائية المستخدمة في أندونيسيا،

حيث يستخدم بها العديد من أسرة وسائط النمو الصغيرة المتصلة بخزان أسماك في الأرض (القسم 3.4.9)، وعلاوة على ذلك يمكن بسهولة استخدام مواد معاد تدويرها؛ لتخزين وسائط النمو وحفض الأسماك.

1.3.4 ديناميكية تدفق المياه

يبين الشكل (50.4)، المكونات الرئيسة لنظام الزراعة الأحيومائية باستخدام أسرة وسائط النمو، بما في ذلك حوض الأسماك، وسرير وسائط النمو، والخزان الأرضي لتجميع المياه، ومضخة المياه، وكذلك الكتل الخرسانية الداعمة. ومن الأسهل لنا أن نفهم كيف يعمل النظام من خلال اتباع تدفق المياه من خلاله، حيث يتدفق الماء بفعل الجاذبية من حوض الأسماك، ويمر عبر مرشح ميكانيكي بسيط ليصبّ في الأسرة التي بها وسائط نمو النباتات، هذه الأسرة مليئة بوسائط النمو ذات المسامات وتعمل كمرشح ميكانيكي وحيوي على حد سواء. كما أنها أيضا مكان للتمعدن، وتستضيف هذه الأسرة مستعمرة البكتيريا الآزوتية وتوفر مكاناً للنباتات لتنمو. وعندما تخرج المياه من أسرة وسائط نمو النباتات تصل إلى الخزان الأرضي لتجميع المياه، وكل هذا يحدث بواسطة الجاذبية، وعند هذه المرحلة تكون المياه خالية نسبيا من النفايات الصلبة والذائبة. وأخيرا يتم ضخ هذه المياه النظيفة إلى حوض الأسماك، وهو ما يجعل مستوى المياه يرتفع في حوض الأسماك، ويزيد من نسبة المياه فيه، وبالتالي ينصبُّ الفائض مرة أخرى إلى سرير وسائط النمو، واستكمال الدورة مرة أخرى. لقد تم تصميم بعض أسرة وسائط النمو لتمتلئ بالماء إلى الأعلى بحيث يتم إغراق الوسائط، ومن ثم ينفتح صمام عند نقطة تصريف المياه ويسمح لجميع الماء بالخروج (تقنية الإغراق والاستنزاف)، وهو ما يعني أن منسوب المياه يرتفع إلى نقطة معينة، ثم يتم استنزافه، وهذا يضيف الأكسيجين إلى جذور النباتات ويساعد في الترشيح الحيوي والتخلص من الأمونيا. وهناك طرق أخرى للريّ بواسطة التدفق المستمر للماء، بحيث يدخل الماء في السرير من جهة ويخرج من الجهة الأخرى، أو توزيع المياه بواسطة الريّ بالتنقيط.

الشكل 50.4

رسم توضيحي لوحدة سرير وسائط النمو صغيرة

2.3.4 بناء سرير وسائط النمو

مواد سرير وسائط النمو

يمكن أن تكون أسرة وسائط النمو مصنوعة من البلاستيك والألياف الزجاجية أو من إطار خشبي مع المطاط العازل للماء أو أغطية البولي إيثيلين التي توضع على قاعدة السرير وعلى الجدران من الداخل، والأكثر شعبية هو تطبيق مبدأ "إفعل ذلك بنفسك" (DIY). لصناعة سرير وسائط النمو من حاويات البلاستيك والحاويات الوسيطة المعدلة (IBC's)، أو حتى أحواض الاستحمام القديمة (الشكل 51.4). ومن الممكن استخدام كل ما سبق كسرير لوسائط النمو، وأنواع أخرى من الخزانات ما دامت محققة للمتطلبات التالية:

الشكل 51.4

وحدة سرير وسائط النمو تم إنشاؤها من الحاويات الوسيطة (IBCs)

- قوية بما يكفي لحفظ المياه، وتتحمل وزن وسائط النمو دون أن تنكسر.
- قادرة على تحمّل الطقس الصعب.
- مصنوعة من مواد آمنة للاستهلاك الآدمي، وآمنة للأسماك والنباتات والبكتيريا.
- يمكن توصيلها بسهولة بمكونات الوحدة الأخرى من خلال أجزاء بسيطة من عناصر السّباكة.
- يمكن وضعها على مقربة من مكونات وحدة أخرى.

شكل سرير وسائط النمو

يكون شكل سرير وسائط النمو مستطيلا، ويبلغ عرضه حوالي 1 م، وطوله 1–3 أمتار، ويمكن استخدام سرير أكبر إلا أنه يحتاج إلى مزيد من الدعم (كتل الخرسانة)؛ من أجل تحمل الوزن. وبالإضافة إلى ذلك فإن السرير الطويل قد ينتج عنه توزيعات غير متساوية من المخلفات الصلبة بداخله، والتي قد تتراكم عند مدخل المياه؛ مما يزيد من مخاطر البقع اللاهوائية؛ لذا يجب على الأسرّة ألا تكون واسعة، حتى يتمكن المزارعون أو مشغلوا الوحدة من الوصول على الأقل إلى منتصف السرير لتناول النباتات.

الشكل 52.4
خزانات من الألياف الزجاجية في وحدة سرير وسائط النمو

عمق سرير وسائط النمو

يعتبر عمق سرير وسائط النمو مهما؛ لأنه يتحكم في حجم مساحة الجذور في الوحدة الذي بدوره يحدد أنواع الخضراوات التي يمكن زراعتها، فإذا ما تمت زراعة الخضراوات الثمرية الكبيرة، مثل: الطماطم، والبامية، أو الملفوف فإنه ينبغي أن يبلغ سرير عمق وسائط النمو 30 سم، والذي بدونه لن تتمكن الخضراوات الكبيرة من الحصول على مساحة كافية للجذور، وسيتشكل مايشبه الحصير المتكوّن من الجذور، وسيؤدي إلى نقص المواد المغذية، وربما يؤدي إلى ضعف النبتة (الشكل 52.4). أما الخضار الورقية الخضراء الصغيرة لاتتطلب سوى (15–20 سم) من عمق وسائط النمو؛ مما يجعلها خيارا جيدا إذا كان حجم سرير وسائط النمو محدود. وقد أظهرت بعضُ التجارب أنه يمكن زراعة حتى المحاصيل الكبيرة في الأسرة الضحلة إذا كانت تركيزات المغذيات كافية.

3.3.4 اختيار وسائط النمو

تحتوي جميع وسائط النمو التي يتم استخدامها على عدة معايير مشتركة وأساسية، فمثلا يجب أن يكون للوسط مساحة كافية في حين تبقى قابلة للاختراق بالماء والهواء، وبالتالي تسمح للبكتيريا بالنمو وللمياه بأن تتدفق ولجذور النباتات بالتنفس. كما يجب أن تكون الوسائط خاملة وغير متربة وغير سامة، ويجب أيضا أن يكون الرقم الهيدروجيني محايدا؛ حتى لا يؤثر على نوعية المياه. ومن المهم أن تغسل جيدا قبل توضع داخل الأسرّة، لا سيما الحصى البركاني الذي يحتوي على الغبار وعلى الجزيئات الصغيرة جدا، والتي يمكن أن تسد النظام، ويحتمل أن تضر بخياشيم الأسماك. وأخيرا فمن المهم العمل بمواد مريحة للمزارع، وفي سبيل ذلك ينصح بمراعاة المعايير الضرورية التي يجب أن تتمتع بها وسائط النمو، وهي كالتالي:

- مساحة كبيرة لنمو البكتيريا؛
- الرقم الهيدروجيني محايد ومادة خاملة (الوسط لن يسرب أي مواد سامة)؛
- خصائص جيدة للتصريف؛
- سهلة للعمل معها؛
- مساحة كافية للهواء والماء للتدفق داخل الوسط؛
- غير مكلفة في ثمنها؛
- خفيفة الوزن إذا أمكن ذلك.

ويحدد المختصون في هذا المسار عدة معايير مشتركة لوسائط النمو، وهي كما يلي:

الحصى البركاني (الطف)

الحصى البركاني هو الوسيلة الأكثر شعبية في الاستخدام في وحدات السرير كوسائط للنمو، ويوصى بها حيثما كان ذلك متاحا (الشكل 53.4). وأفضل الصفات الثلاث للحصى البركاني هي: أنه يحتوي على مساحة عالية جدا بالنسبة للحجم، ويمكن أن يكون رخيصا وسهلا في الحصول عليه، وأنه خامل كيميائيا تقريبا. ويتميز الحصى البركاني بأن لديه المساحة السطحية الكافية بالنسبة للحجم، حيث تقدر بحوالي (300 م^2/م^3) اعتمادا على حجم الجسيمات، والذي يوفر مساحة واسعة للبكتيريا للاستعمار. كما أن الحصى البركاني متوافر في العديد من المواقع في جميع أنحاء العالم، وعندما يتم غسله من الغبار والأوساخ يصبح تقريبا خاملا كيميائيا تماما، باستثناء إفرازات صغيرة من العناصر الصغرى، مثل: الحديد، والمغنيسيوم، وامتصاص للفوسفات، وأيونات البوتاسيوم في غضون الأشهر القليلة الأولى لبدء الوحدة. أما بالنسبة للحجم الموصى به للحصى البركاني هو (8–20 ملم) للقطر، ومن المرجح أن ينسد الحصى الأصغر بالمخلفات الصلبة، كما أن الحصى الأكبر حجما لايوفر مساحة السطح الداعمة للنبات كما هو مطلوب.

الشكل 53.4
الحصى البركاني يستخدم في وحدات السرير كوسائط للنمو

الحجر الجيري

لا يُنصح بالحجر الجيري كوسائط للنمو، على الرغم من أنه يستخدم عادة (الشكل 54.4)، ولا يحبذ استخدام الحجر الجيري والصخور الرسوبية كثيراً؛ لأن لديها مساحة سطح صغيرة مقارنة بحجمها، وثقيلة وليست خاملة. ويتكون الحجر الجيري في المقام الأول من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)، والذي يذوب في الماء ويؤثر على نوعية المياه. ويؤدي الحجر الجيري أيضا إلى زيادة عسر الكربونات (صلابة الكربونات) في المياه، والتي ستؤدي إلى زيادة الرقم الهيدروجيني (انظر القسم 3.3)، ولذلك تستخدم هذه الحجارة بشكل أفضل حيث مصادر المياه منخفضة جدا في القلوية أو الحمضية، كما في حالات المياه القلوية التي ستتطلب تصحيحات للحمض للمياه المستخدمة بشكل مستمر. ولكن مع ذلك يمكن إضافة بعض من الحجر الجيري؛ لتساعد على موازنة تأثير الأحماض الناتجة عن البكتيريا الآزوتية، والذي يمكن أن يعوّض الحاجة إلى إضافة المياه العادية؛ لمقاومة الحموضة في الأنظمة المتوازنة. أضف إلى معلوماتك أن الحجر الجيري مادة قد لا يكون العمل معها مريحا فيما يخص الزراعة والحصاد، وأنها يمكن أن تنسد خصوصاً إذا لم يتم اختيار الحبيبات ذات الحجم المناسب، ومع ذلك فإنها الأرخص والأكثر شيوعا من بين الحصى المتاح. والحجر الجيري مقبول فقط كوسيلة إذا لم تتوافر أصناف أخرى، ولكن يجب أن نكون على بيّنة من تأثير الوسائط الأخرى على جودة المياه.

الشكل 54.4
حجر جيري يستخدم في وحدات السرير كوسائط للنمو

كريات الطين الخفيفة (Light expanded clay aggregate)

تتكون كريّات الطين الخفيفة (Light expanded clay aggregate) (LECA) من حصى مصنوع من الطين (الشكل 55.4)، وقد تم تصنيعا في الأصل للعزل الحراري لأسقف البنايات، ولكن في الآونة الأخيرة تم استخدامها في الزراعة المائية. وهذه الكريّات هي مستديرة الشكل وخفيفة الوزن مقارنة مع الركائز أو الوسائط الأخرى، وهي مريحة جدا للعمل بها، ومثالية للإنتاج من على أسطح المباني، وتقدر مساحة السطح للكريّات (LECA) حوالي 250–300 م^2/م^3، وهذه المساحة تعد ضمن النطاق المستهدف، لكن هذه المادة غالية نسبياً، وغير متوافرة على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم. وتتوافر هذه الكريات في مجموعة متنوعة من الأحجام. بالنسبة للزراعة الأحيومائية، يُنصح باستخدام أحجام أكبر وبأقطار تتراوح بين 8–20 ملم، علما بأن هذه المواد يمكن أن

الشكل 55.4
كريّات الطين الخفيفة تستخدم في وحدات السرير كوسائط للنمو

تعطي فوائد إضافية للمزارعين في حالة وضعها مباشرة على أرضيات الأسطح، ويعتمد هذا على التصميم. وفي الواقع يمكن أن يستفيد المبنى من عزل إضافي على السطح، والذي يمكن أن يُسهم في تقليل تكاليف تبريد أو تدفئة المنازل.

الخيارات الممكنة للركائز أو وسائط النمو الأخرى

إذا كانت وسائط النمو المذكورة أعلاه غير متوافرة فمن الممكن استخدام وسائط نمو أخرى، وهذه البدائل تتضمن حصى قاع النهر الذي عادة ما يكون من الحجر الجيري، ولكن يمكن أن يكون له مساحة سطح منخفضة مقارنة بنسبة الحجم اعتمادا على حجم الحبيبات. ومن ضمن تلك البدائل الخفاف (الصوف الصخري) لونه أبيض أو رمادي متكون من المواد البركانية، يستخدم بشكل واسع في الزراعة المائية، والبلاستيك المعاد تدويره، وعلى الرغم من أن البلاستيك يطفو ويحتاج إلى أن يثبت مغمورا بطبقة من الحصى من أعلى، والركائز العضوية كألياف جوز الهند، ونشارة الخشب، والبييت موس (Peat moss)، أو بدن الأرز (Rice hull)، وهي غير مكلفة في كثير من الأحيان، ولكن المخاطر قد تظهر من حالات غياب الأكسيجين. وتتحلل هذه المواد مع مرور الوقت فتعمل على انسداد وحدات النظام، ومع ذلك فيمكن استخدام الركيزة العضوية لفترة داخل الزراعة الأحيومائية، وبمجرد أن تبدأ في التحلل يمكن إزالتها من النظام واستخدامها كسماد، وتستخدم كقيمة مضافة لتربة المحاصيل، ويلخص الجدول (1.4) الخصائص الرئيسة لجميع الركائز أو وسائط النمو المذكورة أعلاه.

المساحة المستغلة بواسطة الوسائط في أسرة نمو النبات مقارنة بالمياه

ستشغل وسائط النمو ما يقرب من 30–60 في المائة من الحجم الكلي للسرير، وهذا يعتمد أيضاً على النوع، كما أن هذه النسبة ستساعد على اتخاذ قرار بشأن حجم خزان تجميع المياه الأرضي، حيث إن هذا الخزان لابد أن يتسع لكمية المياه الكلية التي في أسرّة النمو. وينبغي أن تكون خزانات تجميع المياه الأرضية كبيرة قليلا؛ للتأكد من أن هناك دائما ما يكفي من المياه لتشغيل المضخة.

فعلى سبيل المثال لسرير وسائط النمو الذي سعته 1000 لتر (2 متر طول × 2 متر عرض × 0,25 متر عمق وسائط النمو)، فإن وسائط النمو ستشغل مامقداره 300–600 لتر من سعة السرير، وبالتالي فإن كمية المياه في سرير وسائط النمو يجب أن تتراوح بين 400 و700 لتر. هذا ويُوصى بأن يكون حجم حوض تجميع المياه الأرضي بما لا يقل عن 70 في المائة من الحجم الكلي لسرير وسائط النمو.

الجدول 1.4
خصائص وسائط النمو المختلفة

نوع الوسط	مساحة السطح ($م^2/م^3$)	pH	التكلفة	الوزن	مدة الصلاحية	مدة الاحتفاظ بالمياه	جودة ركيزة النبات	سهولة العمل معها
الحصى البركاني (الطف)	300–400	محايد	متوسط	متوسط	طويلة	متوسط- ضعيف	ممتاز	متوسط
الحصى البركاني الخفيف	200–300	محايد	متوسط-عالي	خفيف	طويلة	متوسط	متوسط-ضعيف	سهل
الحصى الجيري	150–200	قاعدي	منخفض	ثقيل	طويلة	ضعيف	ممتاز	صعب
كريات الطين الخفيفة	250–300	محايد	عالي	خفيف	طويلة	متوسط- ضعيف	متوسط	سهل
أغطية قنينات بلاستيكية	50–100	خامل	منخفض	خفيف	طويلة	ضعيف	ضعيف	سهل
ألياف جوز الهند	200–400 (متغير)	محايد	معتدل	خفيف	قصيرة	عالي	متوسط	سهل

4.3.4 الترشيح

تعمل أسرة وسائط النمو كمرشحات فعالة جدا، سواء الميكانيكية أو الحيوية منها، على خلاف نظم الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، و الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) (كما هو مبين أدناه)، فإن تقنية أسرة وسائط النمو تستخدم مركب المرشح ومنطقة نمو النباتات. وبالإضافة إلى ذلك توفر أسرة وسائط النمو موقعا لحدوث التمعدن، وهو مفقود في نظم الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC). ومع ذلك ففي الكثافات العالية للأسماك (>15 كغم/م^3) فإن الترشيح الميكانيكي يمكن أن يطغى، ويمكن أن يواجه خطر انسداد محتواه، وإنتاج بقع لاهوائية خطيرة.

الترشيح الميكانيكي

يعمل السرير المليء بالجسيمات أو الوسائط كعامل تصفية جسيمي، ويعمل على احتواء المخلفات الصلبة للأسماك العالقة بالمياه وغيرها من الأجسام العضوية العالقة والعائمة في المياه. كما أن فعالية هذا المرشح تعتمد على حجم الجسيمات، حيث إن الجسيمات الأصغر معبأة بكثافة أكثر، وتقوم بالتقاط المزيد من المواد الصلبة. كما يمكن لمعدل تدفق المياه العالي ضغط الجسيمات من خلال سرير الجسيمات أو الوسائط وإخراجها من الترشيح، ومع مرور الوقت ستتكسر المخلفات الصلبة وتتمعدن. وإذا كان هناك نظام متوازن بشكل صحيح فسيعمل على معالجة جميع المخلفات الصلبة في المرشح.

لكن إذا احتسب حجم سرير الجسيمات بشكل غير صحيح دون الأخذ في الاعتبار كثافة الأسماك، فيمكن لسرير الجسيمات أن ينسد بالمواد الصلبة، وهذا يشير إلى وجود خطأ في التصميم الأصلي عندما يتم استخدام نسبة معدل التغذية لتحقيق التوازن في النظام. إن هذا الوضع سيؤدي إلى انسداد السرير بالمخلفات الصلبة، وسينجم عنه سوء في توزيع المياه، وتشكل مناطق خالية من الأكسيجين؛ مما سيتسبب في ظروف خطرة. وعندما يحدث هذا يجب غسل جسيمات المرشح أو السرير، وهذه العملية تستهلك عمالة، وتعطل دورة نمو النباتات، ويمكن أن تؤثر على البكتيريا الآزوتية لفترة وجيزة.

ولتجنب هذه الحالة يجب التأكد من أن التصميم الأصلي آخذٌ في الاعتبار كثافة الأسماك، ونظام التغذية، ودقة نسبة معدل التغذية لحساب المساحة المطلوبة لسرير الجسيمات، وبدلا من ذلك فيمكن وضع جهاز التقاط المواد الصلبة مدمجا في تصميم الوحدة. ويُوصى بهذا أيضاً عندما تتجاوز كثافة الأسماك 15 كغم/م^3 و/أو إذا كان معدل التغذية فوق 50 غراما/يوم لكل متر مربع من سرير نمو النباتات. وهناك عدة خيارات إضافية لهذا المرشح الميكانيكي التقنية البدائية والرخيصة، منها تركيب جورب قديم في أنبوب المياه التي تدخل من حوض الأسماك إلى المرشح الميكانيكي، أو سرير الجسيمات. إن هذا المرشح البسيط يمكن إزالته كل يوم وغسله. والطريقة الأخرى الأكثر تفصيلا هي وضع دلو بمقاس 3–5 لترات داخل سرير الجسيمات يتوفر على عدة ثقوب صغيرة (6–8 ملم) في الأسطح الجانبية (الشكل 31.4). يُحشى هذا الدلو بالإسفنج والنايلون أو حتى بمادة وسائط النمو ككريّات الطين أو الحصى البركاني (LECA)، كما يمكن لهذه المواد أن توضع داخل كيس شبكي خامل يسهل اختراقه وتوضع في الدلو. إن هذا المرشح الصغير سيعمل كفخ للمخلفات الصلبة، ويمكن بعد ذلك إزالته بشكل دوري لتنظيفه أو استبداله.

الترشيح الحيوي

جميع وسائل أو وسائط النمو الوارد ذكرها هنا لديها مساحة سطح كبيرة حيث يمكن للبكتيريا الآزوتية استعمارها. ولجميع التصاميم الخاصة بالزراعة الأحيومائية فإن سرير الوسائط أو الجسيمات لديها نسبة ترشيح حيوي أكثر، بسبب المساحة الضخمة لهذه الوسائط التي تسمح للبكتيريا أن تنمو. كما يمكن لقدرة الترشيح الحيوي أن تكون محدودة أو مفقودة إذا كان الأكسيجين في سرير الجسيمات أو الوسائط ناقصاً، وإذا كانت درجات الحرارة منخفضة، أو إذا كانت نوعية المياه سيئة، ولكن سرير الجسيمات عموما لديه ترشيح حيوي أكثر من المطلوب.

التمعدن

مع مرور الوقت سيتم تفتيت المخلفات السمكية الصلبة العالقة في المياه ببطء بواسطة العمليات الحيوية والفيزيائية، وسيتم تحويلها إلى عناصر غذائية بسيطة في شكل جزيئات وأيونات يمكن للنباتات أن تمتصها بسهولة. أما إذا تراكمت المخلفات وبقيت في سرير الوسائط فإنها قد تشير إلى أن عملية التمعدن ليست كافية، وفي هذه الحالة يُوصى

باستخدام الترشيح الميكانيكي الأكثر فعالية، ومعالجة المخلفات وتصفيتها بشكل منفصل. لقد تم وصف هذه العملية بمزيد من التفصيل في القسم (2.2.4) والفصل الخامس.

5.3.4 المناطق الثلاث لسرير وسائط النمو – الخصائص والعمليات

تمتلئ أسرة وسائط النمو بالماء إلى الأعلى بحيث يتم إغراق الوسائط، ومن ثم ينفتح صمام عند نقطة تصريف المياه ويسمح لكل الماء بالخروج (تقنية الإغراق والاستنزاف). إن هذه الطبيعة تخلق ثلاث مناطق منفصلة يمكن أن تكوّن أنظمة بيئية صغيرة، يتم التمييز بينها عن طريق المياه ومحتوى الأكسيجين، وتستضيف كل منطقة مجموعة متنوعة من البكتيريا، والفطريات، والكائنات الدقيقة، والديدان، والحشرات، والقشريات. و تعتبر البكتيريا الآزوتية واحدة من أهم البكتيريا المستخدمة في الترشيح الحيوي، ولكن هناك العديد من الأنواع الأخرى التي لها دور في تفتيت مخلفات الأسماك، وليس من الضروري أن تكون على بينة عن كل هذه الكائنات. ويوجز هذا القسم الخطوط العريضة والاختلافات بين هذه المناطق الثلاث وبعض العمليات البيئية التي تحدث في كل منهما.

المنطقة الجافة

المنطقة الأعلى (2–5 سم) من السرير هي المنطقة الجافة (الشكل 56.4)، وتتمثل وظيفة هذه المنطقة في كونها بمثابة حاجز الضوء، وتمنع تأثير الضوء المباشر على المياه، والتي يمكن أن تؤدي إلى نمو الطحالب، كما يمنع نمو الفطريات والبكتيريا الضارة في القاعدة الجذعية النباتية، والذي يمكن أن يسبب طوق تعفن وأمراضا نباتية أخرى. وهناك سببٌ آخر للمنطقة الجافة وهو تقليل التبخر من الأسرّة من خلال تغطية المنطقة الرطبة عن الضوء المباشر، علاوة على ذلك فإن البكتيريا المفيدة هي حساسة لأشعة الشمس المباشرة.

المنطقة الجافة/الرطبة

تتميز هذه المنطقة بنسبة عالية لكل من الرطوبة والغازات في أسرة وسائط النمو التي تمتلئ بالماء، ومن ثم تصرف (تقنية الإغراق والاستنزاف) كما هو موضح أدناه. إن هذه المنطقة بسمك 10–20 سم، حيث يشهد سرير وسائط النمو باستمرار إغراقا بالمياه يتلوه تصريف (الشكل 57.4). أما إذا لم تكن تستخدم تقنيات الإغراق والاستنزاف، فإن هذه المنطقة ستكون المسار أو الوسط الذي يتدفق الماء من خلاله، كما أن أغلب النشاط الحيوي سيحدث في هذه المنطقة. إن تطوّر الجذور ومستعمرات البكتيريا المفيدة والكائنات الحية الدقيقة النافعة تنشط في هذه المنطقة، فتحصل النباتات والحيوانات على المياه، والعناصر الغذائية، والأكسيجين بسبب تلاقي الهواء والماء.

وهناك تقنية شائعة وهي إضافة الديدان إلى سرير وسائط النمو والتي ستعيش في هذه المنطقة الجافة/ الرطبة، ستسهم الديدان في التخلص من المخلفات الصلبة للأسماك، كما أنها ستستهلك أيضاً أي أوراق أو جذور ميتة. إن هذا النشاط سيمنع المخلفات من سد النظام. انظر (القسم 1.1.9) لمزيد من المعلومات حول الديدان وفيرمى كومبوست (vermicompost).

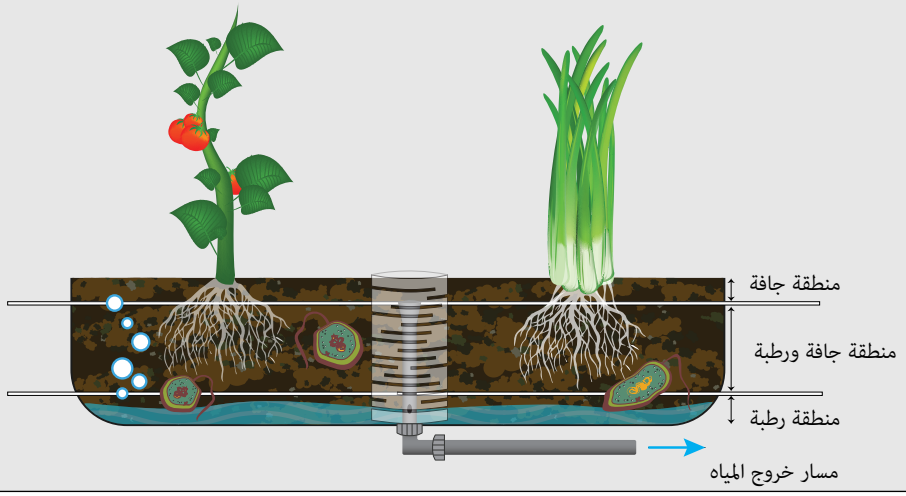
المنطقة الرطبة

هذه المنطقة بسمك قاع 3–5 سم من السرير، رطبة بشكل دائم، وفي هذه المنطقة تتراكم الجسيمات الصغيرة للمخلفات الصلبة، وبالتالي فإن الكائنات التي تنشط أكثر في عملية التمعدن تقع هنا، وتشتمل على البكتيريا المتغايرة وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة، كما أن هذه الكائنات هي المسؤولة عن تفتيت المخلفات إلى فتاتات وجزيئات صغيرة يمكن أن تمتصها النباتات من خلال عملية التمعدن.

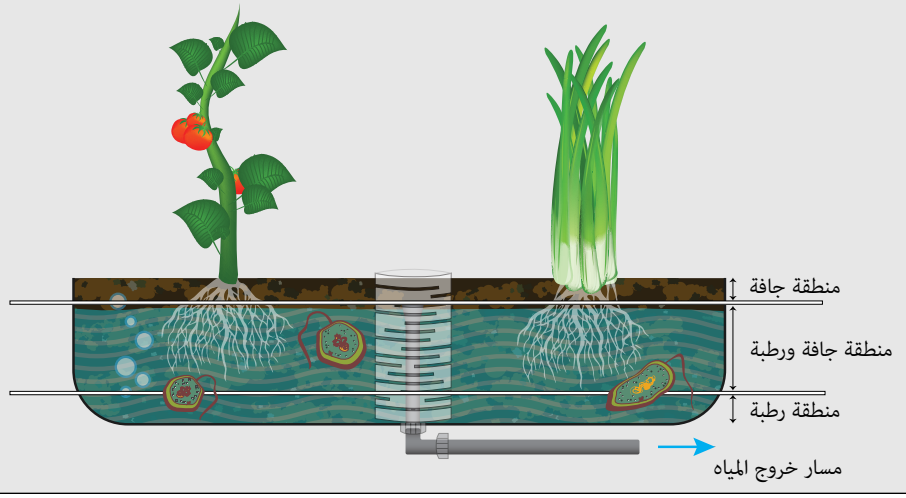
6.3.4 ري سرير وسائط النمو

توجد تقنياتٌ مختلفة لتوصيل المياه إلى سرير وسائط النمو، ويمكن أن تعتمد كلها على توافر المواد محلياً، وكذلك درجة التكنولوجيا المطلوبة، أو خبرة المشغلين. وفي هذا النظام يمكن أن تتدفق المياه ببساطة من أنابيب الريّ بشكل موحد موزعة على وسائط النمو، وهو تصميم مقبول تماما. ويرى بعض الخبراء أن تصاميم التدفق المستمر تدعم معدلات النمو للنباتات مثل الأساليب الأكثر تعقيدا، لكنّ أنظمة توزيع المياه هذه يمكن أن تنسد بالمخلفات الصلبة للأسماك، ويجب أن يتم تنظيف فتحاتها بشكل دوري.

الشكل 56.4
المناطق الثلاث لسرير وسائط النمو خلال دورة تصريف المياه



الشكل 57.4
المناطق الثلاث لسرير وسائط النمو خلال دورة تصريف المياه



وهناك طريقة كما ذكرنا آنفاً تسمى بتقنية الإغراق والاستنزاف، وتعرف أيضاً باسم الانحسار والتدفق، ويمكن استخدامها حيث نظام السباكة يتسبب في إغراق سرير وسائط النمو بالمياه من حوض الأسماك، ومن ثم تصفّى مرة أخرى في خزان تجميع المياه الأرضي، ويتم إنجاز ذلك من خلال التصريف التلقائي (Autosiphons) أو الضخ الذي يعمل بالتوقيت. إن هذا التناوب بين الإغراق والاستنزاف يضمن للنباتات الحصول على العناصر الغذائية الطازجة، وتدفق الهواء الكافي في منطقة الجذر، وهو بالتالي يغذي مستويات الأكسيجين للنباتات والبكتيريا، كما يضمن وجود الرطوبة الكافية في السرير في جميع الأوقات، بل حتى البكتيريا يمكن أن تزدهر في ظروف مثلى. وتمر عادة هذه النظم من خلال دورة كاملة من مرة إلى مرتين كل ساعة، ولكن بعض الأنظمة الناجحة تقوم بالتدوير من 3–4 مرات فقط في اليوم الواحد، علما بأن تصاميم تقنية الإغراق والاستنزاف ليست هي التقنيات الوحيدة لأسرّة وسائط النمو، كما أن إدارة دورة تدفق المياه قد يكون أمراً متعباً، ويستغرق وقتا طويلا للمشغلين المبتدئين.

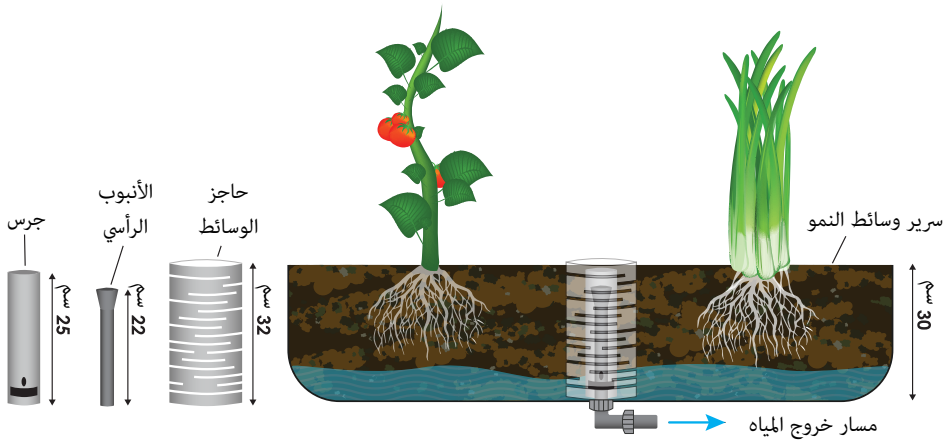
سيناقشُ هذا الدليل بشكل موجز طريقتين شائعتين لإغراق واستنزاف السرير، على الرغم من أن هناك أساليب أخرى، مثل الشفط اللولبي الموجود وموضوع البحث الحالي للزراعة الأحيومائية.

تقنية الشفط بالجرس (Bell siphon)

هو نوعٌ من الشفط التلقائي (Autosiphon) ويستغل بعض القوانين الفيزيائية الأساسية الهيدروناميكية، ويسمح

الشكل 58.4

رسم توضيحي لتقنية الشفط بالجرس ومركباته، تم تركيبه في سرير وسائط النمو



لسرير وسائط النمو للإغراق والاستنزاف تلقائيا، بشكل دوري من دون جهاز توقيت (الشكل 58.4). كما أن طريقة عمله وتوقيت الشفط يعتمدان على معدل تدفق الماء في السرير وهو ثابت، ولكن يمكن أن تكون هذه التقنية صعبة وتتطلب مزيدا من الاهتمام.

ديناميكية تدفق المياه

تتدفق المياه في كل سرير وسائط النمو بمعدل تدفق ثابت، فكلما ملأت المياه السرير ووصلت إلى أعلى الأنبوب الرأسي تبدأ بالانسياب من خلال هذا الأنبوب الرأسي إلى خزان تجميع المياه الأرضي، وبدون تقنية الشفط بالجرس (Bell siphon) ويمكن أن يؤدي هذا إلى ارتفاع منسوب المياه الثابت، ومع استمرار المياه في الانسياب من خلال الأنبوب الرأسي، يبقى الجرس (Bell) مثل القبعة على الأنبوب الرأسي ويعمل بمثابة قفل للهواء، وينتج عنه تأثير الشفط. إن هذا الشفط الذي يحدث بداخل هذه الأداة يبدأ بسحب المياه من السرير، وكلما بدأت عملية الشفط، ستخرج كل المياه من السرير بسرعة وسيحافظ الجرس (القبعة) على عمله كقفل للهواء، كما أن تصريف المياه من خلال الأنبوب الرأسي (Standpipe) أسرع من التدفق المستمر من حوض الأسماك. عندما تُستنزف كل المياه من سرير وسائط النمو حتى القاع، يدخل الهواء أسفل الجرس (القبعة) التي على الأنبوب الرأسي للتصريف ويتوقف الشفط فورا، ثم يملأ الماء السرير ببطء مرة أخرى، ويتم تكرار الدورة كاملة مرة أخرى بشكل مستمر. انظر القسم الخاص (لمزيد من القراءة) الموجود في نهاية هذا الدليل لمزيد من المعلومات حول تقنية الشفط بالجرس (Bell siphon).

المكونات الرئيسة للشفط بالجرس (Bell siphon)

تم شرح المكونات الرئيسة الثلاثة لتقنية الشفط بالجرس (Bell siphon)، لكننا نود هنا الإشارة إلى تعليمات مهمة لفهم وإنشاء وتحسين تقنية الشفط، كما يمكن مشاهدة صور لهذه المكونات في الملحق (8). إن أبعاد الأنبوب الرأسي (Standpipe) والجرس (القبعة) وحاجز وسائط النمو يعتمد كليا على حجم السرير ومعدل تدفق المياه، أما الأبعاد التي تم توفيرها لتصاميم أنظمة الزراعة الأحيومائية الواردة في هذا الدليل هي لسرير وسائط النمو التي تتمتع بحجم 1–3 م^2، وبعمق 30 سم، مع معدل تدفق المياه من 200–500 لتر/ساعة لكل سرير، ولأسرة وسائط النمو الكبيرة فإن كافة المكونات بطبيعة الحال تكون أكبر.

الأنبوب الرأسي (Standpipe): يتم إنشاؤه من الأنابيب البلاستيكية، بقطر 2,5 سم وبارتفاع 22 سم، ويمر الأنبوب الرأسي من خلال الجزء السفلي من سرير وسائط النمو، ويُربط بخزان تجميع المياه الأرضي (Sump tank)، ويعتبر كذلك مسار المياه المصرفة من السرير.

الجرس: الجرس هو أنبوب بلاستيكي قطره (7,5 سم) وارتفاعه (25 سم)، وهذا الأنبوب هو مغلق في نهايته العلوية بغطاء – (PVC) ومفتوح من الجزء السفلي، حيث يتم تغطية الأنبوب الرأسي به، كما يتم فتح ثُغرتين مستطيلتين بحجم (1 سم × 4 سم) في أسفل الجرس، متعاكستين وتفصل بينهما مسافة (1,5 م). ويتم سحب المياه

من خلال هاتين الفتحتين لتصل إلى الأنبوب الرأسي داخل الجرس، ويُفتح ثقب نهائي في الجرس بقطر (1 سم) وبارتفاع (5 سم) من الأسفل؛ للمساعدة على إيقاف شفط الماء عندما ينضب السرير من الماء بواسطة السماح للهواء بالدخول.

حاجز وسائط النمو: إن حاجز وسائط النمو هو أنبوب من مادة – (PVC)، وقطره (11 سم)، وارتفاعه (32 سم)، وبه العديد من الثقوب الصغيرة المحفورة في جوانبه، وتكون وظيفة هذا الحاجز منع وسائط النمو في السرير من الدخول إلى أنابيب المياه وسدها، دون عرقلة تدفق المياه.

آلية التوقيت

يعتمد أسلوب الإغراق والاستنزاف للأسرة على جهاز توقيت يتم توصيله بمضخة المياه للتحكم بعملية الإغراق والاستنزاف الدوري (الشكل 59.4). وتكمن فائدة هذا الأسلوب في أنه لا توجد عملية شفط تلقائي (Autosiphon)، التي يمكن أن تتطلب أيدي عاملة بشكل كثيف من أجل المعايرة، ومع ذلك فإن انخفاض توزيع المياه وانخفاض التهوية في حوض الأسماك يقلل من مستوى الترشيح بشكل عام. وهذا الأسلوب هو أقل ملاءمة في حالات الكثافة العالية للأسماك، ويتطلب عناية فائقة؛ لتوفير تهوية إضافية للسمك.

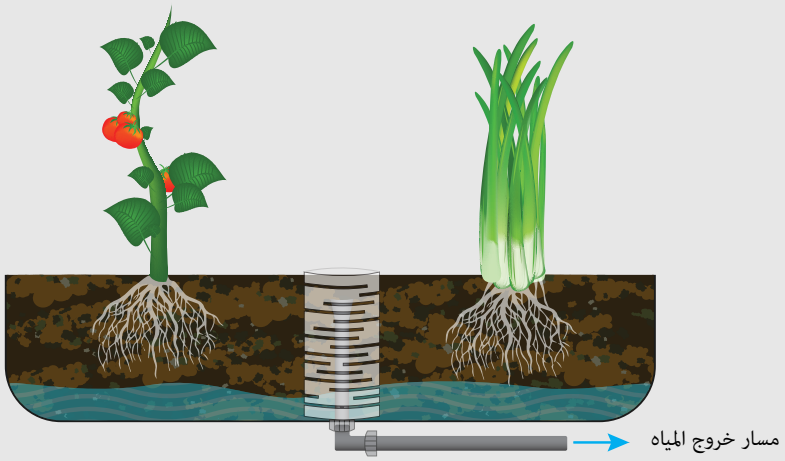
ديناميكية تدفق المياه

يتدفق الماء إلى سرير وسائط النمو، ويغرق السرير حتى يصل الماء إلى أعلى الأنبوب الرأسي، ثم تُستنزف المياه من خلال هذه الأنابيب الرأسية، وتهبط إلى خزان تجميع المياه الأرضي، والأنبوب الرأسي ذو القطر الكبير كافٍ لاستنزاف كل المياه المتدفقة في السرير، والجزء العلوي من الأنبوب الرأسي هو أعمق نقطة يصل إليها ارتفاع منسوب الماء في السرير. وهناك أيضا مدخل صغير للماء في هذا الأنبوب بقطر 6–12 ملم بقرب القاع، وهذا المدخل الصغير لايكفي لاستنزاف كل المياه الواردة للسرير؛ ولذا عندما تدخل المياه في هذا المدخل الصغير، فهي لا تزال تتدفق إلى السرير حتى تصل إلى القمة. وفي مرحلة ما بعد ملء السرير بالمياه بالكامل يقوم جهاز التوقيت بإيقاف مضخة المياه، فتبدأ المياه الموجودة في سرير وسائط النمو بالتدفق من خلال ثقب صغير، وتستمر في استنزاف المياه التي في سرير النمو حتى تصل إلى مستوى الفتحة السفلية، وعند هذه النقطة يتم تشغيل مضخة المياه وتعبئة سرير النمو بمياه جديدة من حوض الأسماك. ومن المهم جدا أن تكون كمية المياه التي تتدفق في سرير وسائط النمو أكثر من كمية المياه التي تتدفق من خلال الفتحة الصغيرة التي في الأنبوب الرأسي؛ وذلك للسماح لسرير وسائط النمو بأن يمتلئ بالمياه بالكامل مرة أخرى. وأخيرا فإن فترة دورة الإغراق والاستنزاف وقطر ثقب التصريف يحدد حسب حجم سرير وسائط النمو، ومعدل تدفق المياه.

ولضمان الترشيح الكافي، يجب ضخ كامل كمية المياه التي في حوض الأسماك من خلال سرير وسائط النمو كل ساعة. وأخيرا يجب التأكد من مسح الأسرة مرة واحدة كل أسبوع بواسطة إزالة الأنبوب الرأسي والسماح للمياه المتبقية بالاستنزاف.

الشكل 59.4

رسم توضيحي للأنبوب الرأسي وحاجز وسائط النمو

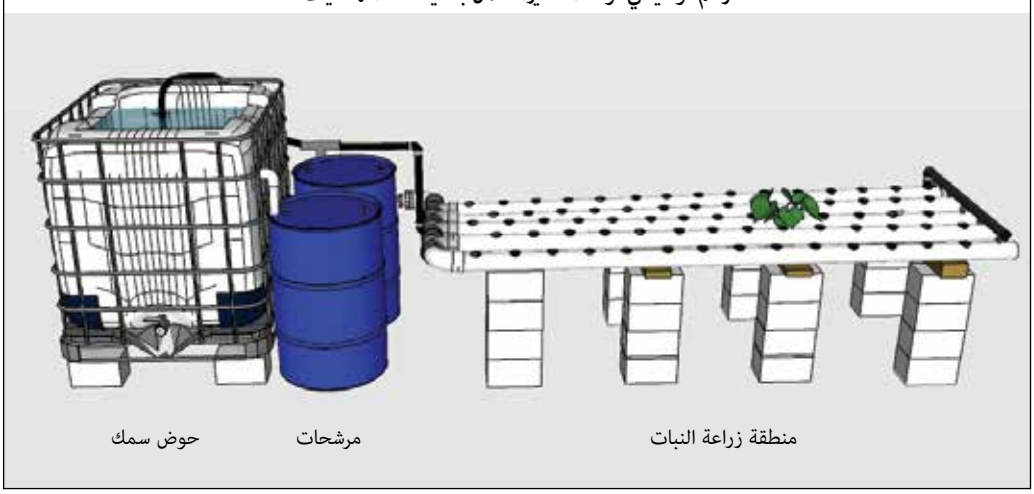


أما المواد المعنية بالأسلوب الذي يستخدم جهاز التوقيت في تصاميم الزراعة الأحيومائية المدرجة في هذا الدليل، فهي كما يلي: أنبوب رأسي بقطر 2,5 سم وبارتفاع 23 سم، به ثقب تصريف ثانوي بقطر 6–12 ملم، ويقع هذا الثقب عند حوالي 2,5 سم من الأسفل؛ حاجز وسائط النمو بقطر 11 سم وطول 32 سم يطوّق الأنبوب الرأسي لمنع وسائط النمو من سده، وجهاز توقيت يتحكم في المضخة التي يتم معايرتها على أساس معدل تدفق المضخة، ومعدل تصريف الأنبوب الرأسي.

4.4 تقنية غشاء المغذيات (NFT)

تقنية غشاء المغذيات (NFT) هي أسلوبٌ مائي يتحقق باستخدام أنابيب أفقية مع تيار ضحل من مياه الزراعة الأحيومائية الغنية بالعناصر الغذائية تتدفق من خلاله، (الشكل 60.4). وفي هذه التقنية توضع النباتات داخل ثقوب في الجزء العلوي من الأنابيب، وتكون قادرة على استخدام هذه الطبقة الرقيقة من المياه الغنية بالعناصر الغذائية.

الشكل 60.4
رسم توضيحي لوحدة صغيرة تعمل بتقنية غشاء المغذيات



إن الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، والوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) هي طرق شائعة ولها شعبية واسعة في الإنتاج التجاري من الناحية المالية، وكذلك أكثر قابلية للاستمرار مقارنة بوحدات سرير وسائط النمو عندما تتم توسعة الوحدات الإنتاجية إلى أحجام أكبر (الشكل 61.4). ومما يميز هذه التقنية هوأنها تتمتع بنسبة تبخر منخفضة جدا؛ لأن الماء محمي تماما من الشمس. ويعد هذا الأسلوب أكثر تعقيدا بكثير، ومكلفا مقارنة بسرير وسائط النمو، وربما لا يكون مناسبا في المواقع التي تفتقر إلى الموردين، ولكنها هي الأكثر فائدة للتطبيق في المناطق الحضرية، وخاصة عند استخدام الفضاء الرأسي أو عندما تكون الأوزان قيوداً يجب أخذها في الاعتبار.

الشكل 61.4
خس ينمو في وحدة تجارية تعمل بتقنية غشاء المغذيات

وعلى الرغم من أن جميع الطرق لديها أساليب مختلفة متبعة في نمو النباتات، والفرق الأكثر أهمية بينها هو الأسلوب في الترشيح الذي تستفيد منه كل من الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) مقارنة بطريقة سرير وسائط النمو. ويصف النص التالي هذا الأسلوب من الترشيح لوحدات (NFT)، وكذلك (DWC) بالتفصيل، وستتم مناقشة الأساليب لوحدات (NFT) ووحدات (DWC) بشكل فردي.

1.4.4 ديناميكية تدفق المياه

تتدفق المياه بفعل الجاذبية من حوض الأسماك عبر المرشح الميكانيكي، وإلى مزيج من المرشح البيولوجي وخزان تجميع المياه

الأرضي، ويتم ضخ المياه في اتجاهين من خلال وصلة على شكل الحرف "Y" وصمامات، ويتم ضخ بعض المياه مباشرة إلى حوض الأسماك، أما المياه المتبقية فيتم ضخها في المشعب (Manifold) الذي يعمل على توزيع المياه بالتساوي من خلال أنابيب وحدة – (NFT)، ثم يتدفق الماء مرة أخرى بواسطة الجاذبية من خلال أنابيب النمو حيث توجد النباتات. وعندما تخرج المياه من أنابيب النمو، يتم إرجاع المياه إلى المرشح الحيوي وخزان تجميع المياه الأرضي؛ ليتم ضخه مرة أخرى إما في حوض الأسماك أو أنابيب نمو النباتات، علما بأن المياه التي تدخل في حوض الأسماك تتسبب في رفع مستوى المياه داخل الحوض، وخروج الفائض من الحوض من خلال الأنابيب والعودة إلى المرشح الميكانيكي، وبالتالي استكمال الدورة.

هذا التصميم كما هو موضح في هذا الدليل يسمى تصميم "الشكل 8"؛ بسبب شكل مسار المياه، وهو يضمن للماء المصفّى أو المرشح بأن يدخل في حوض السمك وأنابيب النمو، في حين تستخدم مضخة مياه واحدة فقط. ليست هناك حاجة لوضع خزان تجميع المياه في مستـوىً منخفض من بقية أجزاء الوحدة؛ مما يجعل هذا التصميم سهل الاستخدام على الأرضيات الخرسانية أو على أسطح المنازل، وجميع المكونات في مستوى العمل المريح بالنسبة للمزارع، دون الحاجة للانحناء أو استخدام السلالم، وعلاوة على ذلك فإن هذا التصميم يستخدم حجم حاوية البضائع المتوسطة التي تستخدم في نقل السوائل (IBC) بالكامل؛ لضمان المساحة الكافية للأسماك، لكن هناك عيب واحد فيه، وهو أن الجمع بين خزان تجميع المياه الأرضي والمرشح الحيوي يعمل على تخفيف تركيز المغذيات في المياه قبل أن تصل إلى أنابيب النمو، وفي الوقت نفسه يعمل على إعادة المياه إلى حوض الأسماك قبل أن يتم امتصاص العناصر الغذائية وتجريد المياه منها تماماً، ومع ذلك فيمكن الحصول على تخفيف طفيف من خلال التحكم في التدفق الثنائي الاتجاه، وعموما فإنه لا يملك إلا القليل من التأثير على فاعلية هذا النظام في ضوء المنافع المتقدمة. وبشكل عام ترجع المضخة 80 في المائة من المياه إلى أحواض الأسماك، و20 في المائة المتبقية في أسرة وسائط النمو أو القنوات، وهذا يمكن السيطرة عليه بواسطة صمام.

2.4.4 الترشيح الميكانيكي والبيولوجي

الترشيح المخصص له أهمية حاسمة لكلّ من وحدات طريقة غشاء المغذيات (NFT)، ووحدات طريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، في حين أن الوسائط أو الركائز في تقنية سرير وسائط النمو تعمل بمثابة مرشح حيوي وميكانيكي، وأن تقنيات وحدات طريقة غشاء المغذيات (NFT) وكذلك وحدات طريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) لا تملك هذه الخاصية، ولذلك فإن كلا من هذين النوعين من المرشحات يحتاج إلى أن يشيد أولا مصيدة لتجميع المخلفات الصلبة، وثم المرشح الحيوي للحصول على النترجة. كما هو مذكور في القسم (3.4)، هناك العديد من أنواع المرشحات الميكانيكية، ووحدات (NFT) و (DWC) تحتاج إليها، والتصاميم التي تم وصفها في الملحق (8) تستخدم مرشحا ميكانيكيا ذا حركة دوامة أو لولبية (Swirl filter) تلتقط المخلفات والجسيمات الصلبة، مع التنفيس الدوري للمواد الصلبة التي تم التقاطها، وعندما تخرج المياه من دوامة الترشيح تمر من خلال شبكة إضافية؛ لإعتراض أية مواد صلبة متبقية، ومن ثم تصل إلى المرشح الحيوي. أما تهوية المرشح الحيوي فتتم بشكل جيد بواسطة حجارة الهواء، ويحتوي المرشح الحيوي على وسائط الترشيح الحيوي، وعادة ما يتم استخدام الكريات الحيوية (Bioball®)، وشباك النايلون، أو أغطية القـنينات البلاستيكية، حيث تعمل البكتيريا الآزوتية على تحويل المخلفات الصلبة، وإن لم يتم ترشيح المياه بشكل كافٍ فإن الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) ستنسد، وسيظهر نقصٌ في معدلات الأكسيجين وظروف نمو ضعيفة للنباتات والأسماك على حد سواء.

الشكل 62.4
خس ينمو على أنابيب مربعة الشكل في وحدة تعمل بتقنية غشاء المغذيات

3.4.4 إنشاء وزراعة أنابيب النمو بواسطة تقنية غشاء المغذيات (NFT)

تكملة لأساليب الترشيح الموضحة أعلاه، يوظف أسلوب (NFT) استخدام الأنابيب البلاستيكية الموضوعة أفقياً لزراعة الخضراوات باستخدام مياه الزراعة الأحيومائية كلما كان ذلك ممكنا (الشكل 62.4). ويُنصح باستخدام أنابيب مستطيلة

الشكل 63.4
أنابيب النمو منظمة رأسياً لوحدة تعمل بتقنية غشاء المغذيات

الشكل 64.4
مجموعة من أنابيب النمو تظهر المسافة بين الثقوب

الشكل 65.4
ركائز النبات تظهر وسيطة نمو والكوب الشبكي

الشكل بعرض أكبر من الطول، ويعتبر هذا معيارا عند مزارعي الزراعة المائية، والسبب يكمن في وجود شريط من المغذيات في المياه التي تضرب الجذور مع نطاق متزايد من امتصاص للعناصر الغذائية ومزيد من نمو النباتات. وفائدة أخرى من الفوائد لأسلوب (NFT) هو أنه يمكن ترتيب الأنابيب في العديد من الأنماط وراء نطاق هذا الدليل. ويمكن الاستفادة من المسافة العمودية، والجدران، والأسوار، وكذلك الشرفات المعلقة (الشكل 63.4). ويتم ضخ المياه من المرشح الحيوي في كل الأنابيب المائية مع تدفق بسيط متساوٍ يولد تيارا ضحلا من مياه الزراعة الأحيومائية الغنية بالمواد المغذية، وتتدفق على طول الجزء السفلي، وتحتوي أنابيب نمو النباتات على عدد من الثقوب على الجانب الأعلى على طول الأنبوب؛ ليتم وضع النباتات فيها. وعندما تبدأ النباتات بملامسة المياه الغنية بالمغذيات من المجرى، فإنها تبدأ في تطوير نظم الجذور داخل أنابيب النمو، وفي الوقت نفسه تنمو الأوراق والسيقان خارج الأنابيب وحولها، ويضمن غشاء المياه الضحلة في الجزء السفلي من كل أنبوب للجذور بأن تتلقى كميات كبيرة من الأكسيجين في منطقة الجذور جنبا إلى جنب مع الرطوبة والمغذيات. إن الحفاظ على تيار ضحل يسمح للجذور أن يكون لها سطح أكبر لتبادل الهواء، كما يجب أن يكون تدفق المياه في أنابيب النمو لا يزيد عن 1–2 لتر/دقيقة. ويتم التحكم في معدل التدفق بواسطة صمام (على شكل حرف Y)، وكل المياه الزائدة تعاد إلى حوض الأسماك.

شكل وحجم أنبوب نمو النبات

إن من الحكمة اختيار الأنابيب بالقطر الأمثل لأنواع النباتات التي تزرع، كما أن الأنابيب التي هي بمقطع عرضي مربع هي الأفضل، ولكنّ الأنابيب المستديرة هي أكثر شيوعا وقبولا. أما بالنسبة للخضر الكبيرة فيمكن استخدام أنابيب نمو بقطر أكبر (11 سم)، في حين تتطلب الخضراوات الورقية سريعة النمو والنباتات الصغيرة ذات الكتل جذورا صغيرة، وأنابيب يبلغ قطرها (7,5 سم) فقط. وفي الأنظمة الصغيرة المتعددة الأنواع (زراعة أنواع مختلفة من الخضراوات) ينبغي استخدام أنابيب قطرها (11 سم) كما في (الشكل 64.4)، وهذا يجنب القيود في اختيار النباتات؛ لأن النباتات الصغيرة يمكن دائما أن تزرع في الأنابيب الكبيرة، على الرغم من أنه ستكون هناك تضحية في كثافة الزرع، فالنباتات ذات نظم الجذور الواسعة النطاق، بما في ذلك النباتات القديمة، يمكن أن تسد الأنابيب الأصغر وتتسبب في الفيضانات وخسائر في المياه. ويجب أن يأخذ في الاعتبار بشكل خاص الطماطم والنعناع، حيث يمكن لنظم الجذور الضخمة أن تسد الأنابيب بكل سهولة وحتى الكبيرة منها.

كما أن طول أنابيب النمو يمكن أن يكون بين (1–12 مترا). وفي الأنابيب الأطول من (12 مترا) يمكن أن يحدث نقصٌ في العناصر الغذائية للنباتات في المنطقة التي تقع في نهاية الأنابيب؛ لأن النباتات التي تقع في أول الأنابيب تعمل على تجريد الماء من المواد المغذية المفيدة، ويجب الحصول على منحدر (ميلان) للأنبوب بنحو (1 سم/م) على طوله؛ للتأكد من تدفق المياه من خلاله بسهولة. ويتم التحكم في المنحدر باستخدام حشوات الإسافين

(أداة ذات سطح مائل متحرك لها وجه واحد أو وجهان مائلان) على الجانب بعيدا عن حوض الأسماك.

وينصح باستخدام أنابيبٍ من نوع (PVC)؛ لأنها عادة ما تكون متاحة وأكثر شيوعاً وغير مكلفة. كما ينبغي استخدام الأنابيب البيضاء؛ لأن هذا اللون يعكس أشعة الشمس. وكخيار بديل ينصح باستخدام الأنابيب المائية مربعة أو مستطيلة الشكل ذات أبعاد (عرض 10 سم × ارتفاع 7 سم). الأنابيب المائية المهنية المستعملة من طرف المزارعين التجاريين تكون عموما على هذا النموذج، وبعض المنتجين يستخدمون أعمدة السور المصنوعة من الفينيل.

الزراعة داخل أنابيب النمو

يتم حفر الثقوب في الأنابيب المائية بقطر (7–9 سم)، وينبغي أن تتناسب مع حجم الأكواب الشبكية المتاحة للزرع، كما ينبغي أن يكون هناك حد أدنى للمسافة بين مركز النبتة الأولى والنبتة الأخرى تقدر بحوالي (21 سم)؛ للسماح بمساحة كافية لإنتاج الخضر الورقية، ونمو الخضراوات الكبيرة (الشكلين 65.4 و66.4).

ولتتم عملية الزراعة توضع كل شتلة في كوب من البلاستيك، ثم يوضع الكوب داخل أنبوب النمو، ثم يتم ملئ هذه الأكواب بوسائط الزراعة المائية كالحصى البركاني، أو الصوف الصخري، أو كريّات الطين الخفيفة (LECA) إذا رغبت في ذلك. كما يمكنك استخدام قطعة أنبوب بطول (5–10 سم) وبقطر (5 سم) من أنابيب (PVC)، والتي يمكن وضعها داخل الكوب لإتاحة مزيد من التوازن والدعم للنباتات، وسترد تعليمات مفصلة للزراعة في الملحق الثامن.

أما إذا كانت الأكواب البلاستيكية الشبكية غير متوافرة أو مكلفة، فمن الممكن استخدام أكواب الشرب العادية البلاستيكية، شريطة اتباع الإجراء المبين في الفقرة السابقة للزراعة، وتأكد من إضافة العديد من الثقوب لكوب الشرب البلاستيكي؛ حتى تحصل الجذور على الكثير من الثقوب للوصول إلى أنبوب النمو. كما أن هناك مزارعين آخرين نجحوا في استخدام رغوة مرنة مفتوحة الخلية (Open-cell foam)؛ لدعم النباتات داخل أنابيب النمو، وإذا لم يكن أي من هذه الخيارات متاحا، فمن الممكن زراعة الشتلات مباشرة في الأنابيب، خصوصا الأنابيب المستطيلة، كما في الشكل (67.4). ويمكن زرعة الشتلات مع الوسط الذي استخدم في الإنبات، والذي سيغسل في النظام، أو عوضاً عن ذلك يمكن غسل الجذور بعناية لإزالته، والتي تحافظ على أن يكون النظام خاليا من أوساط الإنبات، ولكن في الوقت ذاته يمكن لعملية غسل جذور الشتلات أن تجهد النبتة، ولذا فمن الأفضل استخدام أكواب شبكية مليئة بوسائط النمو.

وعندما تتم زراعة الشتلات في الأنابيب مباشرة تأكد من أن جذورها تلمس تيار الماء عند قاع أنبوب النمو في أسفل الأنبوب، وسيضمن هذا حماية الشتلات من الجفاف. وبدلا من ذلك يمكن إضافة الفتائل (Wicks) التي تتدلى في مجرى المياه؛ لتقوم بامتصاص المياه من الأنبوب إلى النبتة، بالإضافة إلى ذلك فإنه من المستحسن سقي الشتلات بمياه من نظام الزراعة الأحيومائية أسبوعاً قبل نقلها إلى الوحدة، وهذا سيساعد في التخفيف من صدمات إعادة زراعة النباتات، فهي أصبحت معتادة على الماء الجديد.

الشكل 66.4
نبتة خس كاملة تم حصادها من وحدة تعمل بتقنية غشاء المغذيات، ويتضح في الشكل كوب شبكي موصل به قطعة من أنبوب – PVC لمده للأعلى

الشكل 67.4
نبتة خس موضوعة في أنبوب نمو بشكل مباشر وبدون كوب شبكي

5.4 تقنية الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)

تنطوي طريقة (DWC) على تعليق النباتات على صفيحة من البوليستيرين، وتتدلى جذورها في الماء (الشكلين 68.4 و 69.4). إن هذه الطريقة هي الأكثر شيوعا في مشاريع الزراعة الأحيومائية التجارية الكبيرة التي يتم فيها زراعة محصول واحد محدد عادة: (الخس، ورق السلطة، أو الريحان) كما هو مبين في الشكل (70.4)، وأكثر مناسبة لإدخال الآلة في عملية الإنتاج. وعلى نطاق صغير يعد هذا الأسلوب أكثر تعقيدا من سرير وسائط النمو، وربما لا يكون مناسبا لبعض المواقع، وخاصة عندما يكون الوصول إلى المواد محدودا.

1.5.4 ديناميكية تدفق المياه

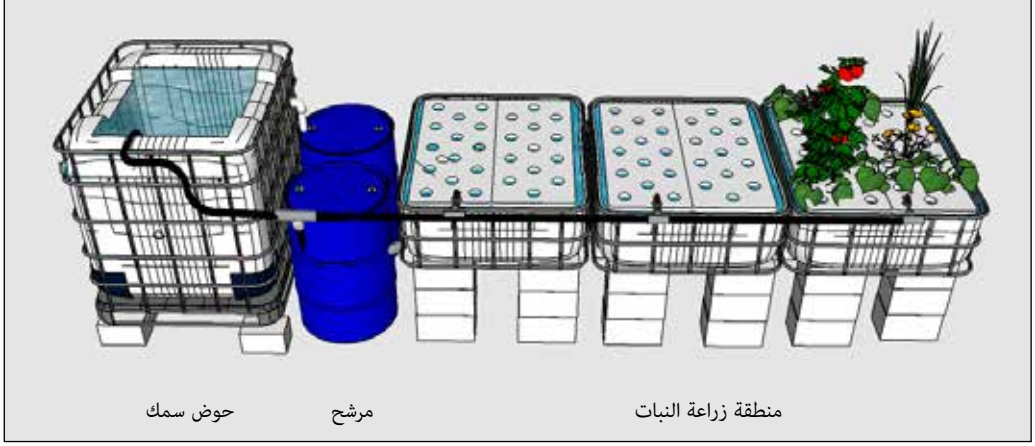
ديناميكية تدفق المياه في الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) هي تقريبا مطابقة للوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، حيث تتدفقُ المياه بفعل الجاذبية من أحواض الأسماك، وتمر خلال المرشح الميكانيكي، ومن ثم إلى مزيج من المرشح الحيوي وحوض تجميع المياه الأرضي، ومن حوض تجميع المياه يتم ضخ المياه في اتجاهين من خلال وصلة الصمام "Y". ويتم ضخ بعض المياه مباشرة إلى حوض الأسماك، في حين يتم ضخ المتبقي في مشعب (Manifold)، والذي يعمل على توزيع المياه بالتساوي من خلال القنوات، وتتدفق المياه مرة أخرى عن طريق الجاذبية عبر القنوات، حيث توجد النباتات وتخرج من الجانب الآخر، وعند خروج المياه من القنوات يتم إرجاعها إلى حوض تجميع المياه الأرضي والمرشح الحيوي، حيث يتم ضخّه مرة أخرى إما في حوض الأسماك

الشكل 68.4

رسم توضيحي لوحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة يستخدم فيها سرير وسائط النمو كمرشح

الشكل 69.4

رسم توضيحي لوحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة يستخدم فيها مرشح منفصل



أو القنوات. في حين تعمل المياه التي تدخل في حوض الأسماك على رفع منسوب المياه في حوض الأسماك، وتجبر المياه الفائضة على الخروج عبر أنبوب الخروج والعودة إلى المرشح الميكانيكي، وبالتالي إتمام الدورة.

إن هذا التصميم كما هو موضح في هذا الدليل، يسمى تصميم "الشكل 8"؛ بسبب شكل مسار المياه في نظام الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، كما هو الحال في نظام غشاء المغذيات (NFT). وتتدفق المياه من خلال المرشح الميكانيكي والحيوي قبل أن يتم ضخها إلى حوض الأسماك وقنوات النبات، لكنْ هناك عيب واحد في هذا التشكيل، وهو أن الجمع بين خزان تجميع المياه الأرضي والمرشح البيولوجي يعمل على إرجاع جزء من المخلفات السائلة في المياه من قنوات النباتات إلى النباتات، وذلك خلافا لما يحدث في نظام غشاء المغذيات (NFT)، حيث يقوم غشاءٌ من المياه مشبّع بالعناصر الغذائية بالتدفق عند مستوى جذور النباتات وينضب بسرعة؛ ولذلك فإن كمية المياه الكبيرة المتجمعة في قنوات نظام الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) تسمح لكميات كبيرة من العناصر المغذية بأن تستخدم من قبل النباتات، ومن شأن توافر العناصر الغذائية أيضا التشجيع على تصميم مختلف الأنظمة. ويتم وضع نظام توزيع المياه بالتوالي على طول قنوات وحدة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، كما يمكن إنشاؤها ببساطة عن طريق استخدام أو تكوين (شلال) مع وجود مدخل واحد يخدم الخزان الأبعد، وفي هذه الحالة يصبح مخرج الخزان الأول هو مدخل الخزان الآخر على التوالي، وأن زيادة تدفق المياه ستساعد الجذور في الحصول على تدفق أعلى من العناصر الغذائية.

الشكل 70.4
وحدة كبيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة

في نظام الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) كما هو موضح في الشكل (68.4)، يتم ضخ المياه من المرشح الحيوي إلى قنوات أو أحواض فيها طوافات من البوليستيرين تطفو في الأعلى لتدعم النباتات، ويكون معدل تدفق المياه التي تدخل كل قناة منخفضا نسبيا، وكل قناة لديها إمكانية بأن تحتفظ بالمياه لفترة (1–4 ساعات)، ووقت الاحتفاظ بالمياه هو مفهوم مماثل لمعدل الدوران، ويشير إلى مقدار الوقت الذي تستغرقه المياه للتغير الكامل في القناة، فمثلا إذا كانت كمية المياه في قناة واحدة هي (600 لتر)، ومعدل تدفق المياه الذي يدخل القناة هو (300 لتر/ساعة) فإن وقت الاحتفاظ يكون ساعتين، حسب المعادلة التالية: (600 لترا ÷ 300 لتر/ ساعة).

2.5.4 الترشيح الميكانيكي والحيوي

الترشيح الميكانيكي والحيوي الذي يحصل في الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) يحصل أيضا في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT) بنفس الشاكلة، والموضح في القسم (2.4.4).

3.5.4 قنوات النمو في نظام المياه العميقة (DWC), الإنشاء والزراعة

يمكن أن تكون القنوات ذات أطوال متفاوتة من (1–10 أمتار)، كما في الشكل (71.4)، وبشكل عام فإن طولها لا يعتبر مشكلا، كما رأينا في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)؛ لأن كمية المياه كافية لتوفير العناصر الغذائية، كما أن تغذية النباتات بالطريقة المثلى في القنوات الطويلة جداً يجب أن تسمح دائما بتدفق مياه كافية وإعادة ضخ الأكسيجين؛ لضمان عدم نضوب المواد المغذية، وأن جذور النباتات تستطيع التنفس. أما بخصوص العرض فيمكن أخذ طوافة البوليسترين كمعيار، وعند مضاعفة العرض يمكن وضع طوافتين، لكن مع ذلك فإن القنوات الضيقة والطويلة توفر سرعة عالية لانسياب المياه التي يمكن أن تفيد الجذور بتدفقات أكبر من المواد الغذائية. كما أن اختيار العرض ينبغي أيضا أن يأخذ في الحُسبان إمكانية الوصول إلى مختلف النباتات من قبل المزارع، أما العمق

الشكل 71.4
وحدة أحيومائية صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة. يمكن مشاهدة جذور النبات تحت الطوافة المصنوعة من البوليسترين

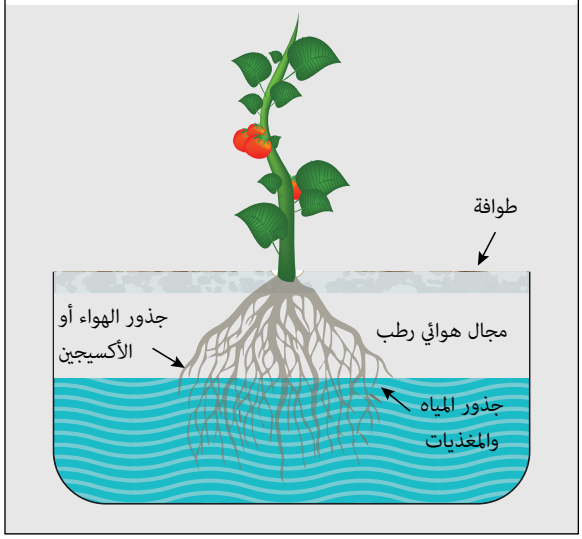
الموصى به فهو (30 سم)؛ وذلك للسماح بتوافر مساحة كافية لجذور النباتات، وعلى غرار أحواض الأسماك يمكن إنشاء القنوات من أية مادة قوية خاملة يمكنها أن تخزن المياه. أما بالنسبة للوحدات صغيرة الحجم، فإن المواد الشائعة تشمل الحاويات المتوسطة (IBC) حاويات مصنوعة من البلاستيك، أو الألياف الزجاجية، ويمكن إنشاء قنوات أكبر من ذلك بكثير باستخدام قطع الخشب الطويلة، أو كتل الخرسانة المبطنة بغشاء مصنوع من مواد آمنة للاستهلاك الآدمي، وإذا تم استخدام الخرسانة فيجب التأكد من عزلها بمادة غير سامة؛ لتجنب تسرّب المعادن السامة المحتملة من الخرسانة إلى مياه النظام. وكما ذكر أعلاه فإن وقت الاحتفاظ بالماء لكل قناة في أي وحدة هو (1–4 ساعات)، بغض النظر عن حجم القناة الفعلي، وهذا يسمح بتجديد كاف للمواد المغذية في كل قناة، وعلى الرغم من أن حجم المياه وكمية المواد المغذية في القنوات عميقة وكافية لتغذية النباتات لفترات أطول؛ لذا فستستفيد النباتات بالتأكيد من معدلات تدفق أسرع للماء المضطرب؛ لأنه سيتم توصيل العديد من الأيونات لجذور النباتات، في حين أن التدفقات البطيئة والمياه الراكدة سيكون لها تأثير سلبي على نمو النبات.

إن تهوية وحدات الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) هو أمر حيوي في القناة التي تشهد زراعة كثيفة؛ مما يجعل الطلب على الأكسيجين للنباتات التي تتسبب في تراجع مستويات الأكسيجين المذاب أقل من الحد الأدنى. كما أن أي تحلل للمواد والمخلفات الصلبة في القناة سيفاقم هذه المشكلة؛ مما سيقلل من كمية الأكسيجين المذاب بشكل أكثر، وبالتالي يتطلب الأمر إضافة التهوية للمياه، وأبسط طريقة هي وضع عدة أحجار صغيرة؛ لتذويب الهواء في القنوات، كما هو مبين في الشكل (72.4)، وينبغي لحجارة الهواء ضخ 4 لترات من الهواء في الدقيقة الواحدة، ويكون ترتيبها بأبعاد (2–4 م^2) في منطقة القناة. بالإضافة إلى ذلك، فإنه يمكن أن يضاف البخاخ الماص (Venturi siphons) (انظر القسم 5.2.4) إلى أنابيب تدفق المياه؛ لتهوية المياه عند دخولها إلى القناة. وأخيرا فإنه يمكن استخدام طريقة البروفيسور كراتكي (Kratky method) للزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) (الشكل 73.4)، وفي هذه الطريقة تترك مساحة من (3–4 سم) بين طوافة البوليسترين وجسم الماء داخل القناة، وهذا سيسمح للهواء بالتوزيع حول القسم العلوي من جذور النباتات. إن هذه الطريقة تغني عن الحاجة إلى حجارة الهواء في القناة على اعتبار أنه يكفي، وسيتم تزويد الجذور بكميات الأكسيجين من الهواء، كما أن ميزة أخرى لهذه الطريقة هي تجنب الاتصال المباشر لسيقان النباتات مع الماء؛ مما يقلل من مخاطر الأمراض النباتية في منطقة الطوق، علاوة على ذلك فإن زيادة التهوية نتيجة لزيادة المجال الهوائي يعمل على تبديد الحرارة من الماء، والذي يعتبر أمراً مثاليا في المناخات الحارة.

لا يضاف أي نوع من الأسماك في القنوات؛ لأنها يمكن أن تأكل جذور النباتات، ومن أمثلة تلك الأسماك العاشبة البُلطي (Tilapia) والشبوط (Carp). ومع ذلك فإن بعض أنواع الأسماك آكلة اللحوم الصغيرة مثل أسماك الغابي (Mollies)، أو أسماك البعوض، يمكن استخدامها بنجاح للتحكم في يرقات البعوض،

الشكل 72.4
حجارة الهواء تستخدم في قناة وحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة

الشكل 73.4
رسم توضيحي لوحدة الزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة تستخدم طريقة "كراتكي"، ويشاهد فيها الفصل بين الطوافة وسطح الماء



والتي يمكن أن تصبح مصدر إزعاج كبير للعمال والجيران في بعض المناطق.

يجب أيضا أن يتم حفرُ عدد من الثقوب في صفيحة البوليستيرين؛ لتتناسب مع الأكواب الشبكية أو مكعبات الإسفنج التي تستخدم لدعم النبات، (الشكل 74.4)، كما أن كمية ومكان الثقوب يحدده نوع الخضار والمسافة المطلوبة بين النباتات، حيث يمكن مقاربة النباتات الصغيرة من بعضها أكثر، ويتضمن الملحق 8 تفاصيل مفيدة ومحددة حول كيفية حفر الثقوب.

كما يمكن البدء بالشتلات في موضع مخصص للحضانة (انظر القسم 3.8)، وفي كتل التربة أو في الوسط الخالي من التربة عندما تصبح الشتلات كبيرة بما يكفي للتعامل معها، فيمكن نقلها في الأكواب الشبكية، وزرعها في وحدة المياه العميقة (DWC)، (الشكل 75.4). في حين أن المساحة

الشكل 74.4

صفيحة من البوليسترين في وحدة صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة يشاهد عليها ثقوب أكواب الزراعة

الشكل 75.4

طريقة وضع النبتة والحصى خطوة بخطوة (أ) في الكوب الشبكي (ب) ووضعه في علبة البوليسترين في وحدة صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة (ج)

المتبقية في الكوب الشبكي ينبغي أن تملأ بوسائط النمو المائية، مثل: الحصى البركاني، أو الصوف الصخري، أو كريات الطين الخفيفة (LECA)؛ لدعم الشتلات. ومن الممكن أيضا وضع بذور النباتات في الأكواب الشبكية على وسائط النمو، ويُوصى بهذه الطريقة في بعض الأحيان إذا كانت بذور الخضراوات متوافرة ويسهل الحصول عليها؛ وذلك لتتجنب الصدمة الناتجة من إعادة زراعة الشتلات عند الحصاد. وعليك أن تتأكد من إزالة النباتات كاملة بما في ذلك الجذور والأوراق الميتة من القناة. وبعد الحصاد يجب تنظيف الصفائح (الطوافات)، ولكن يجب أن لا تترك لتجف؛ وذلك لتجنب قتل البكتيريا الآزوتية الموجودة على السطح المغمور من الطوافة. أما في الوحدات واسعة النطاق فيجب تنظيف الطوافات بالماء؛ لإزالة الأوساخ والبقايا النباتية، ويجب على الفور إعادتها في القنوات لتجنب أي إجهاد للبكتيريا الآزوتية.

4.5.4 الوحدات التي تعمل بطريقة (DWC): انخفاض كثافة الأسماك وبدون مرشحات

يمكن تصميم هذا النوع من الوحدات بحيث لا تتطلب ترشيحا إضافيا خارجيا (الشكل 76.4). وتتحمل هذه الوحدات كثافة منخفضة جدا من الأسماك (أي 1–1,5 كغم من الأسماك لكل متر مكعب من حوض الأسماك)، ومن ثم الاعتماد بشكل رئيس على مساحة جذور النباتات والمنطقة الداخلية للقنوات كمساحة لإيواء البكتيريا الآزوتية، ويمكن استخدام شبك بسيط لالتقاط المخلفات الصلبة الكبيرة، وتعمل القنوات بمثابة خزانات ترسيب للمخلفات الصغيرة، وميزة هذا الأسلوب هو الانخفاض في تكاليف الاستثمار المالي الأولي وتكاليف رأس المال، وفي نفس الوقت يُلغي الحاجة لحاويات الترشيح الإضافية والمواد الأخرى، والتي يمكن أن تكون مكلفة وصعبة المصدر في بعض المواقع. ومع ذلك فإن انخفاض كثافة الأسماك تؤدي إلى إنتاج أقل للأسماك. وفي نفس الوقت تحصل الكثير من مشاريع الزراعة الأحيومائية على الغالبية العظمى من أرباحها من إنتاجية النباتات بدلاً من إنتاج الأسماك، وفي الأساس تستخدم الأسماك كمصدر للعناصر الغذائية، وفي كثير من الأحيان تتطلب هذه الطريقة مكملات المغذيات لضمان نمو النباتات.

الشكل 76.4

رسم توضيحي لوحدة صغيرة للزراعة بواسطة تقنية المياه العميقة بدون عازل ميكانيكي للمخلفات الصلبة أو مرشح حيوي

ديناميكية تدفق المياه

إن الفرق الرئيس بين التصميمين (كثافة الأسماك العالية مقابل كثافة الأسماك المنخفضة) هو أن تصميم الكثافة المنخفضة لايستخدم حاويات الترشيح الخارجية، سواء الميكانيكية أو الحيوية، فالماء يتدفق بفعل الجاذبية من خزان الأسماك مباشرة إلى قنوات الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، ويمر من خلال شبكة بسيطة للغاية، ثم يتم إرجاع المياه إما إلى خزان تجميع المياه الأرضي وضخها إلى خزانات الأسماك، أو مباشرة إلى خزانات الأسماك دون الخزان الأرضي، وتتم تهوية المياه في كلٍ من خزانات الأسماك والقنوات باستخدام مضخة الهواء، كما يتم تفتيت المخلفات السمكية والتمعدن بواسطة البكتيريا الآزوتية التي تعيش على سطح جذور النباتات وجدران القناة.

وبالنسبة لكثافة الأسماك فهي سلسلة متصلة تمتد من كثافة منخفضة جدا لاتحتاج إلى مرشحات لتصل إلى كثافة عالية جدا تحتاج إلى مرشحات خارجية مخصصة. وهناك حل واحد بسيط لتدبير التمعدن الإضافي وتوفير الترشيح الحيوي وتجنب تراكم المخلفات الصلبة في أسفل القنوات يتمثل في الجمع بين شبكة بسيطة بسلة أو دلو مثقوب مليء بحصى البازلا أو كريات الطين، يتم وضعه فوق مستوى المياه حيث يخرج الماء من حوض الأسماك، ويعد هذا بمثابة مرشح مقطر بجسيماته الخاصة يعمل على محاصرة وتمعدن المواد الصلبة. إن المياه التي تمر من السلة من شأنها أيضا إضافة الأكسيجين من خلال تأثير التدفق، بالإضافة إلى ذلك فإن حصى البازلاء يتمتع بقدرة مقاومة تحمض الماء الذي يحدث بعد عملية النترجة. وثمة خيار آخر هو تضمين مرشح حيوي داخلي في حوض الأسماك، يتألف من كيس شبكي بسيط مليء بمواد الترشيح الحيوي يوضع بالقرب من حجر الهواء، ويمكن أن يساعد هذا المرشح على ضمان الترشيح الحيوي الكافي دون إضافة تكلفة لتركيب المرشحات الحيوية الخارجية. وأخيرا فإن زيادة كمية المياه الكلية دون زيادة كثافة الأسماك بواسطة استخدام أحواض الأسماك الكبيرة التي توضع فيها بضعة أسماك يمكن أن يساعد على التخفيف من القضايا المتعلقة بجودة المياه عن طريق تذويب المخلفات وضمان الوقت الكافي للمزارعين للاستجابة للتغيرات في النظام قبل أن تصبح الأسماك مُجهَدة، وعلى الرغم من هذا الأمر فيمكن أن يُخفف من المواد المغذية المتوافرة التي يمكن أن تعيق النمو النباتي.

كما يمكن تخفيض معدل تدفق المياه إذا كانت كثافة الأسماك منخفضة، ويمكن استخدام مضخة في ذلك وتقليل التكلفة، ولكن يجب التأكد من أنه يتم تدوير نصف كمية المياه الموجودة في حوض الأسماك في الساعة. وقد نجحت تجاربُ بعض الباحثين في الاستغناء عن المضخة الكهربائية والاعتماد على العمل اليدوي لتدوير المياه مرتين في اليوم. ومع ذلك فإن هذه النظم تعتمد تماماً على التهوية الكافية. وعلى غير هذه الاختلافات فإن التوصيات الخاصة بأحواض الأسماك وإنشاء قناة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) تنطبق على هذه الطريقة ذات الكثافة المنخفضة للأسماك.

إدارة وحدة منخفضة الكثافة

إن الفرق الرئيس بين إدارة وحدة منخفضة الكثافة وبين إدارة الوحدات الأخرى هو كثافة الأسماك المنخفضة، وسيُناقش ذلك بتفصيل أكثر في الفصل 8. إن كثافة الأسماك المقترحة لهذه الأنواع من الأنظمة هي (1–3 كغم/م^3) مقارنة ب (10–20 كغم/م^3) للأنظمة الأخرى المذكورة في هذا الدليل. وتم من ذي قبل الإشارة إلى أن التوازن بين الأسماك والنباتات يتعلق بنسبة معدل التغذية؛ مما يساعد على حساب كمية أعلاف الأسماك التي تدخل النظام، وربطها بالمساحة الكلية للنباتات. إن هذه الوحدات المنخفضة الكثافة لا تزال تتبع نسبة معدل التغذية اليومية المقترحة من (40–50 غراما/م^2)، ولكن ينبغي أن يكون المعدل نحو الكمية الدنيا من هذه النسبة. وهناك تقنية مفيدة وهي السماح للأسماك بالأكل لمدة (30 دقيقة) لفترات بين (2–3) مرات في اليوم، ثم إزالة جميع الغذاء غير المأكول. كما يجب الأخذ في الاعتبار أن الإفرط في التغذية سيؤدي إلى تراكم المخلفات الصلبة في أحواض الأسماك والقنوات؛ مما قد يؤدي إلى تكوّن مناطق خالية من الأكسيجين، ونشوء ظروف النمو الضعيفة، والأمراض، وإجهاد الأسماك والنباتات. ودائما وبالخصوص عند استخدام هذه الطريقة بدون مرشحات، يجب التأكد من مراقبة أوضاع جودة المياه عن كثب، والحد من التغذية إذا تم الكشف عن مستويات عالية للأمونيا أو النتريت.

مزايا وعيوب الكثافة المنخفضة للسمك

إن الميزة الرئيسة من الكثافة المنخفضة للسمك هي أن الوحدة تكون بسيطة، ويعد هذا النظام الأسهل للإنشاء والأرخص للبدء، كما أن تكاليف رأس المال منخفضة، ويقلُّ الجهد على الأسماك؛ لأنها تتربى في ظروف أكثر اتساعا، وعموماً يمكن لهذه التقنية أن تكون مفيدة جدا للمشاريع التي تكون برأس مال منخفض. كما أن هذه الأنظمة هي مفيدة جداً لزراعة الأسماك ذات القيمة العالية، مثل أسماك الزينة، أو المحاصيل المتخصصة، مثل الأعشاب الطبية، حيث يتم تعويض كمية الإنتاج المنخفض بقيمة أعلى عند بيع المنتج.

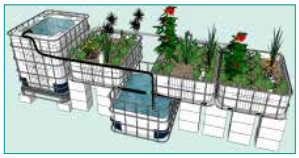
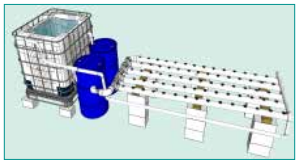
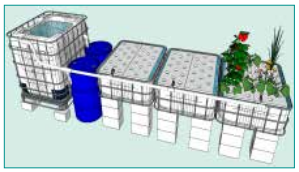
ومع ذلك فإن العيب الأكبرلهذه الطريقة هو أن هذه الوحدات من الصعب توسيعها، وتتم زراعة عدد أقل من النباتات والأسماك في منطقة معينة، ولذلك فإن هذه الأنظمة أقل كثافة من بعض الأنظمة المبينة سابقا. ومن أجل إنتاج كمية كبيرة من الغذاء، فإن هذه النظم تصبح كبيرة جداً، وفي الأساس فإن المرشحات الميكانيكية والحيوية الخارجية هي التي تسمح للزراعة الأحيومائية أن تكون كثيفة جدا في منطقة صغيرة. وعلاوة على ذلك فإن إنتاج الأسماك لا يمكن أن يعمل بشكل مستقل عن الزراعة المائية، ويجب أن تكون النباتات في القنوات في جميع الأوقات، ويجب أن تعمل جذور النباتات على توفير منطقة لنمو البكتيريا، وبدون هذه الجذور فإن الترشيح الحيوي لن يكون كافياً للحفاظ على المياه نظيفة للأسماك. وإذا كان الأمر ضروريا لحصاد جميع النباتات في وقت واحد، والذي يمكن أن يحدث أثناء تفشي الأمراض، والتغيرات الموسمية أو المناخية، فإن انخفاض الترشيح الحيوي بسبب غياب النباتات سيتسبب في رفع معدل الأمونيا وإجهاد الأسماك. ومن ناحية أخرى فمع وجود المرشحات الميكانيكية والحيوية الخارجية، فإن إنتاج الأسماك يمكن أن يستمر بدون الزراعة المائية باعتبارها أنظمة مغلقة.

6.4 مقارنة تقنيات الزراعة الأحيومائية

يقدم الجدول (2.4) أدناه إشارة سريعة ومقارنة موجزة لمختلف نظم الزراعة الأحيومائية المذكورة أعلاه.

الجدول 2.4

نقاط القوة والضعف للتقنيات الرئيسة في الزراعة الأحيومائية

نوع النظام	القوة	الضعف
وحدة سرير وسائط النمو 	تصميم بسيط ومتسامح مثالي للمبتدئين يمكن استخدام أجزاء بديلة أو معاد تدويرها يتم دعم الخضراوات الثمرية طويلة القامة جميع أنواع النباتات يمكن زراعتها تقنيات ري متعددة يمكن استخدام العديد من أنواع وسائط النمو عالية التهوية عند استخدام تقنية الشفط بالجرس طاقة كهربائية منخفضة نسبيا إلتقاط وتمعدن متوسط للمواد الصلبة	ثقيل جدا، وهذا يتوقف على اختيار وسائط النمو يمكن لوسائط النمو أن تكون مكلفة يمكن لوسائط النمو أن تكون غير متوافرة غير عملي على نطاق واسع التبخر أعلى من غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك المياه العميقة (DWC) يتطلب عمالة مكثفة يتطلب حذرا لحساب كمية المياه لإنشاء دورات الإغراق والاستنزاف وسائط النمو يمكن أن تنسد فعند الكثافات العالية يتطلب عمالة مكثفة لإعادة زرع النبات؛ نظراً للحاجة إلى نقل وسائط النمو إذا كان توصيل المياه ليس موحدا قد يختلف نموالنبات من سرير إلى سرير
غشاء المغذيات (NFT) 	أكثر فاعلية من حيث التكلفة من النطاق الواسع مثالية للأعشاب والخضار الورقية الخضراء فقدان الماء عن طريق التبخر عند الحد الأدنى نظام خفيف الوزن أفضل طريقة لأسطح المنازل طرق الحصاد بسيطة جدا تباعد الأنابيب يمكن تعديلها لتناسب مع النباتات المختلفة مدروسة جيدا من قبل المشاريع المائية التجارية كمية المياه المطلوبة أصغر يتطلب عمالة عند الحد الأدنى للزراعة والحصاد	طريقة الترشيح أكثر تعقيدا مضخة مياه ومضخة الهواء إلزامية لا يمكن وضع البذور مباشرة كمية المياه المنخفضة تضخم قضايا جودة المياه يزيد التباين في درجة حرارة الماء مع التأثير على الأسماك أنابيب مدخل المياه يمكن أن تسد بسهولة عرضة لانقطاع التيار الكهربائي
المياه العميقة (DWC) 	طريقة فاعلة أكثر من حيث التكلفة عن وسائط النمو على نطاق واسع كمية كبيرة للمياه تخفف التغييرات في جودة المياه يمكن أن تتحمل انقطاعا قصيرا في الكهرباء فقدان الماء عن طريق التبخر عند الحد الأدنى مدروسة جيدا من قبل المشاريع المائية التجارية طوافات البوليسترين تعزل المياه من خسارة / مكسب الحرارة وتسهم في الاحتفاظ بدرجات حرارة ثابتة يمكن لعملية نقل الطوافات تسهيل الزراعة والحصاد توفر الطوافات مساحة للترشيح الحيوي قنوات المياه العميقة (DWC) يمكن أن تكون ثابتة مع بطانات البلاستيك باستخدام (تقريبا) أي نوع من جدار (الخشب، أو إطارات الصلب، أو عوارض معدنية) يمكن استخدامها في كثافات أسماك متعددة	طريقة الترشيح أكثر تعقيدا وحدة ثقيلة جدا نسبة الأكسجين المذاب مطلوبة بنسبة عالية في القناة تتطلب مضخة هواء أكثر تطورا يجب أن تكون المواد البلاستيكية آمنة للاستهلاك الآدمي يتم تشقق عوازل البوليستيرين بسهولة النباتات طويلة القامة هي أكثر صعوبة للدعم زيادة كمية المياه ترفع من نسبة الرطوبة وخطر الإصابة بأمراض فطرية

7.4 ملخص الفصل

- إن العوامل الرئيسة التي يجب وضعها في الاعتبار عند اختيار مكان إنشاء الوحدة، هي: استقرار موقع الأرض، وصول أشعة الشمس، ومستوى التظليل، ونسبة التعرض للرياح والأمطار، وتوافر المرافق، وتوافر البيت المحمي أو هيكل التظليل.
- هناك ثلاثة أنواع رئيسة في الزراعة الأحيومائية: طريقة سرير وسائط النمو التي تعرف أيضا باسم سرير الجسيمات، وتقنية الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) المعروفة أيضا باسم الطوافات العائمة.
- المكونات الأساسية لجميع وحدات الزراعة الأحيومائية، هي: حوض الأسماك، والترشيح والميكانيكي والحيوي، وحدات نمو النباتات (سرير وسائط النمو، وأنابيب الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، أو الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، ومضخات المياه والهواء.
- يجب على أسرة وسائط النمو: (أ) أن تكون مصنوعة من مادة خاملة قوية. (ب) أن يكون لديها عمق حوالي (30 سم). (ج) أن تُملأ بوسائط نمو النباتات التي تحتوي على مساحة سطح عالية. (د) أن تقوم على توفير الترشيح الميكانيكي والبيولوجي الكافي. (هـ) أن توفر مناطق منفصلة للكائنات الحية المختلفة للنمو. (و) أن ترطب بما فيه الكفاية من خلال الإغراق والاستنزاف أو تقنيات الري الأخرى؛ لضمان الترشيح الجيد.
- بالنسبة لوحدات نمو النباتات، سرير وسائط النمو وأنابيب الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، أو الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) فإن الترشيح الميكانيكي والترشيح الحيوي ضروري؛ من أجل إزالة المواد الصلبة العالقة، وأكسدة المخلفات الذائبة (تحويل الأمونيا إلى نترات).
- بالنسبة للوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT) يجب أن يكون معدل التدفق لكل أنبوب نمو هو (1–2 لتر/دقيقة)؛ لضمان نمو النباتات جيداً.
- بالنسبة للوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) ينبغي أن يكون لكل قناة إمكانية الاحتفاظ بالمياه لفترة من 2–4 ساعات.
- إن التركيز العالي من الأكسيجين المذاب أمر ضروري؛ لضمان بقاء الأسماك والنباتات بحالة جيدة، ونمو البكتيريا، ويتم توفير الأكسيجين المذاب في حوض الأسماك بواسطة حجارة تذويب الهواء، إضافة إلى أن وحدات أسرة وسائط النمو تسهم في توفير الأكسيجين المذاب من الغلاف الجوي بكمية عالية، وذلك من خلال منطقة التماس بين المنطقة الرطبة والمنطقة الجافة. وفي الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT) يتم توفير تهوية إضافية في المرشح الحيوي، بينما في الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) يتم وضع حجارة الهواء في كل من المرشح الحيوي وقنوات النبات.

5. البكتيريا في الزراعة الأحيومائية

تعتبر البكتيريا جانبا مهما ومحوريا من الزراعة الأحيومائية، وهي بمثابة الجسر الذي يربط المخلفات السمكية بالأسمدة النباتية. إن هذا المحرك الحيوي يُزيل سُمية المخلفات بواسطة تحويلها إلى مغذيات نباتية يمكن الوصول إليها. ولقد تمت مناقشة دورة النتروجين في الفصل الثاني، وخاصة الدور الحاسم للبكتيريا الآزوتية، وأوجزت العناصر الضرورية للحفاظ على مستعمرة صحية. ونوقشت في الفصل الرابع جوانب المواد الحيوية التي تستضيف هذه البكتيريا، وسيناقش هذا الفصل الموجز مراجعة عن البكتيريا، بما في ذلك تفاصيل المجموعات البكتيرية المهمة. وبالنسبة للنشاط البكتيري للبكتيريا غير ذاتية التغذية (heterotrophs)، فسيناقش بشكل كامل دور هذه البكتيريا في تمعدن المخلفات الصلبة للأسماك. وسيتم أيضاً مناقشة البكتيريا غير المرغوب فيها، بما في ذلك: البكتيريا النازعة للنترات، والبكتيريا الحادة من الكبريتات ومسببات الأمراض، وأخيرا سيتم مناقشة الجدول الزمني لتدوير البكتيريا فيما يتعلق بإنشاء نظام جديد للزراعة الأحيومائية.

1.5 البكتيريا الآزوتية والمرشح الحيوي

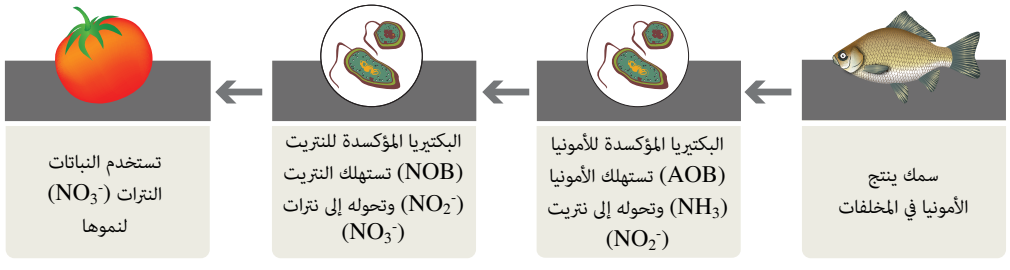
ناقش الفصل الثاني من هذا الدليل الدور الحيوي للبكتيريا الآزوتية فيما يتعلق بالعملية العامة للزراعة الأحيومائية، فتقوم البكتيريا الآزوتية بتحويل المخلفات السمكية، التي تدخل في النظام بشكل أساسي على شكل أمونيا إلى نترات، وهو سماد للنباتات، كما هو موضح في الشكل (1.5)، وهذه العملية تتكون من خطوتين. وهناك مجموعتان منفصلتان من البكتيريا الآزوتية معنيتان بهذه العملية، فالخطوة الأولى هي تحويل الأمونيا إلى نترات، والتي تتم من قبل البكتيريا المؤكسدة للأمونيا (AOB)، وغالبا ما يشار إلى هذه البكتيريا عن طريق اسم الجنس الأكثر شيوعا في المجموعة، جنس النتريتية (genus *Nitrosomonas*)، في حين يتم في الخطوة الثانية تحويل النتريت إلى نترات بواسطة البكتيريا المؤكسدة للنتريت (NOB) وغالبا ما يُشار إلى هذه البكتيريا عن طريق اسم الجنس الأكثر شيوعا في المجموعة (genus *Nitrobacter*). وهناك العديد من الأنواع داخل هذه المجموعات، ولكن لأغراض هذا الدليل فإن الفروق الفردية ليست مهمة، والأكثر فائدة هو النظر في المجموعة ككل. وتحدث عملية النترجة أو استقلاب الأمونيا أو تمثيلها في الترتيب التالي:

1) تعمل البكتيريا (AOB) على تحويل الأمونيا (NH_3) إلى نتريت (NO_2^-).
2) تعمل البكتيريا (NOB) على تحويل النتريت (NO_2^-) إلى نترات (NO_3^-).

إن النترجة التي تؤدي إلى مستعمرة بكتيرية صحية هو أمر ضروري لسير نظام الزراعة الأحيومائية، مع مراعاة أن البكتيريا الآزوتية بطيئة نسبيا لإنتاج وإقامة المستعمرات البكتيرية، والتي تتطلب أياما وأحيانا أسابيع؛ وبالتالي فإن صبر المزارع هو أحد عناصر الإدارة المهمة عند إنشاء نظام جديد للزراعة الأحيومائية. ولقد فشلت العديد من أحواض الأسماك وأنظمة الزراعة الأحيومائية؛ لأنه تم إضافة العديد من الأسماك قبل أن تتطور مستعمرة البكتيريا بشكل كامل. ويوجد من ناحية أخرى العديد من العناصر الرئيسة لدعم البكتيريا الآزوتية. وبشكل عام فإن البكتيريا تتطلب مكانا مظلما وكبيرا للاستعمار، مع نوعية المياه الجيدة، والغذاء

الشكل 1.5

عملية النترجة في الزراعة الأحيومائية



الكافي، والأكسيجين. وفي كثير من الأحيان تشكل البكتيريا الآزوتية مصفوفة غير سميكة بلون بني فاتح أو لون أصفر ليموني (بيج) على المرشح الحيوي، ولها رائحة مميزة يصعب وصفها، ولكن ليست رائحة كريهة، يمكن أن تشير إلى غيرها من الكائنات الدقيقة.

1.1.5 مساحة سطح كبيرة

إن مادة الترشيح الحيوي مع مساحة سطح كبيرة هي الطريقة الأمثل لتطوير مستعمرات واسعة من البكتيريا الآزوتيّة. والمساحة الكبيرة هي نسبة تحدد منطقة السطح المعرض بحجم معين من وسائط الترشيح المعطاة، ويعبر عنه بالمتر المربع لكل متر مكعب (م^2/م^3)، وبشكل عام فإنه كلما كانت جزيئات وسائط الترشيح أصغر حجما وأكثر مسامية، كان السطح المتاح لاستعمار البكتيريا أكبر، وهذا يؤدي إلى ترشيح حيوي أكثر كفاءة. كما أن هناك العديد من المواد المستخدمة كوسائط للنمو في الزراعة الأحيومائية، أو للترشيح الحيوي. فعلى سبيل المثال: الحصى البركاني، أو كريّات الطين الخفيفة، وكرات المرشح الحيوي التجارية المصنوعة من البلاستيك، وجذور النبات، والطف البركاني، والكريات الحيوية (®Bioball)، المأخوذة في الاعتبار في هذا الدليل، لديها مساحة سطح (300 م^2/م^3) و(600 م^2/م^3) على التوالي، وهي مساحة سطح محددة كبيرة كافية لتمكين البكتيريا من أن تزدهر، وهناك بيانات بشأن الخصائص الأخرى ومساحة السطح المحددة لوسائط الترشيح المختلفة المستخدمة في الزراعة الأحيومائية، تم ذكرها في الجدول (1.4) والملحق 4. وإذا كانت المادة الحيوية المستخدمة ليست مثالية، ولها مساحة أقل بالنسبة للحجم، فإن المرشح الحيوي يجب أن يكون أكبر. إن المرشحات الضخمة لا يمكن أن تضر نظام الزراعة الأحيومائية، وعلى الرغم من أن المرشحات الحيوية الكبيرة جدا تضيف نفقات لا داعي لها، إلا أن القدرة على الترشيح الحيوي الزائدة قد أنقذت العديد من النظم من الانهيار.

