



联合国  
粮农组织



粮农组织  
渔业和水  
产养殖  
技术文件

ISSN 2225-241X

589

# 小型鱼菜共生食物生产

鱼菜综合种养技术



**封面图片：**

图：一个鱼菜共生系统培养床的示意图，重点说明了鱼缸和植物生长区的连接。下图从左到右：鱼菜共生系统中混养的罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 和鲶鱼 (*Clarias fuscus*) (由Irene Nurzia Humburg提供)；养殖户抬起聚苯乙烯浮床展示生长在鱼菜共生深水栽培系统中的卷曲甘蓝 (芸苔) 的根系 (图片由Hilla Noam提供)；一位农民在屋顶上的鱼菜共生系统收获到了西红柿 (茄属番茄) (由Christopher Somerville提供)。

# 小型鱼菜共生食物生产

鱼菜综合种养技术

粮农组织  
渔业和水  
产养殖  
技术文件

589

**Christopher Somerville**

粮农组织顾问  
爱尔兰

**Moti Cohen**

粮农组织顾问  
以色列

**Edoardo Pantanella**

粮农组织顾问  
意大利

**Austin Stankus**

粮农组织顾问  
意大利

和

**Alessandro Lovatelli**

粮农组织水产养殖处  
意大利

引用格式要求:

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. 2021. 小型鱼菜共生食物生产, 鱼菜综合种养技术。粮农组织渔业和水产养殖技术文件第589号, 罗马, 粮农组织。https://doi.org/10.4060/i4021zh

本信息产品中使用的名称和介绍的材料, 并不意味着联合国粮食及农业组织(粮农组织)对任何国家、领地、城市、地区或其当局的法律或发展状况, 或对其国界或边界的划分表示任何意见。提及具体的公司或厂商产品, 无论是否含有专利, 并不意味着这些公司或产品得到粮农组织的认可或推荐, 优于未提及的其它类似公司或产品。

本信息产品中陈述的观点是作者的观点, 不一定反映粮农组织的观点或政策。

ISSN 2225-241X [印刷]

ISSN 2707-5745 [在线]

ISBN 978-92-5-135282-3

© 粮农组织 2021年



保留部分权利。本作品根据署名-非商业性使用-相同方式共享3.0政府间组织许可(CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.zh>) 公开。

根据该许可条款, 本作品可被复制、再次传播和改编, 以用于非商业目的, 但必须恰当引用。使用本作品时不应暗示粮农组织认可任何具体的组织、产品或服务。不允许使用粮农组织标识。如对本作品进行改编, 则必须获得相同或等效的知识共享许可。如翻译本作品, 必须包含所要求的引用和下述免责声明: “该译文并非由联合国粮食及农业组织(粮农组织)生成。粮农组织不对本翻译的内容或准确性负责。原[语言]版本应为权威版本。”

除非另有规定, 本许可下产生的争议, 如通过调解无法友好解决, 则按本许可第8条之规定, 通过仲裁解决。适用的调解规则为世界知识产权组织调解规则(<https://www.wipo.int/amc/zh/mediation/rules>), 任何仲裁将遵循联合国国际贸易法委员会(贸法委)的仲裁规则进行仲裁。

**第三方材料。**欲再利用本作品中属于第三方的材料(如表格、图形或图片)的用户, 需自行判断再利用是否需要许可, 并自行向版权持有者申请许可。对任何第三方所有的材料侵权而导致的索赔风险完全由用户承担。

**销售、权利和授权。**粮农组织信息产品可在粮农组织网站(<http://www.fao.org/publications/zh/>) 获得, 也可通过 [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org) 购买。商业性使用的申请应递交至 [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request)。关于权利和授权的征询应递交至 [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org)。

封面图片:

上图: 一个鱼菜共生系统培养床的示意图, 重点说明了鱼缸和植物生长区的连接。下图从左到右: 鱼菜共生系统中混养的罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)和鲶鱼(*Clarias fuscus*) (由Irene Nurzia Humburg提供); 养殖户抬起聚苯乙烯浮床展示生长在鱼菜共生深水栽培系统中的卷曲甘蓝(芸苔)的根系(图片由Hilla Noam提供); 一位农民在屋顶上的鱼菜共生系统收获到了西红柿(茄属番茄) (由Christopher Somerville提供)。

## 本手册的编写

本技术手册介绍了鱼菜共生系统的最新成果，重点介绍了小规模生产方式。本书共分九章和九个附录，每章对应鱼菜共生系统的一个特定环节。目标读者是全球范围内的农业推广机构、水产养殖官员、非政府组织、社区组织者、公司和个人。目的是希望帮助人们了解鱼菜共生系统，尤其是那些之前只了解鱼菜共生系统单方面知识的人，例如从事水产养殖者但缺乏无土栽培的经验，反之亦然。

本书提供的并不是一套标准化的鱼菜共生系统方法，而是作为一个资料性手册，包括了鱼菜共生系统的主要概念的介绍和讨论。本书可能吸引多方的兴趣，特别是从事以下发展主题计划的：可持续农业、国内食物生产保障方法、或城市和郊区的粮食安全等。不确切地说，对那些有一定蔬菜种植和/或鱼养殖经验的读者可能更有意义。本书的写作风格旨在方便无技术背景读者的熟悉和掌握。本技术手册涵盖了从水产养殖到无土栽培，从水化学到生态系统平衡和水管设施及建造技术等多学科知识；旨在搭建一座通过提供大量实用的技术细节，帮助人们共同理解鱼菜共生系统的各个领域的桥梁，又不使本书变得厚重而无用。

本书是小规模和商业鱼菜共生系统实践经验的产物，旨在分享经验教训和最新的知识，以便新型农民可以从这些经验中受益。

本书是为实现联合国粮食与农业组织的多战略目标、重点工作领域和区域性倡议而编写的；小型鱼菜共生系统是区域水资源短缺倡议主动干预计划的一部分，并支持了集约化和高效利用农业资源的重点工作领域。

## 摘要

本技术手册首先介绍了鱼菜共生的概念，包括其发展简史及其在无土栽培和现代农业大范畴中的地位。随后是鱼菜共生的主要理论框架，包括氮循环和硝化作用、细菌的作用、鱼菜共生系统均衡的概念；接着介绍了重要的技术内容，包括水质参数、水质测试和鱼菜共生的水源，以及系统设计的一些方法和理论，包括三种主要的鱼菜共生系统：基质床栽培、营养膜栽培和深水栽培。

本手册详细介绍了鱼菜共生生态系统组成的三类生物（细菌、植物和鱼类），手册还介绍了管理策略和故障排除方法以及相关的话题，尤其强调了鱼菜共生投入品中当地可持续材料的使用。

本手册还包含九个附录，介绍了其他重要内容：鱼菜共生中常见植物生长的最适条件；常见病虫害的化学和生物防治，包含一份共用的种植指南；常见鱼病及其症状、病因以及治疗方法；在鱼类种群量和投饲量一定的条件下，计算生成的氨含量和所需的生物过滤介质数量；自制鱼饲料的生产；建立鱼菜共生系统装置的步骤和注意事项；小规模基质栽培鱼菜共生系统的成本收益分析；构建三种小规模鱼菜共生系统的综合指导步骤；以及本手册的简要总结，用作拓展、延伸和教育的补充材料。

# 目录

本手册的编写	iii
摘要	iv
致谢	x
本书作者	xi
简称和缩略语	xii
图片来源	xiv
图	xv
表	xix
<b>1. 鱼菜共生介绍</b>	<b>1</b>
1.1 水耕栽培和无土栽培	1
1.2 水产养殖	3
1.3 鱼菜共生	4
1.4 鱼菜共生的适用性	5
1.5 现代鱼菜共生技术简史	7
1.6 鱼菜共生应用现状	8
1.6.1 家庭式或者小规模鱼菜共生	8
1.6.2 半商业化和商业化鱼菜共生系统	8
1.6.3 教育	9
1.6.4 人道主义救济和食物安全干预	9
<b>2. 了解鱼菜共生原理</b>	<b>11</b>
2.1 鱼菜共生的重要生物组成	11
2.1.1 氮循环	11
2.2 生物过滤器	13
2.3 保持健康的菌落	14
2.3.1 表面积	14
2.3.2 水酸碱度pH值	14
2.3.3 水温	14
2.3.4 溶解氧	15
2.3.5 紫外线	15
2.4 鱼菜共生生态系统平衡	16
2.4.1 硝酸盐平衡	16
2.4.2 投饵比率	17
2.4.3 鱼类和植物的健康检查	18
2.4.4 氮水平检测	18
2.5 章节小结	19
<b>3. 鱼菜共生中的水质</b>	<b>21</b>
3.1 确保在各生物体耐受性范围内运行	21
3.2 五个最重要的水质参数	22
3.2.1 氧气	22
3.2.2 pH	23
3.2.3 水温	24
3.2.4 总氮：氨，亚硝酸盐，硝酸盐	25
3.2.5 水的硬度	26

3.3 其他水质指标：藻类和寄生虫	28
3.3.1 藻类的光合作用	28
3.3.2 生活在水里的寄生虫、细菌和其他小生物	29
3.4 鱼菜共生系统的水源	29
3.4.1 雨水	30
3.4.2 水窖或地下水	30
3.4.3 自来水或城市供水	30
3.4.4 过滤水	31
3.5 pH值的调控	31
3.5.1 用酸调低pH值	31
3.5.2 用缓冲液或碱提高pH值	32
3.6 水质测试	32
3.7 本章小结	33
<b>4. 鱼菜共生系统设计</b>	<b>35</b>
4.1 选址	38
4.1.1 稳定性	39
4.1.2 抗风、雨和雪	39
4.1.3 光照和遮阳装置	39
4.1.4 公共设施、栅栏和便捷通道	40
4.1.5 特别考虑：屋顶鱼菜共生系统	40
4.1.6 温室和遮阳网	41
4.2 鱼菜共生系统的关键组成部分	42
4.2.1 鱼槽	42
4.2.2 过滤——机械和生物过滤	44
4.2.3 水培组件——基质床、营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）	48
4.2.4 水流	49
4.2.5 增氧	51
4.2.6 存水池	52
4.2.7 管道材料	53
4.2.8 水质检测盒	54
4.3 基质栽培床技术	54
4.3.1 水流动力学	54
4.3.2 基质床的建造	55
4.3.3 基质的选择	56
4.3.4 过滤	58
4.3.5 基质生长床的三个区域——特性和过程	59
4.3.6 灌溉型基质床	61
4.4 营养膜技术（NFT）	63
4.4.1 水流动力	64
4.4.2 机械过滤和生物过滤	64
4.4.3 营养膜技术中的栽培管、建造和种植	65
4.5 深水栽培技术	67
4.5.1 水流动力学	68
4.5.2 机械过滤和生物过滤	69
4.5.3 深水栽培的栽培槽、建造和作物种植	69
4.5.4 深水栽培的特例：低养鱼密度，无过滤器	71
4.6 鱼菜共生技术比较	73
4.7 本章总结	73



<b>5. 鱼菜共生系统中的细菌</b>	<b>75</b>
5.1 硝化细菌和生物过滤器	75
5.1.1 高比表面积	76
5.1.2 水的pH值	76
5.1.3 水温	76
5.1.4 溶解氧	76
5.1.5 紫外线	76
5.1.6 细菌活动的监测	77
5.2 异养细菌与矿化作用	77
5.3 有害细菌	78
5.3.1 硫酸盐还原菌	78
5.3.2 反硝化细菌	78
5.3.3 病原菌	78
5.4 系统循环和生物过滤器中细菌群落的建立	79
5.4.1 在循环过程中添加鱼类和植物	81
5.5 本章小结	81
<b>6. 鱼菜共生中的蔬菜</b>	<b>83</b>
6.1 有土栽培和无土栽培的主要差异	83
6.1.1 肥料	83
6.1.2 水的使用	84
6.1.3 非耕土地的利用	84
6.1.4 生产力和产量	84
6.1.5 减少工作量	85
6.1.6 可持续的单一栽培模式	85
6.1.7 管理更加复杂和较高的初期投资	85
6.2 植物生物学的基本知识	86
6.2.1 植物解剖学和功能的基本知识	86
6.2.2 光合作用	87
6.2.3 养分需求	87
6.2.4 鱼菜共生系统的营养来源	90
6.3 植物所要求的水质	90
6.3.1 pH值	91
6.3.2 溶解氧	91
6.3.3 温度和季节	91
6.3.4 氨、亚硝酸盐和硝酸盐	92
6.4 植物的选择	92
6.5 健康种植及病虫害控制	93
6.5.1 植物的害虫, 综合生产和虫害治理	94
6.5.2 蔬菜疾病和疾病综合管理	98
6.6 种植设计	101
6.7 本章总结	102
<b>7. 鱼菜共生系统中的鱼类</b>	<b>103</b>
7.1 鱼类解剖学、生理学和繁殖	103
7.1.1 鱼类解剖学	103
7.1.2 鱼类的繁殖和生命周期	105
7.2 鱼饲料和营养	106
7.2.1 饲料的组分和营养	106
7.2.2 鱼的颗粒饲料	106
7.2.3 投饲率和鱼的饲料系数	107

7.3 养殖鱼类的水质	108
7.3.1 氮	108
7.3.2 pH	108
7.3.3 溶氧量	108
7.3.4 温度	109
7.3.5 光照和避光	109
7.4 鱼类品种选择	110
7.4.1 罗非鱼	110
7.4.2 鲤科鱼类	111
7.4.3 鲶	113
7.4.4 鲑鳟鱼类	114
7.4.5 大口黑鲈	114
7.4.6 虾类	115
7.5 鱼的转塘适应	116
7.6 鱼类健康和疾病	117
7.6.1 鱼类健康	117
7.6.2 应激反应	117
7.6.3 鱼类疾病	118
7.7 产品质量	121
7.8 章节总结	121
<b>8. 管理和故障排除</b>	<b>123</b>
8.1 组成部分的计算和比率	123
8.1.1 植物生长区域, 鱼和鱼饲料的量	123
8.1.2 水体容量	125
8.1.3 过滤要求——生物过滤器和机械分离器	125
8.1.4 组件计算的总结	125
8.2 新型的鱼菜共生系统和初始管理	126
8.2.1 系统的建造和准备	126
8.2.2 系统循环和建立生物过滤器	127
8.3 对蔬菜的管理方法	127
8.3.1 种植指南综述	127
8.3.2 蔬菜苗圃的建造	128
8.3.3 种苗移植	129
8.3.4 收获蔬菜	131
8.3.5 在一个成熟的系统中管理蔬菜稳定PH值	132
8.3.6 蔬菜——总结	132
8.4 鱼类的管理实践	133
8.4.1 鱼的摄食和生长速度	133
8.4.2 收获和交替放养	134
8.4.3 鱼类-总结	135
8.5 日常的管理实践	135
8.5.1 日计划安排	136
8.5.2 周计划安排	136
8.5.3 月计划安排	136
8.6 工作安全	136
8.6.1 电力安全	136
8.6.2 食品安全	137
8.6.3 一般安全	137
8.6.4 安全总结	137
8.7 故障排除	137
8.8 章节总结	139

<b>9. 鱼菜共生系统的相关内容</b>	<b>141</b>
9.1 鱼菜共生系统的可持续的、当地的投入替代品	141
9.1.1 有机植物肥料	141
9.1.2 鱼饲料的替代物	143
9.1.3 种子的采收	146
9.1.4 雨水的收集	147
9.1.5 鱼菜共生系统的替代建造技术	147
9.1.6 鱼菜共生系统装置的替代能源	148
9.2 保证小规模鱼菜共生系统的水位	149
9.2.1 浮动开关	149
9.2.2 溢流管	150
9.2.3 消防管	150
9.2.4 动物栅栏	150
9.3 鱼菜共生系统与其他菜园的集成整合	150
9.3.1 灌溉和施肥	150
9.3.2 灌溉渗透型种植床	151
9.4 小型的鱼菜共生系统设置示例	152
9.4.1 缅甸生计型鱼菜共生系统	152
9.4.2 盐碱地的鱼菜共生系统	152
9.4.3 鱼-菜-果共生系统	154
9.5 本章小结	155
<b>拓展阅读材料</b>	<b>157</b>
<b>词汇表</b>	<b>163</b>
<b>附录</b>	<b>167</b>
附录 1 - 鱼菜共生系统中12种常见蔬菜的生产指南	169
附录 2 - 植物病虫害防治	183
附录 3 - 鱼类病虫害防治	187
附录 4 - 计算鱼菜共生系统中的氨氮量和所需的生物过滤基质	191
附录 5 - 自制鱼饲料	193
附录 6 - 建立一个鱼菜共生系统前的关键考虑因素	199
附录 7 - 小型鱼菜共生系统的成本收益分析	205
附录 8 - 小规模鱼菜共生系统建设步骤指南	209
<b>鱼菜共生技术快速查询手册</b>	<b>249</b>

## 致谢

作者真挚感谢那些在写作准备过程中提供重要支持的人们。

作者特别要感谢以下个人，是他们提供了照片、前期编辑和其他技术支持，他们是：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 和 Efrat Zemer-Bronfman。

作者还要感谢Yogev Azulai, Akwak Geremew, Tal Pereg 和 Guy Rubinstein对水产养殖相关内容的贡献（包括小规模鱼饲料的生产）；感谢Philip Jones, Michael Raviv, Nitzan Solan 和 Lorena Viladomat，他们在水耕法和鱼菜共生食物生产方面提供了帮助。

作者还想要感谢以下专家，他们对本手册的初稿进行了审阅，在整个审阅过程中投入了大量的精力，他们是联合国粮农组织植物种植和保护司的Wilfried Baudoin和Allison Hodder；渔业和水产养殖部的Tony Jarrett；和美国的James Ebeling。

本手册的顺利完成得益于众多养殖户、科学家、产业专业人员、经营业主和技术人员的支持与配合，他们友好地分享了他们的技术和经验。

本手册的出版得到了欧盟印度洋委员会智慧渔业项目和粮农组织的经常性项目资金资助。

根据上海海洋大学与粮农组织达成的合作中文版出版协议，在上海海洋大学车斌博士的全面协调下，顺利将鱼菜共生手册翻译成中文版。下列人员参与了翻译工作，在此予以感谢，他们是车斌博士、管鲜女士、袁兰云女士、晨凡女士、王春蕾女士和颜聪聪先生。渔业和水产养殖司缪为民、袁新华、蔡俊宁和郝彬对翻译进行了审校和修订。