2.1.5 الرقم الهيدروجيني للمياه (pH)

تعمل البكتيريا الآزوتية بشكل ملائم في نطاق درجة حموضة (6–8,5). وعموما هذه البكتيريا تعمل بشكل أفضل عند درجات الحموضة العالية، وتفضل مجموعة البكتيريا المؤكسدة للأمونيا (AOB) الرقم الهيدروجيني (7,2–7,8)، وتفضل مجموعة البكتيريا المؤكسدة للنتريت (NOB) الرقم الهيدروجيني (7,2–8,2). ومع ذلك فإن درجة الحموضة التي يجب استهدافها للزراعة الأحيومائية هي (6–7)، والتي تمثل حلاً وسطا بين جميع الكائنات الحية في هذا النظام البيئي، وتعمل البكتيريا الآزوتية بشكل ملائم ضمن هذا النطاق، وأي انخفاض في النشاط البكتيري يمكن تعويضه بمرشح حيوي أكبر.

3.1.5 درجة حرارة المياه

تتراوح درجة الحرارة المثلى للبكتيريا الآزوتية من 17 إلى 34°م، وهذا النطاق يشجع النمو والإنتاجية. وإذا انخفضت درجة حرارة الماء أقل من هذا النطاق، ستميل إنتاجية البكتيريا إلى الانخفاض، وعلى وجه الخصوص مجموعة البكتيريا المؤكسدة للنتريت (NOB)، وهي أقل تحملاً لانخفاض درجة الحرارة من المجموعة النتريتية، والبكتيريا المؤكسدة للأمونيا (AOB). وعلى هذا النحو، وخلال فترات الشتاء الباردة ينبغي رصد النتريت بعناية أكثر؛ لتجنب التراكمات الضارة.

4.1.5 الأكسجين المذاب

تحتاج البكتيريا الآزوتية إلى مستويات كافية من الأكسيجين المذاب في الماء في جميع الأوقات؛ وذلك للنمو بشكل صحي، وللحفاظ على مستويات عالية من الإنتاجية. والنترجة هي ردة الفعل أو انخفاض/أكسدة (الأكسدة)، حيث تستمد البكتيريا الطاقة للعيش عندما يتم الجمع بين الأكسيجين والنتروجين. أما المستويات المثلى للأكسيجين المذاب فهي تتراوح بين 4 و8 ملغم/لتر، والذي هو أيضا المستوى المطلوب للأسماك والنباتات. ولا تحدث عملية النترجة إذا انخفض تركيز الأكسيجين المذاب إلى أقل من 2 ملغم/لتر. ويمكن ضمان الترشيح الحيوي الكافي من خلال تكريس التهوية المناسبة في المرشح الحيوي، إما من خلال دورات الإغراق والاستنزاف وحجارة الهواء في المرشحات الحيوية الخارجية، أو خطوط عودة المياه المتتالية إلى القنوات وخزان تجميع المياه.

5.1.5 ضوء الأشعة فوق البنفسجية

إن البكتيريا الآزوتية هي حساسة لأشعة الشمس إلى حين تأسيسها لمستعمرة كاملة. ويمكن أن تسبب أذى كبيراً للمرشح الحيوي، كما أن سرير وسائط النمو يحمي البكتيريا من أشعة الشمس، ولكن إذا ما استخدم مرشح حيوي خارجي تأكد أن تبقيه مظللاً من أشعة الشمس المباشرة.

6.1.5 رصد النشاط البكتيري

إذا أخذت في الاعتبار كلاً من هذه المعايير الخمسة، فمن الأسلم أن نفترض أن البكتيريا موجودة وتعمل بشكل صحيح. ويمكن القول بأن البكتيريا هي في غاية الأهمية للزراعة الأحيومائية؛ ولذا يجب الإطلاع على الصحة العامة للبكتيريا في أي وقت من الأوقات. وطالما أن البكتيريا كائنات مجهرية، وأنه من المستحيل أن نراها دون المجهر، فإن هناك طريقة بسيطة لمراقبة الوظيفة البكتيرية، بواسطة اختبار الأمونيا، والنترات، والنتريت، وهذه الاختبارات توفر معلومات عن الحالة الصحية للمستعمرة البكتيرية. وينبغي أن يكون الأمونيا والنتريت دائما بين (0–1 ملغم/لتر) في وحدة الزراعة الأحيومائية المتوازنة الأداء، وإذا ما تم الكشف عنهما، فإن هذا يشير إلى وجود مشكلة مع البكتيريا الآزوتية. وهناك احتمالان لأسباب شائعة أدت إلى هذه النتيجة، أولاهما هو أن يكون المرشح الحيوي صغيرا جدا للتعامل مع كمية الأسماك والأعلاف الموجودة في النظام؛ مما ينمّ عن وجود خلل يجب تصحيحه، إما بزيادة حجم المرشح الحيوي، أو تقليل عدد الأسماك، أو تقليل نظام تغذية الأسماك. وفي بعض الأحيان يمكن أن تحدث هذه المشكلة عند بدء تشغيل النظام عندما تكون الأسماك صغيرة، وتصبح تدريجيا غير متوازنة مع نمو الأسماك، وعندما يتم تغذيتها بكميات أكثر مع نفس حجم المرشح الحيوي. أما السبب الثاني فيتلخص فيما إذا تمت موازنة النظام في الحجم، فإن البكتيريا نفسها قد لا تعمل بشكل صحيح. وهذا يمكن أن يشير إلى وجود مشكلة في جودة المياه، وكل العناصر المذكورة أعلاه يجب أن تفحص. وفي كثير من الأحيان يمكن أن يحدث هذا خلال مواسم الشتاء عندما تبدأ درجة حرارة المياه في الانخفاض وتباطؤ النشاط البكتيري.

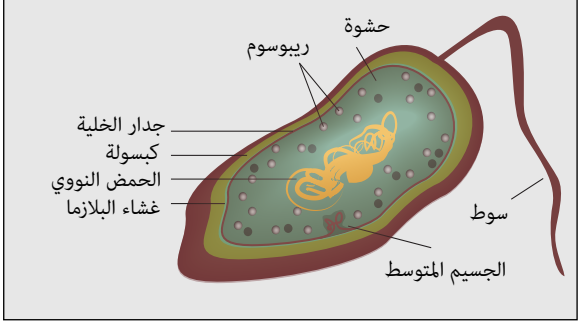
2.5 البكتيريا المتغايرة والتمعدن

هناك مجموعة أخرى مهمة من البكتيريا، فضلا عن غيرها من الكائنات الدقيقة تلعب دورا مهما في الزراعة الأحيومائية. هذه المجموعة من البكتيريا تسمى ببكتيريا المجموعة المتغايرة (heterotrophic group)، وتستخدم الكربون العضوي كمصدر للغذاء، وتشارك في التحلل للمخلفات الصلبة للأسماك والنباتات. ومعظم الأسماك تحتفظ بنسبة (30–40%) من الطعام الذي تأكله، وهذا يعني أنه يتم تحرير (60–70%) مما تأكله كمخلفات، ومن هذه المخلفات يذوب (50–70%) ويصبح على شكل أمونيا. ومع ذلك فإن المخلفات المتبقية هي مزيج عضوي يحتوي على: البروتينات، والكربوهيدرات، والدهون، والفيتامينات، والمعادن، فتعمل البكتيريا المتغايرة على استقلاب هذه المخلفات الصلبة في عملية تسمى التمعدن، الأمر الذي يجعل هذه المغذيات الدقيقة الأساسية متاحة للنباتات في الزراعة الأحيومائية (الشكل 2.5).

تعمل هذه البكتيريا المتغايرة بمساعدة بعض الفطريات التي تحدث بشكل طبيعي على تحلل جزء كبير من المخلفات السمكية، وعند القيام بذلك يطلق سراح العناصر الغذائية التي تحتويها المخلفات الصلبة في المياه. عملية التمعدن هذه ضرورية؛ لأن النباتات لا يمكن أن تصل إلى العناصر الغذائية في شكل مواد صلبة؛ لذا فلا بد من تكسير المخلفات إلى جزيئات بسيطة من أجل أن تمتصها جذور النباتات. وتتغذى البكتيريا المتغايرة على أي شكل من أشكال المواد العضوية، مثل: المخلفات الصلبة للأسماك كغذاء الأسماك غير المأكول، أو النباتات الميتة، أو أوراق النباتات الميتة، أو حتى البكتيريا الميتة.

وتتطلب البكتيريا المتغايرة ظروف نمو مماثلة للبكتيريا الآزوتية، مع مستويات عالية من الأكسيجين المذاب. وتقوم البكتيريا المتغايرة باستعمار جميع مكونات الوحدة، إلا أنها تتركز حيث تتراكم المخلفات الصلبة، ومن صفاتها أنها تنمو بصورة أسرع بكثير من البكتيريا الآزوتية، حيث يتم استنساخ

الشكل 2.5
هيكل جرثوم المجموعة المتغايرة



الخلايا في ساعات بدلا من أيام. وتتجمع المخلفات في سرير وسائط النمو في الجزء السفلي، حيث المنطقة رطبة بشكل دائم، وحيث يوجد العديد من أنواع البكتيريا المتغايرة، وفي الأنظمة الأخرى يتم العثور على المستعمرات الرئيسة على المرشحات والفواصل وفي القنوات. إن التمعدن مهم في الزراعة الأحيومائية؛ لأنه يُطلق عدة مغذيات دقيقة ضرورية لنمو النباتات، وبدون التمعدن فإن بعض النباتات قد تواجه نقصا في المواد المغذية، وستحتاج إلى الأسمدة التكميلية بمساعدة البكتيريا المتغايرة في تحلل المخلفات الصلبة من قبل مجموعة من الكائنات الحية الأخرى. وفي كثير من الأحيان تستخدم ديدان الأرض، ومتماثلات الأرجل (Isopods)، ومزدوجات الأرجل (Amphipods)، واليرقات، والحيوانات الصغيرة الأخرى التي تستخدم في الأنظمة الأحيومائية، وخاصة داخل أسرة وسائط النمو، وتعمل هذه الكائنات جنبا إلى جنب مع البكتيريا؛ لتحليل المخلفات الصلبة. وبوجود هذا المجتمع الأحيائي لن يكون هناك تراكما للمواد الصلبة.

3.5 البكتيريا غير المرغوب فيها

1.3.5 البكتيريا الحادة من الكبريتات

البكتيريا الآزوتية والتمعدن مفيدان لأنظمة الزراعة الأحيومائية، ولكن البعض الآخر من أنواع البكتيريا ضارة. واحدة من هذه المجموعات الضارة هي مجموعة البكتيريا الحادة من الكبريتات. لقد تم العثور على هذه البكتيريا في الظروف اللاهوائية (عند انعدام الأكسيجين)، حيث تحصل على الطاقة من خلال تفاعل الأكسدة والاختزال باستخدام الكبريت، ولكن المشكلة أن هذه العملية تنتج كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وهو غاية في السُّمية للأسماك. كما أن هذه البكتيريا شائعة، وموجودة في البحيرات، ومستجمعات المياه المالحة، ومصبّات الأنهار في جميع أنحاء العالم، وهي جزء من دورة الكبريت الطبيعية، وهي المسؤولة عن تكوّن رائحة البيض الفاسد، وكذلك اللون الرمادي والأسود للرواسب. إن المشكلة في الزراعة الأحيومائية هي عندما تتراكم المخلفات الصلبة بوتيرة أسرع من امكانية معالجة وتمعدن البكتيريا المتغايرة ومجتمع الأحياء الأخرى الموجودة في النظام على نحو فاعل، ويمكن بدوره أن يؤدي إلى ظروف نقص الأكسيجين التي تدعم هذه البكتيريا الحادة من الكبريتات. وفي الأنظمة ذات الكثافة العالية للأسماك، تنتج الأسماك الكثير من المخلفات الصلبة بحيث إن المرشحات الميكانيكية لا يمكن تنظيفها بسرعة؛ مما يشجع البكتيريا للتضاعف وإنتاج نواتج تفاعلاتها الضارة. وغالبا ما تحتوي أنظمة الزراعة الأحيومائية الكبيرة على خزانات التفريغ (degassing) حيث يمكن لكبريتيد الهيدروجين أن ينطلق بأمان ويعود إلى الغلاف الجوي. وخزانات التفريغ هذه غير ضرورية في الأنظمة التي على نطاق صغير. ولكن في الأنظمة التي على نطاق صغير، إذا تم الكشف عن رائحة كريهة تذكرنا بالبيض الفاسد أو مياه الصرف الصحي، فمن الضروري اتخاذ الإجراءات الإدارية المناسبة كما سبق شرحها. إن هذه البكتيريا لا تنمو إلا في ظروف نقص الأكسيجين، ولمنعها تأكد من توفير التهوية الكافية، وزيادة الترشيح الميكانيكي.

2.3.5 البكتيريا النازعة للنترات

مجموعة ثانية من البكتيريا غير المرغوب فيها هي المسؤولة عن نزع النتروجين، تعيش أيضا في الظروف اللاهوائية، ويمكنها تحويل النترات والتي تعد من الأسمدة المحببة للنباتات – إلى النتروجين في الغلاف الجوي، فتفقده النباتات. هذه البكتيريا أيضا شائعة في جميع أنحاء العالم، ومهمة بذاتها (الشكل 4.2). ومع ذلك ففي نظم الزراعة الأحيومائية، يمكن لهذه البكتيريا خفض الكفاءة عن طريق إزالة الأسمدة النتروجينية بشكل فعال، وتحدث هذه مشكلة في كثير من الأحيان في الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) التي لا يتم تهويتها بالشكل الكافي. ويمكن استشعار وجود المشكلة عندما تظهر على النباتات علامات قصور النتروجين، حتى وإن كان النظام يجري في توازن. وعندما يكون هناك تركيز نترات منخفضا جدا في الماء، فيجب التحقق من ما بداخل قنوات المياه العميقة (DWC) التي لم يتم تدوير المياه فيها بشكل صحيح، وكذلك يجب القيام بزيادة التهوية بحجارة الهواء.

إن بعض نظم الزراعة الأحيومائية الكبيرة تستخدم نزع النتروجين عمداً؛ لأن نسبة معدل التغذية تعمل على خلق توازن بين العناصر الغذائية للنباتات، ولكن عادة ما ينتج ذلك مستويات نترات عالية. إن هذه النترات يمكن أن تضعف خلال تغيير المياه، لكن بدلا من ذلك يمكن تشجيع نزع النتروجين والسيطرة عليه في الترشيح الميكانيكي، كما تتطلب هذه التقنية عناية فائقة واستخداما جيدا للهواء، ولا ينصح به بالنسبة للنظم الصغيرة. يمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات في القسم الخاص بمزيد من القراءة.

3.3.5 البكتيريا المسببة للأمراض

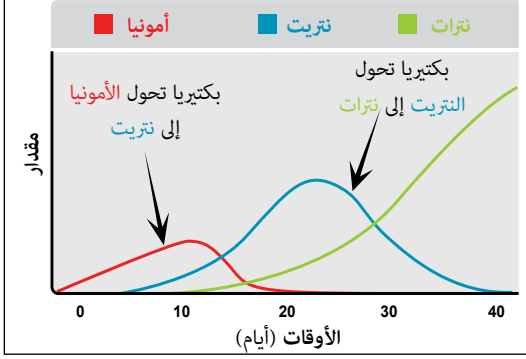
المجموعة الثالثة والأخيرة من البكتيريا غير المرغوب فيها، هي تلك التي تسبب الأمراض للنباتات والأسماك والبشر. وسيتم توضيح التعامل مع هذه الأمراض بشكل منفصل، فسيتم مناقشتها في الفصلين (6–7) المتعلقة بأمراض النباتات والأسماك وعلى التوالي سيناقش القسم (6.8) سلامة الإنسان. وعموما فمن المهم وجود ممارسات زراعية جيدة تخفف من مخاطر الأمراض البكتيرية داخل نظم الزراعة الأحيوميائية. وينبغي الاجتهاد في منع مسببات الأمراض من دخول النظام عن طريق: ضمان بيئة عمل نظيفة وجيدة، ومنع القوارض من التغوط في النظام، وحفظ النظام بعيدا عن تأثير الثدييات البرية (الكلاب والقطط). كما ينبغي تجنب استخدام المياه الملوثة، وإدراك أن أي غذاء حيّ يمكن أن يكون ناقلاً للكائنات الدقيقة الغريبة في النظام، ومن المهم أيضاً عدم استخدام مياه الأمطار المجمّعة من الأسطح التي عليها ذرق الطيور، والخطر الأكبر من الحيوانات ذوات الدم الحار هو إدخال الإشريكية القولونية، والطيور غالبا ما تحمل السالمونيلا، ويمكن للبكتيريا الخطيرة دخول النظام مع بُراز الحيوان. وبعد المنع لا تترك مياه الزراعة الأحيوميائية تلامس أوراق النباتات، فهذا يمنع العديد من الأمراض النباتية، وكذلك التلوث المحتمل من مياه الأسماك لمنتجات الإنسان خاصة إذا كانت المنتجات تؤكل نيّئة؛ لذلك فاحرص دائما على غسل الخضار قبل الاستهلاك، سواء من الزراعة الأحيوميائية أو غير ذلك، وبصفة عامة فالحس السليم في التعامل مع النظام والنظافة العامة هي أفضل مانع ضد الأمراض في الزراعة الأحيوميائية. كما أن هناك مصادر إضافية تُعتمد لضمان سلامة الأغذية في الزراعة الأحيوميائية في جميع أجزاء هذا الدليل وفي القسم الخاص لمزيد من القراءة.

4.5 تدوير النظام والبدء بمستعمرة المرشح الحيوي

تدوير النظام هو المصطلح الذي يصف العملية الأولية لبناء مستعمرة بكتيرية، فعندما تبدأ لأول مرة أي نظام مغلق (RAS) بما في ذلك وحدة الزراعة الأحيوميائية، وفي ظل الظروف العادية فإن هذا يستغرق (3–5 أسابيع)، مع ملاحظة أن عملية التدوير بطيئة تتطلب الصبر، وبصفة عامة فإن العملية تنطوي على إدخال مصدر الأمونيا في وحدة الزراعة الأحيوميائية باستمرار، وتغذية مستعمرة البكتيريا الجديدة، وخلق مرشح حيوي. ويتم قياس التقدم من خلال رصد مستويات النتروجين، في حين يتم التدوير في وحدة الزراعة الأحيوميائية مباشرة بعد الإنشاء. ومن المهم أن نفهم أنه أثناء عملية التدوير ستكون هناك مستويات عالية من الأمونيا والنيتريت يمكن أن تكون ضارة للأسماك. وتأكد أيضا من أن جميع مكونات وحدة الزراعة الأحيوميائية، لاسيما المرشح الحيوي وحوض الأسماك محمية من أشعة الشمس المباشرة قبل بدء العملية.

وعندما تبدأ البكتيريا بالظهور ويصبح الأمونيا مصدر الغذاء الأولي للبكتيريا المؤكسدة للأمونيا (AOB)، وعدد قليل منها يظهر ويدخل للنظام بشكل طبيعي، ويمكن العثور عليها على الأرض، وفي الماء وفي الهواء، ففي غضون (5–7 أيام) بعد الإضافة الأولى من الأمونيا، تبدأ البكتيريا المؤكسدة للأمونيا (AOB) بتشكيل مستعمرتها وتشرع في أكسدة الأمونيا إلى نتريت، وينبغي أن تضاف الأمونيا بشكل مستمر ولكن بحذر؛ لضمان الغذاء الكافي للمستعمرة النامية دون أن تصبح سامة، وبعد (5–7 أيام) ستكون مستويات النتريت قد بدأت بالارتفاع في الماء، والذي بدوره يجذب البكتيريا المؤكسدة للنتريت (NOB). وعندما تبدأ البكتيريا المؤكسدة للنتريت (NOB) في الازدياد، ستبدأ مستويات النتريت في الماء في الانخفاض، كما يتأكسد النتريت إلى نترات، وهذه العملية الكاملة موضحة في الشكل (3.5)؛ مما يدل على الاتجاهات للأمونيا والنتريت والنترات في المياه في الأيام ال (20–25) الأولى من التدوير.

الشكل 3.5
مستويات الأمونيا والنتريت والنترات خلال الأسابيع القليلة الأولى في نظام تربية الأحياء المائية المغلق



يتم تعريف (نهاية التدوير) عندما يكون مستوى النترات في ازدياد مستمر، ومستوى النتريت عند (0 ملغم/لتر)، والأمونيا عند مستوى أقل من (1 ملغم/لتر). ويستغرق هذا في الظروف الجيدة حوالي (25–40 يوما)، ولكن إذا كانت درجة حرارة المياه باردة، فقد يستغرق التدوير فترة تصل إلى شهرين للاكتمال. وفي هذه المرحلة تكون المستعمرة البكتيرية قد تشكلت وهي قادرة على تحويل الأمونيا بنشاط إلى نترات.

ويُعزى السبب في أن هذه العملية طويلة الأمد؛ لأن البكتيريا الآزوتية تنمو ببطء نسبيا، وتتطلب (10–15 ساعة)؛ لمضاعفة عددها، ولكن مع ذلك فإن بعض أنواع البكتيريا المتغايرة يمكن أن تتضاعف في أقل من (20 دقيقة).

إن تجار التجزئة لأحواض أسماك الزينة أو تربية الأحياء المائية يبيعون المنتجات المختلفة التي تحتوي على البكتيريا الآزوتية (في قنينة). وعندما تضاف إلى الوحدة تستعمر النظام فوراً، وبالتالي عليك تجنب عملية التدوير المشروحة أعلاه. وقد تكون هذه المنتجات مكلفة أو غير متوفرة وغير ضرورية في نهاية المطاف، حيث أن عملية التدوير يمكن أن تتحقق باستخدام وسائل عضوية، وبدلا من ذلك، وإذا كان هناك نظام زراعة أحيومائية آخر متاح، فإنه من المفيد للغاية تقاسم جزء من المرشح الحيوي كبذرة من البكتيريا للنظام الجديد، وهذا يقلل كثيرا من الوقت اللازم لتدوير النظام. ويمكّن أيضا من أن تكون وسيلة مفيدة البدء بمرشح حيوي بشكل منفصل بواسطة إضافة محلول حيوي يحتوي على (2–3 ملغم/لتر) من الأمونيا لبضعة أسابيع بشكل مستمر، ومن شأن وسائط النمو بعد ذلك أن تكون بمثابة ممهد بسيط، و ذلك عن طريق إدراجها مع المرشح الحيوي في نظام الزراعة الأحيومائية الجديد،ويمكن إنشاء نظام تقطير بسيط من خلال تعليق قفص بلاستيكي واسع مليء بالوسائط فوق خزان صغير يحتوي على محلول الأمونيا التي تدار بواسطة مضخة مياه صغيرة.

إن كثيرا من الناس يستخدمون الأسماك كمصدر أصلي للأمونيا في الخزان الجديد، ومع ذلك فإن هذه الأسماك تعاني من آثار الأمونيا والنتريت العالية خلال عملية التدوير. والعديد من مشغلي أنظمة الزراعة الأحيومائية الجدد ليس لديهم الصبر للسماح للخزان بالتدوير بشكل كامل، والنتيجة هي أن الأسماك الجديدة تنفق، ويشار إليها باسم "متلازمة الخزان الجديد".وإذا ما تم استخدام الأسماك فمن المستحسن استخدام كثافة منخفضة جدا (≥ 1 كغم/م^3)، بدلا من استخدام الأسماك هناك مصادر أخرى لهذه الأمونيا الأولية لبدء تغذية مستعمرة المرشح الحيوي، وتشمل بعض المصادر المحتملة على أعلاف الأسماك، والمخلفات الحيوانية المعقمة، وأسمدة نترات الأمونيوم، والأمونيا النقي، وكل واحد من هذه المصادر لديه إيجابيات وسلبيات، وبعض المصادر هي أفضل بكثير من حيث مستوى الأمان من غيرها.

الشكل 4.5
غذاء الأسماك كمصدر للأمونيا

إن مصدر الأمونيا الأفضل هو غذاء الأسماك المطحون جيدا؛ لأنه منتج آمن من الناحية الحيوية، ومن السهل نسبيا التحكم في كمية الأمونيا المضافة الشكل (4.5). وكذلك عليك التأكد من استخدام غذاء طازج وغير فاسد، كما ينبغي استخدام أعلاف أسماك خالية من الأمراض. وينبغي مراعاة استعمال مخلفات الدجاج، والتي على الرغم من كونها مصدرا ممتازا للأمونيا قد تكون محفوفة بالمخاطر، حيث يمكن إدخال البكتيريا الخطيرة في نظام الزراعة الأحيومائية عن طريقها (الشكل 5.5). فالإشريكية القولونية والسالمونيلا توجد عادة في الدجاج وغيرها من السماد الحيواني؛ وبالتالي يجب تعقيم السماد قبل الاستخدام. كما أن منتجات الأمونيا المنزلية يمكن أن تستخدم بعد التأكد من أن المنتج هو 100 في المائة أمونيا، ولا يشمل المكونات الأخرى، مثل: المنظفات، والألوان، أو المعادن الثقيلة التي يمكن أن تدمر النظام بأكمله. وعندما يتم اختيار مصدر الأمونيا فمن المهم إضافة الأمونيا ببطء وباستمرار، ومراقبة مستويات النتروجين كل (2–3 أيام) كما في الشكل (6.5). ومن المفيد تدوين المستويات على الرسم البياني لتتبع عملية التدوير. ومن المهم أيضاً عدم إضافة الكثير من الأمونيا، ومن الأفضل أن يكون قليلا جدا، والمستوى المستهدف هو (1–2 ملغم/لتر). أما إذا كانت مستويات الأمونيا في أي وقت تتجاوز (3 ملغم/لتر)، فمن الضروري القيام بتغيير الماء؛ لتخفيف الأمونيا من أجل منعها من تثبيط البكتيريا.

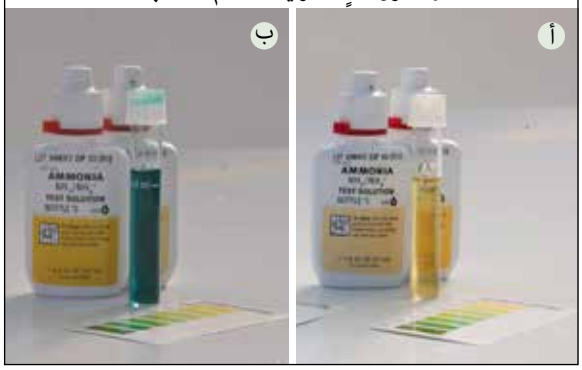
الشكل 5.5
سماد الدواجن كمصدر للأمونيا

1.4.5 إضافة الأسماك والنباتات خلال عملية التدوير

ينبغي أن تضاف النباتات والأسماك بعد اكتمال الدورة. ويمكن أن تضاف النباتات في وقت سابق قليلا، ولكن توقع نقصا في العناصر الغذائية في هذه النباتات المبكرة خلال هذه الفترة؛ بسبب أن العناصر الغذائية الأخرى تستغرق وقتا للوصول إلى التركيزات الأمثل (الشكل 7.5). وعندما تكون مستويات الأمونيا والنتريت أقل من (1 ملغم/لتر) فقط تكون آمنة لبدء وضع الأسماك في النظام. وهنا يُنصح دائما بوضع الأسماك ببطء، وعندما يتم وضع كل الأسماك، فإنه من غير المستغرب أن نرى الأمونيا الثانوي والأصغر حجما، وارتفاعا في مستوى النتريت، فهذا يحدث إذا كانت الأمونيا التي تم إنشاؤها من الأسماك حديثا أكبر بكثير من كمية الأمونيا اليومية المضافة أثناء عملية التدوير، ولأجل ذلك قم بمواصلة رصد مستويات جميع الأنواع الثلاثة من النتروجين، وكن مستعدا للقيام بتغيير المياه إذا ارتفعت الأمونيا أو النتريت إلى مستويات أعلى من (1 ملغم/لتر)، بينما يستمر النظام في التدوير.

الشكل 6.5

عدة فحص توضح مستوى منخفض للأمونيا (0-0,5 ملغم/لتر) (أ)، ومستوى عالٍ للأمونيا (4 ملغم/لتر) (ب)



الشكل 7.5

إضافة غرسة في سرير وسائط النمو خلال عملية التدوير

5.5 ملخص الفصل

- في الزراعة الأحيومائية، يجب أكسدة الأمونيا إلى نترات؛ لمنع سُمية الأسماك.
- إن عملية النترجة عملية بكتيرية بخطوتين، حيث تحول البكتيريا المؤكسدة للأمونيا (NH_3) إلى النتريت (NO_2^-)، ثم تقوم البكتيريا المؤكسدة للنتريت بتحويل النتريت إلى نترات (NO_3^-).
- أهم العوامل الخمسة للنترجة الجيدة هي: وسائط ذات مساحة عالية للبكتيريا لتنمو وتستعمر، والرقم الهيدروجيني (6–7)، ودرجة حرارة الماء (17–34°م)، والأكسجين المذاب (4–8 ملغم/لتر)، والتغطية؛ لتجنب التعرض المباشر لأشعة الشمس.
- تدوير النظام هو عملية أولية لبناء مستعمرة البكتيريا الآزوتية في وحدة الزراعة الأحيومائية الجديدة. وهذه العملية تستغرق من 3 إلى 5 أسابيع، وتنطوي على إضافة مصدر الأمونيا في النظام (أعلاف الأسماك والأسمدة القائمة على الأمونيا، حتى تصل إلى تركيز من (1–2 ملغم/لتر) في الماء؛ من أجل تحفيز نمو البكتيريا الآزوتية،وينبغي أن يكون القيام بهذا ببطء وباستمرار. ويتم رصد الأمونيا والنتريت والنترات؛ لتحديد حالة المرشح الحيوي. إن ذروة وانخفاض الأمونيا يتبعها نمط مماثل من النتريت قبل أن يبدأ النترات في التراكم، ثم يُضاف السمك والنباتات فقط عندما تكون مستويات الأمونيا والنيتريت منخفضة، ويبدأ مستوى النترات في الارتفاع.
- تستخدم اختبارات الأمونيا والنيتريت؛ لمراقبة وظيفة البكتيريا الآزوتية وأداء المرشح الحيوي. ويجب أن تكون الأمونيا والنتريت قريبة من (0 ملغم/لتر)، وعند وجود مستويات عالية من الأمونيا أو النتريت يتطلب الأمر تغييرا للمياه واتخاذ الإجراءات الإدارية اللازمة. وعادة ما تكون النترجة رديئة؛ بسبب التغير في درجة حرارة الماء، والأكسيجين المذاب أو مستويات الحموضة.
- فئة أخرى من الكائنات الحية الدقيقة التي توجد بشكل طبيعي في الزراعة الأحيومائية هي من البكتيريا المتغايرة (heterotrophic bacteria)، وتعمل هذه البكتيريا على تحلل المخلفات السمكية الصلبة، والإفراج عن بعض العناصر الغذائية في الماء في عملية تسمى بالتمعدن.

6. النباتات في الزراعة الأحيومائية

سيناقشُ هذا الفصل النظرية والتطبيق اللازمين لإنتاج ناجح للنباتات في أنظمة الزراعة الأحيومائية، ثم سيسلط الضوء على بعض الاختلافات الرئيسة بين إنتاج المحاصيل التي تزرع في الأرض وتلك التي تنبت بدون تربة، ومن ثم سيناقش بعض المفاهيم الحيوية للنباتات، مع التركيز على الجوانب الأكثر أهمية للزراعة الأحيومائية، وسيعقبُ ذلك موجز عن التوصيات لاختيار الخضراوات التي تنمو في وحدات الزراعة الأحيومائية، وسيغطي القسمان الأخيران الصحة النباتية، وطرق الحفاظ عليها، وبعض النصائح عن كيفية تحقيق الاستفادة القصوى من المساحة المتوافرة لنمو النباتات.

وفي العديد من مشاريع الزراعة الأحيومائية التجارية يكون إنتاج الخضراوات أكثر ربحية من الأسماك، ولكن توجد بعضُ الاستثناءات حيث أن بعض المزارعين يكسبون المزيد عندما يقومون بتربية أسماك ذات قيمة عالية. والتقديرات لعدد من وحدات الزراعة الأحيومائية التجارية في الغرب تشير إلى أن ما يصل إلى 90 في المائة من المكاسب المالية يمكن أن تأتي من إنتاج النباتات. وأحد الأسباب هو معدل الدوران السريع من الخضار مقارنة مع السمك.

ومزيد من المعلومات عن الإنتاج النباتي للزراعة الأحيومائية، سيُغطى في الفصل الثامن وفي الملاحق. كما سيناقش الفصل الثامن أيضا الممارسات الإدارية للإنتاج النباتي خلال المواسم، وكذلك طريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، وسيقدم الملحق (1) وصفاً تقنياً لاثني عشر صنفاً من الخضراوات الأكثر شعبية في الزراعة الأحيومائية. في حين أن الملحق (2) سيقتصر على الأوصاف لعدة علاجات عضوية للآفات والأمراض.

1.6 الاختلافات الرئيسة بين إنتاج المحاصيل من التربة وبدون تربة

هناك العديد من أوجه التشابه بين الزراعة القائمة على التربة في الأرض والقائمة بدون تربة، في حين أن بيولوجيا النباتات الأساسية هي دائما نفسها (الشكلين 1.6 و2.6)، ومع ذلك فإنه يحسن التأمل في الاختلافات الكبيرة في الإنتاج بين الزراعة في التربة والزراعة بدون تربة (الجدول 1.6)؛ وذلك من أجل سد الفجوة بين الممارسات التقليدية في الأرض والتقنيات الحديثة للزراعة بدون تربة، ويمكن اختزال هذه الاختلافات في: استخدام الأسمدة، واستهلاك المياه، والقدرة على استخدام الأراضي غير الصالحة للزراعة، والإنتاجية الشاملة، بالإضافة إلى ذلك فإن الزراعة بدون تربة عادة ما تتطلب عمالة أقل. وأخيرا فإن تقنيات الزراعة بدون تربة تدعم الزراعات الأحادية أفضل من الزراعة المستعملة للتربة.

الشكل 1.6

طماطم (*Solanum* sp.) تنمو في التربة

الشكل 2.6

السلق السويسري (*Beta* sp.) ينمو في نظام أحيومائي

الجدول 1.6

جدول ملخص لمقارنة إنتاج النبات القائم على التربة وبدون تربة

الفئة		مستند على التربة	غير مستند على التربة
الإنتاج	المحصول	متغير، يعتمد على خصائص التربة والإدارة.	عال جدا، مع إنتاج محاصيل كثيفة
	جودة الإنتاج	تعتمد على خصائص التربة والإدارة. يمكن أن تكون المنتجات أقل جودة؛ بسبب عدم كفاية المخصبات/العلاجات.	السيطرة الكاملة على إيصال العناصر الغذائية المناسبة في مختلف مراحل نمو النبات. إزالة العوامل البيئية الحيوية وغير الحيوية التي تعيق نمو النبات في التربة (بنية التربة، كيمياء التربة ومسببات الأمراض والآفات).
	الصحة الوقائية	خطر التلوث؛ بسبب استخدام مياه منخفضة الجودة، أو استخدام المواد العضوية الملوثة كسماد.	الحد الأدنى من خطر التلوث على صحة الإنسان.
المغذيات	توصيل العناصر الغذائية	تقلبات عالية تعتمد على خصائص التربة والبنية. يصعب السيطرة على مستويات العناصر الغذائية.	التحكم في العناصر الغذائية ودرجة الحموضة للنباتات في منطقة الجذر في الزمن الحقيقي. توصيل متجانس ودقيق للعناصر الغذائية وفقاً لمراحل نمو النباتات. يحتاج إلى رصد وخبرات.
	كفاءة استخدام المغذيات	الأسمدة موزعة على نطاق واسع مع الحد الأدنى من السيطرة على العناصر الغذائية وفقا لمرحلة النمو. مع احتمال عالٍ لفقدان المغذيات؛ بسبب الرشح والجريان السطحي.	يستخدم الحد الأدنى. توزيع موحد وتدفق قابل للتعديل من العناصر الغذائية في الزمن الحقيقي. لا يوجد رشح.
استخدام المياه	كفاءة النظام	حساسة جدا لخصائص التربة، والإجهاد المائي يمكن حدوث إجهاد على النباتات، وتشتت عالٍ للمواد المغذية.	إلى أقصى حد، ويمكن تجنب كل أشكال فقدان المياه. يمكن السيطرة على إمدادات المياه بالكامل من قبل أجهزة الاستشعار. لا توجد تكاليف عمالة للسقي، وتوجد زيادة في الاستثمار.
	الملوحة	عرضة لتراكم الملح ، اعتمادا على خصائص التربة والمياه. يتطلب استخدام كميات كبيرة من الماء لتنظيف الملح.	يعتمد على خصائص الأوساط والمياه . يمكن استخدام المياه المالحة ، لكنه يحتاج لتنظيف الملح والذي يتطلب كميات أكبر من المياه.
الإدارة	العمال والمعدات	عمالة بمستوى معياري، ولكن هناك حاجة للآلات لمعالجة التربة (الحرث) والحصاد والتي تعتمد على الوقود الأحفوري. بحاجة إلى مزيد من القوى العاملة اللازمة للتشغيل.	عمالة ذو خبرة ورصد يومي باستخدام معدات مكلفة وهما أمران أساسيان. تكاليف الإعداد الأولي عالية. عمليات الحصاد أكثر بساطة.

1.1.6 الأسمدة

كيمياء التربة لاسيما المتعلقة بتوافر العناصر الغذائية وديناميات الأسمدة هو انضباط كامل ومعقد إلى حد ما، ويتطلب إضافة الأسمدة للزراعة الأرضية المكثفة، ولا يمكن للمزارعين التحكم الكامل في إيصال هذه العناصر الغذائية للنباتات؛ بسبب العمليات المعقدة التي تحدث في التربة، بما في ذلك التفاعلات الحيوية وغير الحيوية. كما أن مجموع هذه التفاعلات يحدد توافر هذه العناصر الغذائية لجذور النباتات. وعلى العكس، ففي الزراعة بدون تربة التي تعتمد على استعمال المواد المغذية المذوّبة في سائل تصل مباشرة إلى النباتات، ويمكن تكييفها خصيصا لاحتياجات النباتات. كما تنمو النباتات في تقنية الزراعة بدون تربة في وسائط نمو خاملة. إن وسائط النمو هذه لاتتداخل مع توصيل المواد المغذية كما هو الحال في التربة، بالإضافة إلى ذلك فإن الزراعة بدون تربة تدعم وسائط نمو النباتات وتحافظ على أن تبقى الجذور رطبة ومهوّاة، إضافة إلى ذلك فإنه عند الزراعة في التربة يمكن أن تضيع الأسمدة بواسطة استهلاك الحشائش لها، وكذلك الجريان السطحي؛ مما يقلل الكفاءة والفاعلية، زيادة على هذا فإن الأسمدة مكلفة، ويمكن أن تستهلك قدرا من الميزانية في الزراعة الأرضية. كما أن الإدارة المصممة للأسمدة المستخدمة في الزراعة بدون تربة لها ميزتان اثنتان: أولاهما أن فقدان الحد الأدنى من الأسمدة يتم في العمليات الكيميائية والفيزيائية، وهذه بطبيعة الحال تخفّض الكفاءة، ويمكن أن تضيف نسبة إلى التكلفة؛ وثانيهما أن تركيزات المواد المغذية يمكن رصدها بدقة وتعديلها وفقا لمتطلبات النباتات في مراحل نمو معينة، وهذا التحكم يمكن أن يحسن الإنتاجية ويعزز الجودة.

2.1.6 استخدام المياه

إن استخدام المياه في الزراعة المائية والزراعة الأحيومائية هو أقل بكثير مما هو عليه الواقع في الإنتاج الزراعي بالتربة، حيث يتم فقدان الماء مع الزراعة في الأرض من خلال: التبخر، ومن خلال الأوراق، والترشيح في باطن الأرض، والجريان السطحي، ونمو الأعشاب. في حين أن الاستخدام الوحيد للمياه في الزراعة بدون تربة هو من خلال نمو المحاصيل والنقل من خلال الأوراق؛ لذا فهي عند الحد الأدنى المطلق اللازم لنمو النباتات، ولا يتم إلا فقدان كمية ضئيلة من الماء عند التبخر من وسائط النمو. وفي إحصائية تقريبية فإن الزراعة الأحيومائية تستخدم حوالي 10 في المائة من المياه اللازمة لزراعة نفس النباتات في التربة. وبهذا فإن زراعة النباتات بدون تربة تتميز بقدرتها الكبيرة على الإنتاج الوفير حتى مع شُحّ المياه أو ارتفاع ثمنها.

3.1.6 الاستفادة من الأراضي غير الصالحة للزراعة

إن طرق الزراعة بدون تربة يمكن استخدامها في الأراضي غير الصالحة للزراعة، وهناك مكان واحد مشترك للزراعة الأحيومائية وهو المناطق الحضرية وشبه الحضرية، التي لايمكن فيها دعم الزراعة في التربة التقليدية. كما يمكن استخدام الزراعة الأحيومائية على الطابق الأرضي، وفي الطوابق السفلية، وفي السراديب باستخدام أضواء النمو، أو على أسطح المنازل. ويمكن للزراعة المعتمدة في المناطق الحضرية أيضا أن تقلل البصمة المرجعية للإنتاج؛ لأن الاحتياجات للنقل تتقلص إلى حد كبير. والزراعة الحضرية: هي الزراعة المحلية التي تدفع عجلة الاقتصاد المحلي والأمن الغذائي نحو التعزيز. وتتمثل التطبيقات المهمة الأخرى للزراعة الأحيومائية، في استعمالها في المناطق الأخرى، حيث لايمكن استخدام الزراعة التقليدية، كما هو الحال في المناطق الجافة للغاية (مثل الصحارى والمناخات الجافة)، وحيث إن نسبة تملح التربة عالية (مثل المناطق الساحلية، ومناطق مصبّات الأنهار، أو الجزر المرجانية الرملية)، وفي المناطق التي قد تدهورت فيها جودة التربة من خلال الإفراط في استخدام الأسمدة، أو بسبب التآكل، أو التعدين، أو بشكل عام حيث الأراضي الصالحة للزراعة غير متاحة؛ بسبب الحيازات، أو تكاليف الشراء، أو حقوق ملكية الأراضي. وعلى الصعيد العالمي فإن الأراضي الصالحة والمناسبة للزراعة تتناقص، والزراعة الأحيومائية هي إحدى الطرق التي تسمح للناس بأن تزرع الغذاء بشكل مكثف كلما كانت الزراعة في الأرض صعبة أو مستحيلة.

4.1.6 الإنتاجية والعائد

يمكن للزراعة المائية الأكثر كثافة أن تحقق عائدا أعلى بمستوى 20–25 في المائة، من عائد الأنظمة الأكثر كثافة القائمة على التربة، على الرغم من أن البيانات التقريبية المنخفضة من قبل خبراء الزراعة المائية تشير إلى إنتاجية أعلى بمستوى 2–5 أضعاف. ويتحقق هذا عندما تستخدم الزراعة المائية إدارة البيوت المحمية الشاملة، بما في ذلك مدخلات مكلفة؛ لتعقيم وتسميد النباتات، وحتى من دون مدخلات مكلفة يمكن لتقنيات الزراعة الأحيومائية التي تم وصفها في هذا الدليل أن تساوي عائدات الزراعة المائية، وتكون أكثر إنتاجية من الزراعة بواسطة التربة، ولعل السبب الرئيس هو أن الزراعة بدون تربة في الحقيقة تسمح للمزارع بمراقبة وصيانة وضبط ظروف نمو النباتات، وضمان الرصد والمعادلة الأمثل للمغذيات في الزمن الحقيقي، وتوصيل المياه، ودرجة الحموضة، ودرجة الحرارة، وبالإضافة إلى ذلك، لاتوجد في الزراعة بدون تربة منافسة بين الأعشاب والنباتات في الاستفادة من السيطرة على الآفات والأمراض.

5.1.6 عبء العمل المخفّض

لاتتطلب الزراعة بدون تربة الحراثة والتغطية الأرضية أو إزالة الأعشاب الضارة، وهذا يعادل في المزارع الكبيرة نقص الاعتماد على الآلات الزراعية واستخدام الوقود الأحفوري. وفي الزراعة على نطاق صغير فيعادل هذا نقص في العمالة، وأسلوبا أسهل للمزارعين؛ لأن معظم وحدات الزراعة الأحيومائية بعيدة عن الأرض، كما أن إجراءات الحصاد بسيطة مقارنة مع الزراعة المعتمدة على التربة، ولاتحتاج المنتجات إلى تنظيف على نطاق واسع لإزالة ملوثات التربة؛ ولذا فإن الزراعة الأحيومائية هي مناسبة للجنسين معا (ذكر – أنثى)، والعديد من الفئات العمرية والقدرة المختلفة للناس.

6.1.6 الزراعة الأحادية المستدامة

إن باستخدام الزراعة بدون تربة من الممكن تماما زراعة نفس المحصول في الزراعة الأحادية عاما بعد عام. أما في الزراعات الأحادية في الأرض فهي أكثر تحديا؛ لأن التربة تصبح (مجهَدة)، وتفقد الخصوبة، وتزداد الآفات والأمراض. أما في الزراعة بدون تربة فببساطة لا توجد هناك تربة ستفتقد الخصوبة أو تظهر عليها علامات الإجهاد، وبهذا يتم التحكم في جميع العوامل الحيوية وغير الحيوية التي تمنع الزراعة الأحادية. ومع ذلك فإن كل الزراعات الأحادية تتطلب درجة عالية من الاهتمام؛ لمكافحة الأوبئة مقارنة مع الزراعة المتعددة الأنواع.

7.1.6 زيادة المضاعفات والاستثمار الأولي

إن العمالة الأولية المطلوبة للإنشاء والتركيب والكلفة، يمكن لها أن تثني بعض المزارعين عن تبني فكرة الزراعة بدون تربة. وعموما فإن الزراعة الأحيومائية هي أيضا أكثر كلفة من الزراعة المائية؛ لأن وحدات الإنتاج النباتي تحتاج إلى دعم من منشآت تربية الأحياء المائية. والزراعة الأحيومائية هي نظام معقد إلى حد ما، وتتطلب الإدارة اليومية لثلاث مجموعات من الكائنات الحية، وإذا ما فشل أي جزء من هذا النظام فيمكن للنظام بأكمله أن ينهار. وبالإضافة إلى ذلك فإن الزراعة الأحيومائية تتطلب مصدر كهرباء موثوقا به. وبصفة عامة فإن الزراعة الأحيومائية أكثر تعقيدا من الزراعة العامة القائمة على التربة، وعندما يكون الناس على دراية واطلاع بالعملية والخصائص فإنها ستصبح بسيطة، وستكون الإدارة اليومية أسهل، وهناك منحنى تعلم كما هو الحال في العديد من التقنيات الجديدة، وإذا ما ظهر أي شيء جديد في الزراعة الأحيومائية فإن المزارع يحتاج لأن يكرّس جهوده للتعلم. وإجمالا فإن الزراعة الأحيومائية ليست مناسبة لكل حالة، ويجب أن يتم التريث والتروي؛ لقياس الفوائد مقابل التكاليف قبل الشروع في مثل هذا النوع من المشاريع.

2.6 البيولوجيا الأساسية للنباتات

يُعطي هذا القسم تلميحات حول الأجزاء الكبيرة من النباتات. ومن ثم سيناقش تغذية النباتات (الشكل 3.6). إن تقديم المزيد من النقاش حول هذا الموضوع هو خارج نطاق هذا الدليل، ويمكن الحصول على مزيد من المعلومات في القسم الخاص بمزيد من القراءة.

الشكل 3.6

رسم توضيحي للهيكل الأساسي للنبتة

1.2.6 التشريح الأساسي للنبات والوظيفة

الجذور

تمتصُّ الجذور الماء والأملاح المعدنية من التربة، فشعيرات الجذور الصغيرة تمسك بالجذر؛ مما يساعد في عملية الامتصاص. كما تساعد الجذور في ترسيخ النباتات في التربة، ومنعها من السقوط. وتقوم الجذور أيضا بتخزين المزيد من المغذيات؛ لإستخدامها في المستقبل. إن الجذور في تقنية الزراعة بدون تربة لديها اختلافات مثيرة للاهتمام من تلك النباتات التي تزرع في التربة. وفي تقنية الزراعة بدون تربة يتم توفير الماء والعناصر الغذائية باستمرار للنباتات؛ مما يؤدي إلى أن تنمو بشكل أسرع، كما أن نمو الجذور في الزراعة المائية يمكن أن يكون كبيرا؛ بسبب الامتصاص المكثف، والتوصيل الأمثل للفوسفور الذي يحفز نموها. ومن الجدير بالذكر أن الجذور تحتفظ بما يقرب من 90 في المائة من المعادن التي تمتصها النباتات، والتي تشتمل على الحديد، والزنك، والعناصر الغذائية الدقيقة المفيدة الأخرى.

السيقان

الساق هي هيكل الدعم الرئيس للنبتة، وهي أيضا بمثابة نظام الشبكة المائية لها، تعمل على نقل الماء والعناصر الغذائية من الجذور إلى الأجزاء الأخرى من النبات. في حين تنقل أيضا العناصر الغذائية من الأوراق إلى مناطق أخرى، ويمكن للساق أن تكون عشبية، مثل الجذع القابل للانحناء، أو خشبية مثل جذع شجرة البلوط.

الأوراق

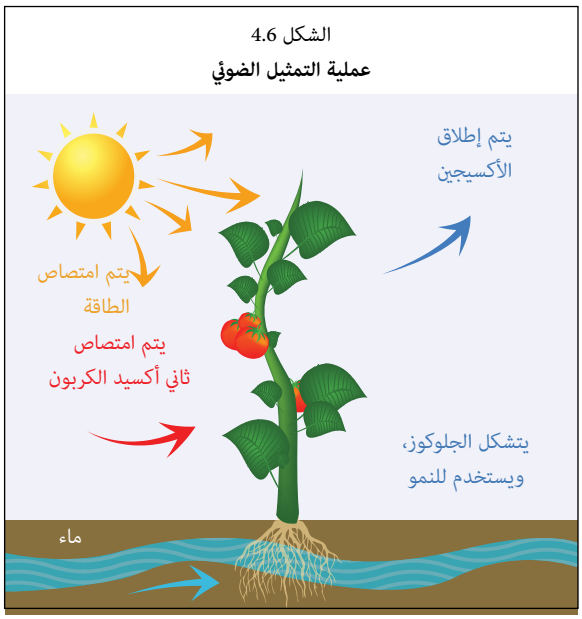
يتم إنتاج معظم العناصر الغذائية للنباتات في الأوراق، ولقد هيئت الأوراق من حيث تصميمها لالتقاط أشعة الشمس، والتي تستفيد منها النباتات في صناعة العناصر الغذائية من خلال عملية تسمى التمثيل الضوئي. كما أن الأوراق مهمة في نقل الماء أيضا.

الزهور

الزهور هي الجزء التناسلي لمعظم النباتات، وتحتوي الزهور على حبوب اللقاح والمبيض الذي يحتوي على البويضات الصغيرة، وبعد تلقيح البويضة تنمو لتصبح جنينا مغلفا في البذرة، ويتطور ليصبح ثمرة. ويساعد التوصيل الفوري للبوتاسيوم قبل التزهير على أن يصبح للنباتات المقدرة على إنتاج ثمار أفضل.

الثمار – البذور

إن الثمار هي الأجزاء المتطورة من مبايض الزهرة التي تحتوي على البذور، وتشمل الفواكه كالتفاح، والليمون، والرمان. وتشمل أيضا الطماطم، والباذنجان، وحبات الذرة، والخيار. وتعتبر هذه الأخيرة الفواكه النباتية؛ لأنها تحتوي على البذور، وإن كان في قواميس الطهي غالبا ما يشار إليها بالخضراوات. البذور هي الهياكل الإنجابية في النباتات، وتعمل الفواكه على المساعدة في نشر هذه البذور. كما أن النباتات المثمرة لها متطلبات مختلفة من العناصر الغذائية عن النباتات الورقية الخضراء، وخاصة التي تتطلب مزيدا من البوتاسيوم والفوسفور.



الشكل 4.6
عملية التمثيل الضوئي

2.2.6 التمثيل الضوئي

صممت جميع النباتات الخضراء لتكوّن غذاءها بنفسها من خلال عملية التمثيل الضوئي (الشكل 4.6)، والذي يتطلب الأكسيجين، وثاني أكسيد الكربون، والماء، والضوء. وفي داخل النباتات عضيّات صغيرة هي الصانعات اليخضورية أو البلاستيدات الخضراء (Chloroplasts – كلوروبلاست)، وهي أحد أنواع الصانعات الخلوية الموجودة في خلايا النباتات (البلاستيدات الخضراء) التي تحتوي على الكلوروفيل، وهو الأنزيم الذي يستخدم الطاقة من ضوء الشمس لتحطيم ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في الغلاف الجوي، وخلق جزيئات السكر مثل الجلوكوز ذي الطاقة العالية، ويعد الماء (H_2O) ضروريا لهذه العملية. إن هذه العملية تعمل على إطلاق الأكسيجين (O_2)، وهي المسؤولة تاريخيا عن كل الأكسيجين في الغلاف الجوي، وبمجرد أن تنشأ يتم نقل جزيئات السكر في جميع أنحاء النبتة، واستخدامها لاحقا لجميع العمليات الفسيولوجية، مثل: النمو، والتكاثر، والتمثيل الغذائي. ومع حلول الليل تستخدم النباتات هذه السكريات نفسها، فضلا عن الأكسيجين؛ لتوليد الطاقة اللازمة للنمو، وتسمى هذه العملية التنفس، ولهذا فمن الأهمية بمكان تحديد موقع وحدة الزراعة الأحيومائية في مكان يكون فيه الوصول لأشعة الشمس ممكناً، فهذا يضمن الطاقة الكافية لعملية التمثيل الضوئي. وينبغي أن تكون المياه متوافرة دائما للجذور من خلال النظام. أما بالنسبة لثاني أكسيد الكربون فهو متاح مجاناً من الغلاف الجوي، على الرغم من إمكانية الزراعة الداخلية المكثفة للنباتات استخدام كل ثاني أكسيد الكربون في المنطقة المغلقة، فهي ستحتاج وبالتالي إلى التهوية.

3.2.6 المتطلبات الغذائية

بالإضافة إلى هذه المتطلبات الأساسية لعملية التمثيل الضوئي، تحتاج النباتات إلى عدد من العناصر الغذائية، ويشار إليها بالأملاح غير العضوية. وتتركز الحاجة لهذه العناصر الغذائية للأنزيمات التي تسهل عملية التمثيل الضوئي للنمو والتكاثر، وهذه العناصر الغذائية يمكن أن يكون مصدرها التربة وفي حالة عدم وجود التربة، فهناك حاجة بأن تضاف هذه المواد المغذية بطريقة أخرى. وبالنسبة للزراعة الأحيومائية فكل هذه العناصر

الغذائية الأساسية تأتي من المخلفات السمكية. وهناك فئتان رئيستان من العناصر الغذائية: المغذيات الكبيرة والمغذيات الدقيقة، وكلا النوعين من هذه العناصر الغذائية ضرورية للنباتات، ولكن بكميات مختلفة، وهناك حاجة إلى كميات أكبر من المغذيات الكبيرة مقارنة مع المغذيات الدقيقة التي تحتاجها النباتات فقط في كميات ضئيلة. وعلى الرغم من كل هذه العناصر الغذائية الموجودة في المخلفات الصلبة للأسماك فإن بعض العناصر الغذائية قد تكون محدودة الكمية في الزراعة الأحيومائية، وتؤدي إلى أوجه قصور كالبوتاسيوم، والكالسيوم، والحديد. إن الفهم الأساسي لوظيفة كل العناصر الغذائية مهم لتقدير كيف أنها تؤثر على نمو النبات، وفي حالة حدوث نقص في العناصر الغذائية فمن المهم تحديد أي عنصر غائب أو يفتقر إليه النظام وبالتالي ضبط النظام وفقا لذلك عن طريق إضافة الأسمدة التكميلية أو زيادة التمعدن.

العناصر الغذائية

هناك ستة عناصر غذائية تحتاجها النباتات بكميات كبيرة نسبياً، وهي: النتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت. والمناقشة التالية توضح وظيفة هذه المغذيات داخل النبتة، وتم أيضاً إدراج الأعراض الناتجة من القصور في هذه المغذيات من أجل المساعدة في تحديد المشاكل.

النتروجين (N) هو أساسُ جميع البروتينات، وضروري لبناء الهياكل والتمثيل الضوئي، ونمو الخلايا، وعمليات التمثيل الغذائي، وإنتاج الكلوروفيل. وعلى هذا النحو فإن النتروجين هو العنصر الأكثر شيوعا في النباتات بعد الكربون والأكسيجين، وكلاهما يتم الحصول عليه من الهواء؛ ولهذا كله يعد النتروجين العنصر الأساس في المحلول المغذي للزراعة الأحيومائية، ومؤشرا للمواد المغذية الأخرى، وهو سهل القياس. وعادة ما يكون النتروجين المذاب على شكل نترات، ولكن يمكن للنباتات الاستفادة من كميات معتدلة من الأمونيا، ومن الأحماض الأمينية الحرة؛ لتمكين نموها. إن أوجه القصور في النتروجين واضحة، وتشمل إصفرار الأوراق القديمة، وسيقان رقيقة، وضعف النشاط (الشكل 5.6أ). ويمكن إعادة نقل النتروجين داخل الأنسجة النباتية؛ وبالتالي نقله من الأوراق القديمة وتوصيله إلى الأوراق الجديدة التي هي في طور النمو، ولهذا السبب يمكن ملاحظة أوجه القصور في السن المتقدمة. وفي المقابل فإن فرط النتروجين يمكن أن يسبب النمو الخضري الزائد؛ مما يؤدي إلى نباتات ناعمة وخصبة، معرضة للمرض والتلف الذي تسببه الحشرات، فضلا عن الصعوبات التي تسببها في إنتاج الأزهار وبدء تكون الثمار.

الفسفور (P) يستخدم بواسطة النباتات باعتباره العمود الفقري للحمض النووي لما يسمى: (الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسيجين – deoxyribonucleic acid) كمكون هيكلي للأغشية الفوسفورية، وكأدينوسين ثلاثي الفوسفات، adenosine triphosphate (المكوّن الخاص بتخزين الطاقة في الخلايا)، وهو ضروري لعملية التمثيل الضوئي، وكذلك لتشكيل الزيوت والسكريات، ويشجع أيضاً على إنبات جذور الشتلات. أما أوجه القصور الفوسفورية فتسبب عادة ضعفا في نمو الجذور؛ لأن الطاقة لا يمكن نقلها بشكل صحيح من خلال النبات؛ وتظهر الأوراق القديمة خضراء فاتحة أو تميل إلى اللون البني الأرجواني، وتبدو الورقة كأنها محترقة.

البوتاسيوم (K) يستخدم كمرسل للإشارات خلال الأغشية بواسطة تدفق الأيونات المسيطر عليها. والبوتاسيوم يتحكم أيضا في الانفتاح الفموي، ويشارك في عملية إنتاج الزهور والثمار، ويشارك في إنتاج ونقل السكريات، وامتصاص الماء، ومقاومة الأمراض، ونضج الثمار. ويظهر نقص البوتاسيوم على شكل بقع حروق على الأوراق القديمة، وضعف نمو النباتات وتورمها (الشكل 5.6ب). وبدون البوتاسيوم، فلن تتطور الزهور والثمار بشكل صحيح. كما أن نقص البوتاسيوم يظهر في شحوب اللون ما بين العروق (Interveinal chlorosis)، أو اصفرار بين عروق الأوراق، ويمكن أن يلاحظ على هامش الورقة.

الكالسيوم (Ca) يستخدم كمكوّن هيكلي لكل من جدران الخلايا والأغشية الخلوية، وهو مشارك في تعزيز السيقان، ويُسهم في التنمية الجذرية. أما أوجه القصور الشائعة في الزراعة المائية الناتجة عن نقص الكالسيوم، فهي دائما واضحة في النمو الحديث؛ لأن الكالسيوم ليس له القدرة على الحركة داخل النباتات. ويعتبر احتراق الخس، وتعفن الطرف الزهري للطماطم، والكُوسة أمثلة على نقص الكالسيوم. وفي كثير من الأحيان، يتم تشوّه الأوراق الجديدة بالقرفصاء والأشكال غير المنتظمة. ويمكن نقل الكالسيوم فقط من خلال الخلايا التوصيلية أو أوعية الخشب (Xylem)؛ لذلك عندما تكون الظروف رطبة جدا، يمكن

للكالسيوم أن يكون متاحا، ولكن بشكل مقفل؛ وذلك لأن النباتات لاتعمل على توصيله. وبواسطة زيادة تدفق الهواء من خلال فتحات تهوية يمكن منع حدوث هذه المشكلة. كما أن إضافة الرمال المرجانية أو كربونات الكالسيوم يمكن أن تستخدم لتكملة الكالسيوم في الزراعة الأحيومائية، مع فائدة إضافية تتمثل في التحكم المؤقت لدرجة الحموضة (pH).

المغنيسيوم (Mg) هو مركز لاقط الإلكترونات (electron acceptor) في جزيئات الكلوروفيل، وعنصر أساسي في عملية التمثيل الضوئي. ويمكن رؤية أوجه القصور في اصفرار الأوراق بين العروق وخصوصا في الأجزاء القديمة من النبات. وعلى الرغم من أن تركيز المغنيسيوم منخفض أحيانا في الزراعة الأحيومائية، فإنه لا يبدو مغذياً يحد من نمو النباتات، وإضافة المغنيسيوم إلى النظام غير ضرورية عادة.

الكبريت (S) هو عنصر ضروري لإنتاج بعض البروتينات، بما في ذلك كلوروفيل الأنزيمات الخاصة بدورات البناء الضوئي الأخرى. وتحتوي الأحماض الأمينية الميثيونين والسيستين على الكبريت، وتسهم في التركيب الثالثي للبروتين (Proteins' tertiary structure). وأوجه القصور نادرة، ويمكن ملاحظتها في اصفرار عام لأوراق الشجر في النمو الجديد بأكمله (الشكل 5.6ج)، وقد تصبح الأوراق صفراء، وقاسية، وهشة، وتتساقط.

المغذيات الدقيقة

فيما يلي قائمة بالعناصر الغذائية التي يحتاجها النظام في كميات ضئيلة فقط. وتشمل أوجه القصور لمعظم المغذيات الدقيقة إصفرار الأوراق، مثل: (الحديد، والمنغنيز، والموليبدينوم، والزنك)، ومع ذلك فإن نقص النحاس يتسبب في أن تقوم الأوراق بتغميق لونها الأخضر.

الحديد (Fe) يستخدم في البلاستيدات الخضراء وسلسلة نقل الإلكترون، وهو عنصر جد مهم للتمثيل الضوئي المناسب. ويمكن مشاهدة أوجه القصور كاصفرار النسيج الموجود بين العروق الوسطى للأوراق، يليها تحوّل أوراق الشجر كله إلى لون أصفر شاحب (يظهر التعريق بوضوح على خلفية من اللون الأخضر، chlorotic)، وفي نهاية المطاف تصبح بيضاء مع بقع منقرشة (necrosis) وهوامش مشوهة للأوراق. وبما أن الحديد هو عنصر غير منقول، فيتم تحديد نقص الحديد بسهولة إذا أظهرت الأوراق الجديدة داء الإخضرار (الشكل 5.6د). ويجب أن يُضاف على صورة الحديد المخلبي (Chelated iron)، والمعروف باسم الحديد المعزول أو (Fe*EDTA)؛ لأن الحديد عرضة للتسارع في الرقم الهيدروجيني الأعلى من (7). والإضافة المقترحة هي (5 مليلتر/1م^2) من سرير النمو كلما يشتبه بوجود أوجه القصور. إن الكميّات الكبيرة من الحديد لا تضر النظام، ولكن يمكن أن تتسبب في تغيّر لون الأحواض والأنابيب، وقد تم افتراض أنه يمكن للمضخات المغمورة المغناطيسية بتنحية الحديد.

المنغنيز (Mg) يستخدم لتحفيز تقسيم المياه خلال عملية التمثيل الضوئي، وعلى هذا النحو فإن المنغنيز مهم لنظام التمثيل الضوئي بأكمله. ويمكن رؤية أوجه القصور على شكل انخفاض معدلات النمو، ومظهر رمادي، واصفرار النسيج الموجود بين العروق الوسطى للأوراق، وتبقى العروق نفسها خضراء يليها النخر. وهذه الأعراض مشابهة لنقص الحديد، وتشمل داء الإخضرار (chlorosis). ومما هو جدير بالذكر أن امتصاص المنغنيز سيء للغاية في الرقم الهيدروجيني الأعلى من 8.

البورون (B) يستخدم كنوع من الحافز الجزيئي، ويشارك بشكل خاص في السكريات المضاعفة التركيبية (structural polysaccharides) الهيكلية والبروتينات السكرية (glycoproteins)، ونقل الكربوهيدرات، وتنظيم بعض المسارات الأيضيّة (عملية التمثيل الغذائي) في النباتات، وتشارك أيضا في التكاثر وامتصاص الخلايا للماء. ويمكن رؤية أوجه القصور على شكل نقص في تطور البرعم والتزهير، وانقطاع النمو، ونخر الأطراف والساق، ونخر الجذر.

الزنك (Zn) يستخدم بواسطة الأنزيمات وأيضا في الكلوروفيل؛ ويؤثر على الحجم الكلي للنباتات والنمو والنضج. ويمكن رؤية أوجه القصور على شكل حيوية ضعيفة، وتوقف النمو مع انخفاض الطول وحجم الورقة، وداء الإخضرار الذي قد يشكل خلطا بينه وبين أوجه القصور من العناصر الأخرى.

الشكل 5.6
نقص النتروجين على الأوراق القديمة الشاحبة (أ)، نقص البوتاسيوم يمكن رؤيته على شكل بقع بنية على هامش الورقة (ب)، نقص الكبريت يظهر على الأوراق ككرة لولبية واصفرار (ج)، نقص الحديد يظهر كلون أخضر شاحب على نبات النعناع (د)

النحاس (Cu) يستخدم من قبل بعض الأنزيمات، وخاصة في التكاثر، كما أنه يساعد على تعزيز السيقان. ويمكن أن تشمل أوجه القصور داء الإخضرار، وتحول أطراف الورق للون البني أو البرتقالي، وانخفاض نمو الثمار، والنخر. وفي بعض الأحيان يظهر نقص النحاس بشكل نمو أخضر داكن بصورة غير طبيعية.

الموليبدينوم (Mo) يستخدم من قبل النباتات لتحفيز تفاعلات الأكسدة والاختزال مع أشكال مختلفة من النتروجين. وبدون نسبة كافية من الموليبدينوم يمكن للنباتات أن تظهر أعراض نقص النتروجين على الرغم من وجود النتروجين. ولا يتوافر الموليبدينوم بيولوجياً في درجة حموضة أقل من (5).

إن توافر العديد من هذه العناصر الغذائية يعتمد على درجة الحموضة (انظر القسم 4.6 لنسبة التوافر التي تعتمد على درجة الحموضة). وعلى الرغم من أن العناصر الغذائية قد تكون موجودة إلا أنها قد تكون غير صالحة للاستعمال؛ بسبب جودة المياه. لمزيد من التفاصيل حول نقص العناصر الغذائية خارج نطاق هذا الدليل، يرجى الرجوع إلى القسم الخاص بمزيد من القراءة للحصول على تشخيص موضح.

4.2.6 مصادر الزراعة الأحيومائية من العناصر الغذائية

يتم توفير النتروجين للنباتات في الزراعة الأحيومائية أساساً على شكل نترات، تم تحويلها من الأمونيا الناتجة عن مخلفات الأسماك بواسطة النترجة البكتيرية. وبعض المواد المغذية الأخرى تذوب في الماء من المخلفات السمكية، ولكن معظمها يبقى في الحالة الصلبة، والتي تكون غير متوافرة لاستخدام النباتات. ويتم تكسير المخلفات الصلبة للأسماك بواسطة البكتيريا المتغايرة، وهذا العمل يطلق العناصر الغذائية الأساسية في الماء. وأفضل طريقة لضمان أن النباتات لا تُعاني من نقص هو الحفاظ على درجة حموضة المياه المثلى (6–7)، وتغذية الأسماك باتباع نظام غذائي متوازن وكامل، واستخدام نسبة معدل التغذية لتحقيق التوازن بين كمية غذاء الأسماك والنباتات. ومع ذلك فإنه ومع مرور الوقت حتى في نظام الزراعة الأحيومائية المتوازن تماما قد يشهد نقصا في بعض العناصر الغذائية، وفي معظم الأحيان تتمثل في: الحديد، والبوتاسيوم، أو الكالسيوم.

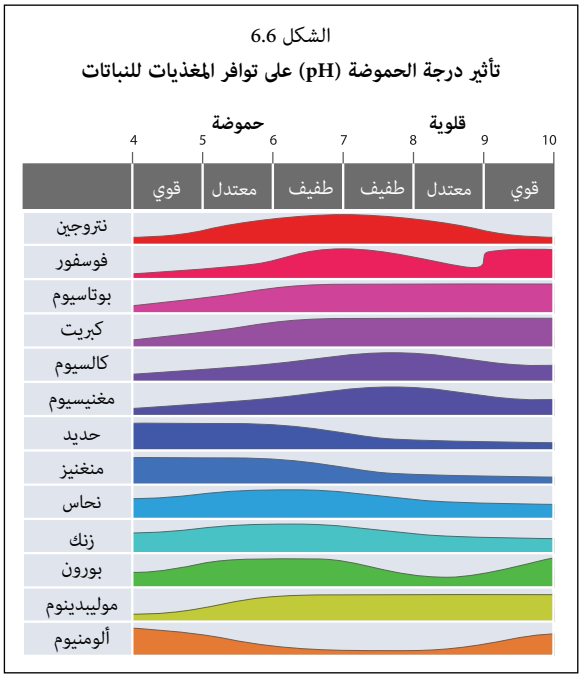
إن أوجه القصور في هذه العناصر الغذائية هي نتيجة لمكونات أعلاف الأسماك. أعلاف الأسماك (ستناقش في الفصل 7) هي الغذاء الكامل للأسماك، وهذا يعني أنْ يُوفر كل ما يحتاجه السمك للنمو، ولكن ليس بالضرورة كل ما يلزم لنمو النباتات. وببساطة فالأسماك لا تحتاج الكميات نفسها من الحديد والبوتاسيوم والكالسيوم التي تتطلبها النباتات. وعلى هذا النحو قد تحدث أوجه القصور في هذه العناصر الغذائية، ويمكن لهذا أن يكون مشكلة للإنتاج النباتي، ولكن هناك حلول متاحة لضمان الكميات المناسبة من هذه العناصر الثلاثة. وبشكل عام يتم إضافة الحديد بانتظام على صورة الحديد المخلبي لنظام الزراعة الأحيومائية؛ للوصول إلى تركيزات حوالي (2 ملغم/لتر)، ويتم إضافة الكالسيوم والبوتاسيوم عندما يتم تصحيح درجة الحموضة؛ لأن النترجة هي عملية محمّضة. وتضاف هذه العناصر في شكل هيدروكسيد الكالسيوم أو هيدروكسيد البوتاسيوم، أو كربونات الكالسيوم، وكربونات البوتاسيوم (انظر الفصل 3 لمزيد من التفاصيل). ويتم اختيار المادة المعدلة أو المقاومة لتغير الحموضة (buffer) بناء على نوع النباتات المزروعة، كما أن الخضار الورقية قد تحتاج إلى مزيد من الكالسيوم، وتحتاج نباتات الأثمار إلى مزيد من البوتاسيوم. وبالإضافة إلى ذلك سيناقش الفصل 9، كيفية إنتاج

الأسمدة العضوية البسيطة من تحلل المواد العضوية لاستخدامه كمكملات لمخلفات الأسماك، وضمان باستمرار كمية مناسبة من العناصر الغذائية للنباتات.

3.6 جودة المياه للنباتات

ناقش القسم (3.3) عناصر جودة المياه لنظام الزراعة الأحيومائية ككل، وهنا سيتم أخذ اعتبارات محددة للنباتات بمزيد من التوسع.

1.3.6 الرقم الهيدروجيني (pH)



الشكل 6.6
تأثير درجة الحموضة (pH) على توافر المغذيات للنباتات

يعتبر الرقم الهيدروجيني أو درجة الحموضة، العنصر الأكثر أهمية للنباتات في نظام الزراعة الأحيومائية؛ لأنه يؤثر على وصول النباتات إلى العناصر الغذائية. إن نطاق التسامح أو التحمل لمعظم النباتات هو (7,5–5,5)، والنطاق الأدنى هو أقل من مستوى تحمل الأسماك والبكتيريا، ومعظم النباتات تفضل الظروف الحمضية الوسط من هذا النطاق. وإذا ما كان الرقم الهيدروجيني خارج هذا النطاق فإن النباتات تمتنع عن امتصاص المواد المغذية من الماء، وهو ما يعني أنها غير قادرة على استخدامها بالرغم من وجودها في المياه، وهذا ينطبق بشكل خاص على الحديد، والكالسيوم، والمغنيسيوم. وفي بعض الأحيان يتضح نقص العناصر الغذائية في النباتات، وتشير إلى أن الرقم الهيدروجيني للنظام خارج النطاق الأمثل. ويصف الشكل (6.6) العلاقة بين مستوى الرقم الهيدروجيني وقدرة النباتات على امتصاص بعض العناصر الغذائية، وهناك أدلة على أن امتناع النباتات عن العناصر الغذائية هو أقل شيوعا في نظم الزراعة الأحيومائية الناضجة عن الزراعة المائية. في حين أن الزراعة المائية هي مهمة شبه معقمة، إلا أن الزراعة الأحيومائية هي نظام بيئي بأكمله. وعلى هذا المنوال فإن هناك تفاعلات حيوية تحدث بين جذور النباتات والبكتيريا والفطريات، والتي قد تسمح بامتصاص العناصر الغذائية حتى في مستويات الحموضة الأعلى من تلك التي تظهر في الشكل (6.6). ومع ذلك فإن أفضل مسار للعمل هو محاولة الحفاظ على الرقم الهيدروجيني حمضيا قليلاً، بين (7–6)، ولكن يجب أن يُفهم أيضا أن ارتفاع درجة الحموضة، بين (8–7) قد يؤدي إلى نمو النباتات.

2.3.6 الأكسيجين المذاب

تحتاج معظم النباتات إلى مستويات عالية من الأكسيجين المذاب (>3 ملغم/لتر) داخل المياه، ولامتصاص ذلك الأكسيجين أثناء التنفس تستخدم النباتات السيقان والأوراق، وتحتاج جذورها أيضاً إلى الأكسيجين. ومن دون الأكسيجين يمكن للنباتات أن تشهد تعفن الجذور، وهي الحالة التي تموت فيها الجذور وينمو الفطر. وبعض نباتات المياه، مثل: كستناء الماء، واللوتس، أو القلقاس، لاتحتاج إلى مستويات عالية من الأكسيجين المذاب، ويمكن أن تصمد أمام مياه منخفضة الأكسيجين مثل تلك الموجودة في البرك الراكدة.

3.3.6 درجة الحرارة والموسم

يتراوح نطاقُ درجة الحرارة المناسبة لمعظم الخضراوات من 18 إلى 30°م، ورغم أن بعض الخضراوات هي أكثر تلاؤما من غيرها في ظل ظروف معينة. ولأغراض هذا الدليل فإن الخضراوات الشتوية تتطلب درجة حرارة (20–8°م)، وخضراوات الصيف تتطلب درجات حرارة (30–17°م). وعلى سبيل المثال فإن هناك العديد من الخضراوات الورقية الخضراء التي تنمو بشكل أفضل في ظل ظروف باردة (20–14°م) خاصة في الليل، وفي درجات حرارة أعلى من (26°م) فما فوق يبدأ التراس الورقي الأخضر (leafy greens bolt) بإنتاج الزهور والبذور؛ مما يجعلها مريرة وغير قابلة للتسويق. وعموما فإن درجة حرارة الماء هي التي لها الأثر الأكبر على

النباتات بدلا من درجة حرارة الهواء، ومع ذلك ينبغي توخي الحيطة والحذر في اختيار النباتات والأسماك من أجل تلبية نطاق درجة الحرارة المثلى للمياه. وهناك جانب آخر من الزراعة الموسمية، حيث إن بعض النباتات تتطلب قدراً معيناً من ضوء النهار؛ لإنتاج الزهور والثمار، وهو ما يسمى بالفترة الضوئية (photoperiodism)، والبعض يشار إليه بالنباتات قصيرة اليوم، والتي تتطلب قدرا معينا من الظلام قبل الإزهار. إن هذه الإشارة إلى النباتات تشير إلى أن فصل الشتاء يقترب، ويضع النبات طاقته في الاستنساخ والتكاثر بدلاً من النمو، ومن أمثلة النباتات قصيرة اليوم: الفلفل، وبعض الزهور الطبية. ومن جهة أخرى تتطلب النباتات ذات اليوم الطويل طول يوم معين (ضوء نهار أطول) قبل إنتاج الزهور، على الرغم من أن هذا نادرا ما يُؤخذ في الاعتبار في الخضراوات، ولكن قد يكون الأمر كذلك بالنسبة لبعض نباتات الزينة. وبناء على هذا النحو فمن المهم اتباع ممارسات الزراعة الموسمية المحلية لكل الخضراوات المزروعة، أو في اختيار الأصناف المحايدة للفترة الضوئية. يتضمّن الملحق (1) مزيدا من التفاصيل حول الخضراوات كلاً على حدة.

4.3.6 الأمونيا، والنتريت، والنترات

كما تم توضيحه في الفصل (2)، فإن النباتات قادرة على تناول جميع الأشكال الثلاثة من النتروجين، ولكنَّ النترات هي الأكثر وصولاً إليها. كما أن الأمونيا والنتريت سامة جدا للأسماك، ويجب دائما الحفاظ على مستوى أقل من (1 ملغم/لتر). ويُنصح في وحدة الزراعة الأحيومائية العاملة بأن يكون مستوى الأمونيا والنتريت دائما عند (0–1 ملغم/ لتر)، ولن يشكل هذا االمستوى مشكلة بالنسبة للنباتات.

4.6 اختيار النباتات

توجد حتى الآن أكثر من (150) نوعا مختلفا من الخضار والأعشاب والزهور والأشجار الصغيرة التي تمت زراعتها بنجاح في أنظمة الزراعة الأحيومائية، بما في ذلك البحوث والوحدات التجارية. ويوفر الملحق (1) ملخصا فنياً وإرشادات مفصلة حول زراعة (12) نوعا من الأعشاب والخضار الأكثر شعبية. وبشكل عام فإن النباتات الورقية الخضراء تنمو بشكل جيد للغاية في الزراعة الأحيومائية جنبا إلى جنب مع بعض الخضراوات الثمرية الأكثر شعبية، بما في ذلك الطماطم، والخيار، والفلفل. أما الخضراوات الثمرية فلديها مطالب أعلى من المغذيات وأكثر ملاءمة للأنظمة الناضجة التي بها كثافة أسماك مناسبة. ومع ذلك فإن بعض المحاصيل الجذرية وبعض النباتات الحساسة لا تنمو جيدا في الزراعة الأحيومائية. وتتطلب المحاصيل الجذرية اهتماماً خاصا، ويمكن زراعتها بنجاح فقط في أسرة وسائط النمو العميقة، أو في سرير الفتل (wicking beds)، وهو سرير ذاتي السقي تمت مناقشته بمزيد من التفصيل في القسم (3.9).

وتختلف الخضار حسب حاجتها العامة للعناصر الغذائية. هناك فئتان عامتان من النباتات من الزراعة الأحيومائية تختلف على أساس طلبها للعناصر الغذائية. إن النباتات التي ينخفض لديها الطلب على المغذيات تشمل الخضر والأعشاب الورقية، مثل: الخس، والسلق، وجرجير السلط، والريحان، والنعناع، والبقدونس، والكزبرة، والثوم المعمر، والخس الصيني (pakchoi) والجرجير، والكثير من البقوليات كالبازلاء، والفاصوليا أيضا لديها مطالب منخفضة من العناصر الغذائية. أما النباتات ذات الطلب العالي على العناصر الغذائية، والتي يشار إليها أحيانا بالنباتات الجائعة العناصر الغذائية، فتشمل مجموعة من الثمار النباتية، مثل: الطماطم، والباذنجان، والخيار، والكوسة، والفراولة، والفلفل. أما النباتات الأخرى التي لديها مطالب مغذيات متوسطة فمن أمثلتها: الكرنب، واللفت، والقرنبيط، والبروكلي، والكرنب الساقي. والنباتات ذات الرؤوس كالبنجر، والقلقاس، والبصل، والجزر لها طلب متوسط إلى عال، في حين أن الفجل يتطلب عناصر غذائية أقل.

إن نمط سرير النمو يُؤثر على اختيار النباتات. وفي وحدات سرير وسائط النمو تعد زراعة أنواع متعددة من الخضر الورقية ممارسة شائعة، وكذلك الأعشاب والخضراوات الثمرية في الوقت نفسه، الشكل (7.6). وعندما يكون لدى سرير وسائط النمو، العمق المناسب (على الأقل 30 سم)، فمن الممكن أن تنمو جميع الخضراوات في الفئات المذكورة أعلاه. إن تطبيق الزراعة متعددة الأنواع في المساحات الصغيرة يمكن أيضا الاستفادة منه في الزراعة الرفيقة، انظر الملحق (2)، وكذلك إدارة المساحة بشكل أفضل؛ لأن الأنواع المتسامحة مع الظل يمكن أن تنمو تحت النباتات الأطول. كما أن ممارسات الزراعة الأحادية (monoculture) هي أكثر انتشاراً في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك في الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) التجارية؛ لأن المزارع مقيّد بعدد الثقوب التي في الأنابيب والطوّافات المخصصة لزراعة الخضراوات. وباستخدام غشاء المغذيات (NFT)، فإنه قد يكون من الممكن زراعة خضراوات الأثمار

الشكل 7.6
الخضراوات التي تتطلب نسب مغذيات عالية تنمو في سرير وسائط النمو، بما في ذلك الباذنجان (*Solanum* sp.) (أ)، والطماطم (*Solanum* sp.) والقرنبيط (*Brassica* sp.) (ب)

ذات الاحجام الكبيرة، مثل: الطماطم ولكن هذه النباتات تحتاج إلى كميات وفيرة من المياه؛ لتأمين إمدادات كافية من المواد المغذية، وتجنب الإجهاد المائي. وفي حالة تعطل التدفق فيمكن للذبول في نباتات الأثمار أن يحدث على الفور تقريبا؛ مما يؤثر بشكل مدمر على المحصول بأكمله. وتحتاج نباتات الأثمار أيضا لأنْ تغرس في أنابيب نمو أكبر، ويحبذ بأن تكون القيعان مسطحة. ويتم وضعها على مسافة أكبر من الخضار الورقية؛ وذلك لأن نباتات الأثمار تنمو بشكل أكبر، وتحتاج إلى المزيد من الضوء؛ حتى تنضج ثمارها، وأيضا لأن هناك مساحة جذر محدودة في الأنابيب. ومن ناحية أخرى فإن المحاصيل الجذرية وذات الرؤوس الكبيرة، مثل: الكرنب، والجزر، واللفت هي أكثر عرضة بأن تتم زراعتها في سرير وسائط النمو، حيث إن وحدات غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك وحدات المياه العميقة (DWC) لا توفر بيئة جيدة ولا دعماً كافياً للنباتات؛ لذا فمن المهم أن تنظر في تأثير حصاد النباتات على النظام البيئي بأكمله. وإذا كان لا بد من حصاد كل النباتات في وقت واحد، ستكون النتيجة نظاما غير متوازن بدون وجود نباتات كافية لتنظيف المياه؛ مما سيؤدي إلى ارتفاع العناصر الغذائية في النظام. إن بعض المزارعين يستخدمون هذه التقنية، ولكن يجب أن تتوافق مع حصاد الأسماك الكبيرة، أو تخفيض حصة الأعلاف. ومع ذلك يُوصى هنا باستخدام الحصاد المتداخل وإعادة دورة الزراعة، كما أن وجود عدد كبير من النباتات التي تنمو بشكل متزامن سيُؤدي إلى نقص في بعض العناصر الغذائية في النظم عند فترة الحصاد. وعندما يكون امتصاص العناصر الغذائية عند الحد الأقصى، ومن خلال وجود نباتات في مراحل الحياة المختلفة، أي بعضها في طور الشتلات وبعضها ناضجة، فإن الطلب الكلي على المغذيات هو نفسه دائما، وهذا يضمن استقرارا أكثر لكيمياء المياه، وأيضا يوفر إنتاجا أكثر انتظاماً سواء بالنسبة للاستهلاك المنزلي أو السوق. وسيتم مناقشة مخططات الزراعة المتداخلة بمزيد من التفصيل في الفصل (8).

5.6 صحة النبات ومكافحة الآفات والأمراض

إن الصحة النباتية لا تعني فقط مجرد غياب الأمراض، بل تتعدى ذلك إلى وضع عام للرفاه، والذي يسمح للنباتات لتحقيق إمكاناتها الإنتاجية الكاملة. والصحة النباتية بما في ذلك الوقاية من الأمراض وردع الآفات والإزالة، هو جانب مهم للغاية لإنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية (الشكل 8.6). وعلى الرغم من أن أهم التطورات في مجال الصحة النباتية قد تحققت من خلال إدارة مسببات الأمراض والآفات، إلا أن التغذية المثلى، وتقنيات الزراعة الذكية، والإدارة البيئية المناسبة هي أيضا عوامل أساسية لتأمين نباتات صحية. وبالإضافة إلى ذلك فإن المعرفة عن النباتات المزروعة أمر أساسي لمعالجة قضايا الإنتاج المختلفة. وعلى الرغم من أن بعض المفاهيم الأساسية في تغذية النباتات قد تم وصفها بالفعل، فإن هذا القسم يهدف إلى توفير فهم أكبر عن كيفية تقليل المخاطر ومعالجة الأمراض النباتية والآفات في الزراعة الأحيومائية التي تقوم على نطاق صغير. ولمزيد من المعلومات عن الحشرات النافعة، بما في ذلك خصائص الحشرات والاحتياجات المناخية، ومعلومات عامة عن تحديد الآفات، فضلا عن الإدارة المتكاملة للآفات والأمراض (بما في ذلك المنتجات المختلفة المتاحة للعلاج)، انظر الملحق (2) والمصادر العلمية المذكورة في القسم الخاص بمزيد من القراءة.

الشكل 8.6
الأمراض الشائعة في النباتات، وتشمل العفن الذي يسببه الفطر (أ)، وآفة اللفحة التي تسببها البكتيريا (ب)، وبقع الورق التي تسببها البكتيريا أو الفطريات (ج)

1.5.6 الآفات النباتية والإنتاج والإدارة المتكاملة للآفات

تمثل الآفاتُ الحشرية إشكالية لإنتاج النباتات؛ لأنها تحمل الأمراض، ويمكن أن تؤدي هذه الأمراض إلى انكماش النباتات. وتقوم الآفاتُ أيضا بالحفر في الأنسجة النباتية واستخراج السوائل منها؛ مما يؤدي إلى توقف النمو. وفي البيئات المسيطر عليها كالبيوت الزراعية المحمية، يمكن أن تكون الإشكالية أكبر من حيث الآفات وأعراضها المرضية؛ لأنه مكان مغلق ويوفر الظروف المواتية للحشرات دون المطر أو الرياح. وتختلف إدارة الآفات في الهواء الطلق عن الزراعة المحمية (البيوت المحمية الشبكية والبلاستيكية)؛ وذلك بسبب الفصل المادي بين النباتات والمنطقة المحيطة بها، والتي تتيح استخدام الحشرات النافعة في الأماكن المغلقة لقتل – السيطرة على الآفات الحشرية، كما أن انتشار الآفات والحشرات هو أيضا يعتمد بشكل كبير على المناخ والبيئة. وللعلم فإن إدارة الآفات في المناطق المعتدلة أو الجافة هي أسهل من المناطق الاستوائية.

وبما أن وحدة الزراعة الأحيومائية تحافظ على نظام بيئي مستقل، فمن الطبيعي لمجموعة من الكائنات الدقيقة والحشرات الصغيرة والعناكب أن تكون موجودة داخل أسرة وسائط النمو. ومع ذلك فإن الآفات الحشرية الضارة الأخرى، مثل: الذباب الأبيض، والتربس، والمن، وصانعة الأنفاق في الأوراق، وعث الملفوف، والعناكب الحمراء تتغذى على النباتات وتتلفها. ومن الممارسات الشائعة للتعامل مع إشكاليات الآفات الحشرية في الإنتاج النباتي في التربة، هي استخدام المبيدات الكيميائية أو المبيدات الحشرية، ولكن هذا **مستحيل** في الزراعة الأحيومائية؛ لأن استخدام أية مبيدات كيميائية قوية يمكن أن تكون قاتلة للأسماك، وكذلك البكتيريا المفيدة التي تعيش في النظام؛ ولذلك يجب أن لا تستخدم المبيدات الكيميائية التجارية على الإطلاق. وهناك ضوابط أخرى مادية وبيئية وثقافية فاعلة؛ للحد من خطر الآفات في الزراعة الأحيومائية، وينبغي النظر في المبيدات الحشرية والروادع كآخر حل، ومع ذلك فإن الإدارة الناجحة تدمج المحاصيل وإدارة البيئة مع استخدام وسائل ردع الآفات العضوية والحيوية.

إن الإنتاج المتكامل وإدارة الآفات هو نهج النظام الإيكولوجي في الزراعة القائمة على التربة والإنتاج النباتي بدون تربة، والحماية التي تجمع بين استراتيجيات الإدارة والممارسات لنمو النباتات السليمة، وتقليل استخدام المبيدات المختلفة، إنه مزيج من الضوابط الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية والحيوية والميكروبية، جنبا إلى جنب مع مقاومة النباتات المستضيفة للحشرات والممارسات الثقافية. علما بأنه ليست كل هذه الضوابط قابلة للتطبيق في الزراعة الأحيومائية، كما وقد تكون قاتلة للأسماك والبكتيريا (أي المواد الكيميائية وبعض المبيدات العضوية)، في حين أن البعض الآخر قد لايكون مجديا اقتصاديا للزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير (أي عوامل المكافحة الميكروبية). ويركز هذا القسم على أهم الاستراتيجيات المطبقة في الزراعة الأحيومائية القائمة على نطاق صغير، بما في ذلك السيطرة الميكانيكية والفيزيائية، ومقاومة النبات المضيف والتقنيات الثقافية؛ لمنع خطر الآفات والأمراض. وفيما يلي بعضُ التعليقات الموجزة حول بعض الضوابط الحيوية لزراعة أحيومائية آمنة (أي الحشرات المفيدة والكائنات الدقيقة). كما أن مزيداً من التفاصيل حول هذا الموضوع تم طرحها في الملحق (2). لمزيد من المعلومات عن هذه الأساليب، انظر القسم الخاص بمزيد من القراءة.

الضوابط المادية، والميكانيكية، والثقافية

تعد الوقاية أمرا أساسيا لإدارة الآفات في الزراعة الأحيومائية. ويعتبر الرصد المنتظم والشامل للآفات أمرا حيويا، ومن الأفضل تحديد الإصابة الطفيفة، قبل أن تستفحل وتتلف الحشراتُ المحصول بأكمله. وفيما يلي قائمة عناصر التحكم

غير المكلفة والبسيطة التي تستخدم في الزراعة العضوية/التقليدية، والتي هي أيضا مناسبة للزراعة الأحيومائية صغيرة النطاق. ولتجنب تفشي الأوبئة يشير الإقصاء البدني إلى الحفاظ على الآفات بعيدا. والإزالة الميكانيكية هي عندما يأخذ المزارع بنشاط الآفات بعيداً عن النباتات، كما أن الضوابط الثقافية هي الخيارات والأنشطة الإدارية التي يمكن للمزارع أن يتخذها لمنع الآفات. وهذه الضوابط ينبغي أن تستخدم كخط الدفاع الأول ضد الآفات الحشرية قبل أن يتم الأخذ في الاعتبار بوسائل أخرى.

الشباك العازلة

هذه الطريقة شائعة لمنع أضرار الآفات في المناطق الإستوائية أو في أي مكان تُمارس فيه البستنة العضوية، أو عندما تكون المبيدات غير فعالة؛ ويختلف حجم الشبكة اعتمادا على الآفات المستهدفة، فمثلا الشبكات التي هي بمقاس فتحة شبك (0,15 ملم) تستخدم لاستبعاد التربس، والشبكات التي هي بمقاس فتحة شبك (0,35 ملم) لاستبعاد الذبابة البيضاء والمن. والشبكات التي هي بمقاس (0,8 ملم) تستعمل لمنع دخول صانعة الأنفاق في الأوراق. وتعتبر الشباك العازلة فاعلة بشكل خاص عندما تكون الشتلات صغيرة جدا وطريّة. وينبغي الأخذ في الاعتبار أن الشباك العازلة لا تستطيع القضاء على الآفات بنسبة 100 في المائة، ولكنها تستبعد معظمها؛ لذا يجب أن تثبت قبل ظهور الآفات، وينبغي الحرص على عدم السماح لدخول الآفات في البيئة المحمية.

الحواجز المادية

ونظراً للمسافات المحدودة التي يمكن أن تغطيها الحشرات، فمن الممكن الحد من انتشار الآفات بإضافة الحواجز المادية بين الخضراوات والنباتات المحيطة بها، مثل: الأسطح المعبدة، أو مواد البناء. إن الإنتاج في الزراعة الأحيومائية على السطح يستفيد من التهوية الطبيعية؛ نظرا لإقامتها في الأعلى، ووجود الحاجز المادي الكبير (المسافة من الأرض) تخلق ظروفا مثالية للإنتاج في الهواء الطلق الخالية نسبيا من الآفات والأمراض (الشكل 9.6). وغالبا ما يكون للبيوت المحمية مروحة قوية تنتج تيار هواء عند المدخل، يمكن أن تساعد على منع الحشرات من الدخول مع المزارعين. وهناك تقنية مفيدة أخرى ألا وهي خلق حاجز على سيقان الحاويات المائية. إن حلقة من النحاس الوامض يمكن لها منع القواقع والرخويات من الصعود على الساقين، وطلاء الفازلين يمكن أن يمنع النمل، كما يمكن أيضا منع النمل بواسطة وضع الجزء السفلي من الساقين في وعاء من الماء.

الشكل 9.6
وحدات الزراعة الأحيومائية على سطح مبنى معزولة عن بعض آفات الأرض

التفتيش اليدوي والإزالة

إن الإزالة إما باليد، أو باستخدام تيار من الماء عالٍ مضغوط على الأوراق أو النباتات المصابة بشدة يساعد على تجنب أو تأخير انتشار الحشرات على النباتات المحيطة بها (الشكل 10.6)، ويمكن أيضا أن تستخدم الآفات الكبيرة والبرقات كغذاء تكميلي للأسماك. إن رشّ المياه من خرطوم موجه إلى الجانب السفلي من الأوراق هو أسلوب للإدارة التي تقضي على أنواع عديدة من الحشرات الماصة، ويمكن للتيار المائي قتل بعض الحشرات، وغسل الأخرى بعيدا، وهذا فعّال على الحشرات الماصة، مثل: المن، والذبابة البيضاء. وتعتبر هذه إحدى الطرق الفعّالة في الأنظمة التي على نطاق صغير، ولكنها يمكن أن تكون مجرد علاج مؤقت، حيث يمكن للآفات النازحة العودة إلى النباتات، ويمكن لهذه الوسيلة أن تستهلك كميات كبيرة من الماء وتصبح كثيفة العمالة في الأنظمة الأكبر.

الشكل 10.6
الإزالة اليدوية للآفات الحشرية

الشكل 11.6
فخ لزج أصفر (أ) مثبت في بيت محمي (ب)

المحاصرة

تعد الفخاخ اللزجة التي توضع فوق مظلة النباتات فعّالة في البيئات المحمية (البيوت الشبكية، والبيوت المحمية)، وتقوم بطاقات الفخ اللزجة الزرقاء بصيد التِّربس، في حين تقوم البطاقات الصفراء بصيد الذباب الأبيض والحشرات الميكروحرشوفية الأجنحة (الشكل 11.6). كما أن الفخاخ اللزجة هي أقل فعالية في ظروف الهواء الطلق، حيث إن الحشرات الجديدة يمكن أن تأتي بسهولة من المناطق المحيطة بها؛ ولذا يتعزز دور المراقبة المستمرة للحشرات وصيدها بواسطة الفخاخ، ويمكن أن تساعد المزارع على اعتماد تدابير محددة؛ للحد من وقوع بعض الآفات. وآخر وسيلة فعّالة للتعامل مع الآفات هي استخدام فخاخ الفرمون، فهي تجذب الذكور من آفات معينة؛ مما يقلل من عدد التزاوج في المنطقة.

الإدارة البيئية

إن الحفاظ على الضوء والحرارة والرطوبة عند الظروف المثلى أمر مهم؛ لأنها يمكن أن تتغير بسهولة في الزراعة المحمية لصالح نمو النباتات بشكل صحي، والحصول على ظروف غير مواتية للآفات. فعلى سبيل المثال لا تتسامح العناكب مع الظروف الرطبة، وأن حصول الندى الموجه على الأوراق في الوقت المناسب يمكن له ردع التفشي.

إختيار النباتات

تنجذب بعضُ الحشرات لأنواع محددة من النباتات دون غيرها، وبالمثل فإن أصنافا من النباتات من النوع نفسه لديها مستوى مختلف للمقاومة/التسامح للآفات، وهذا هو أحد الأسباب التي تجعل الزراعة المتعددة منع الإصابة الكبيرة؛ لأن بعض النباتات تبقى غير متأثرة، زيادة على ذلك فإن بعض النباتات تعمل على اجتذاب واستبقاء الحشرات الأكثر فائدة؛ للمساعدة في إدارة تعداد الآفات (سيتم مناقشتها بمزيد من التفصيل أدناه). والآن ماعليك فقط سوى اختيار أصناف نباتية مقاومة من الموردين المحليين، ووكلاء الإرشاد الزراعي؛ للمساعدة في الحد من الأمراض وتفشيها.

النباتات المؤشرة والأضاحي /الصيد/المحاصيل الفخية

بعض النباتات كالخيار والبقوليات أكثر عُرضة لتفشي حشرات المنّ أو العُث الأحمر؛ وبالتالي يمكن استخدامها للكشف عن انتشار الآفات في وقت مبكر، وفي كثير من الأحيان تزرع النباتات المؤشرة على طول الحافة الخارجية للحدائق الكبيرة. والاستراتيجية الأخرى التي يمكن اعتمادها في الزراعة الأحيومائية هي استخدام المبيدات الحشرية الحيوية على الأضاحي "نباتات الصيد" التي تزرع قريبة من نظام الزراعة الأحيومائية وليس داخله. وتجذب نباتات الصيد هذه -مثلاً الفول- الآفات، ويمكن زراعة هذه النباتات في الأواني بجانب وحدة الزراعة الأحيومائية، والتعامل بعد ذلك معها بالمبيدات الحشرية (ستتم مناقشته أدناه). إن هذه الاستراتيجية لن تؤثر على النظام البيئي للزراعة الأحيومائية أو الحشرات المفيدة الموجودة حول

الوحدة، وإن لم تكن عضوية بحتة، فيمكن علاج نباتات الصيد بالمبيدات الحشرية الاصطناعية التجارية في حالة وجود البؤر الكبيرة. ويمكن استخدام الفول وزهور البتونيا (الزهور) للقبض على التِّربس، والمن، والعُث، كما يستخدم الخيار أيضا للقبض على المن والنطاط، في حين تستخدم شتلات الخس العصاري لالتقاط الحشرات الأخرى الآكلة للنباتات.

الزراعة الرفيقة

إن الزراعة الرفيقة هو الاستغلال البناء للعلاقات النباتية من قبل المزارعين. فعلى سبيل المثال جميع النباتات تنتج المواد الكيميائية الطبيعية من الأوراق والزهور والجذور، وهذه المواد الكيميائية قد تجذب أو تصد بعض الحشرات، ويمكن أن تعزز أو تحد من معدل نمو وإنتاجية النباتات المجاورة؛ لذا فمن المهم أن نكون على بينة من النباتات التي تستفيد من بعضها البعض عندما تزرع معا، والنباتات التي يجب تجنب وضعها معاً. ويوضح الملحق (2) جدولاً بالنباتات الرفيقة لاستخدامها عند اختيار المحاصيل. وعند استخدام جدول النباتات الرفيقة يجب التركيز على تجنب الرفقاء غير الجيدين أكثر من زراعة الجيد منها. وبعضُ النباتات تفرز مواد كيميائية من جذورها أو أوراقها فتعمل إما على قمع الآفات أو صدها، والتي يمكن أن تكون لصالح حماية النباتات المجاورة الأخرى.

الإخصاب

مثلما ذكر أعلاه، فإن النتروجين الزائد يجعل النباتات أكثر عرضة لهجوم الآفات؛ لأن لديها أنسجة أكثر نضارة. والتوازن الصحيح للعناصر الغذائية باستخدام نسبة الأعلاف الصحيحة – كما وُضح في الفصلين (2 و8)، يساعد النباتات على نموٍّ أقوى من أجل الصمود لهجمات الآفات؛ ولهذا السبب يجب أن يتم تغيير بعض الماء عند مستويات النترات الأعلى من (120 ملغم/ لتر).

المباعدة

إن الزراعة عالية الكثافة، وعدم كفاية التقليم يزيد من التنافس على الضوء، وهو مشجع للآفات الحشرية. وهذا التنافس في نهاية المطاف يجعل الأنسجة النباتية أكثر عصارية لحفر الآفات، أو لاختراق مسببات الأمراض، وبالتالي تعمل هذه الظروف الضيقة على عدم توفير المأوى للآفات؛ ولهذا فعلى المزارع الماهر التأكد من وجود تهوية كافية، واختراق كاف لأشعة الشمس من خلال المظلة. وكما نوقش سابقا فإن العديد من النباتات لها احتياجات خاصة لأشعة الشمس. ومن خلال الجمع بين توافر ضوء الشمس والنباتات المتسامحة مع الظل، فمن الممكن تكثيف الإنتاج دون التعرض لخطر زيادة المنافسة وإضعاف النباتات. وفي هذه الحالة يمكن للنباتات المتسامحة مع الظل أن تنمو تحت مظلة من تلك المتوافقة مع الشمس. وبهذه الطريقة تصبح النباتات أكثر صحة، وأكثر مقاومة للآفات والمرض.

تناوب المحاصيل

على الرغم من أنّ وحدات الزراعة الأحيومائية يمكن أن تُدار كزراعة أحادية دون أن تواجه مشاكل تعب التربة (استنزاف العناصر الغذائية الموجودة طبيعياً في التربة)، فإن زراعة نفس النوع بشكل مستمر على مدى عدة مواسم يمكن أن يكون له تأثير انتقائي على الآفات المحيطة بها. وهكذا فإن التغيير في المحاصيل ولو لفترة قصيرة، قد يسبب انخفاضا كبيرا في الآفات التي تستهدف على وجه التحديد المحاصيل الأحادية.

الصحة الوقائية

إن إزالة جميع بقايا النباتات بما في ذلك الجذور في نهاية كل موسم حصاد، سيساعد على الحد من انتشار الآفات والأمراض، وينبغي كذلك إزالة الأوراق الميتة والفروع المريضة باستمرار. وفي ظروف الهواء الطلق دون شباك، فإنه من المستحسن الحد من النباتات المحيطة بالوحدة إلى أدنى مستوى ممكن؛ من أجل منع الآفات منً الانتشار في وحدة الزراعة الأحيومائية، كما يجب أن تبقى النباتات المريضة وأكوام السماد بعيدا عن النظام لمنع التلوث.

الضوابط الكيميائية

إذا ظلت الآفات مشكلة بعد استخدام المواد المذكورة أعلاه من الضوابط الميكانيكية والثقافية، فسيكون من الضروري استخدام المكافحة الكيميائية. إن المبيدات الاصطناعية والمبيدات الحشرية لا ينبغي استخدامها في الزراعة الأحيومائية؛ لأنها ستقتل الأسماك، والكثير من الضوابط الأحيائية هي أيضا قاتلة للأسماك. إن جميع ضوابط المواد الكيميائية تعد الملاذ الأخير في أنظمة الزراعة الأحيومائية، وتستخدم فقط باعتدال. وفي الوحدات التي تعمل بالزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، فمن الأفضل إزالة وعلاج النباتات بعيدا عن النظام، والسماح للمواد الكيميائية أن تجفّ تماما. يتضمّن الملحق (2) قائمة المبيدات الحشرية الشائعة ومؤشراتها، ونسبة السُّـمية للأسماك.

الضوابط الحيوية

بالنسبة للمبيدات والآفات النباتية، فإن بعضَ الخلاصات أو العُصارات تم الحصول عليها من الكائنات الدقيقة التي تعد آمنة للأحياء المائية؛ لأنها تعمل بشكل محدد على هياكل الحشرات ولا تضر الثدييات أو السمك. وهناك نوعان من الكائنات الحية التي تُستخدم على نطاق واسع في الزراعة الأحيومائية والزراعة العضوية، وهما: باسيلوس العصوية (*Bacillus thuringiensis*) والبوفيرية (*Beauveria bassiana*). الأول هو مستخلصٌ سام من البكتيريا التي تضر بالجهاز الهضمي للحشرة وتقتلها، ويمكن رشها على أوراق الشجر، وتستهدف تحديداً اليسروع، وناخرات الأوراق، والعُثة، أو فراشة اليرقات، دون الضرر بالحشرات النافعة الأخرى. أما الثاني فهو البوفيرية، وهو نوع من الفطريات التي تنبت وتخترق جلد الحشرة (كيتين)، وتقتل الآفات من خلال الجفاف، وتعتمد فعالية الفطريات على عدد الجراثيم التي تم رشها، وعلى توافر الرطوبة، وظروف درجات الحرارة المثلى، ومن الناحية المثالية يعد مبيداً بيولوجياً جيدا للمناطق الاستوائية الرطبة.

الحشرات النافعة – الحيوانات المفترسة للآفات

وأخيرا فإن الحشرات النافعة هي طريقة أخرى فعّالة لمكافحة الآفات، لاسيما في البيئات المسيطر عليها كالبيوت المحمية أو البيوت الشبكية، حيث يتم إدخال الحشرات النافعة أو المفترسة مثل الحشرات شبكية الجناح (lacewings) في المكان الذي تنمو فيه النباتات؛ من أجل السيطرة على أي غزو من الحشرات الضارة. وتشمل مزايا استخدام الحشرات المفيدة: عدم وجود متبقيات المبيدات أو المقاومة التي تسببها المبيدات في الآفات، كما أنها مجدية اقتصادياً (على المدى الطويل للعمليات الواسعة النطاق فقط)، وسليمة بيئيا. ومع ذلك فإن مكافحة الآفات الناجحة باستخدام هذه الطريقة تعتمد على معرفة مفصلة بكل الحشرات النافعة جنباً إلى جنب، مع المراقبة المستمرة للآفات؛ من أجل إدخال الحشرات النافعة في الوقت الصحيح. وعلاوة على ذلك فإن الحشرات المفيدة يمكن أن تنجذب بشكل طبيعي إلى أنظمة الهواء الطلق. وتتغذى العديد من هذه الحشرات المفيدة على الرحيق في مراحل عمرها الكبيرة؛ لذلك فإن وجود مجموعة مختارة من الزهور بالقرب من وحدة الزراعة الأحيومائية يمكن أن يساعد على الحفاظ على أعداد هذه الحشرات المفيدة، والتي يمكن أن تُبقي الآفات في توازن. ومن المهم التأكيد على أن هذا الأسلوب من السيطرة لا يقضي تماماً على الآفات، ولكنه يساعد على منع الآفات بالتضييق عليها من خلال علاقة (الفريسة والمفترس). ومن الناحية التطبيقية فقد تم بالفعل استخدام هذه الطريقة مع نتائج إيجابية في الزراعة الأحيومائية ذات النطاق الواسع. أما بالنسبة للزراعة الأحيومائية ذات النطاق الصغير قد لا يكون هناك ما يكفي من الآفات لتفترسها الحشرات المفيدة، والتي قد تضطرها إلى الطيران بعيداً عن الوحدة. وليكن معلوما أن اختيار الحشرات المفيدة للاستخدام ينبغي أن يأخذ في الاعتبار الظروف البيئية لهذه الحشرات، انظر الملحق (2).

2.5.6 أمراض النبات والإدارة المتكاملة للأمراض

على عكس الزراعة المائية التي تُدار معظمها تحت ظروف معقمة، تستفيد الزراعة الأحيومائية من نظام بيئي مجهري معقد يشتمل على البكتيريا والفطريات وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة، كما أن وجود هذه الكائنات الدقيقة المتكيفة بشكل جيد يجعل كل نظام أكثر مرونة في حالة الهجوم عليه من قبل الآفات أو الأمراض. ولكن مع ذلك فإن الإنتاج النباتي الناجح هو نتيجة لاستراتيجيات إدارة تجنب تفشي الأمراض التي تركز بشكل رئيس على الظروف البيئية وردع الآفات عن إدارة النباتات (الذبابة البيضاء قد تحمل الفيروسات القاتلة)، فضلاً عن استخدام العلاجات العضوية التي تساعد على منع أو علاج النباتات. وعلى غرار الإنتاج المتكامل ومكافحة الآفات (Integrated Production and Pest Management (IPPM))، تعتمد الإدارة المتكاملة للأمراض على الوقاية، واختيار النباتات، والمراقبة كخط أول للدفاع ضد المرض، ويستخدم العلاج المستهدف عند الضرورة فقط.

الضوابط البيئية

إن كلا من درجة الحرارة والرطوبة تلعبان دوراً مهما في إدارة صحة النباتات. ولدى كل مرض نباتي كالبكتيريا والفطريات أو الطفيليات (الشكل 8.6) درجات حرارة نمو مثلى، والتي يمكن أن تكون مختلفة عن تلك الخاصة بالنباتات، وهكذا تحدث الأمراض في مناطق وفترات معينة خلال العام عندما تكون الظروف البيئية أكثر ملاءمة. ومما ينبغي التنبه إليه، هو أن الرطوبة تلعب دوراً محوريا لإنبات الجراثيم الفطرية، والتي تتطلب طبقة رقيقة من الماء تغطي الأنسجة النباتية وبالمثل فإن تفعيل بعض الأمراض البكتيرية والفطرية يرتبط بشكل قوي بوجود المياه السطحية؛ ولذلك فإن السيطرة على الرطوبة النسبية والنداوة ضروري من أجل الحد من مخاطر تفشي الأمراض. ويحتوي الملحق (2) على شرح مفصل عن الظروف البيئية التي تشجع العديد من الأمراض الفطرية المشتركة.

إن السيطرة على الرطوبة النسبية، وخاصة في البيوت المحمية التي بها وحدة زراعة أحيومائية أمر مهم بشكل خاص. ويمكن تحقيق ذلك من خلال التهوية الحيوية أو القسرية، وعن طريق النوافذ ومراوح التهوية التي تخلق تيار هواء أفقيا؛ مما يساعد على تقليل فروق درجات الحرارة والبقع الباردة حيث يحدث تكثف الهواء. كما أن الهواء المتنقل مختلط باستمرار، وعندما يكون مختلطا فإنه يمنع درجة الحرارة من أن تنخفض أقل من نقطة الندى، وبالتالي لا تتكثف المياه على الخضراوات.

وينبغي تجنب التبخر الآتي من خزانات الأسماك أو من قنوات الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) المهوّاة الموضوعة في البيوت المحمية ً من خلال تغطية المسطحات المائية، حيث يمكن للماء المتبخر أن يزيد بشكل كبير من الرطوبة في الأماكن المغلقة، كما أن الأنابيب في وحدات غشاء المغذيات (NFT) عرضة لدرجات حرارة المياه العالية في المواسم الحارة؛ بسبب تعرض الأنابيب لأشعة الشمس المستمرة. وتعد أنظمة أسرة وسائط النمو هي الحل الوسط الأمثل، إذا ما اختيرت الأوساط بالشكل الصحيح، وذلك لأن الأسطح العلوية للسرير تُحفظ دائما جافة (الفصل 4). وأخيرا فإن لدى الأنظمة المبنية على أسطح المنازل ميزة توافر مناخ أكثر جفافاً، وتهوية جيدة مقارنة مع مستوى سطح الأرض؛ مما يسهل الإدارة البيئية للنباتات.

كما أن السيطرة على درجة حرارة الماء تلعب دوراً رئيساً في تجنب تفشي الفطريات. وهناك مرض شائع في الزراعة الأحيومائية وهو عفن الجذور الناجم عن الفطر (*Pythium* spp.)، وهو مرض منقول عن طريق التربة التي يمكن إدخالها خطأ في النظام من مواد ملوثة (التربة – الخث – الشتلات). وعلى غير الزراعة المائية، فهذه الفطريات لا تسبب الضرر للزراعة الأحيومائية لما تكون تحت درجات حرارة معينة؛ بسبب وجود تنافسية مع غيرها من الكائنات الحية الدقيقة. وكذلك فإن الحفاظ على درجة حرارة تقل عن (28–30°م) هي أساسية من أجل تجنب الإنبات اللوغاريثمي للجراثيم التي من شأنها أن تسبب في نهاية المطاف تفشي المرض.

وأخيرا ينبغي إيلاء الكثافة الزراعية الاهتمام الذي تستحقه؛ فالكثافة العالية جدا تقلل من التهوية الداخلية، وتزيد من نسبة الرطوبة بين النباتات، كما أن خطر الأمراض للمحاصيل المزروعة بشكل مكثف يزيد في ظل المنافسة الشديدة على الضوء، وتنمو النباتات دون توحيد خلاياها؛ مما يؤدي إلى أن تصبح جدران الأنسجة لينة وعصارية أكثر. ويمكن القول بأن الأنسجة الطرية أكثر عُرضة للمرض؛ بسبب المقاومة المحدودة للآفات، أو بسبب اختراق الأمراض.

اختيار النباتات

إن لدى الأصناف النباتية مستويات مختلفة من المقاومة لمسببات الأمراض. وفي بعض الحالات تكون المقاومة عن طريق استخدام أصناف مقاومة للأمراض، وهو أسلوب ناجح في تجنب المرض. وبالتالي فمن الأهمية بمكان تحديد الأصناف النباتية التي تم تكيفها أكثر لتنمو في بيئات معينة، أو لديها درجة أعلى من المقاومة ضد مرض معين. وهناك العديد من شركات البذور التي تقدم مجموعة واسعة من النباتات التي لها استجابات مختلفة ضد مسببات الأمراض. ويمكن استخدام الأصناف المحلية التي تم تحديدها بشكل طبيعي لبيئة محددة تضمن نمو النبات الصحي.

وإذا كان من غير الممكن التحكم في أمراض معينة بأصناف مقاومة، فإنه من الحكمة التحول إلى محاصيل أخرى خلال الموسم الحرج. وفي حالة عفن الجذور الناجمة عن الفطر (*Pythium* spp.) – وإذا كانت الأصناف المقاومة من الخس والكائنات الدقيقة النافعة ليست قادرة على السيطرة على الإصابة – فمن المناسب التحول إلى أنواع أخرى، كالريحان الذي هو أكثر تحملاً للمرض وارتفاع درجات حرارة المياه.

كما ينبغي شراء البذور والشتلات من المشتل ذي السمعة الطيبة الذي يوظف استراتيجيات فعّالة للوقاية من المرض، ويمكن لها تأمين المنتجات الخالية من المرض. وإضافة إلى ما سبق فالمزارع الحاذق يحرص على أن لا تصاب النباتات بكسر الفروع، والشقوق، والجروح؛ لأن ذلك سيؤدي إلى ظهور أمراض في المنطقة المتأثرة نفسها.

الجدول 2.6
تأثير التغذية على قابلية النباتات للإصابة بالأمراض

المغذيات	التأثير
النتروجين	الإفراط يجعل الأنسجة نضرة أكثر، وعرضة للهجوم الفطري. قلة النتروجين تجعل النباتات الواقفة أكثر عرضة للهجمات من الكائنات الحية الدقيقة الانتهازية.
البوتاسيوم	يسرع التئام الجروح، ويقلل من تأثير الصقيع، ويؤخر النضج والشيخوخة في النباتات.
الفوسفور	يحسن توازن العناصر الغذائية ، ويسرع نضج النباتات.
الكالسيوم	يقلل من شدة بعض الأمراض الفطرية للجذر والساق. يؤثر على مركب جدار الخلية في النباتات التي تقاوم الاختراق الفطري.
السيليكون	يساعد النباتات على إنتاج ردود فعل دفاع محددة، بما في ذلك الإفراج عن المركبات الفينولية ضد مسببات الأمراض.

المصدر: Agrios (2004).

تغذية النبات

تؤثر التغذية بشكل كبير على قابلية النباتات للإصابة بالأمراض، كما أنها تؤثر على قدرة النباتات على الاستجابة ضد المرض باستخدام آليات مختلفة، بما في ذلك إعاقة التغذية أو وضع البيض (antixenosis – عمليات لردع الاستعمار من قبل الحيوانات العاشبة) أو التضاد (antibiosis – عمليات لقتل أو للحد من الحيوانات العاشبة بعد الهبوط أو أثناء الأكل). إن التوازن الصحيح في العناصر الغذائية لا يوفر فقط النمو الأمثل، ولكنه يجعل النباتات أقل عرضة للإصابة بالأمراض. وعلى الرغم من وصف الاضطرابات الغذائية كما نوقش أعلاه، فإن الجدول (2.6) يبين كيف أن بعض العناصر الغذائية يمكن أن تلعب دوراً رئيساً في حدوث المرض.

المراقبة – التفتيش والإقصاء

الكشفُ والتدخل المبكر هو أساس إدارة المرض ومكافحة الآفات. ويجب بالتالي أن يتم فحص النباتات بانتظام بحثا عن العلامات المبكرة للإصابة، أو وجود الآفات التي قد تؤدي إلى الإصابة. وكلما ظهرت على النباتات علامات التلف، أو المراحل الأولى من المرض (الذبول، تعفن الجذر) فمن المهم جدا إزالة الفروع المصابة والأوراق، أو إقصاء النبتة بأكملها؛ لتجنب انتشار المرض في جميع أنحاء المحصول. وفيما يتعلق بالإقصاء فمن المهم جداً فرض السيطرة على الناقلات المحتملة (المصادر) للفيروسات، مثل الذباب الأبيض بواسطة زراعة النباتات في هياكل مقاومة للحشرات (انظر القسم 1.5.6). وبالإضافة إلى ذلك فإن تجنب تلوث التربة فضلا عن استخدام أدوات تم تطهيرها (مثل المقصات المستخدمة للتشذيب/الحصاد)، تساعد على تجنب نقل مسببات الأمراض المحتملة إلى النظام. وأخيرا فإن مراقبة وتسجيل جميع الأعراض وتطور كل مرض يعد ممارسة سليمة؛ من أجل تحديد أفضل طرق الوقاية والعلاج في المستقبل.

العلاج – غير العضوي أو الكيميائي

كما ذكر أعلاه فإن الزراعة الأحيومائية هي نظام بيئي معقد، إلا أنه أكثر مرونة من الزراعة المائية فيما يخص الأمراض التي تنتقل عن طريق التربة. ومع ذلك فإن بعض حالات تفشي المرض لا تزال تحدث في حالة الظروف البيئية غير المواتية، مثل الرطوبة النسبية المرتفعة في البيوت المحمية، أو في المناخات الاستوائية، وتحتاج إلى تحكم. وعلى الرغم من أن الزراعة منظومة متكاملة تحتوي على الأسماك والنباتات والكائنات الحية الدقيقة النافعة، فإنه ليس من الممكن استخدام علاجات أمراض عيارية من الزراعة التقليدية (أي مادة كيميائية مبيدة للفطر)؛ لأنها سامة للأسماك. إلا أن الممارسات الشائعة المستخدمة في الزراعة العضوية ممكنة، شريطة أن لا تضر بالأسماك أو البكتيريا، أو لاتتراكم في النظام؛ مما قد يؤدي إلى عتبات تغير أعلى من المقبول. ويشير الملحق (2) إلى عناصر وأساليب التطبيق المستخدمة في الزراعة العضوية التي يمكن أن تستخدم أيضا في الزراعة الأحيومائية؛ لمحاربة ودرء الأمراض المختلفة. وكخلاصة موجزة فإن نجاح العلاج باستخدام هذه الطرق يعتمد على الجمع بين عدد قليل من الاستراتيجيات التي يمكن أن يكون لها تأثير تآزري ضد مسببات أمراض معينة.

العلاج الحيوي

يمكن أن تستخدم بعضُ عوامل المكافحة الحيوية في الزراعة الأحيومائية، كعزلات الفطر (*Thricoderma* spp.)، والفطر (*Ampelomices* spp.)، وأيضا البكتيريا العصوية الرقيقة (*Bacillus subtilis*)، وهي كائنات دقيقة

مستزرعة تُستخدم لمكافحة أمراض معينة، ويمكن تطبيق هذه العوامل الأحيائية إما على الأوراق أو في منطقة الجذر، وهي توفر حماية ضد الأمراض المنقولة عن طريق التربة الأكثر شيوعا، بما في ذلك البياض الزغبي (downy mildew)، والبياض الدقيقي (powdery mildew)، وبعض أنواع البكتيريا المختلفة، وعلى وجه الخصوص عزلات الفطر (*Thricoderma* spp.) التي أثبتت فعاليتها في السيطرة على الفطريات (*Pythium* spp.)، ومعظم مسببات الأمراض المنقولة عن طريق التربة. في حين أن الفطر (*Ampelomices* spp.) يمكن أن يعوّض الحاجة لأي علاجات غير عضوية أو كيميائية ضد البياض الدقيقي. وفي حالة استخدام عزلات الفطر فإنه يمكن توزيع الجراثيم على ركيزة النمو عند وضع البذر؛ للسماح للفطر المفيد بحماية النباتات بدءاً من مرحلة التنبيت. كما ينبغي النظر إلى المعلومات عن المنتجات واستشارة المنتجين والموزعين قبل الاستخدام؛ من أجل تحديد أفضل الطرق لعلاج أمراض معينة متوقعة متى ما ظهرت.

وللحصول على معلومات أكثر تفصيلاً عن الأمراض النباتية المعينة بما في ذلك التصنيف، وقابلية الإصابة والتفشي، انظر النصوص الموصى بها في القسم الخاص بمزيد من القراءة.

6.6 تصميم الزراعة

إن تخطيط مكان وضع أسرة النمو يساعد على تحقيق أقصى قدر من الإنتاج النباتي في المساحة المتوافرة. ويجب قبل الغرس الإختيار بحكمة للنباتات التي ستتم زراعتها، مع الأخذ في الاعتبار المساحة المطلوبة لكل نبتة، وموسم النمو المناسب لها. ومن الممارسات الجيدة لكل مخططات المزارع هي التخطيط لمكان وضع أسرة النمو في أول الأمر على الورق؛ من أجل الحصول على فهم أفضل عن كيف ستبدو عليه الأشياء. وهناك اعتبارات مهمة ينبغي أخذها في الحسبان، وهي: التنوع النباتي، والنباتات الرفيقة، والتوافق المادي، ومتطلبات المواد المغذية، ومتطلبات السوق، وسهولة الوصول، وعلى سبيل المثال ينبغي أن توضع المحاصيل ذات القامة الطويلة (مثلا الطماطم) في المكان الأكثر ملاءمة؛ للوصول إليها داخل سرير وسائط النمو لجعل الحصاد أسهل.

الشكل 12.6
مثال لسريرين من وسائط النمو تنمو فيهما أنواع متعددة من الخضراوات

تشجيع التنوع النباتي

بشكل عام، يوفر زرع المحاصيل والأصناف المختلفة درجة من الأمن للمزارع. وجميع النباتات هي عرضة لبعض أنواع الأمراض أو الطفيليات. وإذا ما تم زرع محصول واحد فقط، فإن فرصة الإصابة تكون كبيرة وخطيرة، وهذا يمكن أن يخل بتوازن النظام ككل. وعلى هذا النحو يتم تشجيع المزارعين على زراعة مجموعة متنوعة من الخضار في وحدات صغيرة الحجم (الشكل 12.6).

الزراعة المتداخلة

كما ذكر سابقا فمن المهم تطبيق الزراعة المتداخلة، وبهذه الطريقة يمكن أن يكون هناك حصاد وإعادة غرس النباتات؛ مما يساعد في الحفاظ على مستوى متوازن من العناصر الغذائية في الوحدة، وفي الوقت نفسه فإنه يوفر إمدادات ثابتة من النباتات إلى طاولة المائدة أو السوق. ويجب أن يأخذ في الاعتبار أن بعض النباتات تنتج ثمارا أو أوراقا يمكن أن تحصد باستمرار طوال الموسم، مثل أصناف أوراق السلطة، والريحان، والكزبرة، والطماطم (البندورة). في حين يتم حصاد بعض المحاصيل الأخرى كلها مرة واحدة، مثل: الكرنب، والخس، والجزر. ولتحقيق الزراعة المتداخلة ينبغي أن يكون هناك دائما إمدادات جاهزة من الشتلات (سيتم مناقشة كيفية تطوير مشتل في الفصل الثامن).

تعظيم المساحة في سرير وسائط النمو

لاينبغي فقط التخطيط لزيادة المساحة السطحية، ولكن ينبغي أيضا النظر في المساحة العمودية. والوقت، على سبيل المثال مسألة مهمة؛ ولذا يجب زراعة الخضراوات التي لها فترات قصيرة للنضج (سلطة الخضر) بين النباتات ذات المحاصيل التي تتطلب وقتا أطول (مثلاً الباذنجان)، والفائدة المرجوة من هذه الممارسة هي أن سلطة الخضر يمكن أن تحصد أولاً، وبالتالي فإن المكان سيتسع للباذنجان عندما ينضج. كما أن استمرار إعادة زراعة الخضراوات، مثل الخس بين النباتات

الشكل 13.6

أمثلة على تعظيم المساحة في سرير وسائط النمو باستخدام المحاصيل المتسلقة (أ)، والزراعة المتداخلة (ب)

المثمرة الكبيرة يوفر ظروفا مظللة بشكل طبيعي، وهنا يُنصح بأن يتم التأكد من أن المحاصيل المظللة لاتتم السيطرة عليها تماما من قبل المحاصيل الكبيرة الناضجة. وتعد الخضراوات مثل الخيار متسلقات طبيعية، ويمكن تدريبها للنمو صعودا أو هبوطا، وبعيدا عن أسرة النمو باستخدام أوتاد خشبية أو خيوط للمساعدة في دعم الخضار كي تتسلق، وهذا يعطي مساحة أكبر في سرير وسائط النمو (الشكل 13.6). وهناك فائدة واحدة من فوائد الزراعة الأحيومائية العديدة، وهي أن النباتات يمكن نقلها بسهولة من خلال تحرير الجذور بلطف من وسائط النمو ووضع النباتات في بقعة مختلفة.

7.6 ملخصُ الفصل

- المزايا الرئيسة للزراعة الأحيومائية المقامة على الزراعة في التربة هي: (أ) لا أسمدة ضائعة، (ب) استهلاك المياه منخفض، (ج) زيادة الإنتاجية مع جودتها، (د) القدرة على الاستفادة من الأراضي غير الصالحة للزراعة، (هـ) الاستغناء عن الحراثة والتعشيب والمهام الزراعية التقليدية الأخرى.
- أن النباتات تتطلب أشعة الشمس والهواء والماء والعناصر الغذائية للنمو، وتشمل المغذيات الأساسية الكبيرة: النتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت، وتشمل المغذيات الدقيقة الحديد، والزنك، والبورون، والنحاس، والمنغنيز، والموليبدينوم. ويحتاج النقص لهذه العناصر الغذائية إلى معالجة أوجه القصور من خلال تزويد الوحدة بالمغذيات الناقصة وبالأسمدة التكميلية أو زيادة التمعدن.
- أن أهم عنصر في جودة المياه هو درجة حموضة المياه (pH)؛ لأنه يؤثر على توافر المواد المغذية الأساسية.
- أن درجة الحرارة المناسبة لمعظم الخضراوات تتراوح بين (18–26°م)، على الرغم من أن العديد من الخضراوات موسمية، وتتطلب الخضراوات الشتوية درجة حرارة تتراوح بين (8–20°م)، والخضار الصيفية درجات حرارة (17–30°م).
- أن الأعشاب الورقية الخضراء والخضراوات تعمل بشكل جيد للغاية في الزراعة الأحيومائية. وينطبق هذا أيضا على الخضراوات الثمرية الكبيرة، بما في ذلك: الطماطم، والفلفل، والباذنجان، والخيار، والبازلاء، والفاصوليا، وتزرع المحاصيل الجذرية والدرنات بشكل أقل شيوعا، وتتطلب اهتماما خاصا.
- أن الإنتاج المتكامل يستخدم ممارسات فيزيائية وميكانيكية وثقافية لمكافحة الآفات والأمراض؛ وللحد من الآفات ومسببات الأمراض، ومن ثم يستخدم مواد كيميائية آمنة للأسماك والمعالجة الحيوية في التطبيقات المستهدفة عند الضرورة.
- أن التصميم الذكي للزراعة يعظم المساحة، ويشجع الحشرات المفيدة، ويحسن الإنتاج.
- إن الزراعة المتداخلة توفر الحصاد المستمر فضلاً عن امتصاص العناصر الغذائية المستمر، وتصبح جودة المياه أكثر اتساقا.

7. السمك في الزراعة الأحيومائية

يتضمن القسم الأول من هذا الفصل معلومات حول تشريح الأسماك وعلم وظائف الأعضاء فيها، بما في ذلك كيفية التنفس، وهضم الطعام، وفرز المخلفات. كما يتضمن معلومات عن نسبة التحويل الغذائي (FCR) وهي ذات أهمية بالنسبة للأحياء المائية، والذي يشير إلى مدى كفاءة الأسماك في تحويل الغذاء إلى كتلة الجسم، ويخصص كذلك اهتماما لدورة حياة الأسماك وتكاثرها، حيث إنه ذو صلة بالتناسل والحفاظ على المخزونات. ويناقش القسم الثاني رعاية الأسماك وصحتها في وحدات الزراعة الأحيومائية، وسيغطي جودة المياه، والأكسيجين، ودرجة الحرارة، والضوء، والتغذية. أما القسم الثالث من هذا الفصل سيفصل الحديث عن عدد من أنواع الأحياء المائية التجارية المناسبة للزراعة الأحيومائية، مع التركيز على البُلطي، والشبوط، وسمك السِّلور، وسمك السَّلمون المنقط، والقاروص، والجمبري النهري العملاق (الشكل 1.7). وفي ختام المطاف العلمي لهذا الفصل سيكون التركيز على صحة الأسماك، والأمراض التي تصيبها، وطرق الوقاية من تلك الأمراض.

الشكل 1.7

صغار أسماك البلطي (أ)، وأسماك كبيرة (ب) في وحدة الزراعة الأحيومائية

1.7 علم تشريح الأسماك، ووظائف الأعضاء والتكاثر

1.1.7 علم تشريح الأسماك

الأسماك هي مجموعة متنوعة من الحيوانات الفقارية، ولديها خياشيم، تعيش في الماء. وتستخدم الأسماك النموذجية الخياشيم للحصول على الأكسيجين من المياه، بينما في الوقت نفسه تطلق ثاني أكسيد الكربون والمخلفات الأيضية (الشكل 2.7). وتوصف الأسماك النموذجية بأنها: خارجية الحرارة (Ectotherms)، أو ذوات الدم البارد، وهذا يعني أن درجة حرارة جسمها تتقلب وفقا لدرجة حرارة الماء. وللأسماك – تقريبا – نفس الأجهزة التي لدى الحيوانات الأرضية وهي تمتلك المثانة المتمركزة في البطن، وهذه هي الحويصلة التي تحتوي على الهواء، والتي تحافظ على أن تبقى الحيوانات طافية بشكل محايد على الماء. ومعظم الأسماك تستخدم الزعانف للحركة، ولها هيئة مبسطة لتبحر عبر المياه، وفي كثير من الأحيان تغطي بشرتها حراشف واقية، كما أن معظم الأسماك تضع بيضها. وللأسماك أيضا أعضاء حسية تسمح لها بالرؤية والطعم والسمع والشم واللمس، وبالإضافة إلى ذلك فإن معظم الأسماك لها خطوط جانبية تستشعر من خلالها الاختلافات في ضغط الماء، كما يمكن لبعض الأنواع من الأسماك كشف الحقول الكهربائية، مثل تلك التي تنتج بواسطة دقات قلب الفرائس، ومع ذلك فإن جهازها العصبي المركزي غير متطور مقارنة بالطيور، أو الحيوانات الثديية.

الميزات الرئيسة التشريحية الخارجية

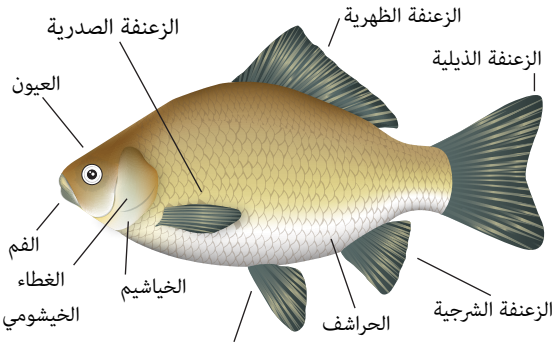
العيون – عيون السمك هي مشابهة جدا لتلك التي عند الحيوانات البرية، مثل: الطيور، والثدييات، باستثناء العدسات فهي أكثر كروية. وبعض الأسماك، مثل: سمك السَّلمون المنقط، والبُلطي، تعتمد على البصر؛ لإيجاد الفريسة، في حين تعتمد الأنواع الأخرى بشكل رئيس على حاسة الشم.

الحراشف – توفر الحراشف الحماية للأسماك من خلال العمل كدرع ضد الحيوانات المفترسة، والطفيليات، والأمراض، والكشط البدني.

الفم والفكين – تبتلع الأسماك الغذاء عن طريق الفم وتفتته في المريء، وفي كثير من الأحيان يكون الفم كبيرا نسبيا، فيسمح بابتلاع فريسة كبيرة، وبعض الأسماك لها أسنان، وزيادة على هذا، فالأسماك تتنفس عن طريق جلب المياه بواسطة الفم وطرده من خلال الغطاء الخيشومي.

الغطاء الخيشومي – وهذا هو الغطاء الخارجي للخياشيم، والذي يقدم الحماية لهذه الأجهزة الحساسة، وغالبا ما يكون صفيحة عظميّة، ويمكن مشاهدة انفتاح وانغلاق هذا الغطاءأثناء تنفس السمك.

الشكل 2.7
رسم توضيحي للملامح التشريحية الخارجية الرئيسة للسمكة



فتحة التنفيس – هي فتحة خارجية على الجزء السفلي من الجسم توجد قرب الذيل، تطرد المخلفات الصلبة والبول بعد مرورها عبر المسار الهضمي، عن طريق فتحة الشرج. وبالإضافة إلى ذلك يتم الإفراج عن الأمشاج التناسلية (الحيوانات المنوية والبويضات) من خلال فتحة التنفيس، كما أن هذه الفتحة تلعب نفس وظيفة المجرور (cloaca)، وهي الفتحة الخلفية التي تعتبر الوحيدة من نوعها لفتح المسارات المعويّة والتناسلية والمسالك البولية.

الزعانف – تقع الزعانف المزدوجة (الزعانف الصدرية، وزعانف الحوض) في الجزء السفلي من جسم السمكة، وتوفر القدرة على المناورة والتحكم في التوجيه. ويمكن مشاهدة الزعانف الفردية (الزعانف الظهرية والزعنفة الشرجية) على الجزء العلوي والسفلي من الجسم، وتوفر التوازن والاستقرار والتحكم في المناورة، وفي المقابل فإن زعنفة الذيل هي في الطرف المقابل من الرأس، وتوفر الدفع الرئيس والحركة للأسماك. وتحتوي الزعانف غالبا على عظام حادة، وأحيانا موصولة بحويصلات السم التي تستخدم للدفاع.

تنفس الأسماك

تتنفس الأسماك الأكسيجين باستخدام الخياشيم، وهي تقع في كل جانب من منطقة الرأس. وتتكون الخياشيم من هياكل تدعى الخيوط، ويحتوي كل خيط على شبكة من الوعاء الدموي، التي توفر مساحة كبيرة لتبادل الأكسيجين وثاني أكسيد الكربون. كما تعمل الأسماك على تبادل الغازات عن طريق سحب الماء الغني بالأكسيجين من خلال أفواهها وضخه على الخياشيم، والإفراج عن ثاني أكسيد الكربون في الوقت نفسه. وفي بيئتها يتم التزود بالأكسيجين إما عن طريق النباتات المائية التي تنتج الأكسيجين خلال التمثيل الضوئي، أو من حركات المياه كالأمواج والرياح التي تعمل على تذويب الأكسيجين من الغلاف الجوي في الماء. والمعلومة الأكيدة، هي أن معظم الأسماك تختنق وتموت بدون الأكسيجين الكافي، وهذا هو السبب الذي يكمن وراء الحاجة لوجود تهوية كافية وهو أمر حاسم جدا لتربية الأحياء المائية الناجحة، ولكن مع ذلك فقد تم تجهيز بعض الأسماك بجهاز تنفس الهواء على غرار الرئتين، وهو يسمح لها بالتنفس خارج الماء، وسمك السِّلور (Clariidae) هو واحد من هذه المجموعة من الأسماك التي تعتبر مهمة في تربية الأحياء المائية.

الإفراز

يتم تكوين مخلفات النتروجين عندما تقوم الأسماك بهضم واستقلاب غذائها. إن هذه المخلفات تأتي من تفتيت البروتينات وإعادة استخدام الأحماض الأمينية الناتجة عن ذلك، وهذه المخلفات النتروجينية سامة للجسم؛ مما يستلزم إفرازها، وتفرز الأسماك هذه المخلفات عبر ثلاث طرق: الأولى تنتشر الأمونيا في الماء من الخياشيم، وإذا كانت مستويات الأمونيا بنسبة عالية في المياه المحيطة فلا تنتشر الأمونيا بسهولة، الأمر الذي يمكن أن يؤدي إلى تراكم الأمونيا في الدم وتلف

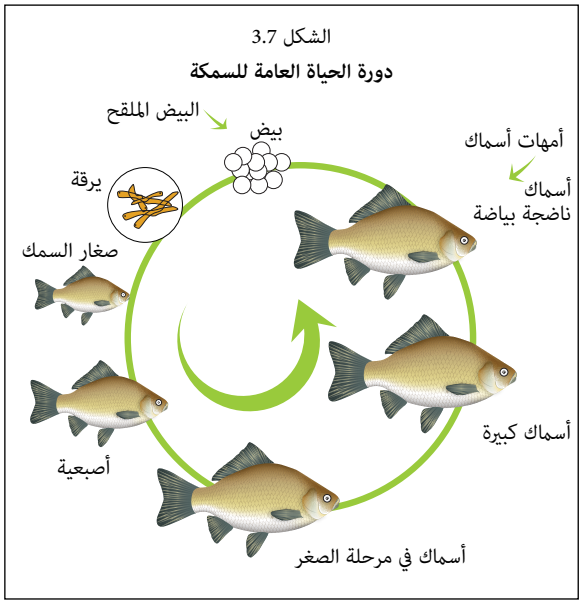
الأعضاء الداخلية. الثانية تنتج الأسماك كميات كبيرة من البول المخفف جدا الذي يُطرد من خلال فتحة الشرج الخاصة بها، والثالثة أن بعض النتروجين (البروتينات، والأحماض الأمينية، والأمونيا) يكون موجودا أيضا في المخلفات الصلبة التي يتم طردها من خلال فتحة الشرج. وتستخدم الأسماك الكلى؛ لتصفية الدم وتركيز المخلفات للتخلص منها. إن إفراز البول هو عملية التنظيم الأسموزي؛ مما يساعد الأسماك في الحفاظ على محتوى الملح فيها. أسماك المياه العذبة لا تحتاج أن تشرب، فهي في واقع الأمر بحاجة إلى طرد المياه بنشاط؛ للحفاظ على التوازن الفيزيولوجي.

2.1.7 تناسل الأسماك ودورة الحياة

تضع تقريبا جميع الأسماك بيضها الذي يتطور خارج جسم الأم. وفي الواقع أن نسبة 97 في المائة من الأسماك المعروفة تضع بيضا، ويتم إخصاب البيض بالحيوانات المنوية، والمعروف بالسائل المنوي في علم أحياء الأسماك، ويحدث أيضا خارجيا في معظم الحالات. وتفرج الذكور والإناث على حد سواء خلايا جنسها في الماء، في حين أن بعض الأنواع تصنع أعشاشا لها، وتوفر الرعاية الأبوية وحماية البيض، ولكن معظم الأنواع لاتحرس البيض الملقح والذي ببساطة يتفرق في عمود الماء. وسمك البُلطي هو مثال للأسماك التي لديها رعاية أبوية على نطاق واسع، حيث يقضي هذا النوع من الأسماك الوقت للحفاظ على الأعشاش وحضن اليرقات في فم الإناث. وتشمل الأعضاء التناسلية في الأسماك الخصيتين اللتين تصنعان الحيوانات المنوية، والمبايض، التي تصنع البيض. وبعض الأسماك خنثى، حيث تحتوي على كل من الخصيتين والمبايض، إما في وقت واحد، أو في مراحل مختلفة من دورة حياتها.

ولأغراض هذا الدليل، وفي المتوسط فإن الأسماك تمر عبر مراحل الحياة من البيض، فاليرقات، فالزريعة، فالإصبعيات، فالتسمين (الأسماك الكبار) ثم النضج الجنسي (الشكل 3.7). إن مدة كل مرحلة من هذه المراحل تعتمد على النوع. وفي كثير من الأحيان فمرحلة البيض تكون قصيرة إلى حد ما، وعادة ما تعتمد على درجة حرارة الماء، وخلال هذه المرحلة يكون البيض دقيقا وحساسا من حيث الأضرار المادية. وفي ظروف التربية يحتاج الماء لنسبة كافية من الأكسيجين المذاب، ولكن يجب أن تكون التهوية لطيفة، كما أن الإجراءات العلمية المعقمة، وممارسات التفريخ الجيدة تمنع الأمراض البكتيرية والفطرية عن البيض غير الفاقس، وعندما يفقس البيضُ تسمى الأسماك الصغيرة اليرقات. وعادة يكون تشكل هذه الأسماك الصغيرة غير مكتمل، وتحمل كيسا محيّا كبيرا، وغالبا ما تكون مختلفة جدا في المظهر عن الأسماك المكتملة النمو والبالغة، ويُستخدم هذا الكيسُ المحي للتغذية، ويتم امتصاصه خلال مرحلة اليرقات، والتي تكون قصيرة إلى حد ما تبعاً لدرجة حرارة الماء، وفي نهاية مرحلة اليرقات عندما يتم امتصاص كيس المح تبدأ الأسماك الصغيرة في السباحة بطريقة أكثر نشاطا، والانتقال إلى مرحلة صغار الأسماك.

وفي مرحلة الصغر والإصبعيات تبدأ الأسماك في أكل الطعام الصلب، وهذا الطعام هو عوالق موجودة في عمود الماء والطحالب ومواد الرواسب، وخلال هذه المراحل يأكل السمك بشراهة، وتتناول حوالي 10 في المائة من وزن جسمها في اليوم الواحد، أي بمعنى: كلما كان وزن السمكة أصغر كانت الوجبة اليومية عالية، ومع استمرار الأسماك في النمو فإن نسبة وزن الغذاء اليومي المرتبطة بوزن الجسم تتناقص. إن الخطوط الفاصلة الدقيقة بين مرحلة الأسماك الصغيرة (fry) والأصبعيات (fingerlings) والأسماك الكبيرة (adult) تختلف بين الأنواع وبين المزارعين. وعموما فإن صغار الأسماك والإصبعيات تحتاج إلى أن تبقى منفصلة عن بعضها؛ لمنع الأسماك الأكبر من افتراس الأسماك الأصغر. إن مرحلة التسمين هي المرحلة التي عادة ما تركز عليها الزراعة الأحيوميائية؛ لأن هذه هي المرحلة التي تأكل فيها الأسماك وتنمو، ويزيد فيها إفراز المخلفات التي تحتاجها النباتات للنمو. ويتم حصاد معظم الأسماك خلال مرحلة التسمين، وإذا سُمح للأسماك بأن تنمو خارج هذه المرحلة، فإنها تبدأ في الوصول إلى مرحلة النضج الجنسي، حيث يتباطأ النمو الجسدي؛ لأن الأسماك تكرس المزيد من الطاقة في تطوير الأجهزة التناسلية. ويتم التغاضي عن بعض الأسماك الناضجة إلى أن تبقى؛ لإنهاء الدورة كاملة خلال عمليات التكاثر، وغالبا ما يشار إلى هذه الأسماك باسم الأمهات. إن أسماك البُلطي هي سهلة التكاثر للغاية، ويمكن لها أن تتكاثر



الشكل 3.7
دورة الحياة العامة للسمكة

بصورة أكبر في النظام ذي النطاق الصغير، مع الأخذ في الاعتبار أن سمك السِّلور، والشبوط، وسمك السَّلمون المنقط (قوس قزح) يتطلب إدارة أكثر حذرا، وأنه قد يكون من الأفضل أن تجلب الأسماك من مورد جيد السمعة. إن مناقشة تقنيات تربية الأحياء المائية بالتفصيل هو موضوع خارج عن نطاق هذا الدليل، ويمكن الرجوع إلى القسم الخاص لمزيد من القراءة؛ للحصول على مصادر معلومات مفيدة في هذا الشأن.

2.7 تغذية الأسماك والعناصر الغذائية

1.2.7 المكونات والعناصر الغذائية لأعلاف الأسماك

تتطلبُ الأسماك التوازن الصحيح من البروتينات والكربوهيدرات والدهون والفيتامينات والمعادن؛ لتنمو وتكون صحيّة، ويعتبر هذا النوع من العلف تغذية كاملة. وينصح بشدة باستخدام أعلاف الأسماك المتاحة تجاريا في الزراعة الأحيومائية التي هي على نطاق صغير لاسيّما في البداية، ومن الممكن تصنيع أعلاف الأسماك في الأماكن التي تعاني من قلة توافر الأعلاف المصنعة، ولكن هذه الأعلاف المصنعة محلياً بواسطة المزراع قد تحتاج إلى عناية خاصة؛ لأنها غالبا ما تفتقر إلى المكونات الغذائية الأساسية، ويمكن قراءة مزيد من المعلومات حول الأعلاف المصنعة محلياً في القسم (11.9)، وكذلك في الملحق (5).

يعتبر البروتين العنصر الأكثر أهمية لبناء كتلة الأسماك. وفي مرحلة تسمين الأسماك النباتية اللاحمة (omnivorous) مثل البُلطي والشبوط الشائع يحتاج إلى نسبة من البروتين تقدر ب 25–35 في المائة في نظامها الغذائي، في حين أن الأسماك آكلة اللحوم (carnivorous)، فهي تحتاج إلى حوالي 45 في المائة من البروتين؛ من أجل أن تنمو في المستويات المثلى. وبشكل عام فإن الأسماك الأصغر سنا (الأسماك الصغيرة والإصبعيات) تتطلب اتباع نظام غذائي غني بالبروتين في مرحلة التسمين. تُعد البروتينات هي أساس الهيكل والأنزيمات في جميع الكائنات الحية، وتتكون البروتينات من الأحماض الأمينية، وبعضها يُمثل غذائياً أو يُشكل بواسطة أجسام الأسماك، ولكن البعض الآخر يجب الحصول عليه من الغذاء، وتسمى هذه بالأحماض الأمينية الأساسية. ومن الأحماض الأمينية الأساسية العشرة الميثيونين (methionine) واللايسين (lysine)، وغالبا ما يكونان من العوامل المحدودة، ويحتاج الأمر إلى أن تُستكمل في بعض الأعلاف ذات الأصل النباتي.

الدهون هي جزيئات عالية الطاقة ضرورية للنظام الغذائي للأسماك. وزيت الأسماك هو عنصر شائع لأعلاف الأسماك، كما يحتوي على نسبة مرتفعة من نوعين من الأحماض الدهنية (أوميغا–3 وأوميغا–6)، والتي لها فوائد صحية للإنسان، ويعتمد مقدار هذه الدهون الصحية في الأسماك المستزرعة على الأعلاف المستخدمة.

وتتكون الكربوهيدرات من النشويات والسكريات. وهذا المكون من العلف هو عنصر غير مكلف، وفي الوقت نفسه يزيد من قيمة الطاقة من الغذاء. أما النشا والسكريات فإنها تُساعد على ربط مكونات الغذاء ببعضها البعض؛ لصناعة حبوب الغذاء. ومع ذلك فإن الأسماك لاتهضم ولاتستعمل الكربوهيدرات بشكل جيد؛ ولذلك يمكن أن يضيع جزء كبير من هذه الطاقة.

إن الفيتامينات والمعادن ضرورية لصحة الأسماك ولنموها. والفيتامينات هي عبارة عن جزيئات عضوية، تنشأ بواسطة النباتات أو من خلال التصنيع، والتي تعتبر مهمة للتطور وعمل نظام المناعة، أما المعادن فهي عناصر غير عضوية، وضرورية للأسماك؛ من أجل أن تنشأ المكونات الخاصة بجسمها (العظام)، والفيتامينات والهياكل ذات الخلايا، وتشارك بعض المعادن أيضا في التنظيم الأسموزي.

2.2.7 حبوب أعلاف الأسماك

هناك عددٌ من الأحجام المختلفة من أعلاف الأسماك، والتي تتراوح بين (2–10 ملم) كما هو واضح في الشكل (4.7). في حين أن الحجم المُوصى به من هذه الحبوب يعتمد على حجم السمك، فعندما تكون الأسماك والإصبعيات صغيرة فلا يمكن لأفواهها استيعاب الحبوب الكبيرة، في حين أن الأسماك الكبيرة تبدد الطاقة إذا تمت تغذيتها بحبوب صغيرة جدا، وينبغي شراء الأعلاف لكل مرحلة من مراحل دورة حياة الأسماك، وهناك خيار بديل حيث يمكن طحن الحبوب الكبيرة بواسطة أداة؛ لتوفير مسحوق للأسماك الصغيرة والإصبعيات. وهناك طريقة أخرى وهي استخدام حبوب متوسطة الحجم (2–4 ملم)، وبهذه الطريقة تصبح الأسماك قادرة على أكل الحجم نفسه من مرحلة الإصبعيات حتى مرحلة النضج.

حبوبُ أعلاف الأسماك هي مصممة أيضا إما لأن تطفو على السطح أو تنزل إلى قاع الخزانات، وذلك اعتمادا على عادات تغذية الأسماك. ومن المهم التعرُّف على سلوك تناول الأسماك للغذاء؛ لتزويدها بالنوع الصحيح من الحبوب، مضافا إلى ذلك أن الحبوب الطافية مفيدة؛ لأنه من السهل تحديد مقدار تناول السمك للطعام.

ومن الممكن في كثير من الأحيان تدريب الأسماك لتأكل وفقا لنوع حبوب الغذاء المتاح، ومع ذلك فإن بعض الأسماك لن تغير ثقافة التغذية الخاصة بها.

يجبُ أن يتم تخزين الأعلاف في ظروف مظلمة وجافة وباردة وآمنة من كل خطر يمكن أن يُحدق بها. إن أعلاف الأسماك الدافئة والرطبة يمكن أن تتعفن، ويجري تحللها بواسطة البكتيريا والفطريات، كما يمكن لهذه الكائنات الدقيقة الإفراج عن السموم التي تشكل خطرا على الأسماك. ولا ينبغي أبدا تغذية الأسماك بغذاء متعفن؛ ولهذا يُنصح بعدم تخزين أعلاف الأسماك لفترة طويلة جدا، وينبغي شراؤها جديدة واستخدامها على الفور؛ من أجل الحفاظ على الصفات الغذائية، كلما كان ذلك ممكنا.

الشكل 4.7
مثال على غذاء الأسماك على شكل حبيبات ومسحوق يستخدم لفئات حجم مختلفة من الأسماك

تجنب فرط التغذية

لا ينبغي أبدا أن تترك فضلات الطعام غير المأكول في نظام الزراعة الأحيومائية. ويستهلك الغذاء غير المأكول بواسطة البكتيريا المتغايرة، التي تستعمل كميات كبيرة من الأكسيجين. وبالإضافة إلى ذلك فإن الغذاء المتحلل يمكن أن يزيد من كمية الأمونيا والنيتريت إلى مستويات سامة في فترة قصيرة نسبيا، وأخيرا فإن الحبوب غير المأكولة قد تعيق عمل المرشحات الميكانيكية؛ مما قد يؤدي إلى انخفاض تدفق المياه ومناطق نقص الأكسيجين. وبشكل عام تأكل الأسماك كل ما تحتاجه في فترة 30 دقيقة، وبعد ذلك ينبغي إزالة أي طعام متبقٍ. وفي حالة عدم استعمال الطعام من طرف الأسماك، يجب خفض كمية العلف المعين في المرات القادمة. وستناقش استراتيجيات تغذية إضافية في القسم (4.8).

3.2.7 نسبة تحويل الأعلاف للأسماك ومعدل التغذية

تصفُ نسبة تحويل الأعلاف (FCR) مدى كفاءة تحويل الحيوان الغذاءَ للنمو؛ ولذا فهو يجيب عن السؤال حول كمية الوحدات من العلف اللازمة لنمو وحدة واحدة من الحيوانات، علما بأن نسبة تحويل الأعلاف لكل حيوان هي متوافرة، وتوفر وسيلة مريحة لقياس كفاءة وتكاليف تسمين هذا الحيوان. والأسماك بصفة عامة لديها إمكانية وقابلية أفضل في نسبة تحويل الأعلاف من جميع الدواب الأخرى. وفي الظروف الجيدة نسبة تحويل الأعلاف لدى البُلطي تتراوح من 1,4 إلى 1,8، وهذا يعني أن لتربية (1,0 كغم) من البُلطي، يحتاج من 1,4 إلى 1,8 كغم من المواد الغذائية. وقد يكون تـتـبُّع نسبة تحويل الأعلاف ليس ضروريا في الزراعة الأحيومائية التي تقام على نطاق صغير، ولكن يمكن أن يكون من المفيد القيام به في بعض الظروف كتغيير الأعلاف، حين يجدر النظر جيدا في كيفية نمو الأسماك تبعا للأعلاف المستعملة وأية فروق في التكاليف بينها.

الإطار 3

خطوات بسيطة لوزن الأسماك

1) إملأ دلوا صغيرا (10 لتر) بالماء من نظام الزراعة الأحيومائية.
2) زنْ دلو المياه باستخدام ميزان، وسجل الوزن (الفارغ).
3) أغرف خمس سمكات متوسطة الحجم بواسطة شبك غرف، واستنزف الفائض من المياه من الشبك لبضع ثوان، وضع الأسماك في الدلو.
4) زنْ مرة أخرى وسجل الوزن الإجمالي.
5) أحسب الوزن الكلي للأسماك من خلال طرح الوزن الفارغ للدلو من الوزن الإجمالي.
6) أقسم هذا الرقم على (5)؛ لمعرفة متوسط الوزن لكل الأسماك.
7) كرر الخطوات من 1–6 حسب الاقتضاء. وحاول قياس 10–20 في المائة من الأسماك (ويفضل تجنب تكرار الأسماك) من أجل الحصول على متوسط دقيق.

الشكل 5.7
وزن عينة سمكة باستخدام ميزان

وعلاوة على ذلك، وعند النظر في بدء نظام تجاري صغير، فمن الضروري حساب نسبة تحويل الأعلاف كجزء من خطة العمل أو التحليل المالي، حتى لو لم تكن تشعر بالقلق إزاء نسبة تحويل الأعلاف، فهي ممارسة جيدة للقيام بوزن عينة من الأسماك بشكل دوري للتأكد من أنها تنمو جيدا، وفهم توازن النظام (الشكل 5.7)، وهذا يوفر دقة أكثر لتوقعات معدل النمو وتوقيت الحصاد والإنتاج. وكما هو الحال مع جميع مناولة الأسماك فإن القيام بوزن الأسماك في الظلام أسهل؛ لتجنب شدة الإجهاد على الأسماك. ويقدم الإطار رقم (3) قوائم لخطوات بسيطة لوزن الأسماك، كما أن وزن الأسماك من نفس الفئة العمرية، والتي تنمو في نفس الخزان هي بشكل عام أفضل من وزن فئات غير متجانسة من الأسماك؛ لأن القياس ينبغي أن يوفر متوسطات أكثر موثوقية.

وبهذه الطريقة ستوفر قياسات الوزن الدوري للأسماك متوسط معدل نمو الأسماك، والتي سيتم الحصول عليها من خلال طرح متوسط وزن الأسماك، كما حسب أعلاه على فترتين. يتم الحصول على نسبة تحويل الأعلاف (FCR) بقسمة إجمالي العلف المستهلك من قبل الأسماك من إجمالي النمو خلال فترة معينة، مع كل القيم المعبر عنها في وحدة الوزن نفسه (أي كيلو غرام، غرام).

مجموع التغذية / إجمالي النمو = نسبة تحويل الأعلاف (FCR)

ويمكن الحصول على التغذية الإجمالية عن طريق جمع كل الكمية المسجلة للأعلاف التي تُستهلك كل يوم، ويمكن حساب إجمالي النمو ببساطة عن طريق ضرب معدل متوسط النمو بعدد الأسماك المخزنة في الخزان. وفي مرحلة التسمين فإن معدل التغذية للأسماك المستزرعة (كما نوقش في هذا الدليل) هو 1–2 في المائة من وزن الجسم يوميا، وفي المتوسط فإن سمكة بوزن (100 غرام) تأكل (1–2 غراما) من حبوب الأعلاف السمكية يوميا، وهنا يُنصح بمراقبة معدل التغذية في الوقت نفسه الذي تقوم فيه بحساب نسبة تحويل الأعلاف؛ لتحديد معدلات النمو والشهية لدى الأسماك، وللمساعدة في الحفاظ على التوازن العام للنظام.

3.7 جودة المياه للأسماك

نوقشت نوعية المياه للزراعة الأحيومائية في الفصل 2، وقد تم ذكر أهم معايير جودة المياه مرة أخرى باختصار هنا، وتلخيصها في الجدول (1.7).

1.3.7 النتروجين

يعتبر الأمونيا والنتريت شديدي السمية للأسماك، والتي يشار إليها أحيانا بـ "القتلة غير المرئية"، ويعتبر كلاهما (الأمونيا والنيتريت) مركبات سامة عندما تصل مستوياتهما فوق (1 ملغم/لتر). وعلى الرغم من أن أي مستوى من هذه المركبات يساهم في زيادة اجهاد الأسماك والآثار الصحية الضارة. ومن هنا ينبغي أن تكون المستويات التي يمكن اكتشافها قريبة من الصفر في كل أنظمة الزراعة الأحيومائية، والمرشح الحيوي هو مسؤول كليا عن تحويل هذه المواد الكيميائية السامة إلى شكل أقل سمية، وأية مستويات يمكن اكتشافها تشير إلى أن النظام غير متوازن مع وجود مرشح حيوي صغير، أو أن المرشح الحيوي لا يعمل بشكل صحيح. كما تعد الأمونيا أكثر سُمية في الحالات الأساسية الدافئة، وإذا كانت درجة الحموضة عالية، فأية مستويات ملحوظة من الأمونيا هي خطيرة بشكل خاص. وتسمى اختبارات المياه للأمونيا بالأمونيا والنتروجين الكلي (TAN)، واختبار كلا النوعين من الأمونيا (المتأينة وغير المتأينة). وغالبا ما تشاهد أعراض التسمم بالأمونيا والنيتريت كضوء أحمر مسلط على جسم الأسماك والخياشيم والعيون، وتقوم الأسماك

الجدول 1.7

عناصر جودة المياه، ومتطلبات الأعلاف، ومعدلات النمو المتوقع لسبعة أنواع من الأحياء المائية التجارية، التي يشيع استخدامها في الزراعة الأحيومائية

النوع	درجة الحرارة (°م)		مجموع الأمونيا/ النتروجين (ملغم/لتر)	النتريت (ملغم/لتر)	الأكسيجين المذاب (ملغم/لتر)	البروتين الخام في الغذاء (%)	معدل النمو (مرحلة التسمين)
	مهم	مثالي					
الشبوط العادي *Cyprinus carpio*	34–4	30–25	1 >	1 >	4 <	38–30	600 غرام في 11–9 شهرا
البلطي النيلي *Oreochromis niloticus*	36–14	30–27	2 >	1 >	4 <	32–28	600 غرام في 8–6 أشهر
القط متشعب الذيل *Ictalurus punctatus*	34–5	30–24	1 >	1 >	3 <	36–25	400 غرام في 10–9 أشهر
سمك السلمون المرقط قوس قزح *Oncorhynchus mykiss*	18–10	16–14	0,5 >	0,3 >	6 <	42	1000 غرام في 16–14 شهرا
بُورِيّ الرأس المفلطح *Mugil cephalus*	32–8	27–20	1 >	1 >	4 <	34–30	750 غرام في 11–9 شهرا
الربيان النهري العملاق *Macrobrachium rosenbergii*	34–17	32–26	0,5 >	2 >	3 <	35	30 غرام في 5–4 أشهر
القاروص الآسيوي *Lates calcarifer*	34–18	29–26	1 >	1 >	4 <	45–38	400 غرام في 10–9 أشهر

بتجريف أجسامها على جوانب الخزان، وتلهث على السطح للهواء فالخمول ثم الموت. والنترات من ناحية أخرى هي أقل سُمية بكثير لمعظم الأسماك، علما بأن معظم الأنواع قادرة على تحمل مستويات أكثر من (400 ملغم/لتر).

2.3.7 الأس الهيدروجيني (pH)

يتحمل السمك مجموعة واسعة نسبيا من درجة الحموضة، وتعمل بشكل جيد عند مستويات (8,5–6,5). والتغييرات الجوهرية الكبيرة في درجة الحموضة في فترات قصيرة (التغييرات من 0,3 خلال فترة 12–24 ساعة)، يمكن أن تكون مشكلة أو حتى قاتلة للأسماك؛ ولذلك فمن المهم الحفاظ على درجة الحموضة مستقرة ما أمكن، ويوصى هنا بالمقاومة المؤقتة باستخدام الكربونات لمنع تقلبات درجة الحموضة بصورة كبيرة.

3.3.7 الأكسيجين المذاب

عموما ينبغي أن يُضاف الأكسيجين أكثر ما أمكن إلى نظام الزراعة الأحيومائية. وعمليا فإن معظم الأسماك تتطلب (4–5 ملغم/لتر)، ومعظم المزارعين المحليين ليس لديهم القدرة على التحقق من مستوى الأكسيجين في وحداتهم؛ لأن أجهزة الأكسيجين الرقمي باهظة الثمن، ومجموعات أدوات الإختبار الرخيصة غير متوافرة على نطاق واسع. ولكن ذلك لا يعفي من مراقبة المستوى الآمن من الأكسيجين والحفاظ عليه. ويجب عدم تخزين أو رفع كثافة الأسماك فوق اللازم، وتجنب إضافة أكثر من (20 كغم) من الأسماك لكل 1000 لتر من الماء الكلي.

إن تدفق المياه الديناميكي وتساقط المياه في النظام يساعد على تهوية الماء وإضافة الأكسيجين المذاب، ومتى ما أمكن استخدام مضخات الهواء فينبغي استخدامها، والمعدل المقترح هو (5–8 لتر) من الهواء في الدقيقة الواحدة لكل متر مكعب من المياه، يتم توفيرها – على الأقل – بواسطة حجارتي هواء موضوعة في أماكن مختلفة في حوض الأسماك. ولكن الأسماك المكتظة والموضوعة بكثافات عالية في الخزان قد تتطلب أكثر من ذلك بكثير، و في هذه الحالة يجب التأكد من أن المياه لايتم تقليبها بقوة جدا أو بطريقة تعطل سباحة الأسماك.

وضعف مستوى الأكسيجين يمكن رؤيته بوضوح عند مشاهدة الأسماك تلهث على السطح، أو تسبح على مقربة من سطح الماء وتأخذ الهواء عبر أفواهها، وعندها يجب التدخل الفوري والقيام باللازم نحو ضبط مستوى الأكسيجين. ويعد توفير نظام تهوية احتياطي أمرا مهما لنظام الزراعة الأحيومائية، ويمكن استخدامه أثناء انقطاع التيار الكهربائي وتعطل المعدات؛ وقد حفظت البطاريات الاحتياطية البسيطة لمضخات الهواء أسماك لا تعد ولا تحصى في جميع أنحاء العالم.

4.3.7 درجة الحرارة

الأسماك هي من ذوات الدم البارد؛ وبالتالي فإن قدرتها على التكيف مع مجالات واسعة من درجات حرارة المياه منخفضة. كما أن درجة الحرارة الثابتة داخل النطاق تحمل الأسماك على التأقلم في ظروف مثلى، وتساعد على النمو بسرعة وكفاءة في نسبة تحويل الأعلاف (FCR). بالإضافة إلى ذلك فإن درجات الحرارة المثلى (وبالتالي الإجهاد الأقل) يقلل من خطر الأمراض. إن العزل الحراري وسخانات المياه والمبردات تساعد على تحقيق مستوى درجة حرارة ثابتة، على الرغم من أن هذه الحلول قد تكون مكلفة في المناطق التي تكون الطاقة فيها مكلفة، وغالبا ما يكون من الأفضل تربية الأسماك المتكيفة مع الظروف البيئية المحلية، علما بأن كل الأسماك لديها نطاق أمثل لدرجة الحرارة الذي ينبغي بحثه من قبل المزارع. وعموما فالأسماك الإستوائية تزدهر في حرارة تتراوح من 22 إلى 32 بينما أسماك المياه الباردة فهي تفضل من 10 إلى 18°م، وفي الوقت نفسه فإن بعض أسماك المياه المعتدلة لها نطاقات واسعة. فعلى سبيل المثال، الشبوط الشائع والقاروص الأسود يمكن أن يتأقلم مع درجات حرارة متباعدة (5–30°م).

5.3.7 النور والظلام

ينبغي خفض مستوى الضوء في حوض الأسماك؛ لمنع نمو الطحالب، ولكن مع ذلك لاينبغي أن يكون مظلما تماما، وذلك لتجنب خوف وتوتر الأسماك الذي قد يحدث عندما يتعرض الخزان إلى الظلمة التامة وبعدها للضوء المفاجئ في حالة إذا كان الخزان غير مغطى. إن الحالة المثالية هي مع الضوء الطبيعي غير المباشر من خلال التظليل، والتي من شأنها منع نمو الطحالب، وتجنب الإجهاد للسمك. ويُوصى أيضا التعامل والحصاد أو فرز الأسماك في الظلام للحد من توتر الأسماك إلى الحد الأدنى.

4.7 اختيار الأسماك

قد سجلت عدة أنواع من الأسماك معدلات نمو ممتازة في وحدات الزراعة الأحيومائية، والأنواع الصالحة للزراعة الأحيومائية هي كما يلي: البُلطي (tilapia)، والشبوط الشائع (common carp)، والشبوط الفضي (silver carp)، وشبوط الحشائش (grass carp)، والقاروص الآسيوي، والبارامونديي (barramundi)، والفرخ (jade perch)، وسمك السِّلور (catfish)، وسمك السلمون المنقط قوس قزح (trout)، والسلمون، وسمك القد موراي (Murray cod)، والقاروص الأسود (largemouth bass). وبعضٌ من هذه الأنواع والتي تتوافر في جميع أنحاء العالم تنمو بشكل جيد في وحدات الزراعة الأحيومائية وستتم مناقشتها بمزيد من التفصيل في الأقسام التالية. وعند التخطيط لإنشاء الزراعة الأحيومائية، فمن الأهمية بمكان أن نقدر أهمية توافر الأسماك الصحية من الموردين المحليين ذوي السمعة الجيدة. وقد أدخلت بعض الأسماك المستزرعة إلى مناطق خارج بيئتها الطبيعية، مثل: البُلطي وعدد من الأنواع كالشبوط، وسمك السِّلور. والعديد من عمليات جلب الأسماك الغازية (الدخيلة) هذه قد تمت من خلال تربية الأحياء المائية. ومن المهم أيضا أن تكون على علم باللوائح المحلية التي تنظم استيراد أي نوع من الأنواع الجديدة. والأنواع الغريبة (أي غير أصلية) لاينبغي أبدا أن تطلق في المياه المحلية، ولذا فمن الأهمية الاتصال بالمرشدين المحليين؛ لمزيد من المعلومات حول الأنواع الغازية والأنواع المحلية المناسبة للتربية.

1.4.7 البُلطي (Tilapia)

وله عدة أنواع، ومن أبرز أنواعه التجارية، ما يلي:

البُلطي الأزرق (*Oreochromis aureus*)

البُلطي النيلي (*Oreochromis niloticus*)

البُلطي الموزمبيقي (*Oreochromis mossambicus*)

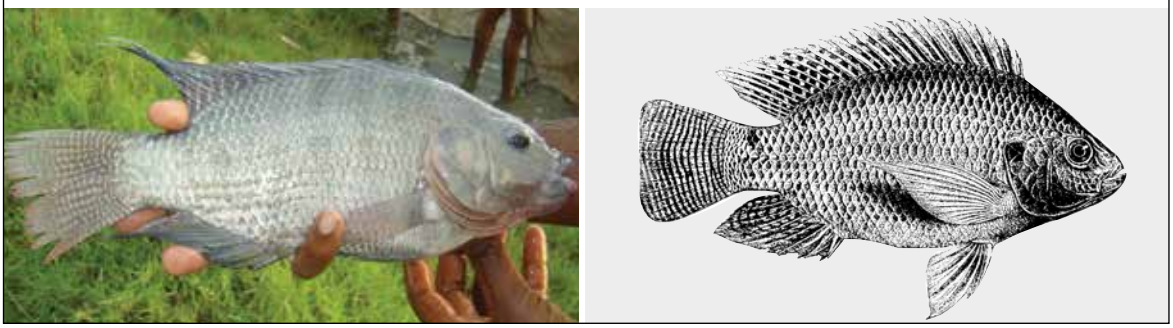
وتتوافر الأنواع الهجينة من بين هذه الأصناف الثلاثة.

وصف

تعود أصول البُلطي إلى شرق إفريقيا، والبُلطي هو واحد من أنواع أسماك المياه العذبة الأكثر شعبية في التربية في أنظمة تربية الأحياء المائية في جميع أنحاء العالم (الشكل 6.7). وهي أسماك مقاومة للعديد من مسببات الأمراض

الشكل 6.7

رسم تخطيطي وصورة لسمكة البلطي النيلي *(Oreochromis niloticus)*



والطفيليات ومعالجة الإجهاد، ومما يُميزها أيضا إمكانية التسامح مع نطاقات واسعة من حالات جودة المياه، وتعمل بشكل جيد عند درجات الحرارة الدافئة، كما أن البُلطي يتسامح لفترة قصيرة مع درجات الحرارة القصوى للمياه (14–36°م)، وأنها لا تتغذى أو تنمو تحت (17°م)، وتموت عند أقل من (12°م)، علما بأن النطاق المثالي لها هو (27–30°م)، والذي يضمن معدلات نمو جيدة؛ لذلك ففي المناخات المعتدلة قد لا تكون سمكة البُلطي مناسبة لمواسم الشتاء ما لم يتم تدفئة المياه، وهناك أسلوب بديل للتغلب على إشكالية المناخات الباردة، وهو أن يتم تربية أنواع متعددة على مدار العام، فيمكن تربية البُلطي خلال المواسم الدافئة أو الحارة، والتحول إلى الشبوط أو سمك السلمون المنقط خلال فصل الشتاء. وفي الظروف المثالية فيمكن للبُلطي أن ينمو من حجم الإصبعيات (50 غراما) حتى النضج (500 غرام) في حوالي ستة أشهر.

أسماك البُلطي هي أحياء مائية متعددة التغذية (omnivores)، وهذا يعني أنها تأكل كلاً من الأعلاف المصنوعة من البروتين النباتي ومن البروتين الحيواني. كما أن البُلطي مرشح لأن يأكل العديد من الأعلاف البديلة التي نوقشت في القسم (2.1.9). وتتغذى أسماك البُلطي على: الطحلب البطي (duckweed)، والأزولا (*Azolla* spp.)، والمورينغا أوليفيرا (*Moringa olifera*)، وغيرها من النباتات التي تحتوي على نسبة عالية من البروتين. ولكن يجب توخي الحذر؛ لضمان تغذية كاملة (من الناحية التغذوية باحتوائها على جميع العناصر الغذائية). وسمك البُلطي يمكنه أكل الأسماك الأخرى، لاسيما الصغار منها، وعند التناسل يجب فصل البُلطي حسب الحجم، فالبُلطي الذي هو أقل من (15 سم) يأكل الأسماك الصغيرة، على الرغم من أنه عندما يكون حجمه أكبر من (15 سم) عادة يكون بطيئا جدا.

والبُلطي من السهل أن يتكاثر في أنظمة الزراعة الأحيومائية سواء المقامة على نطاق صغير أو نطاق متوسط. يمكن اتباع أسلوب واحد وهو استخدام نظام الزراعة الأحيومائية على نطاق كبير لمرحلة التسمين، كما يمكن بعد ذلك تخصيص خزاني أسماك منفصلين؛ لاستخدامهما لإيواء الأمهات والأسماك الصغيرة، ويمكن استخدام أنظمة زراعة أحيومائية صغيرة منفصلة؛ لإدارة جودة المياه في هذين الخزانين، ولكن قد لا يكون ضروريا عند كثافات الأسماك المنخفضة. وتعتبر أمهات الأسماك في هذه الحالة من الأسماك البالغة المختارة يدوياً، ولا يتم حصادها أو اصطيادها، ويتم اختيار العينات على أنها صحية للتكاثر. ويتكاثر البُلطي بسهولة خاصة عندما تكون المياه دافئة، ومليئة بالطحالب، ومظللة، وفي بيئة هادئة، وتحتوي على معدل جيد من الأكسيجين المذاب. وليكن معلوما أن الركيزة الصخرية في الأسفل تشجع على بناء الأعشاش لوضع البيض لغرض التلقيح، كما أن النسبة المثلى من الذكور إلى الإناث تشجع أيضا التكاثر. وفي كثير من الأحيان، يتم إقران (2) من الذكور مع (6–10) من الإناث؛ لتشجيع البدء بوضع البيض. ويشاهد بيضُ وصغار البُلطي إما في أفواه الإناث (الأمهات)، أو تسبح على السطح. ويمكن نقل هذه الزريعة (صغار البُلطي) في أحواض تربية الأسماك الصغيرة، وضمان عدم وجود إصبعيات أكبر منها من شأنها أن تأكلها. ويتم رعاية هذه الأسماك الصغيرة حتى تكون كبيرة بما يكفي؛ لدخول خزانات التربية الرئيسة.

ومما ينبغي معرفته في هذا الجانب أن البُلطي يمكن أن يكون عدوانيا، وخاصة في الكثافات المنخفضة؛ لأن الذكور تفرض سلطتها على منطقة السيادة؛ لذلك يجب أن تبقى الأسماك بكثافات التربية العالية في خزانات التسمين. وبعضُ المزارع تستخدم فقط الأسماك الذكور في خزانات التسمين، في حين أن جميع المزارع التي تربي الذكور من نفس الفئة العمرية تنمو بشكل أكبر وأسرع؛ لأن الذكور لا تحول الطاقة في المبايض النامية، ولا تتوقف عند تغذية حضن البيض كما تفعل الإناث. وزيادة على ذلك فإنه لا يتم خفض معدل النمو في

كل من خزانات الذكور؛ بسبب التنافس على الغذاء من صغار الأسماك والإصبعيات التي يتم إنتاجها باستمرار إذا تركت الذكور والإناث الناضجة من أسماك البُلطي مع بعضها. وحيد الجنس من الذكور (monosex) يمكن الحصول عليه عن طريق العلاج الهرموني أو الفرز اليدوي للإصبعيات. وفي الحالة الأولى يتم تغذية اليرقات بغذاء مشبع بهرمون التستوستيرون خلال الأسابيع الثلاثة الأولى من الحياة، وتسبب المستويات العالية من الهرمون في الدم انقلاب الجنس عند صغار الإناث، ويُستخدم هذا الأسلوب على نطاق واسع في آسيا وأمريكا، ولكنه غير مسموح به في أوروبا (بسبب لوائح مختلفة). ويُسمح للمزارعين بتخزين الحجم نفسه من البُلطي الذكوري في البرك؛ وذلك لتجنب أية مشاكل ناتجة عن وضع البيض وتقليل النمو من خلال المنافسة على تغذية صغار الأسماك الجديدة.

إن الفرز اليدوي ببساطة هو فصل الذكور عن الإناث من خلال النظر إلى الحليمة التناسلية عندما تكون الأسماك في وزن يقدر بحوالي (40 غراما أو أكثر)، وعملية التحديد هذه مباشرة تماما. وفي منطقة فتحة الشرج عند الذكور ليس هناك سوى فتحة واحدة، في حين أن الإناث لديها فتحتان، وفتحة التناسل للأنثى تبدو على شكل حرف "C"، بينما في الذكور تبدو الحليمة أكثر مائلة إلى أن تكون مثلثة الشكل. وبينما تنمو الأسماك بشكل أكبر فيمكن أن تساعد الخصائص الثانوية على تحديد الذكور من الإناث. تتميز الأسماك الذكور برؤوس أكبر مع وضوح أكثر لمنطقة الجبين وظهر محدب، بينما تبدو الإناث أكثر أناقة ولها رؤوس أصغر. وعلاوة على ذلك فيمكن لسلوك السمكة أن يشير إلى نوعها، حيث أن الذكر يطارد ويراوغ الذكور الأخرى بعيدا وينفرد بالسيطرة على الإناث. كما أن فرز الجنس يدويا يمكن القيام به مع أعداد صغيرة من الأسماك؛ لأنه لا يأخذ الكثير من الوقت، ومع ذلك فإن هذه التقنية قد لا تكون عملية في الأنظمة التي على نطاق واسع؛ نظرا للأعداد الكبيرة من الأسماك المستزرعة، ولكن البُلطي المختلط النوع يمكن تربيته في أحواض الأسماك حتى يصل إلى مرحلة النضج الجنسي في سن خمسة أشهر. وعلى الرغم من أن الإناث ضعيفة الأداء نسبيا إلا أنها لا تسبب مشاكل ناجمة عن وضع البيض، ويمكن أن تحصد في مرحلة مبكرة (200 غراما أو أكثر)، وتترك الذكور لمواصلة النمو.

2.4.7 الشَّبُّوط (carp)

وله عدة أنواع، ومن أبرز أنواعه التجارية الرئيسة، ما يلي:

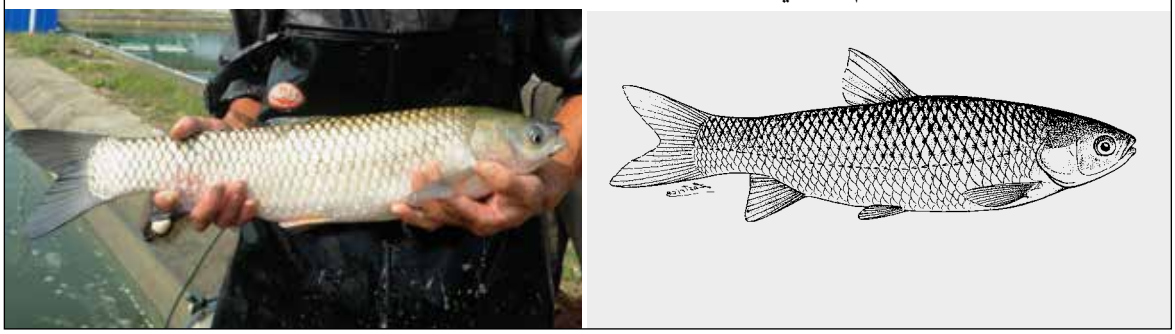
الشبوط الشائع (*Cyprinus carpio*)

الشبوط الفضي (*Hypophthalmichthys molitrix*)

شبوط الحشائش (*Ctenopharyngodon idella*)

الشكل 7.7

رسم تخطيطي وصورة لسمكة شبوط الحشائش *(Ctenopharyngodon idella)*



وصف

موطنه الأصلي أوروبا الشرقية وآسيا، ويعد الشبوط حاليا من أصناف الأسماك المربّاة على نطاق واسع عالميا (الشكل 7.7). والشبوط مثل البُلطي متسامح مع المستويات المنخفضة للأكسيجين المذاب، وكذلك مع المستويات المتدنية لجودة المياه، ولكن لديها نطاقات للتسامح لدرجة حرارة الماء أكبر من ذلك بكثير. فالشبوط يمكن له البقاء على قيد الحياة في درجات حرارة منخفضة تصل إلى (4°م)، ويمكن أن تصل إلى (34°م)؛ مما يجعلها مثالية للزراعة الأحيومائية في كل من المناطق المعتدلة والإستوائية. ويتم الحصول على أفضل معدلات النمو عندما تتراوح درجات الحرارة بين 25°م و30°م، وفي هذه الظروف يمكن أن تنمو من الإصبعيات إلى حجم الحصاد (500–600 غراما) في أقل من سنة (10 أشهر)، وتنخفض

معدلات النمو بشكل كبير مع درجات الحرارة الأقل من (12°م)، وذكور الشبوط أصغر من الإناث، ولكنها لا تزال تنمو حتى تصل إلى (40 كغم) في الوزن، وحوالي (1–1,2 مترا) في الطول. وهنا يعتبر الشبوط من الحيوانات متعددة الغذاء، حيث يتغذى من القاع ويتناول مجموعة كبيرة من الأطعمة، وهو يفضل اللافقاريات، مثل: الحشرات المائية، ويرقات الحشرات، والديدان، والرخويات، والعوالق الحيوانية. وبعض أنواع الشبوط العاشبة أيضا تتناول سيقان وأوراق وبذور النباتات المائية والأرضية، فضلا عن النباتات المتحللة. والشبوط المستزرع يمكن تدريبه بسهولة ليتناول حبوب الغذاء الطافية. ومن الأفضل الحصول على إصبعيات الشبوط من المفرخات ومرافق التربية المتخصصة، علما بأن إجراء الحصول على الأسماك الصغيرة هو أكثر تعقيدا من البُلطي، حيث يتم تحفيز وإنتاج البيض في إناث الشبوط من خلال حقن الهرمون، وهي تقنية تتطلب معرفة إضافية عن فسيولوجيا الأسماك.

يمكن بسهولة أن يُستزرع الشبوط مختلطا، وهكذا كان الحال لعدة قرون، ويتكون في الأساس في زراعة الأسماك العاشبة (شبوط الحشائش)، وآكلة العوالق (الشبوط الفضي)، ومتعددة التغذية التي تتغذى على الفتاتات أو الحتات (الشبوط الشائع)، وتأكلها معا؛ من أجل تغطية جميع العناصر الغذائية. وفي الزراعة الأحيومائية فإن الجمع بين هذه الأنواع الثلاثة، أو على الأقل شبوط الحشائش مع الشبوط الشائع من شأنه أن يُؤدي لاستخدام أفضل للطعام، حيث إن النوع الأول يتغذى على كلٍ من حبوب الغذاء المصنّع ومخلفات المحاصيل الزراعية، بينما تسعى الأخيرة للتغذية على المخلفات المتجمعة في قاع الخزان، في حين إن توفير جذور النباتات وبقايا المحاصيل الأخرى سيكون مفيدا للغاية لتجمع العناصر الغذائية في نظام الزراعة الأحيومائية؛ لأن عملية الهضم من قبل الأسماك وتمعدن المخلفات المتتالي سيعود بمعظم المغذيات الدقيقة إلى النباتات.

أنواع الشبوط الأخرى (أسماك الزينة)

يتم إنتاج الشبوط الذهبي (*Cyprinus carpio*) بشكل رئيس؛ لإنتاج أسماك الزينة بدلا من أسماك الطعام (الشكل 8.7). ويكون لهذه الأسماك أيضا مجالُ تسامح عالٍ لنطاقات متنوعة من الظروف المائية، وبالتالي فهي من الأنواع المرشحة الجيدة لنظام الزراعة الأحيومائية، ويمكن أن تباع للأفراد ومتاجر أسماك الزينة لعائد مالي أكثر من المال الذي يتم جنيه من بيع الأسماك كغذاء. والشبوط الملون (*Cyprinus carpio*) وأسماك الزينة الأخرى هي خيار شائع للمزارعين في الزراعة الأحيومائية النباتية. وعموما يجب عند اختيار نوع الشبوط المستزرع في الزراعة الأحيومائية اتباع تحليل التكاليف والمنافع التي تأخذ بعين الاعتبار الراحة في تربية الأسماك.

الشكل 8.7
أسماك الزينة، الشبوط الملون *(Cyprinus carpio)* في وحدة الزراعة الأحيومائية

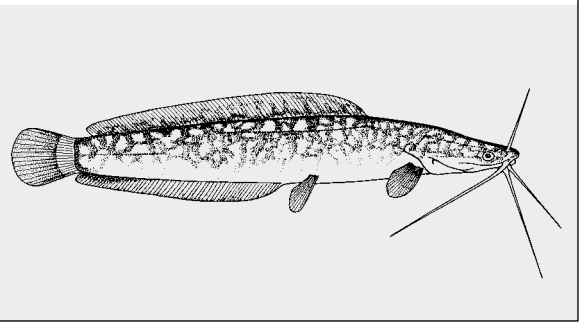
3.4.7 سمكة السِّلور

أنواعها التجارية الرئيسة، هي:

سمك سلور القناة (*Ictalurus punctatus*)

القرموط (*Clarias gariepinus*)

الشكل 9.7
رسم تخطيطي وصورة لسمكة السلور الإفريقية *(Clarias gariepinus)*



وصف

سمك السِّلور هو مجموعة من الأسماك القوية للغاية، والتي تتحمل تقلبات واسعة في كلٍّ من: الأكسيجين المذاب، ودرجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني (الشكل 9.7). كما أنها مقاومة للعديد من الأمراض والطفيليات؛ مما يجعلها مثالية للتربية في الزراعة الأحيومائية. ويمكن تخزين سمك السِّلور بسهولة بكثافات عالية جدا، تصل إلى (150 كغم/ م^3). وكثافة التخزين هذه تتطلب الترشيح الميكانيكي الشامل وإزالة المخلفات الصلبة بصورة أشمل وأعمق مما تمت مناقشتها في هذا الدليل. وسمك السِّلور الإفريقي هو واحد من العديد من الأنواع في عائلة (Clariidae)، وهذه الأنواع تتنفس الهواء؛ مما يجعلها مثالية للتربية في الأحياء المائية والزراعة الأحيومائية، حيث إن الانخفاض المفاجئ والكبير في الأكسيجين المذاب لن يؤدي لأي نفوق في الأسماك. ويعد سمك السِّلور من أسهل الأنواع للمبتدئين، أو للزراعة الأحيومائية للذين يريدون أن يقوموا بتربية الأسماك في المناطق التي تكون فيها إمدادات الكهرباء غير مضمونة. وبالأخذ في الاعتبار التسامح لمستويات متدنية من الأكسيجين المذاب، ومستويات الأمونيا العالية، فإن سمك السِّلور يمكن تخزينه في الكثافات المرتفعة، شريطة أن يتوافر المستوى الكافي من الترشيح الميكانيكي. وبخصوص إدارة المخلفات فمن الجدير بالذكر أن المخلفات الصلبة العالقة التي ينتجها سمك السِّلور أقل في الحجم وأكثر في الذوبان من البُلطي، وهي أحد العوامل التي تسهل عملية التمعدن بصورة أكبر، مثل: البُلطي، وسمك السِّلور الذي ينمو أفضل في المياه الدافئة، وتفضل درجة حرارة (26°م)، ولكن في حالة السِّلور الإفريقي يتوقف النمو عند (20–22°م). ومما ينبغي معرفته أن علم وظائف الأعضاء في سمك السِّلور يختلف عن الأسماك الأخرى؛ لأنها يمكن أن تتحمل مستويات عالية من الأمونيا، ولكن وفقا للنتائج الحديثة فإن تركيزات النترات لأكثر من (100 ملغم/لتر) قد يقلل من شهيتها؛ بسبب التحكم في النظام الداخلي الذي ينشأ عن المستويات العالية من النترات في دمها، كما أن السِّلور والأسماك القاعية الأخرى تحتل فقط الجزء السفلي من الخزان. ويمكن أن يسبب هذا التركيز المكاني لها صعوبات في تخزينها بكثافات عالية؛ لأنها لاتنتشر في عمود الماء. وفي الخزانات المكتظة يمكن لسمك السِّلور أن يُؤذي بعضه البعض بواسطة الزعانف الشوكية، وعندما يتم تربية سمك السِّلور فإن هناك خيارا واحدا وهو استخدام خزان لديه مساحة أفقية واسعة مقارنة بالفضاء الرأسي؛ مما يسمح للأسماك بأن تنتشر على طول الجزء السفلي، ولكن مع ذلك فإن العديد من المزارعين يقومون بتربية سمك السِّلور مع أنواع أخرى من الأسماك التي تستخدم الجزء العلوي من الخزان، وعادة يتم تربية سمك الشمس زرقاء الخيشوم (bluegill sunfish)، وسمك الفرخ (perch) أو البُلطي، كما يمكن أن تتم تربية سمك السِّلور على أكل حبوب الغذاء الطافية.

4.4.7 سمك السلمون المرقط

النوع التجاري الرئيس هو:

سمك السلمون المرقط قوس قزح (*Oncorhynchus mykiss*)

الشكل 10.7

رسم تخطيطي وصورة لسمكة السلمون المرقط قوس قزح (*Oncorhynchus mykiss*)

وصف

أسماك السلمون المرقطة هي أسماك آكلة اللحوم، وتعيش في المياه الباردة التي تنتمي إلى عائلة سمك السلمون (الشكل 10.7). وكل سمك السلمون المرقط يتطلب مياه أكثر برودة من الأنواع الأخرى التي سبق ذكرها، وتتراوح درجات الحرارة المفضلة من 10 إلى 18°م، والمثلى (15°م). وسمك السلمون المرقط مثالي للزراعة الأحيومائية في مناطق المناخ الشمالي أو المعتدل خاصة في فصل الشتاء، وتنخفض معدلاتُ نموه بشكل ملحوظ مع زيادة درجات الحرارة فوق

(21°م)، وفوق هذا المعدل من درجة الحرارة قد لايكون سمك السلمون المرقط قادرا على الإستفادة بشكل صحيح من الأكسيجين المذاب حتى ولو كان متوافرا، كما أنه يتطلبُ اتباع نظام غذائي غني بالبروتين مقارنة مع الشبوط والبُلطي، بمعنى أن هناك كميات أكبر من النتروجين تضاف لمجموع المغذيات لكل وحدة من أعلاف الأسماك التي يتم إضافتها، ولكن هذا يسمح بزراعة مزيد من الخضار الورقية، مع الحفاظ على وحدة الزراعة الأحيومائية متوازنة، مضافا إلى ما سبق ذكره فإن سمك السلمون المرقط متسامح بدرجة عالية جدا مع الملوحة، ولكن هناك العديد من الأصناف التي يمكن أن تعيش في المياه العذبة والمائلة للملوحة والبيئات المائية البحرية. وعموما فإن سمك السلمون المرقط يتطلب نوعية مياه جيدة أكثر من البُلطي أو الشبوط، وخاصة فيما يتعلق بالأكسيجين المذاب والأمونيا. وتتطلب التربية الناجحة لهذا النوع من الأسماك المراقبة المتكررة لجودة المياه، فضلا عن توافر الأنظمة الاحتياطية للهواء ومضخات المياه.

وسمك السلمون المرقط (قوس قزح) هو النوع الأكثر شيوعا من سمك السلمون المرقط الذي يزرع في أنظمة تربية الأحياء المائية في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا، والأقفاص البحرية أو الخزانات ذات التدفق المستمر للماء، والبرك في وسط أوروبا أو شمالها (النرويج وأسكتلندا "المملكة المتحدة")، وفي أجزاء من أمريكا الجنوبية (شيلي وبيرو)، وفي العديد من المناطق المرتفعة في المناطق المدارية وشبه المدارية من إفريقيا وآسيا (جمهورية إيران الإسلامية، والنيبال، واليابان)، وأستراليا. ويعرف هذا النوع من السمك بأنه طويل، ورقيق، وليس له حراشف واقية، وعادة ما يكون لونه أخضر مائلا للون الأزرق، ومرقط في الأعلى بشريط أحمر على الجانبين. ويربى هذا النوع من السمك (السلمون المرقط) ويُطلق في الجداول والبحيرات؛ لتعزيز المخزون من أجل رياضة الصيد، ويتطلب سمك السلمون المرقط اتباع نظام غذائي غني بالبروتين وكمية كبيرة من الدهون. ويعتبر من الأسماك الزيتية التي تتوفر على كمية عالية من فيتامين A، وفيتامين D، وأحماض أوميغا 3 من الأحماض الدهنية؛ مما يجعلها اختيارا ممتازا للتربية للاستهلاك المحلي. في حين أن سعر سمك السلمون المرقط مرتفع في بعض الأسواق للسبب نفسه، لكنه يتطلب وجبات غنية نسبيا بزيت السمك.

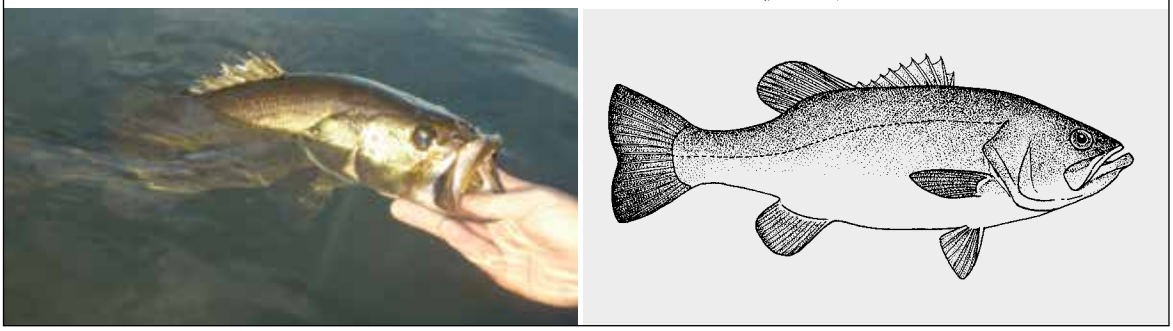
5.4.7 القاروص الأسود

النوع التجاري الرئيس هو:

القاروص الأسود (*Micropterus salmoides*)

الشكل 11.7

رسم تخطيطي وصورة لسمكة القاروص الأسود (*Micropterus salmoides*)



وصف

موطن القاروص الأسود هو أمريكا الشمالية، ولكنه ينتشر على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم، ويعيش في كثير من المسطحات المائية والبرك (الشكل 11.7). وينتمي إلى ترتيب الفرخيات (Perciformes) الشبيهة بسمك الفرخ (perch)، والذي يتضمن أيضا القاروص المخطط (stripedbass)، والقاروص الأسترالي (Australian bass)، وقاروص البحر الأسود (black seabass)، وقاروص البحر الأوروبي (European seabass) وغيرها الكثير. ومما تجدر الإشارة إليه هو أن القاروص الأسود يتسامح مع نطاقات واسعة لدرجة الحرارة، حيث إن نموه يتوقف فقط إذا انخفضت درجة الحرارة إلى أقل من (10°م) أو إذا ارتفعت إلى أكثر من (36°م)، ويتوقف عن التغذية عندما تصل درجات الحرارة إلى أقل من (10°م)، كما أن درجات الحرارة الأمثل للنمو هي في حدود (24–30°م) لجميع مراحله العمرية، كما أنها تتحمل نسبا منخفضةً من الأكسيجين المذاب ودرجة الحموضة، على الرغم من أن الحصول على نسبة التحويل الغذائي (FCR) الجيدة يتطلب مستوى أكسيجين مذاب فوق (4 ملغم/لتر).

يفضل القاروصُ الأسود الماء النظيف مع تركيز المواد الصلبة العالقة عند مستوى أقل من (25 ملغم/لتر)، إلا أنه تم تسجيل مستوى نمو جيد في البرك عند درجة عكارة تصل إلى (100 ملغم/لتر) مثلما هو الحال مع سمك السلمون المرقط، والقاروص الأسود من الأسماك آكلة اللحوم. ويتطلب هذا النوع من الأسماك وجبات غذائية عالية البروتين، وبالتالي يجب فصل الأفواج المختلفة الحجم؛ لمنع استهلاك الزريعة والأسماك الصغيرة جدا من قبل الأسماك الكبيرة. وتعتمد معدلات النمو اعتمادا كبيرا على درجة الحرارة ونوعية الأعلاف. وفي المُـناخات المعتدلة يكون النمو خلال المواسم الأكثر دفئا (أواخر الربيع والصيف، وأوائل الخريف). ونظرا للتسامح العالي مع نسبة الأكسيجين المذاب، ومع المقاومة الجيدة لمستويات النتريت العالية فإن القاروص الأسود هو اختيار ممتاز لمزارعي الأحيومائية، خاصة لأولئك الذين لا يستطيعون تغيير الأنواع بين المواسم الباردة والدافئة. وقد أجريت محاولات عديدة لتربية هذا النوع في الأحياء المائية المتعددة الأنواع مع البُلطي. وإذا ما تحدثنا من الناحية التغذوية فإن القاروص الأسود يحتوي على مستويات عالية نسبيا من أحماض أوميغا 3 الدهنية مقارنة مع غيرها من أسماك المياه العذبة.

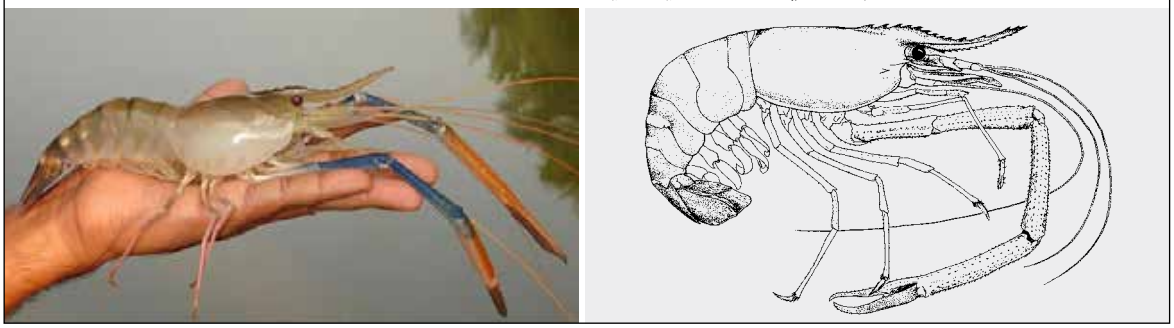
6.4.7 القريدس (الجمبري)

النوع الرئيس التجاري له هو:

الجمبري النهري العملاق (*Macrobrachium rosenbergii*)

الشكل 12.7

رسم تخطيطي وصورة للجمبري النهري العملاق *(Macrobrachium rosenbergii)*



وصف

يشير مصطلح الجمبري إلى مجموعة متنوعة جدا من ساق العينين العشاري الأرجل لقشريات المياه العذبة، مع بطن طويلة وضيقة العضلات، وقرون استشعار طويلة، وسيقان نحيلة (الشكل 12.7). ويمكن العثور عليها تتغذى في الجزء السفلي من معظم السواحل ومصبّات الأنهار، وكذلك في أنظمة المياه العذبة. وعادة ما يعيش القريدس من سنة إلى سبع سنوات، ومعظم الأنواع هي حيوانات متعددة التغذية. إن الروبيان والجمبري يشيران عادة إلى أنواع المياه المالحة والمياه العذبة، على الرغم من أن هذه الأسماء كثيرا ما يتم الخلط بينها خصوصا عند الطهي. ويمكن أن يكون الجمبري إضافة جيدة إلى نظام الزراعة الأحيومائية، حيث إنه يستهلك غذاء الأسماك غير المأكول ومخلفات الأسماك وغيرها من المخلفات والمواد العضوية التي توجد في الماء أو في القاع. وعلى هذا النحو فإنه يُساعد على تنظيف ودعم صحة النظام، وتسريع تحلل المواد العضوية، ومن الأفضل تربية الجمبري والأسماك التي تعيش في منتصف عمود الماء في وقت واحد في نظام الزراعة الأحيومائية؛ لأن الجمبري لا يمكن تربيته في كثافة عالية بما فيه الكفاية لإنتاج مخلفات كافية للنباتات.

يفرض الجمبري سلطته على منطقة السيادة بشكل كبير؛ لذلك فهو يحتاج إلى تخصيص مساحة جانبية كبيرة، وتحددُ المساحة الأفقية عدد الجمبري الذي يمكن أن يخزن. ورغم أن الطبقات المصنوعة من الشباك قد تبدو معيقة لهذا المطلب، إلا أنه يمكن أن تزيد مساحة السطح والأعداد التي يمكن تخزينها. وقد تم اختبار بعض الأنظمة بتربية الجمبري مع البُلطي بدرجة مختلفة من النجاح، وعلى الرغم من أن عدد الجمبري الذي يمكن تخزينه منخفض، إلا أن معظم الجمبري لديه احتياجات مماثلة، وهي تشمل: الماء العسر، ودرجات الحرارة الدافئة (24–31°م)، وجودة المياه الجيدة، ولكن يجب أن يتم تعديلها؛ لتتلاءم مع ظروف النوع الذي يتم تربيته. وفي الظروف المثالية فإن لدى الجمبري دورة مدتها أربعة أشهر، وهذا يعني أنه من الممكن نظريا زراعة ثلاثة محاصيل سنويا، ويجبُ شراء الجمبري من المفرخ عند مرحلة ما بعد مرحلة اليرقات، ودورة

اليرقات في الجمبري معقدة إلى حد ما، وتتطلب جودة في المياه ومراقبة خاصة وأعلافا معينة. وعلى الرغم من كل ذلك فإنه يمكن على نطاق ضيق تفريخ الجمبري، ويُوصى به فقط لذوي الخبرة؛ لأنه يمكن أن يأكل جذور النباتات. ويجب أن ينمو الجمبري في خزانات الأسماك فقط.

5.7 تأقلم الأسماك

يمكن أقلمة الأسماك في خزانات جديدة، وهي عملية مرهقة للغاية بالنسبة للأسماك، خاصة النقل الفعلي من موقع إلى آخر في أكياس أو خزانات صغيرة (الشكل 13.7). ومن المهم جدا إزالة العديد من العوامل المجهدة التي يمكن أن تسبب الوفيات بين الأسماك الجديدة. وهناك نوعان من العوامل الرئيسة التي تسبب الإجهاد عند القيام بأقلمة السمك: التغيرات في درجة الحرارة، ودرجة الحموضة (pH) بين الماء الجديد والماء الأصلي. فهذه العناصر يجب أن تبقى فيها نسبة التغير عند أدنى حدٍ ممكن.