特别致谢Hilla Noam女士，她绘制了本手册中的相关示意图。中文版面设计由Canopy Translation完成。

# 本书作者

## **Chris Somerville**

城市农业顾问  
爱尔兰都柏林

与国际和无政府组织合作，他在埃塞俄比亚、约旦和巴勒斯坦开展可持续城市农业项目，重点是小型鱼菜共生和水耕栽培。目前，主要是同粮农组织一起在约旦河西岸和加沙地带发展创新和综合的粮食生产系统。

## **Moti Cohen**

鱼菜共生系统专家  
以色列霍菲特

所有者/经理，一家从事为家庭农场提供可持续农业技术和水处理方案的私人公司，重点推广鱼菜共生系统。他设计完成并且已经安装了大量经营性鱼菜共生系统，给鱼菜共生食物生产的研讨班做培训和指导，以及为多个国际项目提供技术指导。

## **Edoardo Pantanella**

农业生态学家、鱼菜共生研究专家  
意大利罗马

专注于综合种养系统，尤其是鱼菜共生系统的研究员。他的工作主要集中于水产养殖发展，包括为了实现城乡区域的可持续粮食系统和生计设计提供淡水和半咸水鱼菜共生系统，尤其是在干旱和盐碱的环境中。他主要从事为鱼苗场、海洋农业和废水养殖提供商业化鱼菜共生方案。

## **Austin Stankus**

FAO顾问  
意大利罗马

他拥有研究和从事综合水产养殖和种植系统的工作经验，尤其是鱼菜共生和有机农业、基于GIS的城市森林区划和空间规划、利用黑水虻使食物废弃物转化为动物饲料、将可持续农业纳入教育内容，为青年农民提供基于项目的学习机会。

## **Alessandro Lovatelli**

FAO水产养殖官员  
意大利罗马

海洋生物学家，水产养殖专家，为FAO和其他国际组织工作，拥有丰富的全球水产养殖发展经验。主要从事海水养殖发展、养殖技术转移推广和资源管理。他在淡水资源缺乏的地区积极推行适用于粮食生产技术。

## 缩略词表

AC/DC	交流/直流电
AOB	氨氧化细菌
C:N	碳氮比
CaO	氧化钙
Ca(OH) <sub>2</sub>	氢氧化钙
CaCO <sub>3</sub>	碳酸钙
CO <sub>2</sub>	二氧化碳
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	碳酸盐
CHIFT-PIST	控制鱼槽内水位恒定-吸污池水泵
CP	粗蛋白
DE	消化能
DIY	自己动手做
DNA	脱氧核糖核酸
DO	溶解氧
DWC	深水栽培/浮板栽培
EAA	必需氨基酸
EC	电导率
EFA	必需脂肪酸
FAO	联合国粮农组织
FCR	饲料系数
GAP	良好农业操作规范
GH	总硬度
H <sup>+</sup>	氢离子
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	碳酸
H <sub>2</sub> S	硫化氢
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	硫酸
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	磷酸
HCl	盐酸
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	碳酸氢根
HNO <sub>3</sub>	硝酸
IBC	中型集装箱
IPPM	综合生产和病虫害管理
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	碳酸钾
KH	碳酸盐硬度
KHCO <sub>3</sub>	碳酸氢钾
KOH	氢氧化钾
LDPE	低密度聚乙烯
LECA	轻质陶粒料
NaCl	氯化钠
N	氮

---

N <sub>2</sub>	分子氮
NFE	无氮浸出物
NFT	营养膜栽培法
NH <sub>3</sub>	氨气
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	铵
NHO <sub>3</sub>	硝酸
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	亚硝酸盐
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	硝酸盐
NOB	亚硝酸盐氧化细菌
μ S/cm	微西门子/每厘米, 电导率
pH	酸碱度
ppm	百万分之一
ppt	千分之一
PVC	聚氯乙烯
RAS	循环水养殖系统
RCD	漏电保护器
SSA	比表面积
TAN	总氨氮
TDS	总溶解固体
USD	美元
UV	紫外光

# 图片署名权

图表编号	署名权
1.1 - 1.3 - 1.4 - 1.5 - 2.1 - 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 - 3.1 - 3.2 - 3.3 - 3.4 - 3.5 - 3.6 - 3.7 - 3.10 - 3.11 - 3.12 - 3.13 - 3.14 - 4.9 - 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 - 5.1 - 5.2 - 5.3 - 5.4 - 5.6 - 6.3 - 6.4 - 6.6 - 7.1(b) - 7.2 - 7.3 - 7.4 - 7.5 - 8.2(a) - 8.3 - 8.9 - 9.15 - A1.6 - A1.17	Hilla Noam
1.2 - 1.7 - 1.8 - 1.9 - 3.9 - 4.1 - 4.2 - 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 - 6.5(d) - 6.8(c) - 6.10 - 6.11(b) - 7.13 - 8.7(b, c) - 9.1 - 9.8 - 9.11 - A1.5 - A1.13 - A1.22	Moti Cohen
1.6	Gilad Lugasy
1.10 - 3.8 - 4.5 - 4.17 - 4.18 - 4.22 - 4.31 - 4.35 - 4.36 - 4.37 - 4.52 - 5.5 - 5.7 - 6.1 - 6.2 - 6.7 - 6.8(b) - 6.9 - 6.11(a) - 6.13 - 8.1 - 8.2(b) - 8.4 - 9.12(a) - 9.16 - A1.1 - A1.2 - A1.3 - A1.4 - A1.7 - A1.8 - A1.9 - A1.11 - A1.12 - A1.14 - A1.15 - A1.16 - A1.18 - A1.20 - A1.21	Christopher Somerville
4.3 - 4.43 - 9.14	Austin Stankus
4.4 - 4.51 - 6.12	Mosh Kasirer
4.7	Yizhak Ben Israel
4.8	Yaniv Fieldust
4.11	Yehuda Feingold
4.12 - 4.75	Mendi Falck
4.14 - 4.70	Alon Zimerman
4.15 - 4.64 - 4.65 - 6.8(a) - 8.5 - 8.6 - 8.7(a) - 8.8 - 9.3 - 9.7	Idan Ben Yakov
4.16 - A1.10	Iugene Korn
4.19	Fahad Saleh Ibrahim
4.20	Yuval Aliba
4.21	Tal Munchas
4.23	Yugav Azulai
4.30 - 4.32	Ethan Hasman
4.34 - 4.48	Amit Hasman
4.39 - 9.2 - 9.5 - 9.6	Irene Nurzia Humburg
4.40	Guy Tabak
4.42	Paolo Usseglio
4.61	James Ebeling
6.5(a, b, c) - 9.4	Nitzan Solan
7.1(a)	Livinggreen Systems
7.6 - 7.7(a) - 7.9(a) - 7.10(a) - 7.11(a) - 7.12	FAO
7.7(b)	Ming Junchao
7.8	Koi on Demand Ltd.
7.9(b)	Victor Pouomogne
7.10(b)	Produttori Ittici Trevigiani
7.11(b)	Marc Towers
7.14	Pierpaolo Patarnello
9.9	Yaniv Cohen
9.10	Karen Tagury
9.12(b) - 9.13	Itai Levi
9.17 - 9.18 - 9.19 - 9.20	Edoardo Pantanella
9.21	Slamet Widayadi
A1.19	Nir Kroshaniivski



# 图目录

图编号	页码
<b>1. 鱼菜共生概述</b>	<b>1</b>
1.1 鱼菜共生系统鱼槽中的罗非鱼	1
1.2 采用鱼菜共生系统生长的蔬菜	1
1.3 简单水培系统	2
1.4 循环水产养殖系统	3
1.5 简单水培系统	5
1.6 干旱地区庭院式鱼菜共生系统	8
1.7 中型商业化鱼菜共生系统	8
1.8 用于教育目的的结合型鱼菜共生系统。(a) 营养膜技术; (b) 基质床; (c) 深水养殖; (d) 鱼槽	9
1.9 小型鱼菜共生系统	10
1.10 楼顶小型鱼菜共生系统	10
<b>2. 理解鱼菜共生原理</b>	<b>11</b>
2.1 鱼菜共生过程中的生物组成: 鱼、植物和细菌	11
2.2 氮循环(简化的)	12
2.3 自然界氮循环示意图	12
2.4 土壤氮循环示意图	13
2.5 鱼菜共生系统中的氮循环图	13
2.6 鱼菜共生系统中的硝化作用过程	14
2.7 使用火山砾石的基质床鱼菜共生系统, 提供了大量细菌生长所需的表面积	14
2.8 数字式pH计和温度计	15
2.9 装填了塑料过滤料(b)的曝气生物过滤器(a)	15
2.10 鱼生物量超过生物过滤承载力, 导致毒性氨和亚硝酸盐富集的发生	16
2.11 鱼和生物过滤配置合理, 但系统因为植株太少而不平衡, 从而硝酸盐超量	16
2.12 鱼和生物过滤配置合理, 但系统因为植株太多而不平衡, 从而硝酸盐不足	17
2.13 配置合理的系统中鱼、植物和细菌达到动态平衡	17
2.14 硝酸盐检测试剂盒	18
<b>3. 鱼菜共生系统中的水质</b>	<b>21</b>
3.1 必需的水质测试用品	21
3.2 鱼菜共生生态系统	21
3.3 鱼类的溶解氧总体耐受水平	23
3.4 不同温度下氧在水里的溶解度	23
3.5 pH值的视觉展示	23
3.6 氢和碳酸根离子的键合	27
3.7 鱼菜共生系统中的碳酸氢盐和硝酸的键合	28
3.8 鱼菜共生系统中的藻类生长	29
3.9 生长于塑料管上的藻类	29
3.10 使用数字酸碱仪检测水体pH值	31
3.11 用于降低pH值的磷酸( $H_3PO_4$ -85%浓度)	32
3.12 在网袋里添加贝壳, 向鱼菜共生系统的水体释放碳酸盐	31
3.13 淡水水质测试盒, 用于检测pH、氨、硝酸盐和亚硝酸盐指标, 通过与比色卡比较测试水的颜色来确定其指标值	33
3.14 颜色编码的水质检测试纸	33

<b>4. 鱼菜共生系统设计</b>	<b>35</b>
4.1 小型基质床系统示意图	35
4.2 使用中型容器新组装的基质栽培床系统范例	36
4.3 生长在木制容器加聚乙烯内衬建成的半商业化基质床系统里的芋头植株 ( <i>Colocasia esculenta</i> )	36
4.4 庭院式基质床单元中生长茂盛的蔬菜	36
4.5 种植辣椒 ( <i>Capsicum</i> spp.) 的基质床系统	36
4.6 小型营养膜技术单元示意图	37
4.7 小型营养膜技术单元内生长的欧芹 ( <i>Petroselinum</i> )	37
4.8 养殖者照料营养膜技术单元中栽培的西红柿幼苗。网杯是用回收利用的塑料瓶在底部钻孔做成的	37
4.9 利用垂直空间的营养膜技术单元	37
4.10 小型深水种养系统示意图	38
4.11 深水种养单元内生长的生菜植株	38
4.12 深水种养单元中生长的多品种生菜	38
4.13 生长在深水种养单元中的羽衣甘蓝 ( <i>Brassica</i> ) 的根系	38
4.14 被大雪损坏的深水种养系统	39
4.15 遮荫材料 (蓝色) 减少了照到鱼槽的阳光	40
4.16 房顶上的小型基质床单元	40
4.17 房顶上的多单元鱼菜共生系统	41
4.18 生长在房顶营养膜技术法系统中的各种蔬菜	41
4.19 温室里的小型鱼菜共生系统	41
4.20 温室里新组装的鱼菜共生系统	41
4.21 用于容纳小型鱼菜共生系统的网棚	42
4.22 一个用白色聚乙烯桶制成的1000升鱼槽	43
4.23 圆柱形鱼槽内里的幼鱼。回水管 (上端) 和底部排水管清晰可见	43
4.24 两个大型 (2000升) 长方形鱼槽里分开的幼鱼群	44
4.25 机械固体分离器示意图	45
4.26 机械固体分离器照片	45
4.27 带有挡板的机械固体分离示意图	45
4.28 用于小型营养膜技术法和深水种养殖系统的生物过滤器示意图	46
4.29 具有大比表面积的塑料生物过滤基质图示	46
4.30 加了机械过滤和生物过滤基质 (b) 的生物过滤器 (a) 图示	46
4.31 使用筛网作为额外机械过滤的小型基质床系统	47
4.32 用于深水种养殖系统的基质床单元	47
4.33 机械固体分离器 (右) 与生物过滤器 (左) 相连接的示意图	48
4.34 机械固体分离器 (右) 与生物过滤器 (左) 相连接的俯视图	48
4.35 生长在基质床系统中的蔬菜	48
4.36 生长在同一基质床系统中的不同蔬菜植株	48
4.37 生长在营养膜技术法系统圆形管道里的生菜植株近照	49
4.38 生长在营养膜技术法系统方形管道里的生菜	49
4.39 深水栽培槽里悬浮在聚苯乙烯筏子上的瑞士甜菜	49
4.40 小型深水栽培系统里茂盛的生菜	49
4.41 应用在小鱼菜共生系统中的各种牌子商业出售的潜水泵	50
4.42 简易气提水装置	50
4.43 不用水泵的庭院式鱼菜共生系统	51
4.44 市售多种品牌的小型气泵	51
4.45 用于将压缩气体在水体释放成微小气泡的气石	51
4.46 文丘里虹吸管制作步骤。把管道 (a) 的一小部分插入主管道 (b) 的一端。在小管上切出小口 (c, d), 通过小口 吸入空气 (e)	52
4.47 集水池埋入地表之下, 通过重力收集水流	53
4.48 常用的管道安装配件	53
4.49 市售多种品牌的水质测试盒, 包括氨、亚硝酸盐、硝酸盐, pH和碱度等指标的检测	54

4.50	小型基质床系统示意图	55
4.51	用中型容器做成的基质床单元	55
4.52	基质床系统中使用的玻璃钢水槽	56
4.53	使用火山砾石作为植物栽培基质	56
4.54	使用石灰岩砾石作为植物栽培基质	57
4.55	使用轻质膨化粘土颗粒作为植物栽培基质	57
4.56	处于排水期基质床的三个区域	60
4.57	处于灌水期基质床的三个区域	60
4.58	贝尔虹吸及安装在栽培床上各部分的示意图	61
4.59	基质床竖管和基质阻拦网安装示意图	62
4.60	小型营养膜技术法单元示意图	63
4.61	生长在商业化营养膜技术法单元里的生菜	64
4.62	生长在营养膜技术法单元方形管中的生菜	65
4.63	营养膜技术法单元中上下排列的生长管	65
4.64	显示孔间距的几个栽培管道	66
4.65	植株支撑材料, 显示栽培基质和网杯	66
4.66	从营养膜技术法单元里收获的整株生菜。网杯和PVC延展管清晰可见	67
4.67	不使用网杯直接生长在栽培管里的生菜	67
4.68	使用基质床过滤的小型深水种养殖单元示意图	67
4.69	使用独立过滤的小型深水种单元养殖单元示意图	68
4.70	一个大型深水养殖单元	68
4.71	一个小型深水鱼菜共生种养殖单元。在聚苯乙烯板下可见植株根系	69
4.72	在深水养殖水槽里使用的气石	69
4.73	用于深水栽培系统的Kratky法示意图, 展示浮筏与水面之间的分离	70
4.74	小型深水栽培系统里聚苯乙烯浮板上的栽培孔	70
4.75	深水栽培系统中移栽幼苗的步骤: 先将幼苗和砾石(a)放入网杯内(b), 然后将网杯置入聚苯乙烯板浮床内	70
4.76	没有机械固体分离器和生物过滤器的小型鱼菜共生深水栽培单元示意图	71
<b>5.</b>	<b>鱼菜共生系统中的细菌</b>	<b>75</b>
5.1	鱼菜共生系统中的硝化作用过程	75
5.2	异养细菌的结构	77
5.3	循环水产养殖系统运行开始几周的氨、亚硝酸盐及硝酸盐浓度变化	79
5.4	鱼饲料作为氨的来源	80
5.5	鸡粪作为氨的来源	80
5.6	能显示的低氨氮水平(0-0.5毫克/升)(a)和高氨氮水平(4毫克/升)(b)水质测试盒	81
5.7	在循环栽培周期中给基质床中添加植株幼苗	81
<b>6.</b>	<b>鱼菜共生系统中的植物</b>	<b>83</b>
6.1	土壤中生长的西红柿( <i>Solanum</i> )	83
6.2	鱼菜共生系统中生长的瑞士甜菜( <i>Beta sp.</i> )	83
6.3	植物的基本结构示意图	86
6.4	光合作用过程	87
6.5	出现白色老叶说明缺氮(a); 叶子边缘出现褐色斑点显示缺钾(b); 卷曲的叶子和变黄说明缺硫(c); 薄荷植物的整体淡绿色说明缺铁(d)	90
6.6	pH值对植物获得养分的影响	91
6.7	基质床中生长的高营养需求蔬菜品种, 如茄子( <i>Solanum</i> )(a)和西红柿( <i>Solanum</i> )以及花菜( <i>Brassica</i> )(b)	93
6.8	常见植物病害, 包括由真菌引起的霉菌病(a); 细菌引起的溃烂病/枯萎病(b); 以及由细菌或真菌引起的叶斑病(c)	93
6.9	房顶鱼菜共生系统可以隔离一些地面害虫	95
6.10	人工去除害虫	95

6.11	在温室(b)里设置的黄色粘虫板(a)	96
6.12	两个种植了多种蔬菜的基质床示例	101
6.13	利用藤蔓作物(a)和交错栽种(b)来最大化利用基质床空间的示例	102
<b>7.</b>	<b>鱼菜共生系统中的鱼类</b>	<b>103</b>
7.1	鱼菜共生系统中生长的罗非鱼幼鱼(a)和成鱼(b)	103
7.2	鱼类主要外部解剖特征意图解	104
7.3	鱼的一般生命周期	105
7.4	用于不同规格鱼的的颗粒饲料和粉末饲料示例	107
7.5	使用计重秤对样本鱼称重	108
7.6	罗非鱼( <i>Oreochromis niloticus</i> )的素描图和照片	110
7.7	草鱼( <i>Ctenopharyngodon idella</i> )的素描图和照片	112
7.8	鱼菜共生系统中的观赏鲤鱼( <i>Cyprinus carpio</i> )	112
7.9	非洲鲶( <i>Clarias gariepinus</i> )的素描图和照片	113
7.10	虹鳟( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )的素描图和照片	114
7.11	大口黑鲈( <i>Micropterus salmoides</i> )的素描图和照片	115
7.12	罗氏沼虾( <i>Macrobrachium rosenbergii</i> )的素描图和照片	115
7.13	鱼类的适应。使用塑料袋(a)运输鱼种,装着鱼的塑料袋漂浮在鱼池(b)里一段时间,然后才能把鱼种释放出来(c)	116
7.14	发病的鱼表现出的几种症状:(a)鳃损伤(b)严重鳃坏死	118
<b>8.</b>	<b>管理和故障排除</b>	<b>123</b>
8.1	基质床单元中密植的生菜顶部(1平方米)	124
8.2	蔬菜育苗床(a)和生菜苗(b)	128
8.3	使用空的鸡蛋托盘作为植物发芽育苗盘	129
8.4	用棉绒来保持水分,从而在基质床中直接移栽植株苗	129
8.5	在移栽到鱼菜共生系统之前,将生菜幼苗根部的泥土去除	130
8.6	把植株苗移栽到基质床单元的步骤。把植株苗从育苗床中移出(a);在基质中挖一个小洞(b);栽下植株苗(c);然后再回填基质(d)	130
8.7	为营养膜技术单元(a)准备植株苗,生长基质,网杯和延展材料;把植株苗和基质放置在网杯中(b);然后把网杯插入到生长管中(c)	131
8.8	为深水栽培单元(a)准备植株苗,生长基质和网杯;把植株苗和基质放置在网杯中(b);然后把网杯插入到浮床内(c)	131
8.9	收获时需把整个植株(包括根系)都取出	132
<b>9.</b>	<b>其它与鱼菜共生系统有关的内容</b>	<b>123</b>
9.1	立式堆肥装置	142
9.2	来自蚯蚓粪堆肥装置的红蚯蚓( <i>Eisenia fetida</i> )	142
9.3	在桶里用气泵制作堆肥液态肥(放在网袋里)	143
9.4	容器里生长的浮萍作为鱼的补充饵料	144
9.5	容器里生长的满江红( <i>Azolla</i> )作为鱼的补充饵料	144
9.6	黑水虻( <i>Hermetia illucens</i> )成体(a)和幼虫(b)	145
9.7	从干罗勒( <i>Ocimum</i> )植株上收集种子	146
9.8	从屋顶收集雨水	147
9.9	回收浴缸用作基质床	148
9.10	用于驱动水泵的光伏电池	148
9.11	使用螺旋排列的黑管给水加热的技术	149
9.12	控制水泵的浮球开关(a)和控制总水管的浮球阀(b)	149
9.13	生物过滤器的溢流管	150
9.14	深水型养殖槽用来保持水位的竖管	150
9.15	吸湿型种植床结构示意图	151

9.16	利用塑料桶制作的吸湿型种植床示例	151
9.17	塞满土的竹制框架(a), 去掉土并衬以聚苯乙烯膜作为生长槽及基质床(b)	152
9.18	猪毛菜 ( <i>Salsola</i> ) 生长在半咸水 (三分之二海水盐度), 每个月产量为 2-5 千克/平方米	153
9.19	海甜菜生长在三分之一海水盐度的深水栽培单元的聚苯乙烯板上	153
9.20	嫁接西红柿生长在十分之一海水盐度的沙地里	153
9.21	印尼鱼-果-蔬系统的中央水泥鱼池(a, b), 周围环绕着基质花盆内生长的草莓(c) 和西红柿植株(d)	154

## 表

表序号		页码
2.1	硝化细菌的水质耐受范围	16
3.1	鱼类(温水或冷水)、水耕栽培植物和硝化细菌的一般水质耐受范围	22
3.2	鱼菜共生系统中三种生物之间折衷的理想参数	22
4.1	不同生长基质的特点	58
4.2	主要鱼菜共生系统技术的优缺点	73
6.1	比较有土栽培和无土栽培植物生产的汇总表	85
6.2	营养素对真菌病害的预防作用	100
7.1	鱼菜共生中常用的七种经济水生物种的水质参数、饲料需求和预期生长率	109
7.2	鱼类应激反应的原因和症状	117
8.1	小型鱼菜共生单元的实用系统设计指南	126
8.2	使用交错放养方法的罗非鱼一年内的潜在生长率	134
8.3	使用渐进式收获技术单个水槽中罗非鱼在一年内的潜在生长率	135
8.4	鱼菜共生系统常见问题故障的排除	138



# 1. 鱼菜共生介绍

本章对鱼菜共生的概念进行了全面描述，该技术是一种将水耕栽培和水产养殖进行耦合，利用水产养殖循环水进行种养植物的复合系统（图1.1和图1.2）。首先对无土栽培和水产养殖进行简单的描述；接下来介绍了鱼菜共生是如何组织在一起并发挥作用，包括各种注意事项和鱼菜共生的发展简史；然后是鱼菜共生在食物生产中的主要优势和劣势分析，包括鱼菜共生系统选址和环境的适应性分析；最后，对当前常见的鱼菜共生的应用进行了简要描述。

## 1.1 水耕栽培和无土栽培

无土栽培是一种不用土壤进行农作物种植的方法。代替土壤的是各种惰性生长媒介，这些媒介也叫做介质。这些媒介主要用来支撑植物的生长和保持水分。灌溉系统被整合在这些介质中，为植物根部提供营养液，从而提供植物生长所需要的各种养份。最常见的无土栽培的方法是水耕栽培法，这种方法是将植物裸露的根系在介质或是水营养液中生长。关于水耕栽培法有很多不同的设计，每一种设计都服务于不同的目的，但是所有的系统都具有一些基本共同的特征（图1.3）。

无土栽培农业可以用来减少病虫害和降低由于土壤带来的疾病对单一栽培作物造成的危害。由于无土基质可以在植物轮作之间进行消毒和再利用，事实上水耕栽培系统通过避免植物和土壤之间的接触，可以有效控制由于土壤而带来的虫害和疾病。而基质的再利用也正好满足了集约化生产的特殊要求。有一些基质远比土壤要好很多，尤其是在植物根部的水分保持能力和氧气供给方面。农民通过增加对植物生长重要因素的控制可以提高植物的性能。植物根部营养的获取也更加易于操做、监控和实时控制，这些都有助于生产数量和质量提高。而且，由于营养液是循环利用从而使无土栽培用水量只是传统的土壤种植生产用水量的很小部分。

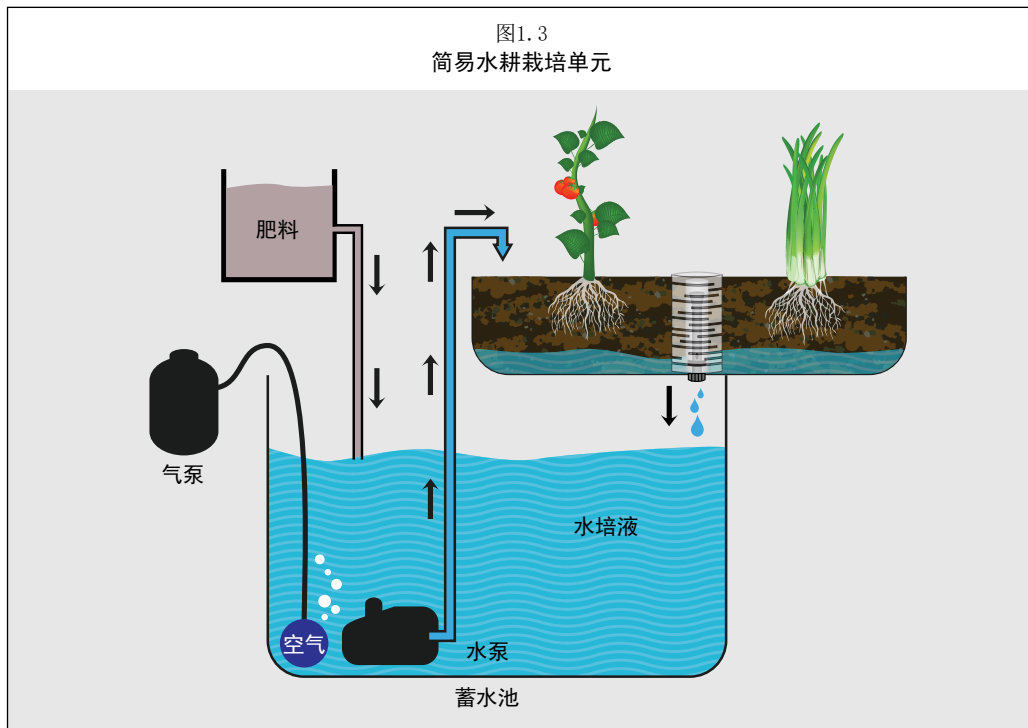
在过去的200年的农业发展中，无土栽培农业仅仅是主流科学、经济和技术发展的一个小的体现。通常，在那些主要地处温带气候的发

图1.1  
鱼菜共生系统鱼缸中的罗非鱼



图1.2  
鱼菜共生系统中生长的植物





达国家，人们对反季节和高附加值作物的需求在不断上升。某种程度上来说，这是人们生活水平普遍提高的结果，需求的增加导致了多种类型的设施栽培系统的发展，以此来提高生产能力和增加作物的全年供应。在这些设施栽培系统中，农作物可以在土壤中生长，然而，为了保持与露天土地农业的竞争力，抵消由于环境控制增加的农业生产成本，就不得不增加种植密度。因此，从土壤种植向无土栽培的转变正是满足了这一不断变化的农业需求。这种方法既可以是代替土壤消毒控制虫害和病原体的一种选择，也有利于克服由于单一作物栽培所带来的土壤肥力下降的问题。

由于无土栽培农业较高的用水效率和施肥效率，除了产量比传统农业有显著提高以外，更为重要的是，无论从环境方面还是经济方面，水耕栽培系统都是一种最适合在干旱地区或者是在营养物流失区域使用的种植技术。在那些缺乏耕地的地区，不需要使用土地的水耕栽培系统成为了一种不可或缺的解决方案。在干旱地区、盐碱地区、在城市和市郊环境下、或者是在土地紧缺和供水紧张、或者是气候条件不利的地方，同时又需要集约化生产系统的地方，都可以开发无土栽培农业。只需要较小的空间就能有较高的生产力的优点使得无土栽培农业无论对于保障粮食安全或者是对于那些零距离配送的微型农场来说都是一个很有吸引力的方法。

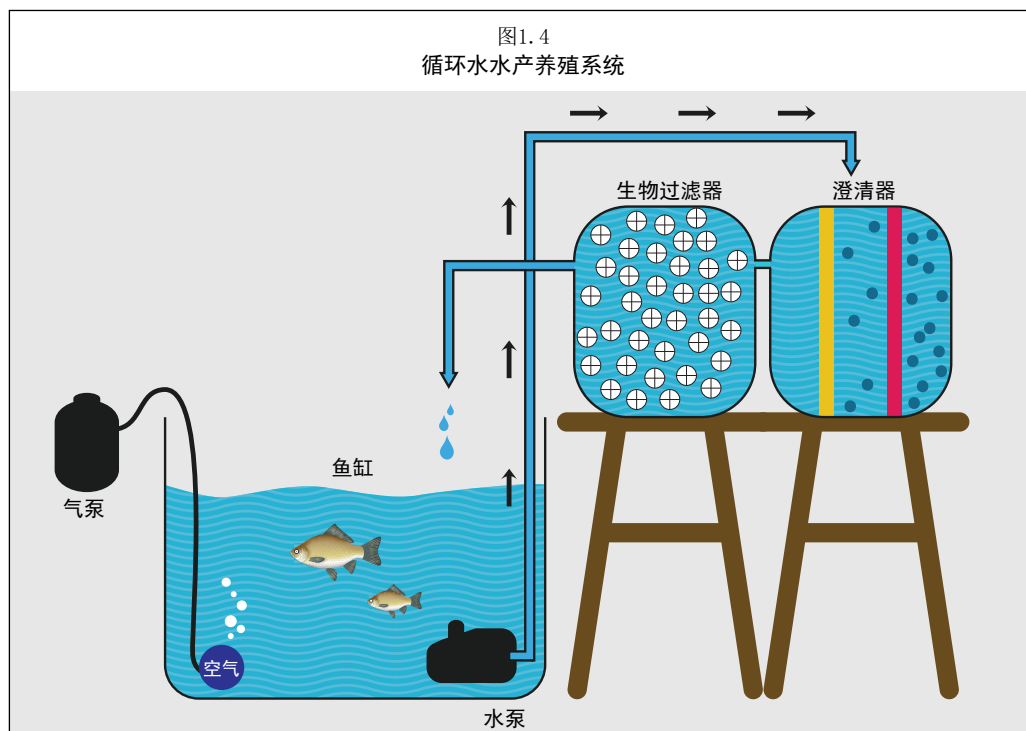
综上所述，无土栽培之所以是一种值得推广的农业实践，原因有四点：无菌的栽培条件减少了土传疾病和病原的发生；可调节的生长条件可以满足最佳生长需求以增加产量；提高水资源和肥料的使用效率；为耕地供给不足的地方提供了发展农业的可能性。除此之外，随着对无化学品和无农药使用的生产要求的兴起和可持续农业实践需求的增加，对有机生产和无土栽培方法有了更加全面的研究。6.1部分将详细讨论这些差异。



现代农业可持续发展的一个主要关注点是生产粮食过度依赖工业化化学肥料。这些营养物既昂贵又难以获取，而且通常是从破坏环境的活动中获得的，这些活动成了农业生产中不断排放二氧化碳的来源。这些重要营养物质的供给正在以一种飞快的速度被消耗，人们预测在未来几十年中将会出现全球性短缺的情况。水耕栽培在水资源和营养物的利用方面比土壤农业更有效率，但是它的管理也更加复杂，且需要成套装置，尤其是设施条件，配套电力可以保证水循环和增氧过程。但是，它不需要消耗燃料来进行翻地，也不需要额外的能量来抽取大量的灌溉用水或者进行除草，并且它也不会由于进行集约化农业活动而破坏土壤的有机质。当然，初始投资、设施材料和对电力的依赖将是鱼菜共生系统的重要限制因素，但是在这个系统中完全消除了对化学肥料的依赖。

## 1.2 水产养殖

水产养殖是一种在人工控制条件下进行鱼类和其它水生动物及水生植物的饲养和生产方式。多种水生动物已经可以人工养殖，尤其是鱼类，甲壳类、软体类、水生植物和藻类。全世界不同地区，根据各地特定的环境和气候条件，开发出多种适应当地环境的水产养殖生产方法。按养殖水体分，水产养殖主要分为四大类，分别是水面养殖系统（例如网箱和吊养）、池塘养殖、流水养殖和循环水养殖系统（RAS）。在循环水养殖系统（RAS）中（图1.4），养殖水在经过清洁和过滤之后会再次被用来养鱼。尽管较高的前期投资、能耗和管理成本都使得循环水养殖系统（RAS）不可能是一个廉价的生产系统，但是它可以大幅度提高单位水域的生产力而且是水产养殖中最高效的节水技术。循环水养殖系统（RAS）是一种应用最广的综合农业种养系统，因为其可能的相关副产品利用以及为蔬菜生长提供的富营养水。鱼菜共生系统的开发得益于循环水养殖系统（RAS）中的营养物质的富集理论，因此，这也是这本手册重点内容。



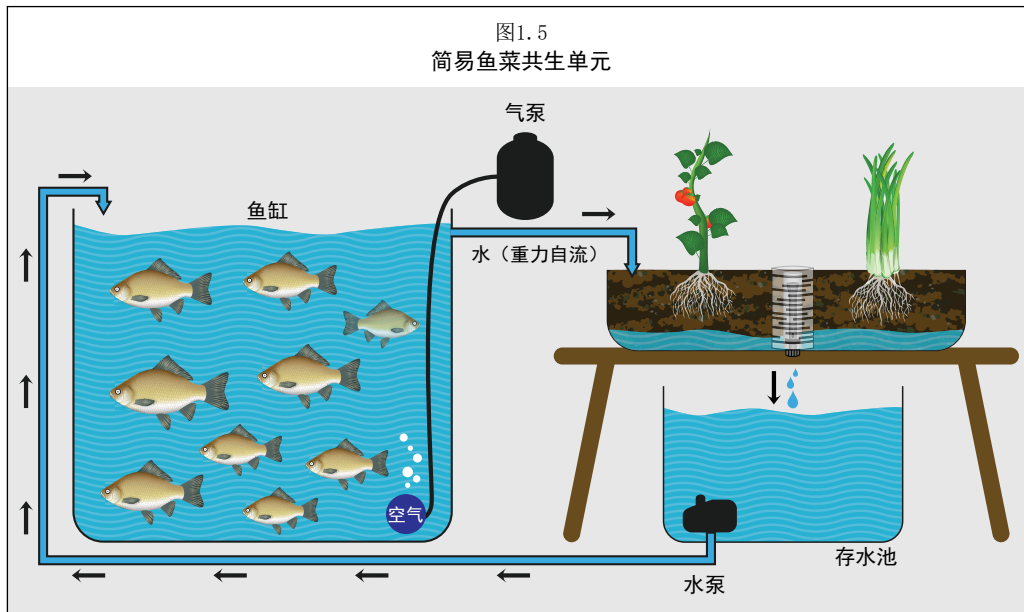
水产养殖是全球蛋白质生产的重要来源。事实上，在2012年，随着水产养殖总产量第一次达到捕捞业上岸总产量水平，水产养殖产量已占全球食用鱼总产量的近二分之一。水产养殖在减少全球渔业的压力和大幅度有效减少不可持续的陆生动物养殖生态足迹方面以及为人类提供动物蛋白等方面都有着巨大的潜力。然而，为了提高这种农业技术的可持续性，水产养殖有以下两个方面问题需要注意：水产养殖可持续发展的一个主要问题是要对富营养化废水进行处理，这也是前面提到的所有水产养殖方式的副产品。根据每个国家设立的环境保护条例，养殖户必须对废水进行处理和排放，这一处理过程可能是昂贵的或对环境不利。如果不经过处理，富营养废水的排放就会导致沿海岸带水域和局部地区出现富营养化和缺氧现象，也会导致珊瑚礁上大型藻类的疯长和其它生态和经济的混乱。应用富营养化的水种植植物是一个阻止其排放到环境中的一个方法，通过灌溉、人工湿地和其它技术利用这些不需要任何成本的副产品来种植作物，还可以从中获得额外的经济收益。另一个水产养殖可持续发展的关注点是过度依赖鱼粉作为鱼饲料的原料。从保护的角度来看，这是一种以债抵债的方式，鱼饲料成份可替代品开发是未来水产养殖的一个重要方向。本手册的主体内容致力于将水产养殖废水作为一种增值产品进行再利用，而鱼饲料替代品以及其减少水产养殖生态足迹的方法将在9.1.2部分讨论。