كما ينبغي من الناحية المثالية اختبار درجة الحموضة للمياه في حوض التربية ومياه النقل. وإذا كان الاختلاف بين قيم درجة الحموضة تجاوز (0,5) ستحتاج الأسماك إلى 24 ساعة على الأقل للتأقلم؛ لذلك ينصح بإبقاء الأسماك في خزان صغير مهوّى به ماء من المصدر الأصلي، مع إضافة الماء الجديد تدريجيا من الخزان الجديد على مدار يوم كامل، حتى وإن كانت قيم درجة الحموضة للبيئتين قريبة إلى حد ما، فإن الأسماك لا تزال بحاجة إلى مزيد من الوقت؛ للتأقلم مع الظروف الجديدة، وأفضل طريقة للقيام بذلك هي السماح ببطء لدرجة الحرارة؛ لكي تتوازن بواسطة وضع أكياس نقل الأسماك المحكمة الإغلاق التي تحتوي على السمك بأن تطفو على ماء التربية، وينبغي القيام بذلك لمدة (15 دقيقة) على الأقل، وفي هذا الوقت يجب إضافة كميات قليلة من ماء التربية إلى ماء النقل الذي يحتوي على الأسماك. ومرة أخرى ينبغي أن تأخذ هذه العملية (15 دقيقة) على الأقل؛ وذلك لأقلمة الأسماك ببطء. وأخيرا يمكن إضافة الأسماك إلى الخزان الجديد.

الشكل 13.7

أقلمة الأسماك: يتم نقل صغار الأسماك في كيس من البلاستيك (أ) وتوضع في خزان الأسماك (ب) ويتم الإفراج عن الأسماك بعد الأقلمة (ج)

6.7 صحة الأسماك والمرض

أهم طريقة للحفاظ على الأسماك صحيّة في أي نظام تربية للأحياء المائية هي بواسطة الرصد والمراقبة اليومية لها، وتدوين سلوكها ومظهرها. ويتم ذلك عادة قبل وأثناء وبعد التغذية، مع الحفاظ على جودة المياه، بما في ذلك جميع العناصر التي نوقشت أعلاه، فهي تجعل الأسماك أكثر مقاومة للطفيليات والأمراض، عن طريق السماح لنظام المناعة الطبيعي للأسماك بمحاربة الالتهابات. ويناقش هذا القسم الجوانب الرئيسة لصحة الأسماك بشكل موجز، بما في ذلك أساليب عملية تحديد الأسماك غير الصحية، والوقاية من أمراض الأسماك، وهذه الجوانب الرئيسة هي:

- لاحظ سلوك الأسماك ومظهرها بشكل يومي، مع تدوين أية تغييرات.
- افهم علامات وأعراض الإجهاد والمرض والطفيليات.
- حافظ على بيئة منخفضة التوتر، مع جودة المياه وثباتها.
- استخدم كثافة تخزين الأسماك، ومعدلات التغذية المُوصى بها.

1.6.7 صحة الأسماك والرفاه

إن المؤشر الرئيس لرفاهية الأسماك هو سلوكها. ولأجل الحفاظ على صحة جيدة للأسماك فمن المهم تعرُّف سلوك الأسماك الصحية، بالإضافة إلى علامات الإجهاد والمرض والطفيليات. وأفضل وقت لمراقبة الأسماك هو أثناء التغذية اليومية (قبل إضافة الغذاء وبعده)، وتدوين كمية الغذاء الذي يُؤكل، وتُظهر الأسماك الصحية السلوكيات التالية:

- الزعانف ممتدة، والذيول مستقيمة.
- السباحة طبيعية، والأنماط رشيقة لا خمول فيها، مع ملاحظة أن سمك السِّلور في كثير من الأحيان ينام في القاع حتى يستيقظ، ثم يبدأ التغذية.
- شهية قوية ولا تبتعد الأسماك عند وجود الشخص المغذي.
- لا توجد علامات على طول جسم السمكة، ولا بقع تشويه، أو شرائط أو خطوط.
- لا تقوم الأسماك بفرك أو كشط أجسامها على جوانب الخزان.
- لا تتنفس الأسماك الهواء الخارجي من على سطح الماء.
- وجود عيون لامعة وحادة.

2.6.7 الإجهاد

لقد تمت الإشارة إلى الإجهاد عدة مرات في هذا الدليل، ويستحق أن يُولى اهتماما خاصا هنا. والإجهاد هو الاستجابة الفسيولوجية للأسماك عندما تعيش في مستوى أقل من الظروف المثلى التي ينبغي أن تكون فيها، أو نتيجة الإفراط في كثافة تخزين الأسماك مع وجود درجات الحرارة أو الحموضة غير الصحيحة، أو نتيجة لمستوى الأكسيجين المذاب المتدني، أو التغذية غير السليمة. وكل هذه الأمور تسبب الإجهاد، الجدول (2.7). ويجبُ على أجساد الأسماك بأن تعمل بجد؛ للتغلب على هذه الظروف السيئة؛ مما يؤدي إلى الضغط على الجهاز المناعي وإذا ما أجهد نظام المناعة، سيتم تقليل قدرة الأسماك على الشفاء ودرء المرض. وعموما فإن الإجهاد هو الحالة العامة للوضع، والإجهاد وحده لا يقتل السمك، ولكن إنْ بقيت الأسماك مجهدة لفترة طويلة فإنها ستصاب حتما بالأمراض من مختلف البكتيريا والفطريات أو الطفيليات؛ لذا ينصح بأن يُعمل على تجنب التوتر قدر الإمكان، كما ينبغي الإلمام بأن هناك عوامل متعددة يمكن أن تسهم في الضغط في الوقت نفسه.

الجدول 2.7

أسباب وأعراض الإجهاد في الأسماك

أسباب الإجهاد	أعراض الإجهاد
درجة الحرارة خارج النطاق، أو تغيرات سريعة في درجة الحرارة	فقدان الشهية
درجة الحموضة (pH) خارج النطاق، أو تغيرات سريعة في درجة الحموضة (أكثر من 0,3/اليوم)	سلوك السباحة غير عادي، وتستريح الأسماك على السطح أو في القاع
الأمونيا والنتريت، أو السموم موجودة في مستويات عالية	فرك أو كشط جوانب الخزان، صعود الأسماك إلى سطح الماء ومحاولة تنفس الهواء الجوي، بقع وشرائط حمراء
الأكسيجين المذاب منخفض جدا	صعود الأسماك إلى سطح الماء ومحاولة تنفس الهواء الجوي
سوء التغذية و / أو الاكتظاظ	زعانف ملتصقة على مقربة من الجسم، وإصابات جسدية
تردي جودة المياه	التنفس السريع
سوء مناولة الأسماك، ضوضاء أو إزعاج ضوئي	سلوك خاطئ
وجود أسماك مزعجة بداخل الحوض	إصابات بدنية

3.6.7 أمراض الأسماك

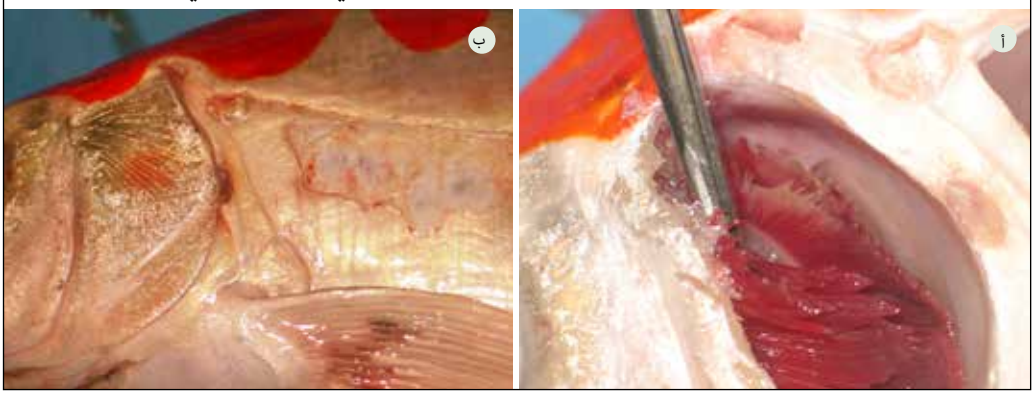
المرضُ هو دائما نتيجة لعدم التوازن بين الأسماك ومسببات المرض والبيئة، كما أن الضعف عند الحيوانات وتفشي مسبب المرض في ظروف معينة سيسبب المرض. إن ممارسات إدارة الأسماك السليمة هي التي تبني نظاما دفاعيا صحيا؛ لتأمين مخزون صحي من الأسماك؛ ولذلك فإن الرقابة البيئية الكافية ضرورية من أجل تجنب إجهاد الأسماك، والحد من انتشار مسببات الأمراض.

وتحصل الأمراضُ على كل العوامل غير الحيوية والحيوية. وفي الفصول السابقة تمت الإشارة إلى أن عناصر جودة الماء هي عوامل محددة لتجنب اضطرابات التمثيل الغذائي والوفيات. بالإضافة إلى ذلك فإن السيطرة على الظروف المناخية، والملوثات يمكن أن تبعد العديد من العدوى الانتهازية والسُّمية. إن الخصائص الواردة في النظم المغلقة تجعل الزراعة الأحيومائية أقل عرضة للعدوى وتفشي الأمراض؛ بسبب السيطرة الأفضل على المدخلات، وإدارة عناصر جودة المياه المهمة والمعايير البيئية. وفي حالة استخدام مياه من المسطحات المائية، فإن اعتماد الترشيح الرملي البسيط البطيء يمكن له أن يحمي نظام الزراعة الأحيومائية من أية طفيليات أو بكتيريا، وبالمثل فإن القضاء على القواقع الصغيرة والقشريات، ومنع وصول أو تلوث من الحيوانات والطيور، يمكن أن يساعد في الحد من مشاكل الطفيليات، وكذلك التلوث الجرثومي.

والمجموعات الرئيسة الثلاث من مسببات الأمراض للأسماك، هي: الفطريات، والبكتيريا، والطفيليات. وكل هذه الجراثيم يمكن بسهولة إدخالها في نظام تربية الأحياء المائية من البيئة، وعند إضافة أسماك جديدة أو ماء جديد، أو ربما تكون موجودة من ذي قبل في الوحدة. فإن الوقاية هي إلى حد بعيد أفضل طريقة لدرء الأمراض عن الأسماك، كما أن الملاحظة اليومية للأسماك ورصد المرض، تسمح بالمعالجة والتعامل مع المرض بسرعة إذا ظهرت أعراضه؛ لمنع إصابة المزيد من الأسماك (الشكل 14.7). مع الالتفات إلى أن خيارات العلاج في أنظمة الزراعة الأحيومائية الصغيرة محدودة؛ لذا يجب منع المرض قدر الإمكان قبل حدوثه.

الشكل 14.7

الأسماك المريضة وتظهر العديد من الأعراض السريرية: (أ) الضرر الخيشومي (ب) نخر خيشومي شديد



منع المرض

توضح القائمة أدناه بعض الإجراءات الأساسية للوقاية من المرض، وتُلخص أغلب الدروس لتربية الأسماك في الزراعة الأحيومائية:

- الحصول على زريعة أسماك صحيّة من مفرخ موثوق به ذي سمعة مهنية حسنة.
- عدم إضافة الأسماك غير الصحية إلى النظام، ويجب فحص الأسماك الجديدة؛ لتحديد علامات المرض.
- من المستحسن في بعض الحالات القيام بالحجر الصحي للأسماك الجديدة في حوض معزول لمدة 45 يوما قبل إضافتها إلى النظام الرئيس.
- إذا كان ممكنا فيجب القيام بعلاج الأسماك الجديدة بحمام الملح (موضح أدناه)؛ لإزالة الطفيليات أو علاج بعض الالتهابات في مرحلة مبكرة.
- التأكد من أن مصدر المياه هو من أصل موثوق به، واستخدام بعض طرق التعقيم إذا كان مصدر الماء من بئر أو من مستجمعات المياه، في حين ينبغي إزالة الكلور من الماء إذا كان من شبكة المنازل.
- الحفاظ على عناصر جودة المياه الرئيسة عند المستويات المثلى في جميع الأوقات.
- تجنب التغيرات الحادة في الرقم الهيدروجيني (pH)، والأمونيا، والأكسيجين المذاب، ودرجة الحرارة.
- ضمان الترشيح الحيوي الكافي؛ لمنع تراكم الأمونيا أو النتريت.
- ضمان التهوية الكافية؛ للحفاظ على مستويات الأكسيجين المذاب عند أعلى مستوى ممكن.
- تغذية الأسماك على نظام غذائي متوازن ومغذ.
- الحفاظ على تخزين غذاء الأسماك في مكان جاف ومظلم وبارد؛ لمنعه من التعفن والالتصاق ببعضه.

- التأكد من أن مصادر الغذاء الحي خالية من مسببات الأمراض وخالية من الطفيليات، والغذاء الذي ليس من مصدر متَحقق منه يجب بسترته أو تعقيمه.
- إزالة الغذاء غير المأكول، أو أي مصدر آخر للتلوث العضوي من الخزان.
- التثبت من أن خزان الأسماك مظلل عن أشعة الشمس المباشرة، ولكن ليس مظلما بالكامل.
- منع وصول الطيور والقواقع والبرمائيات والقوارض التي يمكن أن تكون ناقلة لمسببات الأمراض أو الطفيليات.
- عدم السماح للحيوانات الأليفة أو أية حيوانات محلية للوصول إلى منطقة الإنتاج.
- تتبع الإجراءات الصحية القياسية عن طريق غسل اليدين وتنظيف أو تعقيم العتاد.
- عدم السماح للزوار بلمس الماء أو التعامل مع الأسماك دون اتباع إجراءات النظافة السليمة.
- استخدام شبكا خاصا لمناولة الأسماك لكل خزان؛ لمنع انتقال التلوث من الأمراض أو الطفيليات.
- تجنب الضوضاء الصاخبة، والأضواء المتذبذبة أو الاهتزاز بالقرب من حوض للأسماك.

التعرف على المرض

قد تحدث أمراضٌ حتى مع كل تقنيات الوقاية المذكورة أعلاه؛ لذا فمن المهم اليقظة ورصد ومراقبة سلوك الأسماك يوميا؛ للتعرف على الأمراض في وقت مبكر. والقوائم التالية توجز أعراض الأمراض الجسدية والسلوكية الشائعة، وللحصول على قائمة أكثر تفصيلا لأعراض وعلاجات أكثر تحديدا يرجى الرجوع إلى (الملحق 3).

علامات خارجية للمرض

- تقرّحات على سطح الجسم، وبقع تغير لونها، بقع بيضاء أو سوداء.
- زعانف خشنة، فواصل الزعانف ظاهرة.
- نخر واضمحلال في الخياشيم والزعانف.
- تكوّن الجسم غير طبيعي، وتلوّي في العمود الفقري، وتشوه في الفك.
- بطن متمددة، وظهور تورم.
- آفات مثل القطن على الجسم.
- عيون منتفخة وبارزة (exophthalmia)

العلامات السلوكية للمرض

- ضعف الشهية، والتغيرات في عادات التغذية.
- الخمول، وأنماط السباحة المختلفة، وفتور النشاط.
- تمركز الأسماك بشكل غريب في الماء حيث الرأس أو الذيل إلى أسفل، وصعوبة في الحفاظ على الطفو.
- الأسماك تلهث على السطح.
- الأسماك تفرك أو تكشط أجسامها بالأجسام الموجودة في الخزان.

الأمراض غير الحيوية

معظم الوفيات في الزراعة الأحيومائية بسبب الجراثيم، ولكن هي في الحقيقة من المسببات غير الحيوية، حيث إنها تتعلق أساسا بنوعية المياه أو السُّمية. ويمكن لهذه العوامل أن تحفز العدوى الانتهازية التي يمكن أن تحدث بسهولة في الأسماك غير الصحية أو الأسماك المجهدة. إن تحديد هذه الأسباب يمكن أن يساعد المزارع في الزراعة الأحيومائية على التمييز بين التمثيل الغذائي ومسببات الأمراض؛ لتحديد الأسباب وسبل العلاج. ويحتوي (الملحق 3) على قائمة الأمراض غير الحيوية الأكثر شيوعا وأعراضها.

الأمراض الحيوية

بشكل عام فإن الزراعة الأحيومائية والأنظمة المغلقة أقل تأثرا بالجراثيم من بركة أو قفص تربية الأحياء المائية، وتكون في معظم الحالات مسببات هذه الأمراض موجودة بالفعل في النظام، ولكن لا يحدث المرض؛ بسبب أن نظام المناعة في

الأسماك يقاوم العدوى، وكذلك البيئة غير المواتية للأمراض حتى تزدهر. إن الإدارة الصحية، واجتناب مسببات الإجهاد، ومراقبة جودة المياه ضرورية؛ للحد من أية حالات للمرض، ولكن عند حدوث المرض فمن المهم عزل الأسماك المصابة أو القضاء عليها، واتخاذ أفعال وقائية؛ لمنع انتقال العدوى إلى بقية الأسماك. وإذا ما تم استخدام أي علاج فيجب أن تُحجر الأسماك في خزان الحجر الصحي، وأن أيا من المنتجات المستخدمة لا يتم إدخالها على نظام الزراعة الأحيومائية، وهذا الإجراء هو من أجل تجنب أية عواقب لا يمكن التنبؤ بها قد تؤثر على البكتيريا المفيدة. والملحق (3) يشير إلى بعض الأمراض الحيوية الأكثر شيوعا والتي تحدث في المزارع السمكية، وسبل العلاجات المعتمدة بشكل طبيعي. ومزيد من التفاصيل تتوافر ضمن المنشورات الأدبية، وعبر الخدمات الإرشادية السمكية المحلية.

علاج المرض

إذا أظهرت نسبة كبيرة من الأسماك علامات المرض، فمن المرجح أن الظروف البيئية قد تسببت في الإجهاد. وينبغي في هذه الحالات التحقق من مستويات الأمونيا والنتريت والنترات، ودرجة الحموضة ودرجة الحرارة، والاستجابة وفقا لذلك، أما إذا تأثر عدد قليل من الأسماك، فمن المهم إزالة الأسماك المصابة على الفور؛ لمنع أي انتشار للمرض إلى الأسماك الأخرى، وعندما يتم إزالتها قم بفحص الأسماك بعناية، وحاول تحديد المرض أو الأسباب التي تقف وراء ذلك. وفي البداية حاول الإفادة من كمية المعلومات المذكورة هنا، وبعدها ينبغي الرجوع إلى المنشورات الأدبية المثرية. ومن الأفضل أن يُجرى تشخيص مهني يقوم به الطبيب البيطري، أو وكيل خارجي متخصص، أو خبير تربية الأحياء المائية. إن حسن تشخيص الحالة ومعرفة المرض هي نصف العلاج، كما يُنصح هنا بوضع الأسماك المتضررة في خزان منفصل (الحجر الصحي)؛ لمزيد من المراقبة، وبناء على نتائج تلك المراقبة قم بالتخلص من الأسماك المريضة حسب الاقتضاء.

إن خيارات علاج الأمراض في الزراعة الأحيومائية ذات النطاق الصغير محدودة. والأدوية التجارية يمكن أن تكون مكلفة، مضافا إلى ذلك فإن العلاجات المضادة للجراثيم ومضادات الطفيليات لها آثار ضارة على بقية النظام، بما في ذلك المرشح الحيوي والنباتات. أما إذا كان العلاج ضروريا على الإطلاق فينبغي أن يتم ذلك في خزان المستشفى فقط (الحجر الصحي)، ولا يجوز إضافة مواد كيميائية مضادة للجراثيم إلى وحدة الزراعة الأحيومائية.

علاج حمام الملح

أحد خيارات العلاج الفاعل ضد بعض الالتهابات البكتيرية والطفيليات الأكثر شيوعا هو حمام الملح، حيث يمكن للأسماك المتضررة ببعض الطفيليات الخارجية، والفطر، والتلوث البكتيري للخياشيم الاستفادة من العلاج بحمام الملح، حيث يتم نقل الأسماك المصابة من خزان الأسماك الرئيس ووضعها في حمام الملح. وحمام الملح سامٌ بالنسبة لمسببات الأمراض، ولكنه غير قاتل للأسماك، ويُوصى بأن يكون تركيز الملح في الحمام (1 كغم) من الملح لكل (100 لتر) من الماء، وينبغي أنْ توضع الأسماك المتضررة في هذا المحلول المالح لمدة (20–30 دقيقة)، ثم تُنقل إلى خزان العزل الثاني الذي يحتوي على (1–2 غراما) من الملح لكل لتر من الماء لمدة أخرى تقدر (5–7 أيام).

وفي حالات التهابات البقعة البيضاء الحادة، قد تحتاج جميع الأسماك إلى الإزالة من نظام الزراعة الأحيومائية الرئيس، وتعامل بهذه الطريقة لمدة أسبوع على الأقل، خلال هذه المدة فإن أية طفيليات ناشئة في وحدة الزراعة الأحيومائية ستفشل في العثور على المضيف، وستموت في نهاية المطاف. وتسخين الماء في نظام الزراعة الأحيومائية يمكن له أن يؤدي إلى تقصير دورة حياة الطفيلي، ويجعل العلاج بحمام الملح أكثر فاعلية، ولكن ينبغي الحذر من نقل محتوى حمام الملح إلى نظام الزراعة الأحيومائية، حيث إنه سيؤثر على النباتات في النظام.

7.7 جودة المنتج

في الأسماك المستزرعة، وعلى وجه الخصوص المياه العذبة غالبا ما يكون هناك خطر تغير نكهة الأسماك، ويُعزى هذا التغير إلى وجود مركبات محددة، والأكثر شيوعا منها "جيوزمين" (geosmin) و"إيزوبورنيول المثيل" (2-methylisoborneol). إن هذه المركبات الثانوية التي تتراكم في الأنسجة الشحمية للأسماك، والتي تنتجها الطحالبُ الخضراء المزرقّة، مثل: البكتيريا الزرقاء (cyanobacteria)، أو البكتيريا المتسلسلة (genus *Streptomyces*)، أو الفطريات الشعاعية (actinomycetes)، أو الجراثيم المخاطيّة (myxobacteria). فإن جيوزمين (geosmin) يُعطي نكهة الوحل بحيث تبدو واضحة، في حين أن إيزوبورنيول المثيل (2-methylisoborneol) يُعطي طعم

العفن التي يمكن أن تؤثر بشدة على قبول المستهلك وتعطيل تسويق المنتج. ويحدث تغير نكهة الأسماك في كل من الأحواض الأرضية والأنظمة المغلقة.

إن العلاج الشائع لتغير نكهة الأسماك يكون بتطهير الأسماك لمدة (3–5 أيام) في المياه النظيفة قبل البيع أو الاستهلاك، كما يجب تجويع الأسماك ووضعها معزولة في خزان به تهوية جيدة. وفي الزراعة الأحيومائية فإن هذه العملية يمكن دمجها بسهولة مع الإدارة العادية، حيث إن المياه المستخدمة في التطهير يمكن استخدامها في نهاية المطاف لإعادة ملء النظام.

8.7 ملخص الفصل

- يُنصح باستخدام أعلاف الأسماك المصنعة التجارية في الزراعة الأحيومائية؛ لأنها تغذية كاملة تحتوي على التوازن الصحيح لكل من البروتينات، والكربوهيدرات، والدهون، والفيتامينات، والمعادن اللازمة للأسماك.
- البروتين هو العنصر الأكثر أهمية لبناء كتلة جسم الأسماك، فالأسماك متعددة التغذية، مثل: البُلطي، والشبوط الشائع يحتاج كل منهما إلى البروتين بنسبة حوالي (32%) في نظامها الغذائي، والأسماك آكلة اللحوم تحتاج إلى أكثر من ذلك.
- لا تتخم الأسماك بالغذاء أبدا، وقم بإزالة الطعام غير المأكول بعد (30 دقيقة)؛ للحد من مخاطر الأمونيا، أو سُمية كبريتيد الهيدروجين.
- ينبغي الحفاظ على جودة المياه؛ للحفاظ على الأسماك، ويجب أن تكون معدلات الأمونيا والنيتريت عند (0 ملغم/لتر)، حيث إنها سامة في أي المستويات التي يمكن اكتشافها، وينبغي أن تكون النترات أقل من (400 ملغم/لتر)، ومستوى الأكسيجين المذاب عند (4–8 ملغم/لتر).
- البُلطي، والشبوط، وسمك السِّلور مناسبة للغاية للزراعة الأحيومائية في المناطق الحارة أو الجافة؛ لأنها تنمو بسرعة، ويمكن لها البقاء على قيد الحياة في جودة المياه الرديئة، وفي حالات انخفاض مستويات الأكسيجين المذاب، أما سمك السلمون المرقط فإنه ينمو جيدا في الماء البارد، ولكن يحتاج إلى جودة مياه أفضل بصورة مستمرة.
- ينبغي رصد صحة الأسماك يوميا، وينبغي التقليل من مسببات الإجهاد، وينبغي الحذر من تغير جودة المياه، والاكتظاظ، والاضطراب البدني، والتي قد تؤدي إلى تفشي الأمراض.
- شذوذ السلوك أو تغيرات في السلوك البدني يمكن أن يشير إلى الإجهاد، وتغير جودة المياه، والطفيليات، أو المرض، وهنا ينبغي تخصيص وقت للملاحظة ورصد سلوك الأسماك؛ للتعرف على الأعراض في وقت مبكر وتقديم العلاج المناسب.

8. الإدارة واستكشاف الأخطاء وإصلاحها

ركزت الفصول السابقة على أهمية البكتيريا؛ لضمان نمو جيد لكل من النباتات والأسماك، وعلى العوامل الرئيسة عند بناء الوحدات المختلفة من الزراعة الأحيومائية، وكيفية الرعاية بشكل صحيح لكل من الأسماك والنباتات في وحدة الزراعة الأحيومائية الواحدة. ويلخص هذا الفصلُ المبادئ والقواعد الرئيسة لتوفير مرجع لنسبة الأسماك المثلى إلى النباتات، ونظام التغذية، وحجم المرشح الحيوي. في حين أن القسم الثاني من هذا الفصل سيسرد جميع مراحل الإدارة المهمة ابتداء من التفكير في إنشاء وحدة وحتى إدارة الإنتاج على مدار موسم النمو بأكمله. كما يتضمن مناقشة متعمقة فيما يتعلق بإدارة الأسماك والنباتات في أول ثلاثة أشهر من الإنتاج. وأخيرا فإن هذا الفصل سيحدد قوائم المراجعة العملية بشكل يومي وأسبوعي وشهري؛ لإدارة الوحدة خلال موسم النمو، وسيبين ما الذي يمكن فعله إذا طرأت مشاكل.

1.8 حسابات المكونات والنسب

تحتاج أنظمة الزراعة الأحيومائية إلى أن تكون متوازنة بصفة دائمة. ولذا فلابد من توافر العناصر الغذائية الكافية للنباتات، والنباتات لابد لها من أن ترشح المياه للأسماك، وكذلك المرشح الحيوي يحتاج إلى أن يكون كبيرا بما يكفي لمعالجة كافة مخلفات الأسماك. وهناك حاجة إلى كميات كافية من المياه؛ لتدوير هذا النظام. ويمكن لهذا التوازن أن يكون معضلة نوعا ما لتحقيقه في النظام الجديد، وبالتالي فإن هذا القسم سيوفر الحسابات المفيدة لتقدير أحجام مكونات النظام.

1.1.8 منطقة نمو النباتات، وكمية أعلاف الأسماك، وكمية الأسماك

الطريقة الأكثر نجاحا لتحقيق التوازن في نظام الزراعة الأحيومائية هي استخدام نسبة معدل التغذية التي تم وصفها في القسم (4.1.2). إن هذه النسبة هي الحساب الأهم للزراعة الأحيومائية، وفي ظلها فإن الأسماك والنباتات يمكن لها أن تزدهر في تناغم تام داخل النظام الإيكولوجي للزراعة الأحيومائية. وتقدر هذه النسبة كمية أعلاف الأسماك التي ينبغي أن تضاف كل يوم إلى النظام، ويتم حساب ذلك على أساس المساحة المتاحة لنمو النباتات. كما أن هذه النسبة تعتمد على نوع النبات الذي يُزرع، وتتطلب الخضراوات الثمرية كمية أعلى من العناصر الغذائية من الخضر الورقية بمقدار الثلث؛ لدعم الزهور، وتطوير الثمار. ونوع العلف كذلك يؤثر على نسبة معدل التغذية. وجميع الحسابات المقدمة هنا تفترض استخدام أعلاف الأسماك القياسية المصنعة بنسبة بروتين 32 في المائة.

النباتات الورقية الخضراء	الخضراوات الثمرية
40–50 غراما من أعلاف الأسماك لكل متر مربع يوميا	50–80 غراما من أعلاف الأسماك لكل متر مربع يوميا

والخطوة الأولى الموصى بها في الحساب لتحديد عدد النباتات المطلوبة هي أن المتوسط للنباتات التي يمكن زراعتها في كثافة الزرع المبينة أدناه (الشكل 1.8). وهذه الأرقام هي متوسطات فقط، والعديد من المتغيرات موجودة تبعا لنوع النباتات وحجم الحصاد، وبالتالي يجب أن تستخدم فقط بمثابة مبادئ توجيهية.

النباتات الورقية الخضراء	الخضراوات الثمرية
20–25 نبتة في المتر المربع	4–8 نبتة في المتر المربع

وعندما يتم الانتهاء من اختيار العدد المطلوب من النباتات، فمن الممكن بعد ذلك تحديد مساحة المنطقة الخاصة بزراعة النباتات، وبالتالي فإنه يمكن حساب كمية غذاء الأسماك اليومية التي ينبغي أن تضاف إلى النظام.

وعندما يتم الانتهاء من احتساب مساحة منطقة زراعة النباتات وتقدير غذاء الأسماك، فمن الممكن تحديد الكتلة الحيوية من الأسماك اللازمة لأكل غذاء الأسماك الذي تم تقديره. وللأسماك المختلفة الحجم

الشكل 1.8
نبات الخس تمت زراعته بكثافة عالية في سرير وسائط النمو (1م^2)

متطلبات تغذوية مختلفة ونظام تغذوي مختلف أيضا، وهذا يعني أن العديد من الأسماك الصغيرة تأكل كمية أقل من الأسماك الكبيرة. ومن حيث تحقيق التوازن في وحدة الزراعة الأحيومائية، فإن العدد الفعلي للأسماك ليس مهما بقدر إجمالي الكتلة الحيوية من الأسماك في الخزان. وفي المتوسط للأنواع التي نوقشت في القسم (4.7)، فإن الأسماك تستهلك من 1–2 في المائة من وزن الجسم يوميا خلال مرحلة التسمين. وهذا يفترض أن الأسماك هي أكبر من 50 غراما، حيث أن الأسماك الصغيرة تأكل أكثر من الأسماك الكبيرة، كنسبة مئوية من وزن الجسم.

معدل تغذية الأسماك
1–2% من مجموع وزن الجسم يوميا

يوضح المثال التالي كيفية إجراء هذه المجموعة من الحسابات، ومن أجل إنتاج (25) حزمة من الخس في الأسبوع، يجب أن يكون لدى نظام الزراعة الأحيومائية (10–20) كغم من الأسماك، تتغذى على (200) غرام من العلف يوميا، وتكون مساحة منطقة زراعة النباتات (4 م^2).
الحسابات هي كما يلي:

يتطلب الخس 4 أسابيع لينمو مرة واحدة بعدما يتم زرع الشتلات في النظام، ويتم حصاد 25 حزمة في الأسبوع، لذلك:

25 حزمة/أسبوع × 4 أسابيع = 100 حزمة في النظام

وتتطلب كل 25 حزمة من الخس 1 م^2 من مساحة الزراعة، لذلك:

$$100 \text{ حزمة} \times \frac{1 \text{ م}^2}{25 \text{ حزمة}} = 4 \text{ م}^2$$

كل متر مربع واحد من المساحة المزروعة يتطلب 50 غراما من أعلاف الأسماك يوميا، لذلك:

$$4 \text{ م}^2 \times \frac{50 \text{ غرام علف/يوم}}{1 \text{ م}^2} = 200 \text{ غرام علف/يوم}$$

السمك (الكتلة الحيوية) في النظام تأكل 1–2% من وزن الجسم في اليوم الواحد؛ وبالتالي:

$$200 \text{ غرام علف/يوم} \times \frac{100 \text{ غرام سمك}}{1–2 \text{ غرام علف/يوم}} = 10–20 \text{ كغم من كتلة الأسماك}$$

وعلى الرغم من أنه أمر مفيد للغاية، فنسبة التغذية هذه في الحقيقة ما هي سوى دليل، ولاسيما بالنسبة للوحدات ذات النطاق الصغير. وهناك العديد من المتغيرات لها صلة بهذه النسبة، بما في ذلك حجم الأسماك ونوعها، ودرجة حرارة الماء، ومحتوى البروتين في الأعلاف؛ وحاجة النباتات من العناصر الغذائية، والتي قد تتغير بشكل كبير خلال موسم النمو. إن هذه التغييرات قد تتطلب من المزارع ضبط معدل التغذية، كما أن إختبار النتروجين في المياه يساعد على تحديد ما إذا كان لا يزال النظام في حالة توازن. وإذا كانت مستويات النترات منخفضة جدا (أقل من 5 ملغم/لتر)، قم بزيادة معدل التغذية في اليوم ببطء من دون إتخام الأسماك، وإذا كانت مستويات النترات في حالة مستقرة، فقد يكون هناك نقصٌ في العناصر الغذائية والمكملات الأخرى خاصة الكالسيوم والبوتاسيوم والحديد. أما إذا كانت مستويات النترات تتزايد فسيكون من الضروري تغيير الماء بين الحين والآخر، وبالأخص عندما ترتفع النترات فوق (150 ملغم/لتر). وتشير زيادة مستويات النترات إلى أن تركيز العناصر الغذائية الضرورية الأخرى كافية.

2.1.8 حجم المياه

يعتبر حجم المياه العنصر الأكثر أهمية بالنسبة لجوانب تربية الأحياء المائية والزراعة الأحيومائية. والكثافات المختلفة تؤثر على نمو الأسماك وصحتها، وهي واحدة من الأسباب الجذرية الأكثر شيوعا لإجهاد الأسماك، ولكن مع ذلك فإن حجم المياه الكلي لا يؤثر على عنصر الزراعة المائية، إلا أنه عند وجود كميات كبيرة من المياه فإنها تأخذ المزيد من الوقت لتجميع العناصر الغذائية المثلى وتركيزها خلال التدوير الأولي. وكميات المياه الكبيرة تساعد على التخفيف من التغيرات في جودة المياه، ولكن قد تخفي المشاكل لفترة أطول. أما طريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، فحجم مياهها الكلي يكون دائما أعلى من الذي تتوفر عليه طريقة غشاء المغذيات (NFT) أو سرير وسائط النمو. والحد الأقصى لكثافة التخزين الموصى بها هي 20 كغم من الأسماك لكل 1000 لتر من الماء (حوض الأسماك)، كما أن الوحدات التي على نطاق صغير والتي تم وصفها في هذا الدليل، فتتوفر على نحو 1000 لتر من الماء، ويجب أن تحتوي على (10–20 كغم) من الأسماك، والكثافات الأعلى تتطلب تقنيات تهوية متطورة أكثر؛ للحفاظ على مستويات مستقرة من الأكسيجين المذاب للأسماك. ويكون كذلك نظام الترشيح أكثر تعقيدا للتعامل مع المخلفات الصلبة. ويُنصح مزارعو الزراعة الأحيومائية الجدد بشدة بأن لا تتجاوز كثافة التخزين (20 كغم لكل 1000 لتر)، خصوصا عندما تكون إمدادات الكهرباء ليست مضمونة؛ لأن انقطاعا قصيرا للكهرباء يمكن أن يقتل كل الأسماك في غضون ساعة عند الكثافات العالية للغاية. وتنطبق أسس كثافة التخزين نفسها هذه على أي خزان بحجم أكبر من (500 لتر). وببساطة يجب إستخدام هذه النسبة لحساب الحد الأقصى لكثافة التخزين لحجم معين من الماء، وإذا كان الخزان أصغر من (500 لتر)، ينبغي التقليل من كثافة التخزين إلى النصف أو (1 كغم لكل 100 لتر)، على الرغم من أنه من غير المستحسن أن تربى الأسماك لغرض الاستهلاك في خزان أصغر من (500 لتر). علما بأن متوسط وزن البُلطي يبلغ (500 غراما) عند حجم الحصاد و(50 غراما) عند حجم التخزين الأولي في الوحدة.

كثافة تخزين الأسماك
10–20 كغم من الأسماك لكل 1000 لتر من الماء

3.1.8 متطلبات الترشيح – المرشح الحيوي والفاصل الميكانيكي

يتم تحديد كمية الترشيح الحيوي الضرورية في الزراعة الأحيومائية بواسطة مقدار العلف الداخل إلى النظام يوميا. والاعتبار الرئيس في هذا الشأن هو نوع مادة وسائط الترشيح الحيوي ومساحة السطح المتوافرة لدى الوسيط. ويجب الأخذ كقاعدة، كلما كانت المساحة أكبر كانت المستعمرة البكتيرية أكبر، وبالتالي فإن هذا يؤدي إلى تحويل الأمونيا إلى نترات بصورة أسرع. وتم تقديم نسبتين: الأولى للحصى البُركاني الموجودة في سرير وسائط النمو، والثانية للكريات الحيوية (Bioballs®) المستخدمة في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك الوحدات التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC). وينبغي النظر في هذه الحسابات على أنها الحد الأدنى، والترشيح الحيوي الزائد لا يضر بالنظام بل يجعل النظام أكثر مرونة ضد الأمونيا ونوبات ارتفاع النتريت. ويجب أن تكون المرشحات الحيوية فوق الحجم المطلوب في حالة الاشتباه في أن درجات الحرارة المنخفضة يمكن أن تؤثر على النشاط البكتيري. ويحتوي الملحق 4 على مزيد من المعلومات حول أحجام المرشحات الحيوية وحساب السعة المطلوبة.

مادة الترشيح	المساحة السطحية النوعية ($م^2/م^3$)	الحجم المطلوب (لتر/غرام من العلف)
الحصى البركاني	300	1
الكريات الحيوية (Bioballs ®)	600	0,5

يجب أن يُوضع حجم الفاصل الميكانيكي بناء على حجم المياه. كما ينبغي أن يكون حجم الفاصل الميكانيكي (10–30%) من حجم خزان الأسماك. والحاجة لوجود المرشحات الميكانيكية مهمة لكل من الأنظمة التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك تلك التي تعمل بطريقة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)، وكذلك الأنظمة التي تعمل بأسرة وسائط النمو مع كثافات عالية (> 20 كغم/1000 لتر).

4.1.8 ملخص حسابات المكون

- إن توافر نسبة معدل التغذية وسيلة مهمة لتحقيق التوازن بين مكونات نظام الزراعة الأحيومائية، وحساب المساحة المخصصة للزراعة وغذاء الأسماك، والكتلة الحيوية للأسماك.
- نسبة معدل التغذية للزراعة الأحيومائية، هي:
  - 40–50 غراما من العلف اليومي للمتر المربع الواحد (الخضر الورقية).
  - 50–80 غراما من العلف اليومي للمتر المربع الواحد (الخضراوات المثمرة).
- معدل تغذية الأسماك (1–2%) من وزن جسم الأسماك يوميا.
- كثافة تخزين الأسماك (10–20) كغم/1000 لتر.
- حجم المرشح الحيوي:
  - لتر واحد لكل غرام من العلف اليومي (صخر ناري في سرير وسائط النمو).
  - نصف لتر لكل غرام من العلف اليومي (الكريات الحيوية (Bioballs®)) في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، وكذلك للوحدات التي تعمل بطريقة المياه العميقة (DWC).

ويلخص الجدول (1.8)، الأرقام والنسب الرئيسة لتصميم سرير وسائط النمو على نطاق صغير، ووحدات غشاء المغذيات، وكذلك وحدات المياه العميقة (DWC). ومن المهم أن ندرك أن هذه الأرقام توجيهية، حيث إن بعض العوامل الخارجية (مثل الظروف المناخية، والحصول على إمدادات ثابتة من الكهرباء) قد تغير التصميم على أرض الواقع؛ لذا يُرجى ملاحظة الحواشي أسفل الجدول فهي تشرح الأرقام ومدى انطباق كل عمود على طريقة الزراعة الأحيومائية.

الجدول 1.8

دليل تصميم النظام العملي لوحدات الزراعة الأحيومائية على نطاق صغير

حجم الخزان (لتر)	كتلة الأسماك القصوى[1] (كغم)	معدل التغذية[2] (غرام/يوم)	معدل تدفق المضخة (لتر/ساعة)	سعة المرشح[3] (لتر)	حجم وسائط المرشح الحيوي الدنيا[4] (لتر)		مساحة زراعة النباتات[5] (م^2)
					الطف البركاني	الكريات الحيوية (Bioballs ®)	
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1200	50–20	100	50	2
1000	20	200	2000	200–100	200	100	4
1500	30	300	2500	300–200	300	150	6
2000	40	400	3200	400–300	400	200	8
3000	60	600	4500	500–400	600	300	12

ملحوظات:

1. تستند كثافة الأسماك الموصى بها على كثافة التخزين القصوى من (20 كغم/ 1000 لتر)، والكثافات المرتفعة ممكنة مع مزيد من التهوية والترشيح الميكانيكي، ولكن هذا لا ينصح به للمبتدئين.
2. معدل التغذية الموصى به هو 1% من وزن الجسم يوميا للأسماك التي أكثر من 100 غرام من كتلة الجسم، ونسبة معدل التغذية هي: (40–50 غراما/م^2) للخضر الورقية، و(50–80 غراما/م^2) للخضر المثمرة.
3. يجب أن تكون أحجام المرشحات أو العوازل الميكانيكية والمرشح الحيوي 10–30% من إجمالي حجم خزان الأسماك. وفي الواقع فإن اختيار الحاويات يعتمد على حجمها والتكلفة والتوفر، وهناك حاجة للمرشح الحيوي فقط للوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT) والوحدات التي تعمل بطريقة المياه العميقة (DWC)، والمرشحات أو العوازل الميكانيكية تطبق في الوحدات التي تعمل بطريقة غشاء المغذيات (NFT)، والوحدات التي تعمل بطريقة المياه العميقة (DWC)، والوحدات التي تعمل بأسرة وسائط النمو بكثافة تخزين أسماك أعلى من (20 كغم/1000 لتر).
4. تفترض هذه الأرقام أن البكتيريا في الظروف المثلى في كل وقت، وإن لم يكن كذلك قد تحتاج إلى إضافة وسائط الترشيح كمنطقة مقاومة لفترة معينة (الشتاء). و تم توفير قيم مختلفة لاثنين من وسائط الترشيح الحيوي الأكثر شيوعا على أساس المساحة المحددة لكل منها.
5. الأرقام هي لمساحة زراعة الخضر الورقية فقط، وتحتاج الخضراوات الثمرية لمساحة أقل قليلا.

2.8 أنظمة الزراعة الأحيومائية الجديدة والإدارة الأولية

1.2.8 بناء وإعداد الوحدة

تم تقديم تعليمات مفصلة حول الإنشاء في الملحق (8)، وعندما يتم الانتهاء من إنشاء الوحدة فقد حان الوقت لإعداد النظام للوظيفة الروتينية، وعلى الرغم من أن إدارة وحدة الزراعة الأحيومائية لا تتطلب من الوقت والجهد المقدار الكثير، فإنه من المهم أن نتذكر أن النظام الذي يعمل بشكل جيد يتطلب ما لا يقل عن (10–20) دقيقة من الصيانة كل يوم. وينبغي التأكد قبل تخزين الأسماك وزراعة الخضراوات في النظام الجديد من أن جميع المعدات تعمل بشكل صحيح، وأهم الجوانب التي يجب التحقق منها هي: مضخة المياه، ومضخة الهواء، وسخانات المياه – إن وجدت –، ومن الضروري أيضا التأكد من أن أنابيب غشاء المغذيات (NFT) وأسرة وسائط النمو ثابتة ومتوازنة أفقيا، ابتداء من تدوير المياه في النظام، والتثبت من عدم وجود تسرب أو وجود وصلات مائية غير محكمة. وفي حالة وجود أي من هذه الإخفاقات فيجب بذل الجهد الكافي لإصلاحها وتلافيها بصورة مباشرة. ويقدم القسم (3.9)، طرقا أخرى لتأمين مستويات المياه، ومنع الأحداث التي يمكن أن تؤدي إلى خسارة كارثية بسبب المياه. وعندما يتم الانتهاء من الإنشاء ينبغي تدوير المياه لمدة يومين على الأقل؛ من أجل السماح لتبدد أي كلور عالق في الماء. كما يمكن تسريع هذه العملية باستخدام التهوية العالية، وهذا ليس ضروريا عندما لا يحتوي مصدر المياه على الكلور، مثل مياه الأمطار أو المياه التي تمت تصفيتها.

إعداد وحدة سرير وسائط النمو

يجب غسل وسائط النمو (الحصى البركاني، وكريّات الطين) جيدا قبل استخدامها، ثم ملء الأسرة بالوسائط والسماح للمياه بالمرور من خلالها. وينبغي أن تكون المياه نظيفة وصافية؛ لذا ينبغي إزالة أي ترسيب – إذا كان موجودا – من خلال طرده من الأسرة بالماء. وفي حالة استخدام جهاز التوقيت الكهربائي لإغراق واستنزاف الأسرة، فمن المهم مزامنة الوقت الذي يستغرق لملء سرير النمو ومعدل تدفق المياه التي تدخل السرير. أما في حالة استخدام تقنية الشفط بالجرس (bell siphon)، فينبغي تعديل معدل تدفق المياه؛ لضمان وظيفة الشفط التلقائي، ويجب أن يكون معدل تدفق المياه كافيا لتنشيط عملية شفط المياه، ولكن ليس بقوة بحيث يمنع الشفط من التوقف.

إعداد وحدة غشاء المغذيات (NFT) ووحدة المياه العميقة (DWC)

يجب التأكد من أن المياه التي تتدفق في كل أنبوب نمو أو قناة تتدفق بالمعدل الصحيح (1–2 لتر/دقيقة) في وحدة غشاء المغذيات، وبوقت احتفاظ للماء مقداره (1–4) ساعات في وحدة الزراعة بواسطة المياه العميقة. إن معدلات التدفق العالي يكون لها تأثير سلبي على جذور النباتات، في حين أن انخفاض معدلات التدفق لا توفر العناصر الغذائية أو الأكسيجين الكافيين.

2.2.8 تدوير النظام وإنشاء المرشح الحيوي

عندما يتم التحقق من عمل المكوّن الأساس للوحدة بصفة إجرائية، ويتم تشغيل الوحدة لمدة (2–3) أيام دون أية مشاكل، فقد حان الوقت لتدوير الوحدة، تماما كما نوقش في الفصل (5). وتدوير النظام هو المصطلح الذي يصف العملية الأولية لبناء مستعمرة البكتيريا في وحدة الزراعة الأحيومائية الجديدة. وتستغرق هذه العملية عادة من ثلاثة إلى ستة أسابيع، وتنطوي على إدخال مصدر الأمونيا في الوحدة لتغذية البكتيريا الآزوتية ومساعدتها على أن تتكاثر. وقد أوجزت الخطوات المتبعة في الفصل (5)، وبالتالي فمن المهم اتباعها في كل وحدة جديدة.

أثناء عملية التدوير فإنه من الأهمية بمكان اختبار مستويات الأمونيا والنتريت والنترات كل (3–5) أيام؛ للتأكد من أن تركيزات الأمونيا غير ضارة للبكتيريا (<4 ملغم/لتر). وإذا أصبحت ضارة يصبح تغيير الماء ضروريا ومهما بصفة مستعجلة، وتكون الوحدة قد أنجزت عملية التدوير عندما تبدأ مستويات النترات في الصعود، وهبوط مستويات الأمونيا والنتريت بحيث تكون قريبة من الصفر.

3.8 الممارسات الإدارية للنباتات

يمكن زراعة الشتلات في النظام حالما يتم الكشف عن النترات. ويتوقع بأن تنمو النباتات الأولى ببطء وتظهر بعض أوجه القصور المؤقتة؛ لأن توافر العناصر الغذائية في الماء قليل مؤقتا، وبالتالي فإن الصبر مطلوب هنا، ومن المستحسن

الانتظار لفترة (3–4) أسابيع؛ للسماح للعناصر الغذائية لتتجمع. وبشكل عام تظهر أنظمة الزراعة الأحيومائية معدل نمو أقل قليلا من إنتاج التربة أو الزراعة المائية في الأسابيع الستة الأولى، ولكن مع ذلك فإنه عندما يتم الانتهاء من بناء قاعدة المغذيات الكافية داخل الوحدة (1-3 أشهر) تصبح معدلات نمو النبات (2–3) مرات أسرع مما في التربة.

1.3.8 استعراض للمبادئ التوجيهية للزراعة

اختيار النباتات

من الأفضل بدء نظام الزراعة الأحيومائية الجديد بنباتات قوية سريعة النمو مع مستوى منخفض للطلب على العناصر الغذائية، كالخضار الورقية الخضراء، مثل: خضار السلطات، أو نباتات تثبيت النتروجين، ومثل: الفاصوليا، أو البازلاء. وبعد (2–3) أشهر، يصبح النظام جاهزا للخضار المثمرة الكبيرة، والتي تتطلب قدرا أكبر من العناصر الغذائية.

المسافات بين النباتات

يمكن زراعة الشتلات باستخدام تباعد كثافة أكثر من معظم الخضراوات في التربة؛ لأنه في الزراعة الأحيومائية لا تتنافس النباتات على الماء والعناصر الغذائية، ولكن مع ذلك فإن النباتات لا تزال بحاجة إلى مساحة كافية للوصول إلى حجم النضج، وتجنب المنافسة المتبادلة للضوء، وهذا يؤدي إلى خفض جودتها للتسويق أو تفضيل النمو الخضري بدلا من الثمار. بالإضافة إلى ذلك ينبغي الأخذ في الاعتبار النظر في آثار التظليل الناتجة عن النباتات المكتملة النمو، والذي يسمح لزراعة المحاصيل المتسامحة مع الظل بجوار النباتات الأطول.

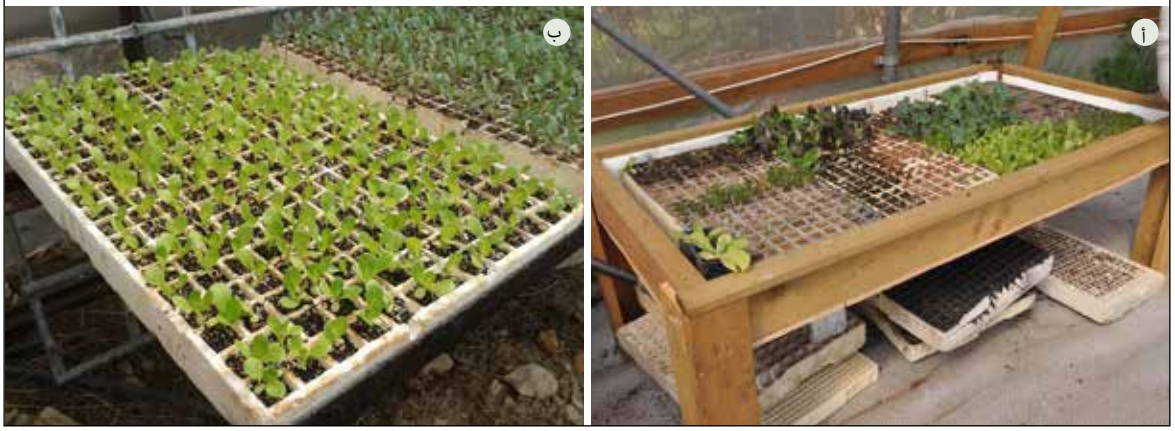
إضافة الحديد المكمل

تشهد بعضُ وحدات الزراعة الأحيومائية الجديدة قصورا في الحديد في الأشهر (2–3) الأولى من الزراعة، حيث إن الحديد مهم خلال المراحل الأولى من نمو النباتات، ولا يوفره علف الأسماك، وبالتالي قد يكون من الضروري إضافة الحديد المخلبي (chelated iron) في البداية (الحديد القابل للذوبان في شكل مسحوق) إلى الوحدة؛ لتلبية متطلبات النباتات، ويُوصى بإضافة (1–2 ملغم/لتر) خلال الثلاثة أشهر الأولى من بدء الوحدة، ومرة أخرى عندما تكون أوجه قصور الحديد موجودة. والحديد المخلبي يمكن شراؤه من الموردين الزراعيين على شكل مسحوق، أو يمكن أن يُستكمل باستخدام أسمدة آمنة للزراعة الأحيومائية أو عضوية، مثل: السماد العضوي، وشاي الأعشاب البحرية والذي يعوّض النقص في كمية الحديد. يناقش القسم (1.1.9) الأسمدة العضوية الآمنة للزراعة الأحيومائية.

2.3.8 إنشاء مشتل

تعتبر الخضراوات الإنتاج الأكثر أهمية للزراعة الأحيومائية المقامة على نطاق صغير، ومن الضروري أن تزرع الشتلات السليمة القوية فقط. وعلاوة على ذلك، فيجب أن تتجنب الأساليب الزراعية المطبقة صدمة إعادة الغرس قدر

الشكل 2.8
نموذج لحضانة نباتات (أ) وشتلات الخس (ب)



الإمكان، وهكذا فإنه يُوصى بتأسيس مشتل بسيط؛ لضمان وجود إمدادات كافية من الشتلات الصحية الجاهزة للغرس في وحدات الزراعة الأحيومائية. ومن الأفضل دائمًا أن يكون هناك فائض من النباتات؛ ليتم غرسها في النظام متى ما استدعت الحاجة ذلك، وغالبا ما يكون انتظار الشتلات هو مصدر لتأخير الإنتاج.

ولإنشاء مشتل يمكن بناء سرير حضانة بسيط باستخدام قطع الخشب الأفقية مع بطانة من البولي إيثلين، كما هو مبين في الشكل (2.8). ويتم ضخ المياه في السرير لمدة نصف ساعة كل يوم (يسيطر عليه بواسطة جهاز توقيت كهربائي بسيط)، مما يسمح للمياه والرطوبة بالتوغل في وسائط النمو، ثم يتم صرف المياه ببطء من داخل الخزان في الأسفل، وينبغي تكرار هذه الدورة يوميا من أجل منع انقطاع الماء عن الشتلات، كما أن الكثير من الرطوبة يزيد من خطر العدوى الفطرية.

توضع صواني الإنبات المصنوعة من البوليسترين في سرير الحضانة، وتملأ هذه الصواني بالتربة أو وسائط إنبات خاملة، مثل: الصوف الصخري، أو تربة الخث، أو ألياف جوز الهند، أو الفيرميكليت والبيرلايت، أو مزيج بوتينغ مع مزيج من أنواع مختلفة من وسائط النمو، ومن الممكن استخدام البدائل البسيطة لصواني الإنبات كالمواد القابلة للتدوير مثل صناديق البيض الفارغة (الشكل 3.8). وينبغي اختيار صواني الإنبات التي تسمح بمسافة كافية بين الشتلات؛ من أجل النمو الجيد دون منافسة على الضوء. والإطار (4) يسرد سبع خطوات لزرع البذور.

الشكل 3.8
صينية البيض يتم استخدامها للإنبات

الشكل 4.8
وضع البذور مباشرة في سرير وسائط النمو باستخدام القطن للاحتفاظ بالرطوبة

البذر المباشر في سرير وسائط النمو

من الممكن زرع البذور مباشرة في سرير وسائط النمو (الشكل 4.8). وفي حالة استخدام آلية الإغراق والاستنزاف (مثل الشفط بالجرس) يمكن أن يؤدي هذا إلى جرف البذور من مكان إلى آخر؛ لذلك يجب إزالة آلية الشفط عند زرع البذور في السرير، ثم إعادتها عندما تبدأ الأوراق الأولى في الظهور.

الإطار 4

سبع خطوات لزرع البذور باستخدام صواني إنبات محلية الصنع

1) ملء علبة بيض فارغة، أو صينية شتلات أخرى بوسائط النمو، مثل: السماد، أو ألياف جوز الهند.
2) زرع البذور في حفر بعمق حوالي 0,5 سم، وتغطية الثقوب بوسائط النمو المتبقية دون الضغط عليها.
3) وضع الصينية في منطقة مظللة وريّها بالماء. تذكر أن أنظمة السقي التلقائي تقلل من عدد الأيدي العاملة.
4) بعد الإنبات والنمو وبمجرد ظهور الأوراق الأولى ابدأ في زيادة تصلب الشتلات عن طريق وضعها في ضوء الشمس الشديد على نحو متزايد لبضع ساعات في اليوم.
5) قم بتسميد الشتلات مرة واحدة في الأسبوع بواسطة الأسمدة العضوية الغنية بالفوسفور؛ من أجل تعزيز جذورها (ختياري).
6) حافظ على نمو الشتلات لمدة أسبوعين على الأقل بعد ظهور الورقة الأولى؛ لضمان نمو الجذور بشكل كاف.
7) قم بزرع الشتلات في النظام عندما يتم تحقيق النمو الكافي وتكون النباتات قوية بما فيه الكفاية، ثم قم بالإفراج عن الشتلات وتربتها من الصينية باستخدام أداة حادة صغيرة.

الشكل 5.8
شتلات الخس، وتمت إزالة التربة من جذورها قبل نقلها إلى الوحدة

3.3.8 زرع الشتلات

لا يُنصح بزرع شتلات تم استنباتها في سرير من التربة، ولا ينبغي أن يتم ذلك إلا عند الضرورة القصوى، وعندما تكون هناك ضرورة قصوى ينبغي غسل وإزالة التربة من نظام الجذور بعناية ولطف، انظر الشكل (5.8)؛ لأنها قد تحمل مسببات الأمراض النباتية. وعملية الغسل هذه مرهقة جدا للشتلات، حيث يمكن أن يكون تأخير نموالشتلات قد يصل إلى 4–5 أيام، ريثما تتأقلم مع الظروف الجديدة. وبالتالي فمن الأفضل أن يتم البدء في عملية وضع البذور باستخدام وسائط إنبات خاملة كالصوف الصخري، أو الفيرميكوليت، أو ألياف جوز الهند في صواني الإنبات، كما هو موضح أعلاه. وبهذه الطريقة يمكن غرس الشتلات مع الحد الأدنى من الصدمة، ويمكن أيضا غرس النباتات الكبيرة من الأوعية، على أن تتم إزالة التربة قبل الغرس في سرير النمو. كما ينبغي تجنب الزرع في منتصف النهار؛ وذلك لأن جذور النباتات حساسة للغاية لضوء الشمس المباشر، كما يمكن للأوراق أن تواجه الإجهاد المائي؛ نتيجة لظروف النمو الجديدة. ومن المستحسن أن تتم عملية الغرس عند الغسق؛ حتى تتمكن الشتلات اليافعة خلال الليلة الأولى من التأقلم مع بيئتها الجديدة قبل شمس صباح اليوم التالي.

زراعة سرير وسائط النمو

عندما تتم الزراعة في الحصى البركاني، أو بأية وسائط نمو أخرى، كما هي موضحة في الفصل (6)، فينبغي ببساطة دفع الحصى جانبا، والقيام بحفرة كبيرة بما يكفي لاحتواء جذور النبتة (الشكل 6.8)، ثم غرس النباتات في أعلى نقطة

الشكل 6.8
إجراء نقل الشتلات إلى وحدة سرير وسائط النمو خطوة بخطوة: إزالة الشتلات من صينية الحضانة (أ)، حفر حفرة صغيرة في وسائط النمو (ب)، زراعة الشتلات (ج)، تغطية الجذور بالوسائط (د)

إغراق المياه في سرير وسائط النمو (حوالي 5–7 سم تحت سطح الحصى)؛ حتى تصبح الجذور مغموسة جزئيا في الماء، ويجب الحذر من غرس النبتة على مستوى عميق؛ فهذا من شأنه أن يسمح للماء بالاتصال بالجذع والأوراق، ويمكن أن يؤدي إلى مرض عفن منطقة التاج، (collar rot).

الزراعة بطريقة غشاء المغذيات (NFT)

تحتاج الشتلات للزراعة في أنابيب النمو إلى دعم بواسطة قطعة أنبوب قصير، أو كوب شبكي يحتوي على 3–4 سم من الحصى، أو غيره من وسائط النمو (الشكل 7.8). وينبغي أن تملأ بقية الكوب الشبكي بخليط من الحصى ووسط يحتفظ بالرطوبة، مثل: السماد، أو ألياف جوز الهند. ويجب أن يساعد الوسط على الاحتفاظ بالرطوبة؛ لأن جذور النباتات اليافعة تلمس تدفق المياه داخل أنابيب النمو، أما إذا كانت ألياف جوز الهند أو السماد غير متوافر، فحينها يُكتفى باستخدام أي وسيط آخر من وسائط النمو الشائعة. وبعد أسبوع واحد تكون الجذور قد تمددت من الكوب الشبكي إلى أنبوب النمو مع إمكانية الوصول الكامل إلى المياه المتدفقة على طول الجزء السفلي من الأنبوب، وبالإضافة إلى ذلك فيمكن تمديد الفتائل من قاع الكوب الشبكي إلى تيار الماء؛ من أجل مساعدة النبتة على امتصاص الماء إذا لزم الأمر.

الشكل 7.8

إعداد الشتلات: وسائط النمو، كوب بلاستيكي شبكي، وقطعة من أنبوب الـ PVC لمده للأعلى لوحدة تقنية غشاء المغذيات (أ)، وضع الشتلات والوسائط في الكوب الشبكي (ب)، إدراج الكوب الشبكي في أنبوب النمو (ج)

الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC)

وعلى غرار الزراعة في نظم غشاء المغذيات (NFT) فإن في أنظمة المياه العميقة (DWC) تحتاج النبتة إلى دعم باستخدام كوب شبكي صغير مليئ بوسط خامل بعمق 3–4 سم (الشكل 8.8). وعندما يتم دعم الشتلات على نحو كاف يفترض وضعها في واحدة من الفتحات في صفيحة البوليستيرين الطافية (الطوافة العائمة) على سطح الماء، وينبغي للجزء السفلي من الكوب الشبكي أن يلمس مستوى المياه داخل الخزان.

الشكل 8.8

إعداد الشتلات: وسائط النمو، كوب بلاستيكي شبكي لوحدة تقنية المياه العميقة (أ)، وضع الشتلات والوسائط في الكوب الشبكي (ب)، إدراج الكوب الشبكي في الطوافة العائمة (ج)

4.3.8 حصاد النباتات

ينبغي أن تكون الخضار الورقية الخضراء جاهزة للحصاد خلال مدة تتراوح بين شهر إلى شهرين. وبعد ثلاثة أشهر ينبغي أن يكون لدى الوحدة ما يكفي من قاعدة العناصر الغذائية؛ للبدء في زراعة الخضراوات الثمرية الكبيرة أيضا. والنقاط التالية تعطي تفاصيل الخطوط التوجيهية النهائية لزراعة النباتات بعد فترة الثلاثة أشهر الأولى.

الزراعة والحصاد المتداخلان

وكما نوقش في الفصل (6)، ينبغي زرع النباتات بشكل متداخل عبر الوقت؛ من أجل تلافي حصاد المحصول كله دفعة واحدة. وإذا كان لهذا أن يحدث فإن مستويات العناصر الغذائية ستقل قبل الحصاد، والتي قد تخلق مشاكل غذائية للنباتات، وصدمة بعد الحصاد، وهذا من شأنه إجهاد الأسماك. بالإضافة إلى أن الزراعة المتداخلة تسمح بحصاد وزراعة مستمرين للخضراوات، وتضمن امتصاص مستمر للعناصر الغذائية وتنقية المياه.

الشكل 9.8
يتم إزالة النبتة كاملة بالجذور خلال عملية الحصاد

نهج الحصاد

عندما يتم حصاد النباتات كاملة من سرير وسائط النمو كالخس مثلا، تأكد من أن الجذر بأكمله قد تمت إزالته من النظام، ثم قم بهز وإزالة الحصى المتماسك ما بين الجذور، وضع الحصى مرة أخرى في سرير وسائط النمو، وفي أنابيب غشاء المغذيات (NFT) وقنوات المياه العميقة (DWC) وتأكد من إزالة نظام الجذر كله (الشكل 9.8). وقم أيضا بوضع جذور النباتات المهملة في حاوية صناعة السماد؛ لإعادة تدوير المخلفات النباتية. وإن ترك الجذور والأوراق في النظام تساعد على تشجيع تنشئة الأمراض. وعند حصاد الخضراوات استخدم سكينا حادة نظيفة، ولمنع أي تلوث بكتيري تأكد من أن مياه الزراعة الأحيومائية لا ترطب الأوراق، وقم بوضع النباتات التي تُحصد في كيس نظيفة، واغسل واحفظ المحاصيل باردة في أقرب وقت ممكن؛ للحفاظ على نضارتها.

5.3.8 إدارة النباتات في النظم الناضجة

استقرار الرقم الهيدروجيني (pH)

من الأهمية بمكان للنمو الجيد للنباتات الحفاظ على درجة حموضة الماء (pH) ما بين (6–7)؛ حتى تتمكن النباتات من الحصول على جميع العناصر الغذائية المتوافرة في المياه؛ ولذا يحسن إضافة كميّات قليلة من المواد القاعدية أو المقاومة لتغير الحموضة كلما اقتربت درجة الحموضة من (6,0)؛ وذلك من أجل الحفاظ على مستويات الحموضة المثلى كما هو موضح في القسم (6.3). ثم أضف مياه الأمطار أو قم بتصحيح حموضة أي مياه قلوية بالحمض فقط إذا كان مستوى صلابة المياه في نظام الزراعة الأحيومائية مرتفعا جدا؛ لمنع البكتيريا الآزوتية من خفض درجة الحموضة بشكل طبيعي إلى المستويات المثلى. وبعدها قم بعلاج الماء بالحمض خارج نظام الزراعة الأحيومائية، وصبَّ الماء في النظام بعد التحقق من الرقم الهيدروجيني.

الأسمدة العضوية

إذا حدثت أية عيوب للنباتات فمن الضروري إضافة العناصر الغذائية الخارجية، ويمكن استخدام الأسمدة العضوية السائلة إما بالتغذية المخففة لأوراق النباتات، أو بالسكب المباشر في منطقة الجذر. وسيناقش الفصل التاسع طرق إنتاج الأسمدة البسيطة الصنع الآمنة للزراعة الأحيومائية، ويُنصح باستخدام السماد العضوي المتحلل، وأسمدة الأعشاب البحرية، وقد تمت مناقشة أوجه القصور في القسم (3.2.6). وأوجه القصور هذه غالبا ما تحدث عندما يكون هناك عدد كبير جدا من النباتات مقابل عدد قليل من الأسماك، أو عند خفض التغذية خلال أشهر الشتاء، وقبل إضافة الأسمدة تحقق من الرقم الهيدروجيني؛ للتأكد من عدم وجود إغلاق أو حجب للعناصر الغذائية.

الآفات والأمراض

تأكد من محاولة منع الآفات باستخدام تقنيات الإنتاج المتكامل وإدارة الآفات التي تم مناقشتها في القسم (5.6). وإذا ما ظلت الآفات تمثل مشكلة فابدأ باستخدام تقنيات الإزالة الميكانيكية قبل النظر في الرش، وقم فقط باستخدام العلاجات الآمنة للزراعة الأحيومائية، مثل: المستخلصات النباتية، أو طارد الحشرات، أو المبيدات الحشرية الحيوية (باسيلوس العصوية والبوفيرية – *Bacillus thuringiensis* و*Beauveria bassiana*)، والصابون الناعم، والرماد، والزيوت النباتية أو عصارات من الزيوت الأساسية، والفخاخ اللزجة الملونة أو الجاذبة، والنباتات الخارجية الجاذبة التي تمت معالجتها بالمبيدات الحشرية. وامنع الرذاذ الناتج عن عملية الرش من الدخول إلى الماء.

اتبع نصيحة الزراعة الموسمية

إلى حد ما توفر وسائل الإنتاج الغذائي من الزراعة الأحيومائية وسيلة لتوسيع الزراعة الموسمية، خاصة إذا تم إيواء الوحدة داخل البيت المحمي، ومع ذلك فإنه لا يزال يُوصى بشدة بتنفيذ نصيحة الزراعة الموسمية المحلية. والنباتات تنمو أفضل في الموسم والظروف البيئية التي يتم تكييفها فيها.

6.3.8 النباتات – ملخص

- استخدم النباتات التي تتطلب العناصر الغذائية المنخفضة في الأشهر القليلة الأولى، مثل: الخس، أو الفول، أو البازلاء.
- النباتات التي تتطلب العناصر الغذائية العالية يمكن زراعتها بعد الأشهر 3–6 الأولى.
- استخدم النباتات الموصى بها للزراعة الأحيومائية، وتابع دليل الزراعة الموسمية للموقع.
- قم بإنشاء مشتل؛ لضمان أعداد كافية من الشتلات السليمة.
- قم بزراعة الشتلات التي نمت بشكل كاف، والشتلات القوية التي لها نظام جذور متطورة.
- قم بإزالة الركيزة الزائدة أو وسط الإنبات من الجذور قبل الزراعة في النظام بلطف.
- اترك مسافات تباعد كافية بين النباتات وفقا لحجمها عندما تنضج.
- خطط لنظام الحصاد المتداخل.
- قد تكون الأسمدة العضوية ضرورية في حالة حدوث القصور.
- الحفاظ على جودة المياه المناسبة، وخاصة الرقم الهيدروجيني (6–7).

4.8 الممارسات الإدارية للأسماك

إضافة الأسماك إلى وحدة الزراعة الأحيومائية الجديدة هو حدث مهم؛ ولذا فمن الأفضل الانتظار حتى اكتمال عملية تدوير الماء الأولية تماما، والتأكد من عمل المرشح الحيوي بشكل كامل. ومن الناحية المثالية فإن الأمونيا والنتريت والنترات عند مستوى الصفر في هذه المرحلة، ومن ثم تبدأ في الارتفاع شيئا فشيئا، وعندها سيكون هذا هو الوقت الأكثر أمانا لإضافة الأسماك. وإذا تقرر إضافة الأسماك قبل تدوير الماء فيفضل خفض عدد الأسماك المضافة؛ لأن هذه الظروف ستكون مرهقة جدا للأسماك، ويمكن أن يكون تغيير المياه في هذه المرحلة أمرا ضروريا، كما قد يتطلبُ تدوير النظام مع وجود الأسماك فيه وقتا أطول من تدوير النظام بدون الأسماك، وهنا يُنصح بأن تكون الأسماك متأقلمة بشكل صحيح في الماء الجديد؛ ولذا يجب التأكد من تطابق درجة الحرارة ودرجة الحموضة، وينبغي الحرص على إحداث عملية تأقلم الأسماك ببطء كما هو موضح في القسم (5.7). كما ينبغي التثبت عند شراء الإصبعيات من مفرخ محلي من أن الأسماك بصحّة جيدة، والتحقق جيدا من عدم وجود أية مؤشرات أو علامات دالة على الأمراض.

1.4.8 معدلات التغذية والنمو لدى الأسماك

تنطبق طريقة حساب أعلاف الأسماك باستخدام نسبة معدل التغذية عند نضج النظم خلال مرحلة تسمين الأسماك، وهذا يحتاج إلى مزيد من الاهتمام، وباستخدام المثال نفسه من القسم (1.1.8) فإن الكتلة الحيوية المستهدفة لخزان سعته (1000 لتر) هي (10–20 كغم). وهذا من شأنه أن يعطي حوالي (40) بُلطيا في حجم الحصاد، ولكن ومع ذلك فخلال أول (2–3) أشهر تكون الأسماك صغيرة ولا تأكل بقدر ما تم احتسابه (200 غراما) من العلف في اليوم؛

لتوريد العناصر الغذائية لسرير النمو كله. وبشكل أكثر تحديدا تزن إصبعيات الأسماك المخزنة حديثا حوالي 50 غراما، كما يمكن تغذية صغار الأسماك بحوالي 3% من وزن الجسم يوميا؛ ولذلك فإن التخزين الأولي يكون ب 40 أصبعية تزن كلها 2000 غراما، وتستهلك ما يقرب من 60 غراما من أعلاف الأسماك يوميا.

إن كثافة التخزين الأولية المنخفضة هي ممارسة جيدة لأنظمة الزراعة الأحيومائية غير الناضجة؛ لأنها تُعطي المرشح الحيوي وقتا إضافيا للتطور مما يُعطي النباتات الوقت الأمثل كي تنمو وتصفّي المزيد من النترات، ويُوصى هنا بتقدير التغذية على أساس وزن الجسم، على أن ترصد سلوك التغذية بدقة وتضبط حصص الغذاء وفقا لذلك. وبينما تنمو الأسماك فإنها تبدأ في تناول المزيد من الطعام، وتأسيسا على ذلك فمن المستحسن توفير نظام غذائي غني نسبيا بالبروتين لصغار الأسماك، وإذا توافرت أصنافٌ متنوعة من الغذاء فبعد حوالي شهرين إلى ثلاثة أشهر من التغذية بهذا المعدل، ستكون كل سمكة من الأسماك الأربعين قد نمت من (80–100 غراما) وتزن ما مجموعه (3200–4000 غراما)، علما بأن الأسماك في هذه المرحلة يفترض فيها أن تكون قادرة على تناول كمية من (80–100 غراما) من العلف يوميا. وهذه الكمية لا تزال فقط نصف تلك الكمية التي تم احتسابها على أساس نسبة معدل التغذية في المثال السابق. في حين ينبغي الاستمرار في تغذية الأسماك بقدر ما ستأكل، وينبغي أيضا زيادة الحصة ببطء؛ لمنع إهدار الغذاء. وفي غضون بضعة أشهر أخرى ستصل كل سمكة إلى (500 غراما) وبكتلة حيوية إجمالية قدرها (20000 غراما)، وستأكل (200 غراما) من أعلاف الأسماك في اليوم الواحد. ويستغرق البُلطي الذي يُربى في نوعية مياه جيدة وفي درجة حرارة (25°م) حوالي (6–8) أشهر لينمو من حجم تخزين أولي مقداره (50 غراما) إلى حجم الحصاد (500 غراما). وهنا ينبغي التأكد من تقسيم حصص التغذية على فترتين في الصباح وبعد الظهر. وعلاوة على ذلك، ستستفيد صغار الأسماك من التغذية الإضافية وقت الغداء، كما ينبغي مراعاة تقسيم حصص الغذاء على أساس صحي للأسماك، وكذلك للنباتات، وينبغي أيضا مراعاة التوزيع المتوازن للعناصر الغذائية طوال اليوم؛ ولذا يحسن نشر الغذاء على كل سطح الماء؛ حتى يتسنّى لجميع الأسماك أن تأكل دون أن تصيب إحداها الأخريات، أو تصطدم بجانب الخزان، ومما يُنصح به هنا تجنب تخويف الأسماك أثناء التغذية بالامتناع عن الحركات المفاجئة، كمحاولة الوقوف بدون حركة ومراقبة الأسماك دائما، ثم إزالة أي طعام غير مأكول بعد (30) دقيقة، واضبط حصة التغذية المقبلة وفقا لذلك. أما إذا لم يتبقَ أي طعام بعد (30) دقيقة فقم بزيادة كمية الحصص، وإذا تبقى شيء من الغذاء فقم بخفض كمية الحصص مستقبلا. وهنا يمكن ملاحظة مؤشر رئيس لصحة الأسماك وهو الشهية الجيدة؛ ولذلك فمن المهم ملاحظة سلوك التغذية العامة، وإذا ما انخفضت شهية الأسماك، أو إذا ما توقفت عن الأكل تماما فهذا دلالة كبيرة على أن هناك خطأ في الوحدة (على الأرجح جودة المياه)، وعلاوة على ذلك ترتبط شهية الأسماك مباشرة بدرجة حرارة الماء، لا سيما بالنسبة للأسماك الاستوائية كالبُلطي مثلا؛ لذلك تذكر أن تضبط أو حتى توقف التغذية خلال أشهر الشتاء الباردة.

2.4.8 الحصاد والتخزين المتداخل

تضمن الكتلة الحيوية الثابتة من الأسماك في الخزانات، إمدادات ثابتة من العناصر الغذائية للنباتات. وهذا يضمن أن الأسماك تأكل كمية من العلف تم حسابها باستخدام نسبة معدل التغذية، ويوضح المثال السابق كيف تتوقف حصة التغذية على حجم الأسماك. والأسماك الصغيرة لا تكون قادرة على تناول الغذاء بما يكفي لتزويد منطقة الزراعة بالعناصر الغذائية المكتملة الكافية. ولتحقيق الكتلة الحيوية الثابتة في خزانات الأسماك، ينبغي اعتماد طريقة التخزين المتداخلة. وتتضمن هذه التقنية الحفاظ على ثلاث فئات عمرية أو أفواج داخل نفس الخزان، ويتم حصاد الأسماك الناضجة كل ثلاثة أشهر تقريبا (500 غراما لكل سمكة) وإعادة التخزين فورا بالإصبعيات الجديدة (50 غراما لكل إصبعية)، ويتجنب هذا الأسلوب حصاد جميع الأسماك دفعة واحدة، وبدلا من ذلك يحتفظ بكتلة حيوية أكثر اتساقا.

ويبين الجدول (2.8) معدلات النمو المحتملة للبُلطي في خزان واحد أكثر من سنة باستخدام طريقة تخزين متداخلة. إن الجانب المهم من هذا الجدول هو أن مجموع وزن الأسماك يتراوح بين (10–25 كغم) بمتوسط كتلة حيوية مقدارها (17 كغم). كما أن هذا الجدول هو المبدأ التوجيهي الأساسي، ويوضح الظروف المثلى لنمو الأسماك. وفي الواقع فإن هناك عوامل أخرى كدرجة حرارة الماء والبيئات المجهدة للأسماك التي تعمل على تغيير الأرقام الواردة هنا.

وإذا لم يكن من الممكن الحصول على الإصبعيات بانتظام، فلا يزال من الممكن أن يدار نظام الزراعة الأحيومائية بواسطة تخزين عدد أكبر من صغار الأسماك وحصادها تدريجيا خلال الموسم؛ للحفاظ على الكتلة الحيوية مستقرة لتسميد النباتات. ويبين الجدول (3.8) حالة وجود نظام يتم فيه تخزين الأسماك كل ستة أشهر بإصبعيات البُلطي بوزن (50 غراما) للإصبعية الواحدة، وفي هذه الحالة يبدأ الحصاد الأول من الشهر الثالث فصاعدا. ويمكن تطبيق

الجدول 2.8

معدلات النمو المحتملة للبُلطي في خزان واحد لأكثر من عام باستخدام طريقة التخزين المقترحة

الشهر	ديسمبر/ كانون الأول	يناير/ كانون الثاني	فبراير/ شباط	مارس/ آذار	أبريل/ نيسان	مايو/ أيار	يونيو/ حزيران	يوليو/ تموز	أغسطس/ آب	سبتمبر/ أيلول	أكتوبر/ تشرين الأول	نوفمبر/ تشرين الثاني	ديسمبر/ كانون الأول
الدفعة	الوزن (كغم)												
1	1,5	3,75	6,0	8,25	10,5	12,75	*15,0						
2				1,5	3,75	6,0	8,25	10,5		*15,0			
3							1,5	3,75		8,25	10,5		*15,0
4										1,5	3,75		8,25
5													1,5
مجموع كتلة الأسماك (كغم)	1,50	3,75	6,0	9,75	14,25	18,75	24,75–9,75	14,25		24,75– 9,75	14,25		24,75– 9,75
الإجراء							وضع أسماك جديدة حصاد			وضع أسماك جديدة حصاد			وضع أسماك جديدة حصاد

ملحوظات:

إصبعيات البُلطي (1,5 كغم = 50 غراما/ سمكة × 30 سمكة) يتم تخزينها كل ثلاثة أشهر. كل الأسماك تعيش وتنمو إلى حجم الحصاد (15 كغم = 500 غراما/سمكة × 30 سمكة) في ستة أشهر. وتشير علامة النجمة إلى الحصاد، كما أن المدى خلال أشهر الحصاد/ تخزين يشير إلى المدى إذا لم يتم حصاد كل 30 سمكة في وقت واحد، أي يتم حصاد الأسماك الناضجة طوال الشهر. ويقدم الجدول دليلا نظريا فقط لتوضيح الحصاد المتداخل والتخزين في ظروف مثالية.

تخزينات بوتيرة تخزين متنوعة وبعدد من الأسماك والأوزان المختلفة، شريطة أن تكون الكتلة الحيوية للأسماك أقل من الحد الأقصى (20 كغم/م^3). وإذا كانت الأسماك مختلطة النوع فيجب أن يستهدف الحصاد أولا الإناث؛ لتجنب التكاثر عندما تصل إلى مرحلة النضج الجنسي عند سن خمسة أشهر. إن عملية التناسل ستخفض عمل المجموعة كلها. وفي حالة تخزين البُلطي مختلط الجنس، فيمكن أن تخزن الأسماك في البداية في قفص شبكي، وبعد ذلك يمكن للذكور أن تترك حرة في الخزان بعد تحديد الجنس.

تذكر جيدا أن كبار أسماك البُلطي، وأسماك السّلور، وأسماك السّلمون المرقط ستفترس الأسماك الأصغر في حالة تخزينها معا. وهناك تقنية للحفاظ على كل هذه الأسماك بأمان في خزان الأسماك نفسه، ألا وهي عزل الأسماك الأصغر في إطارات عائمة. إن هذه الإطارات هي في الأساس قفصٌ عائم، يمكن إنشاؤه على شكل مكعب من الأنابيب البلاستيكية تستخدم كإطار، ويتم تغطيتها بشبكة بلاستيكية، ومن المهم التأكد من أن الأسماك الكبيرة لا يمكن أن

الجدول 3.8

معدلات النمو المحتملة للبُلطي في خزان واحد لأكثر من عام باستخدام تقنية الحصاد التقدمية

الشهر	ديسمبر/ كانون الأول	يناير/ كانون الثاني	فبراير/ شباط	مارس/ آذار	أبريل/ نيسان	مايو/ أيار	يونيو/ حزيران	يوليو/ تموز	أغسطس/ آب	سبتمبر/ أيلول	أكتوبر/ تشرين الأول	نوفمبر/ تشرين الثاني	ديسمبر/ كانون الأول
المرحلة الأولى للتخزين													
عدد الأسماك في الخزان	80	80	70	60	50	40	30	10					
وزن السمكة (غرام)	50	125	200	275	350	425	500	575					
كتلة المجموعة (كغم)	4	10	14	17	18	17	15	5,8					
المرحلة الثانية للتخزين													
عدد الأسماك في الخزان							80	80	70	60	50	40	30
وزن السمكة (غرام)							50	125	200	275	350	425	500
كتلة المجموعة (كغم)							4	10	14	17	18	17	15
الكتلة الكلية في الخزان (كغم)	4	10	14	17	18	17	19	15,8	14	17	18	17	15

ملحوظات:

يتم تخزين إصبعيات البُلطي كل ستة أشهر. يبدأ الحصاد المتداخل من الشهر الثالث؛ للحفاظ على الأسماك الإجمالية أقل من الحد الأقصى للكتلة الحيوية للتخزين وهي (20 كغم/م^3)، ويبين الجدول الوزن النظري لكل دفعة من الأسماك التي تحصد على مدار العام إذا تم تربية الأسماك في ظروف مثالية.

تدخل في القفص العائم من الأعلى؛ لذلك تأكد من أن جوانب القفص ممتدة بما لا يقل عن 15 سم فوق مستوى المياه، وهذه وسيلة فاعلة لإبقاء كل الفئات المعرضة للافتراس منفصلة وحرة في الإطارات العائمة في حوض الأسماك الرئيس. وعندما تنمو الأسماك الصغيرة بما يكفي، يمكن نقلها إلى الخزان الرئيس، وبهذا الأسلوب فمن الممكن الحصول على ما يصل إلى ثلاثة أوزان مختلفة من الأسماك للتخزين في خزان واحد؛ ولذلك فمن المهم أن تؤكل أعلاف الأسماك من قبل جميع الأحجام من الأسماك، والأسماك التي في القفص لها أيضا ميزة أخرى وهي إمكانية رصدها عن كثب؛ لتحديد معدل التغذية عن طريق قياس الوزن وزيادة الوزن من العلف عبر الوقت.

3.4.8 الأسماك – ملخص

- لا تقم بإضافة الأسماك إلا بعد اكتمال عملية التدوير، إذا انطبق هذا على النظام الذي لديك.
- قم بتغذية الأسماك بقدر ما تأكل في 30 دقيقة مرتين يوميا، وأزل الغذاء غير المأكول دائما بعد 30 دقيقة، وسجل كمية الغذاء التي يتم إضافتها، ثم قم بتحقيق التوازن في معدل التغذية مع عدد النباتات باستخدام نسبة معدل التغذية، ولكن تجنب الإفراط في التغذية أو التغذية الناقصة للأسماك.
- ترتبط شهية الأسماك مباشرة بدرجة حرارة الماء، وخاصة بالنسبة لأسماك البُلطي؛ لذلك تذكر أن تضبط التغذية خلال أشهر الشتاء الباردة.
- ستصل إصبعيات البُلطي التي بوزن (50 غراما) إلى حجم الحصاد (500 غراما) في (6–8) أشهر في الظروف المثلى، والتخزين المتداخل هو الأسلوب الذي ينطوي على نظام تخزين الإصبعيات الجديدة في كل مرة يتم فيها حصاد بعض الأسماك الناضجة، ويوفر وسيلة للحفاظ على الكتلة الحيوية ثابتة نسبيا، ومعدل التغذية وتركيزات العناصر الغذائية للنباتات.

5.8 ممارسات الإدارة الروتينية

فيما يلي الأنشطة اليومية والأسبوعية والشهرية التي يجب القيام بها؛ لضمان وحدة زراعة أحيومائية تعمل بشكل جيد. وينبغي وضع هذه القوائم على شكل قوائم المراجعة وتسجيلها. وبهذه الطريقة سيتمكن القائمون والمشرفون على الأنظمة من معرفة ما يجب القيام به بدقة، كما تساعد قوائم المراجعة على منع الإهمال الذي يمكن أن يحدث خلال الأنشطة الروتينية.

1.5.8 الأنشطة اليومية

- تأكد من أن مضخات الماء والهواء تعمل بشكل جيد، وقم بتنظيف مداخلها من العوائق.
- تأكد من أن المياه تتدفق حسب المعدلات والمواصفات المطلوبة.
- قم بفحص مستوى المياه، وإضافة كميات إضافية من المياه؛ لتعويض التبخر إذا لزم الأمر.
- تحقق من عدم وجود تسرّب للمياه.
- تأكد من درجة حرارة الماء لتكون حسب المعدل الطبيعي.
- قم بتغذية الأسماك (2–3 مرات في اليوم إذا أمكن)، وإزالة الغذاء غير المأكول، وضبط معدلات التغذية.
- تحقق من سلوك ومظهر الأسماك في كل عملية تغذية.
- تحقق من آفات النباتات، وقم بإدارة الآفات حسب الضرورة.
- أزل الأسماك الميتة، وأزل النباتات أو الفروع المريضة.
- أزل المواد الصلبة من المروق واشطف المرشحات.

2.5.8 الأنشطة الأسبوعية

- إجراء اختبارات جودة المياه لمعرفة درجة الحموضة (pH)، والأمونيا والنتريت والنترات قبل تغذية الأسماك.
- اضبط درجة الحموضة (pH)، حسب الضرورة.
- تحقق من النباتات وابحث عن أوجه القصور، وقم بإضافة الأسمدة العضوية حسب الضرورة.
- تخلص من مخلفات الأسماك من الجزء السفلي في خزانات الأسماك وفي المرشح الحيوي.

- قم بزرع وحصاد الخضراوات كما هو مطلوب.
- قم بحصاد الأسماك إذا لزم الأمر.
- تأكد من أن جذور النباتات لا تعرقل أي أنابيب أو تدفق للمياه.

3.5.8 الأنشطة الشهرية

- قم بتخزين الأسماك الجديدة في الخزانات إذا لزم الأمر.
- نظف المرشح الحيوي، وحوض الترسيب وجميع المرشحات.
- نظف قاع خزان الأسماك باستخدام شباك غرف الأسماك.
- زن عينة من الأسماك وتحقق بدقة من أي مرض.

6.8 السلامة في العمل

إن السلامة مهمة لكل من المشغل البشري والنظام نفسه. والجانب الأكثر خطورة في الزراعة الأحيومائية هو القرب من الكهرباء والماء؛ لذلك ينبغي اتخاذ الاحتياطات اللازمة لضمان السلامة في العمل، كما أن سلامة الأغذية أمر مهم جدا؛ لضمان عدم وجود مسببات الأمراض. وأخيرا يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة ضد إدخال مسببات الأمراض للنظام عبر البشر.

1.6.8 السلامة الكهربائية

يجب دائما استخدام جهاز المتبقية المتداولة (RCD) وهذا هو نوع من قاطع الدائرة الكهربائية الذي من شأنه قطع التيار الكهربائي عن النظام في حالة تلامس الكهرباء بالماء. والخيار الأفضل هو أن يكون هذا الجهاز مثبتا عند مجمع الكهرباء الرئيس، ويمكن الاعتماد على محولات التجمع (RCD adaptors) فهي غير مكلفة، ومتوافرة في محلات الأجهزة الكهربائية. وهذه الاحتياطات بسيطة وفي الوقت نفسه يمكن أن تنقذ الأرواح، وينبغي الحذر من تعليق الأسلاك على خزنات الأسماك أو المرشحات، وكذلك الحرص على حماية الكابلات والمقابس والمفاتيح الكهربائية من المؤثرات الخارجية، وخاصة الأمطار والمياه والرش المائي والرطوبة. ومن أجل ذلك فهناك صناديق المجمعات الكهربائية الخاصة المعزولة عن ظروف الطقس متاحة لهذه الأغراض. وتتبع جيدا سلامة الأسلاك المكشوفة، والكابلات القديمة البالية أو المعدات الخاطئة، واستبدلها حسب الاحتياج، ولا تتوانى في هذا الأمر. استخدم "حلقات التنقيط" عند الاقتضاء؛ لمنع المياه من الجريان في الأسلاك والوصول إلى المجمع الرئيس.

2.6.8 سلامة الأغذية

ينبغي اعتماد الممارسات الزراعية الجيدة (Good agricultural practices–GAPs)؛ للحد قدر الإمكان من الأمراض التي تنقلها الأغذية، والعديد منها ينطبق على الزراعة الأحيومائية. وأول وأهم شيء هو أن تكون دائما نظيفا. إن معظم الأمراض التي تصيب الإنسان من النظام هي من قبل العمال أنفسهم؛ لذا فعليك اتباع السلوكيات الصحية والممارسات السليمة التي ينصح بها في هذا الشأن، مثل: غسل اليدين، وتعقيم معدات الحصاد، وعند الحصاد لا تدع المياه تلامس المحصول، ولا تدع اليدين الرطبة أو القفازات المبللة تلامس المنتجات، وإن معظم مسببات الأمراض هي في الماء وليس على المنتجات؛ لذلك دائما اغسل المنتجات بعد الحصاد، ومرة أخرى قبل الاستهلاك. ثانيا تجنب التربة، وبراز الأسماك من دخول النظام، ولا تضع معدات الحصاد على الأرض، وقم بمنع الحشرات كالفئران مثلا من الدخول إلى النظام، وابقِ الحيوانات الأليفة والحيوانات الأخرى بعيدا عن منطقة النظام. والحيوانات ذوات الدم الحار غالبا ما تحمل الأمراض التي يمكن نقلها إلى البشر، وامنع الطيور من تلويث النظام حيثما كان ممكنا، بما في ذلك استخدام شباك الحماية والروادع الأخرى. وفي حالة استخدام مياه الأمطار المجمعة، يجب ضمان أن الطيور لا تجثم على منطقة التجميع، أو النظر في معالجة المياه قبل إضافتها إلى النظام. ويفضل أن لا يتم التعامل مع الأسماك والنباتات أو وسائط النمو بأيدي عارية، وبدلا من ذلك استخدم القفازات التي يتم استخدامها لمرة واحدة فقط.

3.6.8 السلامة العامة

في كثير من الأحيان، تعرف وحدات الزراعة الأحيومائية والمزارع والحدائق بشكل عام مخاطر عامة أخرى يمكن تجنبها بواسطة الاحتياطات البسيطة. تجنب ترك أسلاك الكهرباء وخطوط أنابيب الهواء في الممرات؛ لأنها يمكن أن تشكل خطرا على المارة، كما أن المياه ووسائط النمو ثقيلة؛ ولذلك استخدم تقنيات الرفع المناسبة، وارتد القفازات الواقية عند التعامل مع الأسماك وتجنب الأشواك، وقم بعلاج أي خدوش أو ثقوب على الفور بإجراءات الإسعافات الأولية المعيارية - وغسل وتطهير وتضميد الجرح، والتماس العناية الطبية إذا لزم الأمر - ولا تدع الدم أو سوائل الجسم تدخل النظام، ولا تعمل مع وجود الجروح المفتوحة. وعند بناء النظام كن على حذر من المناشير، وأداة الثقب وغيرها من الأدوات الحادة، وابقِ الأحماضَ والقواعد في مناطق التخزين الآمنة، واستخدم معدات السلامة المناسبة عند التعامل مع هذه المواد الكيميائية، ودائما احفظ المواد الكيميائية الخطرة والمعدات مخزنة بشكل صحيح وبعيدا عن متناول الأطفال.

4.6.8 السلامة – ملخص

- استخدم (RCD) في المكونات الكهربائية؛ لتجنب الصدمات الكهربائية.
- حافظ على الوصلات الكهربائية من المطر، ورش المياه والرطوبة باستخدام المعدات الصحيحة.
- فعّل الممارسات الزراعية الجيدة؛ لمنع تلوث المنتجات، وابقِ أدوات الحصاد دائما نظيفة، واغسل اليدين بشكل مستمر، وارتدِ القفازات، ولا تدع براز الحيوان يلوث النظام.
- لا تلوث النظام باستخدام الأيدي العارية في الماء.
- تجنب مخاطر الوقوع عن طريق الحفاظ على محطة عمل منظمة ونظيفة وآمنة.
- ارتدِ القفازات عند التعامل مع الأسماك وتجنب الأشواك.
- اغسل وطهر الجروح فورا، ولا تعمل في النظام في حالة الإصابة بالجروح المفتوحة، وامنع الدم من الدخول إلى النظام.
- كن حذرا مع الأدوات الكهربائية والمواد الكيميائية الخطرة، وارتدِ الملابس الواقية.

7.8 استكشاف الأخطاء وإصلاحها

يسرد الجدول (4.8) المشاكل الأكثر شيوعا عند تشغيل وحدة الزراعة الأحيومائية، وإذا بدى أي شيء خارجا عن المألوف، تحقق على الفور من أن مضخة الماء ومضخات الهواء تعمل بشكل جيد، والمستويات المنخفضة للأكسيجين المذاب في المعدل الطبيعي، بما في ذلك التسرب العرضي فإنه يعد القاتل الأول في وحدات الزراعة الأحيومائية. وطالما أن الماء متدفق فإن النظام ليس في مرحلة الطوارئ، ويمكن معالجة المشكلة بمنهجية وبهدوء. والخطوة الأولى هي دائما إجراء تحليل جودة المياه الكامل، كما أن فهم نوعية المياه يوفر ردود الفعل الضرورية لتحديد كيفية حل أي مشكلة.

الجدول 4.8

استكشاف الأخطاء وإصلاحها للمشاكل الشائعة في أنظمة الزراعة الأحيومائية

الحالة	السبب	المشكلة	الحل
1) الطاقة الكهربائية/المضخة ومشاكل النظام			
المضخة لا تعمل، الكهرباء مغلقة.	لايوجد كهرباء	انخفاض مستوى الأكسيجين المذاب.	1) إذا كان التيار الكهربائي لا يمكن الاعتماد عليه، ينبغي أن يكون هناك نظام الطاقة الاحتياطية من التيار المستمر DC موصولا. 2) خذ الماء من خزان تجميع المياه وقم بصبه في حوض الأسماك، وبالتالي سيتم تجديد مستويات الأكسيجين. كرر هذه المعالجة كل 1-2 ساعات حتى تعود الطاقة. 3) ثبت وعاء بحجم 200 لتر فوق خزان الأسماك؛ لإطلاق تيار بطيء من الماء في حوض الأسماك، وخلق الفقاعات.
المضخة لا تعمل،الكهرباء في وضع التشغيل.	إما أن تكون المضخة معطلة،أو بها خلل أو انسداد.	انخفاض مستوى الأكسيجين المذاب.	فحص وإزالة أي عوائق في مرحلة ما قبل التصفية أو في الأنابيب. استبدال المضخة على الفور، إذا كانت معطلة.
خزان الماء تحت مستوى النظام أو المياه منخفضة بشكل غير عادي.	تسريبات أو شقوق.	جميع المياه ستستنزف،ومؤكد في نهاية المطاف موت الأسماك والنباتات.	إصلاح أي تسرب أو ثقوب على الفور. استعمال صنبور؛ لمنع حوض الأسماك من فقدان المياه. تجديد المياه.
المياه في النظام وجوانب حوض الأسماك تبدو خضراء.	ازدهار الطحالب.	انخفاض مستوى الأكسيجين المذاب.	تظليل النظام، وإزالة الازدهار الناضج من الطحالب.

الجدول 4.8 (تابع)

الحالة	السبب	المشكلة	الحل
2) مشاكل جودة المياه			
الأمونيا أو النتريت >1 ملغم/لتر.	1) البكتيريا لا تعمل. 2) عدد كبير جدا من الأسماك مقارنة بحجم المرشح الحيوي. 3) تراكم الكتلة الحيوية غير الحية، الغذاء غير المأكول، الأسماك الميتة، والمخلفات الصلبة.	إجهاد الأسماك وموتها.	1) تغيير فوري لـ 1/3 – 1/2 مياه النظام بالماء الجديد. 2) إزالة جميع المواد الغذائية غير المأكولة، أو السمك الميت، وتراكم المخلفات الصلبة من الخزان. 3) وقف التغذية حتى تنخفض المستويات. 4) تأكد من أن درجة الحموضة ودرجة الحرارة هي الأمثل للبكتيريا. 5) إذا كانت النتريت عالية، يجب إضافة 1 غرام من الملح لكل لتر فورا؛ لتحييد تهديد السمية من جودة المياه. بعد ذلك يستبدل الماء بأكمله خلال فترة أسبوعين. 6) إعادة حساب نسب المكونات، حجم المرشح الحيوي ونظام التغذية.
مستويات النترات >120 ملغم/لتر لعدة أسابيع	نسبة معدل التغذية عالية	لايوجد أي مشاكل فورية، ولكن السميّات قد تحدث إذا استمرت النترات في الارتفاع.	تغيير المياه واستخدامها لري المحاصيل.
صلابة الكربونات (KH) 0 ملغم/لتر	كل الكربونات مستخدمة من قبل الحمض الناشئ في وحدة الزراعة الأحيومائية.	الرقم الهيدروجيني للمياه سيتغير بسرعة، ويجهد الأسماك والنباتات.	إضافة كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري، أو الحصى، أو الأصداف) إلى الوحدة.
3) مشاكل الأسماك			
الأسماك تلهث في سطح الماء.	مستويات الأكسيجين منخفضة جدا.	الأسماك مجهدة للغاية وتموت.	1) تأكد من توفر الكهرباء وعمل المضخة بشكل كامل. 2) تأكد من عمل تقنية الشفط بالجرس ومضخات الهواء. 3) تأكد من أن الخزانات مغطاة بشكل كامل؛ للحد من درجة الحرارة. 4) إضافة تهوية إضافية.
الأسماك لا تأكل.	1) مستوى الأكسيجين المذاب منخفض. 2) الأمونيا و/أو النتريت مرتفعة جدا. 3) درجة الحموضة عالية جدا أو منخفضة. 4) تكون الأسماك مريضة.	الأسماك مجهدة للغاية، وتصاب بالمرض وتموت.	1) إجراء اختبارات جودة المياه للأمونيا، ودرجة الحموضة، والنتريت والنترات. 2) تحديد سبب إجهاد الأسماك (ارتفاع الرقم الهيدروجيني، والأمونيا أو زيادة النتريت، انخفاض الأكسيجين، والتلوث العضوي، المرض) وعلاج هذه المشكلة.
درجة حرارة الماء مرتفعة جدا (>33 °م) أو منخفضة جدا (<15 °م).	المناخ.	إذا كانت درجة الحرارة مرتفعة جدا: ستتوقف الأسماك عن الأكل وستبدأ النباتات في الذبول وتموت. إذا كانت درجة الحرارة منخفضة للغاية: ستتوقف البكتيريا عن العمل، وقد لا تأكل بعض الأسماك.	1) في الصيف تأكد من تظليل الخزانات؛ حتى تبقى المياه نسبيا باردة. 2) في فصل الشتاء، عزل خزانات الأسماك وتوفير العزل الحراري لها. ثم استخدم الطاقة الشمسية أو السخانات الكهربائية، وتقليل كمية غذاء الأسماك والخضراوات التي تنمو في الوحدة. 3) تغيير أنواع الأسماك بأخرى أكثر مناسبة للمناخ.
4) مشاكل النباتات			
النباتات لا تنمو و/أو الأوراق متغيرة اللون.	النباتات تعاني من نقص في بعض العناصر الغذائية الأساسية (أو درجة الحرارة عالية جدا لبعض النباتات، النباتات مريضة).	لن تنمو النباتات أو لاتنتج الثمار.	1) التأكد من أن جودة المياه هي الأمثل للنباتات. 2) فحص مستويات النترات: إذا كانت منخفضة جدا، يجب زيادة أعلاف الأسماك يوميا ببطء. 3) معرفة ما إذا كان هناك أي مرض في الجذر/الساق. 4) إضافة الأسمدة الآمنة لنباتات الزراعة الأحيومائية.
مستويات النترات مرتفعة لكن أوراق النباتات في اصفرار	1) الرقم الهيدروجيني ليس في المستوى الأمثل (عال جدا أو منخفض). 2) النباتات تعاني من نقص في بعض العناصر الغذائية الأساسية.	لن تنمو النباتات بشكل كامل أو لا تنتج الثمار.	1) معرفة ما إذا كان الاصفرار على الأوراق الجديدة أو القديمة. إذا على الجديدة، يتم إضافة 3 ملغم/لتر من الحديد. 2) تحقق من درجة الحموضة وضبطها إذا لم تكن الأمثل. 3) إضافة الأسمدة الآمنة لنباتات الزراعة الأحيومائية مثل مزيج الأسمدة العضوية أو شاي الأعشاب البحرية للنباتات.
الخضراوات التي تحيط بأنابيب دخول المياه مزدهرة في حين أن غيرها من الخضراوات الأبعد تكافح.	الخضراوات التي تحيط بأنابيب دخول المياه تستخدم جميع العناصر الغذائية.	النمو غير المتكافئ للخضار في سرير وسائط النمو.	1) نشر المياه على جميع أنحاء سرير النمو باستخدام أنابيب الري مع الثقوب الصغيرة. 2) إزالة الأنبوب الرأسي في سرير وسائط النمو كل يوم؛ لطرد المياه من السرير إلى خزان تجميع المياه. 3) فحص مستويات النترات. إذا كان منخفضا جدا، يتم زيادة تغذية الأسماك اليومية ببطء.