### 1.3 鱼菜共生

鱼菜共生是把循环水产养殖系统和水耕栽培系统整合在一个生产系统中。在一个鱼菜共生系统单元中，来自养鱼槽的水经过过滤装置、植物栽培床，然后流回养鱼槽（图1.5）。在过滤器中，鱼类产生的排泄物会从水中分离，首先使用机械过滤清除固体废物，接着通过生物过滤吸收可溶性废物。生物过滤器为细菌提供了一个场所，从而把对鱼类有毒的氨转化为对植物来说更易吸收的营养物质——硝酸盐，这个过程被称作是硝化作用。当水（包含了硝酸盐和其它营养物质）流经过植物栽培床的时候，植物会吸收这些营养物质，最后流回养鱼槽的水就得到了净化。只要该系统保持恰当平衡，那么这其中的鱼类、植物和细菌可以共同生活并为彼此创造一个健康的生长环境。

在鱼菜共生系统中，水产养殖的富营养水经过植物栽培床被吸收，不会排放到环境中，同时植物所需要的营养是以一种可持续的、经济的和非化学方式供应。这种综合形式排除了独立进行水产养殖或水耕栽培时存在的一些不可持续性因素。除了综合系统所带来的益处之外，鱼菜共生也证明其蔬菜和鱼类的产量与循环水养殖和水耕栽培系统的产量相当。尤其是在土地和水源都受限制的地方，鱼菜共生可能更高产和更具经济可行性。然而，鱼菜共生是复杂的和需要大量的初期投资。增加的产量应当能够弥补整合两个系统的高昂投资成本，在建设一个大型的或者投资巨大的鱼菜共生系统之前，应当制定一份包括经济、环境、社会 and 物流等多方面考量的整体商业计划。

尽管鱼类和蔬菜生产是鱼菜共生系统能够看得见的产品，我们也要认识到鱼菜共生系统是一个完整的生态系统管理，即包含了鱼类、蔬菜和细菌三种生物群组。



#### 1.4 鱼菜共生的适用性

鱼菜共生结合了两个在各自领域极具生产力的生产系统。循环水产养殖系统和水耕栽培已经在全球得到了广泛推广，不仅是因为它们的高产，更是因为它能更好地利用土地和水资源，便捷的污染控制方法，提高的生产要素管理能力，以及高质量产品和更加安全的食物（框1）。但是，由于鱼菜共生系统通常是复杂和昂贵的，所以需要持续不断的投入。

##### 框1

#### 鱼菜共生食物生产的利与弊

##### 鱼菜共生食物生产的主要益处：

- 可持续和集约化的食物生产系统。
- 两种农产品（鱼和蔬菜）的生产共用一种氮源（鱼饲料）。
- 非常节水。
- 不需要土壤。
- 不使用化肥或化学杀虫剂。
- 产量和质量更高。
- 有机管理和生产。
- 更高水平的生物安保和更低的外部污染物风险。
- 更可控的生产使得损失更小。
- 可用于沙漠、退化土壤或盐碱沙岛等非耕地。
- 很少的废物。
- 日常工作、收割和种植过程节省劳力，因此可以涵盖所有性别和年龄的人。
- 许多地方家庭的粮食生产或经济作物的经济型生产方式。
- 搭建材料和信息来源容易获取。

接上一页

#### 鱼菜共生食品生产的主要缺点：

- 与土壤蔬菜生产或水耕栽培相比，初始启动成本更高。
- 从事鱼菜共生的农民要想成功，就必须掌握鱼类、细菌和植物生产方面的知识。
- 鱼类和植物生长的需求并不总是完全匹配。
- 不建议在不能满足鱼类和植物生长所需最佳温度范围的地方使用。
- 与独立水产养殖或水耕栽培系统相比，管理上的选项更少。
- 错误或事故可能导致系统灾难性崩溃。
- 日常管理是必须的。
- 需要能源。
- 需要可靠的电力、鱼苗和植物种子。
- 单靠鱼菜共生系统无法提供一个全营养的食谱。

鱼菜共生是属于一种可持续集约化农业技术，特别适合家庭经营。它为那些使用土壤种植作物困难或者不可能的地方，提供了能持续不断生产大量蔬菜和鱼类的综合生产方法。鱼菜共生的可持续发展考虑了环境、经济和社会等多方面因素。从经济方面看，虽然这一系统需要大量的初始投资，但随后能得到鱼类和蔬菜生产带来的双重收益和较低的运营成本。从环境方面看，鱼菜共生能够防止养殖废水的排放和污染附近水域。与此同时，鱼菜共生能够实现更多的水和生产控制。鱼菜共生不依赖化学肥料、让食物更安全的害虫和杂草控制而没有药物残留。从社会方面看，鱼菜共生技术可以改进有质量的生活，提供本土食物和符合传统的作物品种。同时，鱼菜共生技术可以迎合民生策略以保证无地农民和贫困户的生计收入和食物得到保障。在发展中国家，本地食物生产、市场准入和劳动技能的获取是确保妇女获得解放和劳动许可的宝贵途径，而鱼菜共生就提供了公平的和可持续发展的经济增长基础。由于小规模菜园子经济中缺少蛋白质成分，鱼肉蛋白成为满足人体日常营养所需的重要来源。

鱼菜共生系统最适合在土地昂贵、水资源稀缺和土壤贫瘠的地方应用。沙漠和干旱地区、沙岛和城市菜园是最适合发展鱼菜共生系统的地方，因为它的只需要使用非常小的水量。鱼菜共生系统也不需要土壤，从而避免了与土壤有关的板结、盐碱化、污染、病害和土壤退化。同样，鱼菜共生也可以用在城市和市郊没有或可利用土地有限的环境中，提供了一种在小阳台、露台，室内或在屋顶上高密度种植作物的方式。

然而，由于这项技术可能很复杂，同时小规模的生产单元无法为一个家庭提供所有的食物。鱼菜共生系统较为昂贵，所有者必须安装一个完整的水产养殖系统和水耕栽培系统，这是开始鱼菜共生系统时需要考虑的最重要的因素。此外，成功的管理要求对系统中的三个相互独立生物群体要有全面的知识储备和充分的日常维护。水质需要及时检测和调控，并且具备建立和安装系统需要相关专业技术技能，尤其是管线排布和线路安装。在土地资源丰富且土壤肥沃，同时又有足够的空间和充足水源的地方鱼菜共生系统可能不需要也没有必要。农业主产区由于土地能够生产足够食物，可能会觉得鱼菜共生系统太过于复杂了而不使用。

在这种情况下，鱼菜共生系统更适合作为一个昂贵的业余爱好而不是一个专门的食物生产系统。此外，该系统需要持续不断的投入。比如电力（本书介绍的所有鱼菜共生系统都需要用电），电网不稳定或者电力成本太高都可能使鱼菜共生系统无法正常运行。鱼饲料也需要经常购买，同时还需要能够购买得到鱼苗和作物种子。也可以减少这些投入供应的依赖（通过太阳能电池板，生产鱼饲料，繁殖鱼苗和作物育苗），但这些任务的完成都需要具备额外的知识和更多的日常管理时间，对一个小规模系统而言，这些可能会过于繁琐和耗时。

也就是说，基本的鱼菜共生系统的适用条件是十分宽泛的，系统可以通过设计和调整其规模来满足许多农民不同层次的技能和兴趣要求。鱼菜共生系统有多种多样的设计，从高技术到较低技术要求，从高制造到合理投入水平。鱼菜共生系统有着很强的适应性，可以利用当地的材料和本地知识来开发，以适应当地的文化和环境条件。只是，系统需要一个或者一小组专注并且感兴趣的人，负责日常维持和管理系统的运转。大量的培训资料既可以通过书籍、文章和在线社区获取，也可以通过培训课程、农业推广机构和专家咨询获得。鱼菜共生是一个综合系统，这意味着成本和收益都是相对较高。成功的鱼菜共生系统依赖于当地的、可持续的和集约化的鱼类养殖和蔬菜种植。只要做到因地制宜，鱼菜共生系统有可能获得比单独养鱼和种植蔬菜产量都要高的综合产量。

### 1.5 现代鱼菜共生技术简史

利用鱼的粪便和排泄物给植物施肥的概念已经存在了上千年，在亚洲和南美洲早期的文明社会中就已经使用这种方法。上世纪70年代，由于新炼金术研究所和其他北美洲以及欧洲学术机构的开创性工作，和此后几十年的深入研究，使得鱼菜共生技术基本形态演变成为今天的现代食物生产系统。在上世纪80年代技术进步之前，大多数试图将水耕栽培和水产养殖结合在一起的试验都只取得了有限的进展。二十世纪80年代和90年代由于在系统设计、生物过滤、以及最佳鱼菜比例搭配实验等方面取得的进步，开发出了通过水循环能够满足植物生长营养需求的封闭式鱼菜共生系统。在早期的鱼菜共生系统中，北卡罗来纳州立大学（美国）证明了综合系统中消耗的用水量仅为池塘养殖罗非鱼消耗的用水量的5%。伴随其他关键技术的发展，使得水产养殖和水耕栽培综合系统，特别是在干旱和缺水地区具有较高的可行性。

虽然从上世纪80年代这一系统就已有应用，但鱼菜共生技术仍然是一个相对比较新的食物生产方式，全球范围内只有少数的研究者和从业者中心有鱼菜共生较全面的经验。维京群岛大学（美国）的James Rakocy凭借其针对鱼菜共生系统的研究和开发工作，成为了该行业的领导者。他研发出了至关重要的鱼菜配合比例和相应的计算方法，能够保持该系统的生态平衡，同时最大限度地提高鱼和蔬菜的产量。在澳大利亚，Wilson Lennard制订了几个类型的鱼菜共生系统关键计算方法和生产计划。在加拿大的亚伯达，Nick Savidov在为期两年的实验中发现，当能满足一些关键的营养元素水平时，鱼菜共生系统中的番茄和黄瓜产量具有明显的优势。孟加拉国农业大学的Mohammad Abdus Salam进一步开展了鱼菜共生系统在家庭自给自足模式下进行生

产的试验。各项研究突破，与其他研究成果一道，为在全球范围内各种从业者团体和支持/培训公司的涌现夯实了道路。本书的最后提供了有关鱼菜共生技术的主要参考书目。

## 1.6 鱼菜共生应用现状

本节最后一部分简要介绍了全球范围内鱼菜共生的主要应用现状。这个列表并不详尽，只是打开鱼菜共生概念应用实践的一扇小窗。附录6将进一步解释在什么地方，在什么情况下，鱼菜共生系统是最适用的。



图1.6  
干旱地区家庭式鱼菜共生单元



图1.7  
中型商业化的鱼菜共生系统

### 1.6.1 家庭式或者小规模鱼菜共生

小规模指的是由大约1000升的鱼缸和3平方米的植物种植面积组合起来一个鱼菜共生单元，这一规模适合以家庭为主的家庭式生产（图1.6）。这种规模的系统单元在世界许多地区经过测试和实际运作检验取得了巨大成功。小规模单元的应用主要是为家庭提供维持生活的食物，正如许多系统单元一样可以提供不同类型的蔬菜和作物同时生长。在过去的五年中，鱼菜共生研究小组、协会和论坛都得到长足的发展，并在小规模鱼菜共生单元有益经验的传播和经验学习方面发挥了作用。

### 1.6.2 半商业化和商业化鱼菜共生系统

由于高昂的初始建造成本和有限的综合管理经验，商业化或者半商业化规模的鱼菜共生系统实际应用的数目并不多（图1.7）。由于利润不能满足最初投资计划的要求，许多商业投资都失败了。其中的多数商业实践采用的是单一作物栽培模式，最典型的就生产生菜或者紫苏。虽然在美国、欧洲和亚洲的许多学术机构已经建造了大规模鱼菜共生系统，但多数仅仅是为了学术研究，而不是为了食物生产，并且也没有打算与其他私营领域的生产者展开竞争。在世界范围内有几个成功的农场案例。在

夏威夷（美国）的专家小组创造了一套成熟的面向商业应用的系统，该系统获得了有机食品认证，确保系统在投入后获得更高的经济回报。另一个成功的大型商业鱼菜共生系统运行于纽约的纽堡（美国），它通过出售各种各样的鱼和不同品种的蔬菜，以及通过与当地餐馆、杂货店、健康食品机构和农贸市场制定成功的营销策略等多种途径来提高收益。

对当地市场中利润较高的蔬菜品种和鱼类进行全面的调查进而形成一份详细的商业计划对于任何想要取得成功的投资来说是至关重要

的，如同小规模鱼菜共生系统、商业水产养殖和商业水耕栽培带给我们的应用经验是一样的。

### 1.6.3 教育

小规模鱼菜共生系统正在被各类教育机构倡导学习，包括小学、中学、学院及大学、特殊教育和成人教育中心，以及社区组织（图1.8）。鱼菜共生系统被当作架起普通人群和可持续农业技术之间沟通桥梁，包含有与可持续发展相适宜的一些活动，例如雨水的收集、营养物循环利用和有机食品生产等，这些都可以整合在鱼菜共生的学习计划里。此外，鱼菜共生系统的综合特性提供了在更广领域内的动手实践的学习机会，例如在解剖学和生理学、生物学、植物学、物理学和化学，以及伦理，烹饪和通用的可持续发展研究等方面。

图1.8  
用于教学目的的鱼菜共生单元组合 (a) 营养膜技术 (b) 培养床 (c) 深水栽培 (d) 鱼槽



### 1.6.4 人道主义救济和食物安全干预

随着高效鱼菜共生系统的出现，这个概念在发展中国家引起了人们的关注。在巴巴多斯、巴西博茨瓦纳、埃塞俄比亚、加纳、瓜地马拉、海地、印度、牙买加、马来西亚、墨西哥、尼日利亚、巴拿马以及菲律宾，泰国和津巴布韦都可以看到鱼菜共生系统实施的案例（图1.9）。乍一看上去，鱼菜共生系统的实践好像主要是基于人道主义范围的考虑。实际上小规模鱼菜共生系统已成为一些城市或者市郊地区农业方案的组成部分，尤其是非政府组织和其他利益相关机构在城市食品和营养安全方面有能力基于当地条件构建多个系统。例如，联合国

图1.9  
小型鱼菜共生系统



粮农组织（FAO）试点的在西岸和加沙地带组建了屋顶上的小规模鱼菜共生系统以应对当地长期存在的食品短缺和营养安全问题（图1.10）。迄今为止，这一试点项目及其后续的推广，使得鱼菜共生系统已成功应用于在全球范围内迅速发展的，解决中等规模的食物安全问题的干预活动。然而，由于许多尝试都是临时的和随机的，很多情况下存在孤立和低影响力的措施，所以应谨慎评估鱼菜共生系统在人道主义救济中的成功作用。

近年来，全球范围内鱼菜共生系统的研讨会迎来一波高潮。此外，鱼菜共生系统也日益成为水产养殖和水耕栽培会议中的重要议题。来自不同背景下的研究者、专家、政策制定者和利益相关者提出了许多提案，所有这些关注都是为找到一个能够为日益增长的世界人口提供可持续发展的和保障食物安全的解决方案。

图1.10  
屋顶小型鱼菜共生系统



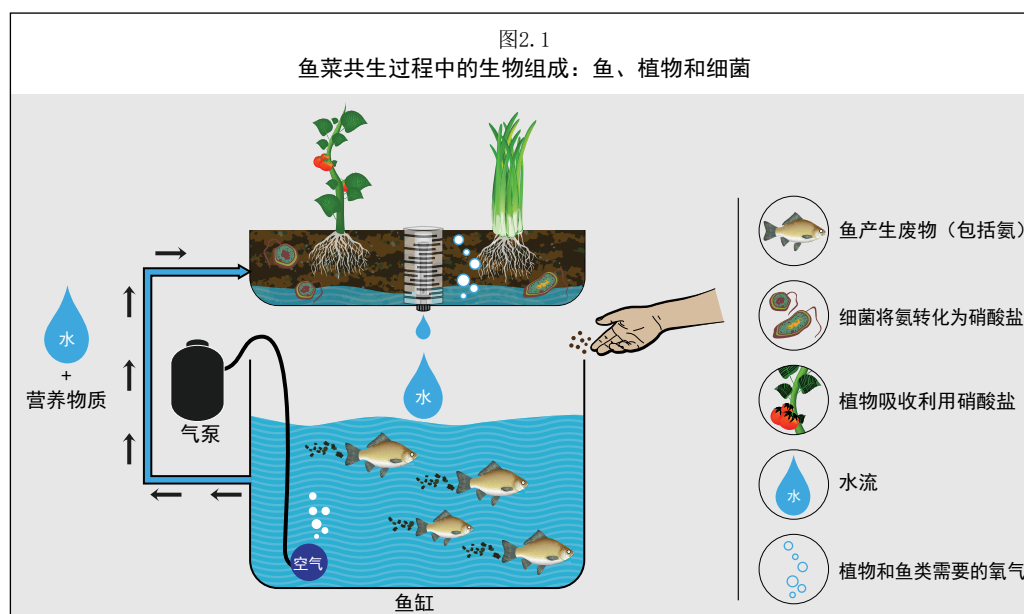


## 2. 理解鱼菜共生原理

基于第一章对鱼菜共生的初步介绍，本章将讨论在鱼菜共生单元内部发生的生物过程。首先，本章阐述了包括硝化过程在内的一些主要概念和过程。然后，介绍了有关细菌的重要作用以及主要的生物过程。最后，讨论了由鱼类、植物和细菌组成的鱼菜共生生态系统其保持平衡的重要性，以及随着时间的推移如何实现并持续保持鱼菜共生系统的这种平衡性。

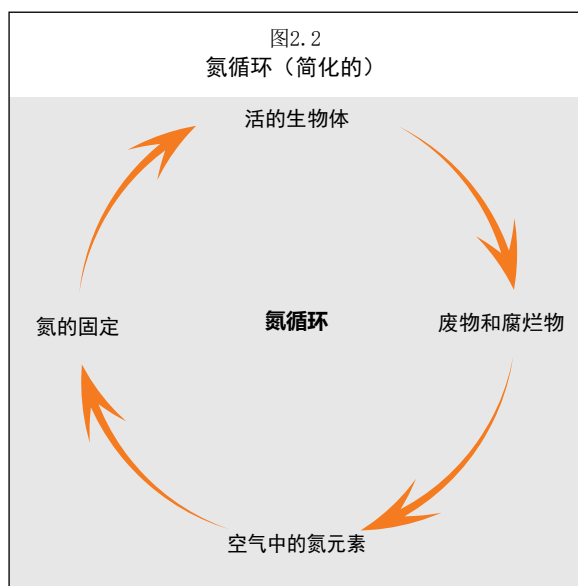
### 2.1 鱼菜共生的重要生物组成

在一个连续再循环的单元中，养殖用水从包括鱼类代谢废物的鱼缸中排出。首先经过一个可以截留固体废物的机械过滤器，再经过一个可以将氨氧化为硝酸盐的生物过滤器，然后水穿过供植物吸收营养素的植物种植床，最后水得到回收和净化，并重新回流到鱼缸中（如图2.1）。生物过滤器为细菌提供了一个栖息地使其可以将鱼类废物转化为可供植物吸收利用的营养素，这些营养素溶解在水中，而后被植物吸收。这种吸收营养成分的净水过程，防止了水体因含有有害的无机氮形式（如氨和亚硝酸盐）而使水体有毒，并使得鱼类、植物和微生物可以共生生长。因此，只要系统保持适当的平衡，所有生物便可以共同创造一个健康的生长环境。



#### 2.1.1 氮循环

在鱼菜共生系统中最重要生物过程是硝化过程，该过程也是自然界总氮循环的重要组成部分。氮是一种化学元素，是所有生命形式的最基本成分之一。它存在于所有氨基酸中，这些氨基酸组成了所有的蛋白质，这些蛋白质对于动物体的许多重要生化过程，例如酶的调

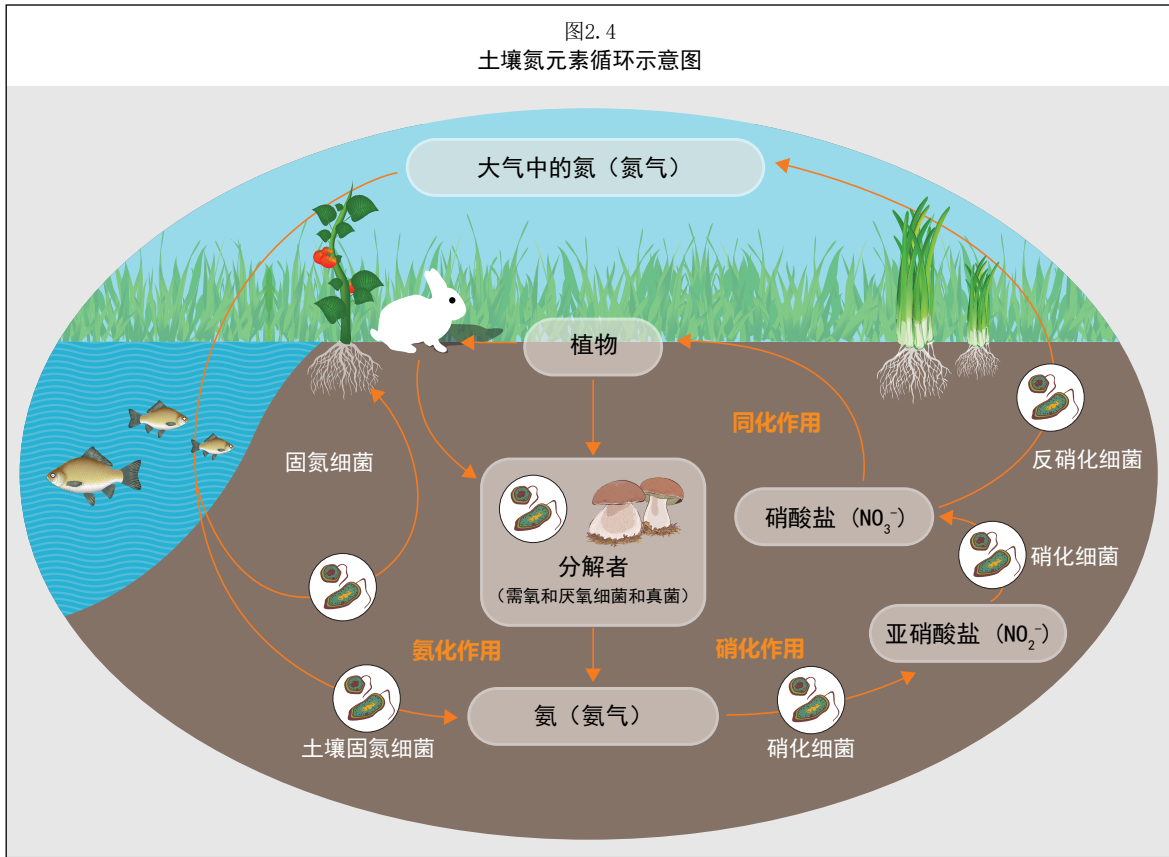


节、细胞信号传导及组织构建等都是必不可少的。氮是所有植物最重要的无机养分。气体形式的氮是地球大气层中最丰富的元素，占到了约78%，而氧气仅占21%。然而，尽管氮含量如此丰富，它却只是以分子态氮（ $N_2$ ）的形式存在于大气层中，而这也是一种非常稳定的三键氮原子，植物是无法利用的。因此， $N_2$ 形式中的氮在植物利用它来生长前必须被转换，这个过程就叫做固氮。这是氮循环的一部分（如图2.2），这个过程遍及自然界（如图2.3）。固氮是在细菌的作用下，通过增加其他元素如氢和氧使氮发生化学变化，从而生成植物容易利用的新化合物，如氨（ $NH_3$ ）和硝酸盐（ $NO_3^-$ ）。

并且，大气中氮还可以通过一个耗能的工业过程即哈伯博斯制氨法来固定，用于生产化学肥料。

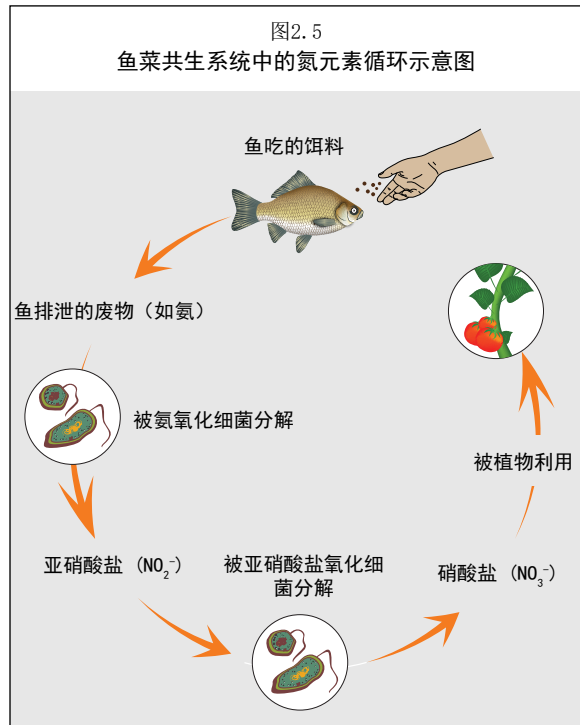
图2.3中所示的动物体产生的废物（粪便和尿液）主要是由氨（ $NH_3$ ）组成的。自然界中其他的腐烂有机物质如死去的植物和动物，会被真菌和不同的细菌群体分解成氨。这类氨会被一种对鱼菜共生系统非常重要的特定细菌群体所代谢，即硝化细菌。这种细菌首先将氨转化为亚硝酸盐化合物（ $NO_2^-$ ），然后最终转化为硝酸盐化合物（ $NO_3^-$ ）。植物可以同时利用氨和硝酸盐来进行生长过程，但硝酸盐更容易被其根部吸收。





硝化细菌，可生存在多种多样的环境中，如土壤、沙地、水和空气，它们是硝化过程中的重要组成部分，可以将植物和动物废料转化为植物可利用的营养。图2.4展示了如图2.3所阐述的相同的过程，但是包含了一个可以展示氮循环所有阶段的更为复杂的流程图。

这种在土壤里由细菌引起的自然硝化作用，也会在水中以同样的方式发生。对于鱼菜共生而言，所谓动物粪便就是排泄到养殖鱼缸中的鱼类排泄物。生活在陆地上的相同的硝化细菌也会很自然地在水中或者任何潮湿的表面，将鱼类废弃物中的氨转化为容易被植物吸收利用的硝酸盐。鱼菜共生系统中的硝化作用不仅为植物提供了营养，同时消除了有毒的氨和亚硝酸盐（如图2.5）。

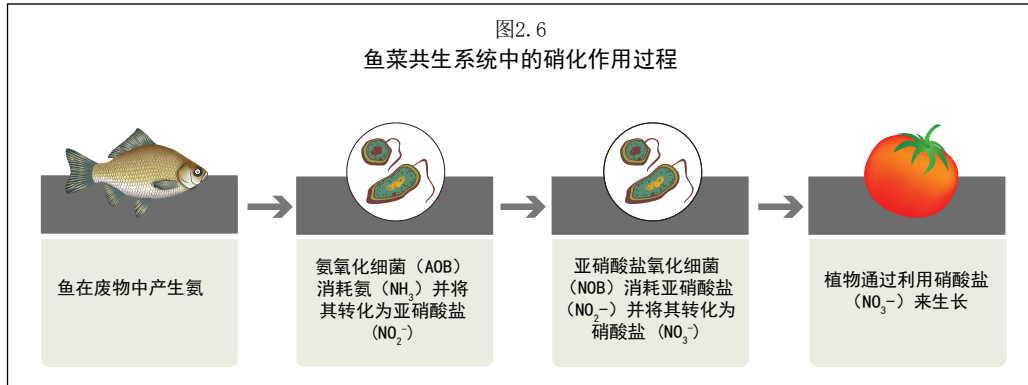


## 2.2 生物过滤器

硝化细菌对于一个鱼菜共生单元的整体功能至关重要，第四章描述了生物过滤器组件在各类鱼菜共生模式中是如何作用的，第五章描述了在一个鱼菜共生单元中不同的细菌群体是如何起作用的。两大类主要的硝化细菌参与了硝化过程：1) 氨氧化细菌 (AOB)，2) 亚硝酸

盐氧化细菌（NOB）（如图2.6）。它们按照以下顺序对氨进行代谢：

1. 氨氧化细菌（AOB）将氨气（ $\text{NH}_3$ ）氧化为亚硝酸盐（ $\text{NO}_2^-$ ）；
2. 然后亚硝酸盐氧化细菌（NOB）再将亚硝酸盐（ $\text{NO}_2^-$ ）转化为硝酸盐（ $\text{NO}_3^-$ ）。



正如化学公式所显示的，氨氧化细菌（AOB）将氨氧化（加氧）成亚硝酸盐（ $\text{NO}_2^-$ ），然后亚硝酸盐氧化细菌（NOB）进一步将亚硝酸盐（ $\text{NO}_2^-$ ）氧化成硝酸盐（ $\text{NO}_3^-$ ）。亚硝化单胞菌属是鱼菜共生中最常见的氨氧化细菌，硝化杆菌属是最常见的亚硝酸盐氧化细菌，这些名字经常在文献中交替使用，而且贯穿本出版物始终。

总之，鱼菜共生单元中的生态系统完全依赖于细菌。如果系统中细菌不存在或者说功能不正常，那么水中的氨浓度就会杀死鱼类。为了控制氨浓度接近于零，随时控制并保持系统中正常健康的细菌菌落是至关重要的。

## 2.3 保持健康的菌落

在维持一个健康的生物过滤器时，影响细菌生长的主要参数是生物过滤器的充足表面积和适宜的水环境。

### 2.3.1 表面积

细菌群落能够在任何材料上茁壮生长，比如植物的根、鱼缸内壁和种植管道的内部。这些细菌可以利用的总有效面积将决定它们代谢氨的能力。根据鱼群生物量和系统设计，植物根系和鱼缸内壁可以提供足够的面积。鱼群密度较高的系统需要一个独立的、高比表面积材料的生物过滤器，例如惰性生长介质—砾石，凝灰岩或膨胀粘土（图2.7）。



### 2.3.2 水体pH值

pH是水的酸碱度，pH的水平与硝化细菌的生物学活性及其转换氨和亚硝酸盐的能力息息相关（图2.8）。下面两种硝化菌群的pH理想范围已被确认，且目前关于细菌生长的文献也表明，细菌适应周边环境的能力使其具有更大的pH耐受范围（6-8.5）。

然而在鱼菜共生系统中，pH范围为6-7更加适宜，因为该范围有利于植物和鱼类的生长（第三章讨论了水质参数的平衡）。此外，细菌产率的损失可以用更大量的细菌进行补偿，因此生物过滤器应根据这些条件来调整其规格。

硝化细菌	最佳pH值
亚硝化单胞菌属 ( <i>Nitrosomonas</i> spp.)	7.2-7.8
硝化杆菌属 ( <i>Nitrobacter</i> spp.)	7.2-8.2

### 2.3.3 水温

一般而言水温不仅影响细菌，而且也是鱼菜共生环境中的重要参数。理想的细菌生长和生产温度为17-34℃，若水温低于17℃，则细菌生产力会下降，水温低于10℃，生产力会降至50%以下或更低。在冬季低温对单元设备管理有重要影响（见第八章）。

### 2.3.4 溶解氧

在任何时候，硝化细菌都需要水中保持充足的溶解氧（DO）来维持高水平的生产力，因为硝化作用是一种氧化反应，而氧是其反应物；如果没有氧，反应将终止。DO的最佳范围是4-8毫克/升，若DO浓度降至2.0毫克/升以下，硝化作用水平将会降低。此外，在DO浓度不充足时，另一类细菌会生长，这种细菌会在厌氧过程中将有用的硝酸盐还原为无用的分子氮，这个过程被称为反硝化作用。

### 2.3.5 紫外线

硝化细菌是光敏性微生物，这意味着来自太阳光中的紫外（UV）线对它是一种威胁。这对于一个新鱼菜共生系统建立时细菌群落形成初期的影响尤为明显。一旦细菌在表面上定殖完成（3-5天），紫外线灭活就不会造成大的问题。有一个简单的方法可以消除这种威胁，那就是用防紫外线材料遮盖鱼缸和过滤器，以确保水培种植构件中的水没有暴露在阳光下，这种方法至少要维持到细菌群落完全形成。

硝化细菌会在高比表面积（图2.9）、覆盖有防UV材料和适宜的水环境中生长（表2.1）。



图2.8  
数字式pH和温度计



图2.9  
曝气生物过滤器(a)充填了塑料过滤料(b)

表2.1  
硝化细菌的水质耐受范围

	温度 (°C)	pH值	氨 (毫克/升)	亚硝酸盐 (毫克/升)	硝酸盐 (毫克/升)	溶解氧 (毫克/升)
耐受范围	17-34	6-8.5	< 3	< 3	< 400	4-8

## 2.4 鱼菜共生生态系统平衡

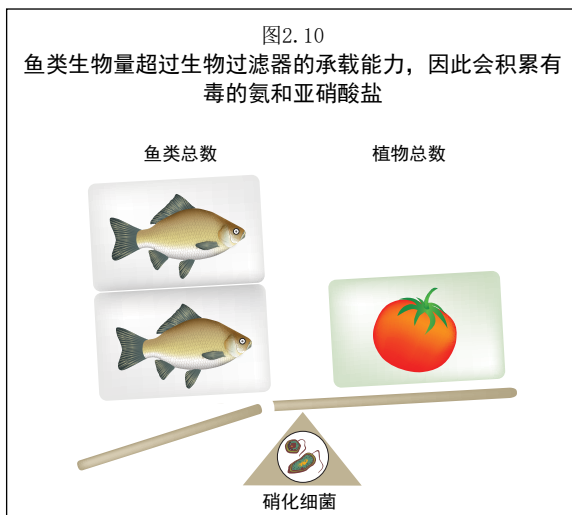
平衡这个术语用于形容鱼菜共生的养殖户为了使生态系统中鱼类、植物和细菌始终保持动态平衡所采取的一切措施。毫不夸张的说，一个成功的鱼菜共生环境主要来源于生态系统平衡的维持，简而言之就是要建立起鱼的数量、植物的数量和生物过滤器的规格（实际上就是细菌的数量）三者之间的平衡。实验已确定了鱼菜共生中生物过滤器的尺寸、植物的密度和鱼群密度之间的比例，如果冒着使整体鱼菜共生生态系统面临灾难性后果的风险用超出最佳比例方式去操作，是十分不明智并且极其困难的。专业的鱼菜共生从业者被邀请来实验并调整这些比例，但建议在开始养殖时仍旧依照这些比例来操作。这一节为平衡系统提供了简单而至关重要的介绍。第八章将深入介绍生物过滤器的尺寸和养殖密度。

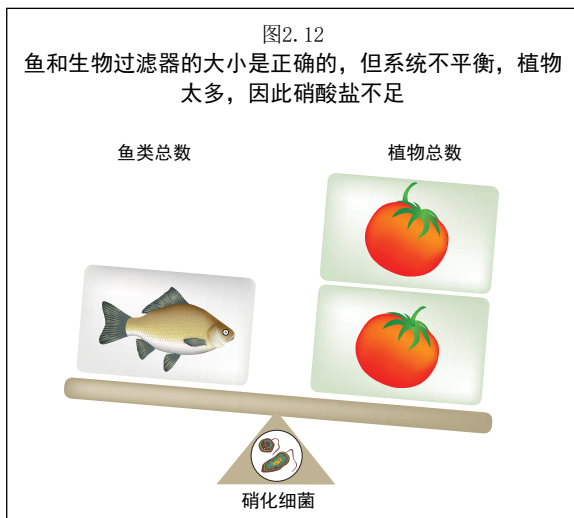
### 2.4.1 硝酸盐平衡

鱼菜共生系统中的平衡如同一个天平标尺，天平一端是鱼，另一端是植物，天平的平衡杆则是由硝化细菌组成。因此，生物过滤器最起码要足够稳健以便支撑这两个部分，这相当于图2.10上表示的杆的厚度。值得注意的是，平衡杆如果没有强大到足以支撑起鱼的废料时就会发生断裂，这就意味着生物过滤功能是不够的。

如果鱼的生物量和生物过滤器的大小是平衡的，那么鱼菜共生单元就足够将氨转化为硝酸盐。但是如果植物一端过小，共生系统就会开始积累营养物质（图2.11）。实际上，更高浓度的营养并不会对鱼类和植物生长造成危害，但却表明在该系统中蔬菜方面的表现欠佳。

一个比较常见的管理错误是种植的植物过多而养殖的鱼过少，如图2.12中第三种情景所示。在这种情况下，氨被硝化细菌所分解，但反应产生的硝酸盐和其他营养成分却不能满足植物的营养需求，这种情况将导致养分浓度逐渐降低，从而最终导致植物产量的下降。