8.8 ملخص الفصل

الجوانب العشرة الأهم لإدارة وحدة الزراعة الأحيومائية هي:

- مراقبة ورصد النظام كل يوم.
- ضمان التهوية الكافية وتوزيع المياه بمضخات الماء ومضخات الهواء.
- الحفاظ على نوعية المياه الجيدة: درجة الحموضة (6–7)، الأكسيجين المذاب (>5 ملغم/لتر)، مجموع النتروجين والأمونيا (TAN) (< واحد ملغم/لتر)، والنتريت (NO_2^-) (< واحد ملغم/لتر)، والنترات (NO_3^-) من 5 إلى 150 ملغم/لتر، ودرجة الحرارة (18–30°م).
- اختيار الأسماك والنباتات وفقا للمناخ الموسمي.
- لا تزحم خزانات الأسماك، ويجب أن تكون بمعدل تخزين (< 20 كغم/1000 لتر).
- تجنب الفرط في التغذية، وإزالة أي طعام غير مأكول بعد 30 دقيقة.
- أزل المخلفات الصلبة، وحافظ على الخزانات نظيفة ومظللة.
- تحقيق التوازن في عدد النباتات والأسماك وحجم المرشح الحيوي.
- قم بتطبيق الحصاد وإعادة التخزين المتداخل/وإعادة الزراعة للحفاظ على التوازن.
- لا تدع الجراثيم تدخل إلى النظام من الأشخاص أو الحيوانات، وعدم تلويث المنتجات بمياه النظام عن طريق السماح لمياه النظام بترطيب الأوراق.

9. موضوعات إضافية عن الزراعة الأحيومائية

سيناقش هذا الفصل الأخير أمورا بسيطة، إلا أنها موضوعات مهمة، متعلقة بإدارة وحدات الزراعة الأحيومائية ذات النطاق الصغير. تتطلب الزراعة الأحيومائية الإلمام بعدة مدخلات أساسية، بما في ذلك أعلاف الأسماك، والكهرباء، والبذور، والشتلات، وإصبعيات الأسماك، والأسمدة النباتية التكميلية، والمياه؛ لتجديد الوحدة. وكل هذه المدخلات متاحة ومتوافرة، ولكنْ هناك طرقا بسيطة لإنتاج الكثير منها محليا باستخدام الممارسات المستدامة. ومن شأن اتباع هذه الأساليب تقليل التكاليف التشغيلية للوحدة، كما أنها تساعد على الحفاظ على الإنتاج بمسؤولية بيئية قدر المستطاع.

من جملة التحديات التي تواجه أنظمة الزراعة الأحيومائية تسرب المياه، أو وجود أنابيب مكسورة، والتجهيزات أو الوصلات غير المحكمة، أو الخراطيم غير المضمونة التي يمكن لها أن تستنزف كل المياه، وهذا بطبيعة الحال من شأنه قتل الأسماك، وإحداث حالة من الفوضى المدمرة. وهناك العديد من التقنيات لمنع الفشل أو تكرار حدوث هذه الإشكاليات؛ لتأمين مستوى المياه (تمت مناقشتها). وأخيرا هناك مناقشة موجزة عن كيفية تناسب الزراعة الأحيومائية مع أنواع أخرى من الزراعة، وكيف يمكن لها أن تكون متكاملة ومندمجة بصورة أكبر.

1.9 البدائل المحلية المستدامة لمدخلات الزراعة الأحيومائية

1.1.9 السماد العضوي

ناقش الفصل (6) كيف أن أنظمة الزراعة الأحيومائية المتوازنة يمكن أن تشهد أوجه القصور في العناصر الغذائية، وعلى الرغم من أن حبيبات غذاء الأسماك تعد تغذية كاملة للأسماك، إلا أنها لا تحتوي بالضرورة على الكميات الصحيحة من العناصر الغذائية للنباتات. وبشكل عام فإن أعلاف الأسماك تحتوي على قيم منخفضة من الحديد والكالسيوم والبوتاسيوم، ويمكن لأوجه القصور هذه أن تنشأ أيضا في ظروف النمو دون المثلى كالطقس البارد وأشهر الشتاء؛ وبالتالي قد تكون الأسمدة النباتية التكميلية لازمة، خاصة عندما يتم زراعة الخضراوات الثمرية أو النباتات التي لديها مطالب تغذوية عالية. والأسمدة الاصطناعية غالبا ما تكون قاسية جدا على الزراعة الأحيومائية، ويمكن أن تُخل بالنظام البيئي المتوازن، ولكن يمكن الاعتماد على سماد الشاي لأي مكملات غذائية كبديل ناجح.

عملية تصنيع السماد العضوي العامة

السماد العضوي هو مخصبٌ غني تتم صناعته بواسطة تفتييت المواد العضوية، بما في ذلك فضلات الطعام، وهو مفيد للغاية في البستنة القائمة على التربة؛ لتجديد المواد العضوية، والإبقاء على الرطوبة وتوفير العناصر الغذائية، بالإضافة إلى ذلك فيمكن استخدام السماد لتكوين الأسمدة السائلة، ويسمى شاي السماد، والذي يمكن أن يُضاف إلى ماء الزراعة الأحيومائية؛ لزيادة نسبة العناصر الغذائية للنباتات، وبشكل مريح فإن السماد ذي الجودة العالية يمكن أن يُصنع من فضلات الطعام المنزلية، حيث تتم إضافة فضلات الطعام إلى حاوية سيطلق عليها هنا مسمى "وحدة تصنيع السماد"، وبداخل وحدة تصنيع السماد هذه ستعمل البكتيريا الهوائية والفطريات والكائنات الحية الأخرى على تكسير المواد العضوية إلى عناصر غذائية بسيطة لاستهلاك النباتات، وسيُطلق على المركب النهائي الذي يتم إنتاجه (الدبال)، وهو يتألف من المواد العضوية بحوالي 65 في المائة، خاليا من مسببات الأمراض، ومليئا بالعناصر الغذائية. إن هذه العملية برمتها تستغرق من مرحلة فضلات الطعام إلى المنتج النهائي (الدبال) فترة تصل إلى ستة أشهر تبعا لدرجة الحرارة داخل وحدة تصنيع السماد وجودة التهوية.

ووحدة تصنيع السماد هي عموما بسعة 200–300 لتر، وتكون الحاوية على شكل برميل مع غطاء وعديد من الفتحات (الشكل 1.9) وعادة ما تكون ملونة بلون داكن؛ للاحتفاظ بالحرارة، والتي تسرّع عملية التحلل. وهناك العديد من أنواع وحدات تصنيع السماد المتاحة، وهي سهلة جدا للإنشاء بواسطة استخدام أجزاء معاد تدويرها. وينصح باستخدام وحدات تصنيع السماد التي بها خاصية قلب أو خلط المحتوى؛ لأنها تتطلب مساحة أقل وتبقى مهواة بشكل جيد ومتجانس. وينبغي التأكد من وجود مساحة كافية لدوران البرميل بشكل صحيح، كما أن جميع وحدات تصنيع السماد تتطلب تدفق الهواء الكافي.

الشكل 1.9
وحدة تصنيع السماد العضوي

وعند تصنيع السماد فمن المهم إدارة المواد التي يتم وضعها في وحدة التصنيع، والحفاظ على نسبة جيدة من المواد العضوية الرطبة والجافة موضوعة على شكل طبقات فوق بعضها بكميات متساوية؛ للوصول إلى محتوى الرطوبة بحوالي 60 إلى 70 في المائة، حيث إنه في الأسابيع 2–3 الأولى تحدث العملية الهوائية الحرارية مع درجات حرارة تصل إلى 60–70°م، ومن المهم تجنب الرطوبة الزائدة التي من شأنها أن تقلل من الحرارة، والمرحلة الحرارية هذه تسرّع عملية التسميد، وتساعد على بسترة النفايات العضوية من أي مسببات للأمراض المحتملة، كما أن وضع المحتوى على شكل طبقات هي عملية مهمة؛ للحفاظ على السماد من أن يكون رطبا جدا، ومنع المناطق اللاهوائية. وعلما بأن التهوية المتكررة للمحتوى عملية ضرورية؛ لأجل الحفاظ على البكتيريا في الظروف الهوائية، ومعالجة النفايات بشكل موحد. وتتكون العملية هذه من قلب النفايات رأسا على عقب، أو قلب الحاوية بشكل دوري؛ مما يساعد على تهوية البكتيريا الهوائية.

ويُمكن الحصول على السماد الأخضر الجيد من مزيج من المواد الرطبة، مثل بقايا الخضراوات الغذائية كالبن المطحون، أو الفواكه، أو الخضراوات، أو المواد الجافة، مثل: الخبز، وقصاصات العشب، والأوراق الجافة، والقش، والرماد، ورقائق الخشب. ولكن يبقى من المهم الحفاظ على التوازن الأمثل بين الكربون والنتروجين (نسبة الكربون إلى النتروجين 20–30)؛ لأنه يؤدي إلى التحول السريع للمادة. وبشكل عام فإنه من الحكمة عدم استخدام الكثير من القش أو رقائق الخشب (نسبة الكربون إلى النتروجين >100) بل استخدام النفايات الخضراء، كقصاصات العشب، ويفضل المجفف قليلا؛ للحد من محتوى الرطوبة بها. ومن غير المستحسن استخدام الكثير من رماد الخشب؛ لتجنب زيادة درجة الحموضة المفرطة، واستخدام الرماد من أصل خشبي/خضري، كما أن المصادر الأخرى (الورق) قد تحتوي على مواد سامة. ولا يجوز أبدا استخدام بعض المواد، مثل: منتجات الألبان، واللحوم، والحمضيات، والبلاستيك، والزجاج، والمعادن، والنايلون. ورغم أن السماد متسامح جدا، إلا أنه يحتاج إلى ما يكفي من الرطوبة والنتروجين؛ لتغذية كل الكائنات الحية المفيدة. ويمكن إضافة الماء إذا كان السماد جافا جدا. علما بأن ارتفاع درجة حرارة السماد تشير إلى النشاط الميكروبي الشديد؛ مما يشير إلى أن عملية السماد تحدث فعليا. وفي الواقع يصبح السماد حارا جدا، ويمكن استخدامه لتسخين البيوت البلاستيكية.

التسبيخ الدودي (Vermicomposting) هو أسلوبٌ خاص لإنتاج السماد، وتُستخدم فيه ديدان الأرض في وحدة تصنيع السماد (الشكل 2.9). وهناك العديد من الفوائد لإضافة الديدان، ومنها تسريع عملية التحلل، واستهلاك النفايات العضوية. وتعتبر نفايات الديدان سمادا فاعلا وكاملا، كما أن وحدات التسبيخ الدودي يمكن شراؤها أو صناعتها. وهناك ثروة من المعلومات متاحة في مصادر عديدة حول هذا الأمر. ولكن من المهم أن يتم جلب الديدان من مصدر موثوق به وحسن السمعة، ويجب التأكد من أنها لم تأكل قط اللحم أو مخلفات الحيوانات، وعندما يتم تصنيع السماد فإن إفرازات الديدان يمكن استخدامها مباشرة في المشتل؛ لبدء عملية وضع البذور، حيث سيؤدي ذلك إلى إدخال العناصر الغذائية إلى نظام الزراعة الأحيومائية عند غرس الشتلات في النظام، وبالتناوب يمكن تحويل إفرازات الديدان إلى شاي السماد.

الشكل 2.9
الديدان الحمراء (*Eisenia fetida*) من وحدة الفيرمي كومبوست

شاي السماد والتمعدن الثانوي

عندما تتحلل النفايات العضوية في نهاية المطاف إلى المنتج النهائي (الدبال)، الذي يمكن أن يستغرق من أربعة إلى ستة أشهر، فمن الممكن عندها صنع شاي السماد. وهذه عملية بسيطة، حيث يتم تجميع ما مقداره عدة حفنات كبيرة من السماد داخل كيس شبكي معلق ببعض الحجارة. ويتم تعليق هذا الكيس في دلو من الماء بحجم 20 لترا، ويتم وضع حجر الهواء؛ ليكون متصلا بمضخة الهواء الصغيرة تحت الكيس الشبكي، بحيث تحرك الفقاعات محتويات الكيس (الشكل 3.9). والتهوية مهمة جدا؛ لمنع التخمر اللاهوائي من الحدوث، ويترك الخليط لعدة أيام مع التهوية المستمرة، كما ينبغي أن تحرك المحتويات أحيانا؛ لمنع أي مجال من مجالات نقص الأكسيجين، وبعد يومين أو ثلاثة أيام سيصبح شاي السماد جاهزا لاستخدامه في الوحدة. كما يجب أن يُرشح الشاي من خلال قطعة قماش ناعمة، وبعد ذلك يخفف بالماء بنسبة (10:1)، ويتم إضافته للنباتات إما بتغذية الورق بواسطة الرش، أو مباشرة مثل إضافة الأسمدة السائلة إلى جذور النباتات. وإذا ما أضيف الشاي المخفف مباشرة إلى الوحدة فابدأ باستخدام كميات صغيرة (50 ملل)، وقم بتوثيق التغيير في نمو النباتات، ثم إضافة الشاي عند الضرورة، ولكن يجب الحرص على عدم إضافة كميات أكثر من اللازم.

الشكل 3.9
تخمير شاي السماد (وضع في الشبك) في دلو باستخدام مضخة الهواء

شاي المغذيات الأخرى

بالإضافة إلى السماد، هناك العديد من المواد العضوية الأخرى الغنية بالمغذيات التي يمكن أن تخمَّر في شاي المغذيات بالطريقة التي أوضحت أعلاه. وبالإضافة إلى ما ذكر مسبقا حول كيفية تصنيع السماد، ينبغي مراعاة استخدام المخلفات الصلبة من حوض الأسماك التي يتم تجميعها من المرشح الميكانيكي، ويخمّر بنفس الطريقة، وتتمعدن المخلفات الصلبة تماما وتصبح متاحة لإضافتها مرة أخرى إلى نظام الزراعة الأحيومائية. وتشمل المصادر الأخرى الأعشاب البحرية، ونبات القراص (nettles)، ونبات السنفيتون (comfrey). إن للأعشاب البحرية إضافة كبيرة؛ لكونها غنية بالبوتاسيوم والحديد، والتي غالبا ما تفتقر إليها الزراعة الأحيومائية، ولكن يجب التأكد من شطف الملح المتبقي في الأعشاب البحرية. ويمكن أيضا استخدام كميات أكبر من شاي الأسمدة العضوية؛ للحفاظ على نظام الزراعة الأحيومائية مؤقتا دون وجود الأسماك في النظام، وقد يكون هذا مفيدا في أشهر الشتاء الباردة من السنة عندما يكون أيض الأسماك منخفضا، والنباتات بحاجة إلى دفعة من العناصر الغذائية.

سلامة السماد

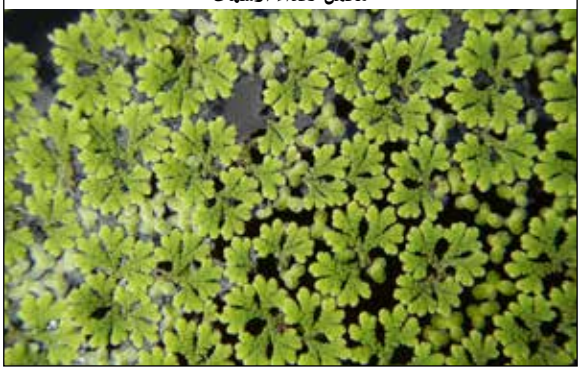
عند استخدام السماد تأكد من تحلله بالكامل، ومن أنه خالٍ من مسببات الأمراض. ولا تستخدم أبداً المصادر العضوية من الحيوانات ذوات الدم الحار؛ لأنها تزيد من خطر إدخال مسببات الأمراض. وعلاوة على ذلك تأكد من توفير الهواء والأكسيجين باستمرار عند إنتاج الشاي؛ لأن هذا يساعد في التمعدن، ويمنع بعض أنواع البكتيريا المسببة للأمراض من النمو. وتجنب دائما وضع مياه الزراعة الأحيومائية على أوراق النباتات، وخاصة عند استخدام شاي السماد. ولمزيد من المعلومات عن تخمير شاي السماد، راجع القسم الخاص بمزيد من القراءة.

2.1.9 أعلاف الأسماك البديلة

أعلافُ الأسماك واحدة من أهم المدخلات الأساسية، والمكلفة لأي نظام زراعة أحيومائي. ويمكن شراؤها أو صناعتها. وفي هذا السياق يُوصى بشدة باستخدام أعلاف الأسماك المصنعة ذات الجودة العالية؛ لأنها غذاء كامل للأسماك، وهذا يعني أن حبيبات الغذاء تفي بجميع الاحتياجات الغذائية للأسماك. وقد تم أدناه إعطاء مثال على أغذية الأسماك التكميلية التي يمكن أن تنتج بسهولة محليا، والتي يمكن أن تساعد في توفير المال، أو استخدامها مؤقتا إذا كانت الأعلاف المصنعة ليست متاحة، أو مكلفة للغاية. ومزيد من المعلومات حول إنشاء الأعلاف المحلية الصنع متاحة في الملحق (5).

الشكل 4.9
طحلب أو عشب بُطي ينمو في حاوية كغذاء مكمل لغذاء الأسماك

الشكل 5.9
طحلب الأزولا (*Azolla* spp.) ينمو في حاوية كغذاء مكمل لغذاء الأسماك



الطحلب البطي

الطحلبُ البطي هو نبات مائي طافٍ سريع النمو وغني بالبروتين، ويمكن أن يكون بمثابة مصدر غذاء لأسماك الشّبوط والبُلطي (الشكل 4.9). والطحلبُ البطي يمكن أن يضاعف كتلته كل يوم أو يومين في الظروف المثلى، مما يعني أن نصف المحصول من الطحلب البطي يمكن أن يحصد كل يوم. ويجب أن يزرع الطحلب البطي في خزان منفصل عن السمك؛ لأنه بخلاف ذلك فالأسماك قد تستهلك المخزون كله. والتهوية ليست ضرورية، والماء ينبغي أن يتدفق بمعدل بطيء عبر الخزان، ويمكن زراعة الطحلب البطي في الأماكن المعرضة للشمس أو نصف المظللة. ويمكن تخزين الطحلب البطي الفائض وتجميده في أكياس لاستخدامه لاحقا، كما أن الطحلب البُطي هو أيضا مفيد لتغذية الدواجن.

يعتبر الطحلبُ البطي إضافة مفيدة إلى نظام الزراعة الأحيومائية، خاصة إذا تم زراعة الطحلب البطي على طول خط عودة المياه بين سرير نمو النباتات وحوض الأسماك، وأية عناصر غذائية تخرج، غير المستغلة من سرير نمو النباتات، تقوم بتسميد الطحلب البطي، وبالتالي يمكن ضمان تنظيف المياه التي تعود إلى الأسماك. كما أن الطحلب البطي لا يعمل على تثبيت النتروجين من الغلاف الجوي، وجميع البروتين في الطحلب البطي في نهاية المطاف تأتي من تغذية الأسماك أو مصادر خارجية أخرى.

نبتة الأزولا، سرخس الماء

الأزولا (*Azolla*) هو جنس من السرخس (fern)، وينمو طافيا على سطح الماء وهو شبيه بالطحلب البطي (الشكل 5.9)، والفرق الرئيس بينهما هو أن الأزولا قادرة على تثبيت النتروجين من الغلاف الجوي، وصنع البروتين من الجو. ويحدث هذا نتيجة العلاقة التكافلية التي توجد بين الأزولا ونوع من البكتيريا يسمى أنابينا (*Anabaena azollae*)، والتي تعيش في الأوراق. فضلا عن توفير مصدر من البروتين، يُعد الأزولا مصدر تغذية جذاب؛ بسبب الارتفاع الاستثنائي لمعدل النمو كالطحلب البطي. ويجب أن تزرع الأزولا في خزان منفصل، وأن يكون تدفق المياه بطيئا. ونمو الأزولا في كثير من الأحيان محدود بسبب الفوسفور. وإذا كانت الأزولا ستزرع بكثافة فستكون هناك حاجة إلى مصدر إضافي من الفوسفور مثل شاي السماد.

الحشرات

تعتبر الحشرات آفات غير مرغوب فيها في العديد من ثقافات الشعوب. ولكنها تتوفر على إمكانات هائلة في دعم السلاسل الغذائية التقليدية بحلول أكثر استدامة. وفي العديد من البلدان تعتبر الحشرات عنصرا من النظام الغذائي للناس، بل وتباع في الأسواق. بالإضافة إلى ذلك فقد تم استخدامها كعلف للحيوانات لعدة قرون.

والحشراتُ مصدر مغذيات صحي؛ لأنها غنية بالبروتين والأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة وكاملة بالمعادن الأساسية. ويتراوح محتوى البروتين الخام بين 13–77 في المائة (في المتوسط 40%)، وتتغير وفقا للأنواع، ومرحلة النمو والنظام الغذائي للتربية. والحشرات هي أيضا غنية بالأحماض الأمينية الأساسية، وهي العامل المحدد في العديد من مكونات العلف الملحق (5). كما أن الحشرات الصالحة للأكل هي أيضا مصدر جيد للدهون، وقد تتراوح كمية الدهون بين 9 و67 في المائة. وفي كثير من الأنواع يكون المحتوى من الأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة الضرورية مرتفعا أيضا، وهذه الخصائص معا تجعل الحشرات خيارا صحيا لكل من غذاء الإنسان وعلف الحيوانات أو الأسماك. ونظرا لعددها الهائل وأصنافها المتعددة، فإن اختيار الحشرة التي تربّى يمكن أن يتأثر حسب توافرها محليا، والظروف

المناخية/الموسمية، ونوع الطعام المتاح. إن مصدر الغذاء للحشرات يمكن أن يشتمل على قشور أساسية كقشور القمح، وأوراق الخضار، والنفايات النباتية، والسماد، وحتى الخشب أو المواد العضوية الغنية بالسليلوز المناسبة للنمل الأبيض. وتقدم الحشرات أيضا مساهمة كبيرة في التحلل الحيوي؛ لأنها تكسر المواد العضوية حتى يتم استهلاكها من قبل الفطريات والبكتيريا، وتمعدنها كي تصبح عناصر غذائية للنباتات. إن تربية الحشرات ليست صعبة كغيرها من الحيوانات، حيث إن العامل الذي يحد هو الطعام وليس مساحة التربية، وأحيانا ما يشار إلى الحشرات باسم "المواشي الصغيرة"، وحاجتها للمساحة الصغيرة تعني أن مزارع الحشرات يمكن أن تُنشأ في مناطق صغيرة، وبتكاليف استثمار محدودة جدا. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الحشرات مخلوقات من ذوات الدم البارد، وهذا يعني أن تحويلها الغذاء إلى اللحوم هو أعلى بكثير من الحيوانات البرية ومماثلة للأسماك، وهناك الكثير من الخيارات الممكنة. ويمكن الحصول على معرفة إضافية حول تربية الحشرات كغذاء في القسم الخاص بمزيد من القراءة، ومن بين العديد من الأنواع المتوافرة. ومن الأنواع المثيرة للاهتمام لاستخدامها كعلف للأسماك هي ذبابة الجندي الأسود.

ذباب الجندي الأسود

تتميز يرقات ذباب الجندي الأسود (*Hermetia illucens*) بمستويات مرتفعة للغاية من البروتين، ومصدر قيّم للبروتين للماشية، بما في ذلك الأسماك (الشكل 6.9). إن دورة حياة هذه الحشرة يجعلها إضافة مريحة وجذابة إلى نظام الزراعة المنزلية المتكاملة في الظروف المناخية المواتية. وتتغذى اليرقات على السماد والحيوانات النافقة والنفايات الغذائية، وعند تربية ذباب الجندي الأسود فإنها توضع مع النفايات في وحدة تصنيع السماد التي لديها تصريف وتدفق هواء كافيين، وعندما تنضج اليرقات فإنها تزحف بعيدا عن مصدر التغذية من خلال منحدر مثبت في وحدة تصنيع السماد الذي يؤدي إلى دلو التجميع، حيث تلتهم اليرقات النفايات، وتعمل على تراكم البروتينات، ومن ثم تحصد أنفسها بأنفسها. ويمكن معالجة ثلثي اليرقات إلى علف، في حين ينبغي أن يسمح للثلث المتبقي لتتطور إلى الذباب الكبار في منطقة منفصلة. إن الذباب الكبار ليس ناقلا للمرض، وليس لديه فم، ولا يأكل ولا ينجذب إلى أي أنشطة بشرية، فالذبابُ الكبار ببساطة يتزاوج ثم تعود إلى وحدة السماد لوضع البيض، ويموت بعد أسبوع، وقد ثبت أن ذباب الجندي الأسود يمنع الذباب الأزرق والذباب المنزلي من الدخول إلى مرافق الثروة الحيوانية، ويمكن أن تقلل فعليا حمل مسببات المرض في السماد، ولكن مع ذلك وقبل تغذية اليرقات للأسماك ينبغي معالجة اليرقات من أجل السلامة، عبر وضعها في فرن (170°م لمدة ساعة واحدة)؛ للقضاء على أي مسببات للأمراض. واليرقات المجففة الناتجة يمكن أن تطحن وتعالج للتغذية.

الشكل 6.9

ذبابة الجندي الأسود (*Hermetia illucens*)، الكبيرة (أ)، واليرقات (ب)

المورينغا أو شجرة اليسر

المورينغا (*Moringa oleifera*) هو نوع من الشجر الاستوائي، الغني جدا بالعناصر الغذائية، بما في ذلك البروتينات والفيتامينات. وصنف هذا النوع من قبل البعض كغذاء خارق. وتستخدم حاليا لمكافحة سوء التغذية، وهي إضافة قيّمة إلى غذاء الأسماك محلية الصنع. وبسبب هذه العناصر الغذائية الأساسية، وجميع أجزاء الشجرة هي اختيار مناسب للاستهلاك الآدمي، ولكن لتربية الأحياء المائية فإن الأوراق هي التي يتم استخدامها. وفي الواقع تم النجاح

في العديد من مشاريع الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير في إفريقيا، باستخدام أوراق هذه الشجرة كمصدر وحيد لتغذية البُلطي، وهذه الأشجار سريعة النمو، ومقاومة للجفاف، وتتكاثر بسهولة من خلال البذرة والعقلة، ومع ذلك فهي لا تتحمل الصقيع أو التجمد، وليست مناسبة للمناطق الباردة. ولإنتاج أوراق من هذه الشجرة، يتم حصاد كل الفروع وصولا إلى الجذع الرئيس أربع مرات في السنة في عملية تسمى التقليم.

3.1.9 جمع البذور

جمع البذور من النباتات التي تنمو هي استراتيجية مستدامة أخرى ومهمة؛ لتقليل التكلفة في العديد من أنواع الزراعة التي على نطاق صغير. وتعتبر هذه العملية فاعلة وخاصة بالنسبة للزراعة الأحيومائية؛ لأن إنتاج النباتات هو الهدف الأولي. وجمع البذور عملية مباشرة، وسيتم مناقشتها هنا كفئتين رئيستين: البذرة الجافة، والبذرة الرطبة. وبشكل عام ينبغي استخدام البذور من النباتات الناضجة فقط، أما غير الناضجة فلن تنبت، ويجب تجنب النباتات القديمة أو الكبيرة التي ستكون قد أطلقت بالفعل بذورها، وكذلك النباتات الهجينة، والتي قد تكون عقيمة. إن تجميع البذور من العديد من النباتات يساعد على الاحتفاظ بالتنوع الوراثي والنباتات السليمة. وبالإضافة إلى ذلك، يفضل النظر في مجموعات تبادل البذور المحلية التي توفر تبادل البذور مع غيرها من صغار المزارعين.

البذور الجافة

تشمل هذه الفئة الفرعية الريحان، والخس، والجرجير، والقرنبيط. كما أن البذور من بعض هذه النباتات يمكن حصادها طوال دورة النمو، فعلى سبيل المثال الريحان (الشكل 7.9). كما يمكن للبذور الأخرى أن تُجمع بعد أن تصبح النباتات ناضجة تماما، ولا تعد صالحة كخضراوات، مثل: الخس، والقرنبيط. والعملية العامة لجمع البذور هي وضع الينبع الجاف/الناضج في كيس كبير من الورق يخزن لمدة تتراوح بين ثلاثة وخمسة أيام في مكان بارد ومظلم. وخلال هذا الوقت فإنه من المفيد أن يُهز الكيس الورقي المغلق بخفة؛ للإفراج عن البذور، وبعد ذلك يُفتح الكيس وتُهز النبتة بأكملها مرة واحدة بشكل نهائي في داخل الكيس، ثم تُزال السيقان وجميع بقايا النباتات وتمرر عبر غربال؛ لجمع البذور المتبقية، وأخيرا تجمع هذه البذور وتوضع مرة أخرى في كيس من الورق، مع التأكد من أن الذي يبقى هي البذور وليس بقايا النباتات.

الشكل 7.9
جمع البذور من نبات الريحان الجاف (*Ocimum* spp.)

البذور الرطبة

تشمل هذه الفئة الفرعية الخيار والطماطم والفلفل، وتتطور البذور داخل الثمرة الفعلية، المغلفة عادة في كيس هلامي يمنع إنبات البذور. وعندما تكون الثمار جاهزة للحصاد، عادة ما تظهر بلون قوي وحيوي، قم بإزالة الثمرة من النبتة، وافتح الثمرة بسكين، واجمع البذور التي بداخل الثمرة باستخدام ملعقة. ثم خذ البذور المغلفة بالهلام، وضعها في غربال، وابدأ بغسل الهُلام بالماء وقطعة قماش ناعمة. ثم خذ البذور وضعها في الظل لتجفيفها، واعمل على تقليبها في بعض الأحيان إلى أن تصبح جافة تماما. وأخيرا قم بإزالة أية متبقيات هُلامية أو بقايا النباتات، وبعدها قم بتخزين البذور في كيس صغير من الورق.

تخزين البذور

من المستحسن تخزين البذور داخل أكياس من الورق محكمة الإغلاق في مكان بارد وجاف ومظلم مع الحد الأدنى من الرطوبة. كما أن تخصيص ثلاجة صغيرة لتخزين البذور هو حلٌ مثالي. والأفضل أن تحفظ البذور في حاوية محكمة الإغلاق، وخالية من الهواء، بها كيس ماص للرطوبة (هلام السيليكا)؛ للحفاظ على الرطوبة دون المستويات المطلوبة لنمو الفطريات. ومن الأهمية بمكان أن نتأكد من أن البذور هي الوحيدة الموجودة دون أية بقايا نباتية أخرى، أو

بقايا من التربة وغيرها من المخلفات النباتية؛ وذلك للحد من خطر الإصابة بأمراض، أو حصول إنبات سابق لأوانه. كما أن بقايا النباتات والرطوبة يمكن أن تشجع الفطريات والعفن الذي يمكن أن يتلف البذور. وبمجرد وضعها في الأكياس قم بكتابة التاريخ ونوع النبات على الكيس، وللحصول على نسب عالية من إنبات البذور يجب أن يتم استخدام البذور خلال موسمين أو ثلاثة مواسم نمو.

4.1.9 تجميع مياه الأمطار

جمع مياه الأمطار لإعادة إمداد وحدات الزراعة الأحيومائية هي طريقة أخرى فاعلة للحد من تكاليف التشغيل. وهناك العديد من الفوائد لاستخدام مياه الأمطار للزراعة الأحيومائية، فالمطر هدية السماء (مجاني)، ونظم الزراعة الأحيومائية التي تم وصفها في هذا الدليل تفقد من 1 إلى 3 في المائة من المياه في اليوم الواحد، ومعظمه من خلال أوراق النباتات. كما أن الماء مورد ثمين، ويمكن أن يكون مكلفا، وفي بعض المناطق لا يمكن الاعتماد عليه. مضافا إلى ذلك أن معظم مياه الأمطار ذات جودة عالية، ومن غير المرجح أن تكون مياه الأمطار تحتوي على السموم أو مسببات الأمطار، ولا تحتوي على أي أملاح. كما أن لدى مياه الأمطار أيضا مستويات منخفضة من العسر الدائم (GH) وعسر الكربونات (KH)، وعادة ما تكون مياه الأمطار حمضية بعض الشيء، وهذا مفيد جدا خصوصا في المناطق التي تكون فيها قلوية المياه عالية؛ لأن مياه الأمطار قد تعوّض الحاجة إلى تصحيح حمض المياه الواردة للنظام؛ للحفاظ على نظام الزراعة الأحيومائية ضمن النطاق الأمثل عند مستوى حموضة (6,0–7,0)، ومع ذلك فإن عسر الكربونات (KH) المتدني من مياه الأمطار يعني أن مياه الأمطار هي عازلة ومقاومة ضد تغيرات الرقم الهيدروجيني (pH)؛ لذلك إذا كانت مياه الأمطار تستخدم كمصدر رئيس للمياه، ينبغي إضافة كربونات الكالسيوم، كما هو موضح في (القسم 2.5.3). وعليك أن تكون حذرا من سطح تجميع المياه، ومحاولة تجنب جلب المياه من أماكن مجاثم الطيور، أو في أي مكان يتراكم فيه براز الحيوانات. وهناك طريقة بسيطة للحد من خطر التلوث بمسببات الأمراض، وذلك عبر الترشيح الرملي البطيء، والذي يمكن الحصول عليه ببساطة عن طريق ترشيح المياه من خلال مرشح رملي ناعم بارتفاع مقداره (50–60 سم)، وجمع المياه التي يتم تصفيتها من خلال فتحة أسفل المرشح.

الشكل 8.9
تجميع مياه الأمطار من السطح

جمع مياه الأمطار يمكن أن يتحقق بسهولة من خلال ربط وعاء نظيف كبير بتصريف مياه الأنابيب المحيطة بالمبنى أو المنزل (الشكل 8.9). وعلى سبيل المثال ستعطي منطقة مستجمعات مياه الأمطار بمساحة (36 م^2) ما مقداره (11900 لتر) من الماء من مستوى هطول للأمطار مقداره (330 ملم) سنويا، وبعضٌ من هذه المياه يتم فقدانها، ولكن يتم تجميع ما يكفي من المياه لتسد حاجة وحدة الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير. إن الوحدات الموصوفة هنا تستخدم في المتوسط (2000–4000 لتر) من المياه سنويا. وجمع مياه الأمطار هو أمر سهل، ولكن الأمر الأكثر أهمية وتحديا هو تخزين مياه الأمطار، حيث يجب الاحتفاظ بالمياه حتى يحتاج النظام إليها، كما يجب الاحتفاظ بها نظيفة، ويجب تغطية الحاويات بغطاء لمنع البعوض وبقايا النباتات من الدخول، ومن الجيد وضع بعض من أسماك الغابي الصغيرة، وصغار أسماك البُلطي في مياه الأمطار؛ كي تتغذى على الحشرات، كما أن وضع حجر هواء واحد في هذه المياه يمنع البكتيريا اللاهوائية من النمو.

5.1.9 تقنيات البناء البديلة لوحدات الزراعة الأحيومائية

قد وفرت براعة الإنسان اختلافات لا تعد ولا تحصى حول الموضوع الأساسي للزراعة الأحيومائية، وفي معظم معانيها الأساسية فإن الزراعة الأحيومائية هي مجرد وضع الأسماك والخضراوات في حاويات مختلفة مع الماء المشترك الغني بالأكسيجين. كما أن خزانات المياه القديمة، وأحواض الاستحمام، والبراميل البلاستيكية، والطاولات، وقطع الخشب، والمعدن يمكن أن تستخدم جميعها عند بناء وحدة الزراعة الأحيومائية (الشكل 9.9). ويمكن بناء الطوافات، وأكواب الزراعة لأنظمة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) من الخيزران أو مواد معاد تدويرها من البلاستيك. ويمكن أن

الشكل 9.9
حوض استحمام تم إعادة استخدامه كسرير لوسائط النمو

تملأ أنظمة وسائط النمو بالحصى المتوافر محليا، ولكن كن دائما على يقين من أن أيا من هذه المكونات (حوض الأسماك، سرير وسائط النمو، أنابيب النمو، أدوات السباكة) لم يتم استخدامها سابقا لاحتواء المواد السامة، أو الضارة التي يمكن أن تؤذي الأسماك والنباتات أو البشر. وبالإضافة إلى ذلك فإنه من الضروري غسل أية مادة جيدا قبل استخدامها.

ويتكون نظام الزراعة الأحيومائية الأقل كلفة من حفرة واحدة كبيرة في الأرض (بركة)، مبطنة بمادة رخيصة من بلاستيك البولي إيثيلين بسمك 0,6 ملم. ويتم فصل هذه البركة بشبكة سلكية لفصل الأسماك عن النباتات، ويستغل جانب واحد من هذه البركة كحوض للأسماك بكثافة منخفضة نسبيا من الأسماك، في حين أن الجانب الآخر هو قناة الزراعة بواسطة المياه العميقة (DWC) مغطاة بصفائح البوليسترين. في حين أن التهوية وحركة المياه مطلوبة دائما، ويمكن أن تضاف إما عن طريق الرفع الهوائي للماء، أو من خلال الضخ بواسطة الإنسان. ورفع المياه إلى خزان علوي والسماح لها بالانسياب للأسفل مجددا هو أسلوب واحد لإضافة الأكسيجين دون كهرباء. إن هذا النهج يمكن استخدامه في الأماكن التي تكون فيها البراميل والحاويات الوسيطة (IBCs) باهظة الثمن للمزارعين؛ لتصبح بديلا للاستخدام، وعلى الرغم من ذلك سيكون الإنتاج الإجمالي أقل.

يبين الملحق (8) طرق صناعة وحدات الزراعة الأحيومائية باستخدام الحاويات الوسيطة (IBCs)، التي يمكن أن يكون الحصول عليها سهلا في جميع أنحاء العالم. وبالإضافة إلى ذلك فإن القسم الخاص بمزيد من القراءة يُعطي قائمتين لأدلة إرشادية مختلفة عن كيفية إنشاء نظام الزراعة الأحيومائية.

6.1.9 الطاقة البديلة لوحدات الزراعة الأحيومائية

يتطلب تشغيل مضخات الوحدة التي تعمل بالكهرباء سواء للهواء أو للماء مصدرا للطاقة، وعادة ما يتم استخدام التيار الكهربائي العادي، ولكنها ليست إلزاميّة، إن هذه الأنظمة يمكن تشغيلها بالكامل باستخدام الطاقة المتجددة. وتحديد خطط لبناء نظم الطاقة المتجددة هو موضوع خارج عن نطاق هذا الدليل، ولكن هناك موارد مفيدة للمعلومات تم وضعها في القسم الخاص بمزيد من القراءة.

الكهرباء الضوئية

تعتبر الطاقة الشمسية البديل والطاقة المتجددة التي تأتي من أشعة الشمس. وتعمل ألواح الخلايا الشمسية على تحويل الإشعاع الكهرومغناطيسي من الشمس إلى الطاقة الحرارية أو الكهربائية (الشكل 10.9). ومضخات الماء والهواء لنظام الزراعة الأحيومائية يمكن أن تعمل بالطاقة الشمسية باستخدام الخلايا الشمسية الضوئية، وهو الجهد العاكسAC/DC وبطاريات كبيرة؛ لضمان الإمدادات على مدار 24 ساعة للطاقة في الليل أو في الأيام الملبدة بالغيوم، وعلى الرغم من أنها مستدامة للغاية، إلا أن الطاقة الشمسية تستلزم استثمارا أوليا كبيرا؛ بسبب تكاليف المعدات الإضافية اللازمة لتحويل وتخزين الطاقة من الخلايا الضوئية. ومع ذلك ففي بعض المناطق هناك حوافز لاستخدام الطاقة الشمسية، التي قد تساعد في ضبط هذه التكاليف.

الشكل 10.9
الخلايا الضوئية المستخدمة لتشغيل مضخة المياه

العزل الحراري

في فصل الشتاء قد يكون من الضروري تسخين المياه. وهناك العديد من الطرق لتحقيق هذه التدفئة باستخدام الوقود الأحفوري، ولكن مع ذلك تتوافر خيارات أرخص وأكثر استدامة،

مثل: عزل الخزانات، والتدفئة اللولبية. ويمتاز عزل خزانات الأسماك بعوازل قياسية خلال أشهر الشتاء بمنع تشتت الحرارة من حوض الأسماك. كما أن الطاقة الحرارية الكبيرة تتشتت عبر حجارة الهواء، وبالتالي فمن الأفضل تغطية وعزل المرشح الحيوي، أو اعتماد حلول التهوية البديلة التي تجنب فقاعات الهواء.

الشكل 11.9
تقنية تسخين المياه باستخدام أنبوب أسود تم ترتيبه على شكل دوامة

التدفئة اللولبية

التدفئة اللولبية هي شكل من أشكال التقاط الحرارة السلبي من الطاقة الشمسية. ويتم تدوير نظام الماء من خلال أنبوب أسود ملفوف في دوامة. ويقوم البلاستيك الأسود بالتقاط الحرارة من الشمس ويحولها إلى الماء، ولمزيد من التسخين للنظام يمكن احتواء لولب التسخين الحلزوني بوضعه داخل حاوية من الألواح الزجاجية الصغيرة، والتي هي بمثابة أداة مسببة للاحتباس الحراري (بيت محمي)؛ لزيادة الحرارة. ويمكن وضع خلفية سوداء؛ لتساعد على الاحتفاظ بالحرارة. وللأنظمة التي تم وصفها هنا فإن الأبعاد المُوصى بها أنبوب بقطر 25 ملم، و طول يتراوح بين 40 و80 مترا (الشكل 11.9).

2.9 تأمين مستويات المياه لإنشاء وحدة صغيرة الحجم

يعتبر فقدان المياه واحدة من الكوارث الأكثر شيوعا الذي يحدث في وحدات الزراعة الأحيومائية التجارية على نطاق صغير، حيث يتم تصريف كل المياه من الوحدة، وهذا يمكن أن يكون كارثيا بقتل جميع الأسماك. وهناك العديد من الطرق الشائعة التي تؤدي لهذا الحدث، منها: انقطاع الكهرباء، وانسداد الأنابيب، وترك مصارف المياه مفتوحة، ونسيان إضافة مياه جديدة، أو تعطل تدفق المياه بواسطة الحيوانات. فكل هذه القضايا يمكن أن تكون قاتلة للأسماك في غضون ساعات إذا لم يتم التعامل مع المشاكل على الفور. وفيما يلي قائمة من الآليات؛ لمنع حدوث بعض من الحالات المذكورة أعلاه.

1.2.9 مفاتيح التعويم

مفاتيح التعويم هي أجهزة غير مكلفة تستخدم للسيطرة على المضخة تبعا لمستوى الماء المطلوب (الشكل 12.9). وإذا نزل مستوى المياه في خزان تجميع المياه إلى أدنى ارتفاع، فسيعمل المفتاح على إيقاف المضخة، وهذا يمنع المضخة من ضخ جميع المياه من الخزان، وبالمثل يمكن استخدام مفاتيح التعويم لملء نظام الزراعة الأحيومائية بالماء من خرطوم أو من مصدر المياه الرئيس، ومفتاح التعويم مماثل للمحبس الكروي والصمام في المرحاض الذي يمكن بواسطته التأكد من أن مستوى المياه لن يهبط أقل من نقطة معينة. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه خلال بعض أحداث

الشكل 12.9
مفتاح عائم للسيطرة على ضخ المياه (أ)، ووصلة سوداء، وصمام تعويم للتحكم في مصدر المياه الرئيس (ب)

الشكل 13.9
أنبوب لتصريف الفائض من المياه من المرشح الحيوي

الشكل 14.9
أنبوب أفقي في قناة الزراعة في المياه العميقة؛ للحفاظ على ارتفاع عمود الماء

فقدان المياه، كانكسار أنبوب الماء، فإن هذه الوسيلة يمكن أن تضمن بقاء الأسماك على قيد الحياة، ولكنها تجعل الفيضانات أسوأ بكثير، و في الوقت نفسه قد لا تكون مناسبة للتطبيقات الداخلية.

2.2.9 أنابيبُ الماء الفائض

أنابيبُ الماء الفائض ترجع المياه من أعلى نقطة في الوحدة إلى خزان تجميع المياه في حال انسداد أنابيب الصرف العادية (الشكل 13.9). وفي هذه التصاميم فإن أعلى نقطة هي خزان الأسماك، ولكن في تصاميم أخرى يكون سرير وسائط نمو النباتات فوق خزان الأسماك. وبغض النظر ففي حالة انسداد الأنابيب، الشيء الذي يمكن أن يحدث إذا تراكمت نفايات أوراق النباتات أو وسائط النمو، أو مخلفات الأسماك، يمكن لأنابيب الماء الفائض استنزاف المياه بأمان وإرجاعها إلى خزان تجميع المياه. وهذا يزيل خطر ضخ المياه من الجزء العلوي من النظام واستنزاف الخزانات.

3.2.9 أنابيب تصريف المياه العمودية

تستخدم الأنابيب العمودية في الخزانات التي يتم تصريف المياه منها من الأسفل؛ لمنع كل المياه من الاستنزاف، وتركب عادة في خزانات الأسماك. وفي داخل الخزان يتم إدخال أنبوب عمودي في فتحة التصريف (الشكل 14.9)، وتتحكم هذه التقنية في ارتفاع عمود الماء داخل الخزان، ولا يصل مستوى المياه أكثر عمقا أو سطحيا من الجزء العلوي من الأنبوب. ومع ذلك فإن هذا الحل يعني أيضا أن المياه لا تنضب من قاع خزان الأسماك، ما لم يتم وضع أنبوب أوسع وأطول مع فتحات واسعة في الأسفل محيطا بالأنبوب العمودي، وبذلك يدخل الماء من أسفل إلى أعلى، ويتدفق عبر المنطقة الضيقة الواقعة بين الأنبوب العمودي والأنبوب الأوسع إلى الأعلى حتى يخرج من أعلى عبر أنبوب تصريف المياه العمودي. وهذا الأسلوب هو آمن جدا، ولكن يتطلب تحريك الأنبوب الخارجي أحيانا؛ من أجل تنظيف المنطقة الضيقة الواقعة بين الأنبوب العمودي والأنبوب الأوسع وإزالة أية شوائب أو مخلفات قد تتجمع في هذه المنطقة الضيقة.

4.2.9 أسوار الحماية من الحيوانات

يمكن أيضا أن تتسبب الحيوانات الانتهازية أو الطيور في فقدان الماء عن طريق إزالته، أو كسر أنابيب المياه خلال عملية البحث عن الماء لشربه؛ أو البحث عن الأسماك والخضراوات لأكلها؛ ولمنع هذا يمكن تثبيت سياج بسيط حول النظام؛ لمنع الحيوانات المتطفلة.

3.9 دمج الزراعة الأحيومائية مع حدائق أخرى

يمكن أن تستخدم الزراعة الأحيومائية وحدها. ولكن يمكن أن تصبح أداة أقوى للمزارع المقامة على نطاق صغير عندما تستخدم بالاقتران مع التقنيات الزراعية الأخرى. وقد سبق بيان ذلك وكيفية زراعة النباتات وتربية الحشرات؛ لأجل تكملة النظام الغذائي للأسماك. ويمكن للزراعة الأحيومائية أيضا أن تساعد بقية الحديقة، حيث إن المياه الغنية بالعناصر الغذائية من وحدات الزراعة الأحيومائية يمكن أن تكون مشتركة بين مناطق الإنتاج النباتية الأخرى.

1.3.9 الري والتسميد

وحدات الزراعة الأحيومائية هي مصدر المياه الغنية بالعناصر الغذائية لإنتاج الخضر؛ ويمكن أن تستخدم المياه أيضا لتسميد نباتات الزينة والمساحات الخضراء أو الأشجار، ومياه الزراعة الأحيومائية هي سماد عضوي ممتاز لجميع

أنشطة الإنتاج القائم على التربة. وبالنسبة للنباتات التي تتم زراعتها في أسرة وسائط النمو أو التجمعات، فإنه يمكن استخدام مياه الزراعة الأحيومائية بشكل دوري، ورشه على مساحة نمو هذه النباتات، وإعطاء التربة دفعة من العناصر الغذائية الأساسية للخضراوات. وفي حالة زراعة الخضراوات الثمرية الكبيرة (كالطماطم) في الأواني الزراعية في الحديقة أو في أي مكان ومع توافر أشعة الشمس لهذه النباتات، فإن مياه الزراعة الأحيومائية يمكن أيضا أن تستخدم كسماد غني بالنترات خلال المراحل الأولى لإنتاج الورق وتطور السيقان، كما أن مياه الزراعة الأحيومائية هي أيضا جيدة للبدء في عملية إنبات البذور.

2.3.9 ري أسرة الفتل

أسرة الفتل هو شكل آخر من أشكال أسرة الحديقة المعلقة التي هي غاية في الكفاءة في استهلاك المياه. وتتوفر هذه الأسرة نفسها على خزان مياه في أسفل الحاوية مليء بالحصى الكبير، وفوق هذا الحصى يوجد خليط جيد من التربة التي تحتفظ بالرطوبة. وعادة ما يتم الفصل بين هاتين المنطقتين بقطعة من قماش التظليل، وقماش التكسية الأرضية (geotextile) أو أي نسيج آخر. وتزرع النباتات في التربة ويخترقُ الأنبوبُ الذي يتم من خلاله إدخال الماء إلى الخزان طبقة التربة بشكل عمودي إلى الأسفل، ويتجه إلى داخل المنطقة السفلى من خزان المياه، وفي حينها يتم امتصاص الماء من الخزان في الأسفل إلى منطقة الجذر بواسطة الخاصية الشعرية (capillary action) (الشكل 15.9).

الشكل 15.9

رسم توضيحي لنظام سرير الفتل (wicking bed)

وهذا يُغني عن الحاجة للسقي من الأعلى. وبهذه الطريقة يتم فقدان كميات أقل من المياه عن طريق التبخر، والجذور التي تنمو في التربة الرطبة لديها إمدادات مستمرة من الماء والأكسيجين والعناصر الغذائية. ويمكن لأسرة الفتل بأن تُروى بالماء العادي. ولكن باستخدام مياه الزراعة الأحيومائية يتم تزويد هذه الأسرة بالعناصر الغذائية الضرورية لنمو النباتات؛ والاستغناء عن الأسمدة. ويتم تركيب صمام في الجزء السفلي من حاويات أسرة الفتل، مما يساعد على الطرد الدوري للماء؛ لمنع تراكم الأملاح، أو تكون المناطق اللاهوائية.

وتعتبر أسرة الفتل وسيلة ممتازة لزراعة الخضراوات في المناطق القاحلة والمناطق الشحيحة في المياه، حيث يتم استخدام ما يصل إلى نصف المياه اللازمة، مقارنة مع أنظمة طرق الري من أعلى إلى أسفل. ويمكن صناعة أسرة الفتل من حاويات محكمة للمياه، أو حفر مبطنة في الأرض بمادة البولي إيثيلين، والذي يساعد على تخزين الماء؛ مما يجعلها أساليب مثالية لإنتاج الغذاء في المناطق الحضرية

الشكل 16.9

مثال لسرير الفتل باستخدام وعاء من البلاستيك

الجافة وشبه الجافة، مع الحاجة المحدودة أو عدم الحاجة للتربة (الشكل 16.9).

وهناك طريقة أخرى لذلك وهي وضع سرير الفتل على سرير وسائط النمو داخل نظام الزراعة الأحيومائية بشكل سليم، وبشكل أساسي سيجعل النسيج مرور الماء في اتجاه واحد، ويعمل على حفظ التربة خارج النظام، ولكنه في الوقت ذاته يسمح للمياه لتترشح وتصل إلى منطقة الجذر. ويمكن استخدام هذه الطريقة لزراعة الدرنات والخضراوات الجذرية، مثل: جذر القلقاس، والبصل، والبنجر، والجزر. ولمزيد من المعلومات حول مفهوم أسرة الفتل، راجع المصادر المذكورة في القسم الخاص بهذا الشأن.

4.9 أمثلة عن تجهيزات الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير

استخدمت الزراعة الأحيومائية بنجاح في مجموعة واسعة من المواقع. وعلاوة على ذلك فقد تم تنقيح تقنيات الزراعة الأحيومائية؛ لتلبية احتياجات المزارعين المتنوعة إلى أبعد من نطاق الحاوية الوسيطة (IBC) والبرميل (تم وصفها خلال هذا الدليل). وهناك العديد من الأمثلة، والأمثلة التي تم اختيارها هنا، فهي لتسليط الضوء على قدرة الزراعة الأحيومائية على التكيف والتنوع والانضباط.

1.4.9 الزراعة الأحيومائية لكسب العيش في ميانمار

تم بناء نظام الزراعة الأحيومائية على نطاق تجريبي في ميانمار؛ لتعزيز الزراعة المقامة على نطاق صغير أثناء تنفيذ مشروع المرأة (e-Women) الممول من التنمية التعاونية الإيطالية. وكان الهدف هو إنشاء وحدة إنتاجية بمعايير منخفضة التكلفة ومنخفضة التكنولوجيا باستخدام المواد المتوافرة محليا، وباستخدام الطاقة الشمسية القائمة بذاتها. واحتوى النظام على البُلطي ومجموعة واسعة من الخضار (الشكل 17.9). كما تم استخدام النظام؛ لتطوير تحليل التكلفة والفائدة، بما في ذلك الإهلاكات للأنظمة التي على نطاق منزلي؛ بهدف تلبية الدخل اليومي المستهدف والذي قدر بـ (1,25 دولارا أمريكيا)، والتي وضعتها الأهداف الإنمائية للألفية.

وباستخدام الأسعار المحلية تم وضع نظام الزراعة الأحيومائية بمقاس (27 م^2) بداخل بيت شبكي مبني من الخيزران، ومدعوم بألواح شمسية؛ لتوفير الطاقة الكهربائية كلف (25 دولارا أمريكيا/م^2). ويوفر هذا النظام ربحا صافيا قدره (1,0–2,2 دولارا أمريكيا/يوم) من الخضراوات، وحصة يومية من البُلطي للاستهلاك المنزلي

الشكل 17.9

إطار من الخيزران مليء بالتربة (أ)، تحفر حفرة ثم يتم وضع بطانة من البولي إيثيلين، لإنشاء قناة نمو وسرير وسائط النمو (ب)

مقدارها (400 غراما)، وتبلغ فترة الاسترداد (8,5–12 شهرا) اعتمادا على المحاصيل. ويُغني المنزل الشبكي عن الحاجة لمكافحة الآفات، ويجنب الموسمية من خلال تأمين دخل ضد الظروف المناخية السلبية (المطر). كما أن حضانة زريعة الأسماك أمر شائع جدا بين المزارعين في جنوب شرق آسيا، ويمكن أن يكون خيارا آخر في الزراعة الأحيومائية؛ لمواصلة تعزيز الدخل للأسر الفقيرة أو الأسر التي تفتقر إلى الأرض الزراعية. وأظهرت

نتائج هذا المشروع أن الزراعة الأحيومائية يمكن أن تلعب دورا مهما في تأمين الغذاء والمعيشة في العديد من المناطق في جميع أنحاء العالم، وأنها تساعد على إنتاج الأسماك والنباتات من أراض صغيرة، وتساعد الناس المعرضين للفقر على إيجاد مصادر دخل لهم. كما أنه يضيف قيمة إلى عمل صاحب المنزل، وتمكين المرأة على مستوى المجتمع المحلي.

الشكل 18.9
نبتة الروثا (قطيفة) تمنو في مياه مالحة بنسبة ثلثي ملوحة مياه البحر. نبتة الروثا تنتج 2–5 كغم/م^2 كل شهر

2.4.9 الزراعة الأحيومائية المالحة

إدماج تربية الأحياء المائية في المياه البحرية أو المائلة للملوحة مع الزراعة يوفر طرقا جديدة؛ لإنتاج الغذاء في المناطق الساحلية أو المعرضة للتملح، حيث لا يمكن تطوير الزراعة التقليدية. وتقدم تربية الأحياء المائية في المناطق الداخلية بالإضافة إلى المنافع البيئية المتمثلة في إعادة تأهيل المناظر الطبيعية مع مراقبة أكبر لعوامل الإنتاج، والحد من المخاطر المرتبطة بالملوثات، أو مسببات الأمراض. وعلى الرغم من أن المياه المالحة ليست مثالية للنباتات، حيث إنها تخلق الصدمات التناضحيّة، وتحد من النمو، وتجلب سُمية الصوديوم، إلا أنه لا يزال من الممكن أن تنمو بعضُ النباتات المفيدة في الملوحة المنخفضة. وهناك مجموعة كبيرة من النباتات يمكن أن تستفيد من المياه الغنية بالعناصر الغذائية التي يتم الحصول عليها من الزراعة الأحيومائية أو أنظمة إعادة التدوير المغلقة، ويمكن للنباتات المتحملة للأملاح (Halophytes) زيادة الإنتاج الغذائي في المناطق الجافة والمالحة ورفع الإنتاجية الزراعية. كما أن بعض الأنواع هي محاصيل ذات قيمة عالية ومتخصصة، كنبتة الروثا أو القطيفة (*Salsola* spp.) (الشكل 18.9)، والشومر (sea fennel)، والقطف (*Atriplex* spp.)، أو الساليكورنيا (*Salicornia* spp.). في حين يتم حصاد البعض من أجل الحبوب، مثل: الدخن (pearl millet)، والكينوا (quinoa)، وثعبان العشب (eelgrass). والبعض الآخر يمكن زراعتها؛ لإنتاج الديزل الحيوي، كما أن الظروف الملحية المثالية للنباتات المتحملة للأملاح هي في حدود ثلث إلى نصف ملوحة ماء البحر، ولكن هناك بعض النباتات التي تتحمل ظروف الملوحة العالية.

إن تكييف النباتات البُستانية على المياه المالحة هي واحدة من أكبر التحديات في الزراعة الحديثة، ومع ذلك فمن الممكن أن تنمو بعض الأنواع البُستانية مباشرة مع المياه المستملحة. كما أن معظم النباتات التي تنتمي إلى العائلة السرمقية (البنجر، والسلق) يمكن أن تنمو بسهولة في ملوحة من سدس إلى ثلث ملوحة ماء البحر؛ بسبب مقاومتها العالية للأملاح (الشكل 19.9). أما الأنواع الشائعة الأخرى كالطماطم والريحان فيمكن لها تحقيق إنتاج كبير قد يصل إلى واحد على عشرة ملوحة ماء البحر (الشكل 20.9) شريطة أن يتم اعتماد الاستراتيجيات الزراعية الموجهة، مثل: زيادة تركيزات العناصر الغذائية، والتكييف الحيوي للنباتات، والتطعيم مع أصول جذرية تتحمل الملوحة، والتحكم المُناخي المحسن، والكثافة الزراعية المرتفعة. ومع ذلك فإن الصفات النوعية للمحاصيل المالحة هي أعلى من المياه العذبة، سواء بالنسبة لخصائصها الحسية أو من حيث الذوق ومدة الصلاحية.

الشكل 19.9
نبتة بنجر السكر تنمو على صفائح البوليسترين الطافية في وحدة الزراعة في المياه العميقة في مياه مالحة، بنسبة ثلثي ملوحة مياه البحر

الشكل 20.9
نباتات الطماطم المطعمة (المركبة) تنمو في الرمل بمياه مالحة، بنسبة عشر ملوحة مياه البحر

3.4.9 تقنية البومينا واليومينا

هناك تقنية زراعة أحيومائية في إندونيسيا تستحق أن تسلط الأضواء عليها، ففي البهاسا الإندونيسية تسمى هذه التقنية البومينا واليومينا وتترجم حرفيا (الثمار – الأسماك) و (الخضر – الأسماك)، ويوضّح هذا الإسم كيف ترتبط النباتات والأسماك ارتباطا وثيقا ضمن نظام الزراعة الأحيومائية. والبومينا واليومينا هي أساسا نسخة من تقنية سرير وسائط النمو، حيث يعيش السمك في بركة محفورة في الأرض، ومبطنة بأكياس مليئة بالرمل أو الطوب المجوّف، ويتم تبطين هذه البركة ببطانة أخرى من قماش القنب، أو بطانة البولي إيثيلين، وهذه البطانة ضرورية؛ لمنع ردة الفعل الحيوية والكيميائية غير المرغوب فيها التي تحدث داخل الرواسب في القاع، وتساعد على الحفاظ على نظافة النظام. وتعيش الأسماك بالتناوب داخل الخزان الخرساني، ويتم ضخ المياه من هذه البركة إلى خزان رأسي يتم تشييده عادة من برميل بلاستيكي كبير. ويمكن أن يحتوي هذا البرميل على مواد الترشيح الميكانيكي والحيوي إذا كانت كثافة تخزين الأسماك عالية بما يكفي لتتطلب ذلك، ويتم توزيع المياه من هذا البرميل الرأسي عن طريق الجاذبية ومن خلال أنبوب التوزيع. ويتم صف أواني النباتات على كل البركة، وأواني الزهور البسيطة أو الحاويات الصغيرة الأخرى المليئة بوسائط النمو العضوية، كما يتم وضع أنبوب توزيع المياه فوق هذه الأواني، ويتم تنقيط المياه من خلال ثقوب صغيرة، بحيث يسقي ويخصّب الماءُ النباتات في هذه الأواني، ثم يخرج من الحفر الصغيرة في الجزء السفلي من الأواني ويعود مرة أخرى إلى بركة الأسماك (الشكل 21.9)، ويساعد تأثير المياه المتساقطة بشكل متتالٍ في البركة على تهوية البركة، وتعزيز مستوى الأكسيجين المذاب فيها. وتستخدم البومينا واليومينا باعتبارها عنصرا مهما من مبادرات الأمن الغذائي المنزلي في جميع أنحاء إندونيسيا، والتي تهدف إلى زيادة إنتاج البروتين المنزلي. إن الاستثمار الأولي لهذه الأنظمة أقل من أنظمة الحاويات الوسيطة (IBC) الواردة في هذا الدليل، ولكنها تتطلب بركة أرضية؛ ولذا فهي غير قابلة للتطبيق بالنسبة لبعض

الشكل 21.9

أنظمة البومينا (Bumina) في إندونيسيا مع وجود حوض أسماك في الوسط (أ، ب)، ويحيط به سرير وسائط نمو لزراعة الفراولة (ج)، ونباتات الطماطم (د)

المناطق الحضرية، وفي بعض الأماكن المغلقة، أو على أسطح المنازل.

5.9 ملخص الفصل

- يمكن استخدام سماد الشاي العضوي؛ لتكملة العناصر الغذائية للنباتات، ويمكن أن يُنتج على نطاق ضيق بواسطة تحويل المخلفات النباتية إلى سماد.
- يمكن زراعة أعلاف أسماك بديلة وتكميلية على نطاق صغير، بما في ذلك الطحلب البطي، وطحلب الأزولا (*Azolla* spp.)، والحشرات، وشجرة المورينغا.
- يمكن جمع البذور وتخزينها باستخدام تقنيات بسيطة؛ لتقليل التكاليف وإعادة الانبات.
- جمع مياه الأمطار وتخزينها يوفر وسيلة فاعلة من حيث التكلفة؛ لتجديد مياه الزراعة الأحيومائية.
- ينبغي استخدام الأساليب المأمونة؛ لمنع كارثة خسارة المياه، وهي أحداث يمكن أن تقتل الأسماك.
- مياه الزراعة الأحيومائية يمكن استخدامها لتسميد وري أنشطة البستنة الأخرى.
- العديد من أنواع وطرق الزراعة الأحيومائية تتعدى الأمثلة الواردة في هذا الدليل.

مراجع لمزيد من القراءة

أنظمة تربية الأحياء المائية المغلقة وتكاثر الأسماك

Lim, C. & Webster, C.D. 2006. *Tilapia: biology, culture, and nutrition*. Bing Hampton, USA, Haworth Press. 678 pp.

Timmons, M.B. & Ebeling, J.M. 2010. *Recirculating aquaculture*. Ithaca, USA, Cayuga Aqua Ventures. 975 pp.

Szyper, J.P., Tamaru, C.S., Howerton, R.D., Hopkins, K.D., Fast, A.W. & Weidenbach, R.P. 2001. *Maturation, hatchery and nursery techniques for Chinese catfish,* Clarias fuscus*, in Hawaii*. Aquaculture Extension Bulletin. University of Hawaii Sea Grant College Program.

Woynarovich, A., Moth-Poulsen, T. & Péteri, A. 2010. *Carp polyculture in Central and Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia: A manual.* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 554. Rome, FAO. 73 pp.
(also available at: www.fao.org/docrep/ 013/i1794e/i1794e00.htm).

الملف الشخصي لأنواع الأسماك

FAO. 2014. Species profiles. In: *FAO Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System* [online]. Rome. [Cited 2 September 2014].
www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/en/

FAO. 2014. Nile tilapia - *Oreochromis niloticus.* In: *FAO Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System* [online]. Rome. [Cited 2 September 2014].
www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/nile-tilapia/nile-tilapia-home/en/

FAO. 2014. Common carp - *Cyprinus carpio*. In: *FAO Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System* [online]. Rome. [Cited 2 September 2014].
www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/common-carp/common-carp-home/en/

الزراعة الأحيومائية

Backyard Aquaponics. 2011. *The IBC of aquaponics* [online]. Edition 1.0. Backyard Aquaponics, Success Western, Australia.
Available at: www.backyardaquaponics.com/Travis/IBCofAquaponics1.pdf

Bailey, D.S., Rakocy, J.E., Cole, W.M. & Shultz, K.A. 1997. Economic analysis of a commercial-scale aquaponic system for the production of tilapia and lettuce. *In*: *Tilapia Aquaculture: Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Orlando, Florida*.

Bernstein, S. 2011. *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. Gabriola Island, Canada, New Society Publishers. 255 pp.

Danaher, J.J., Pantanella, E., Rakocy, J.E., Shultz, R.C. & Bailey, D.S. 2011. *Dewatering and composting aquaculture waste as a growing medium in the nursery production of tomato plants*. Acta Hort. (ISHS) 891. pp. 223–229.

Diver, S. 2007. *Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture*. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. 46 pp.

Gloger, K.C., Rakocy, J.E., Cotner, J.B., Bailey, D.S., Cole, W.M. & Shultz, K.A. 1995. *Waste treatment capacity of raft hydroponics in a closed recirculating fish culture system*. World Aquaculture Society, Book of Abstracts. pp. 126–127.

Hughey, T.W. 2005. *Barrel-ponics (a.k.a. aquaponics in a barrel)* [online].
Available at: www.aces.edu/dept/fisheries/education/documents/barrel-ponics.pdf

Lennard, W.A. & Leonard, B.V. 2006. A comparison of three different hydroponic subsystems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6): 539–550.

Pantanella, E. 2012. Integrated marine aquaculture-agriculture: sea farming out of the sea. *Global Aquaculture Advocate*, 15(1): 70–72.

Pantanella, E., Cardarelli, M. & Colla, G. 2012. Yields and nutrient uptake from three aquaponic sub-systems (floating, NFT and substrate) under two different protein diets. *In*: *Proceedings. AQUA2012. Global Aquaculture securing our future. Prague, Czech Republic 1-5 Sept 2012.*

Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E. & Marcucci, A. 2011. *Aquaponics vs hydroponics: production and quality of lettuce crop*. Acta Hort. 927. pp. 887–893.

Rakocy, J.E. 2007. Aquaponics, integrating fish and plant culture. *In* T.B. Simmons & J.M. Ebeling, eds. *Recirculating aquaculture*, pp. 767–826. Ithaca, USA, Cayuga Aqua Ventures.

Rakocy, J.E. 2007. Ten guidelines for aquaponic systems. *Aquaponics Journal*, 46: 14–17.

Rakocy, J. E., Masser, M.P. & Losordo, T.M. 2006. *Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture*. SRAC publication 454. 1–16.

Rakocy, J.E, Masser, M.P. & Losordo, T.M. 2006. *Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture*. SRAC Publication No. 454 (revision November 2006). USA, Department of Agriculture.

Rakocy, J.E., Shultz, R.C., Bailey, D.S. & Thoman, E.S. 2004. *Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system*. Acta Horticulturae 648. pp. 63–69.

Savidov, N. 2005. *Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta*. Phase II. Final Report - Project #2004-67905621.

Seawright, D.E., Stickney, R.R. & Walker, R.B. 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponic systems. *Aquaculture*, 160: 215–237.

Tyson, R.V., Simonne, E.H., White, J.M. & Lamb, E.M. 2004. Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 117: 79–83.

البكتيريا والميكروبات ودورة النتروجين

Carmignani, G.M. & Bennett., J.P. 1977. Rapid start-up of a biological filter in a closed aquaculture system. *Aquaculture*, 11(1): 85–88.

Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. & Verstraete, W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270: 1–14.

Hargreaves, J.A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, 166: 181–212.

Lewis, W. & Lowenfels, J. 2010. *Teaming with microbes: a gardener's guide to the soil food web*. Portland, USA, Timber Press. 220 pp.

تصميم وإنشاء تقنية الشفط بالجرس

Fox, B.K., Howerton, R. & Tamaru, C.S. 2010. *Construction of automatic bell siphons for backyard aquaponic systems*. Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Mānoa.

Lennard, W.A. & Leonard, B.V. 2004. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International*, 12: 539–553.

أغذية الأسماك

Bondari, K. & Sheppard, D.C. 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture*, 24: 103–109.

FAO. 1983. FAO composition of feedstuff (Table 1). In: *Fish feeds and feeding in developing countries*. ADCP/REP/83/18. Rome. (also available at: www.fao.org/docrep/q3567e/q3567e03.htm#2.2%20composition%20of%20feedstuffs).

FAO. 2013. *Edible insects: future prospects for food and feed security*. FAO Forestry Paper 171. Rome. 187 pp.
(also available at: www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e00.htm).

FAO. 2014. FAO feed resources database. In: *FAO Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System* [online]. Rome. [Cited 2 September 2014].
www.fao.org/fishery/affris/feed-resources-database/en/

Fasakin, E.A., Balogun, A.M. & Fasuru, B.E. 1999. Use of duckweed, *Spirodela polyrrhiza* L. Schleiden, as a protein feedstuff in practical diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research*, 30(5): 313–318.

Hasan, M.R. & Chakrabarti, R. 2009. *Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: A review*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 531. Rome, FAO. 123 pp.
(also available at: www.fao.org/docrep/012/i1141e/i1141e00.htm).

New, M.B. 1987. *Feed and feeding of fish and shrimp*. ADCP/REP/87/26. Rome, FAO.
(also available at: www.fao.org/docrep/s4314e/s4314e00.htm#Contents).

NRC. 1993. *Nutrient requirement of fish*. Washington, DC, National Academy Press. 126 pp.

Richter, N., Siddhuraju, P. & Becker. K. 2003. Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture*, 217(1): 599–611.

Sheppard, D.C., Tomberlin, J.K., Joyce, J.A., Kiser. B.C. & Sumner, S.M. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *J. Med. Entomol.*, 39(4): 695–698.

Sophie St-Hilaire, I.S., Cranfill, K., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C. & Irving, S. 2007. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(2): 309–313.

Wagner, G.M. 1997. *Azolla*: a review of its biology and utilization. *Botanical Review*, 63(1): 1–26.

شاي السماد

Brewing Compost Tea. Fine Gardening. Brewing Compost Tea by Elaine Ingham. Available at: www.finegardening.com/brewing-compost-tea.

Ingham, E.R. 2000. *The compost tea brewing manual*. Fifth edition. Corvallis, USA, Soil Foodweb Incorporated. 79 pp.

أمراض الأسماك

Bondad-Reantaso, M.G., McGladdery, S.E., East, I. & Subasinghe, R.P., Eds. 2001. *Asia Diagnostic Guide to Aquatic Animal Diseases.* FAO Fisheries Technical Paper. No. 402, Supplement 2. Rome, FAO. 240 pp.
(also available at: www.fao.org/docrep/005/y1679e/y1679e00.htm).

Noga, E.J. 1996. *Fish disease, diagnosis and treatment*. St. Louis, USA, Mosby Year-Book inc. 367 pp.

البيوت المحمية والبيوت الشبكية

FAO. 1999. *Greenhouses and shelter structures for the tropics*. Plant Production and Protection Paper 154. Rome. 138 pp.

FAO. 2013. *Good agriculture practices for greenhouse vegetable production: Principles for the Mediterranean climate areas.* Plant Production and Protection Paper 217. Rome. 621 pp. (also available at: www.fao.org/docrep/018/i3284e/i3284e.pdf)

نقص العناصر الغذائية

Bennett, W.F. 1993. *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*. St. Paul, USA, American Phytopathological Society. 202 pp.

Berry, W. 2010. *Symptoms of deficiency in essential minerals* [online]. UCLA. Lincoln Plant Physiology online. Fifth edition.
Available at: http://5e.plantphys.net/article.php?ch=t&id=289

أمراض النبات

Agrios, G.N. 2004. *Plant pathology*. Fifth edition. Burlington, USA, Elsevier Academic Press. 933 pp.

Copping, L.G. 2004. *The manual of biocontrol agents*. Third edition. Alton, UK, BCPC publications. 702 pp.

Cornell University. *Plant Disease Diagnostic Clinic* [online].
Available at: http://plantclinic.cornell.edu/factsheets.html

IFOAM. 2012. *The IFOAM norms for organic production and processing*. Bonn, Germany. 132 pp.

Pal, K.K. & McSpadden Gardener, B. 2006. *Biological control of plant pathogens*. The Plant Health Instructor DOI: 10.1094/PHI-A-2006-1117-02. pp. 1-25.

Soil Association. 2011. *Material for pest and disease control in organic crops*. Fact sheet. Bristol, UK, Soil Association Trade and Producer Support. 18 pp.

Texas A&M Agrilife Extension. *Texas plant disease handbook* [online].
Available at: http://plantdiseasehandbook.tamu.edu/food-crops/vegetable-crops/

إدارة الآفات

ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service. Pest management [online]. Available at: https://attra.ncat.org/pest.html

Colorado State University Extension. *Insect publication* [online].
Available at: www.ext.colostate.edu/pubs/pubs.html#insects

Cranshaw, W.S. 2008. *Bacillus thuringiensis* [online]. Factsheet 5.556. Colorado State University Extension. Available at: www.ext.colostate.edu/pubs/insect/05556.html

Ellis, B.W. & Bradley, F.M. 1996. *The organic gardener's handbook of natural insect and disease control*. Emmaus, USA, Rodale Press Inc. 544 pp.

Kogan, M. 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43(1): 243–270.

Olkowski, W., Dietrick, E., Olkowski, H. & Quarles, W. 2003. Commercially available biological control agents. *IPM Practitioner*, 25: 1–9.

Rondon, S.I., Cantliffe, D.J. & Price, J. 2001. Augmentative biological control of insects: possibilities for vegetable greenhouse producers. *FACTS Proceedings 2001*, pp. 15–16.

Shour, M.H. 2000. *Pesticides from nature* [online]. Iowa State University Extension. Available at: www.extension.iastate.edu/newsrel/2000/aug00/aug0007.html

Washington State University (WSU). 2011. *Organic pest control in the vegetable garden* [online]. Community Horticulture Fact Sheet #13. King County Extension. Available at: http://ext100.wsu.edu/king/wp-content/uploads/sites/17/2014/02/Organic-Pest-Control-in-the-Vegetable-Garden1.pdf

UW Madison Department of Entomology. *Insect ID* [online]. Available at: www.entomology.wisc.edu/insectid/index.php

الزراعة بدون تربة

Cooper, A. 1979. *The ABC of NFT. Nutrient film technique. The world's first method of crop production without a solid rooting medium*. Portland, USA, Intl Specialized Book Service Inc. 181 pp.

Raviv, M. & Lieth, J.H. 2008. *Soil-less culture: theory and practice*. First edition. London, Elsevier Publishing. 608 pp.

Resh, H.M. 2004. *Hydroponic food production. A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. Sixth edition. Mahwah, USA, Newconcept Press. 567 pp.

أسرة الفتيلات

Sullivan, C., Hallaran, T., Sogorka, G. & Weinkle, K. 2014. An evaluation of conventional and subirrigated planters for urban agriculture: Supporting evidence. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 1–9.

Wicking bed. *Wicking bed – a new technology for adapting to climate change* [online]. pp. 1–14. Available at: www.waterright.com.au/wicking_bed_technology.pdf

Wicking worm bed. *Wicking worm bed. Basic principles* [online]. pp. 1–10. Available at: www.waterright.com.au/Wicking%20worm%20beds.pdf

المصطلحات

الحمض – مادة تتميز بالقدرة على التفاعل مع القواعد (القلويات) في الماء؛ لتكوين أملاح. يُطلِق الحمض أيونات الهيدروجين الموجبة في حال التفكك في الماء، وله درجة حموضة أقل من 7.

القلوية – كمية المعادن القلوية (الرابط الحمضي)، التي لدى المحلول في الماء؛ لتحييد أيونات الهيدروجين. عادة ما يتم التعبير عن ذلك بوحدات SBV (اختصار للمصطلح الألماني Säurebindungsvermögen) أو ما يعادلها من كربونات الكالسيوم تحت عامل التحويل من (1 SBV =50 ملغم مكافئ من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ /لتر). يتم قياس القلوية باستخدام برتقالية الميثيل كمؤشر، ويشير الاختلاف في اللون إلى درجة حموضة تتراوح من 4,2 إلى 4,4، من حيث التعريف، والاستنفاد الكامل للقلويات.

اللاهوائية – يشير إلى حالة أو عملية لا يوجد فيها غاز الأكسيجين أو ليس ضروريا لحدوثها.

الشفط التلقائي – الأداة التي تغمر وتستنزف تلقائيا خزان المياه دون توقيت أو أجزاء متحركة. والمياه الواردة تملأ الخزان حتى تصل إلى الارتفاع الحرج الذي تم ضبطه بأداة الشفط، ويبدأ بسحب المياه من الخزان بتدفق أسرع للماء الخارج من الخزان مقارنة مع الماء الداخل إليه. وفي نهاية المطاف يفرغ الخزان ويتيح للهواء الدخول إلى الأداة؛ لإيقاف الاستنزاف والسماح للخزان بأن يمتلئ مرة أخرى بالماء.

التوازن – حالة من التوازن الديناميكي في النظام الزراعي المتكامل، كالزراعة الأحيومائية، حيث إن العديد من العمليات الحيوية والكيميائية تبقى مستقرة عبر الوقت.

التحشف الحيوي (Biofouling) – تراكم الكائنات الحية على الأسطح الرطبة التي يمكن أن تؤثر على أدائها.

الأكسدة – نوع من التفاعل الكيميائي، ويرتبط دائما بالنقصان، بحيث يفقد الجزيء إلكترونا ويرتبط في كثير من الأحيان مع الأكسيجين. ومن الأمثلة على ذلك حرق الخشب أو صدأ الحديد.

إغلاق العناصر الغذائية (التي تعتمد على درجة الحموضة وتوافر العناصر الغذائية) – إن تأثير درجة الحموضة وكيمياء التربة على قابلية الاستفادة من العناصر الغذائية التي سيتم امتصاصها بواسطة النباتات أهمية خاصة في الزراعة المائية والزراعة الأحيومائية. كل العناصر الغذائية لديها نطاق لدرجة الحموضة حيث تكون فيها متاحة، ولكن خارج هذا النطاق فإن النباتات لا تكون قادرة على استخدام العناصر الغذائية على الرغم من وجودها في المحلول المغذي.

الغرق والاستنزاف – طريقة التحكم في تدفق المياه في سرير الزراعة المائية أو الأحيومائية، حيث تغمر وسائط النمو وتستنزف بالماء بالتناوب، والذي يضمن التهوية الكافية لكلٍ من جذور النباتات والمستعمرات البكتيرية، في حين يعمل على توزيع الماء والعناصر الغذائية على حد سواء، ويعرف أيضا بإسم المد والجزر.

أكلة اللحوم – حيوان يتغذى أساسا على أنسجة الحيوانات الأخرى.

المرشح الحيوي (biofilter) – مكون من وحدات المعالجة لنظام تربية الأحياء المائية، التي تحلل الملوثات العضوية (يتأكسد بشكل رئيس)؛ نتيجة للنشاط الميكروبي. أهم العمليات هي تدهور الأيض النتروجيني عن طريق البكتيريا المتغايرة، وأكسدة الأمونيا عبر النتريت إلى نترات.

المحافظة على درجة الحموضة (Buffering) (قدرة الرابط الحمضي) – قدرة المحلول الذي يحتوي على قاعدة ضعيفة وحمض مترافق؛ لمقاومة انخفاض الرقم الهيدروجيني عند إضافة كميات صغيرة من الحمض. تحدث المحافظة على درجة الحموضة ضمن نطاق درجة حموضة محددة، وضمن القدرات التي تعتمد على مقدار القلويات الحاضرة في المحلول. وفي الزراعة الأحيومائية تحدث المحافظة على درجة الحموضة مع كربونات أو أيونات البيكربونات رابطة أيونات الهيدروجين من حمض النيتريك حتى تصبح جميعها مشبعة بحمض الكربونيك، شكلها الحمضي الخاص المقترن بها.

الحبيبات – وصف لمجموعات الأحجام من المواد الحبيبية مع الآثار المترتبة على نسبة المساحة إلى الحجم.

الصلابة – قياس تركيزات الأيونات الذائبة من الكالسيوم والمغنيسيوم في الماء. ويعبّر عنها بقياس كربونات الكالسيوم بالملغم لكل لتر (ملغم/لتر). ويمكن التعبير عن الصلابة أيضا بـملي مكافئ (milliequivalent) للتر الواحد، والصلابة الألمانية (°dH) أو ملغم/لتر من أكسيد الكالسيوم (CaO) وفقا لعامل التحويل التالي: 50 ملغم/لتر كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) = 1 مل مكافئ/لتر = 2,805 (°dH) = 28 ملغم/لتر أكسيد الكالسيوم (CaO).

الزراعة المائية – شكل من أشكال الزراعة بدون تربة حيث يتم توفير المغذيات التي تحتوي على كافة العناصر الغذائية الكبيرة الأساسية، والمغذيات الدقيقة اللازمة لتحقيق نمو النباتات، إما عن طريق ري وسائط نمو خاملة أو مباشرة داخل الخزانات التي تحتوي على المحلول المغذي.

النتروجين الجزيئي – عنصر غازي عديم الرائحة يشكل 78 في المائة من الغلاف الجوي للأرض، كما أنه أحد مكونات جميع الأنسجة الحية، وهو خامل تقريبا في شكله الغازي.

النترجة – التحويل البكتيري الهوائي (الأكسدة) للأمونيا والنتروجين العضوي لأملاح مستقرة (النترات)، عن طريق البكتيريا، وغالبا المجموعة النتريتية (*Nitrosomonas* spp.) والبكتيريا المؤكسدة للنتريت (*Nitrobacter* spp.).

أيون – ذرّة بشحنة كهربائية إيجابية (كاتيون، أيون موجب الشحنة) أو سلبية (أيون سالب الشحنة)، نتيجة لوجود الإلكترونات المفقودة أو المكتسبة.

إقلال – نوع من التفاعل الكيميائي، يرتبط دائما مع الأكسدة، بحيث يكتسب الجزيء إلكترونا، وغالبا ما يفقد جزيء الأكسيجين وذرة أو أيونا.

الزراعة بدون تربة (الزراعة المائية) – زراعة النباتات بدون تربة. ويتم تغذية النباتات بمحلول مهوّى من العناصر الغذائية، ويتم تثبيت الجذور إما داخل المصفوفة الخاملة (وسيط النمو)، أو تطفو بحرية في المحلول المغذي.

المساحة السطحية النوعية – مقياس متري لوصف مقدار مساحة السطح المتعرضة لكل وحدة حجم لجسم ما منفردا أو في مجموعة. توفر قيمة القراءة غير المباشرة للمسامية وحجم الحبيبات للجسم، وله أهمية خاصة بالنسبة للتفاعل الكيميائي والنشاط الحيوي، كما توفر النسبة العالية مساحة أكبر للعمل.

الإجهاد – مجموع التفاعلات الحيوية إلى أي مؤثرات سلبية (مادية: داخلية أو خارجية) التي تعكر صفو حالة التشغيل الأمثل للكائن الحي، ويمكن أن يقلل فرصه في البقاء على قيد الحياة.

التنمية المستدامة – الإدارة والحفاظ على قاعدة الموارد الطبيعية، وتوجيه التغير التكنولوجي والمؤسسي بطريقة تضمن تحقيق استمرار تلبية الاحتياجات البشرية للأجيال الحالية والمستقبلية. هذه التنمية المستدامة تحافظ على الأراضي والمياه والنباتات والموارد الوراثية الحيوانية، وهي بيئيا غير مهينه non degrading ومناسبة من الناحية التكنولوجية، قابلة للتطبيق اقتصاديا ومقبولة اجتماعيا.

بصمة – أداة قياس الموارد لتحديد مساحات الأراضي أو المياه اللازمة لدعم المجتمع أو النشاط بالموارد واستيعاب المخلفات المنتجة. يتم الحصول على استدامة أعلى عندما تكون هناك حاجة لبصمة أصغر للحصول على نفس المنتج باستخدام تقنية مختلفة أو لدعم المجتمع من خلال اعتماد إدارة سليمة أكثر.

تثبيت النتروجين – العملية التي تكون فيها بعض البكتيريا والزراقم قادرة على تحويل النتروجين الجوي إلى أشكال مركبة في التربة؛ مما يجعلها متاحة للنباتات.

خزان علوي – خزان مياه يوضع على ارتفاع مناسب؛ لتوريد المياه لوحدات تربية منخفضة، على سبيل المثال: حاضنات التفريخ، وخزانات الحضانة.

دورية ضوئية – الاستجابة الفسيولوجية للنباتات والحيوانات للطول الموسمي للأيام والليالي. ووجود خلايا مستقبلة للضوء في النباتات تشعر النباتات بالفترة المثلى للتزهير. ويمكن للنباتات التي تتأثر بنسبة التعرض للضوء أن تبدأ بوضع الزهور إما في الأيام الطويلة أو القصيرة تبعا للأنواع. وفي الحيوانات فإن الدورية الضوئية جنبا إلى جنب مع درجة الحرارة تنظمان التغيرات الفسيولوجية في السلوك الجنسي، والهجرة، والسبات.

دورة المغذيات (دورة النتروجين) – الدورة الجيوكيميائية الحيوية، والتي بها تتحرك العناصر الغذائية غير العضوية من خلال التربة والكائنات الحية والهواء والماء. وفي الزراعة فإنه يشير إلى العودة مرة أخرى إلى التربة كعناصر غذائية تمتصها النباتات من التربة. وتدوير المغذيات يمكن أن يتم من خلال سقوط ورقة، تحلب الجذر (إفراز), إعادة تدوير البقايا وإدماج الأسمدة الخضراء إلخ...

رأس، رأس ضغط، في الهيدروليات (علم السوائل المتحركة) – قياس ضغط المياه الواردة، يعبر عنه بالارتفاع الذي يمسك به الماء أو يمكن أن يرتفع اليه الماء، والسماح للمياه بالتدفق إلى مستويات أدنى، دفعها عن طريق الأنابيب، إلخ...

عاشب – حيوان يتغذى أساسا على المواد النباتية.

قارت – الحيوان الذي يستهلك كل من المواد النباتية والحيوانية.

قابل للذوبان – قدرة المادة المراد إذابتها على الذوبان في الماء أو أوساط السوائل الأخرى، تعتمد عادة على شحنة وحجم جزيئاتها وشحنة السائل. وكلما كانت الجزيئات أكبر كانت أقل قابلية للذوبان في الماء.

قاعدي – مادة تتميز بالقدرة على التفاعل مع الأحماض أو أيونات الهيدروجين الموجبة في الماء لتكوين أملاح. المادة القاعدية تطلِق أيونات الهيدروكسيد السالبة حال التفكك في الماء، وله درجة حموضة أعلى من 7.

كثافة التخزين – عادة يكون تعبيرا عن عدد الأسماك في وحدة المساحة، أو وزن الأسماك لكل وحدة حجم من المياه عند التخزين.

منقي – خزان ترسيب يتم إنشاؤه لإزالة المواد الصلبة العالقة من المياه، عن طريق الترسيب أو الفصل عن الأوساط المائية.

مخلبي – وجود ارتباط جزيئي لأيونات المعادن ولجين أكبر، وعادة ما يجعل الأيون أكثر قابلية للذوبان ومتاحا من الناحية الحيوية.

متلازمة الخزانات الجديدة – حالة شائعة في خزانات أنظمة تربية الأحياء المائية وخزانات أسماك الزينة المثبتة حديثا، مع قدرات غير كافية أو غير ناضجة للترشيح الحيوي؛ مما يؤدي إلى تراكم الأمونيا السامة والنتريت، ويتسبب في إجهاد الأسماك والموت في نهاية المطاف.

نسبة معدل التغذية – النسبة التي تساعد على تحقيق التوازن بين نظام الزراعة الأحيومائية، تربط كمية الأعلاف التي يتم إضافتها إلى كمية النباتات المزروعة.

نزع النتروجين – تخفيض الكيمياء الحيوية من النترات عبر وسيطة النتريت للنتروجين الجزيئي (الغازي) وثاني أكسيد الكربون من خلال النشاط الميكروبيولوجي. في تربية الأحياء المائية عملية معالجة المياه اللازمة في أنظمة إعادة التدوير (الأنظمة المغلقة) من تراكم النتروجين مع تغيير ضئيل أو معدوم للمياه، ويحدث أيضا في خزانات الترسيب وفخاخ المواد الصلبة العالقة وخزانات تخزين المياه.

نسبة الكتلة الحيوية – التوازن الأمثل بين الأسماك والنباتات؛ للحصول على الأسماك الجيدة والنمو النباتي. يتم التعبير عن ذلك بمنطقة زراعة النباتات التي يمكن دعمها وفقا لمعدل تغذية معين.

هوائي – إشارة إلى حالة أو عملية، حيث يكون غاز الأكسيجين موجودا أو مطلوبا لحدوثها. الكائنات الهوائية تحصل على الطاقة للنمو من التنفس الهوائي.

وناء التربة – حالة في التربة تؤدي إلى انخفاض تدريجي في العوائد بعد زراعة متكررة لنفس المحصول في نفس المنطقة. وهذه الحالة هي نتيجة لمزيج من نضوب المغذيات، واستغلال بنية التربة (المادة العضوية منخفضة)، وتراكم مسببات الأمراض (الطفيليات والحشرات والبكتيريا والفطريات)، التي تستهدف على وجه التحديد المحاصيل، واختيار أنواع الأعشاب المحددة، وتراكم الإفرازات التي تحول دون الجذر.

AC / DC – نوع من الأجهزة الكهربائية يمكن أن تعمل مع كلٍّ من التيار المتردد (AC)، مثال على ذلك التيار الذي ينبعث من مقبس الحائط والتيار المباشر (DC)، ومثال على ذلك التيار الذي ينبعث من البطارية، وعادة ما تستخدم في أنظمة الطاقة الاحتياطية القائمة على البطارية لأجهزة التهوية ومضخات المياه.

الملاحــق

الملحق الأول – المبادئ التوجيهية لإنتاج إثني عشر صنفا شائعا من الخضار من نباتات الزراعة الأحيومائية 171

الملحق الثاني – الآفات النباتية، ومكافحة الأمراض 185

الملحق الثالث – الآفات السمكية، ومكافحة الأمراض 189

الملحق الرابع – حساب كمية الأمونيا، ووسيطة الترشيح في المرشح الحيوي للزراعة الأحيومائية 195

الملحق الخامس – إنتاج أعلاف الأسماك محلية الصنع 197

الملحق السادس – الاعتبارات الرئيسة لإقامة نظام الزراعة الأحيومائية 205

الملحق السابع – تحليل التكاليف والمنافع لوحدات الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير 211

الملحق الثامن – دليل إنشاء أنظمة الزراعة الأحيومائية التي على النطاق الصغير خطوة بخطوة 215

الملحق الأول – المبادئ التوجيهية لإنتاج إثني عشر صنفا شائعا من الخضار من نباتات الزراعة الأحيومائية

توفر المعلومات الواردة أدناه المشورة الفنية لاثني عشر صنفا من الخضراوات الأكثر شعبية في النمو في الزراعة الأحيومائية. وتم تضمين معلومات حول ظروف النمو المثلى، بما في ذلك تعليمات محددة حول نموها وتقنيات الحصاد لكل نوع من الخضار. والمبادئ التوجيهية أدناه تستند على الخبرة المكتسبة والمتراكمة من ممارسة الزراعة الأحيومائية طويلة الأمد، ومن أدلة البستنة في التربة/بدون تربة، والأوراق الإرشادية، والخبرة المهنية من المزارعين والباحثين. وهذه القائمة ليست بأي حال من الأحوال شاملة، ولكنها توفر معلومات لازمة لزراعة أي محصول، ومساعدة القراء على توجيه بحثهم عن المعلومة عند زراعة المحاصيل التي لم يتم سردها هنا. إن المحاصيل الأخرى الشائعة وغير المدرجة في هذا الملحق، هي: البامية، والملفوف الصيني (pak choy, bok choy, ong choy)، والسبانخ (tatsoi) واللفت (kale)، والنعناع، والزعتر، والشبت، والبصل الأخضر، والثوم المعمر، والكزبر، والقلقاس، والجرجير، والزهور الصالحة للأكل، وزهور الزينة، وحتى أشجار الفاكهة الصغيرة. ومن الخضراوات الجذرية البصل، والجزر، والبنجر، والفجل، والقلقاس، والتي يجب أن تزرع في سرير الفتل الملحق بسرير وسائط النمو.

الريحان

درجة الحموضة: 6,5–5,5

المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 15–25 سم (8–40 نبتة/م^2)

وقت الإنبات: 6–7 أيام، **ودرجة الحرارة** 20–25°م

فترة النمو: 5–6 أسابيع (بدء الحصاد عندما تصبح النبتة بطول 15سم)

درجة الحرارة: 18–30°م، والأمثل هي 20–25°م

التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس، أو محمية قليلا

ارتفاع النبات: 30–70 سم، **وعرض النبات:** 30 سم

طريقة الزراعة الأحيومائية المُوصى بها: أسرة وسائط النمو، والزراعة بواسطة غشاء المغذيات (NFT)، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة الريحان في وحدات الزراعة الأحيومائية: الريحانُ هو أحد الأعشاب الأكثر شعبية في النمو في وحدات الزراعة الأحيومائية، وخاصة في الوحدات أحادية المحصول ذات الطابع التجاري الكبير؛ نظرا لقيمته العالية، وارتفاع الطلب عليه في المناطق الحضرية أو شبه الحضرية. والعديد من أصناف الريحان قد تمت تجربتها واختبارها في وحدات الزراعة الأحيومائية بما في ذلك ريحان جنوة الإيطالي (الريحان الحلو)، والريحان برائحة الليمون، والريحان الأرجواني، ونظرا لامتصاصه العالي للنتروجين، يعد الريحان نباتا مثاليا للزراعة الأحيومائية، ومع ذلك ينبغي أن يُتوخى الحذر؛ لتجنب نضوب المغذيات المفرط من المياه.

ظروف النمو: تحتاج بذور الريحان إلى درجة حرارة عالية ومستقرة نوعا ما لبدء الإنبات (20–25°م)، وعند زرع شتلات الريحان في الوحدات، ينمو الريحان بشكل أفضل في الظروف الحارة والحارة جدا، ويتحمل التعرض الكامل لأشعة الشمس. ومع ذلك يتم الحصول على نوعية أوراق أفضل من خلال التظليل الطفيف، ولكن مع درجات الحرارة اليومية بمعدل أعلى من 27°م يجب تهوية أو تغطية النباتات بشباك التظليل (نسبة التظليل: 20%) خلال مواسم الإشعاع الشمسي القوية؛ لمنع حروق الأطراف.

إرشادات الزراعة: ينبغي زرع الشتلات الجديدة في وحدة الزراعة الأحيومائية عندما يصبح للشتلات 4–5 أوراق حقيقية. ويمكن أن يتأثر الريحان بمختلف الأمراض الفطرية، بما في ذلك الذبول الفيوزاريومي، والعفن الرمادي، والبقعة السوداء، خاصة في ظل درجات حرارة دون المستوى الأمثل، وظروف الرطوبة العالية. وتساعد التهوية ودرجات حرارة المياه الأعلى من 21°م ليلا ونهارا على تقليل الإجهاد في النبات والإصابة بالأمراض.

الحصاد: حصاد الأوراق يبدأ عندما تكون النباتات بطول 15سم، ويستمر لمدة 30–50 يوما. كما يجب توخي الحذر عند التعامل مع الأوراق في موسم الحصاد؛ لتجنب الكدمات على الورق والإسوداد. ومن المستحسن إزالة الأفرع المزهرة أثناء نمو النباتات؛ لتجنب الأذواق المريرة في الأوراق وتشجيع التفرع. ومع ذلك فإن زهور الريحان جذابة للملقحات والحشرات المفيدة؛ لذلك يمكن ترك عدد قليل من النباتات المزهرة؛ لتحسين الحديقة، ولضمان إمدادات ثابتة من بذور الريحان. كما أن إنتاج بذور الريحان يعد تخصصا في بعض المواقع.

القرنبيط (الزهرة)

درجة الحموضة: 6,5–6,0
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 45–60 سم (3–5 نبتة/م^2)
وقت الإنبات: 4–7 أيام، ودرجة الحرارة: 8–20°م
فترة النمو: 2–3 أشهر (محاصيل الربيع)، 3–4 أشهر (محاصيل الخريف)
درجة الحرارة: 20–25°م للنمو الخضري الأولي، و10–15°م لوضع القرص (محاصيل الخريف)
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس
ارتفاع النبات: 40–60 سم، **وعرض النبات:** 60–70 سم
طريقة الزراعة الأحيومائية الموصى بها: أسرة وسائط النمو

زراعة القرنبيط في وحدات الزراعة الأحيومائية: القرنبيط نبات ذو قيمة عالية، وهو من المحاصيل الشتوية التي تنمو وتزدهر في وحدات سرير وسائط النمو مع تباعد كاف بين الشتلات. ويتطلب القرنبيط درجة مرتفعة نسبيا من العناصر الغذائية، والنباتات تتفاعل بإيجابية لتركيزات عالية من النتروجين والفوسفور. ومن بين العناصر الغذائية الأخرى، يُعد البوتاسيوم والكالسيوم عنصران مهمان لإنتاج الأقراص. ونبتة القرنبيط حساسة بشكل خاص للظروف المناخية، ولا تتطور الأقراصُ بشكل صحيح في الظروف الحارة، والباردة جدا أو الجافة جدا وبالتالي فإن اختيار الأصناف الملائمة والتوقيت الجيد للزراعة هما أمران حاسمان.

ظروف النمو: درجة حرارة الجو المثلى للنمو الخضري الأولي للنبتة هي 15–20°م. ولتشكل الأقراص تتطلب النباتات درجات حرارة من 10–15°م (محصول الخريف) أو 15–20°م (محصول الربيع) بشرط توافر نسبة جيدة من الرطوبة النسبية، وشروط الشمس الكاملة لتطوير أقراص جيدة. كما يمكن للنباتات أن تتحمل درجات الحرارة الباردة، ومع ذلك فيمكن أن تتلف الأقراص بسبب الصقيع، كما أن توافر الظل الخفيف يمكن أن يكون مفيدا عند درجات حرارة مرتفعة (فوق 23°م).