从这两个例子得到的主要教训是：为了在鱼菜共生环境中获得最高产量，必须要保持鱼类废料和植物营养需求之间的平衡，并且要提供充足的表面积保证细菌群落生长以转化所有的鱼类废料。这一平衡情形如图2.13所示。这种鱼和植物的平衡也被称为生物量比例。成功的鱼菜共生单元应具有与植物数量相当的适量鱼群生物量，或者更确切地说，就是鱼类饲料比率要与植物营养需求保持平衡。尽管选择推荐的比例对好的鱼菜共生的食品生产十分重要，但是有效比例的范围仍然很广，因此有经验的鱼菜养殖者会注意如何将鱼菜共生变成一个自我调节系统。此外，当系统面临崩溃、平衡被打破时，鱼菜共生系统会给细心的养殖者一些信号，比如水质指标、鱼和蔬菜的健康等，这些都将在本出版物中详细讨论。

#### 2.4.2 投喂比率

系统平衡需要考虑到多种变量（见框2），但是大量的研究已经将平衡一个单元的方法简化为一个比率，这一比率称为投喂比率。投喂比率是三个最重要变量的总和，这三种变量是：每日需要的鱼饲料克数，植物类型（蔬菜vs. 水果），每平方米的植物种植面积。这个比例

##### 框2

##### 平衡系统时要考虑的主要变量

- 系统将以何种容量运行。
- 鱼菜共生的生产方式。
- 鱼的类型（肉食还是杂食，活动水平）。
- 鱼饲料的类型（蛋白质水平）。
- 植物类型（绿叶蔬菜、块茎或水果）。
- 植物生产类型（单一或多个物种）。
- 环境和水质条件。
- 过滤方法。

建议的每日鱼饲料量为：

- 对于绿叶蔬菜： 每天每平方米40-50克饲料
- 对于果蔬： 每天每平方米50-80克饲料

表明每日每平方米植物生长空间中的鱼饲料用量。平衡该系统时控制投放饲料用量比直接计算鱼的数量更加有用，利用饵料用量，就可以根据日均消耗量计算出一定的情况的鱼的多少。

如果有足够的生物过滤能力，投喂比率可以提供一个使鱼类、植物和细菌处于平衡的生态系统，所以在设计鱼菜共生系统时需要用到这个比率。需要注意的是，投喂比率只是对一个鱼菜共生单元的平衡指导，还有其它变量可能在一个生长季的不同阶段有更大的影响，如水温的季节性变化。另外，相比于绿叶蔬菜，高投喂比率可以为果菜类提供更多营养，并促进开花、结果。

除了投喂比率，还有另外两种简单而互补的方法可以保障系统的平衡：健康检查和氮检验。

### 2.4.3 鱼类和植物的健康检查

不健康的鱼群和植物往往预示着系统失衡。植物生长中出现的一些症状通常表明鱼废料中产生的营养物质不足。植物营养缺乏的表现：生长不良、菜叶发黄和根系发育不良，这部分在第六章将详细讨论。在这种情况下，可以增加鱼群密度、鱼饲料（能被鱼吃掉的饲料）和生物过滤器，或者铲除一些蔬菜。同样，如果鱼群显示出压力的信号，例如在水面上喘气、缸壁上摩擦、以及鳍、眼睛和鳃周围出现红色区域，或者在极端条件下死亡，这些常常都是因为有毒氨或亚硝酸盐的积累水平过高。当生物过滤器要处理的可溶性废料过多时，通常会发生这种情况。所有这些鱼和蔬菜的症状都表明，养殖者需要积极调查和纠正养殖中的问题。

### 2.4.4 氮检验

该方法利用简易廉价的水测试试剂盒来检测水中氮的水平（图 2.14）。如果氨或者亚硝酸盐的水平较高（>1毫克/升），意味着生物过滤器能力不足，需要增加生物过滤器的可用表面。绝大多数的鱼类都不能容忍该水平超过几天。硝酸盐水平的增加是必要的，而植物生长所需的其他营养成分也要得到保证。鱼类可以忍受较高浓度的硝酸盐，但是若这一浓度的硝酸盐（>150毫克/升）持续了数周，就需要取出一些水去灌溉别的作物了。

图2.14  
硝酸盐检测试剂盒



如果硝酸盐浓度在几周内都处在较低水平（<10毫克/升），鱼饲料可以略微增加以保证蔬菜获得足够的营养，但是一定不要在鱼缸里留下没有吃完的鱼饲料。因此增加鱼群的密度就显得很有必要了。另外，也可以铲除一部分植物，使剩余的植物获得足够的营养。为了保证系统的平衡适当，推荐每周都进行氮水平检测，而且水中硝酸盐的水平往往指示着其他营养成分的水平。



再次强调，以上所提到的所有计算和比例，包括鱼群密度、种植容量和生物过滤器尺寸，都将在以下的章节中深入探讨（尤其是第八章）。本节的目的是帮助进一步了解鱼菜共生中生态系统平衡的重要性，且重点强调了达到平衡的简单方法和策略。

## 2.5 章节小结

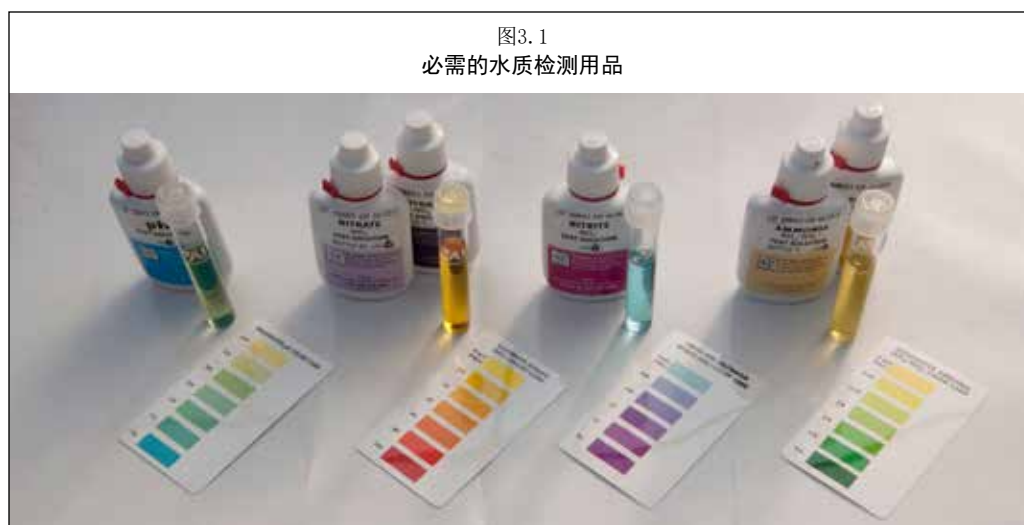
- 鱼菜共生系统是将养鱼和无土蔬菜栽培结合在一个循环系统中的生产系统。
- 硝化细菌把鱼类产生的废物（氨）转化成为植物生长需要的营养物质（硝酸盐）。
- 在土壤中会发生硝化过程在鱼菜共生系统中同样发生。
- 细菌是鱼菜共生系统中最重要的一部分，是人类肉眼所看不到的。
- 保持细菌健康的关键因素是水温、pH值、可溶解氧和可供细菌生长的充足的表面积。
- 成功的鱼菜共生系统是平衡的。投喂比率是平衡鱼饲料数量和植物种植面积的主要参考指标。该比率是用每平方米植物种植面积与每天所需要的鱼料投喂克数来计算。
- 叶生蔬菜的投喂比率是40-50克/平方米/天；果实蔬菜的投喂比率是50-80克/平方米/天。
- 对鱼和蔬菜的日常监测可以反应系统的平衡状况。疾病、营养不良和死亡都是系统失衡的症状。
- 在系统平衡方面，水质检测也可以提供相关信息。氨或者是亚硝酸盐含量过高说明生物过滤不足；硝酸盐含量过低则说明植物数量过多或者是鱼数量不足；硝酸盐的增加是我们所希望的，表明植物生长有充足的营养可利用，但是当硝酸盐的含量超过150毫克/升的时候，就需要换水了。



### 3. 鱼菜共生中的水质

本章介绍了鱼菜共生系统内水管理的基本概念。本章首先设定了确保有效食物生产的鱼菜共生系统框架并就良好水质的重要性进行了评价。接着详细讨论了主要的水质指标参数，尤其是在鱼菜共生单元补水过程中，对相关参数的管理和调控进行了讨论。

水是鱼菜共生系统的生命线，所有必需的常量营养元素和微量营养元素都通过水输送给植物，同时水也是鱼群获取氧气的介质。因此，水是最需了解的重要议题之一。这里主要讨论五个关键的水质参数分别是：溶解氧（DO）、pH值、温度、总氮和水体碱度。每个参数都会对系统中的三类生物体（鱼、植物和细菌）产生影响，所以了解每个参数的影响至关重要。尽管鱼菜共生中的水质和水化学某些方面知识可能比较复杂，但如借助于简易水质检测包（图3.1），实际的管理还是相对比较简单。水质检测对于维持系统中良好的水质是必不可少的。



#### 3.1 在各生物体耐受性范围内运行

正如第二章中所讨论的一样，鱼菜共生系统主要是平衡由鱼、植物和细菌这三类生物构成的生态系统（图3.2）。鱼菜共生单元内各类生物对每个水质参数都有特定的耐受性范围（见表3.1）。对比所有的三类生物体，它们的耐受性范围是比较相似的，但仍需要相互妥协折中，因此有些生物体将无法在其最佳水平发挥作用。

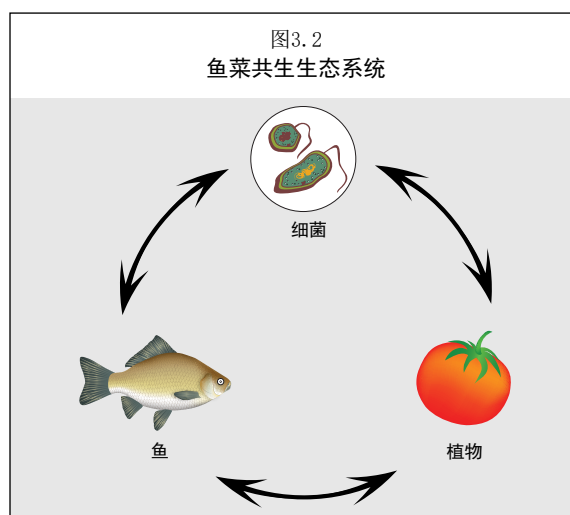


表3.1  
鱼类（温水或冷水）、水耕栽培植物和硝化细菌的一般水质耐受范围

生物类型	温度 (°C)	pH值	氨 (毫克/升)	亚硝酸盐 (毫克/升)	硝酸盐 (毫克/升)	溶解氧 (毫克/升)
温水鱼	22-32	6-8.5	<3	<1	<400	4-6
冷水鱼	10-18	6-8.5	<1	<0.1	<400	6-8
植物	16-30	5.5-7.5	<30	<1	-	>3
细菌	14-34	6-8.5	<3	<1	-	4-8

表3.2列示了鱼菜共生系统要求的各项关键水质指标的理想折中组合。pH值和温度是两个需要平衡的最重要参数。建议将pH值保持在折中的水平6-7，或轻微的酸性。

表3.2  
鱼菜共生系统中三种生物之间折衷的理想参数

	温度 (°C)	pH值	氨 (毫克/升)	亚硝酸盐 (毫克/升)	硝酸盐 (毫克/升)	溶解氧 (毫克/升)
鱼菜共生系统	18-30	6-7	<1	<1	5-150	> 5

通常，温度的变化范围为18至30°C，而且，水温一定要根据养殖鱼的品种和栽培蔬菜种类来调控；而且在此温度范围内细菌能大量繁殖。很重要的一点是选择能很好适应环境条件的合适的鱼-菜搭配。第7章和附录1提到了常见的鱼和植物的最佳生长温度。

总体目标是保持整个生态系统的健康，这个系统中的水质参数能够同时满足鱼类、蔬菜和细菌生长的需求。有些情况下，我们需要主动地调控水质以满足这些标准，并保持鱼菜共生系统正常运转。

## 3.2 五个最重要的水质参数

### 3.2.1 氧气

氧气对于鱼菜共生系统中所涉及到的三组生物体来说都是必不可少；植物、鱼类和硝化细菌都依赖氧气生存。溶解氧的水平描述的是水中所含分子氧的数量，它的测量单位是毫克/每升水。溶解氧是影响鱼菜共生系统的最直接和显著水质参数。事实上，在养鱼槽内，鱼体如暴露在低溶解氧中，可能在几个小时内死亡。因此，鱼菜共生的关键是保证充足的溶解氧水平。虽然DO水平的监测是非常重要的，由于精确的DO测量仪器非常昂贵或难以找到，使得DO的监测可能极具挑战。对于小型的鱼菜共生系统来说，依赖于对鱼类行为和蔬菜生长的经常监控和确保水体不断循环和空气泵的持续充气已经足够了。

大气中的氧气会直接溶解到水中。在自然条件下，鱼可以在这样的水中生存。但在鱼类养殖密度较高的集约化生产系统中，这样的扩散DO量无法满足鱼类、植物和细菌的需求。因此，DO需求要通过管理措施来进行补充。小规模鱼菜共生系统通常采用的两个措施，分别是用水泵保持动态水流和利用充气泵在水中产生气泡。水体流动和充气对于每个鱼菜共生装置都是至关重要的，其重要性无论怎么强调都不过分。其中包括设计方法等相关内容，会在第4章中进一步讨论。适宜各类生物体生长的最佳DO浓度是5-8毫克/升（图3.3）。有些种类的鱼，例如鲤鱼和罗非鱼，能够仍耐水中2-3毫克/升的低DO水平。但是

对于鱼菜共生系统来说，DO的浓度高于该水平会更加安全，因为这三类生物体对水中的DO都有需求。

水温和DO的之间有着独特的关系。随着水温的升高，氧的溶解度降低。换一种方式来说，随着温度上升，水中容纳DO的能力下降；与冷水相比，温水中所容纳的DO较少（图3.4）。因此，建议在温暖的地方或在每年最热的时候使用气泵来增加充气，特别是如果养殖了娇弱的鱼类。

### 3.2.2 pH

关于pH值的常识对于管理鱼菜共生系统是非常有用的。某种溶液的pH值是对其酸碱度的判断，它的变化范围是从1到14。pH值为7代表溶液为中性，任何pH值低于7的溶液都是酸性的，而任何pH值在7以上的溶液都是碱性的。pH值定义为溶液中的氢离子（H<sup>+</sup>）的量，氢离子含量越高，溶液的酸性越大。

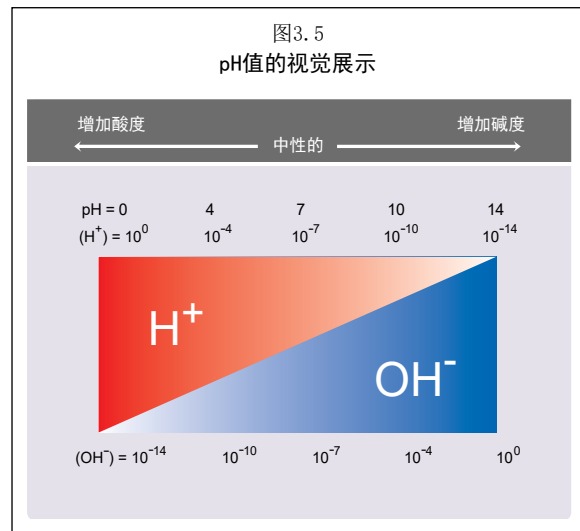
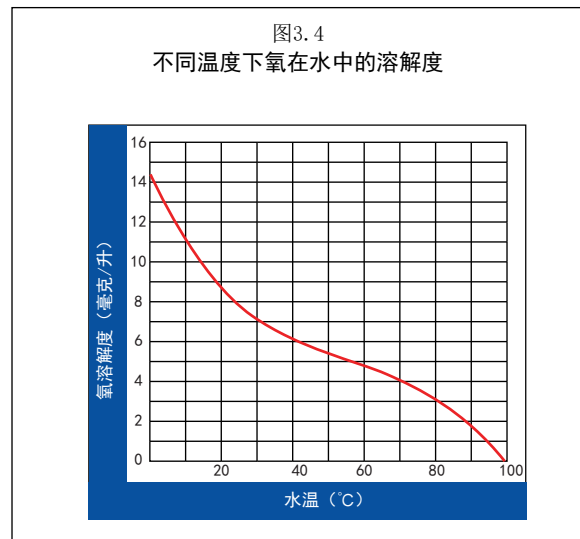
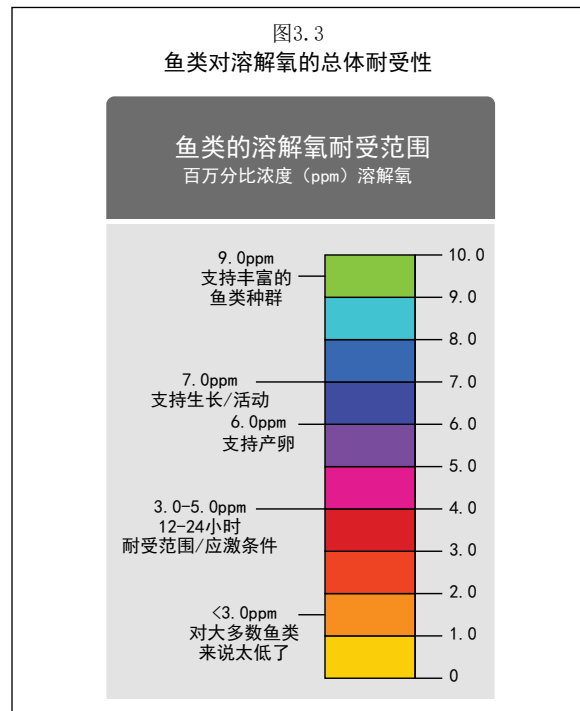
图3.5中说明了pH值的两个重要方面。

- 当pH值为负数时；pH值为7时比pH为6时含有的氢离子少。
- 当pH值为对数时；pH值为7时的氢离子的浓度比pH值为6要少10倍，比pH值为5时要少100倍，比pH值为4时要少1000倍。

例如，如果一个鱼菜共生单元的pH值的记录值为7，之后的pH值为8，那么此时水中的氢离子则减少了十倍，这是因为这个时候的PH值是负的和对数。很重要的一点就是要注意pH值的对数性质，因为pH值不总是直观的。就前面的例子而言，如果之后测得pH值读数为9，表明问题实际是水中H<sup>+</sup>离子浓度降低了100倍，而不仅仅是降低了两倍。

#### pH值的重要性

水的pH值对鱼菜共生系统的各个方面都会产生重大的影响，特别是植物和细菌。以植物为例，pH左右了植物对微量和常量营养素的获取。当pH值在6-6.5之间时，所有的营养成分都可以



被吸收利用，但在超出这个范围时，植物对营养成分的获取会变得很困难。事实上，当pH值是7.5时，会导致铁、磷和锰这些营养物质的缺乏。这种现象被称为养分锁定，并且我们将在第6章中讨论。

当pH低于6时，硝化细菌难以维持正常的生长代谢，而且在酸性的和低pH值的条件下，细菌将氨转化为硝酸盐的能力也会降低。这种情况下，生物过滤的作用效果下降，因为细菌将氨转化为硝酸盐能力的下降，氨浓度开始增加导致系统失去平衡，并且对其他生物体产生压力。

鱼也有特定的pH值耐受范围，鱼菜共生系统中的多数鱼类能忍耐的pH值范围为6-8.5。但是，pH值会影响氨对鱼类的毒性，pH值越高会导致氨毒性越高。第3章第4节将更加全面地讨论这个概念。总之，理想状态下的鱼菜共生的水应呈弱酸性，pH值的最佳范围是6-7。在这个范围内，细菌可以最大限度地发挥作用，而植物也可以充分吸取所有必需的微量和常量营养素。在第3章第5节和第6章中讨论了当pH值介于5.5和7.5之间时，需要管理上的关注和通过缓慢的和谨慎的方法进行调控。然而，当pH值低于5或超过8时，将很快使整个生态系统处于危险状态，因此必须立即采取措施。

在鱼菜共生系统中，会发生许多影响水pH值的生物和化学过程，一些因子的影响较其他因子更为显著，包括：硝化过程、鱼类放养密度和浮游植物。

#### *硝化过程*

细菌的硝化过程会自然地降低鱼菜共生系统的pH值。由于在氨转化成硝酸盐的过程中细菌释放氢离子，硝化过程中会产生低浓度的硝酸。随着时间的推移，主要由于这种细菌活动的结果，鱼菜共生系统的水会逐渐变得更偏酸性。

#### *鱼的饲养密度*

鱼的呼吸会向水中排放二氧化碳（CO<sub>2</sub>）。由于二氧化碳在与水接触后会自然转换成碳酸（H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>），这也降低了水的PH值。单位体积内的鱼的饲养密度越高，二氧化碳的排放量就越大，从而降低整体的pH值。例如在较高的水温条件下，鱼会更加活跃，这种效果就会更加明显。

#### *浮游植物*

鱼的呼吸把二氧化碳释放到水，从而降低pH值；相反地，浮游生物、藻类和水生植物的光合作用吸收水中的二氧化碳和提高pH值。藻类对pH值的影响遵从日变化模式，其中，白天水生植物进行光合作用，吸收碳酸导致pH上升，然后在夜间pH值因植物呼吸并释放碳酸而降低。因此，一天中的pH值，在日出时最低，而在日落时最大。在标准的循环水养殖系统（RAS）或鱼菜共生系统中，浮游植物的水平通常较低，因此，日常的pH周期不受影响。然而，其他一些养殖技术，如池塘养殖和一些鱼类繁育技术，会有意引入浮游植物，因此，我们应该合理地选择监测pH的时间。

### 3.2.3 水温

水的温度会影响鱼菜共生系统的方方面面。总的来说，一般适宜的水温范围是18-30℃。水温对D0和氨的毒性（离子化）都有影响；高温条件下，D0会减少并产生更多的未离子化的（有毒的）氨。此外，高温会阻碍植物对钙的吸收。所选择的鱼和蔬菜的组合应该与系统选址周围环境的温度相适应，因为改变水温可能非常耗能和成本高昂。温水鱼类（如罗非鱼、鲤鱼、鲶鱼）和硝化细菌以及一些比较受欢迎的蔬菜，如黄秋葵、亚洲卷心菜、罗勒等，在22-29℃的较高水温下都能茁壮生长。相反地，一些常见的蔬菜，如生菜、瑞士甜菜和黄瓜，则能在18-26℃的较低水温下更好生长，同时冷水鱼类如鲑鱼则无法在高于18℃的水中生存。更多有关植物和鱼类最佳生长温度范围的信息，请分别参阅第6章和第7章的植物和鱼类生产的相关内容，此外广受喜爱的12种蔬菜生长的关键信息详见附录1。

最好能够选择适应当地气候的植物和鱼类，但也可以通过管理技术最大限度地减少温度波动并延长生长季节。如果从白天到黑夜，每天的温度波动可以最小化的话，系统也会变得更高产。因此，在所有的鱼槽、无土栽培装置和生物过滤器水体表面应当加盖遮阳装置来避免阳光直射。同样地，也可针对夜间发生的低温使用隔热材料对系统进行保温。作为替代，可以采用某些方法，例如使用温室或盘绕农用管吸收太阳能来被动地为鱼菜共生系统加温，当温度低于15℃时，这些方法是最有效的；第4章和第9章将详细讨论这些方法。

同时，我们可以采用一种调整鱼类生产策略，以迎合冬季和夏季的温度差，特别是如果冬季有超过三个月的时间平均温度低于15℃。一般来说，就是在冬季选用适应冷水的鱼和植物，并且在春天温度再次上升的时候，系统转向选择那些适合温水的鱼和植物。如果这一方法在寒冷的冬季不可行，那只能在初冬的时候收获鱼和蔬菜，关停系统直至春天到来。在超高温的夏季（超过35℃），选择适宜的鱼和植物（见第6和7章）并对所有容器和植物生长区域采取遮阳措施是非常关键的。

### 3.2.4 总氮：氨，亚硝酸盐，硝酸盐

氮是第四重要的水质参数。所有的生命体都需要它，同时它也是所有蛋白质的组成部分。进入鱼菜共生系统的氮的最初来源是鱼饲料，它们通常标记为粗蛋白并且用百分比衡量。这种蛋白中的一部分为鱼生长提供营养，其余的被鱼以废弃物的形式排放到水中。这种废弃物大多以氨的形式（ $\text{NH}_3$ ），过鳃和尿液排放。同时排放的还有固体废物，其中部分通过微生物活动转变为氨。这些氨接着被细菌硝化（第2章第1节已经讨论过），最终被转换成亚硝酸盐（ $\text{NO}_2^-$ ）和硝酸盐（ $\text{NO}_3^-$ ）。一定浓度的含氮代谢物对鱼都是有毒的，虽然氨和亚硝酸盐的毒性大约是硝酸盐的100倍以上。虽然氮化合物对鱼是有毒的，但它们对于植物是有营养的，时间上也是植物所需肥料的基本组成成分。植物可以利用所有三种形式的氮（ $\text{NH}_3$ ， $\text{NO}_2^-$ 和 $\text{NO}_3^-$ ），而硝酸盐是最易获得的。在一个带有生物过滤且运转良好的鱼菜共生单元中，氨和亚硝酸盐的含量应该接近于零，或0.25-1.毫克/升的最高含量。在任何可能发生的氨和亚硝酸盐堆积之前，生物滤池中的细菌应该将所有氨和亚硝酸盐转化为硝酸盐。

### 高氨的影响

氨对鱼是有毒的。在氨浓度水平达到1.0毫克/升时，罗非鱼和鲤鱼可能出现氨中毒症状。如果长期暴露于1.0毫克/升或更高浓度的氨时，会对鱼的中枢神经系统和鳃造成损害，导致失去平衡，呼吸受损和抽搐。鳃的损害往往表现为鱼鳃上的红点和炎症，这会阻碍其他生理过程的正常运行，导致免疫系统的抑制和鱼最终的死亡。其他症状包括鱼体表的红色条纹、游动缓慢和在水面喘气。在更高的氨浓度下，影响更加直接并迅速出现大量的死亡。然而，较长时间暴露于较低浓度的氨也会导致鱼的应激，增加鱼的疾病发生率和更多的鱼死亡。

正如上面所讨论的，氨的毒性实际上取决于pH和温度，较高的pH和水温使氨的毒性更强。在化学上，氨以两种化学形式存在于水中——离子化和未离子化的。这两种形式一起被称为总氨态氮（TAN），而且水质检测试剂盒无法区分这两者。在酸性条件下，氨与过量的氢离子结合（低pH代表高浓度H<sup>+</sup>），毒性降低。这种离子形式的氨被称为铵。然而，在碱性条件（高pH，高于7）下，没有足够的氢离子，氨维持在其毒性更大的状态，即使是低的氨浓度水平也可对鱼产生高度胁迫作用。在温水条件下，这一问题会进一步加剧。

在高浓度氨的条件下，硝化细菌的活性急剧下降。氨可以作为一种抗菌剂，在浓度高于4毫克/升时，将抑制并大幅度降低硝化细菌的效率。当一个容量不足的生物过滤池出现氨大量积累，细菌死亡使得氨积累更多，可能会导致情况呈现指数趋势的恶化。

### 高亚硝酸盐的影响

亚硝酸盐对鱼是有毒的。与氨相似，鱼在亚硝酸盐浓度达到0.25毫克/升就会出现健康问题。更高浓度的NO<sub>2</sub><sup>-</sup>会直接导致鱼类的快速死亡。再次强调，如鱼类长时间暴露在即使低浓度水平的NO<sub>2</sub><sup>-</sup>，也会导致应激、疾病和死亡的增加。

有毒水平的NO<sub>2</sub><sup>-</sup>的阻碍鱼血液中氧的运输，这会导致血液呈现巧克力褐色，有时被称为“棕色血液病”。这种影响也能在鱼鳃观察到。中毒后的鱼会出现与氨中毒类似的症状，特别是鱼表现出缺氧，鱼在即使含有高浓度DO的水体中仍然出现浮头。第7章将详细介绍鱼类健康。

### 高浓度硝酸盐的影响

硝酸盐比其它形式的氮的毒性低得多。它是水生植物最易获得的氮形态，生物滤池的目标是产生硝酸盐。鱼可以忍受高达300毫克/升浓度水平的硝酸盐，其中一些鱼甚至能忍受高达400毫克/升的硝酸盐水平。高浓度水平的硝酸盐（>250毫克/升）会对植物产生负面影响，导致植物的过度生长和叶片上硝酸盐的有害积累，这对人类的健康是有危险的。建议将硝酸盐浓度水平维持在5-150毫克/升，并且在硝酸盐浓度更高时及时换水。

## 3.2.5 水的硬度

最后的水质参数是水的硬度。主要有两种类型的硬度：总硬度（GH）和碳酸盐硬度（KH）。总硬度是水中正离子的度量。碳酸盐硬度，也被称为碱度，是水的缓冲能力的度量。第一种类型的硬度对鱼菜共生过程没有重大影响，但是KH与pH值的独特关联值得进一步解释。



### 总硬度

总硬度基本上是钙( $\text{Ca}^{2+}$ )、镁( $\text{Mg}^{2+}$ )的含量,在一定程度上,有较少的铁离子( $\text{Fe}^{+}$ )存在于水中。总硬度测量值为百万分之几(相当于毫克/升)。高GH的水通常发现于含水层和/或河床以石灰石基础的水源,这是因为石灰石基本上由碳酸钙( $\text{CaCO}_3$ )组成。 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 离子都是植物必不可少的营养素,营养成分在水流通过鱼菜共生各个部分时被植物吸收。雨水所含的硬度较低,因为在大气中没有这些离子。硬水可以作为鱼菜共生系统的微量营养素的有效来源,并且对生物体没有健康方面的影响。事实上,在水中钙离子的存在能够防止鱼丢失其它盐分,并促进其更加的健康生长。

### 碳酸盐硬度或碱度

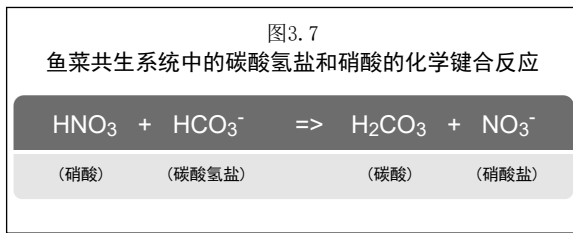
碳酸盐硬度是指溶解在水中的碳酸盐( $\text{CO}_3^{2-}$ )和碳酸氢盐( $\text{HCO}_3^-$ )的总量。它也是测定每升水中 $\text{CaCO}_3$ 的毫克量。通常认为,含有121-180毫克/升 $\text{CaCO}_3$ 的水具有高KH。来源于石灰石基岩井或含水层的水通常具有大约150-180毫克/升的较高碳酸盐硬度。

水中碳酸盐硬度对pH值有影响。简单地说,KH对pH的降低具有缓冲(或阻力)的作用。存在于水中的碳酸盐和碳酸氢盐能与由任何酸释放的 $\text{H}^+$ 离子结合,从而除去这些游离于水中的 $\text{H}^+$ 离子。因此,即使水中源于酸 $\text{H}^+$ 离子增加,pH值仍能保持稳定。因为pH值的快速变化会对整个鱼菜共生的生态系统施加压力,所以KH的这种缓冲能力是非常重要的。正如第3.2.2节所讨论的,硝化过程中产生硝酸( $\text{HNO}_3$ ),其在水中分离成两个组成部分,氢离子( $\text{H}^+$ )和硝酸盐( $\text{NO}_3^-$ ),后者可以作为植物营养素来源。然而,含有足够KH的水并不会实际上呈现成为酸性。如果水中没有碳酸盐和碳酸氢盐,鱼菜共生系统的pH值会迅速下降。水中的KH浓度越高,越能在更长的时间内作为调节pH的缓冲,以抵消由硝化过程产生的酸化来保持系统的相对稳定。

下一节将详细论述这个过程。它是一个相当复杂的过程,但对于从事鱼菜共生系统(或者其它无土栽培)的人员而言,理解这一过程是十分重要的,当可用水源具有天然的高硬度(该情况通常出现在石灰石或白垩基岩的区域),pH值的调控就成为系统管理的关键部分。第三章第5节包含pH值调控的具体操作技术。详细论述后的总结中列出了所有从业者都应该了解的关于硬度的要点。

如上所述,在一个鱼菜共生单元中持续的硝化作用会产生硝酸,并且增加 $\text{H}^+$ 离子的数量,这将使水中的pH值降低。如果没有存在于水中的碳酸盐或碳酸氢盐来缓冲 $\text{H}^+$ 离子,随着水中 $\text{H}^+$ 离子的增加,pH值将快速下降。如图3.6所示,碳酸盐和碳酸氢盐与从硝酸释放的氢离子( $\text{H}^+$ )结合和通过产生碳酸(一种非常弱的酸)平衡多余的 $\text{H}^+$ ,进而维持pH值的恒定。 $\text{H}^+$ 离子维持于化合物的结合而不游离于水中。图3.7





更详细地展示了伴随硝酸发生的接合过程。

始终保持水中一定浓度的KH对于鱼菜共生系统是必不可少的，因为它可以中和自然产生的酸，并保持pH恒定。如果没有足够的KH，鱼菜共生系统

将面临急剧的pH变化，对整个系统产生负面影响，特别是鱼类。然而，KH存在于许多水源中。用来自这些来源的水补充鱼菜共生单元，同时也补充了KH的浓度水平。但是，雨水中的KH含量低，给依赖雨水补给系统添加外源性碳酸是有帮助的，其解释如下。

#### 对硬度的要点总结

总硬度（GH）是衡量正离子，尤其是钙和镁的量。

碳酸硬度（KH）衡测的是能缓冲pH值（形成对pH变化阻力）的碳酸盐和碳酸氢盐的浓度。硬度可按照水硬度等级分类如下：

鱼菜共生中两种硬度类型的最佳水平为约60-140毫克/升。尽管

水质硬度分类	毫克/升
软水	0-60
稍硬水	60-120
硬水	120-180
极硬水	>180

检查鱼菜共生单元中的水硬度水平不是十分重要，但是补充单元所用的水需要有足够浓度的KH，以持续中和硝化过程中产生的硝酸和缓冲pH值在其最适水平（6-7）。

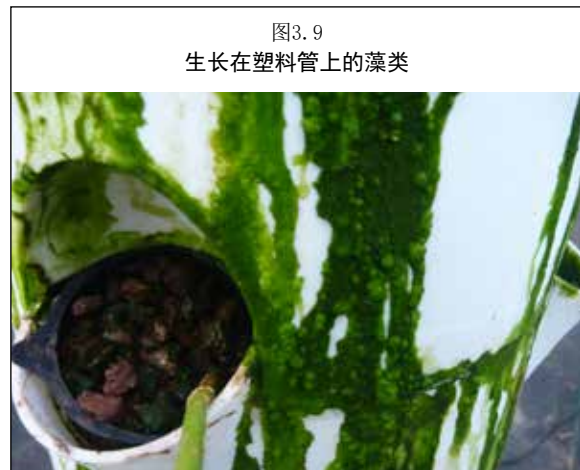
### 3.3 水质的其他主要组成部分：藻类和寄生虫

#### 3.3.1 藻类的光合作用

在鱼菜共生单元中藻类光合生长和活动影响水质参数，例如：pH值、DO和氮含量。藻类是一类类似于植物的光合生物，并且能在任何富含的养分和暴露在阳光下的水体中自然生长。有些藻类是细微的单细胞生物体，被称为浮游植物，它可以使得水呈现出绿色（图3.8）。大型藻类则大得多，通常形成丝状垫附着在水池的底部和侧面（图3.9）。

对于鱼菜共生系统，防止藻类的生长是很重要的，因为它们会带来很多问题。首先，它们将消耗水中的营养素并且与目标蔬菜竞争。此外，藻类同时作为DO的来源和消耗者物，在白天通过光合作用生产氧而在夜间通过呼吸作用消耗氧气。这会导致夜间水中DO的含量大幅降低，因此造成鱼类死亡。氧气的生产和消耗与二氧化碳的生产和消耗有关，碳酸从系统中去除（白天-水中更高的pH值）或被返还系统（夜间-水中更低的pH值），都会导致pH值的日变化。最后，丝状藻类能堵塞系统单元内的下水道和过滤器，从而导致水循环的问题。褐色丝状藻类也可能在水培植物（尤其是深水栽培）的根系表面生长，对植物的生长产生不利影响。但是，一些水产养殖活动从饲料藻类的培养获益颇丰，被称为绿水养殖，包括罗非鱼育苗、对虾养殖和生物柴油的生产，但这些主题与鱼菜共生没有直接关系，不在此讨论。