إرشادات الزراعة: تنبت البذور في صواني التنبيت في 20–25°م، ومن الأحسن العمل على تزويدها بأشعة الشمس المباشرة في وقت مبكر من بدء مراحل الشتلات؛ لكي لا تصبح النباتات طويلة الساق وعندما تكون النباتات بعمر 3–5 أسابيع، ولها 4–5 أوراق حقيقية فابدأ بزرعها في النظام الزراعي الأحيومائي بمسافات حوالي 50 سم عن بعضها البعض. وللحفاظ على اللون الأبيض للأقراص، استخدم المطاط؛ لتثبيت الأوراق الخارجية على القرص وتغطيته عندما يكون قطره حوالي 6–10 سم، وحالما يتم الوصول إلى هذه المرحلة قد يحين موعد الحصاد في أقل من أسبوع، وكذلك في درجات الحرارة المثالية أو في مدة شهر في ظروف أكثر برودة. ويمكن أن يتسبب الكثير من الشمس والحرارة أو امتصاص النتروجين في انفصال الزهرة الرئيسة إلى حبيبات صغيرة شبيهة بحبوب الأرز. كما يمكن لدرجات الحرارة الأقل من 12°م أن تؤدي إلى إنتاج "الأزارير" بدلا من الزهرة. والقرنبيط عرضة لبعض الآفات بما في ذلك ديدان الملفوف، وبرغوث الخنفساء، ويرقات الدودة البيضاء، والتي يمكن إزالتها يدويا أو باستخدام تقنيات أخرى لإدارة الآفات.

الحصاد: قم بالحصاد عندما تكون الأقراص مدمجة (قبل أن تتفكك وتكون زغبية) وعندما تكون بيضاء وقوية، ثم قم بقطع الأقراص من النبتة بسكين كبيرة، وإزالة النباتات والجذور المتبقية من أنبوب سرير النمو، وبجمعه في حاوية تصنيع السماد العضوي.

الخس (أوراق سلطة مختلطة)

درجة الحموضة: 6,0–7,0
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 18–30 سم (20–25 نبتة/م^2)
وقت الإنبات: 3–7 **أيام، ودرجة الحرارة:** 13–21°م
فترة النمو: 24–32 يوما (فترة أطول لبعض الأصناف)
درجة الحرارة: 15–22°م (ويزدهر عند درجة حرارة أكثر من 24°م)
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس (التظليل الخفيف في درجات الحرارة الدافئة
ارتفاع النبات: 20–30 سم، **وعرض النبات:** 25–35 سم
طريقة الزراعة الأحيومائية الموصى بها: أسرة وسائط النمو، والزراعة بواسطة غشاء المغذيات (NFT)، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة الخس في وحدات الزراعة الأحيومائية: ينمو الخس جيدا بشكل خاص في الزراعة الأحيومائية؛ نظرا لتركيز العناصر الغذائية المثلى في الماء. ويمكن زراعة العديد من الأصناف في الزراعة الأحيومائية، ولكن يتم تضمين أربعة أنواع رئيسة هنا وهي: خس الرأس الهش (جبل الجليد، iceberg)، والذي لديه قرص ضيق بأوراق مقرمشة ومتموجة، مثالي للظروف الأكثر برودة. وخس الرأس الزبدة (butterhead)، والذي يظهر الأوراق متراكمة فضفاضة واحدة على الأخرى، وليس لها أي طعم مر. الخس الرومي (romaine lettuce)، ولديه أوراق في وضع مستقيم ومطوية بإحكام، وهي حلوة في المذاق، ويتميز هذا الخس بورقه الفضفاض، ويأتي في مجموعة متنوعة من الألوان والأشكال وبدون أي قرص، ويمكن زرعه مباشرة في أسرة وسائط النمو، ويحصد بواسطة قطف الأوراق المنفردة دون جمع النبات كاملا. والطلب على الخس في ارتفاع، وله قيمة عالية في المناطق الحضرية وشبه الحضرية؛ مما يجعله محصولا مناسبا جدا للإنتاج التجاري على نطاق واسع.

ظروف النمو: الخس هو محصول شتوي، ولنمو الحزمة الورقية يجب أن تكون درجة حرارة هواء الليل 3–12°م، ودرجة الحرارة خلال النهار 17–28°م، ويتأثر النمو المتوالد بفترة الإضاءة ودرجة الحرارة، حيث إن الفترة النهارية الممتدة والشروط الدافئة في الليل (>18°م) تؤدي إلى وضع الزهور والبذور. ويمكن أيضا لدرجة حرارة الماء، التي هي أعلى من 26°م أن تؤدي إلى انشقاقه ومرارة الأوراق. وتتطلب نبتة الخس نسبة منخفضة من العناصر الغذائية، ومع ذلك فإن تركيزات الكالسيوم العالية في المياه تساعد على منع حرق أطراف الأوراق في المحاصيل الصيفية، ودرجة الحموضة المثالية هي 5,8–6,2، ولكن لا يزال الخس ينمو جيدا مع درجة الحموضة العالية مثل 7، على الرغم من أنه قد تظهر بعض أوجه القصور في الحديد؛ بسبب الانخفاض في التوافر الحيوي لهذا العنصر الغذائي فوق مستوى الحموضة المحايد.

إرشادات الزراعة: يمكن زراعة الشتلات في وحدات الزراعة الأحيومائية خلال ثلاثة أسابيع عندما يصبح عند النباتات على الأقل 2–3 أوراق حقيقية. والإخصاب التكميلي بالفوسفور للشتلات في الأسبوعين الثاني والثالث يحسّن من نمو الجذور، ويبعد الإجهاد في النبات عند إعادة الزراعة في الوحدة، وعلاوة على ذلك فإن عملية تصلب النبات من خلال تعريض الشتلات لدرجات حرارة أكثر برودة وأشعة الشمس المباشرة، لمدة 3–5 أيام قبل الزرع يؤدي إلى ارتفاع معدلات البقاء للشتلات. وعندما تقوم بزراعة الخس في الطقس الحار، قم بوضع تظليل بسيط على النباتات لمدة 2–3 أيام؛ لتجنب الإجهاد المائي. ولتحقيق الهشاشة في الأوراق، وطعم أوراق الخس الحلو، قم بتربية النباتات بوتيرة سريعة، من خلال الحفاظ على مستويات عالية من النترات في الوحدة. وعندما ترتفع درجة حرارة الهواء والمياه خلال الموسم استخدم أصناف (الصيف) المقاومة للتزهير، أما إذا كان الخس ستتم زراعته في سرير وسائط النمو، فقم بزراعة شتلات الخس الجديدة، حيث إنها ستكون مظللة جزئيا بالنباتات المجاورة الأطول منها.

الحصاد: يمكن أن يبدأ الحصاد في أقرب وقت عندما تكون الأوراق أو الحزمة كبيرة بما فيه الكفاية لتناولها كطعام. وإذا ما كنت تبيع إلى الأسواق، فقم بإزالة النباتات الكاملة والجذور عند الحصاد في أقرب وقت عندما تصل إلى وزن التسويق (250–400 غرام)، ثم قم بقطع الجذور ووضعها في حاوية تصنيع السماد العضوي، وقم بإجراء عملية الحصاد في الصباح الباكر عندما تكون الأوراق مقرمشة ومليئة بالندى، وبتبريدها بسرعة.

الخيار

درجة الحموضة: 5,5–6,5
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 30–60 سم (اعتمادا على التنوع في الأصناف 2–5 نبتة/م^2)
وقت الإنبات: 3–7 أيام، **ودرجة الحرارة:** 20–30°م
فترة النمو: 55–65 يوما
درجة الحرارة: 22–28°م في النهار، 18–20°م في الليل، عرضة للصقيع بشكل كبير
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس
ارتفاع النبات: 20–200 سم، **وعرض النبات:** 20–80 سم
طريقة الزراعة الأحيومائية الموصى بها: أسرة وسائط النمو والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة الخيار في وحدات الزراعة الأحيومائية: الخيار والأنواع الأخرى في العائلة القرعية بما في ذلك الإسكواش، والكوسة، والبطيخ، وهي خضراوات صيفية ممتازة عالية القيمة، حيث إنها مثالية للنمو في وحدة سرير وسائط النمو؛ لما لها من بنية جذر كبيرة. ويمكن أيضا أن يُزرع الخيار على الطوافات العائمة، وعلى الرغم من أنه ينمو في الأنابيب، إلا أنه يمكن أن يسد الأنابيب؛ نظراً لنمو الجذور المفرط. والخيار يتطلب كميات كبيرة من النتروجين والبوتاسيوم؛ وبالتالي فإن اختيار نوع النباتات يجب أن يأخذ في الاعتبار العناصر الغذائية المتوافرة في المياه، والكتلة الحيوية؛ لتخزين الأسماك.

ظروف النمو: الخيار ينمو بشكل أفضل في الأيام الطويلة الحارة والرطبة، مع وفرة أشعة الشمس والليالي الدافئة. ودرجات الحرارة التي تُعطي النمو الأمثل هي (24–27°م) خلال النهار مع (70–90%) من الرطوبة النسبية، ودرجة حرارة الركيزة (وسيط النمو) المثلى هي حوالي (21°م). يُوقف نبات الخيار نموه وإنتاجه عند (10–13°م). ويُوصى بأن يكون تركيز البوتاسيوم أعلى لصالح نشأة وانعقاد الثمار؛ وبالتالي العائد المرتفع.

إرشادات الزراعة: يمكن زرع شتلات الخيار خلال (2–3) أسابيع في مرحلة (4–5) ورقية، مضافا إلى ذلك أنها تنمو بسرعة كبيرة، وأنها تعتبر ممارسة جيدة؛ للحد من الزيادة أو التمدد الخضري، وتحويل العناصر الغذائية إلى أثمار عن طريق قطع القمة الجذعية عندما يصبح الجذع طوله مترين. كما أن إزالة الفروع الجانبية توفر التهوية المناسبة. ومزيدا من استطالة النباتات يمكن الحصول عليه بواسطة ترك البُرعمين الأبعد الذين يخرجان من الساق الرئيسة. ويتم تشجيع النباتات على مزيد من الإنتاج من خلال الحصاد المنتظم للثمار بحجم التسويق (>180غراما لأصناف الشرائح). كما أن وجود حشرات التلقيح ضروري للإخصاب الجيد وانعقاد الثمار، وتحتاج نباتات الخيار إلى دعم لنموها، كما توفر هذه الدعائم أيضا التهوية الكافية؛ للوقاية من الأمراض الورقية (البياض الدقيقي، والعفن الرمادي)، ونظرا لارتفاع نسبة حوادث الآفات في نباتات الخيار فمن المهم التخطيط للاستراتيجيات المناسبة للإدارة المتكاملة للآفات (الفصل 6)، والقيام بالزراعة المتداخلة في وحدة النبات مع النباتات الأقل تأثرا بالعلاجات الممكنة المستخدمة.

الحصاد: عندما يتم زرعها، يمكن أن يبدأ الخيار في الإنتاج بعد (2–3) أسابيع، وفي الظروف المثلى يمكن حصاد النباتات (10–15) مرة. وينصح بالحصاد كل بضعة أيام؛ لمنع الثمار من أن تصبح كبيرة بشكل مفرط.

الباذنجان

درجة الحموضة: 7,0–5,5
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 40–60 سم (3–5 نبتة/م^2)
وقت الإنبات: 8–10 أيام، **ودرجة الحرارة:** 25–30°م
فترة النمو: 90–120 يوما
درجة الحرارة: 15–18°م ليلا، 22–26°م نهارا، وعرضة للصقيع بشكل كبير
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس
ارتفاع النبات: 60–120 سم، **وعرض النبات** 60–80 سم
طريقة الزراعة الأحيومائية الموصى بها: أسرة وسائط النمو

زراعة الباذنجان في وحدات الزراعة الأحيومائية: الباذنجان هو نبات صيفي مثمر ينمو جيدا في سرير وسائط النمو؛ نظرا للنمو العميق لنظم الجذور، ويمكن أن تنتج النبتة (10–15 ثمرات)، وبعائد إجمالي من 3–7 كغم. وللباذنجان متطلبات عالية من النتروجين والبوتاسيوم؛ مما يدل على الحاجة إلى خيارات إدارة واعية في كل وحدة زراعة أحيومائية؛ من أجل تجنب الاختلالات في العناصر الغذائية.

ظروف النمو: يفضل الباذنجان درجات الحرارة الدافئة مع التعرض لأشعة الشمس بالكامل، ويكون أداؤها أفضل مع درجات الحرارة اليومية، التي هي في حدود (22–26°م)، والرطوبة النسبية تكون من (60–70%)، وكلاهما لصالح تكوّن وانعقاد الثمار. ودرجات الحرارة التي تكون (< 9–10°م) و (> 30–32°م) تحد كثيرا من نموه.

إرشادات الزراعة: تنبت البذور خلال 8–10 أيام في درجات الحرارة الدافئة (26–30°م). ويمكن زرع الشتلات عندما يصبح بها (4–5 ورقات). وعندما ترتفع درجات الحرارة في فصل الربيع قرب نهاية موسم الصيف، ابدأ بإزالة الأزهار الجديدة، التي تظهر لصالح نضج الثمرة القائمة. وفي نهاية هذا الموسم يمكن أن يتم تجريد النباتات (تشذيب) بشكل كبير عند 20–30 سم من خلال ترك الفروع الثلاثة فقط. وهذه طريقة تعيق المحصول دون إزالة النباتات أثناء المواسم غير المواتية (الشتاء والصيف)، ويتيح للمحصول بالبدء في الإنتاج بعد ذلك. ويمكن زراعة النباتات بدون تشذيب، ومع ذلك ففي المساحات المحدودة أو في البيوت المحمية يمكن إدارة الفروع بواسطة الأعمدة الصغيرة، أو الخيوط العمودية.

الحصاد: ابدأ بالحصاد عندما تصبح ثمار الباذنجان بطول 10–15 سم، كما ينبغي أن يكون الجلد لامعا، أما عندما يكون باهتاً وأصفرا فإن هذه إشارة على أن الباذنجان أصبح ناضجا فوق اللازم، وتأخر موسم الحصاد يجعل الثمار غير قابلة للتسويق؛ وذلك بسبب وجود البذور داخل الثمار. استخدم سكينا حادة واقطع الباذنجان من النبتة، واترك 3 سم على الأقل من الجذع الذي تتعلق به ثمرة الباذنجان.

الفلفل

درجة الحموضة: 6,5–5,5
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 30–60 سم (3–4 نبتة/م^2، أو أكثر من هذا للأصناف النباتية صغيرة الحجم)
وقت الإنبات: 8–12 يوما، **ودرجة الحرارة:** 22–30°م (ولن تنبت البذور عند درجة حرارة أقل من 13°م)
فترة النمو: 60–95 يوما
درجة الحرارة: 14–16°م ليلا، 22–30°م نهارا
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس
ارتفاع النبات: 30–90 سم، **وعرض النبات:** 30–80 سم
طريقة الزراعة الأحيوميائية الموصى بها: سرير وسائط النمو

زراعة الفلفل في وحدات الزراعة الأحيوميائية: هناك العديد من أصناف الفلفل، كل منها متفاوت في اللون ودرجة الحرارة، ولكن من الفلفل الحلو إلى الفلفل الحار (هالبينو أو فليفلة كايين) كلها قابلة لأنْ تنمو في الزراعة الأحيوميائية. وزراعة الفلفل تتناسب أكثر مع طريقة سرير وسائط النمو، ولكنها قد تنمو أيضا في أنابيب النمو في تقنية غشاء المغذيات (NFT)، التي هي بقطر 11 سم، إذا ما أعطيت النبتة الدعم الإضافي.

ظروف النمو: الفلفل هو من خضراوات الأثمار الصيفية، التي تفضل حالات الجو الدافئة والتعرض لأشعة الشمس الكاملة. وإنبات البذور يحدث عند درجات الحرارة المرتفعة: 22–34°م. ولن تنبت البذور جيدا في درجات الحرارة (<15°م). ودرجات الحرارة في النهار (22–28°م) و(14–16°م) ليلا، توفر أفضل ظروف الإثمار تحت الرطوبة النسبية من 60–65%. وتتراوح درجات الحرارة المثلى في مستوى الجذر بين 15 و 20°م. وبشكل عام فإن درجات حرارة الجو أقل من (10–12°م) توقف نمو النبات، وتسبب تشوها غير طبيعي في الثمار؛ مما يجعلها غير قابلة للتسويق. ودرجات الحرارة المرتفعة (> 30–35°م) تؤدي إلى إجهاض الإزهار أو تساقطها. وبصفة عامة فإن الفلفل الأكثر حرارة يمكن الحصول عليه عند ارتفاع درجات الحرارة. وأوراق النبات التي في الأعلى تحمي الثمار المتدلية أدناه من التعرض لأشعة الشمس، كما هو الحال مع نباتات الأثمار الأخرى، فإن النترات تدعم النمو الخضري الأولي (المدى الأمثل: 120–20 ملغم/لتر)، ولكن هناك حاجة لتركيزات أعلى من البوتاسيوم والفوسفور للإزهار والإثمار.

إرشادات الزراعة: قم بزرع الشتلات في الوحدة عندما تكون لديها (6–8) أوراق حقيقية في أقرب وقت تكون فيه درجات الحرارة ليلا مستقرة وفوق (10°م). وقم بوضع دعامات من الأعمدة للنباتات الكثيفة ذات عوائد الثمار الثقيلة، أو بواسطة خيوط عمودية تتدلى من أسلاك الحديد، واسحبها أفقيا فوق الوحدة. أما بالنسبة للفلفل الحلو الأحمر، فاترك الثمار الخضراء في النباتات حتى تنضج وتتحول إلى اللون الأحمر. وقم بقطف الزهور القليلة الأولى التي تظهر على النبات؛ من أجل تشجيع المزيد من النمو للنبتة. وفي حالة الإثمار المفرط، قم بتقليل عدد الأزهار لصالح الثمار النامية؛ وذلك لكي تصل إلى الحجم المناسب.

الحصاد: ابدأ الحصاد عندما يصل الفلفل إلى حجم التسويق، واترك الفلفل في النباتات حتى ينضج تماما عن طريق تغيير لونه وتحسن مستوياته من فيتامين سي. قم بإجراء الحصاد باستمرار خلال الموسم، والذي من شأنه تعزيز ازدهار النبتة، ووضع الثمار والنمو. والفلفل يمكن تخزينه بسهولة طازجا لمدة (10 أيام في 10°م)، مع نسبة رطوبة بين (90–95%)، أو أنها يمكن أن تجفف للتخزين للمدى الطويل.

الطماطم (البندورة)

درجة الحموضة: 5,5–6,5
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 40–60 سم (3–5 نبتة/م^2)
وقت الإنبات: 4–6 أيام، **ودرجة الحرارة:** 20–30°م
فترة النمو: 50–70 يوما حتى الحصاد الأول؛ الإثمار 90–120 يوما، وتصل إلى 8–10 أشهر (أصناف غير محددة)
درجات الحرارة المثلى: 13–16°م ليلا، 22–26°م نهارا
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس
ارتفاع النبات: 60–180 سم، **وعرض النبات:** 60–80 سم
طريقة الزراعة الأحيومائية الموصى بها: أسرة وسائط النمو، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة الطماطم في وحدات الزراعة الأحيومائية: الطماطم من الخضار الصيفية المثمرة، وتنمو باستخدام جميع طرق الزراعة الأحيومائية، على الرغم من أنها تحتاج إلى الدعامات (العوامد والخيوط الرأسية). ونظرا للطلب الكبير للطماطم للعناصر الغذائية وخاصة البوتاسيوم؛ فينبغي التخطيط لعدد النباتات في كل وحدة إنتاج وفقا للكتلة الحيوية للأسماك؛ وذلك لتجنب نقص العناصر الغذائية. والتركيز العالي للنتروجين هو الأفضل خلال المراحل الأولى لدعم النمو الخضري للنباتات، ومع ذلك ينبغي أن يكون البوتاسيوم متوافرا من مرحلة الإزهار لدعم انعقاد الثمار ونموها.

ظروف النمو: تفضل الطماطم درجات حرارة دافئة مع التعرض الكامل لأشعة الشمس. وعندما تكون درجة الحرارة أدنى من (8–10°م) تتوقف النباتات عن النمو، كما أن درجات الحرارة (13–14°م) ليلا تشجع تكوّن الثمار. ودرجات الحرارة فوق (40°م) تسبب إجهاض الإزهار والتشكل الضعيف للثمار. وهناك نوعان رئيسان من الطماطم: محدود النمو (الإنتاج الموسمي)، وغير محدود (الإنتاج المستمر من فروع مزهرة). وفي حالة استعمال النوع الأول، فمن الممكن أن تترك النباتات لتنمو كشجيرات، من خلال ترك 3–4 من الفروع الرئيسة، وإزالة جميع الفروع الجانبية؛ للمساعدة على تحويل العناصر الغذائية إلى الثمار. وكلا النوعين (المحدود النمو وغير المحدود) يجب أن ينمو بجذع واحد (مزدوج في حالة ارتفاع شدة نمو النبات) عن طريق إزالة جميع الفروع الجانبية. ومع ذلك ففي الأصناف محدودة النمو تقطع الأفرع الجانبية من الجذع الفردي بمجرد تكوين النبات (7–8) فروع نباتية مزهرة؛ من أجل تشجيع الإثمار الجيد. ويعتمد الطماطم على الدعامات التي يمكن أن تكوّن من العصي (نباتات الأدغال)، أو بواسطة خيوط بلاستيكية، أو من النايلون تعلق على أسلاك

الحديد، وتعمل على سحب النبتة أفقيا على الوحدة. والطماطم لديه التسامح المعتدل مع الملوحة؛ مما يجعله مناسبا للمناطق التي تكون فيها المياه العذبة النقية غير متوافرة. والملوحة المرتفعة في مرحلة الإثمار تحسن جودة المنتجات.

إرشادات الزراعة: قم بوضع هياكل الدعم للنباتات قبل الزرع؛ لمنع ضرر الجذر. ازرع الشتلات في الوحدات لمدة 3–6 أسابيع بعد الإنبات عندما يكون طول الشتلات 10–15 سم، وعندما تكون درجات الحرارة ليلا فوق 10°م بشكل مستمر. وعند زرع الشتلات، تجنب ظروف الإغراق بالمياه حول طوق النبتة؛ للحد من مخاطر الأمراض. وعندما تصبح نباتات الطماطم بطول حوالي 60 سم، ابدأ بتحديد طريقة النمو (شجيرة أو جذع واحد) من خلال تشذيب الفروع العليا التي لا لزوم لها؛ وإزالة الأوراق في 30 سم السفلى من الساق الرئيس؛ لتحسين دوران الهواء بشكل أفضل، وتقليل الإصابة الفطرية. قم بتقليم جميع الفروع الجانبية لصالح النمو الجيد للثمار، وإزالة الأوراق التي تغطي كل فرع مثمر قبل النضج لصالح تدفق العناصر الغذائية إلى الثمار وتسريع النضج.

الحصاد: للحصول على أفضل نكهة، قم بحصاد الطماطم عندما يكون متينا وملونا بالكامل. وستستمر الفواكه لتنضج إذا تم حصادها نصف ناضجة وتم تخزينها في الداخل، ويمكن أن تحفظ الثمار بسهولة لمدة 2–4 أسابيع في 5–7°م، ورطوبة نسبية مقدارها 85–90%.

الفاصوليا والبازلاء

درجة الحموضة: 5,5–7,0
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 10–30 سم، ويعتمد على الأصناف (أصناف النباتات الشجيرة 20–40/م^2، وأصناف النباتات المتسلقة 10–12/م^2)
وقت الإنبات: 8–10 أيام، **ودرجة الحرارة:** 21–26°م
فترة النمو: 50–110 يوما؛ لتصل إلى مرحلة النضج تبعا للصنف
درجة الحرارة:16–18°م ليلا، 22–26°م نهارا
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس
ارتفاع النبات: 60–250 سم (تسلق)، **وعرض النبات:** 60–80 سم (شجيرة)

طريقة الزراعة الأحيومائية الموصى بها: سرير وسائط النمو.
زراعة الفاصوليا في وحدات الزراعة الأحيومائية: ينمو كلا من الصنفين (المتسلق والشجيرة) جيدا في وحدات الزراعة الأحيومائية، ولكن ينصح بالصنف المتسلق؛ لاستخدامه مساحة أقل من الفضاء، والتي تزيد نسبة استغلال سرير وسائط النمو. ويمكن للأصناف المتسلقة أيضا أن تعطي كميات من قرون الفاصوليا من 2–3 مرات أكثر من أصناف الشجيرات. وللفاصوليا احتياجات منخفضة من النترات، وطلب معتدل من حيث الفوسفور والبوتاسيوم. وهذه الاحتياجات الغذائية تجعل الفاصوليا خيارا مثاليا للإنتاج في وحدات الزراعة الأحيومائية، على الرغم من أن النترات الزائدة قد تؤخر التزهير. وينصح بالفاصوليا للوحدات التي أنشئت حديثا؛ لأنها قد تعمل على تثبيت النتروجين من الغلاف الجوي من تلقاء نفسها.

ظروف النمو: الأصناف المتسلقة تفضل أشعة الشمس الكاملة، ولكن تتسامح مع الظل الجزئي في الظروف الحارة. وهذه النباتات لا تنمو في درجات حرارة (<12–14°م)، ودرجات الحرارة الأعلى من 35°م تسبب إجهاض الإزهار وسوء انعقاد الثمار. والرطوبة النسبية المثلى للنباتات هي 70–80%. والفاصوليا حساسة للضوء؛ وبالتالي فمن المهم اختيار الأصناف المناسبة وفقا للموقع والموسم. وبشكل عام يتم زراعة الأصناف المتسلقة في الصيف، في حين يتم تكييف الأصناف قزمة القامة لظروف اليوم القصير (الربيع أو الخريف).

إرشادات الزراعة: بالنسبة لوحدات سرير وسائط النمو، قم بوضع البذور مباشرة في وسائط النمو بداخل السرير بعمق 3–4 سم (تأكد من إزالة الجرس الذي يدير عملية الإغراق والاستنزاف؛ حتى يبقى منسوب المياه مرتفعا خلال الإنبات). ولا تتقبل الفاصوليا إعادة الغرس بشكل جيد، الأمر الذي يجعل من الصعب عليها أن تنمو في أنابيب طريقة غشاء المغذيات (NFT). كما يجب وضع أقطاب الدعم قبل إنبات البذور؛ من أجل تجنب الضرر للجذور. وينبغي الحرص عند توزيع الشتلات والأغصان المتفرعة الممتدة تجنب التظليل المستقبلي المتداخل مع غيرها من النباتات. كما أن الفاصوليا عُرضة للمن (قمل النبات) والعناكب. وعلى الرغم من الحدوث المنخفض لمثل هذه الآفات؛ فإنه يسمح بالسيطرة عليها بالعلاجات الميكانيكية، إلا أنه ينبغي إيلاء الاهتمام لاختيار النباتات المصاحبة؛ لتجنب انتقال التلوث إنْ كان لابد من القيام بأي علاج.

الحصاد:

أصناف الفاصوليا الطازجة (الفاصوليا الخضراء أو الصفراء) – يجب أن يكون قرن الفاصوليا متماسكا وهشا عند الحصاد، وينبغي أن تكون البذور (حبيبات الفاصوليا) في الداخل غير مكتملة التطور أو صغيرة. وامسك ساق النبات بيد واحدة واقطف قرون الفاصوليا باليد الأخرى؛ لتجنب سحب أي فرع من الفروع التي ستنتج ثمارا لاحقا. وقم بجني كل القرون الجاهزة للحصاد؛ للحفاظ على إنتاجية النباتات.

فاصوليا البذور الخضراء (الفاصوليا السوداء، الفول) – قم بجني هذه الأصناف عند تغير لون القرون وعندما يكتمل تشكل الفاصوليا بداخل القرون، وينبغي أن تكون قرون الفاصوليا ممتلئة الجسم ومتينة. كما أن جودتها تنخفض إذا ما تركت في النبات لفترة طويلة جدا.

الفاصوليا المجففة (فاصوليا الكلى وفول الصويا) – اسمح للقرون أن تصبح جافة قدر الإمكان قبل برودة الطقس، أو عندما تتحول النباتات إلى اللون البني وتفقد معظم أوراقها. وستنقسم القرون عندما تكون جافة جدا؛ مما يجعل إزالة البذور عملية سهلة.

ملفوف القرص

درجة الحموضة: 6–7,2
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 60–80 سم (4–8 نبتة/م^2)
وقت الإنبات: 4–7 أيام، **ودرجة الحرارة:** 8–29°م
فترة النمو: 45–70 يوما من المشتل (ويعتمد على الأصناف والموسم)
درجة الحرارة المثالية: 15–20°م (يتوقف النمو عند > 25°م)
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس
ارتفاع النبات: 30–60 سم، **وعرض النبات:** 30–60 سم
طريقة الزراعة الأحيومائية الموصى بها: أسرة وسائط النمو (وليست مناسبة للوحدات المنشأة حديثا)

زراعة الملفوف في وحدات الزراعة الأحيومائية: الملفوف هو محصولٌ شتوي، ذو قيمة غذائية عالية. وتنمو هذه النباتات أفضل في سرير وسائط النمو؛ لأنها تصل لأحجام كبيرة عند الحصاد، ويمكن أن تكون كبيرة وثقيلة على الطوافات أو أنابيب النمو. ويتطلب الملفوف نسبة مرتفعة من العناصر الغذائية؛ مما يجعله غير صالح للوحدات المنشأة حديثا (أقل من أربعة أشهر من العمر). ومع ذلك ونظرا للمساحة الكبيرة المطلوبة فإن محاصيل الملفوف تستهلك عناصر غذائية أقل للمتر المربع الواحد عن غيرها من الخضراوات الورقية التي تنبت في فصل الشتاء (الخس، والسبانخ، والجرجير، وغيرها). وعلى الرغم من أن الملفوف يمكن أن يتسامح مع درجات حرارة منخفضة تصل إلى (5°م)، إلا أن هذا المستوى من درجات الحرارة قد لا يكون مناسبا لتربية الأسماك.

ظروف النمو: الملفوف هو محصول شتوي، وبالتالي فإن درجات الحرارة المثلى هي (15–20°م)، وهو ينمو بشكل أفضل عندما تنضج الأقراص في درجات الحرارة المنخفضة؛ ولذلك يجب التخطيط للقيام بالحصاد قبل أن تصل درجة الحرارة في النهار إلى (23–25°م). كما أن التركيزات العالية من الفوسفور والبوتاسيوم ضرورية عندما تبدأ الأقراص في النمو، والتكامل مع الأسمدة العضوية أيضا ضروري إما بالرش على الأوراق أو في الركائز، وهو قد يكون ضروريا؛ لتزويد النباتات بالمستويات الكافية من العناصر الغذائية.

إرشادات الزراعة: تزرع الشتلات عندما يصبح لديها (4–6) ورقة. وبارتفاع 15 سم، يجب القيام بوضع الشتلات في الكثافة الزراعية الأمثل وفقا للتنوع المختار. وفي حالة درجات الحرارة التي تكون خلال النهار أعلى من (25°م)، استخدم شبكة التظليل بنسبة تظليل مقداره (20%)؛ لمنع النبات من الإزهار (إنتاج البذور). ونظرا لارتفاع معدلات الإصابة بديدان الملفوف وغيرها من الآفات، مثل: المنّ، وديدان الجذور، وديدان الملفوف القفازة، فمن المهم أن تقوم بالرصد الدقيق واستخدام المبيدات العضوية (آمنة للزراعة الأحيومائية) عند الضرورة.

الحصاد: ابدأ بالحصاد عندما تكون أقراص الملفوف متينة مع قطر بحوالي 10–15 سم (اعتمادا على تنوع الأصناف المزروعة). واقطع القرص من الجذع بواسطة سكين حادة، وضع بعدها الأوراق الخارجية في حاوية تصنيع السماد العضوي. وإذا كانت أقراص الملفوف تميل إلى الكسر، فإن هذا يشير إلى الإفراط في نضج الأقراص، وأن حصادها كان ينبغي أن يكون في وقت سابق.

القرنبيط

درجة الحموضة: 6–7
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 40–70 سم (3–5 نبتة/م^2)
وقت الإنبات: 4–6 أيام، **ودرجة الحرارة:** 25°م
فترة النمو: 60–100 يوما من الزرع
متوسط درجة الحرارة اليومية: 13–18°م
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس، متسامح مع الظل الجزئي، ولكن سينضج ببطء
ارتفاع النبات: 30–60 سم، وعرض النبات: 30–60 سم
طريقة الزراعة الأحيومائية الموصى بها: أسرة وسائط النمو

زراعة القرنبيط في وحدات الزراعة الأحيومائية: القرنبيط هو من الخضر الشتوية المغذية. وطريقة الزراعة في سرير وسائط النمو هو الخيار الموصى به، حيث إن القرنبيط هو نبات كبير وثقيل عند الحصاد. وزراعة القرنبيط هي صعبة بعض الشيء؛ لأن طلبها على العناصر الغذائية عال جدا. وهو كذلك سريع التأثر لدرجات الحرارة الدافئة؛ لذلك قم باختيار أصناف مقاومة للتزهير.

ظروف النمو: القرنبيط ينمو بشكل أفضل عندما تكون درجات الحرارة خلال النهار تتراوح من 14 إلى 17°م. ولتشكيل القرص فإن أصناف الشتاء تتطلب درجات حرارة من 10 إلى 15°م، ويمكن تشكيل الأقراص في درجات الحرارة العالية، شريطة أن تكون الرطوبة متوافرة بدرجة عالية، كما أن درجات الحرارة العالية تسبب تزهيرا سابقا لأوانه.

إرشادات الزراعة: قم بزراعة الشتلات في سرير وسائط النمو عندما تكون لدى الشتلة 4–5 ورقات حقيقية، وتكون النباتات بارتفاع 15–20 سم، وينبغي وضع الشتلات بمسافات 40–50 سم، حيث إن قرب المسافات سينتج عنه أقراص مركزية أصغر. القرنبيط والملفوف كلاهما عرضة لديدان الملفوف والآفات الثابتة الأخرى. في حين أن بعض الإزالة الميكانيكية يمكن أن يكون لها تأثير هامشي، فالمعالجة بالمبيدات الحيوية والمواد الطاردة يمكن لها السيطرة على التفشي، مع مراعاة الاشتراطات العلمية في ذلك.

الحصاد: للحصول على أفضل جودة، ابدأ بحصاد القرنبيط عندما تكون براعم القرص متماسكة وضيقة. احصد على الفور إذا بدأت براعم القرص في الانفصال والتزهير (الزهور الصفراء).

السلق السويسري/مانغولد

درجة الحموضة: 6–7,5
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 20–30 سم (15–20 نبتة/م^2)
وقت الإنبات: 4–5 أيام، **ودرجة الحرارة:** 25–30°م (النطاق الحراري الأمثل)
فترة النمو: 25–35 يوما
درجة الحرارة: 16–24°م
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس (يستخدم الظل الجزئي لدرجات حرارة >26°م)
ارتفاع النبات: 30–60 سم، **وعرض النبات:** 30–40 سم
طريقة الزراعة الأحيومائية الموصى بها: أسرة وسائط النمو، والزراعة بواسطة غشاء المغذيات (NFT)، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة السلق السويسري في وحدات الزراعة الأحيومائية: السلق من الخضار الخضراء التي لديها شعبية مرتفعة في الزراعة باستخدام الزراعة الأحيومائية. وتزدهر في جميع الطرق الثلاث المذكورة أعلاه، وهي نبتة تتطلب مستوى معتدلا من النترات، وتتطلب تركيزا أقل من البوتاسيوم والفوسفور من الخضراوات الثمرية؛ مما يجعلها نبتة مثالية للزراعة الأحيومائية. ونظرا لقيمتها العالية في السوق ومعدل النمو السريع لها والمحتوى الغذائي الذي تتضمنه، فإنها تُزرع في كثير من الأحيان في أنظمة الزراعة الأحيومائية التجارية. وأوراق السلق السويسري خضراء إلى خضراء داكنة، ويمكن أن تكون في سيقانها ألوان جذابة من الأصفر والأرجواني أو الأحمر.

ظروف النمو: درجات الحرارة المثلى للسلق السويسري هي 16–24°م، في حين أن الحد الأدنى من درجة الحرارة للنمو تقدر بـ (5°م). وعلى الرغم من أن السلق السويسري تقليديا يعد من المحاصيل التي تنبت في أواخر الشتاء/الربيع (التسامح المعتدل مع الصقيع)، إلا أنه ينمو جيدا في حالات التعرض الكامل لأشعة الشمس خلال مواسم الصيف المعتدلة، ويقترح إضافة التظليل عند ارتفاع درجات الحرارة. كما أن السلق السويسري لديه تسامح معتدل مع الملوحة؛ مما يجعله نبتة مثالية للمياه المالحة.

إرشادات الزراعة: بذور السلق السويسري تنتج أكثر من شتلة واحدة، وبالتالي يتطلب الترقيق (خفض عدد الشتلات) عندما تبدأ الشتلات في النمو، وعندما تصبح النباتات هرمة خلال الموسم، يمكن إزالة الأوراق القديمة لتشجيع النمو الجديد.

الحصاد: أوراق السلق السويسري يمكن قطعها باستمرار كلما بلغت أحجام الحصاد، وإزالة الأوراق الكبيرة يشجع على نمو أوراق جديدة، وينبغي تجنب إتلاف نقطة النمو في مركز النبتة عند الحصاد.

البقدونس

درجة الحموضة: 6–7
المسافة بين الشتلات عند الزراعة: 15–30 سم (10–15 نبتة/م^2)
وقت الإنبات: 8–10 أيام، **ودرجة الحرارة:** 20–25°م
فترة النمو: 20–30 يوما بعد الزرع
درجة الحرارة: 15–25°م
التعرض للضوء: التعرض الكامل لأشعة الشمس. (يستخدم الظل الجزئي لدرجات حرارة > 25°م)
ارتفاع النبات: 30–60 سم، **وعرض النبات:** 30–40 سم
طريقة الزراعة الأحيومائية الموصى بها: أسرة وسائط النمو، و الزراعة بواسطة غشاء المغذيات (NFT)، والزراعة في المياه العميقة (DWC)

زراعة البقدونس في وحدات الزراعة الأحيومائية: البقدونس هو عشب شائع جدا يُزرع في كل من وحدات الزراعة الأحيومائية المحلية والوحدات التجارية؛ بسبب قيمتها الغذائية (غنية بالفيتامينات (A) + (C) والكالسيوم والحديد)، ولها قيمة عالية في السوق. والبقدونس هو عشب سهل الزراعة، حيث إن متطلباته للعناصر الغذائية منخفضة نسبيا مقارنة مع غيرها من الخضراوات.

ظروف النمو: البقدونس هو عشب ينمو مرة كل سنتين، إلا أنه يزرع تقليديا على أنه سنوي، ومعظم الأصناف تنمو على مدى فترة سنتين إذا كان فصل الشتاء معتدل مع الحد الأدنى للصقيع. وعلى الرغم من أن النباتات يمكن أن تقاوم درجات الحرارة (0°م)، فإن درجة الحرارة الدنيا للنمو تقدر بـ (8°م). وفي السنة الأولى تنتج النباتات الأوراق بينما في السنة الثانية تبدأ النباتات بوضع سيقان الزهور؛ لإنتاج البذور. يفضل البقدونس الشمس الكاملة لمدة تصل إلى ثماني ساعات في اليوم، ويتطلب وضع تظليل جزئي عندما تصل درجات الحرارة (> 25°م).

إرشادات الزراعة: الصعوبة الرئيسة عند زراعة البقدونس هي الإنبات الأولي، وهو ما قد يستغرق (2-5 أسابيع)، اعتمادا على مستوى طزاجة البذور، ولتسريع عملية الإنبات تنقع البذور في ماء دافئ (20–23°م) لمدة 24–48 ساعة؛ لتليين قشور البذور، وبعد ذلك يتم إزالة المياه وبذر البذور في صواني الاستنبات. وستظهر الشتلات الناشئة على شكل عشب بورقتين من أوراق البذور الضيقة عكس بعضها البعض، وبعد (5–6 أسابيع)،ازرع الشتلات في وحدة الزراعة الأحيومائية خلال أوائل الربيع.

الحصاد: يبدأ الحصاد عندما يكون طول السيقان الفردية على الأقل 15 سم. ويجب البدء بحصاد الينبع الخارجي من النبات؛ لأن هذا سيشجع على النمو طوال الموسم. وإذا تم قطع الأوراق التي في الأعلى فقط فستكون النبتة أقل إنتاجية. ويجف البقدونس ويتجمد جيدا، وإذا تم تجفيفه يمكن للنباتات أن تسحق باليد وتخزن في وعاء محكم.

الملحق الثاني – الآفاتُ النباتية ومكافحة الأمراض

إدارة الآفات في الزراعة الأحيومائية يمكن أن تستفيد من أكثر الطرق الحيوية المشتركة المستخدمة في الزراعة العضوية. ومع ذلك فمن المهم أن نتذكر أنه ينبغي التخطيط لاستراتيجيةٍ ضد الآفات وفقا للحشرات التي تظهر على المحاصيل، التي تزرع خلال موسم محدد وبيئة معينة.

مكافحة الآفات: الطاردات، والمواد الكيميائية الخفيفة، والمبيدات الحشرية المستمدة من النبات

يمكن استخدام المبيدات الحشرية الخفيفة كبدائل للمبيدات الحشرية الصناعية وتطبيقها لردع الآفات. والمزيج العضوي يمكن أن يتكون من الثوم والفلفل والصابون وزيوت الحشرات، وكلها يمكن أن تستخدم لإزالة التهديد من الآفات. وفي حالة استخدام الصابون تأكد من استخدام الصابون الطبيعي، وإلا فإن المواد الكيميائية الضارة المحتملة، والتي توجد عادة في الصابون الاصطناعي يمكن أن تشق طريقها إلى الماء، وأن يؤدي الصابون إلى تلف خياشيم الأسماك؛ لذلك ينبغي الحرص على عدم السماح لدخول كميات كبيرة منه إلى المياه. والتغطية الشاملة للنباتات ضرورية للمكافحة الفاعلة للآفات. وعلى الرغم من أن المعرفة المبنية على التجريب في كثير من هذه الأساليب تشير إلى أنها فاعلة، إلا أنه لم يكن هناك دليل علمي منهجي على فاعليتها. وعلاوة على ذلك فإن الخصائص الطبية من عصارات الخضار المستخدمة تتطلب الحذر في استخدامها؛ بسبب المخاطر من السمية على الأسماك.

المنتج	وظيفة / عمل	الآفات المسيطر عليها	طريقة التطبيق
الحمضيات / السترونيلا	طارد	طيف واسع من الآفات	أذب المنتج في الماء، ورش على النباتات بدقة
زيت الثوم	لديه خصائص المبيدات، والتي يتم تعزيزها إذا تم خلطها بالزيت والصابون.	المن، ديدان الملفوف، نطاط الورق، الذباب الأبيض، بعض الخنافس والديدان الخيطية.	أذب 85 غراما من الثوم المفروم في 5 ملل من الزيوت النباتية، واتركه لمدة 24 ساعة، وبعد ذلك أضف المزيج إلى 500 ملل من الماء، ورشه على النباتات بدقة.
الفلفل الحار والفلفل الحلو (غبار الفلفل).	طارد للآفات.	المن، ديدان الملفوف، نطاط الورق، الذباب الأبيض، بعض الخنافس والديدان الخيطية.	رشّ الغبار على النباتات.
رذاذ أوراق الطماطم	جاذبة للميكروبات النافعة، تأثير سام ممكن للقلويدات.	البرقة، والنمل.	خذ 250 ملل من أوراق الطماطم الطازجة وضعها في 250 ملل من الماء لمدة 12 ساعة. امزجها جيدا وقم بتخفيفها أكثر باستخدام كوب آخر من الماء. رشّ على النباتات المستهدفة بدقة.
الزيوت الأساسية (عشبة الميرميّة، القصعين، الزعتر)	طاردة للآفات. يقلل من مستوى ضرر التغذية.	المن، دودة الذرة.	اخلط بضع قطرات في 250 ملل من الماء، ورشه على النباتات المستهدفة.
خلاصة الكحول (إكليل الجبل، الزوفا، المريمية والزعتر وغيرها)	طارد. يقلل من مستوى ضرر التغذية.	مجموعة واسعة من الآفات	انقع 250 ملل من الأوراق الطازجة في 400 ملل من الماء لليلة الواحدة. قم بإزالة الأوراق ورشّ المحلول على الأوراق.
الصابون (ملح الأحماض الدهنية)	تخترق البشرة؛ مما يتسبب في الجفاف والموت في نهاية المطاف.	الحشرات الرخوة: المن، البق الدقيقي،الذباب الأبيض. أيضا العث، الحشرة القشرية، التربس، والقراد.	استخدم الصابون الطبيعي: ملعقة طعام واحدة (أو أكثر) في لترات من الماء (قابل للتعديل تبعا للنباتات والآفات). ويمكن أيضا أن يخلط الصابون مع الزيوت النباتية (انظر أدناه).
الزيوت النباتية	يخنق الآفات.	المن، البق الدقيقي،العث، والحشرات القشرية.	رشّ بتركيز 2% خلال الصباح أو المساء. والمنتجات التجارية ينبغي أيضا أن تباع مع المستحلب.
الجير / الرماد	طارد	مجموعة واسعة من الآفات.	استخدم غربالا ناعما؛ لفرز الرماد الناعم، وانفخه على الأوراق الرطبة باستخدام منفضة.
بخاخ النشا (القمح الدقيق أو المواد النشوية من البطاطس)	محاصرة المسبب على سطح الورقة.المن، العناكب، العث،التربس، والذباب الأبيض.	المن، العناكب، العث،التربس، والذباب الأبيض.	امزج 30-45 ملل من نشا البطاطس في لتر من الماء مع 2-3 قطرات من الصابون السائل، ورشه على الأوراق.

المصدر: Ellis and Bradley (1996)، راجع الفصل الخاص بمزيد من القراءة للمرجع كاملا.

مكافحة الآفات: المبيدات الحشرية، المشتقة من النباتات

تستحق المبيدات الحيوية اهتماما خاصا في الزراعة الأحيومائية، فهي ليست جميعها مناسبة للأسماك. وعلى الرغم من أن المبيدات الحيوية تصنف للاستخدام العضوي، إلا أن معظمها **سام للأسماك** والحشرات المفيدة. والجدول التالي يبين عددا من المبيدات الحشرية الشائعة والمعلومات المهمة لاستخدامها بشكل آمن.

المبيدات الحشرية النباتية	المنشأ	التأثير على الآفات	شروط الاستخدام
النيكوتين (المستخلص المائي التبغ)	النبتة	أعصاب الحشرات.	سامة للأسماك.
النيم (*Azadirachta indica*)	النبتة	الجاذبة القوية. تحتاج إلى تكرار العلاجات، كل 10 أيام.	سامة للأسماك، يمكن استخدامها في رشّ الأوراق بعيدا عن الماء. لا تضر الحشرات المفيدة والفطريات أيضا.
بيريثروم (*Chrysanthemum cinerariaefolium*)	النبتة	مبيد حشري طبيعي (سم عصبي). مبيد حشري يضر بمجموعة واسعة من الآفات، ويقتل أيضا الكائنات الحية الدقيقة المفيدة.	سام للأسماك، يمكن استخدامها في رشّ الأوراق بعيدا عن الماء. منخفض المثابرة، ويتم التخلص منه بسهولة بواسطة الضوء في 1–3 أيام.
روتنون (*Derris elliptica*, *Lonchocarpus* spp., *Tephrosia* spp.)	النبتة	حشرات طبيعية تضر بمجموعة واسعة من الآفات.	سامة للغاية للأسماك، يمكن استخدامها في رشّ الأوراق بعيدا عن الماء. مناسبة للمشاتل الزراعية قبل الزرع في وحدة الزراعة الأحيومائية.
كواسية (*Quassia amara*)	النبتة	يسبب الردع بواسطة البلعمة في يرقات الحشرات.	مادة رشّ مستخلص من الخشب. غير سامة للأسماك.
مستحضرات رينيا (*Ryania speciosa*)	النبتة	يعمل على الإخلال بقناة الكالسيوم لخلايا في الآفات.	استخدمه بحذر، متوسط السمية للأسماك.
السبادلا Sabadilla	النبتة	يتداخل مع غشاء العصب في الآفات.	استخدمه بحذر، والآثار السامة لا تزال غير معروفة بالنسبة للأسماك.
الطين الدياتومي (DE)	غير عضوي	يمتص الغبار الخشن والدهون من الطبقة الشمعية الخارجية لهياكل الحشرات (النمل)؛ مما يسبب لها الجفاف.	ارتداء قناع واقٍ عند الرشّ؛ لتجنب استنشاق الغبار. غير سام للأسماك.
الكبريت (مسحوق أو جير كبريتي)	غير عضوي	طارد لحشرات الآفات، وفعال ضد العث.	ويمكن أيضا أن يستخدم كمبيد للفطريات. طارد لحشرات الآفات، وفعال ضد العث.
النحاس	غير عضوي	في شكل مزيج بوردو كطارد للحشرات.	النحاس هو أيضا للفطريات، ولكن تجنب الإفراط في تراكمه في الماء - سام للقشريات.

المصدر: Copping, 2004; Shour, 2000; Soil Association, 2011; IFOAM, 2012، راجع الفصل الخاص بمزيد من القراءة للمرجع كاملا.

مكافحة الآفات: الحشرات النافعة

يمكن أن تستخدم الحشرات النافعة لمكافحة الآفات. إن هذا الأسلوب هو أكثر قابلية للتطبيق بالنسبة لشريحة كبيرة من المنتجين، حيث إن التكلفة الباهظة يمكن أن تكون غير مجدية على نطاق صغير، كما يجب أن يقابل اختيار الحشرة بالآفات الحشرية والظروف البيئية.

الحشرات/الكائنات الحية النافعة	النوع	الآفات المسيطر عليها
Adalia bipunctuata	خنفساء مفترسة	المن
Aphelinus abdominalis	شبيه الطفيلي	المن
Chrysoperla carnea	عصبيات الأجنحة	المن
Aphidus colemani	زبور مفترس	المن
Cryptolaemus montrouzieri	خنفساء مفترسة	البق الدقيقي
Coccidoxenoides perminutus	طفيل الدبور	البق الدقيقي
Trichogramma spp.	شبيه الطفيلي	اليسروع
Heterorhabditis megidis	نيماتودا (الديدان الإسطوانية)	يرقة دودة جعل الورد
Steinernema carpocapsae	نيماتودا (الديدان الإسطوانية)	عثة الثمار
Cydia pomonella	فيروس حبيبي	عثة الثمار
Anagrus atomus	دبور طفيلي	نطاطات الأوراق
Dacnusa sibirica and *Diglyphus*	شبيه الطفيلي	صانعة الأنفاق في الأوراق
Chilocorus nigritus	خنفساء مفترسة	الحشرة القشرية

يتبع

تتمة الجدول

الحشرات/الكائنات الحية النافعة	النوع	الآفات المسيطر عليها
Hypoaspis miles	عث مفترس	الذبابة الكبيرة والتربس
Steinernema feltiae	نيماتودا (الديدان الإسطوانية)	الذبابة الكبيرة والتربس
Amblyseius cucumeris	عث مفترس	التربس
Phytoseiulus persimilis	عث مفترس	التربس
Orius insidiosus	حشرة البق	التربس
Amblyseius californicus	عث مفترس	العث العنكبوت
Feltiella acarisuga	عث البرغوث	العث العنكبوت
Encarsia formosa	شبيه الطفيلي	ذبابة البيوت المحمية البيضاء
Eretmocerus eremicus	شبيه الطفيلي	ذبابة البيوت المحمية البيضاء
Eretmocerus eremicus	شبيه الطفيلي	الذبابة البيضاء
Heterorhabditis megidis	نيماتودا (الديدان الإسطوانية)	حشرة السوس
Phasmarhabditis hermaphrodita	نيماتودا (الديدان الإسطوانية)	البزاق

المصدر: Olkowski *et al.*, 2003; Soil Association, 2011، راجع الفصل الخاص بمزيد من القراءة للمرجع كاملا.

مكافحة الأمراض: البيئية

هناك العديد من الأمراض الفطرية التي تعتمد على درجة الحرارة والرطوبة، وعلى هذا النحو فالسيطرة على العوامل البيئية يمكن أن تخفف من درجة المرض. وفي حالة عدم إمكانية السيطرة على العوامل البيئية، فقد يكون من الأفضل اختيار المحاصيل المقاومة أو الأصناف النباتية.

المرض	مسبب المرض	النبتة	الجزء المستهدف من النبتة	درجة الحرارة (°م)	حالة الرطوبة
عفن الجذور	الفطر *Pythium* spp.	الخس	الجذور	30–28	التربة المشبعة بالمياه
البياض الزغبي	الفطر *Pseudoperonospera cubensis*	الخيار والكوسا والقرع	الأوراق	25–20	بلل الأوراق لمدة ساعة واحدة
البياض الدقيقي	الفطر *Sphaerotheca fuliginea*	الخيار والكوسا والقرع	الأوراق	27	–
الفيرتسيليوم *Verticillium* wilt	*Verticillium* spp.	عديدة	الساق	27–21	التربة الرطبة
الذبول *Fusarium* wilt الفيوزاريومي	الفطر *Fusarium oxysporum*	الخيار والكوسا والقرع	الساق	27–25	–
اللفحة المبكرة	الفطر *Alternaria solani*	الطماطم والبطاطس	الأوراق	30–28	الرطوبة الحرة

مكافحة الأمراض: المواد الكيميائية غير العضوية

يمكن أن تستخدم بعض المركبات غير العضوية لعلاج الأمراض الفطرية، وكثير من هذه مقبولة لاستخدامها في وحدات الزراعة الأحيومائية. ويبين الجدول أدناه بعضا من هذه الخيارات.

المادة	شروط الاستخدام
الطين	التطبيق على الأوراق.
أملاح النحاس	التطبيق على الأوراق. استخدمه بحذر حيث إن النحاس يمكن أن يتراكم في النظام. ومن الأفضل استخدامه في مرحلة الشتلات قبل الزرع.
الكبريت	التطبيق على الأوراق. استخدمه بحذر؛ لأنه قد يتراكم في النظام (يؤثر سلبا على نمو النبات).
الجير الكبريتي (الكبريتيد المتعدد)	التطبيق على الأوراق، كمبيد للفطريات فقط. استخدمه بحذر؛ لأنه قد يتراكم في النظام (يؤثر سلبا على نمو النبات).
بيكربونات البوتاسيوم	التطبيق على الأوراق، ويمكن استخدامه أيضا لزيادة صلابة الكربونات (KH) الذي يقاوم التغير في الرقم الهيدروجيني (pH) لمياه الزراعة الأحيومائية (انظر الفصل 3).
بيكربونات الصوديوم	التطبيق على الأوراق، لا تستخدمه لمقاومة التغير في درجة حموضة المياه (pH)، حيث إن الصوديوم يتراكم في النظام ويؤثر سلبا على نمو النبات.
هيدروكسيد الكالسيوم (الجير المطفأ)	التطبيق على الأوراق، كمبيد للفطريات فقط.
السيليكات / السيليكون	التطبيق على الأوراق.

المصدر: معدل من المرجع – IFOAM, 2012، راجع الفصل الخاص بمزيد من القراءة للمرجع كاملا.

الجدول البياني للنباتات الرفيقة

الزراعة الرفيقة هي الطريقة البينية الصغيرة والشائعة جدا في البستنة العضوية والحيوية. ونظرية التبرير هي أن الجمع بين النباتات المختلفة تحتمل إما التأثير الميكانيكي على الآفات وطردها، أو أن لها تأثيرا رادعا ضد الآفات. وبالإضافة إلى ذلك فإن بعض الآثار المفيدة على النظام الأيكولوجي للتربة/النبات يمكن تشجيعه بواسطة الإفراج عن المواد أو الإفرازات الجذرية من النباتات المفيدة. وعلى الرغم من أنه قد تم التحقق علميا من مكافحة الآفات بهذا الأسلوب، إلا أن درجة النجاح تعتمد على: مستوى انتشار الآفات، وكثافة المحاصيل، والنسبة بين المحاصيل والنباتات المفيدة، وأوقات الزرع المحددة. ويمكن استخدام النباتات الرفيقة بالتكامل مع الاستراتيجيات الأخرى؛ لإدارة النباتات والآفات للحصول على محاصيل صحية في أنظمة الزراعة الأحيومائية.

يعطي الجدول أدناه لمحة عامة حول المجموعة الممكنة وفقا للمبادئ الحيوية. ويمكن الحصول على معلومات محددة بسهولة من الأدب المفصل المتاح حول الزراعة العضوية والحيوية.

المحصول	النباتات الرفيقة	غير متوافق مع
نبات الهليون	الطماطم والبقدونس والريحان	–
الفاصوليا	معظم الخضراوات والأعشاب	–
الفاصوليا (شجيرة)	البطاطس الإيرلندية، والخيار، والذرة، والفراولة، والكرفس، والزعتر الصيفي.	البصل
الفاصوليا والقطب	الذرة، والزعتر الصيفي، والفجل	البصل، والبنجر، والكرنب، وعباد الشمس.
عائلة الملفوف (القرنبيط، البروكلي)	الأعشاب العطرية، والكرفس، والبنجر، وعائلة البصل، والبابونج، والسبانخ، والسلق.	الشبت، والفراولة، والفاصوليا القطب، والطماطم
الجزر	البازلاء الإنجليزية، والخس، وإكليل الجبل، وعائلة البصل، والميرميّة (القصعين)، الطماطم.	الشبت
الكرفس	البصل، وعائلات الملفوف، والطماطم، وشجيرة الفاصوليا، وقرة العين (أبو خنجر).	–
الذرة	البطاطس الإيرلندية، والفاصوليا، والبازلاء الإنجليزية، واليقطين، والخيار، والكوسا.	الطماطم
الخيار	الفاصوليا، والذرة، والبازلاء الإنجليزية، وعباد الشمس، والفجل.	البطاطس الإيرلندية، والأعشاب العطرية
الباذنجان	الفاصوليا، والقطيفة	–
الخس	الجزر، والفجل، والفراولة، والخيار	–
عائلة البصل	البنجر، والجزر، والخس، وعائلة الملفوف، والزعتر الصيفي	الفاصوليا (البازلاء الإنجليزية)
البقدونس	الطماطم والهليون	–
البازلاء الإنجليزية	الجزر، والفجل، واللفت، والخيار، والذرة، والفول	عائلة البصل والبطاطس
الفجل	البازلاء الإنجليزية، وقرة العين (أبو خنجر)، والخس، والخيار	نبات الزوفا
السبانخ	الفراولة، والفول	–
القرع	قرة العين (أبو خنجر)، والذرة، القطيفة	البطاطس
الطماطم	عائلة البصل، قرة العين (أبو خنجر)، والقطيفة، والهليون، والجزر، والبقدونس، والخيار، والريحان	البطاطس، والشمرة الشائعة، وعائلة الكرنب
اللفت	البازلاء الإنجليزية	البطاطس

المصدر: http://permaculturenews.org/2011/12/02/companion-planting-information-and-chart/

الملحق الثالث – آفات الأسماك ومكافحة الأمراض

كما سبق ونوقش في القسم 3.6.7، المرض هو نتيجة لاختلال التوازن بين الأسماك والعامل المسبب والبيئة. كما أن ضعف الحيوان، وكثرة وجود العامل المسبب للمرض في ظروف بيئية معينة أكثر ملاءمة، من شأنها أن تسبب المرض وتزيد تفاقمه. وممارسات إدارة الأسماك السليمة التي تبني نظاما صحيا مناعيا هي الإجراءات الأولية؛ لتأمين مخزون صحي من الأسماك؛ ولذا يجب تعرّف أمراض الأسماك والتعامل معها بشكل صحيح. والجداول التالية توضح أعراض الأمراض الشائعة وأسبابها. وتم تصنيفها إلى نوع حيوي وغير حيوي؛ لتسليط الضوء على أهمية جودة المياه، والظروف البيئية في تحديد المرض.

الأمراض غير الحيوية	
نقص الأكسيجين المذاب(نقص الأكسجة)	**الأعراض:** محاولة تنفس الهواء الجوي من على سطح الماء، وتجمّع الأسماك عند منطقة تدفق المياه، الاكتئاب أو فقدان الشهية (نقص الأكسجة المزمن)، موت الأسماك الكبيرة، بقاء الأسماك الصغيرة على قيد الحياة، تكون أغطية الخياشيم وأفواه الأسماك الميتة مفتوحة على نطاق واسع. **الأسباب:** عدم كفاية التهوية أو توقفها، والاكتظاظ، وانخفاض تدفق المياه، والحد من الأكسيجين المذاب (ارتفاع درجات الحرارة أو الملوحة). **العلاجات:** استعادة/تمكين التهوية، خفض كثافة التخزين، خفض كميّة الأعلاف عند التغذية، رصد مستويات الأمونيا والنيتريت.
الإجهاد الحراري	**الأعراض:** الخمول، وفيات الأسماك؛ بسبب البرد وانخفاض حرارة الجسم (hypothermia) أو بسبب ارتفاع الحرارة، مرض العفن انخفاض حرارة الجسم (hyperthermia)، ضيق التنفس (ارتفاع الحرارة). **الأسباب:** عدم وجود التدفئة أو العزل الحراري، تعطل جهاز ضبط الحرارة، الإدارة غير السليمة. **العلاجات:** عزل الخزان، إضافة سخان المياه، إيواء النظام في بيت محمي في المواسم الباردة (انخفاض حرارة الجسم)، تظليل جدار الخزان، توفير التهوية في الليل، إعداد نظام التبريد (ارتفاع الحرارة).
تسمم الأمونيا	**الأعراض:** السباحة غير طبيعية، الأسماك لا تتغذى، الخياشيم قائمة/متضخمة، فرط التنسج (hyperplasia)، السمية المزمنة، احمرار حول العينين والزعانف. **الأسباب:** متلازمة الخزان الجديد، فشل المرشح الحيوي (أسباب مختلفة، تسرّب علاجات الأسماك بالمضادات الحيوية أو التطهيرية إلى خزان الزراعة الأحيومائية)، وسائط المرشح الحيوي تم غسلها/ تنظيفها مؤخرا، الاكتظاظ في الخزان، التغذية المفرطة، البروتين الزائد في الأعلاف، انخفاض تدفق المياه، انخفاض الأكسيجين في الماء، انخفاض درجة الحرارة الذي يؤدي إلى تثبيط البكتيريا الآزوتية. **العلاجات:** تغيير المياه الفوري (20–50%)، إضافة الزيوليت (علاج سريع إلا أنه ذو فاعلية منخفضة في درجات الملوحة العالية)، الحد من درجة الحموضة بواسطة الأحماض المقاومة للحموضة، إضافة البكتيريا، إضافة وسائط المرشح الحيوي، تحسين مستوى الأكسيجين المذاب، ضبط درجات الحرارة إلى مستويات أفضل، التوقف عن التغذية حتى يُصحح خلل النظام.
تسمم النتريت	**الأعراض:** صعوبة في التنفس، خياشيم أكثر قتامة، دم بني، سباحة غير طبيعية كالتجمع بالقرب من سطح الماء، الخمول، احمرار حول العينين والزعانف. **الأسباب:** متلازمة الخزان الجديد، فشل المرشح الحيوي (أسباب مختلفة، تسرّب علاجات الأسماك بالمضادات الحيوية أو التطهيرية إلى خزان الزراعة الأحيومائية)، وسائط المرشح الحيوي تم غسلها/تنظيفها مؤخرا، الاكتظاظ في الخزان، التغذية المفرطة، البروتين الزائد في الأعلاف، انخفاض تدفق المياه، انخفاض الأكسيجين في الماء، انخفاض درجة الحرارة الذي يؤدي إلى تثبيط البكتيريا الآزوتية، انخفاض نسبة الكلور (Cl)، أكسيد النيتريك (NO_2). **العلاجات:** الاستبدال الفوري للماء (20–50%)، إضافة البكتيريا، إضافة وسائط المرشح الحيوي، الحد من كثافة الأسماك، التوقف عن التغذية، إضافة الكلوريد، وتحسين الأكسيجين، ضبط درجة الحرارة إلى المستويات المثلى، تجنب اضطراب السمك؛ لأنه يسبب الوفيات الحادة.

يتبع

تابع للجدول

الأمراض غير الحيوية	
كبريتيد الهيدروجين	**الأعراض:** رائحة مميزة مثل البيض الفاسد، وجود الخياشيم الأرجوانية والبنفسجية، وسلوك سباحة غير عادي من الأسماك. **الأسباب:** تراكم المخلفات الصلبة مع الظروف غير الهوائية، نقص التهوية الكافية، زيادة درجة الحرارة. **العلاجات:** إزالة المخلفات العضوية التي تتراكم في الظروف غير الهوائية، نقل الأسماك إلى خزان الانتعاش؛ كي يتم إزالة السبب، زيادة نسبة الأكسيجين المذاب في الماء، زيادة الحموضة (pH)، خفض درجة الحرارة.
درجة الحموضة (pH)	**الأعراض:** انخفاض درجة الحموضة (pH): الوفاة مع الارتجاف وفرط النشاط، صعوبة في التنفس، زيادة إنتاج المخاط. زيادة درجة الحموضة (pH): غموض في الجلد والخياشيم، تلف القرنية (غير شائعة). **الأسباب:** انخفاض درجة الحموضة (pH): حدوث النترجة، مقاومة تغير الحموضة منخفضة في الماء، إضافة حمض غير لائق. ارتفاع درجة الحموضة (pH): إضافة مادة مقاومة لتغير الحموضة غير لائقة، مياه غنية جدا بالقلوية/صلابة، الكثير من الكربونات في وسائط المرشح الحيوي أو مرشح الكربونات من الخزانات الإسمنتية. **العلاجات:** استبدال المياه، إضافة مادة مقاومة لتغير الحموضة، إضافة المواد القاعدية أو الحمضية؛ لضبط درجة الحموضة. وفي حالة انخفاض درجة الحموضة لا تقم بضبط درجة الحموضة باستخدام المواد القاعدية، إلا إذا كان مستوى الأمونيا منخفضا جدا (خطر الأمونيا الحرة في درجة الحموضة العالية)، في حالة ارتفاع درجة الحموضة قم بإضافة الماء المقطر/مياه الأمطار.
الملوحة غير لائقة	**الأعراض:** آفات الجلد، الاكتئاب. **الأسباب:** تركيزات الملوحة أعلى من مستوى تسامح الأسماك، استبدال الماء من مصادر أعلى/أقل ملوحة، سوء تقدير إضافة الملح (أنواع الأحياء المائية، التي تعيش في البيئات المالحة)، فقدان المياه؛ بسبب التبخر، والذي يتسبب في التركيزات العالية للملح في المياه المتبقية. **العلاجات:** إضافة ماء منزوع الأيونات/مياه الأمطار أو المياه العذبة؛ لخفض الملوحة، إضافة الملح؛ لزيادة الملوحة. إضافة الملح يجب أن لا تتجاوز 1 ملغم/لتر زيادة في الساعة.
الغاز فوق التشبع (مرض الفقاعة الهوائية)	**الأعراض:** عوم الأسماك على السطح، بروز العينين؛ بسبب الانصمام الغازي، وجود الانصمام في الدم و الأعضاء، بما في ذلك العينين، والجلد، والخياشيم. **الأسباب:** الزيادة السريعة في درجة الحرارة، أو الانخفاض السريع في ضغط المياه التي تقلل من القابلية لذوبان الغاز، استخدام المياه الجوفية، الأكسيجين الزائد في المياه. **العلاجات:** قلل من الغاز الزائد، تجنب الإجهاد على الحيوان خلال فترة الانتعاش.
نقص الغذاء	**الأعراض:** ضعف النمو، الاكتئاب، الوفيات، تشوه في الهيكل العظمي، آفة العين، فقر الدم. **الأسباب:** افتقار الغذاء إلى العناصر الأساسية، التخزين غير السليم للغذاء، انعدام التباين في الأعلاف، انخفاض حصة الغذاء، العمى، تراكم الدهون الزائدة. **العلاجات:** متابعة متطلبات الأسماك، تنويع النظام الغذائي، توفير حبوب الأعلاف المصنعة خصيصا للأسماك، توفير الفيتامينات والمعادن، موازنة نسبة البروتين: ضبط نسبة الدهون وخفض الدهون (تراكم الدهون).

المصدر: معدل من المرجع- Noga, 1996، راجع الفصل الخاص بمزيد من القراءة للمرجع كاملا.

الأمراض البكتيرية	
(مرض البكتيريا العمودية، تعفن الزعانف، وأمراض الغَزْل القطني، والصوفي، مرض البقع السوداء)	**الأعراض:** احمرار الجلد وتآكله، التحوّل إلى تقرحات سطحية ونخر، نخر في الخياشيم، إطلاق المخاط المائل إلى اللون الأصفر من التقرحات. **الأسباب:** المصدر الرئيس: (*Flexibacter columnaris* – الفلكسوباكتر كولمنارس). الأسباب المتزامنة من الاضطرابات النفسية الحادة، ارتفاع درجات الحرارة، انخفاض الأكسيجين والنتريت، وفوق درجة حرارة مقدارها 15°م تزيد النسبة المرضية. **العلاجات:** الغمر في برمنجنات البوتاسيوم لفترات طويلة؛ لعلاج الأسماك في البداية وزيادة الشهية؛ للسماح لها بأكل العلف الذي يحتوي على العلاج، الغمر في كبريتات النحاس، العلاج بالمضادات الحيوية (أوكسي تتراسيكلين – oxytetracicline، نيفوربيرينول – nifurpirinol)، في خزان منفصل، القضاء على الأسباب الكامنة وراءها.

تابع للجدول

داء الاستسقاء	**الأعراض:** إصابة الأعضاء الداخلية؛ مما يؤدي إلى تراكم السوائل في الجسم، وتبدو الأسماك متضخمة. **الأسباب:** البكتيريا المختلفة، على الرغم من أنه يمكن أن تسببها الطفيليات أو الفيروسات، والأسباب المتزامنة أيضا تسهم في ضعف الأسماك وفي عدم كفاية معايير البيئة/المياه. **العلاجات:** علاج السمك بعلاج الأعلاف؛ التي تحتوي على المضادات الحيوية (الكلورامفينيكول – chloramphenicol، التتراسيكلين – tetracycline) في خزان منفصل، القضاء على الأسباب البيئية/المائية.
تعفن الزعانف Fin rot	**الأعراض:** زعانف تالفة مع انكشاف الأشعة الداعمة للزعنفة، التآكل، فقدان اللون، تقرحات ونزيف، تسمم الدم الداخلي. **الأسباب:** العدوى البكتيرية من مصادر مختلفة، ولكن البكتيريا الزائفة (*Pseudomonas* spp.) الأكثر تسببا، ظروف المياه الفقيرة، الهجوم من الأسماك الأخرى، ويحدث المرض في كثير من الأحيان في درجات الحرارة المنخفضة. **العلاجات:** تحديد السبب، علاج السمك في خزان منفصل عن طريق توفير العلف الذي يحتوي على المضادات الحيوية غير المقاومة (الكلورامفينيكول – chloramphenicol، تتراسايكلين – tetracyclin)، أو إذابة المضادات الحيوية مباشرة في الماء، الحافظ على فصل الأسماك حتى تتعافى.
مكورات عقدية Streptococcosis	**الأعراض:** نزيف حاد على الجسم، بروز العينين، وجود سائل دموي في التجويف البريتوني. **الأسباب:** مكورات عقدية (*Streptococcus* spp.). **العلاجات:** العلاج بالمضادات الحيوية (أكسي تتراسكلين الإريثروميسين – oxytetracycline erythromycin، (الأمبيسلين – ampicillin).
مرض السل Tubercolosis	**الأعراض:** الهزال والخمول، قلة في الشهية، بطن جوفاء، وجود تقرحات على الجلد، فقدان الحراشف، تآكل الزعانف، ظهور الدرنات الصفراء أو السوداء على الجسم، وجود عقيدات بيضاء (white nodules) بمقاس 1–4 ملم في الأعضاء الداخلية، خاصة على الكلى والطحال. **الأسباب:** البكتيريا المسؤولة هي (الميكوبكتيريا – *Mycobacterium* spp.)، ولكن الاكتظاظ وسوء نوعية المياه، كما أن الأسماك العرضة للإصابة هي أسباب تكميلية. والابتلاع هو عامل الانتقال الأكثر شيوعا. والبكتيريا المتكيسة يمكن أن تبقى على قيد الحياة مدة سنتين في البيئة. **العلاجات:** علاج مطول (بالإريثرومايسين – erithromycin)، (الستربتومايسين – streptomycin)، (الكاناميسين – kanamycin)، وفيتامين B6، أو القضاء على الأسماك، وينبغي الانتباه عند التعامل مع مثل هذا المرض، حيث إنه قد ينتقل للبشر.
الضمة Vibrio	**الأعراض:** نزيف الجلد مع وجود بقع، احمرار في الجزء الجانبي والبطني من الأسماك، الآفات تتورم وتتقرح مطلقة صديدا، العدوى الجهازية في الكلى والطحال، آفات العين، كسحابة العين، والتقرح والعيون البارزة، وفقدان العضو في نهاية المطاف، بالإضافة إلى ذلك فقدان الشهية والاكتئاب. **الأسباب:** نوع مختلف من الضمة (*Vibrio* spp.)، أكثر شيوعا في المياه المستملحة، والأسماك الإستوائية، وتزيد الحالات مع ارتفاع درجات الحرارة، العوامل المتزامنة تحدث في الإجهاد والازدحام والتلوث العضوي، وفي عائلة السلمونيات يظهر تفشي الواوية (الضمية) (*V. anguillarum*) في درجات حرارة أقل من 5°م. **العلاجات:** العلاج في الوقت المناسب بالمضادات الحيوية (أوكسي تتراسيكلين – oxytetracicline، السلفواميدات – sulfonamides) نتيجة لمسار سريع جدا لهذا المرض. كما أن الحد من الإجهاد هو أمر أساسي؛ من أجل السيطرة طويلة الأمد على المرض. وينبغي الانتباه عند التعامل معه، وهذا المرض يمكن أن ينتقل إلى البشر.
الأمراض الفطرية	
القطن الأبيض سابروليجنيا White cotton saproleigna	**الأعراض:** نمو كتل بيضاء وبنية أو حمراء على سطح الأسماك، آفات العين كسحابة العين تسبب العمى وفقدان العين. **الأسباب:** السابرولجنيا (*Saprolegnia* spp.)، في كثير من الأحيان كمرض انتهازي يتبع غيره من الأمراض، والضعف العام لدى الأسماك، الأسباب المتزامنة مع الإجهاد الحاد انخفاض درجة الحرارة، وإجهاد النقل. **العلاجات**: الغمر في حمام الملح أو حمام الفورمالين لمدة طويلة، وعلاج البيض بمادة بيروكسيد الهيدروجين (hydrogen peroxide)، أو غمرها لفترات طويلة في مادة الميثيلين الأزرق (methilene blue)، ويمكن علاج الآفات بقطعة قماش مبللة بمادة يود البوفيدون (povidone iodine) أو الميكروكروم (mercurochrome).

تابع للجدول

أمراض الطفيليات وحيدة الخلية	
الكوكسيديا Coccidiosis	**الأعراض:** الإصابة المعوية والتهاب الأمعاء، نخر ظهاري، آفات على/في الأعضاء الداخلية كالكبد والطحال والجهاز التناسلي والمثانة الهوائية. **الأسباب:** الأكريات تنتمي إلى عائلات مختلفة. **العلاجات:** استخدام مونينسين (monensin) كابح الأكريات، سَلفاديميدين (sulfadimidine) بمعدل واحد مل في 32 لترا ماءً، ويكرر أسبوعيا أو أمبروليوم (amprolium).
الهكساميتا Hexamitosis	**الأعراض:** وجود الطفيليات في الأمعاء والمرارة أو الأجهزة الأخرى في أكثر الحالات المتقدمة، وجود انتفاخ في البطن وبياض، والغائط المخاطي تليه الاضطرابات السلوكية كاختباء الأسماك في زوايا، مع وضع رؤوسها إلى أسفل و/أو السباحة إلى الوراء، والحد التدريجي من حجم الرأس فوق العينين، وإسوداد الجسم. **الأسباب:** سداسية الخيوط (*Hexamita* spp.)، النواة الذيلية (*Spiro nucleus* spp.) بروتوزوا سوطية تلحق صفة المعوية، ويصيب الحيوانات الواهنة والمجهدة. **العلاجات:** استخدم ميترونيدازول (Metronidazole) سواء في التغذية (1%) والماء (12 ملغم/لتر)، إضافة كبريتات المغنيسيوم باعتبارها مسهلة، زيادة درجة الحرارة، وتحسين الظروف البيئية.
داء البقعة البيضاء Ich/white spot	**الأعراض:** حويصلات صغيرة بيضاء (تصل إلى 1ملم) تغطي جسم السمكة وتعطي مظهرا من حبوب الملح التي تظهر، الجلد المخاطي، تقرحات الجلد، الاضطرابات السلوكية ينظر إليها على أنها الخمول، فقدان الشهية، فرك الجسم بالجدران في محاولة لإزالة الطفيليات. **الأسباب:** الطفيلي وحيد المنشأ (*Ichthyophthirius multifiliis*). **العلاجات:** الطفيلي هو عرضة للعلاج أثناء مرحلة السباحة الحرة للصغار في البحث عن مضيف، ويطلق عليها (theronts)، وبعد مرحلة الكبار التي تكون على الأسماك ويطلق عليها (trophont) وإنتاج الحويصلات (البضعاء) التي تقع في القاع، العلاج بحمام الملح أو حمام الفورمالين كل أسبوع حتى الشفاء التام، الحفاظ على درجة حرارة الماء فوق 30°م لمدة 10 أيام، رفع درجة الحرارة 21–26°م؛ لتقصير دورة الطفيلي من 28 إلى 5 أيام؛ مما يجعل فترة العلاج في حمام العلاج أقصر.
التريكودينا Trichodina	**الأعراض:** ستظهر عينة رطبة يتم جمعها بواسطة كشط الجلد الرطب الطفيل تحت المجهر، غشاء رمادي على الجلد والخياشيم، مع وجود إفراز مخاطي أبيض كثيف، فقدان الشهية وفقدان الشأن في الأسماك التي تنتشر فيها بشكل كبير. **الأسباب:** طفيلي يشبه الصحن يعلق بالخياشيم وسطح جسم السمكة المضيف، غالبا ما يوجد في المياه ذات الجودة الرديئة، ونسبة تخزين الأسماك العالية. **العلاجات:** حمام الفورمالين أو برمنجنات البوتاسيوم، حمام الملح أو حمض الخل (طفيليات المياه العذبة فقط).
المخملية/الغبار Velvet/Dust	**الأعراض:** الغبار البني يغطي الجسم و/أو الزعانف، عدم الراحة في التنفس مع حركة خيشومية سريعة؛ بسبب وجود الطفيل على الخياشيم، والعيون السحابية، تشكل الحويصلات التي تفرز الطفيليات المعدية الحرة. **الأسباب:** طفيلي (*Piscinodinium* spp.) طفيلي سوطي يلتصق بجلد المضيف. **العلاجات:** المرض شديد العدوى وقاتل، رفع درجات الحرارة 24-27°م يسرع دورة العلاج. ترك النظام دون الأسماك لمدة أسبوعين؛ لإزالة الأوالي (protozoan)، لعلاج الغزو الكثيف فإن استخدام حمام ماء فيه 3,5% ملح لمدة 1–3 دقائق هو فاعل؛ لإزالة الطفيليات العالقة بالأسماك، والتي في مرحلة (tro-phonts). وبدلا من ذلك، يمكن العلاج بواسطة كبريتات النحاس بتركيز 0,2 ملغم/لتر في خزان منفصل، وكرر حسب الضرورة، النحاس يمكن أن يتراكم ويسبب التسمم.
الأمراض الطفيلية	
دودة المرساة، القمل Anchor worm, lice	**الأعراض:** وجود طفيليات على الجلد والخياشيم والفم، تآكل وتقرح، بقع حمراء على الجلد، التي يمكن أن ترتفع إلى حجم 5 ملم. **الأسباب:** مجدافيات من أصل مختلف، تم جلبها من البرية. **العلاجات:** يمكن تحديدها بعدسة مكبرة، معالجة مطولة في الملح (أنواع المياه العذبة)، أيضا بيروكسيد الهيدروجين، الفورمالين، والإيفرميكتين كلها علاجات للقمل.

تتمة الجدول

المثقوبة Flukes	**الأعراض:** كشط على جدران الخزان، وإطلاق المخاط من الخياشيم، الحركة الخيشومية سريعة، أضرار خيشومية وزعنفية، شحوب، تنفس سريع، تخبط الزعانف. **الأسباب:** الديدان المفلطحة بطول حوالي 1 ملم تغزو الخياشيم والجلد، ويمكن كشفها بواسطة عدسة مكبرة. **العلاجات:** علاج 10 إلى 30 دقيقة في حمام 10 ملغم/لتر من برمنجنات البوتاسيوم في خزان منفصل (طفيلي المياه العذبة فقط)، حمام الملح (طفيلي المياه العذبة فقط)، والفورمالين أو حمام النحاس.
العلق Leeches	**الأعراض:** وجود طفيليات على الجلد تخلق الآفات الحمراء أو البيضاء الصغيرة، تفشٍ واسع يؤدي إلى فقر الدم. **الأسباب:** الطفيليات الخارجية أُدخلت أساسا من البرية. **العلاجات:** تجنب إدخال النباتات الخام أو القواقع، استخدم الحمام الملحي، واستخدم الفوسفات العضوية.
الديدان الخيطية Nematoda	**الأعراض:** فقدان الوزن التدريجي للوزن، خمول، بطون خاوية، تراكم الطفيليات حول فتحة الشرج، استعمار الأحشاء بديدان بطول 0,6–7,0 ملم في الأمعاء. **الأسباب:** تغزو جميع أنحاء الجسم، وتبرز عند التركيز في فتحة الشرج، يحدث العدوى مع إدخال الأسماك البرية أو أسماك البركة. **العلاجات:** العلاج بالتغذية بمادة الفينبيندازول (fenbendazole) عن طريق الفم، والليفاميزول (levamisole) عن طريق الفم.

المصدر: معدل من المرجع – Noga, 1996، راجع الفصل الخاص بمزيد من القراءة للمرجع كاملا.

الملحق الرابع – حساب كمية الأمونيا ووسائط الترشيح في المرشح الحيوي لوحدة الزراعة الأحيومائية

يقدم هذا الملحقُ تفسيرات مفصلة عن الكمية المثلى من وسائط الترشيح المطلوبة؛ لتحويل الأمونيا إلى نترات من كمية معينة من أعلاف الأسماك. بالإضافة إلى المعلومات الواردة في الفصل الثامن من النص الرئيس من هذا الدليل، فمن المهم هنا تعريف عنصرين جديدين مهمين في المعادلات، وهما:

- مجموع الأمونيا والنتروجين (TAN) التي ينتجها علف الأسماك.
- معدل تحويل الأمونيا إلى نترات بواسطة البكتيريا.

تحديد كمية الأمونيا التي تنتجها الأعلاف

الأمونيا ناتج عرضي من تدهور البروتينات. وكمية الأمونيا في الماء تعتمد على عدة عوامل، بما في ذلك كمية/نوعية البروتينات أو الأحماض الأمينية في الأعلاف، والهضم، وأنواع الأسماك، ودرجة الحرارة، وإزالة مخلفات الأسماك من نظام الزراعة الأحيومائية. وفي المتوسط فإن نسبة 30% من البروتينات التي يوفرها النظام الغذائي يتم الاحتفاظ بها في جسم الأسماك؛ لذلك فإن 70% من النتروجين يتم فقدانه، و15 في المائة لا يتم هضمه، ويخرج كمخلفات صلبة (البراز). في حين يفرز الـ 55% المتبقية من الأسماك على هيئة أمونيا، أو المنتجات القابلة للتحلل بسهولة إلى الأمونيا. بالإضافة إلى المخلفات الذائبة مباشرة، فجدير بالذكر أن نحو 60% من المخلفات الصلبة الناتجة، يتم إزالتها من النظام عن طريق المرسبات أو المنقيات، الأمر الذي يترك حوالي 6% من المخلفات الصلبة إلى أن تتحلل إلى الأمونيا في الماء. وعموما فإن حوالي 61% من النتروجين الذي ينتج من العلف يصبح أمونيا ويخضع للنترجة.

ولنأخذ على سبيل المثال، 20 كغم من الأسماك والتي تأكل 1 في المائة من وزن الجسم يوميا (200 غراما من أعلاف الأسماك). ومن كمية 200 غرام من العلف (32% بروتين)، فإن نسبة الأمونيا التي تنتج هي حوالي 7,5 غراما. ولتحقيق هذه النتيجة يتم حساب النتروجين أولاً على أساس النسبة المئوية للبروتين في الأعلاف، ومقدار النتروجين في البروتين (16%)، ثم يتم احتساب كمية النتروجين المهدورة: إن 61% من النتروجين تهدر (6% غير مهضوم/العلف غير المأكول يبقى في النظام، 55% تفرزه الأسماك)، ولكل غرام مهدور من النتروجين، ينتج 1,2 غراما من الأمونيا، وفقا لأساليب الكيمياء القياسية (لم تدرج هنا). وتظهر المعادلة التالية للعملية:

$$\text{200 غرام من أعلاف الأسماك} \times \frac{\text{32 غرام بروتين}}{\text{100 غرام أعلاف}} \times \frac{\text{16 غرام نتروجين}}{\text{100 غرام بروتين}} \times \frac{\text{61 غرام نتروجين مهدورة}}{\text{100 غرام من عام نتروجين}} \times \frac{\text{1,2 غرام } NH_3}{\text{1 غرام نتروجين}} = \text{7,5 غرام أمونيا}$$

تحديد كمية وسائط الترشيح في المرشح الحيوي التي تحتاجها البكتيريا الآزوتية

معدل إزالة الأمونيا بواسطة البكتيريا الآزوتية هو2,0–2 غراما لكل متر مربع يوميا. ومعدل الإزالة يعتمد على تصميم المرشح الحيوي، الحمل المائي (كمية المياه التي تتدفق من خلال البكتيريا)، ودرجات الحرارة (النشاط الحيوي العالي عند مستوى > 20°م)، والملوحة، ودرجة الحموضة، والأكسيجين، وكذلك المواد الصلبة العالقة الناتجة من مخلفات الأسماك. ولتبسيط العمليات الحسابية المعقدة اللازمة، سيتم استخدام معدل معتدل: يتم تحويل 0,57 غراما من الأمونيا لكل متر مربع من مساحة السطح يوميا، مع الأخذ في الاعتبار كمية العلف اليومي (200 غراما) وما ينتج عنه من الأمونيا (7,5 غراما)، فمن الضروري توفير البكتيريا بمساحة سطح تشغيل مقدارها 13,3 مترا مربعا، كما هو مبين في المعادلة التالية:

$$\text{7,5 غراما من الأمونيا} \times \frac{\text{1 م}^2}{\text{0,57 غراما من الأمونيا}} = \text{13,3 م}^2$$

ويمكن الحصول على سطح البكتيريا من مجموعة واسعة من المواد، كلٌ منها لديه المساحة السطحية النوعية الخاصة به، والمعروفة أيضا باسم مساحة السطح إلى نسبة الحجم، معَبّرا عنه بمتر مربع لكل متر مكعب (م^2/م^3). وتشمل وسائط المرشح الحيوي الشائعة الحصى، والرمل، والألواح الشبكية من الألياف الصناعية، ووسائط المرشح البلاستيكي. والمساحة السطحية النوعية تدل على مساحة السطح الإجمالي في المتر المكعب لمادة معينة إذا تم قياس سطح جميع الجزيئات في المساحة. وتم تضمين بعض من قيم المساحة السطحية النوعية لأنواع مختلفة من وسائط المرشح الحيوي في الجدول م1.4 (انظر أيضا الجدول 1.4). ويمكن حساب حجم الوسائط المطلوبة لتحويل الأمونيا باستخدام نسب المساحة السطحية النوعية، ومثال على استخدام حجارة الطف البركاني المسامية موجود في المعادلة التالية. إن المساحة السطحية النوعية للطف البركاني هي 300 م^2/م^3. ويمكن الحصول على حجم حجارة الطف البركاني اللازمة لضمان سطح تشغيل مقداره 13,3م^2، تم احتسابها أعلاه، للبكتيريا الآزوتية ويمكن الحصول عليها بعملية تقسيم بسيطة:

$$13{,}3\ \text{م}^2 \times \frac{1\ \text{م}^3}{300\ \text{م}^2} = 0{,}0443\ \text{م}^3$$

الحجم النهائي من الطف اللازم لمعالجة 200 غرام من العلف في اليوم الواحد هو 0,0443 م^3، ويعادل المتر المكعب الواحد 1000 لتر. وبالتالي فإن حجم حجارة الطف البركاني المسامية المطلوبة هي 44,3 لترا. وبالتالي فإن لترا واحدا من الطف يمكن له تحويل الأمونيا الناتجة عن 4,5 غراما من الأعلاف.

$$\frac{44{,}3\ \text{لتر من الطف}}{200\ \text{غرام من العلف}} : \frac{1\ \text{لتر من الطف}}{4{,}5\ \text{غرام من العلف}}$$

عند استخدام تقنيات سرير وسائط النمو في الزراعة الأحيومائية، فإن كمية وسائط النمو المستخدمة في نمو النباتات تفوق بكثير الحد الأدنى للكمية المطلوبة للترشيح الحيوي وتحويل الأمونيا، وهذا سيؤدي إلى نظام قويّ في حال الانخفاض الحاد في كفاءة البكتيريا الآزوتية. وتصميم النظام المذكور في الملحق الثامن من هذا الدليل لديه كمية حجارة الطف البركاني المسامية (Tuff) مقدارها 900 لتر، وهي نسبة أعلى بنحو 20 مرة من الكمية اللازمة لمعالجة الأمونيا التي تنتج من 200 غرام من الأعلاف.

ومن الممكن استخدام أية وسائط في المرشح الحيوي، وتحديد الحجم المطلوب من خلال معرفة المساحة السطحية النوعية. ومع ذلك فمن الجدير بالذكر أنه كلما كانت المساحة السطحية أكبر لوسائط الترشيح، كلما ارتفع خطر الانسداد إذا احتوى الماء على بعض المواد الصلبة العالقة، والتي يمكن أن تحدث بسهولة في أنظمة الزراعة الأحيومائية التي بها نسبة تخزين أسماك عالية، والتي لم يتم تهيئتها بشكل كاف بالمروقات أو مرشحات الترسيب لإزالة مخلفات الأسماك الصلبة.

الجدول م1.4

المساحة السطحية النوعية لوسائط المرشح الحيوي التي يتم اختيارها، بما في ذلك حسابات تحويل الأمونيا من العلف اليومي، على افتراض أن نسبة البروتين في العلف هي 32%

نوع الوسائط	المساحة السطحية النوعية (م^2/م^3)	التغذية المعالجة (غرام) لكل لتر من الوسائط	الوسائط المطلوبة (لتر) لكل 100 غرام من الأعلاف
الرمل الخشن (0,8–0,6 ملم)	5 000	75,0	1,3
ترشيح حبيبات الخرز	1 400	21,0	4,8
الكرات الحيوية	600	9,0	11,1
رغوة	400	6,0	16,7
الألواح الشبكية من الألياف الصناعية	400–300	6,0–4,5	22,2–16,7
الورق المقوى المموج	400–150	6,0–2,3	44,4–16,7
الحصى البركاني	300	4,5	22,2
كرات الطين (LECA)	250–200	3,8–3,0	33,3–26,7
الحصى الخشن	150	2,3	44,4

الملحق الخامس – إنتاج أعلاف الأسماك محلية الصنع

أعلاف الأسماك هي واحدة من المدخلات الأغلى في وحدة الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير. والعلف هو واحد من أهم مكونات النظام البيئي في الزراعة الأحيومائية؛ لأنه يحافظ على كلٍ من نمو الأسماك والنباتات؛ ولذلك فمن الضروري للمزارعين والعاملين في المجال فهم مكونات العلف. وفي حالة عدم اتاحة حبوب العلف تجاريا، فمن المهم أن نفهم الطرق لإنتاجه في المزرعة. وعلاوة على ذلك فإن الأعلاف المحلية الصنع مفيدة عندما تكون هناك حاجة لوجبات غذائية محددة؛ لتحسين نمو الأسماك أو أداء نظام الزراعة الأحيومائية.

تركيبة الأعلاف

تتكون أعلاف الأسماك من جميع العناصر الغذائية المطلوبة للنمو والطاقة والتكاثر، ويتم تحديد المتطلبات الغذائية من البروتينات، والأحماض الأمينية، والكربوهيدرات، والدهون، والطاقة، والمعادن، والفيتامينات (الجدول م1.5). وفيما يلي موجز مختصر لمكونات الأعلاف الرئيسة والجداول التركيبية والمعادلات كدليل لعملية إعداد الأعلاف.

البروتينات

تلعب البروتينات الغذائية دورا أساسيا في النمو والتمثيل الغذائي للحيوانات، وهي مصنوعة من 20 نوعا مختلفا من الأحماض الأمينية، ويتم إعادة تجميعها في مجموعات لا حصر لها؛ لتوفير جميع البروتينات التي لا غنى عنها للحياة والنمو.

ويمكن فقط التمثيل الغذائي لبعض الأحماض الأمينية من قبل الحيوانات، في حين لا يمكن تمثيل أو صناعة الأنواع الأخرى. وهذه الأنواع الأخيرة يجب أن يتم توفيرها في النظام الغذائي، ويطلق عليها الأحماض الأمينية الأساسية (EAAs). وللأحياء المائية 10 أحماض أمينية أساسية،(essential amino acids) (EAAs): أرجينين (arginine)، هستيدين (histidine)، آيسولوسين (isoleucine)، ليوسين (leucine)، ليسين (lysine)، ميثيونين (methionine)، فينيلالاناين (phenylalanine)، ثريونين (threonine)، التريبتوفان (tryptophan)، فالين (valine)؛ ولذلك فإن وضع التركيبة العلفية الغذائية يجب أن يتم بتوازن أمثل للأحماض الأمينية الأساسية (EAAs)؛ لتلبية الاحتياجات المحددة لكل أنواع الأسماك. إن عدم الامتثال لهذا الشرط يمنع الأسماك من تجميع البروتينات الخاصة بها، وكذلك تضييع الأحماض الأمينية التي تكون موجودة. وبالتالي يجب على تركيبة العلف المثالية أن تأخذ في الاعتبار مستويات الأحماض الأمينية الأساسية (EAAs) لكل عنصر وتطابق الكميات المطلوبة من الأسماك. والمعلومات المتعلقة بمستوى الأحماض الأمينية الأساسية خاصة الميثيونين، السيستين والليسين هي متاحة في أي ورقة بيانات لمكونات العلف (انظر القسم الخاص بمزيد من القراءة).

وتعتمد نسبة البروتين الموصى بها للأسماك على الأنواع والعمر، أما بالنسبة لأسماك البُلطي والأسماك العاشبة فإن النطاقات المثلى هي 28–35%، وتتطلب الأنواع الآكلة للحوم 38–45%، وصغار الأسماك تتطلب حمية أعلى من البروتين مقارنة بالأسماك البالغة؛ نظرا للنمو المهم للجسم في هذه المرحلة.

إلى جانب المحتوى الأمثل للأحماض الأمينية في الأعلاف تجدر الإشارة إلى أهمية توازن النظام الغذائي الأمثل بين البروتينات والطاقة؛ للحصول على أفضل أداء للنمو وخفض التكاليف والمخلفات من استخدام البروتينات للحصول على الطاقة. وعلى الرغم من أن البروتينات يمكن استخدامها كمصدر للطاقة، فهي أكثر تكلفة من الكربوهيدرات والدهون، والتي يفضل استخدامها. وفي الزراعة الأحيومائية فإن أي زيادة في البروتينات الغذائية تؤثر بشكل مباشر على كمية النتروجين في الماء. وهذا ينبغي أن يكون متوازنا إما عن طريق زيادة في النباتات التي تزرع في النظام، أو اختيار الخضار التي لديها مطالب أعلى للنتروجين.

وبشكل عام فإن الكمية الإجمالية من البروتين الخام أو الحمض الأميني الأساسي المحدد في العلف المصنع يمكن الحصول عليها ببساطة عن طريق ضرب البروتين الخام (النسبة المئوية للحمض الأميني الأساسي المحدد

التي يجري التحقق منها) من كل عنصر بالنسبة التي تم إدراجها في العلف، وأخيرا عن طريق جمع كافة المجاميع الفرعية التي تم الحصول عليها. فعلى سبيل المثال، نظام غذائي يحتوي على 60% من فول الصويا، مع 44% بروتين خام، مع 40% من حبوب القمح، مع 18,8% بروتين خام سيكون مساويا لـ (0,6 × 44) + (0,4 × 18,8) = 26,4 + 7,52 = 33,9% بروتين خام. وإذا كانت كمية البروتين الخام التي تم الحصول عليها من خلال المعادلة الحسابية (أو كمية الحمض الدهني المحدد) تلبي متطلبات الأسماك من البروتين الخام (النسبة المئوية للحمض الدهني المحدد)، فإن النظام الغذائي يُعد مثاليا.

إن تحديد مصادر البروتين الأرخص يمكن إجراؤها ببساطة عن طريق تقسيم تكلفة كل عنصر من نسبة البروتين الخام، وستعطي النتائج تكلفة وحدة البروتين (1%) ويمكن أن تساعد في العثور على المعادلة الغذائية الأكثر فعالية من حيث التكلفة.

الكربوهيدرات

الكربوهيدرات هي مصدر الطاقة الأكثر أهمية والأرخص للحيوانات، وهي تتألف أساسا من السكريات البسيطة والنشويات. في حين أن الهياكل المعقدة الأخرى مثل السليلوز (cellulose) والهيميسيلولوز (hemicellulose) ليست قابلة للهضم من قبل الأسماك. وينبغي إدراج الكمية القصوى للتحمل من الكربوهيدرات في النظام الغذائي من أجل خفض تكاليف الأعلاف. ويمكن للأسماك متعددة التغذية وأسماك المياه الدافئة هضم الأعلاف بسهولة، وبكميات تصل إلى 40%، ولكن تنخفض النسبة إلى نحو 25% في المائة بالنسبة للأسماك آكلة اللحوم وأسماك المياه الباردة. وتستخدم الكربوهيدرات أيضا كعامل مثبت؛ لضمان احتفاظ حبوب العلف بهيكلها في الماء. وبشكل عام فإن واحدة من أكثر المنتجات المستخدمة في صناعة حبوب العلف بواسطة الطهو والتمدد (extruded) أو المضغوطة (pelleted) هي النشا (من البطاطا والذرة والكسافا وغلوتين القمح)، والتي تخضع لعملية تجلتن عند 60–85°م، والذي يمنع الحبوب من الذوبان بسهولة في الماء.

الدهون

توفر الدهون الطاقة والأحماض الدهنية الأساسية (essential fatty acids) التي لا غنى عنها للنمو والوظائف الحيوية الأخرى في أجسام الأسماك. وتلعب الدهون أيضا دورا مهما في امتصاص الفيتامينات التي تذوب في الدهون، وتأمين إنتاج الهرمونات. ولا يمكن للأسماك والحيوانات الأخرى أن تقوم على تمثيل الأحماض الدهنية الأساسية، والتي يجب أن تكون مضافة مع النظام الغذائي وفقا لاحتياجات الأنواع، ويؤدي النقص في الأحماض الدهنية في العلف إلى خفض النمو ويحد من الكفاءة التناسلية.

وبشكل عام فإن أسماك المياه العذبة تتطلب مزيجا من الاثنين معا: أحماض أوميغا 3 وأوميغا 6 الدهنية، في حين أن الأسماك البحرية تحتاج أساسا لأوميغا 3. وتتطلب أسماك البُلطي في الغالب أوميغا 6؛ لضمان النمو الأمثل وارتفاع كفاءة التحويل الغذائي. إن معظم الوجبات الغذائية تتألف من 5–10% من الدهون، على الرغم من أن هذه النسبة يمكن أن تكون أعلى بالنسبة لبعض الأنواع البحرية. إن إدراج الدهون في العلف يحتاج لمتابعة النسب المثلى للبروتين/الطاقة؛ لتأمين النمو الجيد للأسماك الموجودة في النظام، وتجنب إساءة استخدام البروتين لأغراض الطاقة (عدم وجود الدهون/الكربوهيدرات لأغراض الطاقة) و تراكم الدهون في الجسم (نظام غذائي غني جدا في الدهون).

الطاقة

يتم الحصول على الطاقة بشكل رئيس بواسطة أكسدة الكربوهيدرات والدهون، وإلى حد ما البروتينات. إن متطلبات الأسماك للطاقة هي أقل بكثير من الحيوانات ذوات الدم الحار؛ بسبب تقلص الاحتياجات لتدفئة الجسم وأداء الأنشطة الأيضية. ومع ذلك فكل الأنواع تتطلب الكمية المثلى من البروتين والطاقة؛ لتأمين أفضل ظروف للنمو، ومنع الكائن الحي من استخدام البروتين المكلف للحصول على الطاقة، وبالتالي فمن المهم أن يتم اختيار مكونات العلف بعناية؛ لتلبية المستوى المطلوب من الطاقة القابلة للهضم (digestible energy) المطلوبة من قبل كل أنواع الأحياء المائية. وسترد الإشارة بإيجاز حول التوازن الأمثل للبروتين

والطاقة في الأسماك الأكثر شيوعا في الزراعة الأحيومائية (الجدول م1.5). والمعلومات عن مستوى الطاقة القابلة للهضم هي متاحة في أي ورقة بيانات لمكونات العلف (راجع قسم تغذية الأسماك في القسم الخاص بمزيد من القراءة).

وبشكل عام فإن قيمة الطاقة القابلة للهضم من العلف المصنع يمكن الحصول عليها ببساطة عن طريق ضرب الطاقة القابلة للهضم من كل عنصر في نسبة إدراجه، أوعن طريق جمع كافة المجاميع الفرعية التي تم الحصول عليها (مثال: نظام غذائي به 60% فول الصويا، وبطاقة قابلة للهضم مقدارها 888 2 كيلو كالوري/كغم، و40% من حبوب القمح، وبطاقة قابلة للهضم مقدارها 930 2 كيلو كالوري/كغم مساويا لـ [0,6 × 888 2] + [0,4 × 930 2] = 732 1 + 172 1 = 904 2 كيلو كالوري/كغم). وإذا كانت الطاقة التي تم الحصول عليها بالمعادلة الحسابية تلبي متطلبات الطاقة والبروتين للأسماك المستزرعة، فإن النظام الغذائي يعد مثاليا.

الجدول م1.5

النوع	البروتين القابل للهضم (DP)	الطاقة القابلة للهضم (DE)	DP/DE	أرجينين	هستيدين	آيسولوسين	ليسين	ليسين	ميثيونين	فينيلالانين	ثريونين	تريبتوفان	فالين
	(%)	(كيلو كالوري/ كغم)	(ملغم/ كيلو كالوري)	(% للغذاء الجاف)									
البُلطي النيلي	30	2 900	103	1,2	0,5	0,9	0,9	1,4	0,7	1,0	1,0	0,3	0,8
الشبوط الشائع	32	2 900	108	1,5	0,8	0,9	1,3	2,2	1,2	2,5	1,5	0,3	1,4
السلمون المرقط قوس قزح	42	4 100	105	1,6	–	–	–	1,9	1,0	–	–	0,3	–
سمكة القط	27	3 100	86	1,0	0,4	0,6	0,8	1,2	0,6	1,2	0,5	0,1	0,7

المصدر: معدل من المرجع NRC (1993).

النسب المثلى للبروتين (DP)، والطاقة (DE)، ونسبة DP/DE، ومتطلبات الأحماض الأمينية الأساسية لأنواع الأسماك المختارة

الفيتامينات والمعادن

الفيتامينات هي مركبات عضوية ضرورية للحفاظ على النمو وأداء جميع العمليات الفسيولوجية اللازمة لدعم الحياة. ويجب أن يتم توفير الفيتامينات مع الحمية الغذائية؛ لأن الحيوانات لا تنتجها. ومن المحتمل أن يحدث نقص الفيتامينات في تربية الأسماك المكثفة في الأقفاص العائمة وأنظمة التربية بواسطة الخزانات، حيث لا يمكن للحيوانات الاعتماد على الغذاء الطبيعي. وغالبا ما تنسب المتلازمات التنكسية إلى الإمدادات غير الكافية من هذه الفيتامينات والمعادن. إن المعادن عناصر مهمة في حياة الحيوان؛ لأنها تدعم نمو الهيكل العظمي، وتشارك في التوازن الأسموزي، ونقل الطاقة، وعمل نظام الغدد الصماء. وبالتالي فهي جزء أساسي للعديد من الإنزيمات، وكذلك خلايا الدم.

تتطلب الأسماك سبعة معادن رئيسة: (الكالسيوم، والفوسفور، والبوتاسيوم، والصوديوم، والكلور، والمغنسيوم، والكبريت) و15 نوعا آخر من المعادن الزهيدة (trace minerals). ويمكن توفير هذه الأخيرة عن طريق النظام الغذائي، ولكن يمكن أيضا أن تمتص مباشرة من الماء عن طريق الجلد والخياشيم، ويمكن أن يتم استكمال متطلبات أنواع الأسماك من الفيتامينات والمعادن وفقا لمتطلبات كل الأنواع (الجدول م2.5).

الجدول م2.5

مصادر مكونات العلف الشائعة لأهم العناصر الغذائية

مكونات العناصر الغذائية	مصادر مكونات العلف
بروتين	مصادر ذات الأصل النباتي: الطحالب، والخميرة، وجبة فول الصويا، وجبة بذرة القطن والفول السوداني، وعباد الشمس وبذور اللفت/الكانولا، وغيرها من الكعك البذور الدهنية مصادر حيوانية المصدر: المنتجات الجانبية للأسماك (مسحوق السمك أو مخلفاتها) المنتجات الجانبية للدواجن (مسحوق الدجاج أو مخلفاتها)، مسحوق اللحوم ومسحوق اللحوم والعظام، مسحوق الدم
كربوهيدرات	دقيق القمح، نخالة القمح، دقيق الذرة، نخالة الذرة، نخالة الأرز، نشا البطاطس، وجبة جذور الكسافا
دهون	زيت السمك والزيوت النباتية (فول الصويا والكانولا، وعباد الشمس)، والدهون الحيوانية المصنعة
فيتامينات	مخاليط الفيتامينات، الخميرة، بقول الأعلاف، الكبد، الحليب، نخالة، بذور القمح، زيت الأسماك والنباتات
معادن	مخاليط معادن، عظام مسحوقة

إنتاج الأعلاف في المزرعة

يتطلب إنتاج الأعلاف توازنا دقيقا لكافة المكونات الغذائية المذكورة أعلاه (البروتين، والدهون، والكربوهيدرات، والفيتامينات، والمعادن، والطاقة الكلية). وستسبب التغذية غير المتوازنة انخفاضا في النمو، واضطرابات التغذية، والمرض، وفي نهاية المطاف تؤدي إلى ارتفاع تكاليف الإنتاج. ويعتبر مسحوق السمك أفضل مصدر للبروتين للأحياء المائية؛ بسبب محتواه العالي جدا من البروتين، ولديه نسب متوازنة من الأحماض الأمينية الأساسية. ومع ذلك فهو عنصر مكلف على نحو متزايد، مع وجود مخاوف بشأن استدامته، وعلاوة على ذلك فإن مسحوق السمك ليس متاحا دوما، ويمكن للبروتينات ذات الأصل النباتي الإحلال مكان مسحوق السمك بشكل كاف. ومع ذلك ينبغي لها أن تخضع إلى عمليات معالجة مادية (تقشير، طحن) والعمليات الحرارية لتحسين هضمها، والمكونات النباتية هي في الواقع بها ارتفاع في عوامل مضادات التغذية التي تتداخل مع عملية الهضم وقدرة الأحياء على تمثيل العناصر الغذائية المتناولة؛ مما يؤدي في نهاية المطاف إلى ضعف نمو الأسماك والأداء.

كما يجب أن يكون حجم حبوب العلف حوالي 20–30% من حجم فم السمكة من أجل تسهيل الابتلاع وتجنب أي فاقد. وإذا كانت الحبوب صغيرة جدا فإن الأسماك تبذل المزيد من الطاقة لتستهلكها، وإذا كانت كبيرة جدا فلن تكون الأسماك قادرة على أكلها. وحجم حبوب العلف الذي يوصى به للأسماك أقل من وزن 50 غراما وحجمها يبلغ 2 ملم، بينما الحبوب التي بحجم 4 ملم هي الأمثل لمرحلة ما قبل حجم البلوغ، أو عندما يكون وزن السمكة أعلى من 50 غراما.

إن استخدام أي مكون خام من الأصل الحيواني (فضلات الأسماك، أو مسحوق الدم، أو الحشرات، أو غيرها) يجب معالجتها حراريا بشكل وقائي؛ لمنع أي تلوث ميكروبي لنظام الزراعة الأحيومائية.

تركيبات أعلاف محلية الصنع، الأسماك متعددة التغذية/العاشبة.

ونقدم وصفتين بسيطتين لتغذية متوازنة للأسماك تحتوي على 30% من البروتين الخام تم توضيحها أدناه. يتم صناعة الوصفة الأولى من البروتينات من أصل نباتي، لا سيما وجبة فول الصويا. ويتم صناعة الوصفة الثانية بشكل رئيس من مسحوق السمك. ويتم التعبير عن مكونات كل نظام غذائي بالوزن (كغم)، الكافي لصناعة 10 كغم من العلف (انظر الجدول م3.5 والجدول م2.5). ثم يتم تقديم إرشادات مبسطة خطوة بخطوة حول إعداد الأعلاف المصنعة. ويمكن الاطلاع على معلومات مستفيضة عن العلف والتغذية والصناعة على موقع منظمة التغذية والزراعة المذكورة في القسم الخاص بمزيد من القراءة في هذا الدليل.

الجدول م3.5

الكميات النسبية من المكونات في 10 كغم من أعلاف الأسماك باستخدام البروتين ذي الأصل النباتي، بما في ذلك التحليل التقريبي

مكونات العلف	الوزن (كغم)	النسبة من إجمالي الأعلاف (%)	التحليل التقريبي	(%)
مسحوق الذرة	1,0	10	مادة جافة	91,2
دقيق القمح	1,0	10	بروتين خام	30,0
مسحوق فول الصويا	6,7	67,2	دهن خام	14,2
زيت فول الصويا	0,2	2	ألياف خام	4,8
نخالة القمح	0,7	7,8	رماد	4,6
مخاليط الفيتامينات والمعادن	0,3	3	المواد الذائبة الخالية من الأزوت (الكربوهيدرات الذائبة NFE)	28,3
المجموع الكلي	10,0	100	-	-

الجدول م4.5

الكميات النسبية من المكونات في 10 كغم من أعلاف الأسماك باستخدام البروتين ذي الأصل النباتي، بما في ذلك التحليل التقريبي

مكونات العلف	الوزن (كغم)	النسبة من إجمالي الأعلاف (%)	التحليل التقريبي	(%)
مسحوق الذرة	1,0	10	مادة جافة	90,9
دقيق القمح	4,0	40	بروتين خام	30,0
مسحوق فول الصويا	1,5	15	دهن خام	10,5
زيت فول الصويا	0,2	2	ألياف خام	2,1
مسحوك السمك	3,0	30	رماد	8,3
مخاليط الفيتامينات والمعادن	0,3	3	المواد الذائبة الخالية من الأزوت (الكربوهيدرات الذائبة NFE)	34,5
المجموع الكلي	10,0	100	–	–

إعداد أعلاف الأسماك محلية الصنع خطوة بخطوة.

1. اجمع الأواني على النحو المبين في الجدول (م5.5).
2. اجمع المكونات كما هو مبين في الجدول (م3.5) أو الجدول (م4.5). قم بشراء وجبة فول الصويا المجففة سابقا والمنزوعة الدهن، ووجبة الذرة ودقيق القمح. إذا كانت هذه الوجبات غير متوافرة، احصل على فول الصويا كاملا، وحبات الذرة، وثمار القمح، ثم قم بتجفيفها وتقشيرها وطحنها. وإضافة إلى ذلك قم بتحميص فول الصويا الكامل عند 120°م لمدة 1–2 دقائق.
3. زن كمية كل عنصر حسب ما هو مبين في الوصفات أعلاه.
4. أضف المكونات الجافة (الدقيق ومسحوق السمك)، واخلطها جيدا لمدة 5–10 دقائق حتى يصبح المزيج متجانسا.
5. أضف خليط الفيتامينات والمعادن إلى المكونات الجافة، واخلطها جيدا لمدة 5 دقائق أخرى. تأكد من أن الفيتامينات والمعادن توزعت بالتساوي في جميع أنحاء الخليط.
6. أضف زيت فول الصويا، واستمر في خلط المزيج لمدة 3–5 دقائق.
7. أضف الماء إلى المزيج؛ للحصول على عجينة لينة ولكنها ليست لزجة.
8. قم بطهي العجينة بالبخار لإحداث الجلتنة (gelatinization).

9. مرحلة تمديد وبثق العجين: أولا قم بتقسيم العجين إلى قطع يسهل التعامل معها، ومررها من خلال مفرمة اللحوم/المعكرونة السباغيتي؛ للحصول على الشرائط، وينبغي اختيار قرص المفرمة وفقا لحجم الحبوب المطلوبة.
10. جفف شرائط العجين (شرائح الأعلاف) عن طريق نشرها على صواني الألومنيوم، وإذا كان متوفرا قم بتجفيف شرائح الأعلاف في فرن كهربائي عند درجة حرارة 60–85°م لمدة 10–30 دقيقة لجلتنة النشا، تحقق من أن الشرائط موضوعة بشكل منتظم؛ لتجنب أي حروق.
11. قم بتفتيت أو كسر أو تقطيع شرائط العلف الجافة بأداة أو بأصابع اليد على صينية إلى أجزاء أصغر، وحاول جعل الحبوب بنفس الحجم. تجنب الإفراط في تحريك الحبوب؛ لمنع تفتتها. ويمكن نخل وفصل الحبوب في أحجام متجانسة بواسطة شبكة ذات أحجام مناسبة.
12. خزن الأعلاف بواسطة وضع حبيبات الأعلاف المجففة بالكامل في حاويات بلاستيكية محكمة الإغلاق مباشرة بعد أن تتم عملية الكسر؛ لمنعها من امتصاص الرطوبة.

الجدول م5.5

قائمة الأدوات والمواد اللازمة لتصنيع العلف

العنصر	الكمية	المواصفات
ميزان	1	القدرة الاستيعابية 1–3 كغم، والانقسامات من 1 غرام
طاحونة	1	طاحونة كهربائية شبيهة بطاحونة القهوة
غربال معدني	1	مقاس الشبكة 0,2–0,4 سم
وعاء خلط	1	القدرة الإستيعابية 10 لتر
وعاء بلاستيكي	3	القدرة الإستيعابية 2 لتر
فرامة لحم/صانعة معكرونة	1	كهربائي أو يدوي
ملعقة خلط	1	حجم كبير
صينية ألومنيوم لصناعة الخبز	10	40 × 40 سم أو أية أحجام أخرى متاحة

تخزين الأعلاف محلية الصنع

عندما يتم الانتهاء من عملية تصنيع علف الأسماك، فإن أفضل طريقة لتخزينه هي وضع الحبوب في وعاء محكم مباشرة بعد أن يتم تجفيفها وتقطيعها. كما يجب أن تبقى الحاويات في مكان بارد، وجاف، ومظلم، وجيد التهوية، وبعيدا عن الآفات. في حين ينبغي حفظ الحبوب في مستويات منخفضة من الرطوبة (< 10%)؛ لمنعها من التعفن وإنشاء السموم الفطرية، ويمكن تخزينها لمدة شهرين ويعتمد ذلك على درجة حرارة المخزن.

وهناك طريقة أخرى للحفاظ على حبوب العلف لفترات طويلة، وهي وضعها في وعاء من البلاستيك المحكم، وتخزينها في الثلاجة، على الرغم من أن ذلك يتطلب الكهرباء، ويمكن أن تحفظ الأعلاف بهذه الطريقة لأكثر من سنة واحدة. ومن القواعد المهمة في التخزين: يجب استخدام الأعلاف على أساس "ما يدخل إلى المخزن أولا يخرج أولا"، وينبغي تجنب استخدام أي طعام تظهر عليه علامات التحلل أو العفن؛ لأنه قد يكون قاتلا للأسماك.

التغذية التكميلية بواسطة الغذاء الحي

يمكن أن يُوفر للأسماك بشكل مفيد الأعلاف التكميلية المتوافرة محليا. إن استخدام الأعلاف الطازجة، هي في الواقع توفر للحيوانات البروتينات التكميلية لنموها، ويمكن أيضا أن توفر الفيتامينات والمعادن التي قد تكون ناقصة في الحبوب.

وهناك مجموعة واسعة من الغذاء الحي المتاح، والخيار يتوقف على الأسماك المستزرعة وتوافرها محليا. ومن المهم تذكره هو أن أي طعام قادم من مصادر خارجية قد يجلب الكائنات الدقيقة أو الطفيليات إذا تم جمعها من المياه الخارجية (المصابة أو الملوثة)، أو إذا كانت من الأصل الحيواني (مثل الديدان التي تغذت

على السماد الحيواني غير المبستر). ويمكن إنتاج الأعلاف الحية محليا بمعايير أكثر أمنا، أو يمكن معالجتها حراريا قبل أن تعطى للأسماك.

أمثلة تغذية الأسماك الحية وتشمل:

- الطحلب البطي والنباتات المائية: الطحلب البطي غني جدا بالبروتينات، ويمكن أن يتم تقديمه للأسماك كمادة خام لمدة تصل إلى 10% من الحصة اليومية، ومع ذلك فإن النباتات الكبيرة أقل هضما من العلف المصنع؛ بسبب المحتوى العالي من الألياف، والذي من شأنه أن يزيد كمية المواد الصلبة/المخلفات في النظام.
- يمكن توفير بقايا المحاصيل من الزراعة الأحيومائية أو مصادر أخرى لأنواع الأسماك العاشبة/متعددة التغذية في كميات صغيرة.
- ديدان الأرض: التي يمكن الحصول عليها بسهولة من أكوام السماد الأخضر، وخاصة في المناطق الريفية. وينصح بفترة تجويع للديدان من 1–2 أيام إذا كانت الديدان تأتي من مصادر خارجية؛ من أجل الحد من مخاطر إدخال البكتيريا في النظام.
- يرقات الحشرات: غنية جدا بالبروتينات، ولكن ينبغي الحرص على عدم استخدامها بكميات مفرطة؛ بسبب ارتفاع محتواها الدهني. واليرقات يمكن تربيتها على المواد العضوية الفاسدة (الخضار والثمار)؛ ومع ذلك ينصح بفترة تجويع من 1–2 أيام للحشرات إذا كان غذاء الحشرات يحتوي على مواد من أصل حيواني.
- يمكن إعطاء الحشرات لأنواع الأسماك المتعددة التغذية أو آكلة اللحوم، ولكن وجود الهيكل الخارجي من الكيتين يقلل من هضمها.
- تتوفر الأسماك الصغيرة والقشريات والرخويات من مسارات المياه أو البرك. بالرغم من ذلك قد تكون هناك حاجة إلى الحذر بسبب مخاطر التلوث والطفيليات.
- يمكن بسهولة توفير الطحالب إلى الأسماك العاشبة/الأسماك متعددة التغذية. والطحالب يمكن أن تزرع في خزانات منفصلة بجانب نظام الزراعة الأحيومائية وتحصد وقت الحاجة.

الملحق السادس – الاعتبارات الرئيسة لإقامة نظام الزراعة الأحيومائية

هناك العديد من وحدات الزراعة الأحيومائية التجارية والصغيرة النطاق التي تعمل بكامل طاقتها في جميع أنحاء العالم. ويمكن تطوير أنظمة الزراعة الأحيومائية ليس فقط في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، حيث تسمح الظروف المناخية الملائمة الإنتاج على مدار العام، ولكن أيضا في المناطق الباردة من العالم حيث مواسم الشتاء تصل إلى ستة أشهر. ومسألة تشغيل نظام الزراعة الأحيومائية في مكان محدد يتطلب التحليل الشامل للتكاليف والفوائد الذي يجب أن يقيم النجاح المحتمل لها على الظروف الاقتصادية والبيئية واللوجستية/ الإدارية والاجتماعية المعينة.

ويجب النظر في عوامل عديدة قبل البدء في مشروع الزراعة الأحيومائية، سواء كان للإنتاج المحلي أو للتركيز الأكثر تجاريا. ولقد فشلت العديد من الأعمال التجارية الناشئة للزراعة الأحيومائية لعدم التفكير جيدا قبل إنشائها. إن قرار إنشاء مشروع تجاري يتطلب بحثا مهما وخطة عمل وتحليلا للمخاطر، وهذه الجوانب هي خارج نطاق هذا الدليل. ومع ذلك فإنه تم أدناه مناقشة بعض العوامل والمتطلبات الرئيسة لتشغيل أي حجم لوحدة الزراعة الأحيومائية.

العوامل الاقتصادية

واحد من العوامل الرئيسة التي تحدد النجاح الممكن للزراعة الأحيومائية هو قدرتها التنافسية ضد أساليب الإنتاج البديلة. والجمع بين كل من الأسماك والنباتات يضاعف من مخاطر الاستثمار والذي من أجل أن تكون مربحة، يجب تعظيم كل من الإنتاج والإيرادات النباتية والسمكية.

وهذا يعني أن تحليلا للأسواق المحتملة هو خطوة أساسية نحو تطوير خطة عمل. كما يجب أن تجد جميع المنتجات الممكنة، وتحديد هوامش الربح وتحديد العملاء الرئيسن. وهناك خطأ شائع هو أن تسأل: "ماذا يمكنني أن أنتج؟" بدلا من الأسئلة الأكثر أهمية: "ماذا يمكن أن أبيع؟"، "لمن أبيع؟"، وعندئذ فقط "كيف أنا ذاهب لإنتاج ذلك؟" يجب أن يُجرى تحليل السوق؛ لتحديد المنتجات الأكثر ربحية والإدارة الأكثر فاعلية من حيث التكلفة، وهذا يعني أن اختيارا معينا من الأسماك يمكن أن يكون مختلفا كثيرا عن الأنواع المستخدمة، ويرجع ذلك أساسا إلى السوق والطلب وتكاليف الإنتاج.

وعند التفكير في اتخاذ القرار، هناك اختلافات كبيرة بين توجيه الإنتاج للاستهلاك الذاتي، وبين الإنتاج الموجه للسوق. في حين أن الأول يمكن أن يعتمد في الغالب على أسعار التجزئة؛ لتقدير هوامش الربح، بينما المشاريع على نطاق تجاري، تستوجب إيجاد الأسواق التي قد تكون أقرب إلى أسعار الجملة، وخاصة في حالة عمليات الإنتاج الموسع. ومع ذلك لا يمكن للأنظمة التي على نطاق صغير أن تستفيد من وفورات الحجم (مثل البيوت المحمية الصغيرة التي لديها ارتفاع تكلفة المتر المربع أكبر من البيوت الكبيرة)، وهو ما يعني أنه قد يواجه المزارعين غير التجاريين ارتفاع تكاليف الإنتاج.

في حين قد يعترف بالزراعة الأحيومائية إلى حد ما بأنها الخيار "العضوي" للإنتاج في أمريكا الشمالية، وهذا ليس صحيحا على قدم المساواة في أوروبا حيث "العضوي" لا يزال ينطبق فقط على الإنتاج القائم على التربة. والنظرة الإيجابية المستمدة من النظرة البيئية للإنتاج يمكن أن تكون لصالح إيرادات أعلى في الأسواق الغربية. ولكن هذا قد لا يكون ممكنا في البلدان النامية حيث لا تزال اختيارات العملاء في المقام الأول موجهة بالسعر.

ومن الجانب التسويقي، الميزة يمكن أن تأتي من وضع العلامات المرجعية، حيث إن الزراعة الأحيومائية يبدو أنها أفضل نظام لتربية الأحياء المائية، من حيث المحافظة على المياه وإيجاد حلول خالية من التلوث، والتي يمكن أن تدعم الزراعة مع تحقيق وفورات ثابتة في الأسمدة والمدخلات الكيميائية. ومع ذلك فإن تطوير المنتجات المناسبة على هذا الأساس لا يزال يتعين القيام به، والأخذ في الاعتبار أيضا أن الزراعة الأحيومائية تتقدم نحو مزيد من استراتيجيات إدارة محايدة للطاقة.

واحد من الحدود التي لا تزال تمنع الزراعة الأحيومائية من التوسع بشكل كامل في جميع أنحاء العالم هو أن التكاليف الاستثمارية هي تقريبا ضعف الزراعة المائية القياسية. وهذا مشتق جزئيا من الفكرة الخاطئة التي تقول بأن الزراعة الأحيومائية هي نظام الإنتاج النباتي بدلا من مجرد نظام الاستزراع المغلق (RAS) الذي يدعم الزراعة. وإذا ما قورن نظام الاستزراع المغلق (RAS)، فإن الزراعة الأحيومائية تعرض مزايا متسقة من حيث التكاليف الرأسمالية والتشغيلية؛ للحصول على درجة من البساطة للنظام. ويمكن تحقيق نجاح أكبر إذا كانت الزراعة الأحيومائية قادرة على جلب تكلفة الأجهزة والتصاميم بتكلفة أقرب إلى مشاريع الزراعة المائية. ومع ذلك فإن هذا يتطلب المزيد من الجهد؛ للتركيز على تطوير أنظمة أبسط. إن إمكانية إقامة الزراعة الأحيومائية في مناخات غير مواتية تعتمد على درجة من الاستثمارات اللازمة لبناء البيوت المحمية الزراعية، والتحكم في المناخ بنظم مثلى متقدمة للحفاظ على درجات حرارة الماء والهواء والرطوبة والتهوية، وهذا من شأنه زيادة التكاليف الأولية والتشغيلية، ولكن على الأقل على هذا المستوى فإن التكاليف الاستثمارية للبيوت المحمية الزراعية قد لا تختلف كثيرا عن تلك في الزراعة المائية.

عوامل بيئية

هناك بعض الاعتبارات الرئيسة في تحديد مكان الزراعة الأحيومائية الأكثر قابلية للتطبيق والمفيدة. والمناطق في العالم حيث الخصوبة الفقيرة للتربة (وخاصة عند تجديد التربة بالعناصر الغذائية عن طريق المواد العضوية صعبة و/أو مكلفة) والمياه شحيحة تعد مواقع مثالية لهذه التقنية. والزراعة الأحيومائية هي قادرة على المنافسة حتى مع أنظمة الزراعة المائية والزراعة التقليدية الأكثر إنتاجية من حيث استخدام المياه. إن إنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية ذو كفاءة عالية في استخدام المياه، حيث إن زراعة الخضراوات هي باستخدام نظام الزراعة بدون تربة. وينبغي النظر في أنظمة الأسماك والنبات ككل؛ من أجل تبرير ارتفاع تكاليف تركيب النظام. وعند أخذ هذه العوامل في الاعتبار، فإن المناطق شبه القاحلة التي تشهد صعوبة في الحصول على المياه ستستفيد بحد أقصى من هذه الطريقة الجديدة لإنتاج الغذاء.

ويبقى الماء العامل المهم، وخاصة لمعايير الجودة، والزراعة الأحيومائية لديها ميزة كبيرة من حيث إعادة تدوير الماء، الذي يجنب أي حاجة لشراء كميات يومية كبيرة للتعويض عن المياه المفقودة. وفي المناطق التي تكون فيها المياه موحلة وملوثة بمسببات الأمراض/الطفيليات، فإن نظام الزراعة الأحيومائية، وكذلك نظام الاستزراع المغلق (RAS) هو النظام المثالي؛ لتحسين إنتاج الأسماك، والحد من وفيات الأحياء المائية وتحسين جودتها. وفي هذه الحالة فإن الاستثمارات الإضافية مطلوبة؛ للتزويد بكميات صغيرة من المياه ذات النوعية الجيدة (مثلا من خلال حصاد مياه الأمطار أو الآبار الارتوازية) يمكن استردادها بسهولة عن طريق القيمة المضافة من الأسماك ذات الجودة العالية، ومعدلات الوفيات الأقل.

مستويات الملوحة في المياه هي الخطوة التالية في عملية تقييم المياه. في حين أن أسماك المياه العذبة يمكن أن تتسامح مع مستويات معينة من الملوحة، فإن الزيادة في الموصلية الكهربائية للماء (water electric conductivity) أعلى من مستويات معينة (على سبيل المثال 2000 ميكروسيمنز) يحد من نمو الخضار التي لا تتحمل الملوحة، وهذا من شأنه دفع المنتجين الزراعيين للنظر فقط للأنواع التي تتحمل الملوحة مع المخاطر المحتملة لانخفاض الأرباح؛ نظرا لظروف السوق التي قد لا تقبل بذلك. وبالإضافة إلى ذلك فإن تراكم العناصر الغذائية والملوحة خلال المواسم نتيجة لاختلال التوازن بين تناول الطعام (العلف) وامتصاص النباتات والذي يمكن أن يزيد من جهد وحدات الزراعة الأحيومائية لمواجهة زيادة مشاكل الملوحة. وهذه ستحتاج إلى حل من خلال تغيير الماء المعتدل أو تعديل الإدارة (الحد في استخدام العلف، وزراعة المحاصيل بالنباتات التي تمتص الملح) والذي يمكن أن يحد من الربحية أو الإنتاجية للأنظمة، وقد يتطلب مستوى أعلى من الخبرة للمشغلين.

ويعتبر المناخ عاملا رئيسا آخر، حيث إنه سيحدد التكلفة الإضافية لكل وحدة؛ للحفاظ على الظروف البيئية المثالية لإنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية. وبشكل عام، فالمناطق التي يبلغ متوسط درجات حرارتها اليومية على مدار السنة 20–30°م هي مثالية للأسماك الاستوائية مثل البُلطي، والنباتات المتسامحة مع الحرارة. ولذلك فإن خيارات المحاصيل والأسماك تؤثر تأثيرا كبيرا على التكاليف إذا كانت هناك حاجة للسيطرة المناخية؛ لتتناسب مع الظروف المثالية لمكونات الإنتاج. وعلاوة على ذلك فإن المناطق التي يكون متوسط درجات حرارة الهواء اليومية مواتية، ولكن تتقلب على نطاق واسع خلال النهار والليل (أي المرتفعات والمناطق الجبلية)، فإنها ستشكل إشكالا خاصا لإنتاج الأسماك؛ وذلك لأن التغيرات الكبيرة تسبب الإجهاد للحيوانات.

ويجب أيضا أن تعير الانتباه إلى الفصول، حيث إن مواسم الشتاء الباردة تجبر مزارعي الزراعة الأحيومائية إما الاستثمار في أنظمة التدفئة التي تتطلب طاقة للبيوت المحمية الزراعية، أو وقف الإنتاج تماما لشهور معينة؛ وبالتالي فمن المهم دراسة الإعداد للإنتاج بعناية، وربما اختيار الأنواع البديلة التي تجنب الفصول غير المنتجة من العام.

ومواسم الأمطار الطويلة تجبر المزارعين على حماية وحداتهم بالستائر القوية أو البيوت المحمية الزراعية، حيث إن الكميات الكبيرة من الأمطار قد تضر بالمحاصيل، وتتسبب في إغراق أو تخفيف العناصر الغذائية في النظم بشكل مفرط. ومع ذلك فإذا كانت هناك حاجة لاستثمارات إضافية لهذه الأسباب، فمن جهة أخرى يمكن أن تكون مربحة في المناطق التي تكون فيها الزراعة التقليدية محدودة للغاية؛ بسبب الفيضانات أو جريان المغذيات. ويتعلق نفس الحل أيضا بالرياح، حيث يمكن أن يؤدي وجود بيئة محمية إلى جلب عائدات أعلى وجودة أفضل من المنتجات النباتية، في حين أن الزراعة التقليدية من شأنها أن تناضل لتستمر.

ويمكن لفصل الصيف أن يسبب ارتفاع درجة حرارة المياه، على الرغم من أن وسائل الحفاظ على درجات حرارة منخفضة نسبيا خلال الفترات الساخنة هي بسيطة جدا ويمكن أن تكون مدعومة بواسطة تصميم النظام بشكل سليم، فمن الممكن لدرجات حرارة المياه أن ترتفع إلى مستويات دون المستوى الأمثل خلال الفترات الساخنة للغاية إذا لم يتم استخدام أي نظام تبريد للمياه. وهذا من شأنه أن يحد المزارعين من زراعة النباتات ويحد من اختياراتهم، وعلى الرغم من أنها قد لا تؤثر على الأسماك الاستوائية أو البكتيريا الآزوتية.

العوامل اللوجستية والإدارية

الإنتاج السمكي هو عنصر مهم من عمليات الزراعة الأحيومائية. وسهولة الوصول إلى الأحياء المائية هو أمر أساسي للمزارعين، كما أنه إمكانية لاكتساب الخبرة عن الأسماك عموما والمعرفة عن الأسماك المستزرعة محليا.

وهكذا يكون توسع الزراعة الأحيومائية محدودا في المناطق التي لا توجد فيها المفرّخات، والإنتاج من تربية الأحياء المائية أو الخدمات الإرشادية ما لم تكن الأمهات، والإصبعيات، والأسماك، وإنتاج الأعلاف كلها جزءٌ من خطة عمل الزراعة الأحيومائية. وبهذا فالاستثمار يبدو أكثر خطورة؛ لأنه يعني فترات أطول لجعل المزرعة عاملة بالكامل، وهناك حاجة إلى تكريس المزيد من الوقت لنقل المعرفة، ومعرفة إمكانات الأسواق المحلية والإقليمية لبيع الإنتاج.

وفي أي مكان فإن الوصول إلى مصادر الكهرباء والماء المناسبين أمر ضروري، وخاصة الكهرباء. فإن الوصول إلى شبكة كهرباء ذات مصدر ثابت وموثوق به هو أمر أساسي؛ لتأمين عمل متواصل للمضخات. إن عدم وجود هذا المورد يحد بشدة من توسيع الزراعة الأحيومائية، إلا إذا كانت أنظمة منخفضة العائد تتحمل الانقطاعات لعدة ساعات دون أن يؤثر ذلك على بقاء الأسماك. وعمليات الزراعة الأحيومائية وخاصة إذا كان المقصود منها لأغراض تجارية، يجب أن تعتمد على الأنظمة الاحتياطية والمولدات، والتي تزيد من تكاليف الإعداد. والإنتاج السمكي هو أحد الجوانب الأكثر تعقيدا في الزراعة الأحيومائية (وخاصة للمزارعين حديثي العهد بتربية الأحياء المائية)، والذي يتطلب الإدارة اليومية والحرص على تفادي خسائر كبيرة في حال حدوث أي فشل في النظام.

ويجب أيضا أن تكون هناك سوق لمكونات الزراعة الأحيومائية الرئيسة، وأدوات المراقبة: (مجموعات اختبار جودة المياه، وأجهزة قياس درجة الحموضة، وجهاز الموصلية الكهربائية للماء)، والذي من شأنه أن يوفره السوق المحلي لتربية الأحياء المائية عادة. وهناك عامل محدد لنجاح تجهيز وإعداد الزراعة الأحيومائية، وهو استخدام المواد المتوافرة محليا، والتكيف المعقول للنظم للموارد المحلية. وإذا تعذر ذلك فإنه سيكون من الصعب تطوير أي طريقة فاعلة لإنتاج الغذاء من حيث التكلفة.

القدرة التعليمية هي أيضا عامل رئيس عند اختيار مواقع محددة داخل المناطق أو البلدان. والزراعة الأحيومائية هي طريقة متطورة نسبيا من إنتاج الغذاء بالمقارنة مع النهج القائم على التربة التقليدية، ويتطلب الأسلوب مستوى أعلى من فهم هذا النظام البيئي المتكامل، وكذلك العوامل الرئيسة التي تؤثر عليه: (المياه، والبيئة، والتغذية، وغيرها). كما يتطلب المعرفة الفردية الجيدة بتربية الأحياء المائية، والبستنة التي يجب نقلها وتكييفها مع السياقات المحلية. ويتمثل التحدي الرئيس الذي يواجه الزراعة الأحيومائية من أجل أن يصبح الخيار المستدام بين المزارعين الأميين أو شبه الأميين و/أو المستخدمين النهائيين في خفض مستوياته من التعقيد من خلال تكييف التكنولوجيا، أو على الأقل هذا المفهوم على الموارد والاحتياجات والثقافات المحلية. إن تكييف ووضع هذه التقنية بشكل سياقي تقربها إلى أنظمة الأسماك/النباتات التي هيمنت على الممارسات الزراعية لآلاف السنين. وهذا يتطلب معرفة أفضل بين الممارسين حول كيفية تصميم الأنظمة حيث كل مكون أو مادة يمكن أن تقلل من احتياجات الإدارة إلى أدنى حد ممكن.

وحيثما كان إنتاج الغذاء بالزراعة الأحيومائية هو شبه معدوم داخل منطقة محددة، فمن المفيد الدخول في شراكة مع الجامعات المحلية أو معاهد الإرشاد الزراعي؛ من أجل تطوير المعرفة حول أفضل الممارسات، وحول كيفية تطوير الزراعة الأحيومائية بطريقة بسيطة جدا وفعالة.

الظروف الاجتماعية

ما وراء اعتماد نظم الأسماك والنباتات كوسيلة من وسائل الإنتاج الغذائي التنافسية، لم تحصل الزراعة الأحيومائية بعد على نظرة واضحة المعالم. في حين تحظى الزراعة الأحيومائية بقبول واسع باعتبارها طريقة الإنتاج العضوي في أمريكا الشمالية، ولا يمكن أن ينظر إليها من هذا المنطلق في أوروبا، وهذا يقلل من قدرتها على كسب أسعار متميزة.

وهناك أيضا بعض المخاوف بين المستهلكين والباحثين، من أن مياه الزراعة الأحيومائية ناقلة للتلوث المحتمل للبكتيريا؛ بسبب المخلفات الناتجة عن براز الأسماك. وعلى الرغم من أن بلدان مختلفة تستخدم أنظمة مختلفة لسلامة المياه. وتطوير الزراعة الأحيومائية قد يكون محدود في تلك البلدان حيث إن الحد من البكتيريا هو أكثر صرامة، وهذا يتطلب زيادة في الجهود المبذولة للامتثال للمعايير المحلية (على سبيل المثال باستخدام تكنولوجيا التعقيم)، على الرغم من أن المياه المصرفة من أنشطة تربية الأحياء المائية هي أكثر أمانا من مصادر المياه الأخرى.

ومن ناحية أخرى يمكن للزراعة الأحيومائية أن توفر فرصة لإنتاج الغذاء أكثر أمانا وخالية من المواد الكيميائية وخالية من الأمراض. وفي حالة صناعة تربية الأحياء المائية، فإن هذا قد يكون سمة ذات قيمة مضافة، قد ترفع الاهتمام والإعجاب بنظام الإنتاج هذا. وقد دفعت المخاوف الأخيرة حول استخدام المبيدات في الزراعة العديد من المستهلكين في البلدان النامية؛ لشراء منتجات أكثر أمانا. وأنماط الاستهلاك هذه يجب أن تراقب بدقة خلال عملية صنع القرار، حول ما إذا كان مجديا تطبيق الزراعة الأحيومائية في منطقة معينة أم لا.

موجز الاحتياجات الأساسية للزراعة الأحيومائية على مختلف النطاقات

يلخص الجدول (م1.6) الاعتبارات الرئيسة لمشاريع الزراعة الأحيومائية على مختلف النطاقات.

الجدول م1.6

الاعتبارات الرئيسة لمشاريع الزراعة الأحيومائية على مختلف النطاقات

المتطلبات الأساسية	**على نطاق صغير** (50—500 حزمة خس)	**شبه التجارية** (500—2500 حزمة خس)	**التجارية على نطاق واسع** (> 2500 حزمة خس)
المناخ والظروف البيئية الأمثل للزراعة الأحيومائية	X	X	X
الحصول على نوعية جيدة من صغار الأسماك، والإصبعيات والبذور/الشتلات	X	X	X
الوصول إلى مكونات الزراعة الأحيومائية	X	X	X
الحصول على الكهرباء والمياه بصورة جيدة في موقع الوحدة في جميع الأوقات	X	X	X
الوسائل الملائمة للسيطرة المناخية والبيئية في البيئات المحمية (البيوت المحمية الزراعية)		X	X

يتبع

تتمة الجدول م1.6

المتطلبات الأساسية	على نطاق صغير (50–500 حزمة خس)	شبه التجارية (500–2500 حزمة خس)	التجارية على نطاق واسع (> 2500 حزمة خس)
الوصول إلى أدوات مراقبة المياه: (أجهزة قياس الأكسيجين ودرجة الحموضة، ومجموعات اختبار المياه)		X	X
المعدات للإنتاج على نطاق واسع، التقاط فعال للمخلفات السمكية الصلبة والترشيح الحيوي: (فواصل دوامة، الترسيب، إلخ)		X	X
إدارة رواسب المخلفات		X	X
مولد كهربائي احتياطي		X	X
الأمن الحيوي وبروتوكولات الإدارة المتكاملة للآفات		X	X
خبرة جيدة مع كل من تربية الأحياء المائية وأساليب البستنة		X	X
خطة العمل بما في ذلك البحث الواسع عن السوق	X	X	X
الموظفين المتخصصين أو المعاونين حسب الطلب في تربية الأحياء المائية والزراعة المائية			X
مرفق لإنتاج صغار الأسماك، ومختبر جودة المياه في الموقع وخدمات الإرشاد؛ لتحديد أمراض الأسماك والعلاج			X
الطرق الآلية لمراقبة وتنظيم جودة الماء والأكسيجين			X

الملحق السابع – تحليل التكاليف والمنافع لوحدات الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير

تصف الجداول (م1.7 – م4.7) تكاليف وفوائد وحدة الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير. والهدف من المعلومات الواردة في الجداول هو تمكين القارئ من فهم النفقات اللازمة لبناء وتشغيل وحدة الزراعة الأحيومائية، فضلا عن الإنتاج والدخل المتوقع في السنة الأولى. والجدول (م1.7) يلخصُ التكلفة الإجمالية للمواد اللازمة للإنشاء الأولي (استثمار رأس المال) لوحدة سرير وسائط النمو على نطاق صغير، (القائمة الكاملة للمواد والتكاليف للوحدة، يمكن العثور عليها في الملحق الثامن من هذا الدليل). والجدول (م2.7) يوضّح كافة تكاليف التشغيل السنوية المعنية، وتفاصيل حسابات تكلفة التشغيل يمكن العثور عليها في قسم الملحوظات أدنى الجدول. ويقدم الجدول (م3.7) تفاصيل الإنتاجات المتوقعة من الخضراوات والأسماك في سنة واحدة، بينما الجدول (م4.7) يجمع بين التكاليف والإيرادات من الجداول (م1.7 – م3.7)، ويظهر الربح الكلي من الاستثمار الأولي، وفترة الاسترداد.

وتجدر الإشارة إلى أن الأرقام الواردة في الجداول هي فقط بمثابة مبادئ توجيهية للمستخدمين الجدد، ومن الصعب تقديم أرقام دقيقة، لاسيما فيما يتعلق بعوائد الإنتاج وقيمها، حيث إن كثيرا من العوامل الإنتاجية والمالية قد تؤثر عليها، مثل: درجات الحرارة، وتقلبات المواسم، ونوع الأسماك، وجودة تغذية الأسماك، والنسبة المئوية للبروتين، والأسواق، والأسعار، وما إلى ذلك من الأمور.

افتراضات الحسابات

- تستند جميع الحسابات على وحدة سرير وسائط النمو التي على نطاق صغير، (تم وصفها في النص الرئيس لهذا الدليل)، والتي هي بمساحة زراعية مقدارها 3م^2، وحوض أسماك بسعة 1 000 لتر (كما هو موضح في الملحق 8 من هذا الدليل).
- الهدف من هذه الوحدة هو الإنتاج، للاستهلاك الغذائي المحلي فقط، وليس للإنتاج الموجه للدخل المادي من الأنظمة التي على نطاق صغير. إن الفوائد المالية يمكن أن تختلف، وربما تكون أكبر من الأرقام الواردة في الجدول (م4.7) إذا قام المزارعون باختيار زراعة محاصيل أكثر ربحا. وبما أنه يتم التركيز على الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير للاستهلاك الغذائي المحلي، فقد تم اعتبار محصولين في الحسابات؛ لأنها تعكس على نحو أفضل أنماط الإنتاج للمستخدمين اللذين يزرعون المحاصيل الغذائية للاستهلاك فقط: نوع واحد من الأوراق الخضرية (الخس)، والآخر من الخضراوات الثمريّة (الطماطم).
- يتم الحصول على بيانات العائد من الإنتاج المستمر خلال 12 شهرا، وإطعام الأسماك يوميا بأعلاف ذات نوعية جيدة، تحتوي على بروتين بنسبة 32% في درجات حرارة للمياه تتراوح من 23 إلى 26°م في الوحدة طوال العام.
- الوحدات لديها كتلة حيوية ثابتة للأسماك، مقدارها 10–20 كغم.
- الأسماك المستزرعة هي البُلطي، ويتم تغذيتها بنسبة مقدارها 50 غراما لكل متر مربع من المساحة المزروعة، أي ما يُعادل مجموع استهلاك العلف، والمقدر بحوالي 150 غراما في اليوم الواحد (50 غراما × 3م^2). ويكون وزن تخزين الأسماك الصغيرة الأولي هو 50 غراما لكل سمكة، ووزن الحصاد المتوقع هو 500 غرام لكل سمكة في خلال 6–8 أشهر.
- تم اعتبار متوسط الغلة للمزارعين الهُواة بالحسابات: 20 حزمة من الخس للمتر المربع الواحد شهريا، و 3 كغم من الطماطم (البندورة) للمتر المربع الواحد شهريا.

الجدول م1.7

مجموع التكاليف الرأسمالية لإنشاء وحدة سرير وسائط النمو

(خزان الأسماك 1000 لتر، و3م^2 من المساحة الزراعية)

وصف الصنف	السعر (دولار أمريكي)
الحاويات الوسيطة (IBC)*	200
المعدات الكهربائية: مضخة مياه، ومضخة الهواء، والتوصيلات	120
دعم سرير وسائط النمو: الكتل الخرسانية، والألواح الخشبية	80
الحصى البركاني (وسيطة المرشح الحيوي)	120
منتجات مختلفة: شبكة صيد السمك، وشريط العزل الخاص بالسباكة (تفلون)، مواد التظليل، إلخ.	100
السباكة: أنابيب، تجهيزات ووصلات الأنابيب	80
المجموع	700

ملحوظة: جميع العناصر في هذا الجدول تمت مناقشتها في الملحق الثامن من هذا الدليل.

* مدة عمر الحاويات الوسيطة (IBC) ستزداد إذا تمت حمايتها من أشعة الشمس بواسطة طبقة من الصبغ، أو بأي مادة أخرى.

الجدول م2.7

التكلفة التشغيلية الإجمالية الشهرية لتشغيل وحدة زراعة أحيومائية التي على نطاق صغير

مدخلات النظام	الوحدة	عدد الوحدات في الشهر	السعر لكل وحدة (دولار أمريكي)*	التكلفة الإجمالية (دولار أمريكي)
نبات	بذور	35	0,10	3,50
إصبعيات	سمك	5	1,00	5,00
كهرباء	كيلو واط ساعة	25	0,10	2,50
ماء	لتر	450	0,0027	1,20
علف أسماك	كغم	4,5	2,50	11,25
أخرى	–	1	3,00	3,00
التكلفة الإجمالية/شهر				26,45

ملحوظات:

* الأرقام في هذا العمود هي أسعار تقديرية لكل المدخلات في دولة إسرائيل. وببساطة قم باستبدال هذه الأرقام بأرقام الأسعار المتاحة محليا؛ لحساب مجموع تكاليف التشغيل في موقع آخر.

الشتلات: 35 شتلة هو متوسط معدل البذر في الشهر لمساحة زراعية مقدارها 3م^2، في حين يتم زراعة الخضراوات الورقية بنسبة 50% (20 نبتة/م^2)، و50% من الخضراوات الثمرية (5 نبتات/م^2).

الإصبعيات: الحد الأقصى للإنتاج السنوي هو 30 كغم، وهو ما يعادل 60 سمكة بوزن السمكة الواحدة 500 غرام سنويا؛ ولذلك فإن الوحدة تحتاج 60 سمكة سنويا، أو حوالي 5 أسماك في الشهر.

الكهرباء: 30 واط (مضخة الماء) + 5 واط (مضخة الهواء) × 24 ساعة × 30 يوم ÷ 1 000 = 25 كيلو واط لكل ساعة شهريا.

المياه: في المتوسط يبلغ حجم تجديدها لوحدة الإنتاج الخضري والثمري حوالي 1% من حجم إجمالي المياه في الوحدة (1500 لترا) يوميا، 15 لترا × 30 يوما = 450 لترا شهريا.

تغذية الأسماك: 50 غراما (أعلاف الأسماك) × 3 (أسرة وسائط النمو) × 30 يوما = 4,5 كغم في الشهر.

منوعات: إن الرقم الكلي (3 دولار أمريكي) شهريا هو السعر المقدر لاستخدام الحمض أو القاعدي، ومجموعات اختبار المياه والأسمدة السائلة، إذا لزم الأمر.

الجدول م3.7

الإنتاج السنوي المتوقع من الخضراوات والثمار من وحدة الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير، متضمناً العائد السنوي

المنتج	الإنتاج (كمية)	الوحدة	القيمة السوقية للوحدة (دولار أمريكي)*	المجموع الكلي (دولار أمريكي)
خس	360	حزمة	1,20	432,00
طماطم	54	كغم	1,60	86,40
سمك	30	كغم	8,00	240,00
المجموع الكلي				758,40

ملحوظات:

* القيم السوقية للوحدة: تم أخذ الأسعار من موقع مقارنة سعر السوق الإسرائيلية (www.zap.co.il)، والمجلس الإسرائيلي لإنتاج وتسويق النباتات (www.plants.org.il). كِلا الموقعين تم تصفحهما في يوم 17 سبتمبر/أيلول عام 2013.

متوسط حزم الخس في العام: 1,5 م^2 (50% من المساحة الزراعية) × 20 حزمة/م^2 في الشهر (1,5 × 20) = 30 حزمة في الشهر. الإنتاج السنوي: 30 × 12 = 360 حزمة خس.

متوسط محصول الطماطم في العام: 1,5 م^2 (50% من المساحة الزراعية) × 3 كغم/م^2 من الطماطم (البندورة) في الشهر (1,5 × 3) = 4,5 كيلوغراما في الشهر، في العام: 4,5 × 12 = 54 كغم.

متوسط عائد الأسماك سنويا: إصبعيات تم تخزينها بوزن 50 غراما للأصبعية. وزن الأسماك الكبيرة عند الحصاد 500 غرام بعد 6-8 أشهر.

متوسط كثافة المخزون السمكي بين 10–20 كغم/م^3 في حوض أسماك بسعة 1000 لتر. ومتوسط الحصاد الشهري للأسماك هو 5 سمكات، ويعادل وزنا كليا مقداره 2,5 كغم/شهر أو 30 كغم/عام.

مهم: تستند الحسابات على الإنتاج المتداخل من الأسماك في نظام الزراعة الأحيومائية المعمول بها. والإنتاج المتوقع من النظام المنشأ حديثا، والمخزن به صغار الأسماك من نفس الفئة العمرية هو أقل من النظام الناضج. وللأنظمة الجديدة يُقترح أن يتم تخزين الإصبعيات في أعداد أكبر؛ من أجل تزويد ما يكفي من العناصر الغذائية للنباتات. وفي هذه الحالة يمكن أن يبدأ حصاد الأسماك الأولى من الشهر الثالث أو الرابع فصاعدا (عندما تكون الأسماك بوزن من 150–250 غراما)؛ من أجل الحفاظ على الكتلة الحيوية ثابتة.

الجدول م4.7

تحليل التكاليف والمنافع السنوية لوحدة سرير وسائط النمو

التكلفة الإجمالية في العام (دولار أمريكي)	الإجمالي في العام (دولار أمريكي)
التكلفة الإنشائية الأولية (الجدول م1.7)	700,00
التكلفة التشغيلية السنوية (الجدول م2.7)	317,40
العائدات السنوية (الجدول م3.7)	758,40
صافي الربح السنوي	441,00
الاسترداد لتكاليف البناء الأولية (شهر)	19

وبأخذ الأرقام النهائية من تكاليف التشغيل السنوية والإيرادات السنوية، الجداول (م2.7 و م3.7)، سيكون إجمالي الربح هو 441 دولارا أمريكيا (الجدول م4.7). وهذا يشير عموما إلى أنه عندما يتم إنشاء الوحدة، يمكن الحصول على صافي ربح مقداره 1,38 دولارا أمريكيا لكل 1 دولار تم استثماره في زراعة الغذاء باستخدام وحدة الزراعة الأحيومائية، التي على نطاق صغير للاستهلاك المحلي. وتقدر فترة الاسترداد للاستثمار الأولي بحوالي 19 شهرا.

ولتخفيض تكاليف رأس المال (على سبيل المثال باستخدام الخزانات المعاد تدويرها)، أو تكاليف التشغيل (على سبيل المثال أعلاف الأسماك التكميلية)، أو زيادة الإيرادات (مثل الأسواق المتخصصة)، سيقلل إلى حد كبير من فترة الاسترداد.

الملحق الثامن – دليل إنشاء أنظمة الزراعة الأحيومائية التي على النطاق الصغير خطوة بخطوة

يصفُ هذا الدليل خطوة بخطوة كيفية بناء وحدة سرير وسائط النمو، ووحدة تقنية غشاء المغذيات (NFT)، ووحدة الزراعة في المياه العميقة (DWC) للوحدات الزراعة الأحيومائية التي هي على نطاق صغير، والتي تم وصفها في الفصل الرابع من هذا الدليل.

التعليقات الأولية على تصاميم الأنظمة الثلاثة

بما أنه تم شرح نظرية التصميم الفعلية للأنظمة الثلاثة في الفصل الرابع من هذا الدليل، فهذا الملحق يركز فقط على كيفية بنائها باستخدام مواد رخيصة متوافرة على نطاق واسع. إضافة إلى ذلك فإنه يوفر توضيحات وجيزة عن بعض المكونات الأكثر تعقيدا من كل نظام. والعوامل الرئيسة التي يجب النظر إليها في تصميم كل وحدة تتمثل في: التكلفة المادية، وتوافر المواد، والطاقة الإنتاجية. وهكذا فإن اختيار المواد لكل تصميم مبين في الرسوم البيانية؛ هذا لأن كلا منها يمكن الوصول إليها على نطاق واسع. والمادة الرئيسة المستخدمة في خزانات الأسماك، وسرير وسائط النمو، والمياه العميقة (DWC) هي الحاوية الوسيطة (IBC) بسعة حوالي 1000 لتر، وتستخدم لنقل السوائل المختلفة في جميع أنحاء العالم. ومع ذلك فإن جميع مكونات تصميم كل وحدة من المواد المحلية/الأرخص يمكن أن تكون بديلا، ولا ينبغي تجاوز التوصيات بشأن المواد البديلة المنصوص عليها في الفصل الرابع من هذا الدليل.

وهناك ثلاثة أقسام رئيسة لهذا الملحق. فالقسم الأول يبين كيفية بناء وحدة سرير الوسائط باستخدام حاويات (IBC) كحوض للأسماك، وسرير وسائط النمو، وخزان تجميع المياه. في حين أن الجزء الثاني يصف كيفية بناء وحدة غشاء المغذيات (NFT)، كما يتضمن كيفية إعداد حوض للأسماك كما في وحدة سرير وسائط النمو، وكيفية صناعة الفاصل الميكانيكي وتركيبه، والمرشح الحيوي باستخدام براميل البولي إيثيلين، وكيفية تثبيت أنابيب النمو لوحدة غشاء المغذيات باستخدام أنابيب الصرف الصحي البلاستيكية بقطر 4 بوصة (110سم). أما القسم الثالث والأخير فيبين كيفية بناء وحدة المياه العميقة (DWC)، ويعمل نفس التصميم بحوض الأسماك ونفس نظام الترسيب (الدوّامة) والمرشح الحيوي، الذي تم وصفه لوحدة غشاء المغذيات (NFT). وتظهر أجزاء أخرى كيفية إعداد قنوات المياه العميقة (DWC)، وإعداد الطوافات باستخدام صفيحة من البوليستيرين. وتم إعطاء مؤشر لجميع المواد والأدوات المستخدمة لكل قسم في الصفحات التالية، والتي ينبغي أن يُرجع إليها لكل قسم من أقسام وحدة البناء الرئيسة.

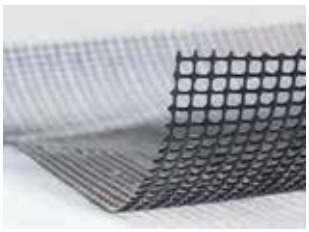
جدول المحتويات (الفصل الثامن)

مؤشر المواد	219 – 216
مؤشر الأدوات	221 – 220
سرير وسائط النمو	232 – 222
تقنية غشاء المغذيات (NFT)	245 – 233
تقنية المياه العميقة (DWC)	254 – 246

مؤشر المواد

الجدول م**1.8**

مؤشر المواد

1 الحاوية الوسيطة (IBC)		**8** الصابون البيئي	
2 برميل بسعة 200 لتر (أزرق)		**9** صفيحة من البوليستيرين	
3 مواد تظليل		**10** شريط تفلون للسباكة	
4 شباك بلاستيكية		**11** أشرطة ربط الكابلات	
5 طوب خرساني		**12** صندوق كهربائي (ضد الماء)	
6 خشب (8 × 1 سم)		**13** أنبوب بلاستيكي PVC (110 ملم)	
7 مضخة مياه غاطسة (الحد الأدنى 2000 لتر/ساعة)		**14** أنبوب بلاستيكي PVC (50 ملم)	

تابع للجدول م1.8

15 أنبوب بلاستيكي (75 ملم) PVC مع بوصلة + قبعة إحكام (75 ملم) + حلقات مطاطية عازلة (75 ملم)		**22** محول بلاستيكي PVC (20ملم × 3/4 بوصة) ذكر	
16 أنبوب بلاستيكي PVC pipe (25 ملم)		**23** كوع بلاستيكي PVC (25ملم × 1 انش) أنثى	
17 أنبوب البولي إيثيلين (20، 25 ملم)		**24** كوع بلاستيكي PVC (25ملم × 3/4 بوصة) ذكر	
18 عازل مطاطي ®Uniseal (50، 110 ملم)		**25** محول بلاستيكي PVC (25ملم × 3/4 بوصة)	
19 حلقات مطاطية عازلة (50، 110 ملم)		**26** صنبور بلاستيكي PVC يعمل "بالضغط" على المفتاح وتدويره (20 ملم)	
20 مخفض قطر الأنبوب بلاستيكي PVC (40–25ملم)		**27** صنبور بلاستيكي PVC أومعدني (3/4 بوصة) ذكر إلى أنثى	
21 وصلة بلاستيكية (25 ملم × 1 بوصة) أنثى		**28** دلو (20 لتر)	

تابع للجدول م1.8

29 مضخة هواء (10 واط/ساعة) مع مخرجين للهواء		**36** كوب شبكي
30 أنابيب الهواء		**37** كوع بلاستيكي PVC (50 ملم)
31 قنينة بلاستيكية		**38** وصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية PVC (50 ملم)
32 حجارة تذويب الهواء		**39** وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية PVC (50 ملم)
33 شبك غرف الأسماك		**40** سدادة نهاية أنبوب بلاستيكية PVC (50 ملم)
34 وسائط المرشح الحيوي (كرات حيوية أو أغطية قنينات)		**41** كوع بلاستيكي PVC (110 ملم)
35 حصى بركاني (8–20 ملم)		**42** وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية PVC (110 ملم)

تابع للجدول م1.8

43	وصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية PVC (110 ملم)	
44	مخفض قطر الأنبوب بلاستيكي PVC (110–50 ملم)	
45	وصلة برميل بلاستيكية (1 بوصة) PVC (B-type) –	
46	وصلة برميل بلاستيكية PVC (1 بوصة) – (V-type)	
47	صنبور بلاستيكي PVC أومعدني (1 بوصة) ذكر إلى أنثى	
48	كوع يتم توصيله بالأنبوب بواسطة الضغط بلاستيكي PVC (20 ملم)	
49	كوع بلاستيكي PVC (25 ملم × 3/4 بوصة) أنثى	
50	وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية PVC، يتم توصيلها بالأنبوب بواسطة الضغط (20 ملم)	
51	سدادة نهاية أنبوب بلاستيكية PVC (110 ملم)	
52	محول بلاستيكي PVC (25 ملم × 3/4 بوصة)	
53	وصلة بلاستيكية PVC على شكل حرف "T" (25 ملم – 1 بوصة) أنثى	
54	كوع بلاستيكي PVC (25 ملم)	
55	وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية PVC (25 ملم)	
56	كوع بلاستيكي PVC (25ملم × 1 بوصة) ذكر	
57	وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية PVC (25 ملم × 3/4 بوصة) أنثى	

مؤشر الأدوات

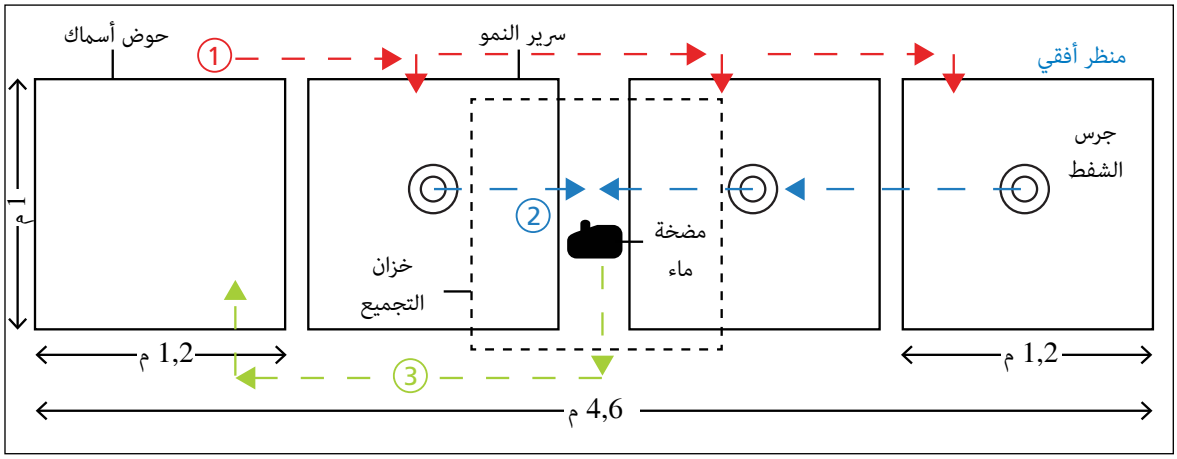
الجدول م2.8
مؤشر الأدوات

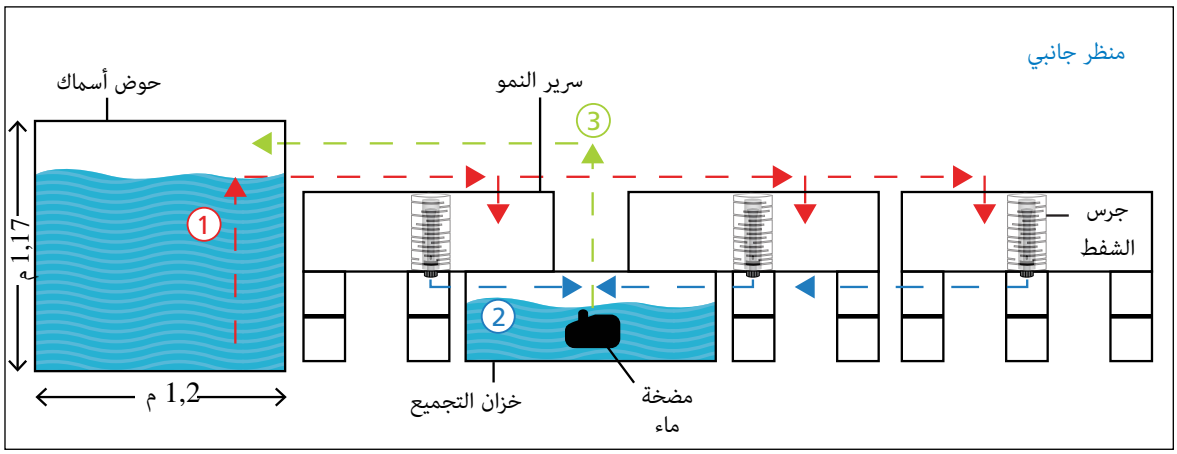
1 غطاء لحماية الأذن	**6** مفتاح ربط الأنابيب
2 قفازات عمل	**7** منشار
3 نظارات واقية	**8** مطرقة
4 ميزان تسوية كحولي	**9** زرادية
5 شريط قياس	**10** مفك براغي

تابع للجدول م2.8

11 مثقب كهربائي	
12 مثقب مخروطي (0 – 1 بوصة)	
13 منشار قطع النماذج	
14 سكين	
15 قلم لوضع العلامات	
16 مثقب حفر دائري (منشار للحفر)	
17 جلاخة زاوية	
18 برغي برأس نجمة	

القسم 1 – وحدة سرير وسائط النمو





مخطط تدفق المياه

① تدفقات المياه بواسطة الجاذبيةمن خزان الأسماك إلى أسرة وسائط النمو.

② تدفقات المياه من سرير وسائط النمو إلى خزان تجميع المياه.

③ تتدفق المياه إلى خزان الأسماك من خزان تجميع المياه باستخدام مضخة المياه.

الجدول م3.8

قائمة بالمواد المطلوبة لصناعة وحدة سرير وسائط النمو

	اسم الصنف	رقم الصنف من الجدول (م1.8)	العدد
1	الحاوية الوسيطة (IBC)	1	3
2	مضخة مياه غاطسة (الحد الأدنى 2000 لتر/ساعة)	7	1
3	مضخة هواء (10 واط/ساعة) مع مخرجين للهواء	29	1
4	أنابيب هواء مرنة	30	3 م
5	حجارة تذويب الهواء	32	2
6	طوب خرساني	5	48
7	خشب (8 × 1 سم)	6	21 م
8	حصى بركاني (4–20 مم)	35	750 لتر
9	مواد تظليل	3	2 $م^2$
10	شريط تفلون للسباكة	10	طية واحدة
11	أشرطة ربط الكابلات	11	15
12	صندوق كهربائي (ضد الماء)	12	1
13	الصابون البيئي أو زيوت التشحيم	8	1
14	قنينة بلاستيكية	31	1
	الأنابيب والوصلات البلاستيكية PVC		
15	أنبوب بلاستيكي (50 ملم) PVC	14	7,5 م
16	حلقات مطاطية عازلة (50 ملم)	19	1
17	كوع بلاستيكي (50 ملم) PVC	37	5
18	وصلة تقارن مستقيمة (50 ملم) PVC	38	6
19	وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية (50 ملم) PVC	39	2
20	سدادة نهاية أنبوب بلاستيكية (50 ملم) PVC	40	4
21	وصلة برميل PVC بلاستيكية (1 بوصة) – (B-type)	45	3
22	صنبور بلاستيكي PVC أومعدني (1 بوصة) ذكر إلى أنثى	47	3
23	عازل مطاطي (50 ملم) ®Uniseal	18	1
	الشفط بالجرس		
24	أنبوب بلاستيكي (110 ملم) PVC	13	0,9 م
25	أنبوب بلاستيكي (75 ملم) PVC مع بوصلة + قبعة إحكام (75 ملم) + حلقات مطاطية عازلة (75 ملم)	15	3
26	أنبوب بلاستيكي (25 ملم) PVC	16	0,8 م
27	وصلة PVC برميل بلاستيكية (1 بوصة) – (V-type)	46	3
28	مخفض قطر الأنبوب بلاستيكي (40 – 25 ملم) PVC	20	3
29	وصلة بلاستيكية (25 ملم ×1 بوصة) أنثى	21	3
30	كوع بلاستيكي (25 ملم × 1 بوصة) PVC أنثى	23	3
31	أنبوب البولي إيثيلين (25، 20 ملم)	17	9 م

1. لإعداد خزان للأسماك ينبغي اتباع الخطوات الآتية:

1.1 – قم بإزالة القضيبين الصلبين الأفقيين المرفقين بالسطح العلوي لخزان الحاوية الوسيطة (IBC)، واللذين يمسكان بالجزء البلاستيكي الداخلي مستقرا. وهذه القضبان مثبتة بأربعة براغي نجمية الرأس. وبعدها قم بإزالة هذه البراغي الأربعة (الشكل 1) باستخدام مفك ذي رأس على شكل نجمة (الشكل 2) أو مفتاح ذي رأس على شكل نجمة (الشكل 3). وحالما تتم إزالة هذه القضبان، اسحب خزان البلاستيك الداخلي.

وإذا لم يكن هناك مفتاح النجمة، اقطع البراغي بجلاخة زاوية.

1

2

3

2.1 – بعد سحب الخزان، ارسم شكل مربع على السطح العلوي من الخزان على بعد 5 سم من حواف الجوانب الأربعة للخزان (الشكل 4). ثم قم بقطع الشكل المربعي وذلك باستخدام جلاخة زاوية (الشكل 5)، ثم أزل القطعة التي تم قطعها من أعلى (الشكل 6). وبعد إزالتها اغسل الحاوية من الداخل جيدا بالصابون والماء الدافئ، واتركها لتجف لمدة 24 ساعة (الشكل 7).

إن الجزء الذي تم قطعه يمكن استخدامه كغطاء لخزان الأسماك.

4

5

6

7

2. تثبيت أنبوب مخرج مياه لخزان الأسماك

1.2 – على جانب واحد من الحاوية الوسيطة (IBC)، ضع نقطة عند مسافة 12 سم من الأعلى، و12 سم من جانب الحاوية (الشكل 8)، واحفر حفرة في تلك النقطة باستخدام مثقب حفر دائري بمقاس 57 ملم (الشكل 9). ادخل عازلا مطاطيا Uniseal® بمقاس 50 ملم (الشكل 10) داخل هذا الثقب.

تنبيه: يجب أن يكون مثقب الحفر الدائري بمقاس 57 ملم، وليس 50 ملم (انظر الشكل 8)

8

9

10

2.2 – أنبوب مخرج المياه من خزان الأسماك يتكون من قطعتين من الأنابيب البلاستيكية (50 ملم) يتم تركيبها مع بعضها باستخدام الكوع البلاستيكي (50 ملم)، ووصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية (50 ملم) (الشكل 11). ولأجل ذلك يتم قطع أنبوب بلاستيكي بطول (50 ملم)، ويوضع على طول السطح السفلي من الخزان، ويصنع به شقوق

أفقية بمسافات مقدارها 2–3 ملم من بعضها البعض، باستخدام جلاخة زاوية (الشكل 12)؛ للسماح للمخلفات الصلبة للدخول إلى الأنبوب، قم بإغلاق نهاية الأنبوب الذي يوضع على طول السطح السفلي من حوض الأسماك بسدادة بلاستيكية (50 ملم). وبعدها ادخل قطعة أنبوب بلاستيكي بطول (50 ملم) في العازل المطاطي Uniseal® الذي تم وضعه في الفتحة سابقا، وقم بتوصيله بكوع بلاستيكي (50 ملم) على الطرف الداخلي (الشكل 11)، ثم أرفق الأنبوب الآخر (العمودي) إلى الكوع المتصل بالعازل المطاطي Uniseal® الذي بمقاس (50 ملم). وأخيرا احفر حفرة قطرها 2–3 سم في الكوع الذي بمقاس (50 ملم) الذي تم توصيله بالعازل المطاطي Uniseal® الذي تم وضعه في الفتحة سابقا (الشكل 13). ويمنع هذا الثقب الصغير أي غلق هوائي من التشكل داخل الأنبوب، الذي من شأنه أن يستنزف كل الماء من حوض الأسماك في حالة انقطاع التيار الكهربائي، أو إذا توقفت المضخة عن العمل، وهو ما يُسمى بالشفط العرضي. هذه الخطوة ليست اختيارية.

11

12

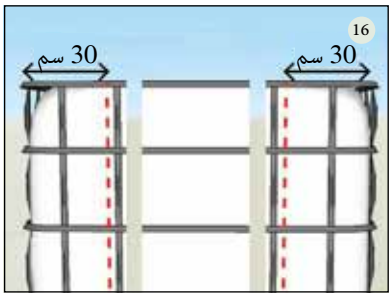
13

3. إعداد أسرة وسائط النمو وخزان تجميع المياه

ولإعداد ثلاث أسرة وسائط النمو، وخزان واحد لتجميع المياه، هناك حاجة إلى حاويتين IBC إضافيتين: الحاوية الأولى لإعداد خزان الأسماك وسرير واحد لوسائط النمو، والحاوية الثانية لإعداد اثنين من أسرة وسائط النمو المتبقية. خذ الحاويتين الوسيطتين، وأزل القضبان الأربعة، ثم اسحب الحاويات البلاستيكية كما هو موضح من قبل في الأشكال (1–3)..

14

15



16

4. إعداد سريري وسائط نمو من حاوية وسيطة واحدة

أولا أوقف الحاوية البلاستيكية بشكل مستقيم (الشكل 14)، وقم بوضع العلامة باستخدام مسطرة قياس وقلم رصاص، قم برسم خطوط على بعد 30 سم من كلا جانبي الحاوية (الشكل 15). تأكد من وضع الخطوط نفسها كما هو موضح في (الشكل 15). خذ جلاخة زاوية واقطع على طول كلا الخطين بعناية؛ من أجل إعداد حاويتين بشكل موحد وبعمق 30 سم (الشكل 16)، ثم خذ كلا الحاويتين واغسلهما جيدا باستخدام الصابون الطبيعي والماء الدافئ، ثم تترك لتجف في الشمس لمدة 24 ساعة.

5. الدعامات المعدنية لكلا سريري وسائط النمو

1.5 – خذ الإطار المعدني الداعم للحاوية الوسيطة، واقطع إطارين باتباع نفس المنوال المبين في الشكل (14) باستخدام جلاخة زاوية (الشكل 17). عندما تقوم

17

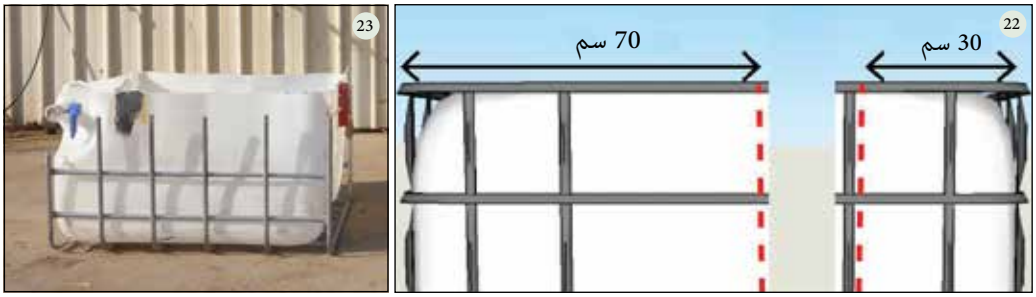
18

بقطع الجانبين اللذين هما بمقاس 30 سم من إطار الدعم، تأكد من الحفاظ على الجزئين الأفقيين من الدعامة سليمين؛ لأنهما سيوفران دعما ممتازا على جانبي الأسرة عندما تكون ممتلئة بالماء والوسائط (الشكل 18).

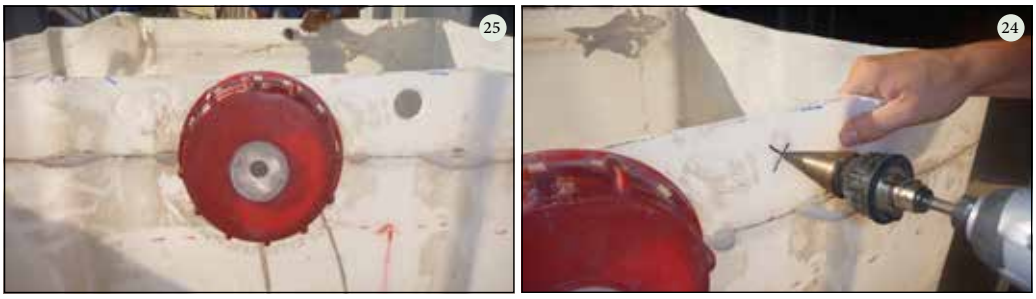
2.5 – خذ إطاري الدعم وضعهما على الأرض. خذ ألواح الخشب (4 ألواح طول كل واحد 104 سم، لوح واحد بطول 42 سم، ولوح واحد بطول 48 سم) وضعهما على إطار الدعم كما هو مبين في الشكل. وألواح الخشب تحتفظ بسرير وسائط النمو في وضع أفقي، وهو أمر حيوي لعمل تقنية الشفط بالجرس. وبعد ذلك خذ أسرة وسائط النمو التي تم غسلها وضعها على إطار الدعم وألواح الخشب (الشكل 20). وأخيرا ادخل ألواح الخشب المتبقية ما بين أسرة وسائط النمو البلاستيكية، وإطار الدعم على جانبي كل سرير؛ لتوفير المزيد من الدعم (الشكل 21).

6. إعداد خزان تجميع المياه وسرير واحد لوسائط النمو من الحاوية الوسيطة (IBC)

1.6 – خذ الحاوية الوسيطة (IBC) المتبقية، وضعها في وضع مستقيم وضع علامة، وذلك باستخدام مسطرة قياس وقلم رصاص، قم برسم خط واحد فقط على بعد 30 سم من جانب الحاوية، كما في (الشكل 22). ثم استخدم جلاخة زاوية واقطع إطار الدعم المعدني والحاوية البلاستيكية الداخلية مرة واحدة، وذلك باتباع الخط الذي تم رسمه (الشكل 22). قم بإزالة الجزء من الحاوية الذي هو بعمق 30 سم (سرير وسائط النمو الثالث) من الجزء المتبقي من الحاوية، والذي هو بعمق 70 سم (خزان تجميع المياه) (الشكل 23). اغسل كلا الحاويتين جيدا بالماء والصابون الطبيعي والماء الدافئ، واتركها في الشمس لمدة 24 ساعة.



2.6 – ولسرير وسائط النمو الثالث، اتبع نفس الخطوات فيما يتعلق بألواح الخشب كما هو مفصل أعلاه للأوليين. وأخيرا قم بصناعة ثقبين بقطر (25 ملم) باستخدام مثقاب مخروطي الشكل، كما هو مبين في (الشكل 25) (سيتم إدخال أنابيب بقطر 25 ملم في كل من هذه الثقوب في وقت لاحق، وهذه الأنابيب ستعمل على تصريف المياه من كل سرير لوسائط النمو).



7. إعداد الشفط بالجرس

كما هو موضح في الفصل 4 من هذا الدليل فإن الشفط بالجرس هي آلية بسيطة، تستخدم لإغراق واستنزاف كل سرير وسائط النمو تلقائيا. والمواد التالية ضرورية لإعداد آلية واحدة فقط للشفط بالجرس. ولإعداد آليات لثلاثة أسرة هناك حاجة إلى عدد ثلاثة من كل صنف:

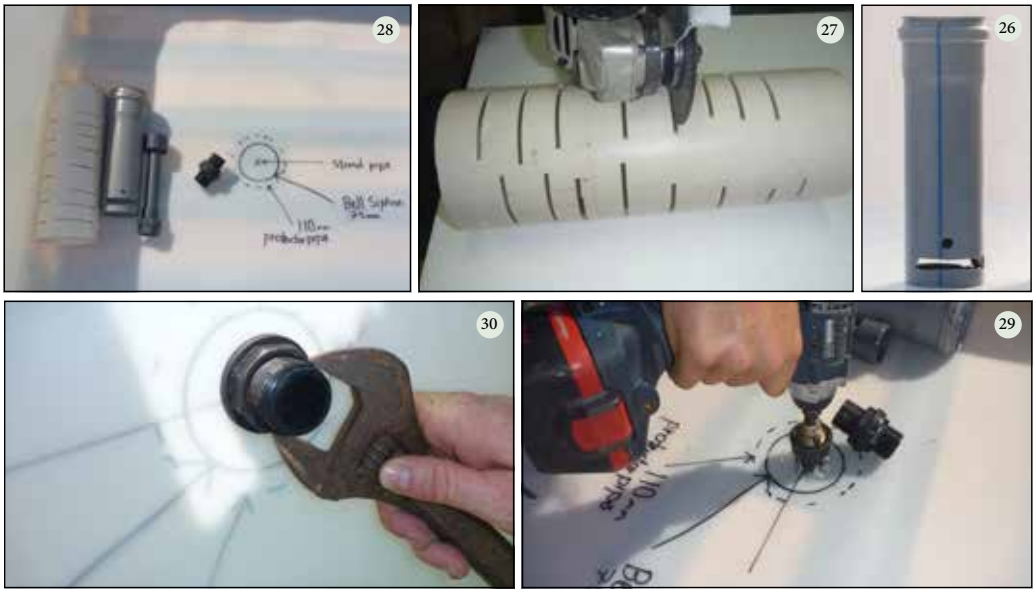
- 35 سم حاجز وسائط النمو (110 ملم أنبوب بلاستيكي).
- 27 سم جرس [أنبوب بلاستيكي (75 ملم) بسدادة في نهايته (75 ملم) + عازل مطاطي (75 ملم)].
- 16 سم أنبوب بلاستيكي (25 ملم).
- وصلة برميل بلاستيكية (25 ملم).
- مخفض قطر الأنبوب، بلاستيكي (40–25 ملم).
- محول بلاستيكي (25 ملم ×1 بوصة).
- كوع بلاستيكي (25 ملم ×1 بوصة أنثى).

1.7 – أولا قم بإعداد الجرس: خذ قطعة أنبوب بلاستيكي بطول 27 سم (75 ملم في القطر)، وقم بقطع قطعتين كما هو مبين في (الشكل 26) باستخدام جلاخة زاوية، ثم اصنع ثقبا باستخدام مثقاب (10 ملم في القطر) بمسافة من مكان قطع القطعتين بمقدار (1,5 سم)، كما هو مبين في (الشكل 26). وأخيرا سد النهاية الأخرى من الجرس باستخدام سدادة نهاية الأنبوب البلاستيكية (75 ملم)، وعازل مطاطي (75 ملم).

2.7 – قم بإعداد حاجز الوسائط بطول (35 سم) باستخدام قطعة أنبوب بلاستيكية بقطر (110 ملم)، وقطع فتحات بمقاس (5 ملم) على طول القطعة، باستخدام جلاخة زاوية (الشكل 27).

3.7 – قم بوضع علامة في منتصف كل سرير لوسائط النمو بين لوحي الخشب في أسفل السرير كما هو مبين في (الشكل 28)، وقم بصناعة ثقب على علامة منتصف السرير بقطر (25 ملم)، كما في (الشكل 29) وادخل وصلة برميل بلاستيكية بقطر (25 ملم) مع المطاط العازل الموضوع داخل سرير وسائط النمو، ثم قم بشد جانبي وصلة البرميل باستخدام مفتاح ربط الأنابيب (الشكل 30).

4.7 – قم بتثبيت محول بلاستيكي (1 بوصة – 25 ملم) على رابط البرميل الذي هو بقطر (25 ملم) داخل سرير وسائط النمو، ومن ثم ادخل قطعة الأنبوب الأفقية في فتحة المحول البلاستيكي الذي هو بقطر (1 بوصة – 25 ملم). وبعد ذلك ادخل المحول البلاستيكي الثاني (25–40 ملم) إلى الجزء العلوي من الأنبوب الأفقي (الأشكال 31–33).



والغرض من هذا المحول هو السماح لحجم أكبر من المياه لتتدفق في البداية من خلال الأنبوب الأفقي عندما تصل المياه إلى القمة، وهذا بدوره يساعد آلية الشفط لبدء استنزاف المياه؛ لإخراجها إلى خزان تجميع المياه.

5.7 – ضع أداة الشفط بالجرس وحاجز وسائط النمو على الأنبوب الأفقي (الأشكال 34–36).

6.7 – وأخيرا قم بتوصيل الكوع البلاستيكي (1 بوصة – 25 ملم) إلى الطرف الآخر من رابط البرميل تحت سرير وسائط النمو، والذي يسمح لتدفق المياه من سرير وسائط النمو (الأشكال 37–39).

8. تجميع أجزاء أسرة وسائط النمو وخزان تجميع المياه

1.8 – أولا ضع خزان تجميع المياه وطوقه بستة من الطوب الخرساني من كل جانب (12 طوب خرساني في المجموع) كما هو مبين في (الشكلين 40–41). تأكد من أن الطوب لا يغطي الثقوب المصنوعة بالفعل في خزان تجميع المياه (الشكل 42).

2.8 – ضع الطوب المتبقي وخزان الأسماك وفقا لمسافات تم وصفها في الشكل (43)، وينبغي أن ترفع خزان الأسماك حوالي 15 سم من الأرض. ويمكن القيام بذلك عن طريق استخدام الطوب الخرساني كما هو مبين في الشكل (43). ضع أسرة وسائط النمو الثلاثة (بما في ذلك إطارات الدعم المعدنية وألواح الخشب) على الطوب، كما هو موضح في الشكل (44). تأكد من تأمين سرير وسائط النمو على الطوب الخرساني في وضع أفقي من خلال التحقق من مستوى التوازن باستخدام ميزان تسوية كحولي، وإن لم يكن السرير في وضع مستو، قم بإعادة ضبط وضع الطوب قليلا.

9. توصيلات السباكة للوحدة: توصيل حوض الأسماك إلى أسرة وسائط النمو (توزيع متفرع)

1.9 – وصلات السباكة اللازمة لهذا القسم هي كما يلي:

- موصل برميل، من نوع (B-type) (1 بوصة) × 3
- صنبور بلاستيكي (1 بوصة) × 3
- سدادة نهاية أنبوب بلاستيكية (50 ملم) × 3
- كوع بلاستيكي (50 ملم) × 2
- وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية (50 ملم) × 2
- وصلة تقارن بلاستيكية مستقيمة (50 ملم) × 3
- أنبوب بلاستيكي بطول 150 سم (50 ملم) × 1
- أنبوب بلاستيكي بطول 85 سم (50 ملم) × 1

2.9 – ارجع إلى "إعداد حوض الأسماك" التعليمات (2.2). تظهر التعليمات السابقة إدخال أنبوب بلاستيكي بطول (50 ملم) خلال العازل المطاطي (50ملم) Uniseal® ويخرج من خزان الأسماك. خذ كوعا بلاستيكيا آخر (50 ملم) وأوصله بالأنبوب الخارج من خلال العازل المطاطي Uniseal® (الشكل 45)، باستخدام وصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية (50 ملم) وكوع بلاستيكي آخر (50 ملم)، أوصل الأنبوب الخارج من خزان الأسماك بأنبوب التوزيع (50 ملم) بنفس مستوى الارتفاع للجزء العلوي من سرير وسائط النمو (الشكل 46).

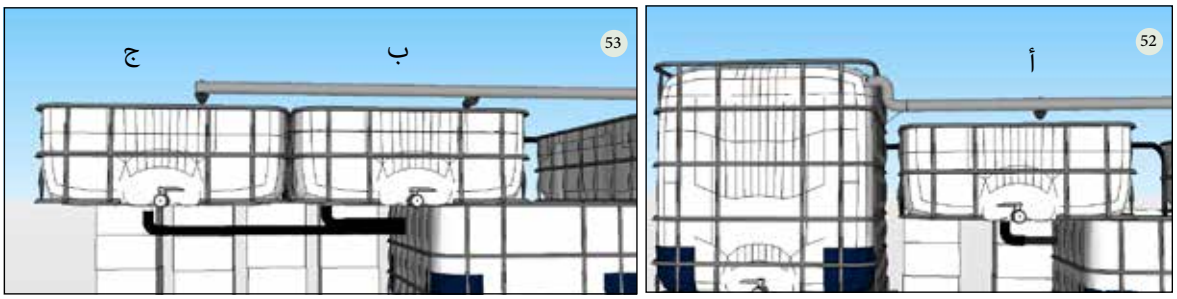
3.9 – على كل سرير لوسائط النمو يستخدم صنبور؛ للتحكم في تدفق المياه التي تدخل السرير. ولتركيب الصنبور خذ أولا سدادة نهاية أنبوب بلاستيكية (50 ملم)، واصنع ثقبا بقطر (25 ملم). ادخل موصل البرميل (25 ملم) في الثقب، وشد الطرفين باستخدام مفتاح ربط الأنابيب. ثم لف شريط تفلون للسباكة حول النهاية المسننة الذكر لموصل البرميل واربط الصنبور (1 بوصة) بإحكام على موصل البرميل (الأشكال 47–50). وهناك صنبور واحد لكل سرير لوسائط النمو ليصبح المجموع ثلاثة صنابير.

4.9 – ومن الكوع البلاستيكي (50 ملم) الموصل بأنبوب مخرج خزان الأسماك، اتبع مخطط الأنابيب المبين في (الشكل 51) الذي يسمح بتدفق المياه إلى كل سرير وسائط النمو. وتشمل المواد: أنبوبا بلاستيكيا (50 ملم)، وكوعا بلاستيكيا (50 ملم) ووصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية (50 ملم). وبعد ذلك ضع أغطية الأنابيب الموصلة بالصنابير في وصلة الحرف "T" البلاستيكية، ووصلات الكوع البلاستيكي من أنبوب التوزيع كما في (الشكل 51)، وذلك باستخدام واحد لكل سرير وسائط نمو. استخدم وصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية (50 ملم) إذا لزم الأمر.

10. توصيلات السباكة للوحدة: توصيل أسرة وسائط النمو إلى خزان تجميع المياه (أنبوب التصريف)

1.10 – يظهر الشكلان 52 و53 أسرة وسائط النمو والتي تم ترقيمها (أ، ب، ج). وبالنسبة إلى سرير وسائط النمو (أ)، أوصل أنبوب تصريف بلاستيكي بطول 60 سم (25 ملم) بالكوع البلاستيكي تحت سرير وسائط النمو (الشكل 54) الذي يخرج من أسفل أداة الشفط بالجرس. وبعد ذلك ادخل الأنبوب الذي هو بطول (60 سم) في أقرب ثقب تم صناعته على جانب خزان تجميع المياه، والسماح للماء بالتدفق مباشرة في خزان التجميع.

2.10 – توصيل سرير وسائط النمو (ب) والسرير (ج)، (الشكل 53): تحت سرير وسائط النمو (ج): أوصل كوعا بلاستيكيا (25 ملم إلى 1 بوصة) بنهاية موصل البرميل (الشكل 54)، ثم خذ أنبوبا من البولي إيثيلين بطول (2 م) من الأنابيب البولي إيثيلن (25 ملم)، وارفقه بالثقوب المصنوعة على جانب خزان تجميع المياه (الشكلين 53 و55).



3.10 – افعل الشيء نفسه مع سرير وسائط النمو (ب) باستخدام أنبوب من البولي إيثيلين بطول (1 م) وقطر (25 ملم) (الشكل 55). والآن فالمياه التي تخرج من سرير وسائط النمو (ب) و(ج) ستتدفق من خلال أنابيب بولي إيثيلين منفصلة بقطر (25 ملم) إلى خزان تجميع المياه.

وأخيرا فإنه من المستحسن توثيق الأنابيب تحت الأسرة بالإطار المعدني، باستخدام علاقات الكابلات البلاستيكية؛ لتخفيف أي ضغط على الأنابيب والتجهيزات (الشكل 54).

54

55

11. توصيلات السباكة للوحدة: توصيل خزان تجميع المياه إلى حوض الأسماك

1.11 – خذ المضخة الغاطسة وأوصلها بأنابيب البولي إيثيلين (25 ملم) باستخدام محول بلاستيكي (1 بوصة – 25 ملم)، أو أي محول آخر يمكن أن توصل المضخة المحددة إلى الأنبوب الذي هو بقطر (25 ملم) كما في الشكل (56). خذ قطعة من أنبوب البولي إيثيلين الذي هو بقطر (25 ملم) طويلة بما فيه الكفاية للوصول إلى داخل حوض الأسماك من المضخة الغاطسة (الشكل 57). أوصل نهاية واحدة بالمضخة الغاطسة والأخرى في الجزء العلوي من حوض الأسماك (انظر الأشكال 57–60). ومن المستحسن استخدام أقل عدد من الوصلات، وخاصة وصلات الكوع بين المضخة وخزان الأسماك التي تعمل على خفض قدرة الضخ.

2.11 – ضع الصندوق الكهربائي (ضد الماء) في مكان آمن أعلى من مستوى المياه ومظلل من أشعة الشمس المباشرة. تأكد من أنه لا يزال معزولا عن الماء (ضد الماء) بعد توصيل مقابس مضخة الماء ومضخة الهواء (الشكل 61).

56

57

58

59

60

61

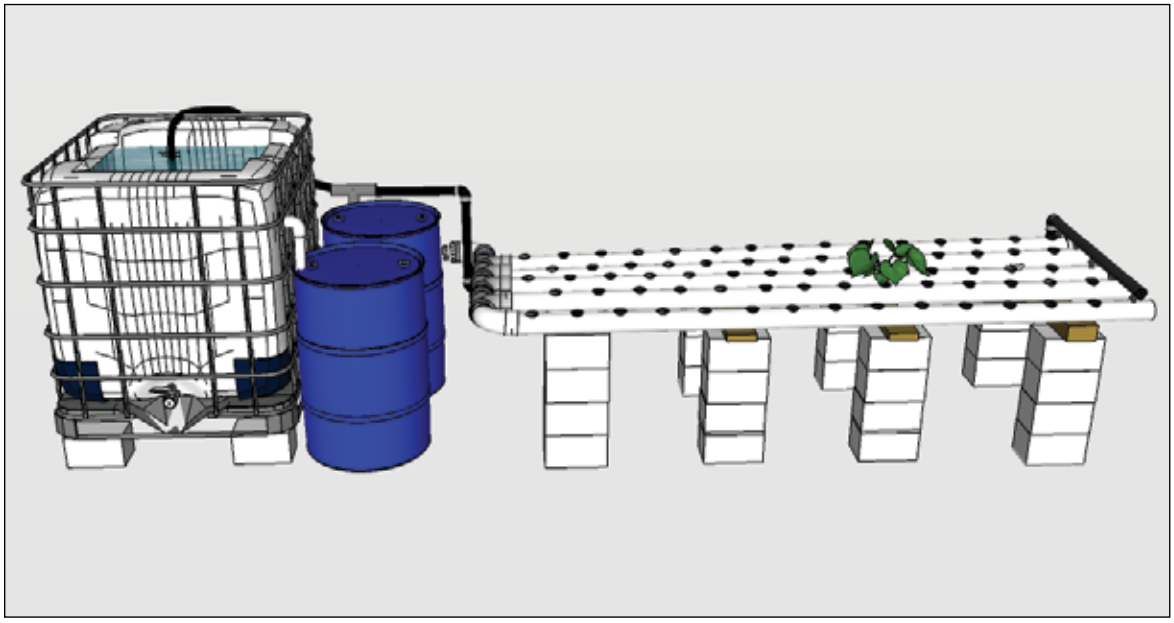
12. إضافة الوسائط وتشغيل الوحدة

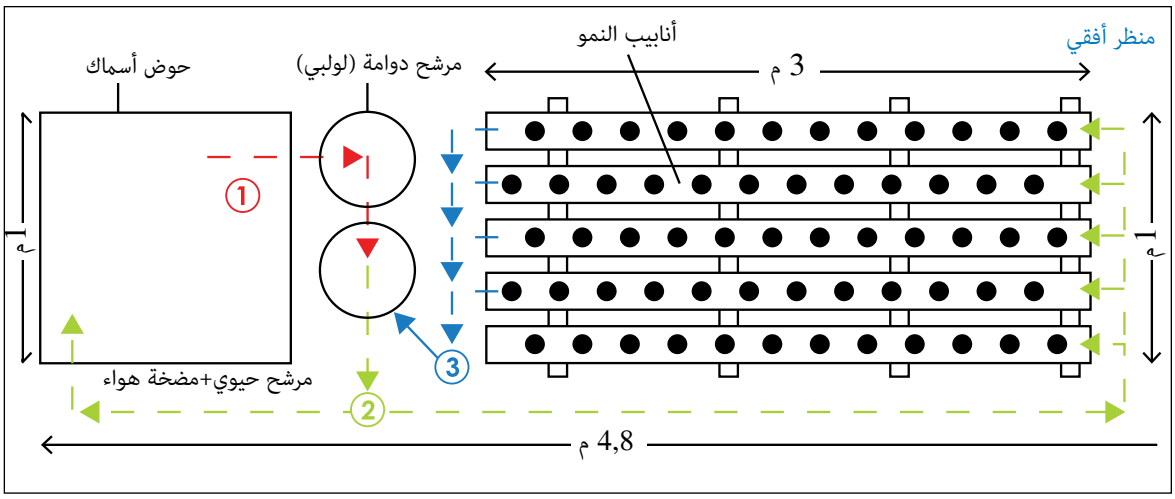
1.12 – جميع أجزاء النظام هي الآن في مكانها باستثناء وسائط النمو (الحصى البركاني) في الأسرة. وقبل إضافة وسائط النمو، فمن المستحسن ملء خزان الأسماك وخزان تجميع المياه بالماء وتشغيل المضخة؛ للتحقق من أي تسرب في النظام. أثناء التحقق من وجود تسرب، قم بإزالة الأنبوب الرأسي (stand pipe) وجرس الشفط؛ حتى يتدفق الماء مباشرة إلى خزان تجميع المياه، وفي حال ظهور أي تسريبات، قم بإصلاحها على الفور من خلال إحكام وصلات السباكة، وإضافة شريط التفلون العازل للوصلات، والتأكد من أن جميع الصنابير هي في وضع مثالي (الأشكال 62–67).

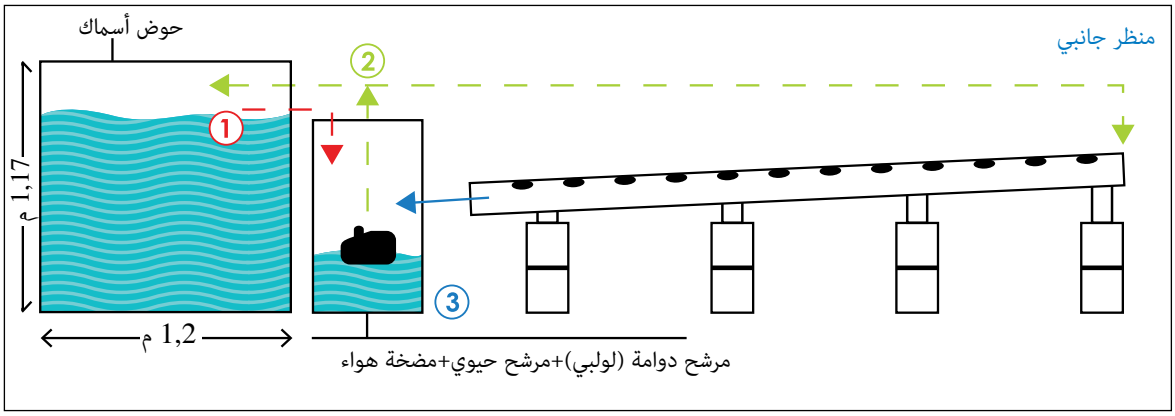
2.12 – وعندما يتم إصلاح التسريبات والماء يتدفق بسلاسة من خلال جميع مكونات الوحدة، قم بإعادة تجميع جرس الشفط والأنبوب الرأسي، واملأ الأسرة بوسائط النمو إلى عمق (30 سم) كما في الشكلين (68–69).

64
63
62
67
66
65
69
68

القسم 2 – وحدة تقنية غشاء المغذيات، (NFT)







مخطط تدفق المياه

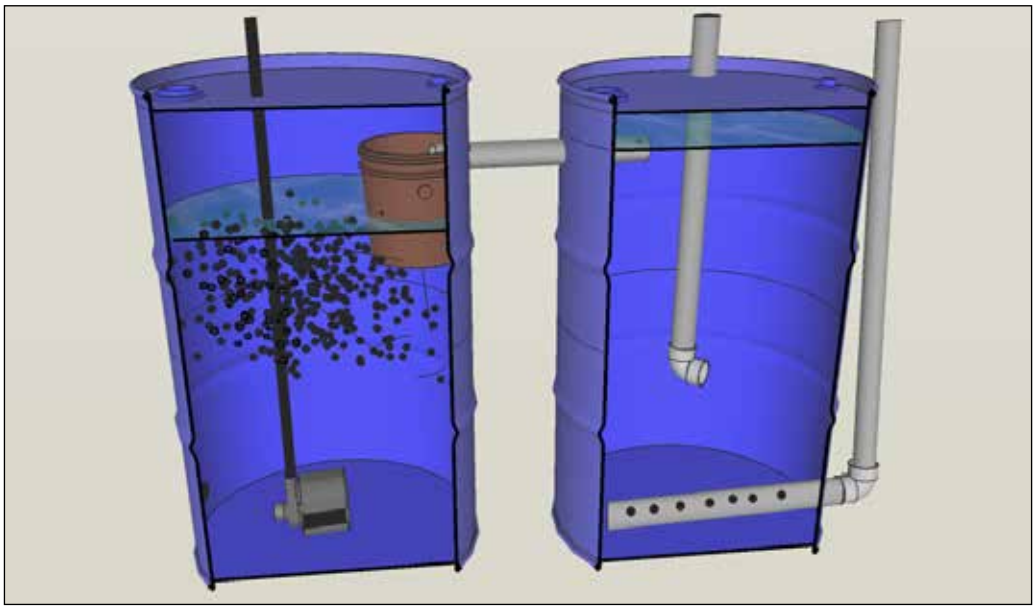
1. تتدفق المياه بواسطة الجاذبيةمن خزان الأسماك للمرشح الدوامة والمرشح الحيوي.
2. يتم ضخ المياه باستخدام مضخة غاطسة،من المرشح الحيوي إلى حوض الأسماك (80% من التدفق) وإلى أنابيب أو قنوات النمو (20% من التدفق).
3. تتدفق المياه مرة أخربمن أنابيب أو قنوات النمو إلى المرشح الحيوي.

الجدول م4.8

قائمة بالمواد المطلوبة لصناعة وحدة غشاء المغذيات (NFT)

	اسم الصنف	رقم الصنف من الجدول (م1.8)	العدد
1	الحاوية الوسيطة (IBC)	1	1
2	دلو (20 لتر)	28	1
3	برميل بسعة 200 لتر (أزرق)	2	2
4	وسائط المرشح الحيوي (كرات حيوية، أو أغطية قنينات)	34	40–80 لتر
5	مضخة مياه غاطسة (الحد الأدنى 2000 لتر/ساعة)	7	1
6	مضخة هواء (10 واط/ساعة) مع مخرجين للهواء	29	1
7	أنابيب هواء مرنة	30	3 م
8	حجارة تذويب الهواء	32	2
9	طوب خرساني	5	32
10	خشب (8 × 1 سم)	6	8 م
11	مواد تظليل	3	2 م^2
12	شبك غرف الأسماك	33	1
13	شريط تفلون للسباكة	10	1
14	أشرطة ربط الكابلات	11	25
15	صندوق كهربائي (ضد الماء)	12	1
16	كوب شبكي	36	80
17	حصى بركاني (4–20 ملم)	35	30 لتر
18	الصابون البيئي، أو زيوت التشحيم	8	1
	الأنابيب والوصلات البلاستيكية PVC		
19	أنبوب بلاستيكي (110 ملم) PVC	13	16 م
20	وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية (110 ملم) PVC	42	4
21	كوع بلاستيكي (110ملم) PVC	41	2
22	وصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية (110 ملم) PVC	43	1
23	سدادة نهاية أنبوب بلاستيكية (110 ملم) PVC	51	5
24	مخفض قطر الأنبوب بلاستيكي (110–50 ملم) PVC	44	1
25	حلقات مطاطية عازلة (110 ملم)	19	20
26	أنبوب بلاستيكي (50 ملم)	15	5 م
27	عازل مطاطي (50 ملم) Uniseal®	18	5
28	كوع بلاستيكي (50 ملم) PVC	37	6
29	وصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية (50 ملم) PVC	38	4
30	سدادة نهاية أنبوب بلاستيكية (50 ملم) PVC	40	1
31	حلقات مطاطية عازلة (50 ملم)	19	8
32	أنبوب البولي إيثيلين (25 ملم)	17	8 م
33	وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية (25ملم) PVC	55	2
34	كوع بلاستيكي (25 ملم × 3/4 بوصة) PVC أنثى	49	2
35	محول بلاستيكي (20ملم × 3/4 بوصة) PVC ذكر	22	1
36	أنبوب البولي إيثيلين (20 ملم)	17	2 م
37	وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية PVC يتم توصيلها بالأنبوب بواسطة الضغط (20 ملم)	50	4
38	كوع بلاستيكي PVC يتم توصيله بالأنبوب بواسطة الضغط (20 ملم)	48	1
39	صنبور بلاستيكي PVC يعمل "بالضغط" على المفتاح وتدويره (20 ملم)	26	5

1. **إعداد حوض الأسماك (بنفس الطريقة التي يتم فيها إعداد وحدة سرير وسائط النمو،القسمان 1–2)**
2. **إعداد الفاصل الميكانيكي والمرشح الحيوي**



1.2 – خذ برميلين زرقاوين بسعة (200 لتر) كما في الشكل (1)، واقطع قطعة في كل برميل حسب ما هو موضح في الأشكال (2–4) باستخدام جلاخة زاوية، وبعد ذلك اغسل كلا البرميلين بالصابون والماء الدافئ جيدا، واتركهما ليجفا في الشمس لمدة 24 ساعة.

2.2 – يمكن استخدام القطع التي تم قطعها من كل برميل؛ كأغطية للبراميل. ويمكن أن تُثبَت على الجزء العلوي من البرميل باستخدام علاقات الكابلات البلاستيكية (الشكلين 5–6).

3. **البرميل رقم 1 – الفاصل الميكانيكي**

أنابيب مدخل/مخرج المياه من الفاصل الميكانيكي

أ. مدخل المياه من حوض الأسماك إلى الفاصل الميكانيكي.

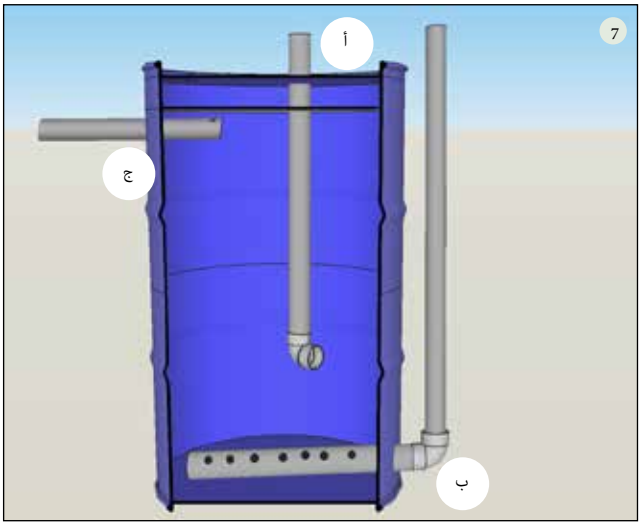
ب. أنبوب صرف المياه في أسفل الفاصل الميكانيكي.

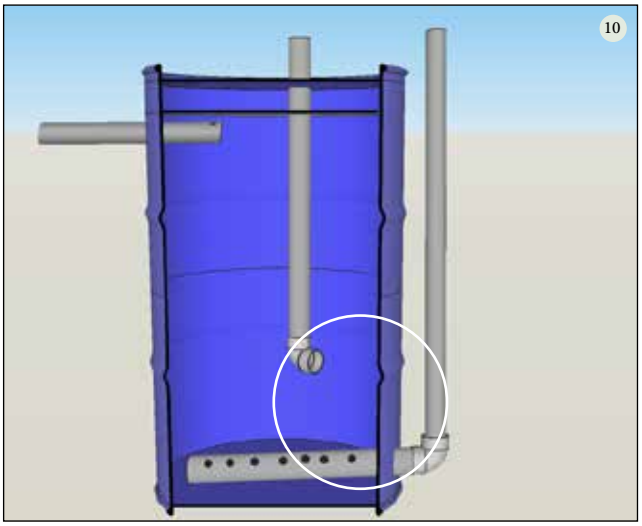
ج. مخرج المياه من الفاصل الميكانيكي إلى المرشح الحيوي.

أنبوب مدخل المياه من حوض الأسماك إلى الفاصل الميكانيكي

1.3 – اصنع ثقبا دائريا بقطر (50 ملم) باستخدام مثقاب بقطر (50 ملم) على السطح العلوي للبرميل، وادخل فيه أنبوب خروج المياه من خزان الأسماك (الشكلين 8–9).

2.3 – قم بمد أنبوب خروج المياه من خزان الأسماك إلى الأسفل داخل برميل الفاصل الميكانيكي، بحيث يكون على ارتفاع مقداره (30 سم) من قاع البرميل، وارفق كوعا بلاستيكيا (50 ملم) إلى أسفل أنبوب المخرج؛ حتى يتدفق الماء بشكل طفيف إلى الحاوية، وإجبار المياه على الدوران (الشكل 10).





أنابيب تصريف المياه في أسفل الفاصل الميكانيكي

3.3 – خذ أنبوبا بلاستيكيا بقطر (50 ملم)، واصنع شقوقا بحجم (2–3 ملم) بشكل أفقي على طول الأنبوب باستخدام جلاخة زاوية (الشكل 11)، ثم اصنع ثقبا بقطر (57 ملم) على السطح الخارجي للبرميل بحوالي (5 سم) فوق القاع، وادخل عازلا مطاطيا Uniseal® بمقاس (50 ملم) كما في الشكل (12)، وبعدها ادخل أنبوب التصريف (بقطر 50 ملم به شقوق) من خلال العازل المطاطي Uniseal®، وقم بتوصيل كوع بلاستيكي (50 ملم) في نهاية الأنبوب خارج البرميل. وأخيرا قم بتوصيل أنبوب بلاستيكي آخر بقطر (50ملم) وبطول (60–70 سم) إلى الكوع الذي قمت بتركيبه سابقا، وتأكد من أن نهاية الأنبوب فوق مستوى المياه الأقصى للبرميل (الشكل 13). وفائدة الشقوق التي على أنابيب التصريف هي السماح للمخلفات الصلبة للدخول عبر الشقوق والتخلص منها إلى خارج البرميل، بواسطة تغيير زاوية الأنبوب الرأسي وسكب الماء من نهايته.

أنبوب النقل الذي يربط الفاصل الميكانيكي بالمرشح الحيوي

4.3 – خذ أنبوبا بلاستيكيا (50 ملم) بطول (65 سم) واصنع نفس الشقوق الأفقية على النحو الوارد أعلاه في (3.3) فقط للجزء الأولي من الأنبوب بطول (25 سم)، باستخدام جلاخة زاوية (الشكل 14). أغلق نهاية الجزء الذي تم إدخاله من الأنبوب بسدادة بلاستيكية بقطر (50 ملم). وبعد ذلك اصنع ثقبا بقطر (57 ملم) بريشة مثقاب دائري بقطر (57 ملم) بمسافة مقدارها (70 سم) من قاع البرميل، وادخل عازلا مطاطيا Uniseal® داخل الفتحة المثقوبة، ثم ادخل أنبوبا بقطر (50 ملم) من خلال العازل المطاطي، وتأكد من أن نهاية الأنبوب الذي طوله (25 سم) والذي به شقوق هو تماما داخل برميل الفاصل الميكانيكي (الشكلين 15–16).

14

15

16

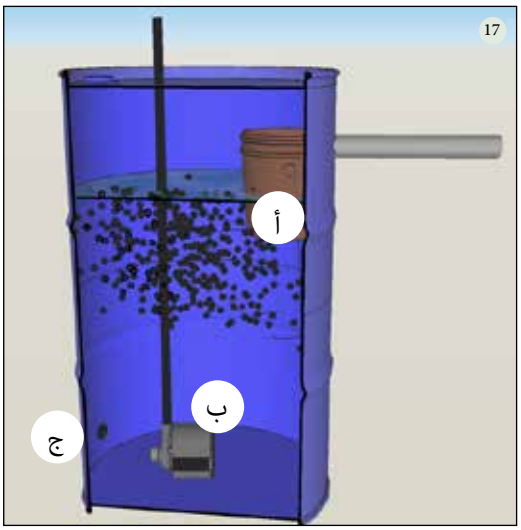
4. برميل رقم 2 – المرشح الحيوي

أنابيب مدخل/مخرج المياه من المرشح الحيوي

أ. مدخل المياه من الفاصل الميكانيكي (الشكل 17).

ب. مخرج المياه من مضخة المياه.

ج. صنبور الصرف.



17

صنبور الصرف 25 ملم

1.4 – اصنع ثقبا بقطر (25 ملم) في أسفل منطقةٍ ممكنةٍ في برميل المرشح الحيوي، وادخل موصل برميل (نوع 25 V ملم) في الثقب واحكم إغلاقه. ثبت الصنبور (25ملم) في موصل البرميل على السطح الخارجي للبرميل، وتأكد من أن الوصلة ملفوفة بشريط التفلون؛ لعزله جيدا لمنع تسرب المياه (الشكل 18). يتم استخدام الصنبور؛ لطرد أي مخلفات صلبة تتراكم في أسفل البرميل الحيوي.

18

أنبوب مدخل المياه من الفاصل الميكانيكي إلى المرشح الحيوي

2.4 – اصنع ثقبا بقطر (57 ملم) باستخدام ريشة مثقاب دائري بقطر (57 ملم) بمسافة مقدارها (70 سم) من قاع البرميل، وادخل عازلا مطاطيا Uniseal® داخل الفتحة المثقوبة (الشكل 19). ضع البرميل الحيوي قريبا من برميل الفاصل الميكانيكي، خذ أنبوبا بلاستيكيا بطول (65 سم)، والذي تم توصيله فعليا ببرميل الفاصل الميكانيكي، وادخله من خلال عازل مطاطي Uniseal® في برميل المرشح الحيوي كذلك. والآن قد تم ربط كلا البرميلين معا باستخدام أنابيب النقل (الشكل 20).

19

20

21

إعداد دلو التقاط المواد الصلبة

3.4 – اصنع ثقبا بقطر (50 ملم) في دلو سعته (20 لترا) بمسافة مقدارها (5 سم) تحت الحافة العليا للدلو (الشكل 21).

4.4 – اصنع ثقوبا لا تقل عن (20 ثقبا) بقطر (8 ملم) في الجزء السفلي من الدلو، باستخدام ريشة مثقاب بقطر (8 ملم)؛ للسماح لاستنزاف المياه في المرشح الحيوي (الشكل 21).

5.4 – ادخل الدلو واسحبه على طول أنبوب النقل الذي بطول (65 سم) داخل المرشح الحيوي (نفس الأنبوب الذي بطول 65 سم، والذي يربط كلا من برميلي الترشيح (الشكلين 22–23).

22

23

6.4 – اصنع ثقبا بقطر (20 ملم) في أنبوب النقل، وادخل قطعة بلاستيكية بطول (6–6 سم)، وبقطر (20 ملم)، كما في الشكل (23)؛ لمنع دلو التقاط المواد الصلبة من الإنزلاق من أنبوب النقل.

24

7.4 – ضع وسائط الترشيح (وفي هذا التكوين نستخدم الحصى البركاني، ويمكن استخدام كل من: القطن الصناعي (perlon)، والإسفنج، أو مرشحات أخرى...) داخل الدلو؛ لالتقاط أي مخلفات صلبة أو أي مواد متبقية وعالقة (الشكل 24).

8.4 – املأ المرشح الحيوي بوسائط الترشيح الحيوية (الكرات الحيوية أو أغطية القنينات).

5. وضع أنابيب النمو لنظام غشاء المغذيات (NFT)

احتياجات المواد لهذا القسم هي كما يلي:

- 48 طوبة خرسانية.
- 1 متر لوح خشبي (السمك 3 سم) × 1
- 1 متر لوح خشبي (السمك 2 سم) × 1
- 1 متر لوح خشبي (السمك 1 سم) × 1

1.5 – ضع الطوب الخرساني وفقا للمسافات كما في الشكل (25). ويتكون كل مسند من (8 طوبات)، عمودين لكل مسند، وكل عمود يتكون من (4 طوبات). ضع ألواح الخشب على الطوب، ضع اللوح الخشبي الذي بسمك (3 سم) على طول العمود الأبعد من الخزان، وضع اللوح الخشبي الذي بسمك (2 سم) على الأعمدة الوسطى، وضع اللوح الخشبي

الذي بسمك (1 سم) على أقرب أعمدة للخزان. وهذا الترتيب يمكن من إنشاء منحدر صغير؛ من أجل السماح للماء بالتدفق بسهولة من خلال أنابيب النمو، والعودة بعد ذلك إلى برميل المرشح الحيوي (الشكل 25).

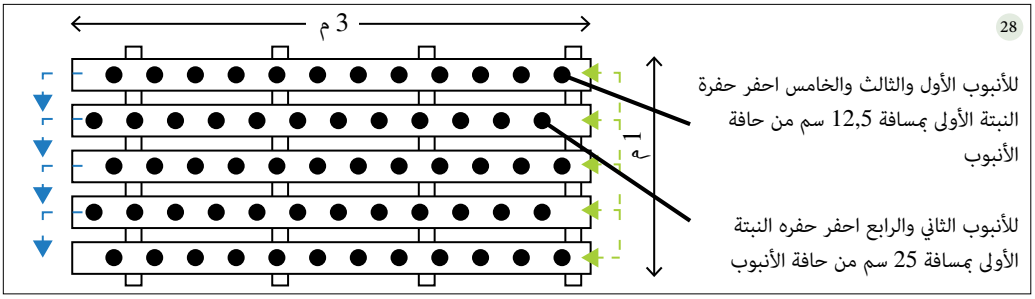
6. ربط أنابيب النمو لنظام غشاء المغذيات (NFT) والاستنزاف المشترك للمياه

احتياجات المواد لهذا القسم هي كما يلي:

- 3 متر من الأنابيب البلاستيكية (110 ملم) × 5
- كوع بلاستيكي (110 ملم) × 2
- وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية (110 ملم) × 4
- سدادة بلاستيكية لنهاية الأنبوب (110 ملم) × 5
- عازل مطاطي (110 ملم) × 15
- صابون طبيعي

1.6 – قم بتوصيل نظام الأنابيب وفقا للشكل (27)، وتأكد من أن كل تركيبات ووصلات الأنابيب لديها عازل مطاطي مشحم تم تركيبه في الداخل باستخدام الصابون الطبيعي كمادة للتشحيم (الشكل 26).

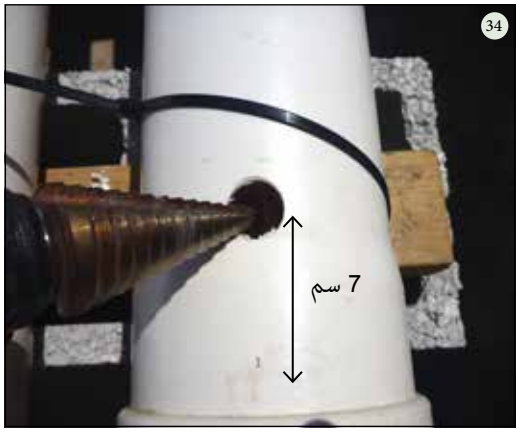
7. صناعة ثقوب النباتات

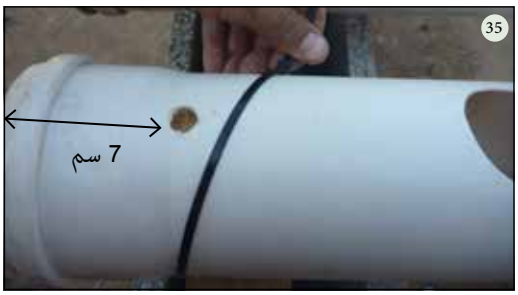


1.7 – ضع أنابيب النمو لنظام غشاء المغذيات (NFT) على الطوب وألواح الخشب، وقم بتركيب سدادات نهاية الأنابيب (110 ملم) على نهايات الأنابيب الأبعد من حوض الأسماك (الشكل 30). وهناك طريقة فاعلة لصناعة الثقوب، وهي مد قطعة رقيقة من حبل على طول الجزء العلوي من كل أنبوب؛ لوضع الحفر بمسافات موحدة وبدقة.

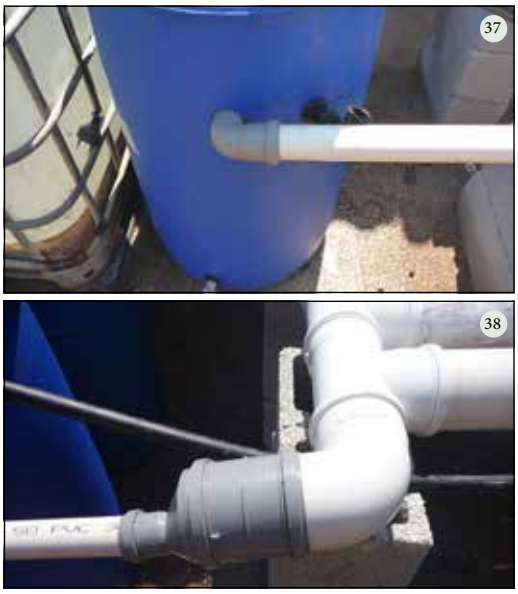
2.7 – قم بوضع نقطة لكل (25 سم) على طول الحبل (الشكل 29) والتي ستكون نقطة المركز للثقوب. اصنع الثقوب (الشكل 33) وفقا لحجم الأكواب الشبكية؛ من أجل الحصول على مساحة مثالية لنمو النباتات اتبع النمط المثلثي، كما هو مبين في الشكلين (28 و31).

3.7 – أخيرا اصنع ثقوبا بقطر (20 ملم)، 7 سم من نهايات الأنابيب الأبعد من خزان الأسماك؛ للسماح للمياه بالدخول إلى أنابيب النمو (الشكل 34).





4.7 – تثبيت أنابيب النمو بألواح الخشب باستخدام علاقات الكابلات البلاستكية (الشكل 35).



8. توصيل نهاية أنابيب النمو بالمرشح الحيوي

1.8 – خذ وصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية (110 ملم) وأوصلها بالكوع البلاستيكي النهائي الذي بقطر (110 ملم) للمزراب المشترك لأنابيب وحدة غشاء المغذيات (NFT) كما في الشكل (27)، والذي تم تركيبه بسلسلة من الوصلات على شكل الحرف "T" بمقاس (110 ملم). ثم ارفق مخفض قطر الأنبوب البلاستيكي (110–50 ملم) بوصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية (110 ملم)، وهذا الاستنزاف المشترك يجب أن يوصل بالمرشح الحيوي. اصنع ثقبا بقطر (50 ملم) على السطح الخارجي للمرشح الحيوي بمقدار (10 سم) أدنى من مستوى الجزء السفلي لأنابيب النمو. ثبت كوعا بلاستيكيا بمقاس (50 ملم) في هذا الثقب، واستخدم أنبوبا بلاستيكيا (50 ملم)؛ لتوصيل الكوع (50 ملم) إلى المخفض (110–50 ملم)، والسماح للماء بالتدفق من أنابيب النمو مرة أخرى في برميل المرشح الحيوي (الأشكال 36–38).

9. تركيب أنابيب توزيع المياه لكل أنبوب نمو في وحدة غشاء المغذيات (NFT)

احتياجات المواد لهذا القسم هي كما يلي:

- صنبور بلاستيكي يعمل بالضغط على المفتاح وتدويره (20 ملم) × 5
- وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية، يتم توصيلها بالأنبوب بواسطة الضغط (20 ملم) × 4
- كوع بلاستيكي يتم توصيله بالأنبوب بواسطة الضغط (20 ملم) × 2
- أنابيب البولي إيثيلين (20 ملم)
- محول بلاستيكي (20 ملم × 3/4 بوصة) × 1
- كوع بلاستيكي (25 ملم × 3/4 بوصة) أنثى
- شريط تفلون للسباكة

1.9 – ربط جميع الأنابيب والتجهيزات وفقا للشكلين (39–40).

10. إضافة المضخة الغاطسة

1.10 – لهذه الوحدة يتم وضع مضخة غاطسة في أسفل برميل المرشح الحيوي (الشكلين 41أ–41ب)، ويتم ضخ المياه من هناك إلى موقعين: أنابيب النمو لوحدة غشاء المغذيات (NFT)، وحوض الأسماك. وتتدفق ما مقداره 80–90% من المياه إلى حوض الأسماك في حين تتدفق 10–20% من المياه في أنابيب النمو، وتستخدم الصنابير؛ للسيطرة على مستوى تدفق المياه في كل موقع.

41 أ

41 ب

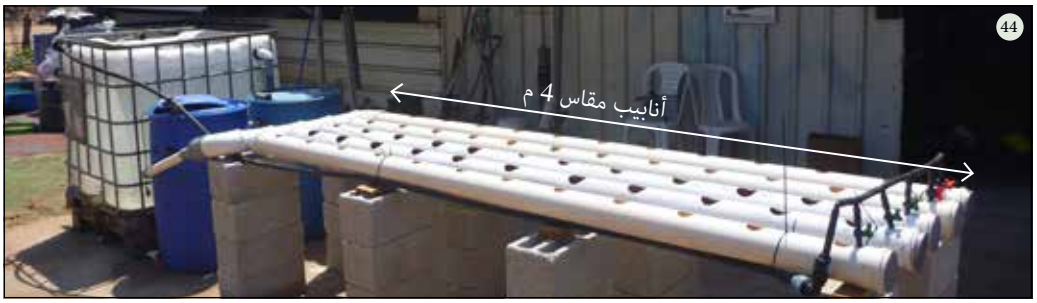
11. الضخ إلى خزان الأسماك

1.11 – قم بتوصيل المضخة الغاطسة إلى أنبوب البولي إيثيلين بقطر (25 ملم) باستخدام محول بلاستيكي (25 ملم–1 بوصة) PVC أنثى، أو أي وصلة تناسب المضخة، وأنبوب البولي إيثيلين الذي هو بقطر (25 ملم) ينبغي أن يكون على الأقل بطول (1 متر). وضع وصلة على شكل حرف "T" بلاستيكية بقطر (25 ملم) في نهاية الأنبوب؛ للسماح لتدفق المياه إلى خزان الأسماك وأنابيب النمو (الشكلين 42–43).

42

43

2.11 – أوصل أنبوبا بلاستيكيا بقطر (25 ملم) إلى طرف واحد من أطراف من نهاية الوصلة التي على شكل حرف "T" (الشكل 42)، وطويل بما فيه الكفاية؛ للوصول إلى حوض الأسماك (الشكل 44). استخدم أنابيبَ مرنة إن أمكن؛ للاستغناء عن أية وصلات إضافية، والذي من شأنه أن يقلل من قدرة ضخ المضخة. أوصل الصنبور (25 ملم) في نهاية الأنبوب؛ للتحكم في تدفق المياه القادمة إلى حوض الأسماك (الشكل 44).



44

3.11 – بعد ذلك خذ أنبوبا بلاستيكيا بطول حوالي (4 متر)، وبقطر (25 ملم) وألحقه بالطرف الآخر من وصلة الحرف "T" البلاستيكية التي هي بقطر (25 ملم) القادمة من أنبوب مضخة المياه داخل المرشح الحيوي. وأوصل هذا الأنبوب الذي هو بقطر (25 ملم)، إلى مشعب التوزيع، من خلال وصلة كوع بلاستيكي أنثى بقطر (25 ملم–3/4 بوصة) كما في الشكل (40)، والذي من شأنه توفير المياه لكل أنابيب النمو في وحدة غشاء المغذيات (NFT) كما في (الشكل 44).

12. الصندوق الكهربائي + مضخة الهواء

1.12 – ضع الصندوق الكهربائي في مكان آمن أعلى من مستوى المياه وظلله من أشعة الشمس المباشرة (الشكل 45). تأكد من أنه لا يزال عازلا للمياه بعد توصيل مقابس مضخة الماء ومضخة الهواء، وضع حجارة تذويب الهواء داخل حوض الأسماك (الشكل 46).

45

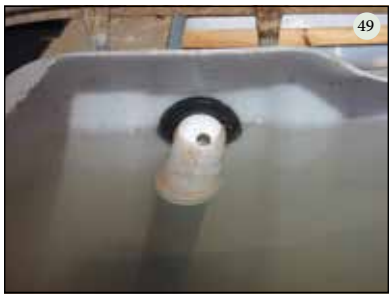
46

13. الفحوصات النهائية

1.13 – جميع أجزاء النظام هي الآن في مكانها. قبل إضافة الأمونيا للتدوير والأسماك أو النباتات، قم بملء الخزان وكلا المرشحين بالمياه وشغل المضخة؛ للتحقق من أي تسرب في النظام. وإذا ظهرت تسريبات أصلحها على الفور (الأشكال 47–49). وتظهر الخطوات التالية هذه العملية.

47

48


49

اختبار تصريف الفاصل الميكانيكي (الأشكال 50–52).

50

51

52

- املأ المرشح الحيوي بوسائط الترشيح والمياه (الشكلين 53 أ و53 ب).
- املأ الفاصل الميكانيكي بالماء (الشكل 54).
- الفاصل الميكانيكي والمرشح الحيوي (الشكل 55).
- احكم وصلات السباكة.
- افحص جميع العوازل المطاطية Uniseal® والصنابير لكلا المرشحين.
- إعادة وضع شريط التفلون للوصلات المسننة.
- تأكد من أن جميع الصمامات في موقعها المثالي.

وأخيرا، تحقق من معدل تدفق المياه في كل أنبوب النمو في وحدة غشاء المغذيات (NFT). ويمكن قياس معدل التدفق باستخدام ساعة توقيت وقنينة بلاستيكية بسعة (1 لتر)، ومعدل تدفق مقداره 1–2 لتر/دقيقة، والذي هو المعيار في أنابيب النمو، يستغرق دقيقة واحدة لملء القنينة التي هي بسعة لتر واحد (1 لتر/دقيقة) أو 30 ثانية إذا كان التدفق (2 لتر/دقيقة) (الشكل 56).

وبعد أن يتم إصلاح كل التسريبات والماء يتدفق بسلاسة من خلال جميع المكونات، فمن الممكن أن تبدأ بتدوير الوحدة باستخدام الأمونيا (انظر الفصل الخامس من هذا الدليل لمزيد من التفاصيل حول هذه العملية).

14. الزراعة – إعداد أكواب النباتات

1.14 – للقيام بزراعة شتلات النباتات، اتبع ما هو مبين في الأرقام التالية، وتأكد من أن كوب النبتة لديه ما يكفي من الثقوب؛ للسماح لنظام الجذر لينمو ويخرج من خلال الكوب إلى أنابيب النمو، وكما يحمي الكوب أيضا وسائط النمو من السقوط. وكوب النبتة يتكون من كوب بلاستيكي شبكي وقطعة أنبوب بلاستيكي (بطول 10 سم، وبقطر 50 ملم) كما في (الأشكال 57–59).

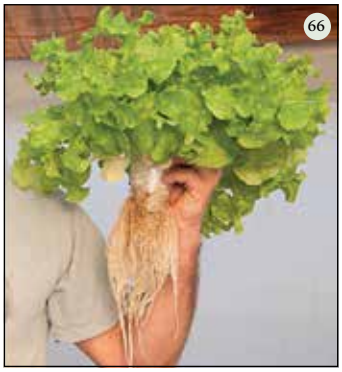
الكوب المصنوع من البلاستيك البسيط/أكواب الورق والقنينات البلاستيكية (الشكلين 60–61)، ويمكن مشاهدة جذور النباتات بشكل واضح (الأشكال 62–66).

61

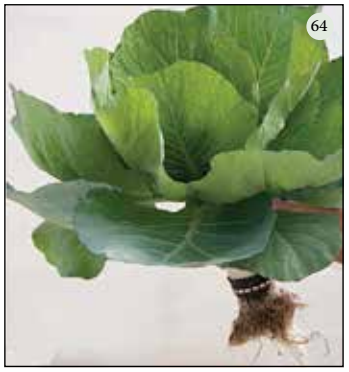
60

63

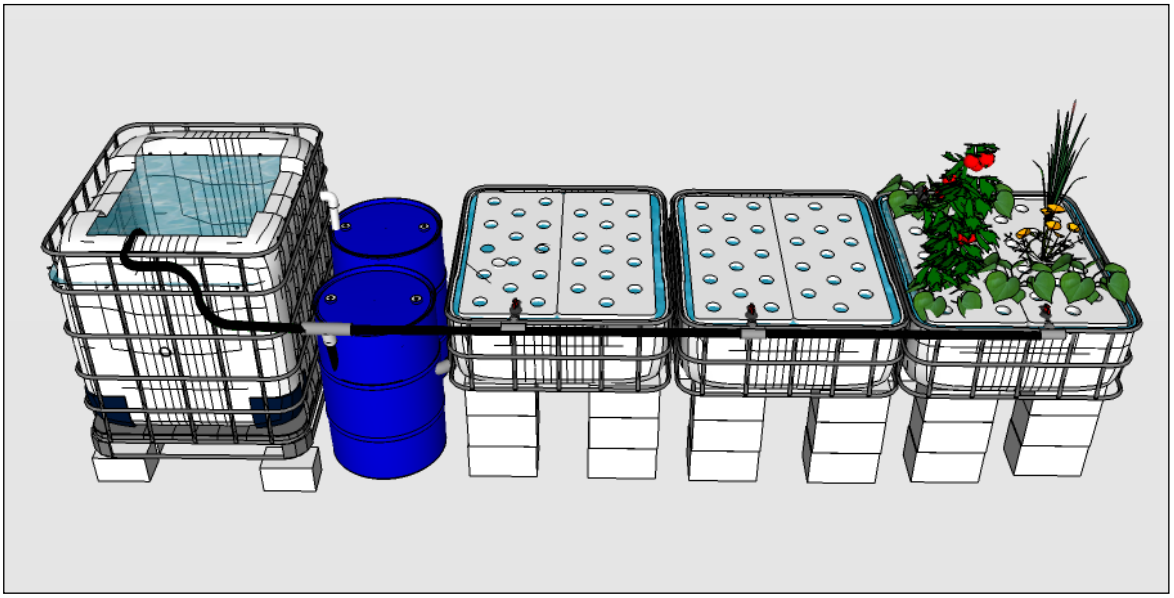
62

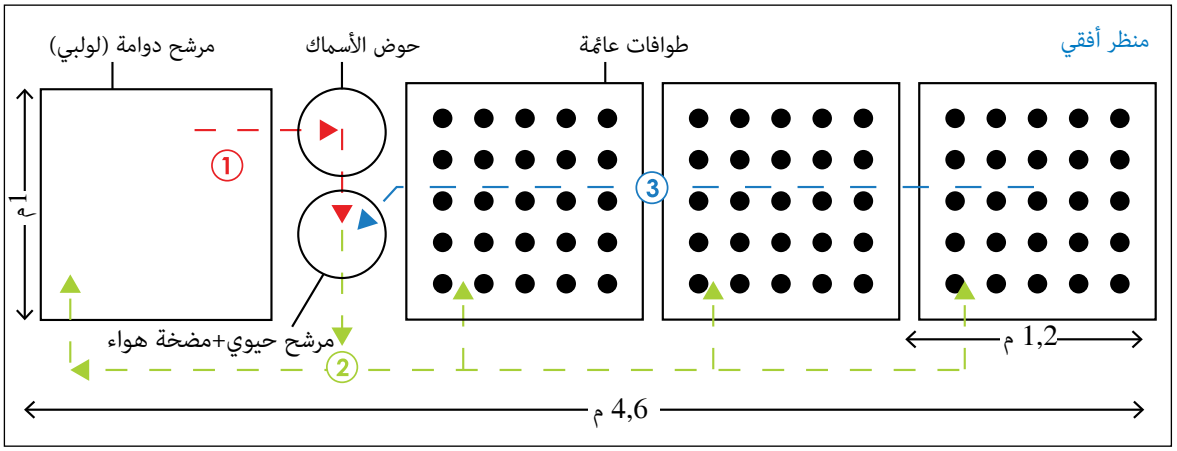

66

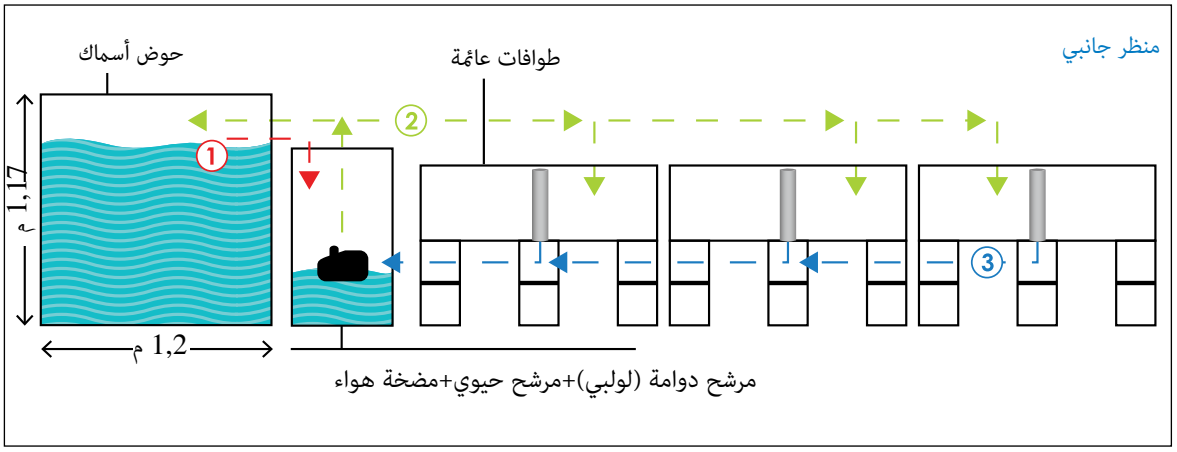
65


64

القسم 3 – وحدة تقنية الزراعة في المياه العميقة (DWC)







مخطط تدفق المياه

① تتدفق المياه بواسطة الجاذبية من خزان الأسماك إلى المرشح الدوامة (swirl filter) والمرشح الحيوي.

② يتم ضخ المياه باستخدام مضخة غاطسة، من المرشح الحيوي إلى حوض الأسماك بمقدار (80% من التدفق)، وإلى قنوات النمو (DWC) بمقدار (20% من التدفق).

③ تتدفق المياه مرة أخرى من قنوات النمو إلى المرشح الحيوي.

الجدول م5.8

قائمة بالمواد المطلوبة لصناعة وحدة المياه العميقة (DWC)

	اسم الصنف	رقم الصنف من الجدول (م1.8)	العدد
1	الحاوية الوسيطة (IBC)	1	3
2	دلو (20 لتر)	28	1
3	برميل بسعة 200 لتر (أزرق)	2	2
4	وسائط المرشح الحيوي (كرات حيوية أو أغطية قنينات)	34	80–40 لتر
5	مضخة مياه غاطسة (الحد الأدنى 2000 لتر/ساعة)	7	1
6	مضخة هواء (10 واط/ساعة) مع أربعة مخارج للهواء*	29	1* (2)
7	أنابيب هواء مرنة	30	10 متر
8	حجارة تذويب الهواء	32	4
9	طوب خرساني	5	40
10	خشب (8 × 1 سم)	6	8 متر
11	مواد تظليل	3	2 م^2
12	شبك غرف الأسماك	33	1
13	شريط تفلون للسباكة	10	1
14	أشرطة ربط الكابلات	11	25
15	صندوق كهربائي (ضد الماء)	12	1
16	كوب شبكي	36	80
17	حصى بركاني (4–20 ملم)	35	30 لتر
18	صفيحة من البوليستيرين	9	3 م^2
19	الصابون البيئي، أو زيوت التشحيم	8	1
	الأنابيب والوصلات البلاستيكية PVC		
20	صنبور بلاستيكي PVC، أومعدني (3/4 بوصة) ذكر إلى أنثى	27	4
21	صنبور بلاستيكي PVC، أومعدني (1 بوصة) ذكر إلى أنثى	47	1
22	كوع بلاستيكي (25 ملم × 3/4 بوصة) PVC ذكر	24	3
23	كوع بلاستيكي (25 ملم × 3/4 بوصة) PVC أنثى	49	1
24	وصلة بلاستيكية (25 ملم – 1 بوصة) PVC على شكل حرف "T" أنثى	53	2
25	وصلة بلاستيكية (25 ملم – 3/4 بوصة) PVC على شكل حرف "T" أنثى	57	2
26	كوع بلاستيكي (25 ملم × 1 بوصة) PVC أنثى	23	2
27	كوع بلاستيكي (25 ملم × 3/4 بوصة) PVC أنثى	49	1
28	محول بلاستيكي (25 ملم × 3/4 بوصة) PVC	52	1
29	وصلة بلاستيكية (25 ملم × 3/4 بوصة) PVC أنثى	21	3
30	وصلة برميل PVC بلاستيكية (1 بوصة) – (V- type)	46	5
31	أنبوب البولي إيثيلين (20، 25 ملم)	17	8 متر
32	وصلة بلاستيكية (25 ملم × 3/4 بوصة) PVC على شكل حرف "T" أنثى	59	1
33	أنبوب بلاستيكي (25 ملم) PVC	16	0,9 متر
34	أنبوب بلاستيكي (50 ملم) PVC	14	2 متر
35	عازل مطاطي (50 ملم) Uniseal®	18	5
36	كوع بلاستيكي (50 ملم) PVC	37	6
37	وصلة تقارن مستقيمة بلاستيكية (50 ملم) PVC	38	5
38	سدادة نهاية أنبوب بلاستيكية (50 ملم) PVC	40	1
39	حلقات مطاطية عازلة (50 ملم)	19	10

1. إعداد حوض الأسماك (شبيه بسرير وسائط النمو في القسمين 1 و2).

2. إعداد الفاصل الميكانيكي والمرشح الحيوي (شبيهة بوحدة غشاء المغذيات NFT، الأقسام 1–4).

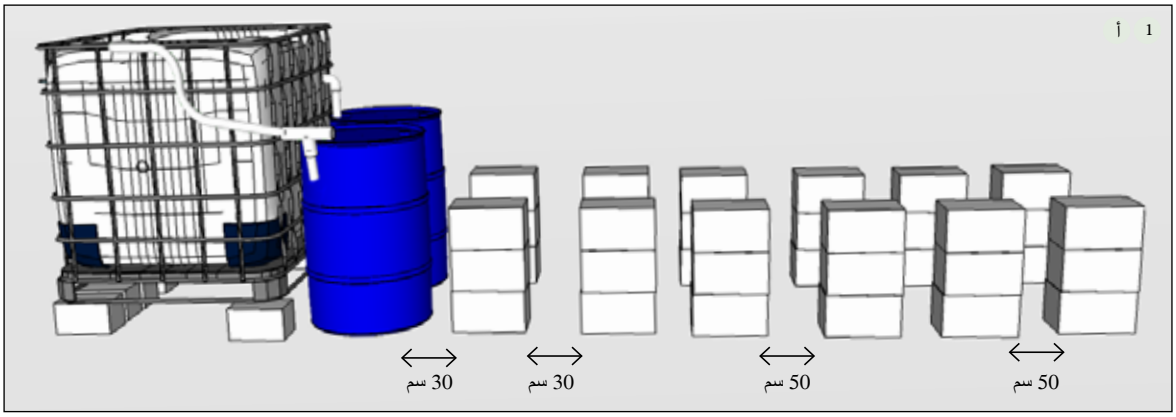
3. إعداد 3 قنوات للمياه العميقة (DWC) من عدد 2 من الحاويات الوسيطة (IBC) (شبيهه بسرير وسائط النمو، القسم 4).

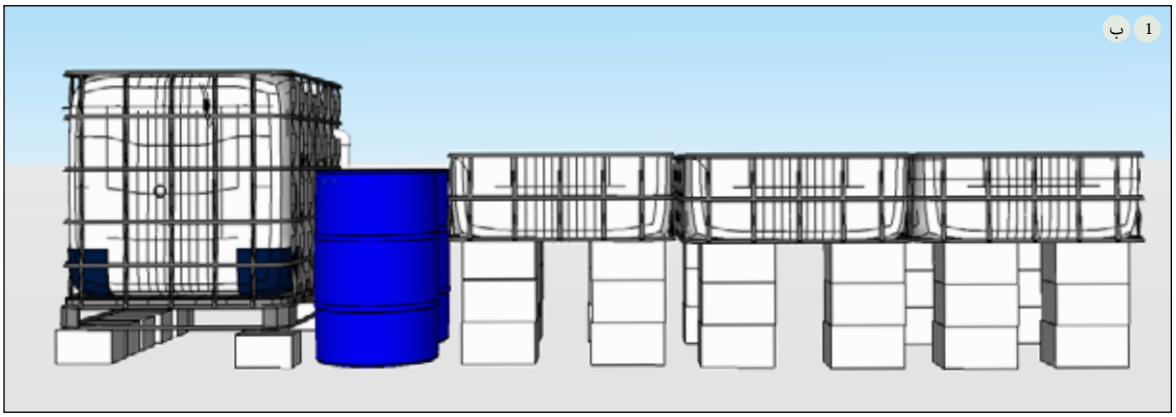
4. الخطوات الأولية في إنشاء نظام الزراعة في المياه العميقة (DWC)

اتبع الخطوات الواردة في الأقسام السابقة لإنشاء حوض الأسماك والفاصل الميكانيكي، والمرشح الحيوي و (3 قنوات) للمياه العميقة (DWC) من عدد (2 من الحاويات الوسيطة IBC)، وبمجرد الإنتهاء اشرع في تجميع قنوات النمو. ولنظام الزراعة في المياه العميقة (DWC)، والجزء المقطوع من الحاوية الذي يستخدم كخزان لتجميع المياه في نظام سرير وسائط النمو يمكن أن يستخدم هنا كقناة نمو رابعة، وستكون هناك حاجة إلى طوب إضافي وأعمال سباكة إضافية؛ لتثبيت قناة النمو الرابعة.

5. تجميع أجزاء قنوات الزراعة في المياه العميقة (DWC)

1.5 – ضع الطوب الخرساني وفقا للمسافات التي تم وصفها في (الشكل 1أ)، يجب رفع خزان الأسماك حوالي (15 سم)، وقم بذلك باستخدام الطوب الخرساني، ثم ضع أسرة النمو الثلاثة (بما في ذلك إطارات الدعم المعدنية) على الطوب كما هو مبين في (الشكل 1ب)، (تأكد من أن أسرة النمو مستقرة على الطوب، وإذا لم تكن كذلك فـقم بإعادة ضبط الطوب الذي في الأسفل قليلا).





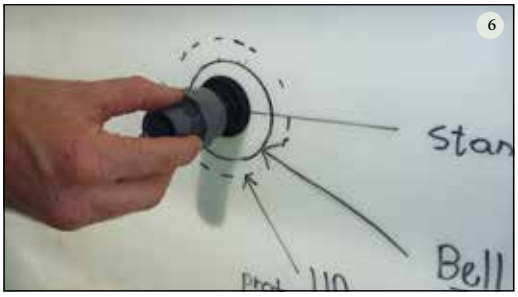
6. تهيئة أنبوب التصريف في المرشح الحيوي

هناك حاجة إلى المواد التالية؛ لإعداد ثلاث وحدات من أنابيب التصريف:

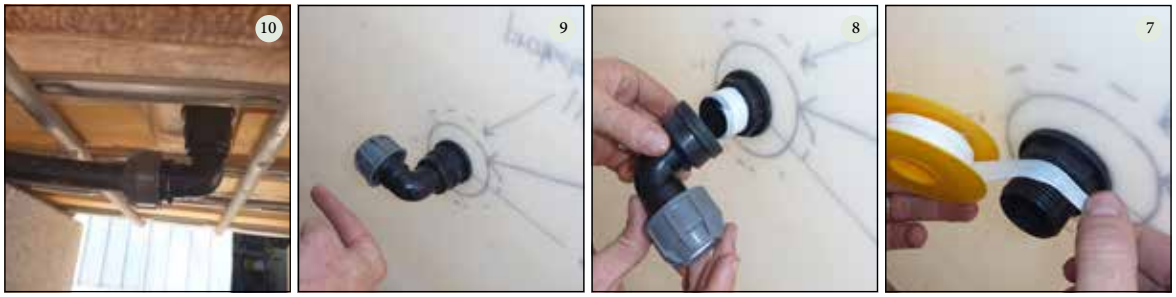
- أنبوب بلاستيكي بطول 24 سم (25 ملم) × 3
- موصلات برميل بلاستيكية (25 ملم) × 3
- محول بلاستيكي (1 بوصة – 25 ملم) × 3، أنثى
- كوع بلاستيكي (1 بوصة – 25 ملم) × 1 أنثى
- وصلة الحرف "T" بلاستيكية (25 ملم – 1 بوصة [أنثى] – 25 ملم) × 2
- عازل مطاطي (25 ملم) × 3

1.6 – خذ كل قناة من قنوات وحدة الزراعة في المياه العميقة (DWC) كلا على حدة، وضع علامة في المركز في الجزء السفلي من القناة. اصنع ثقبا قطره (25 ملم) في كل علامة مركز، وادخل موصل برميل (25 ملم) في العازل المطاطي الذي وضع داخل سرير النمو، ثم شده بإحكام على جانبي الموصل باستخدام مفتاح ربط الأنابيب (الأشكال 2–4).

2.6 – شد محول بلاستيكي أنثى (1 بوصة – 25 ملم) بموصل البرميل (25 ملم) الذي بداخل الخزانات، ومن ثم ادخل الأنبوب الرأسي في المحول. تأكد من قطع خمس فتحات طولية على الطرف العلوي من الأنبوب الرأسي؛ لمنع انسداد الأنبوب (الشكلين 5–6).

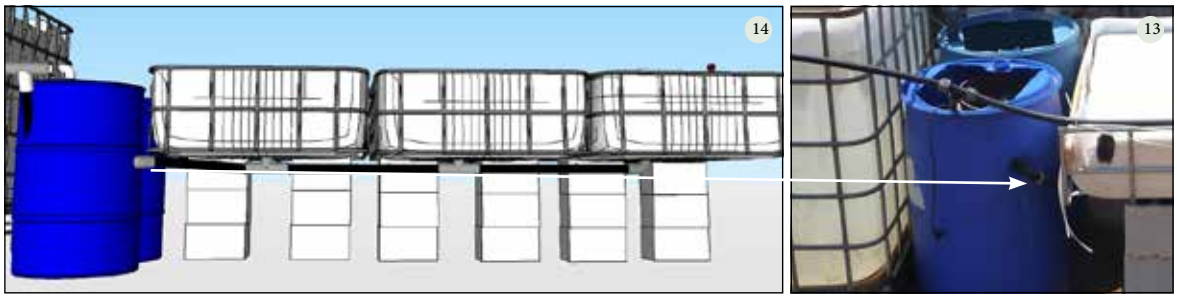


3.6 – وبعد ذلك أوصل كوعا بلاستيكيا أنثى (25 ملم – 1 بوصة) في نهاية موصل البرميل تحت قناة النمو الأبعد من حوض الأسماك كما في الأشكال (7–10)، ثم قم بتركيب وصلتي الحرف "T" البلاستيكية المتبقيتين (25 ملم – 1 بوصة [إناث] – 25 ملم) إلى موصلات البرميل تحت القنوات الأخرى. خذ ثلاث قطع من الأنابيب البلاستيكية كل منها بطول (1 متر)، (25 ملم) وأوصل الكوع إلى وصلتي الحرف "T" تحت القنوات (الأشكال 11–12).



التوصيلات بين القنوات أ، وب، وج.

4.6 – وأخيرا اصنع ثقبا قطره (25 ملم) وعلى جانب برميل المرشح الحيوي باستخدام مثقاب دائري، وينخفض عن مستوى ارتفاع الأنبوب الرأسي في قنوات النمو بمقدار (15 سم) كأقل تقدير، وادخل موصل برميل (1 بوصة) في ذلك الثقب. بعد ذلك أوصل كوعا بلاستيكيا (25 ملم – 1 بوصة) إلى موصل البرميل، ومن ثم خذ قطعة أنبوب بلاستيكي واحدة (25 ملم)، وأوصل الكوع البلاستيكي (25 ملم – 1 بوصة) الذي في مخرج المرشح الحيوي بوصلة الحرف "T" البلاستيكية التي تحت الخزان (أ)، وادخل الطرف الآخر في الفتحة التي هي بمقاس (25 ملم) في المرشح الحيوي (الشكلين 13–14).



7. إضافة المضخة الغاطسة

لهذه الوحدة، يتم وضع مضخة غاطسة في أسفل برميل المرشح الحيوي (الشكلين 15–16).

يتم ضخ المياه من هناك إلى موقعين: القنوات الثلاث لنمو النباتات وخزان الأسماك، وتتدفق 80% من المياه إلى خزان الأسماك، في حين تتدفق 20% في قنوات نمو النباتات، وتستخدم الصنابير؛ للسيطرة على تدفق المياه في كل موقع كما في (الشكل 17).

17

8. الضخ إلى خزان الأسماك وقنوات الزراعة في المياه العميقة (DWC)

1.8– صل المضخة الغاطسة بقطعة أنبوب من البولي إيثيلين بقطر (25 ملم) باستخدام محول (1 بوصة أنثى – 25 ملم)، أو أية وصلة أخرى تناسبها المضخة، وينبغي أن تكون الأنابيب على الأقل بطول (1 متر). ضع وصلة (25 ملم) "T" في نهاية الأنبوب بما يسمح للمياه بالتدفق إلى حوض الأسماك والقنوات كما في (الشكل 18).

18

2.8– صل أنبوب طويل بما فيه الكفاية بقطر (25 ملم) إلى واحدة من أطراف وصلة "T"؛ للوصول إلى خزان الأسماك. استخدم أنبوبا مرنا إذا أمكن؛ لأن هذا يزيل الحاجة إلى وصلات الكوع، والتي تقلل من قدرة الضخ للمضخة (الشكل 19). أوصل الصنبور (25 ملم) بنهاية الأنبوب؛ للسيطرة على المياه التي تصب في حوض الأسماك.

19

3.8– بعد ذلك خذ أنبوبا من البولي إيثيلين (25 ملم) بطول حوالي (3,5 مترا)، وأوصل طرفا من أطرافه بوصلة (25 ملم) "T" المتبقية القادمة من المضخة إلى المرشح الحيوي، ثم خذ أنبوب بطول (3,5 مترا)، وضعه على طول قنوات الزراعة في المياه العميقة (DWC)، وفي كل قناة قم بإضافة وصلة (25 ملم – 3/4 بوصة – 25ملم)، وصنبور (3/4 بوصة ذكر – 3/4 بوصة أنثى)، وكوع بلاستيكي (25ملم – 3/4 بوصة ذكر)؛ مما يسمح بتدفق المياه في كل قناة في زاوية (الأشكال 20–22). وفي أبعد قناة نمو من حوض الأسماك استخدم كوعا بلاستيكيا (25 ملم – 3/4 بوصة أنثى) بدلا من وصلة "T". تأكد من تثبيت الأنابيب إلى الإطار المعدني بواسطة علاقات الكابلات البلاستيكية.

20

22

21

9. تركيب مضخة الهواء والحجارة

1.9 – لهذه الوحدة يتم استخدام مضخة الهواء؛ لدمج الهواء في قنوات الزراعة في المياه العميقة (DWC). وينبغي أن توضع مضخة الهواء في صندوق محمي في أعلى نقطة في النظام (مثلا تعلق على جانب خزان الأسماك) كما في (الشكل 25). خذ أنبوب هواء مرن بطول (4–6 م) وبقطر (8 ملم)، وأوصل إحدى نهايات الأنبوب بمضخة الهواء، ومد الأنبوب على جانب جميع قنوات الزراعة في المياه العميقة (DWC)، وعلى كل قناة نمو اصنع ثقبا بقطر (8 ملم) في أعلى خزان قناة النمو بحوالي (1–2 سم) من الحافة العلوية لكل قناة، وادخل أنبوب الهواء (8 ملم) من خلال كل فتحة من هذه الفتحات.

2.9 – أوصل حجارة تذويب الهواء إلى أنابيب الهواء المرنة التي بقطر (8 ملم)، توضع الأنابيب بجانب مدخل المياه الجارية؛ لضمان التشبع الكامل للأكسيجين في القناة. كرر نفس عملية توصيل حجارة تذويب الهواء لحوض الأسماك أيضا (الأشكال 23، 24 و26).

23

24

25

26

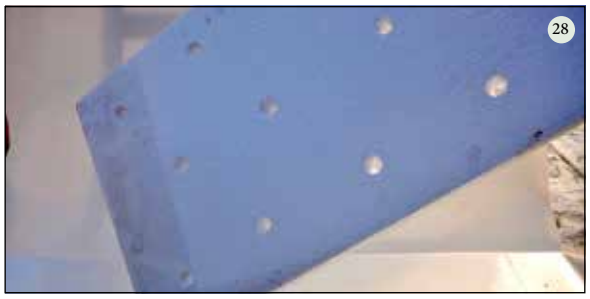
3.9 – ثبت الأنابيب بالإطار المعدني بواسطة علاقات الكابلات البلاستيكية.

10. إعداد الطوافات

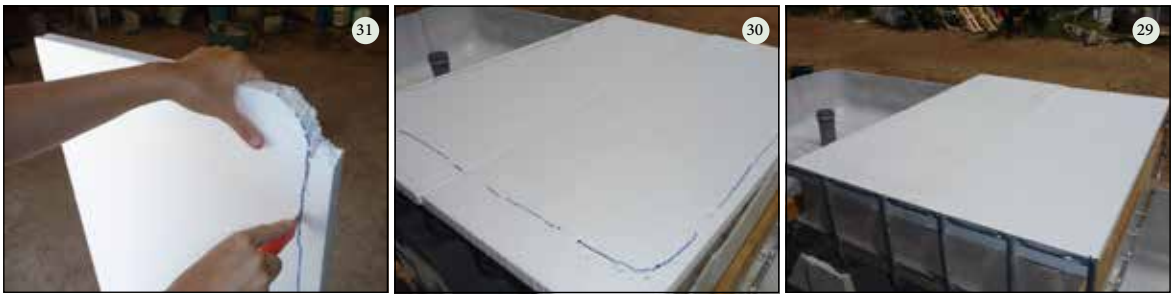
المبادئ الأساسية والقواعد العامة لإعداد طوافات البوليسترين:

- جميع المياه في القنوات يجب تغطيتها بالكامل (عدم التعرض للضوء).
- اختيار صفيحة من البوليستيرين بسمك (3 سم) على الأقل؛ لكي تتحمل وزن الخضراوات.
- يجب أن يكون البوليستيرين خاملا، ولا يُفرج أي سموم إلى الماء (تأكد من أنها آمنة لإنتاج الغذاء، أو نوعية خاصة للاستخدام مع الغذاء)، ويمكن أيضا أن تستخدم الخشب الرقائقي المطلي.
- أحجام ثقوب النباتات ومسافة التباعد تعتمد على نوع الخضار التي سيتم غرسها. وحجم الثقب يمكن أن يتراوح بين 16 ملم (لزراعة الشتلات مباشرة في الطوافات دون أكواب [الشكل 28]) إلى 30 ملم. وهذا يعتمد على حجم الأكواب الشبكية المتاحة (الشكل 27).

27


28

1.10 – ضع صفيحة البوليستيرين على قنوات الزراعة في المياه العميقة (DWC)، وقم بوضع خطوط؛ لتحديد حواف كل طوافة. باستخدام سكين اقطع الخطوط التي تم رسمها على الصفيحة (الأشكال 29–31).



2.10 – احفر ثقوب النباتات (الشكلين 34 و35) باستخدام مثقاب دائري (الشكلين 36 و37). وإلى جانب فتحات الزراعة، تأكد من صناعة فتحة واحدة للأنبوب الرأسي لكل قناة (الشكلين 32 و33).

11. الفحوصات النهائية

عندما تكون جميع أجزاء النظام في مكانها، قم بملء خزان الأسماك، وكلا المرشحين، وقنوات نمو النباتات (الأشكال 38–43) بالمياه، وشغّل المضخة؛ للتحقق من أي تسرب في النظام، وإذا ظهرت تسريبات أصلحها على الفور. و تظهر الخطوات التالية هذه العملية.

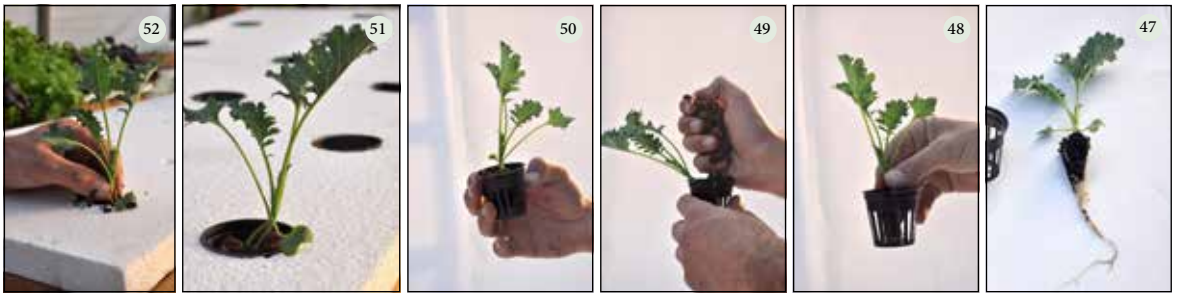
- أحكم وصلات السباكة.
- افحص جميع العوازل المطاطية Uniseal® والصنابير لكلا المرشحين.
- إعادة وضع شريط التفلون للوصلات المسننة.
- تأكد من أن جميع الصمامات في موقعها المثالي.

تأمين جميع الأنابيب المتبقية باستخدام علاقات الكابلات البلاستيكية (الشكلين 45 و46).

وأخيرا تحقق من معدل تدفق المياه في كل قناة نمو في وحدة الزراعة في المياه العميقة (DWC). مع العلم أن حجم كل قناة حوالي (300 لتر)، وينبغي أن يكون معدل التدفق المثالي لكل قناة (75–300 لتر) في الساعة وفقا لوقت مكوث الماء في كل قناة (1–4 ساعات) المذكورة في الفصل الرابع من هذا الدليل. ويمكن قياس معدل التدفق باستخدام ساعة توقيت وقنينة بلاستيكية بسعة (1 لتر) كما في الشكل (44). وبمعدل تدفق مقداره (75 لتر/ساعة)؛ لملء القنينة التي هي بسعة لتر واحد يستغرق (48 ثانية)، ويستغرق 12 ثانية إذا كان التدفق (300 لتر/ساعة)، وبعد أن يتم إصلاح كل التسريبات والماء يتدفق بسلاسة من خلال جميع المكونات، فمن الممكن أن تبدأ بتدوير الوحدة باستخدام الأمونيا؛

لتحفيز البكتيريا الآزوتية (انظر الفصل الخامس من هذا الدليل؛ لمزيد من التفاصيل حول هذه العملية).

عملية الزرع بالأكواب (الأشكال 47–51) وبدون أكواب (الشكل 52).



النظام المكتمل (الشكل 53).

نشرة مرجعية مختصرة
عن الزراعة الأحيومائية

ملحوظة: يتضمن هذا القسم إعادة طرح ملخصات فصول الدليل حول الزراعة الأحيومائية الذي نشرته منظمة الأغذية والزراعة (انظر المرجع أدناه). والمقصود من هذا الجزء من الدليل أن يكون ملحقا قصيرا وسهلا للطباعة، وأن يستخدم في التعليم والإرشاد والتوعية. وهو يستهدف الطلبة والعمال والمزارعين.

ويمكن الاطلاع على الورقة التقنية الكاملة في العنوان التالي: www.fao.org/publications/ar/

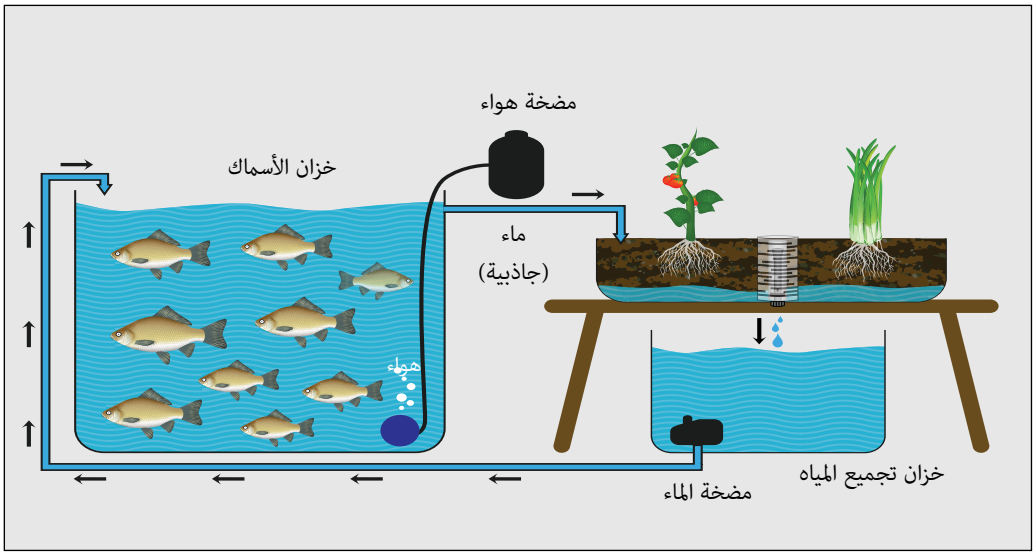
منظمة الأغذية والزراعة. 2016.
إنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية على نطاق صغير. الزراعة السمكية النباتية التكاملية، من قبل Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A.
ورقة فنية عن مصايد الأسماك وتربية الأحياء المائية صادرة عن منظمة الأغذية والزراعة رقم ٥٨٩. روما، إيطاليا.

مقدمة عن الزراعة الأحيومائية

الزراعة الأحيومائية هي عملية تكامل بين نظام تربية الأحياء المائية المغلق (RAS) والزراعة المائية في نظام إنتاج واحد. وفي وحدة الزراعة الأحيومائية يدور الماء المصرّف من خزان الأسماك من خلال المرشحات وأسرة نمو النباتات، ومن ثم يعود إلى الأسماك. وفي المرشحات يتم تنظيف المياه من مخلفات الأسماك بواسطة المرشح الميكانيكي الذي يزيل الجزء الصلب من المخلفات، ويعمل المرشح الحيوي على معالجة المخلفات الذائبة. ويوفر المرشح الحيوي كذلك موقعا للبكتيريا؛ لتحويل الأمونيا التي تعتبر مادة سامة بالنسبة للأسماك إلى نترات، وهو العنصر الغذائي الأكثر وصولا للنباتات، وتسمى هذه العملية بالنترجة، يعبر الماء (الذي يحتوي على نترات وعناصر مغذية أخرى) من خلال سرير نمو النباتات التي تعمل على امتصاص هذه العناصر الغذائية. وأخيرا يعود الماء إلى خزان الأسماك منقى، وهذه العملية تسمح للأسماك والنباتات والبكتيريا بالازدهار في تناغم تام، وتعمل معا لخلق بيئة نمو صحية لبعضها البعض، شريطة أن يكون نظاما متوازنا بشكل صحيح. على الرغم من أن إنتاج الأسماك والخضراوات هي المخرجات الأكثر وضوحا من وحدات الزراعة الأحيومائية، فمن الضروري أن نفهم أن الزراعة الأحيومائية هي إدارة كاملة للنظام البيئي، والذي يشمل ثلاث مجموعات رئيسة من الكائنات الحية: الأسماك، والنباتات، والبكتيريا.

وفي الزراعة الأحيومائية يتم تحويل المخلفات السائلة من تربية الأحياء المائية من خلال أسرة نمو النبات دون إطلاقها في البيئة، وفي الوقت نفسه يتم توفير العناصر الغذائية للنبات من مصدر مستدام، وفاعل من حيث التكلفة، شريطة أن يكون غير كيميائي. وهذا التكامل يزيل بعض العوامل غير المستدامة في نظم تربية الأحياء المائية والزراعة المائية بشكل مستقل. وأما بالنسبة للمنافع التي يجنيها هذا التكامل فقد أظهرت الزراعة الأحيومائية أن إنتاجاتها من النباتات والأسماك قابلة للمقارنة مع الزراعة المائية وتربية الأحياء المائية المغلقة (RAS). ويمكن للزراعة الأحيومائية أن تكون أكثر إنتاجية ومجدية اقتصاديا أكثر من ذلك بكثير في بعض الحالات، وخصوصا حيث الأراضي والمياه محدودة. ومع ذلك فإن الزراعة الأحيومائية معقدة وتتطلب تكاليف بدء تشغيل كبيرة، كما يجب لزيادة الإنتاج أن تعمل على تعويض الارتفاع في تكاليف الاستثمارات المطلوبة؛ لدمج النظامين. وقبل الالتزام بنظام كبير أو باهظ الثمن، يجب وضع خطة عمل كاملة، تأخذ في اعتبارها الجوانب الاقتصادية والبيئية والاجتماعية واللوجستية.

وحدة زراعة أحيومائية مبسطة



ملاحظات:

الفوائد ونقط الضعف لإنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية

الفوائد الرئيسة لإنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية

- نظام إنتاج غذائي مستدام ومكثف.
- يتم إنتاج نوعين من المنتجات الزراعية (السمك والخضار)، من مصدر نتروجيني واحد (الأسماك).
- كفاءة عالية للغاية في استهلاك المياه.
- لا يتطلب التربة.
- لا تستخدم الأسمدة أو المبيدات الكيماوية.
- عوائد مرتفعة، وإنتاج نوعي.
- الإنتاج والإدارة شبيها بالإنتاج العضوي.
- مستوى أعلى من الأمن الحيوي، وانخفاض المخاطر الناجمة عن الملوثات الخارجية.
- سيطرة عالية على الإنتاج؛ مما يؤدي إلى انخفاض الخسائر.
- يمكن تطبيقها على الأراضي غير الصالحة للزراعة، مثل: الصحارى، التربة المتدهورة، أو المالحة في الأماكن الحضرية، والجزر الرملية.
- يخلف مخلفات قليلة.
- يوفر العمالة في المهام اليومية والحصاد والزرع، وبالتالي يمكن أن تُشرك جميع الأجناس والأعمار.
- إنتاج اقتصادي للمحاصيل سواء لإنتاج الغذاء للأسرة، أو للحصول على مدخول مالي في العديد من المواقع.
- يمكن إنشاؤها بنواح كثيرة وفقا للمواد المتاحة.

نقاط الضعف الرئيسة لإنتاج الغذاء من الزراعة الأحيومائية

- تكاليف بدء التشغيل الأولية باهظة مقارنة مع إنتاج التربة أو الزراعة المائية.
- هناك حاجة إلى المعرفة بشأن الأسماك والبكتيريا والإنتاج النباتي لكل فلاح؛ ليكون المشروع ناجحا.
- متطلبات الأسماك والنباتات لا تتطابق دائما تماما.
- لا يوصى به في الأماكن التي لا تستطيع الأسماك، والنباتات المستزرعة أن تلبي درجة الحرارة المثلى لها.
- مقارنة أنظمة تربية الأحياء المائية القائمة بذاتها أو أنظمة الزراعة المائية (لا مبيدات للنباتات ولا مضادات حيوية للأسماك).
- الأخطاء أو الحوادث يمكن أن تسبب انهيارا كارثيا للنظام.
- الإدارة اليومية إلزامية.
- كثرة المطالب على الطاقة.
- يتطلب مصدرا موثوقا للكهرباء، وإصبعيات الأسماك، وبذور النباتات.
- لا يمكن الاعتماد على الزراعة الأحيومائية لتوفير نظام غذائي كامل.

ملاحظات:

مقدمة فنية

- الزراعة الأحيومائية نظام إنتاج يجمع بين تربية الأسماك والإنتاج الخضري بدون تربة في نظام واحد مغلق.
- البكتيريا الآزوتية تحول مخلفات الأسماك (الأمونيا) إلى عناصر غذائية للنباتات (نترات).
- عملية النترجة التي تحدث في التربة تحدث أيضا في نظام الزراعة الأحيومائية.
- أهم جزء في الزراعة الأحيومائية البكتيريا، وهي غير مرئية بالعين المجردة.
- العوامل الرئيسة للحفاظ على البكتيريا صحية: هي درجة حرارة الماء، ودرجة الحموضة، والأكسيجين المذاب، والمساحة الكافية للبكتيريا.
- أنظمة الزراعة الأحيومائية الناجحة متوازنة، ونسبة معدل التغذية هي دليل توجيهي رئيس؛ لتحقيق التوازن بين كمية أعلاف الأسماك ومنطقة زراعة النباتات، والتي تقاس بمعدل غرامات من العلف يوميا لكل متر مربع من المساحة المزروعة بالنباتات.
- نسبة معدل التغذية للخضراوات الورقية هي 20–50 غراما/م^2/يوم؛ والخضراوات الثمرية تتطلب 50–80 غراما/م^2/يوم.
- المراقبة الصحية اليومية للأسماك والنباتات ستقدم بيانات حول توازن النظام كالمرض، ونقص التغذية، والوفاة بشكل رئيس، وهي أعراض نظام غير متوازن.
- اختبار النتروجين أسبوعيا سيوفر معلومات عن توازن النظام. ونسبة الأمونيا العالية أو النتريت يشير إلى عدم كفاية الترشيح الحيوي، ويشير انخفاض النترات إلى وجود الكثير من النباتات، أو عدم كفاية الأسماك/الأعلاف. كما أن الزيادة في النترات أمر مرغوب فيه، ويشير إلى وجود عناصر غذائية كافية للنباتات، على الرغم من أن الماء يحتاج إلى أن يتم تغييره نسبيا عندما تكون تركيزات النترات أعلى من 150ملغم/لتر.

ملاحظات:

جودة المياه في الزراعة الأحيومائية

- الماء هو شريان الحياة لنظام الزراعة الأحيومائية، وهذا هو الوسط الذي من خلاله تستقبل النباتات العناصر الغذائية وتتلقى الأسماك الأكسيجين. ومن المهم جدا فهم جودة المياه والكيمياء الأساسية للمياه؛ من أجل إدارة الزراعة الأحيومائية بشكل صحيح.
- هناك خمسة عناصر لجودة المياه في الزراعة الأحيومائية: الأكسيجين المذاب (DO)، ودرجة الحموضة (pH)، ودرجة حرارة المياه، ومجموع تركيزات النتروجين، وعسر الكربونات (صلابة الكربونات) (KH)، ومعرفة الآثار المترتبة من كل عنصر على الأسماك والنباتات والبكتيريا.
- يتم إجراء تسويات بالنسبة لبعض عناصر جودة المياه؛ لتلبية احتياجات كل كائن حي في الزراعة الأحيومائية.
- النطاق المستهدف لكل عنصر كما يلي:

درجة الحموضة (pH)	7–6
ودرجة حرارة المياه	30–18°م
الأكسيجين المذاب	8–5 ملغم/لتر
الأمونيا	0 ملغم/لتر
النتريت	0 ملغم/لتر
النترات	150–5 ملغم/لتر
عسر الكربونات (صلابة الكربونات)	140–60 ملغم/لتر

- هناك طرق بسيطة لضبط درجة الحموضة والقواعد، وفي قليل من الأحيان يمكن للأحماض أن تضاف بكميات صغيرة في الماء؛ من أجل زيادة أو خفض درجة الحموضة على التوالي، وينبغي دائما أن تضاف الأحماض والقواعد ببطء وبعناية. ويمكن أن تستخدم مياه الأمطار بدلا من ذلك؛ للسماح للنظام بخفض درجة الحموضة بشكل طبيعي من خلال البكتيريا الآزوتية المستهلكة لقلوية النظام. وكربونات الكالسيوم من الحجر الجيري، والصدف، أو قشر البيض يزيد عسر الكربونات، ويقاوم تغير درجة الحموضة التي تنشأ؛ بسبب التحمض الطبيعي.
- بعض جوانب المعرفة بجودة وكيمياء المياه اللازمة للزراعة الأحيومائية يمكن أن تكون معقدة، ولا سيما العلاقة بين درجة الحموضة والصلابة، ولكن تستخدم اختبارات جودة المياه الأساسية؛ لتبسيط إدارة جودة المياه.
- اختبار الماء ضروري؛ للحفاظ على نوعية المياه الجيدة في النظام. قم باختبار وتسجيل عناصر جودة المياه التالية كل أسبوع: درجة الحموضة، ودرجة حرارة المياه، والنترات، وعسر الكربونات. كما أن اختبارات الأمونيا والنيتريت ينبغي أن تستخدم بالخصوص عند بدء تشغيل النظام، وعند ملاحظة وفيات غير طبيعية للأسماك تثير المخاوف من السمية.

ملاحظات:

تصميم وحدة الزراعة الأحيومائية

- العوامل الرئيسة التي ينبغي مراعاتها عند البت في مكان وضع الوحدة هي: استقرار أرض الموقع، والحصول على أشعة الشمس والتظليل، وحمايتها من التعرض للرياح والأمطار، وتوفر المرافق، وتوفر البيت المحمي أو التظليل.
- هناك ثلاثة أنواع رئيسة من الزراعة الأحيومائية: تقنية سرير وسائط النمو التي تعرف أيضا باسم سرير الجسيمات. وتقنية غشاء المغذيات (NFT)، وتقنية المياه العميقة (DWC)، المعروف أيضا باسم تقنية الطوافات أو النظام العائم.
- المكونات الأساسية لجميع وحدات الزراعة الأحيومائية هي: حوض الأسماك، والمرشح الميكانيكي والحيوي، ووحدة نمو النباتات (سرير وسائط النمو، وأنابيب غشاء المغذيات، أو قنوات المياه العميقة)، ومضخات المياه/الهواء.
- يجب أن تكون أسرة وسائط النمو كالتالي: (أ) مصنوعة من مادة خاملة وقوية. (ب) لديها عمق حوالي 30 سم. (ج) أن تملأ بوسائط النمو التي تحتوي على مساحة سطح عالية. (د) أن توفر الترشيح الميكانيكي والحيوي الكافي. (هـ) أن توفر مناطق منفصلة للكائنات الحية المختلفة للنمو. (و) أن ترطب بما فيه الكفاية، من خلال عملية الإغراق والاستنزاف أو تقنيات الري الأخرى؛ لضمان الترشيح الجيد.
- بالنسبة لوحدات غشاء المغذيات (NFT) وتقنية المياه العميقة (DWC)، فإن مكونات الترشيح الميكانيكي والترشيح الحيوي تعد ضرورية؛ من أجل إزالة المواد الصلبة العالقة، وأكسدة المخلفات الذائبة (تحويل الأمونيا إلى نترات).
- بالنسبة لوحدات غشاء المغذيات (NFT)، فإن معدل التدفق لكل أنبوب نمو يجب أن يكون 1–2 لتر/دقيقة؛ لضمان نمو جيد للنباتات.
- بالنسبة لقنوات وحدات المياه العميقة (DWC) ينبغي أن يكون لكل قناة وقت؛ للاحتفاظ بالماء مقداره 1–4 ساعات.
- التركيز العالي للأكسيجين المذاب أمر ضروري؛ لتأمين أسماك جيدة، ونمو جيد للنباتات والبكتيريا. وفي حوض الأسماك يتم توفير الأكسيجين المذاب بواسطة حجارة الهواء. وحدات سرير وسائط النمو لديها سطح بيني يقع بين المنطقة الرطبة والمنطقة الجافة، التي توفر نسبة عالية من الأكسيجين الجوي. وفي وحدات غشاء المغذيات (NFT) يتم توفير تهوية إضافية في المرشح الحيوي، بينما في وحدات المياه العميقة (DWC) يتم وضع حجارة الهواء في المرشح الحيوي وقنوات النباتات.

ملاحظات:

رسم توضيحي لوحدة سرير وسائط نمو صغيرة

البكتيريا في الزراعة الأحيومائية

- في الزراعة الأحيومائية، يجب أن تتأكسد الأمونيا إلى نترات؛ لمنع سُمية الأسماك.
- إن عملية النترجة هي عملية بكتيرية من خطوتين، حيث البكتيريا المؤكسدة للأمونيا تحول الأمونيا (NH_3) إلى النتريت (NO_2^-)، ثم تقوم البكتيريا المؤكسدة للنترات بتحويل النتريت إلى نترات (NO_3^-).
- أهم العوامل الخمسة للنترجة الجيدة هي: وسائط لديها مساحة سطح كبيرة؛ للسماح للبكتيريا كي تنمو وتستعمر، ودرجة الحموضة (6–7)، ودرجة حرارة الماء (17–34°م)، والأكسيجين المذاب (4–8 ملغم/لتر)، وتغطية من التعرض المباشر لأشعة الشمس.
- تدوير النظام هي عملية أولية لبناء مستعمرة البكتيريا الآزوتية في وحدة الزراعة الأحيومائية الجديدة، وهذه العملية تستغرق من 3–5 أسابيع تنطوي على إضافة مصدر الأمونيا في النظام (أعلاف الأسماك، والأسمدة القائمة على الأمونيا حتى يصل التركيز في الماء 1–2 ملغم/لتر)؛ من أجل تحفيز نمو البكتيريا الآزوتية. وهذا ينبغي أن يكون القيام به ببطء وباستمرار. ويتم رصد الأمونيا والنتريت والنترات؛ لتحديد حالة المرشح الحيوي: الذروة وانخفاض لاحق للأمونيا يتبعها نمط مماثل للنتريت قبل أن تبدأ النترات في التراكم. وتضاف الأسماك والنباتات فقط عندما تكون مستويات الأمونيا والنيتريت منخفضة ويبدأ مستوى النترات في الارتفاع.
- تستخدم اختبارات الأمونيا والنيتريت؛ لمراقبة وظيفة البكتيريا الآزوتية وأداء المرشح الحيوي. وفي وجود نظام فاعل يجب أن تكون مستويات الأمونيا والنتريت قريبة من 0 ملغم/لتر. وعند وجود مستويات عالية من الأمونيا أو النتريت، يتطلب ذلك تغييرا للمياه وإجراءات إدارية. عادة النترجة الرديئة تنتج عن تغير في درجة حرارة الماء والأكسيجين المذاب أو مستويات درجة الحموضة.
- هناك فئة أخرى من الكائنات الحية الدقيقة، التي توجد بشكل طبيعي في الزراعة الأحيومائية هي البكتيريا المتغايرة، تعمل على تحلل المخلفات السمكية الصلبة، والإفراج عن بعض العناصر الغذائية في الماء في عملية تسمى التمعدن.

ملاحظات:

النباتات في الزراعة الأحيومائية

- المزايا الرئيسة للزراعة الأحيومائية على الزراعة في التربة هي: (أ) عدم إضاعة الأسمدة؛ (ب) تخفيض استهلاك المياه؛ (ج) زيادة الإنتاجية/الجودة؛ (د) القدرة على الاستفادة من الأراضي غير الصالحة للزراعة؛ (هـ) الاستغناء عن الحراثة، وإزالة الأعشاب غير المرغوب فيها، والمهام الزراعية التقليدية الأخرى.
- النباتات تتطلب أشعة الشمس والهواء والماء والعناصر الغذائية للنمو. والعناصر الغذائية الأساسية تشمل: النتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت. وتشتمل العناصر الغذائية الدقيقة على: الحديد، والزنك، والبورون، والنحاس، والمنغنيز، والموليبدينوم. كما يتعين معالجة أوجه القصور التي تظهر من خلال تزويد المغذيات القاصرة بالأسمدة التكميلية.
- إن أهم عنصر لجودة المياه للنباتات هي درجة الحموضة؛ لأنها تؤثر على توافر العناصر الغذائية الأساسية.
- تتراوح درجة الحرارة المناسبة لمعظم الخضراوات بين 18 و26°م، رغم أن الكثير من الخضراوات الموسمية والخضراوات الشتوية تتطلب درجة حرارة تتراوح بين 8 و20°م، والخضراوات الصيفية درجات حرارة من 17 إلى 30°م.
- الخضراوات الورقية والأعشاب تعمل بشكل جيد للغاية في الزراعة الأحيومائية، وهذا ينطبق أيضا على الخضراوات الثمرية، بما في ذلك: الطماطم، والفلفل، والباذنجان، والخيار، والبازلاء، والفاصوليا، وزراعة المحاصيل الجذرية والدرنات أقل شيوعا وتتطلب اهتماما خاصا.
- للإنتاج المتكامل ولمكافحة الآفات/الأمراض تُستخدم الممارسات الفيزيائية والميكانيكية والثقافية؛ للحد من الآفات/مسببات الأمراض. ومن ثم تستخدم العلاجات الكيميائية والحيوية الآمنة للأسماك في التطبيقات المستهدفة عند الضرورة.
- يمكن للتصميم الذكي في الزراعة تعظيم استغلال الفضاء المتاح، وتشجيع الحشرات المفيدة وتحسين الإنتاج.
- توفر الزراعة المتداخلة الحصاد المستمر، فضلا عن الامتصاص المستمر للعناصر الغذائية، وجودة المياه أكثر اتساقا.

ملاحظات:

الأسماك في الزراعة الأحيومائية

- يُنصح باستخدام أعلاف الأسماك المصنعة في الزراعة الأحيومائية؛ لأنها تغذية كاملة وتحتوي على التوازن الصحيح من البروتينات، والكربوهيدرات، والدهون، والفيتامينات، والمعادن اللازمة للأسماك.
- البروتين هو العنصر الأكثر أهمية لبناء كتلة جسم الأسماك. والأسماك النهمة (متعددة التغذية) مثل سمك البُلطي، وسمك الشبوط الشائع تحتاج إلى حوالي 32% من البروتين في نظامها الغذائي، والأسماك آكلة اللحوم تحتاج إلى أكثر.
- لا تتخم الأسماك أبدا، وقم بإزالة الطعام غير المأكول بعد 30 دقيقة؛ للحد من مخاطر الأمونيا أو سمية كبريتيد الهيدروجين.
- هناك حاجة للمحافظة على جودة المياه؛ من أجل الحفاظ على الأسماك، كما يجب أن تكون الأمونيا والنيتريت قريبة من 0 ملغم/لتر، وهي سامة في أي من المستويات التي يمكن اكتشافها. وينبغي أن تكون النترات أقل من 400 ملغم/لتر، والأكسيجين المذاب يجب أن يكون من 4–8 ملغم/لتر.
- البُلطي والشبوط والسّلور مناسبة للغاية للزراعة الأحيومائية في الظروف الإستوائية أو الجافة؛ لأنها تنمو بسرعة، ويمكن أن تبقى على قيد الحياة في أسوأ حالات المياه، وفي المستويات الدنيا للأكسيجين المذاب.
- سمك السلمون المنقط ينمو جيدا في الماء البارد، ولكن يحتاج إلى جودة مياه أفضل.
- ينبغي رصد صحة الأسماك يوميا، والتقليل من الإجهاد. جودة المياه الرديئة و/أو المتغيرة والاكتظاظ والاضطراب البدني يمكن أن يسبب الإجهاد، والذي قد يؤدي إلى تفشي الأمراض.
- التصرفات الشاذة أو التغيرات في السلوك البدني، يمكن أن تشير إلى الإجهاد، والمياه سيئة الجودة، والطفيليات أو المرض. خذ متسعا من الوقت لمراقبة ورصد الأسماك؛ من أجل التعرف على أعراض الأمراض في وقت مبكر، وتقديم العلاج.

ملاحظات:

تحقيق التوازن بين الأسماك والنباتات: حسابات المكونات

تحتاج أنظمة الزراعة الأحيومائية إلى أن تكون متوازنة؛ وبالتالي فإن أعلاف الأسماك يجب أن تعمل على توفير العناصر الغذائية الكافية للنباتات، ويجب أن يكون عدد النباتات كافيا لاستخدام جميع العناصر الغذائية المفرج عنها في النظام، ولكن ليس بزيادة؛ لمنع أي خطر من أوجه القصور. والمرشح الحيوي يحتاج إلى أن يكون كبيرا بما يكفي؛ لمعالجة كافة مخلفات الأسماك، وهناك حاجة إلى ما يكفي من المياه؛ لتدوير هذا النظام. وهذا التوازن يمكن أن يكون من الصعب تحقيقه في النظام الجديد، ولكن يوفر هذا القسم الحسابات المفيدة؛ لتقدير الأحجام من كل المكونات.

والطريقة الأكثر نجاحا لتحقيق التوازن في نظام الزراعة الأحيومائية هي استخدام نسبة معدل التغذية التي تم وصفها في القسم 4.1.2 من هذا الدليل. وهذه النسبة هي الحسبة الأهم للزراعة الأحيومائية، بحيث إن الأسماك والنباتات يمكن لها أن تزدهر في تناغم تام داخل النظام الإيكولوجي للزراعة الأحيومائية.

وتقدر هذه النسبة كمية علف الأسماك التي ينبغي أن تضاف كل يوم إلى النظام، ويتم حسابه على أساس المساحة المتاحة لنمو النباتات. وهذه النسبة تعتمد على نوع النبات الذي يزرع. وتتطلب الخضراوات الثمرية عناصر غذائية أعلى بحوالي ثلث مما تتطلبه الخضار الورقية؛ لدعم الزهور وانعقاد الثمار. كما أن نوع العلف أيضا يؤثر على نسبة معدل التغذية، وجميع الحسابات المقدمة هنا تفترض استخدام أعلاف الأسماك القياسية المصنعة بنسبة بروتين مقدارها 32%، وعند استخدام غذاء بنسبة بروتين منخفضة ويمكن التغذية بمعدلات أعلى.

النباتات الورقية الخضراء	الخضراوات الثمرية
40–50 من أعلاف الأسماك لكل متر مربع	50–80 من أعلاف الأسماك لكل متر مربع

والخطوة الأولى الموصى بها في الحساب هي تحديد عدد النباتات اللازمة. وعلى الأرجح فالنباتات هي الجزء الأكثر ربحية في الزراعة الأحيومائية التي على نطاق صغير؛ بسبب معدل الإنتاج العالي. وفي المتوسط يمكن زراعة النباتات بالكثافة التالية. وهذه الأرقام هي متوسطات فقط، وهناك العديد من المتغيرات وفقا لنوع النباتات وحجم الحصاد؛ وبالتالي يجب أن تستخدم فقط بمثابة مبادئ توجيهية.

النباتات الورقية الخضراء	الخضراوات الثمرية
20–25 نبتة لكل متر مربع	4 نبتة لكل متر مربع

قم باختيار مقدار مساحة نمو النباتات التي بحاجة إليها باستخدام المقياس المذكور أعلاه (الورقية مقابل المثمرة). ويجب أن تلبي مساحة السطح التي سيتم اختيارها من قبل المزارع، أهداف السوق أو إنتاج الغذاء. وهذا يعتمد أيضا على المحاصيل؛ لأن بعض النباتات تحتاج إلى مساحة أكبر وتنمو ببطء أكثر من غيرها. وعندما يتم اختيار العدد المطلوب من النباتات، فمن الممكن بعد ذلك تحديد مقدار مساحة النمو اللازمة؛ وبالتالي فإن تقدير كمية أعلاف الأسماك، التي ينبغي إضافتها إلى النظام كل يوم أمر في غاية الأهمية.

وعندما يتم حساب كمية أعلاف الأسماك، فمن الممكن تحديد الكتلة الحيوية من الأسماك اللازمة لأكل هذه الأعلاف. والأسماك مختلفة الحجم لديها متطلبات وأنظمة غذائية مختلفة، وهذا يعني أن العديد من الأسماك الصغيرة تأكل قدر عدد قليل من الأسماك الكبيرة. ومن حيث تحقيق التوازن بين وحدة الزراعة الأحيومائية، فإن العدد الفعلي للأسماك ليس مُهما بقدر إجمالي الكتلة الحيوية من الأسماك في الخزان. وفي المتوسط فإن الأسماك تستهلك 1–2% من وزن الجسم يوميا خلال مرحلة التسمين، والتي تتوافق مع كتلة الجسم فوق 50 غراما. والعكس تماما فإن الأسماك الصغيرة/الشابة تأكل أكثر من الأسماك الكبيرة، كنسبة مئوية من وزن الجسم.

معدل التغذية
1–2% من الوزن الكلي للجسم في اليوم

يوضح المثال التالي كيفية إجراء هذه المجموعة من الحسابات: من أجل إنتاج 25 رزمة خس في الأسبوع، ينبغي أن يكون نظام الزراعة الأحيومائية به 10–20 كغم من الأسماك، ويتم تغذيته بـ 200 غرام من العلف يوميا، ولديه منطقة لزراعة النباتات مقدارها 4 م^2. والحسابات هي كما يلي:

يتطلب الخس 4 أسابيع لينمو مرة واحدة بعدما يتم زرع الشتلات في النظام، ويتم حصاد 25 حزمة في الأسبوع، لذلك:

25 حزمة/أسبوع × 4 أسابيع = 100 حزمة في النظام

وتتطلب كل 25 حزمة من الخس 1 م^2 من مساحة الزراعة، لذلك:

$$\text{100 حزمة} \times \frac{\text{1 م}^2}{\text{25 حزمة}} = \text{4 م}^2$$

كل متر مربع واحد من المساحة المزروعة يتطلب 50 غراما من أعلاف الأسماك يوميا، لذلك:

$$\text{4 م}^2 \times \frac{\text{50 غرام علف/يوم}}{\text{1 م}^2} = \text{200 غرام علف/يوم}$$

السمك (الكتلة الحيوية) في النظام تأكل 1–2% من وزن الجسم في اليوم الواحد؛ وبالتالي:

$$\text{200 غرام علف/يوم} \times \frac{\text{100 غرام سمك}}{\text{1–2 غرام علف/يوم}} = \text{10–20 كغم من كتلة الأسماك}$$

وعلى الرغم من أنها مفيدة للغاية، فإن نسبة التغذية هذه ما هي سوى دليل، وخاصة بالنسبة للوحدات التي على نطاق صغير. وهناك العديد من المتغيرات تتعامل مع هذه النسبة، بما في ذلك حجم ونوع الأسماك، ودرجة حرارة الماء، ومحتوى البروتين في الأعلاف، ومطالب العناصر الغذائية من النباتات، والتي قد تتغير بشكل كبير خلال موسم النمو. وقد تتطلب هذه التغييرات من المزارع أن يضبط معدل التغذية. إن اختبار معدل النتروجين في المياه يساعد على تحديد ما إذا كان لا يزال النظام في حالة توازن. وإذا كانت مستويات النترات منخفضة جدا (أقل من 5ملغم/لتر)، فيجب أن تزيد ببطء معدل التغذية يوميا بدون إتخام الأسماك، وإذا كانت مستويات النترات في حالة مستقرة، قد يكون هناك نقص في العناصر الغذائية والمكملات الأخرى خاصة للكالسيوم والبوتاسيوم والحديد. وإذا كانت مستويات النترات تتزايد، فإن تغيير نسبة من المياه بين الحين والآخر سيكون ضروريا مع ارتفاع النترات فوق 150 ملغم/لتر، وقد تشير زيادة مستويات النترات إلى أن تركيزات العناصر الغذائية الأساسية الأخرى غير كافية.

الدليل العملي لتصميم نظام وحدات الزراعة الأحيومائية، على نطاق صغير

سعة خزان الأسماك (لتر)	الكتلة الحيوية القصوى للأسماك[1] (كغم)	معدل التغذية[2] (غرام/يوم)	معدل التدفق للمضخة (لتر/ساعة)	سعة المرشحات[3] (لتر)	السعة الأدنى لوسائط الترشيح الحيوي[4] (لتر)		منطقة زراعة النباتات[5] (م^2)
					الحصى البركاني (الطف)	الكريات الحيوية (®Bioball)	
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1200	50–20	100	50	2
1000	20	200	2000	200–100	200	100	4
1500	30	300	2500	300–200	300	150	6
2000	40	400	3200	400–300	400	200	8
3000	60	600	4500	500–400	600	300	12

ملحوظات:

1. تستند كثافة الأسماك الموصى بها على كثافة التخزين القصوى 20 كغم/1000 لتر. والكثافات المرتفعة ممكنة مع مزيد من التهوية والترشيح الميكانيكي، ولكن هذا لا ينصح به للمبتدئين.
2. معدل التغذية الموصى به هو 1% من وزن الجسم يوميا للأسماك، والتي لديها كتلة الجسم أكثر من 100 غرام. ومعدل نسبة التغذية هو 40–50 غرام/م^2 للخضر الورقية، و50–80 غرام/م^2 للخضار المثمرة.

3. يجب أن تكون أحجام الفاصل الميكانيكي والمرشح الحيوي 10–30% من إجمالي حجم خزان الأسماك. في الواقع اختيار الحاويات يعتمد على حجمها، والتكلفة، والتوفر. وهناك حاجة فقط للمرشحات الحيوية لوحدات غشاء المغذيات (NFT) ووحدات المياه العميقة (DWC). والفواصل الميكانيكية هي قابلة للتطبيق في وحدات غشاء المغذيات (NFT)، ووحدات المياه العميقة (DWC) ووحدات سرير وسائط النمو مع كثافة الأسماك لأكثر من 20 كغم/1000 لتر.
4. تفترض هذه الأرقام بأن البكتيريا في الظروف المثلى في كل وقت. وإن لم يكن كذلك لفترة معينة (الشتاء)، قد تحتاج لوسائط ترشيح إضافية؛ لتضاف كمنطقة عازلة. ويتم توفير قيم مختلفة لاثنين من وسائط الترشيح الحيوي الأكثر شيوعا على أساس المساحة المحددة لكل منها.
5. تشمل أرقام مساحة زراعة الخضر الورقية فقط، وسوف تكون مساحة الخضراوات الثمرية أقل قليلا.

ملاحظات:

مواضيع إضافية في الزراعة الأحيومائية

- شاي السماد العضوي يمكن استخدامه لتكملة العناصر الغذائية للنباتات، وأن ينتج على نطاق صغير من سماد المخلفات النباتية.
- يمكن زراعة أعلاف الأسماك البديلة والتكميلية وإنتاجها بكميات صغيرة الحجم، بما في ذلك الطحلب البطي، الآزولا النيابة، والحشرات والمورينغا.
- يمكن جمع البذور وتخزينها باستخدام تقنيات بسيطة؛ لتقليل تكاليف إعادة زرع النبتة.
- جمع مياه الأمطار وتخزينها يوفر وسيلة فاعلة من حيث التكلفة؛ لتجديد مياه الزراعة الأحيومائية.
- ينبغي استخدام التكرار (الأجهزة الاحتياطية) والأساليب المأمونة الجانب؛ لمنع كارثة الخسارة من المياه التي من الممكن أن تقتل الأسماك.
- مياه الزراعة الأحيومائية يمكن استخدامها لتسميد وري أنشطة البستنة الأخرى.
- هناك أنواع وطرق أخرى تتعدى الأمثلة الواردة في هذا الدليل.

ملاحظات:

عشرة مبادئ توجيهية أساسية للزراعة الأحيومائية الناجحة

- مراقبة ورصد النظام كل يوم.
- ضمان التهوية الكافية، وتوزيع المياه بمضخات الماء ومضخات الهواء.
- الحفاظ على نوعية المياه الجيدة: درجة الحموضة 6–7، الأكسيجين المذاب > 5 ملغم/لتر، مجموع الأمونيا النتروجين (TAN) <1 ملغم/لتر؛ NO_2^- < 1 ملغم/لتر؛ NO_3^- 5–150 ملغم/لتر، درجة الحرارة 18–30°م.
- اختيار الأسماك والنباتات وفقا للمناخ الموسمي.
- لا تزحم الخزانات بالأسماك (< 20 كغم/1000 لتر).
- تجنب الفرط في التغذية، وأزل أي طعام غير مأكول بعد 30 دقيقة.
- أزل المخلفات الصلبة، وحافظ على الخزانات نظيفة ومظللة.
- حقق التوازن في عدد النباتات والأسماك، وحجم المرشح الحيوي.
- قم بتطبيق الحصاد المتداخل، وإعادة تخزين الأسماك/إعادة زرع النباتات للحفاظ على التوازن.
- لا تدع الجراثيم تدخل النظام من الأشخاص أو الحيوانات، وعدم تلويث المنتجات عن طريق السماح لمياه النظام بترطيب أوراق النباتات.

ملاحظات:

ملاحظات عامة

ملاحظات عامة

ملاحظات عامة

الزراعة الأحيومائية هي التكامل التكافلي بين اثنين من التخصصات الناضجة - تربية الأحياء المائية والزراعة المائية. وتناقش هذه الورقة التقنية المجموعات الثلاث من الكائنات الحية (البكتيريا، والنباتات والأسماك)، التي تشكل النظام البيئي للزراعة الأحيومائية، وتعرض استراتيجيات إدارة واستكشاف الممارسات، فضلا عن المواضيع ذات الصلة، وتسلط الضوء على وجه التحديد على مزايا وعيوب هذه الطريقة لإنتاج الغذاء.

ويناقشُ هذا الدليل المفاهيم الرئيسة لنظرية الزراعة الأحيومائية، بما في ذلك دورة النتروجين، ودور البكتيريا، ومفهوم موازنة وحدة الزراعة الأحيومائية. وتأخذ في الاعتبار جودة المياه واختبارها ومصادرها للزراعة الأحيومائية، فضلا عن أساليب ونظريات تصميم الوحدة، بما في ذلك الطرق الرئيسة الثلاثة لأنظمة الزراعة الأحيومائية: سرير وسائط النمو، وتقنية غشاء المغذيات، وتقنية المياه العميقة. ويتضمن هذا الدليل موضوعات أخرى رئيسة: الظروف المثالية؛ لزراعة النباتات الشائعة، التي تزرع في الزراعة الأحيومائية، والضوابط الكيميائية والحيوية للآفات والأمراض الشائعة، بما في ذلك دليل الزراعة المتوافقة، وأمراض الأسماك المشتركة، والأعراض المرتبطة بها، والأسباب، والعلاجات، وأدوات لحساب الأمونيا المنتجة، ووسائط الترشيح الحيوي المطلوبة لقدر معين من علف الأسماك، وإنتاج أعلاف الأسماك محلية الصنع، والمبادئ التوجيهية والاعتبارات؛ لإنشاء وحدات الزراعة الأحيومائية، وتحليل التكاليف والمنافع على نطاق صغير، ووحدة سرير وسائط النمو للزراعة الأحيومائية، ودليل شامل لبناء أنظمة صغيرة الحجم من كل الطرق للزراعة الأحيومائية الثلاثة، وملخص موجز لهذا الدليل صمم ليكون نشرة تكميلية للتوعية والإرشاد والتعليم.

والزراعة الأحيومائية هي نهج متكامل؛ لتكثيف ورفع كفاءة واستدامة الزراعة، التي تلبي احتياجات ندرة المياه. وعلى الصعيد العالمي هناك حاجة إلى تحسين الممارسات الزراعية؛ للتخفيف من حدة الفقر في المناطق الريفية، وتعزيز الأمن الغذائي. والزراعة الأحيومائية خالية من المتبقيات، وتتجنب استخدام الأسمدة الكيماوية والمبيدات الحشرية.

والزراعة الأحيومائية تقنية لتوفير العمالة، ويمكن أن تكون شاملة للنوعين من الجنسين مع مختلف الفئات العمرية. وفي مواجهة النمو السكاني، وتغير المناخ، والإمدادات المتناقصة من المياه والأراضي الصالحة للزراعة في جميع أنحاء العالم، فإن تطوير كفاءة تقنيات الزراعة المتكاملة ستدعم التنمية الاقتصادية.

ISBN 978-92-5-608532-0 ISSN 2225-2401

9 789256 085320

I4021Ar/1/02.16