防止藻类相对比较容易。所有的水面应加以遮盖。应该用遮光布，油布，编织棕榈叶或塑料盖覆盖于鱼槽和生物过滤器上，这样，水与太阳光没有直接接触，这将抑制系统单元内藻类的大规模繁殖。



### 3.3.2 生活在水里的寄生虫、细菌和其他小生物

鱼菜共生系统是一个主要由鱼、硝化细菌和植物组成的生态系统。然而，随着时间的推移，可能有许多加入此生态系统中的其他生物。一些生物体是有帮助的，如蚯蚓，并促进鱼代谢物的分解；其他一些生物体是良性的，既不帮助也不损害系统，如生活在生物过滤器的各种甲壳类动物；其他的一些则对系统产生威胁。因为鱼菜共生不是无菌的环境，寄生虫、害虫和细菌是不可能完全避免。为防止这些小威胁成为危险的侵扰，最好的管理方法是通过确保高氧条件下获得所有必需的营养，培育健康、无压力的鱼类和植物。通过这种方式，生物可以依靠自身健康的免疫系统避免感染或疾病。第6和第7章讨论的是鱼类和植物病害更多的管理，第8章则更详细地涉及了食品安全和其他生物威胁。

### 3.4 鱼菜共生系统的水源

平均而言，依据种植植物的类型及其位置，鱼菜共生系统每天消耗其总水量的1-3%，植物对水的消耗主要是自然挥发以及将其保持在植物组织内。水的其它损失则是由于直接蒸发和飞溅所致。因此，系统内的水需要定期补充。所使用的水源会对系统单元的水化学产生影响。下面是一些常见水源和水中常见的化学成分的介绍。对任何新的水源都要测量其pH值、硬度、盐度、氯和其他污染物，以确保水达到安全使用标准。

在这里，考虑另外一个水质参数——盐度是非常重要的。盐度表示水中盐的浓度，其中包括食盐（氯化钠-NaCl），以及植物养分，它们实质上也是盐。在决定使用哪类水时，盐度水平应该被给与重点关注，因为高盐度会对蔬菜的生长产生不利影响，尤其是如果盐度源于氯化钠，因为钠对植物有毒害作用。水的盐度可以用电导率（EC）计、总溶解固体（TDS）计、折射仪或比重计来测量，实验操作员也可以参考当地政府的水质报告。盐度可通过电导率或通过水中通过的电流来测量，以微西门子/厘米为单位，如用TDS衡量，则以千分率（ppt）或百万分率（10ppm或毫克/升）为单位。作为参照，海水具有50000微西门子/厘米的电导率和35ppt（35000ppm）的TDS。虽然盐度

对不同植物生长的影响差异很大（第9.4.2节，附录1），因此我们建议使用低盐度的水源。一般来说，如果水源的电导率超过1500微西门子/厘米或TDS浓度大于800ppm，说明盐度太高。虽然EC和TDS仪表通常用于测量无土栽培系统水中营养盐类的总量，但这些仪表不能提供硝酸盐的精确读数水平，用氮检测试剂盒能更好地测定硝酸盐水平。

### 3.4.1 雨水

收集的雨水是鱼菜共生非常好的水源。雨水通常具有中性pH值和浓度非常低的两种类型的硬度（KH和GH）以及几乎为零的盐度，这是补充系统的最佳水源并且可以避免长期盐度累积。但是，根据记录，受酸雨影响的东欧、美国东部和东南亚的一些地区，雨水呈现酸性pH值。总体而言，如第3.5.2所指出的，缓冲所使用的雨水和提高KH是一种良好的实践。此外，收集雨水能降低系统运行的间接成本，而且更加可持续。

### 3.4.2 蓄水池或含水层的水

从水井或蓄水池所取水的质量将在很大程度上取决于蓄水池的材料与含水层的基岩。如果含水层基岩是石灰石，该水则可能有相当高浓度的硬度，这可能会对水的pH值的产生影响。在鱼菜共生系统中，水的硬度不是一个主要问题，因为碱度能被由硝化细菌产生的硝酸自然消耗。但是，如果水的硬度非常高而鱼生物量太小导致硝化作用微弱，则水仍然保持微碱性（pH为7-8），并且阻止了鱼菜共生系统因硝化周期和鱼类呼吸作用成为酸性的自然趋势。在这种情况下，有必要在系统加水之前，使用非常少量的酸以减少碱性，从而防止系统内pH波动。珊瑚岛的含水层往往有海水入侵到淡水层内，对鱼菜共生系统而言该水体的盐度水平过高必需进行监测，雨水收集或反向渗透过滤可能是更好的选择。

### 3.4.3 自来水或城市供水

城市供水经常用不同的化学品处理以除去病原体。用于水处理最常见的化学品是氯和氯胺。这些化学物质对鱼类、植物和细菌是有毒的；这些化学品用于杀死水中的细菌，因而对整体的鱼菜共生生态系统的健康是有害的。有可用的氯检测试剂盒，如果检测到水中有高水平的氯，需要在使用前进行处理。最简单的方法是在使用前将水储存，从而使水中所有的氯消散到大气中。这可能需要长达48小时，但如果借助气石对水进行大量曝气，可使得水中氯去除得更快。氯胺更稳定，不像氯那样容易地去除。如果市政当局使用氯胺，可能有必要使用化学处理技术，例如活性炭过滤或其它脱氯化学品。即便如此，除气对于使用城市供水的小型鱼菜共生生态系统已经足够。一个好的原则是在测定并去除水中的氯之前，更换水量不应超过10%。此外，水的质量将取决于初始水源的基岩。始终检查新水源的硬度水平和pH值，并在适当和必要的情况下添加酸以维持pH值于上述的最佳水平内。

### 3.4.4 过滤水

根据过滤的类型（例如，反渗透或碳过滤），过滤后的水能除去大部分的金属和离子，确保水能十分安全地使用并且相对容易地调控。但是，像雨水，通过反渗透去离子后，水的硬度水平较低，应该添加缓冲液。

### 3.5 pH值的调控

有一些用于调整鱼菜共生单位系统的pH值简单的方法。在以石灰石或白垩为基岩的区域，天然水通常很硬和带有较高pH值。因此，有必要周期性地添加酸以降低pH值。在火山基岩地区，天然水往往比较软且碱度很低，这表明需要定期向水中添加碱或碳酸盐缓冲液以抵消鱼菜共生系统的自然酸化。依赖雨水补给的系统也需要添加碱和缓冲液。

#### 3.5.1 用酸降低pH值

由于硝化作用和呼吸作用，鱼菜共生系统的水自然酸化。只要有耐心，pH值通常会降低到目标范围内。

然而，如果水源的KH和pH值都很高，并伴有很高的蒸发率，添加酸可能是必要的。在这些罕见和特殊情况下，重新补给系统的水的会显著提高系统内的pH并超出最佳范围和压制自然酸化过程。如果放养鱼的数量不足以产生足够的溶解代谢废物以驱动硝化作用和产生酸化现象，也有必要添加酸。在这些情况下，水的再补给也会导致缓冲剂如碳酸盐的再补充。自然产生的酸将不足以与缓冲剂进行反应，随之而来的是pH值的降低。只有当水源硬度很高且呈碱性时，并且没有雨水来提供系统不含KH的水，以帮助硝化细菌自然降低pH值时，才需要加酸。

向鱼菜共生系统添加酸是有危险的。危险在于，起初酸与缓冲液反应不会显示出pH值改变。由于pH值没有变化，添加越来越多的酸，直到最后所有的缓冲液都反应消耗殆尽同时pH值急剧下降，往往对系统造成可怕的应激冲击。有一种更好的操作，如果必须需要加入酸，可以先对补给水池的水进行酸处理，然后将处理过的水添加到系统中（图3.10）。这样消除了添加过多的酸对系统的风险。应该总是把酸添加到补给水体中，而格外小心不要添加过量的酸到系统中。如果为系统设计了自动供水线路，可能需要直接向系统中添加酸，但危险系数增大。

磷酸（ $\text{H}_3\text{PO}_4$ ）可用来降低pH值。磷酸是一种相对温和的酸。我们可以从无土栽培或农资供应商店发现各种商品名的食品级质量的磷酸。磷是植物所需的一种重要的常量营养素，但是磷酸过度使用会导致系统中呈现有毒的磷浓度。在水源的硬度十分高且偏碱性（高KH，高pH）的情况下，也有使用硫酸（ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ）的。然而，由于硫酸的高腐蚀性和非常高危险系数，不建议初学者使用。硝酸（ $\text{HNO}_3$ ）作为一种相对中性的酸也有使用。柠檬酸虽然很容易使用，柠檬酸是抗菌的，而且可杀死滤池里的细菌，所以不应使用柠檬酸。

图3.10  
使用数字酸碱仪检测水中的pH值



图3.11  
用于降低pH值的磷酸 ( $H_3PO_4$ -85%浓度)



图3.12  
在网袋中添加贝壳以将碳酸盐释放到鱼菜共生系统中



对系统和操作者而言，浓酸都是很危险的。应当采取适当的安全防范措施，包括安全护目镜和手套（图3.11）。千万不要把水加到酸里，永远都是把酸加入水中。

### 3.5.2 用缓冲液或碱提高pH值

如果pH水平低于6.0时，添加碱和/或增加碳酸盐硬度是有必要的。常用的碱是氢氧化钾（KOH）和氢氧化钙（ $Ca(OH)_2$ ）。这些碱是强碱的，应该以与酸相同的方式被添加到水中；总是要缓慢地改变pH值。然而，添加碳酸钙（ $CaCO_3$ ）或碳酸钾（ $K_2CO_3$ ）是一个更加安全和更加容易的解决方案，这能同时提高KH和pH值。许多天然和廉价来源的碳酸钙可以添加到系统中。其中包括碎蛋壳、细碎的贝壳、粗砂砾的石灰石和粉碎的白垩岩。推荐的方法是把碳酸钙材料置于网袋内，然后悬挂在水槽内（图3.12）。在随后的几周内持续检测pH值以此来监测pH值的提高情况。当pH值升高到7时，取出网袋。另外一种方法是，每1000升水抓2-3把这些碳酸钙原料的直接加到栽培基质里或加到生物过滤器组件里。如果使用贝壳，一定要在加入鱼菜共生系统之前洗去贝壳上残留的盐分。同时可根据系统内生长的植物类型来选择碱和缓冲剂，因为任何一种碱或缓冲剂化合物都会是一种添加的重要常量营养素。叶菜类蔬菜可以通过补钙避免叶片顶端的干枯灼伤；而钾元素最适宜促进果类植物的开花、结果和果实最佳成熟。

碳酸氢钠（小苏打）经常被用来增加循环养殖系统内的碳酸盐硬度，但不应该用于鱼菜共生系统，因为这将导致钠的增加，而这对植物生长是有害的。

## 3.6 水质测试

为了保持鱼菜共生单元的水质良好，建议每周进行一次水质测试，以确保所有的参数都能维持在最适的水平。然而，成熟和运转稳定的鱼菜共生系统会有相对稳定的水化学，因此不需要如此频繁地进行水质检测。在这种情况下，只是在怀疑有问题时才测试水质。另

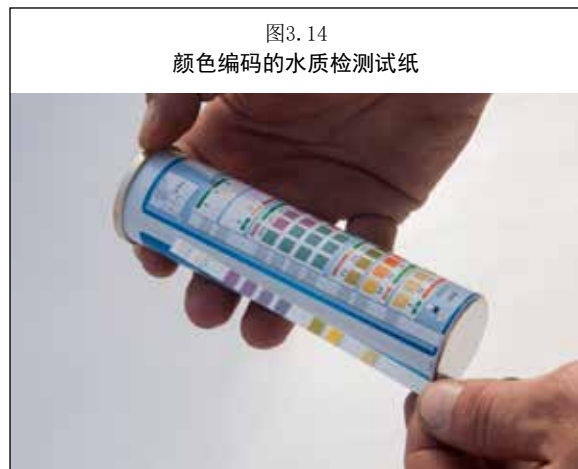
外，鱼菜共生系统中，鱼体健康和植物生长状况的日常监测能显示系统是否发生异常，虽然这种方法不能取代水质测试。

强烈建议对每个鱼菜共生单元都进行简单的水质检测。彩色编码的淡水检测试剂盒易于买到并且使用方便（图3.13）。这些试剂盒可以测出水中的pH、氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、GH和KH。每个测试只需要滴加5-10滴试剂到5毫升的鱼菜共生系统的水样里；每个测试不超过五分钟



就能完成。其他方法包括数字pH测定仪或硝酸盐测定仪（相对昂贵，但非常准确的）或水质检测试纸（价格最低，但准确性一般，图3.14）。

每周最重要的检测是pH值、硝酸盐、碳酸盐硬度和水温，因为这些结果将显示系统是否处于平衡状态。使用专用日志记录每周的检测结果，籍此监控整个生长季节系统的趋势和变化。测定氨氮和亚硝酸盐测试对于诊断系统的问题极有帮助，特别是新的系统或在一个正在运行的系统中由于鱼类死亡增加引发的毒性怀疑。尽管无需每周都对已经成熟运转的系统进行监测，但检测可提供细菌如何有效转化鱼废物和生物滤池健康状况的强力指标。如果观察到鱼或植物有任何问题，应首先测试水体中的氨和硝酸。



### 3.7 本章小结

- 水是鱼菜共生系统的生命线。水也是植物吸收营养物质和鱼获得氧气的介质。要妥善地管理鱼菜共生系统，理解水质和基本的水化学非常重要。
- 鱼菜共生系统有五个关键水质参数：溶解氧（DO）、pH值、水温、总氮浓度和硬度（KH）。了解每个参数对鱼类、植物和细菌的影响至关重要。

- 为满足鱼菜共生系统中每个生物体的需要，一些水质参数需要折中。
- 每个参数的目标范围如下：

pH值	6-7
水温	18-30℃
溶解氧 (DO)	5-8毫克/升
氨	0毫克/升
亚硝酸盐	0毫克/升
硝酸盐	5-150毫克/升
碳酸盐硬度 (KH)	60-140毫克/升

- 可通过简易方法调节pH值。向水中添加少量的碱或不经常地添加少量的酸，能分别增加或降低pH值。酸和碱的添加应始终是缓慢、谨慎和仔细的。作为替代，也可使用雨水，通过硝化细菌消耗系统的碱度，进而让系统自然降低pH值。来源于石灰石、贝壳或蛋壳的碳酸钙可以增加KH和对抗自然酸化以缓冲pH值。
- 鱼菜共生系统所需的水质和水化学某些方面的知识可以是复杂的，尤其是pH值和硬度之间的关系，但基础的水质测试有助于简化水质管理。
- 保证系统内良好水质的关键是水质测试。每星期都要检测并记录以下水质参数：pH值、水温、硝酸盐和碳酸盐硬度。特别是在系统运行初期或出现鱼类非正常死亡引起的毒性怀疑，应及时检测氨氮和亚硝酸盐浓度。

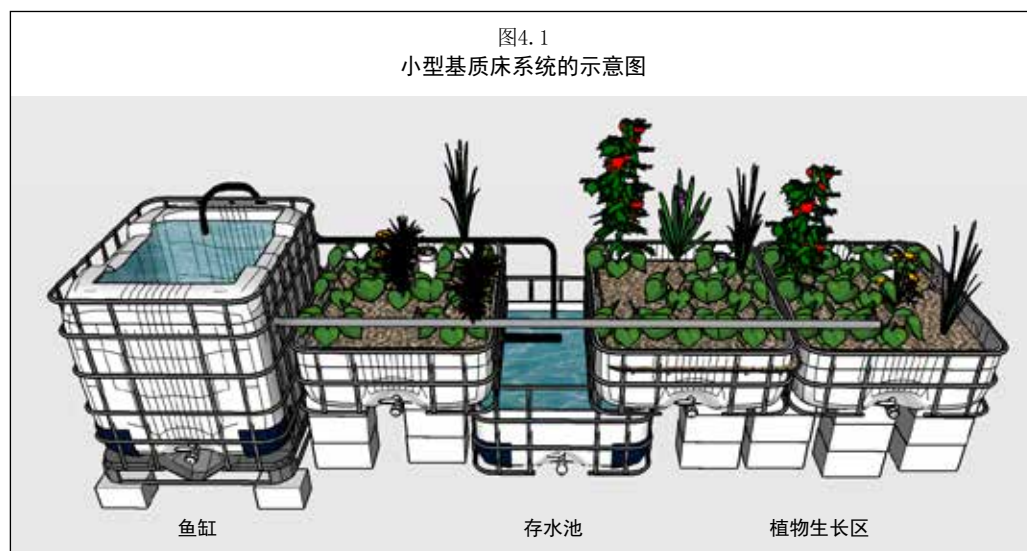


## 4. 鱼菜共生系统设计

本章介绍鱼菜共生系统的设计和原理。系统设计时需考虑多方面因素，包括所有可能对鱼菜共生生态系统产生影响的环境和生物因素。本章目的是以最容易接受的方式介绍这些内容，同时对鱼菜共生系统的每一个组成部分提供全面详尽的说明。

4.1节介绍鱼菜共生系统选址时需要考虑的因素，包括阳光利用、风雨影响、平均气温以及其他因素。4.2节介绍不同类型的鱼菜共生系统的基本构成要素，包括鱼缸、水、空气泵、生物过滤器、植物（蔬菜）种植方法和相关的管道材料。接下来进一步详细介绍水耕系统的构成，集中介绍鱼菜共生系统中最常见的三种方法：基质栽培法（图4.1-4.5）、营养膜栽培法（简称为NFT）（图4.6-4.9）和深水栽培法（又称为DWC）（图4.10-4.13）。

方法	缩写	其他名称	种植区名称	章节
深水栽培法	DWC	浮筏式	渠道，水槽	4.3
营养膜栽培法	NFT	-	管道，排水槽	4.4
基质栽培法	不适用	颗粒物式	培养床，托盘	4.5



接下来专门的一节介绍低放养密度深水栽培法（DWT）这一特殊类型。并运用一张表格来比较这三种方法的异同。

本章专门就鱼菜共生系统的关键组成部分和不同方法进行介绍。想要获得更多关于不同组成部分的尺寸和设计比例的信息，请参看第八章，第八章提供了在实际设计和建造一个小型鱼菜共生系统时需要的更加详细的信息、图表和设计规划。除此之外，附录8对本章提及的可广泛使用材料的三种小规模系统的建造方法给出了详尽的指导。

图4.2  
使用中型容器组装的新基质栽培床装置范例



图4.3  
生长在木制容器加聚乙烯内衬建成的半商业化基质床装置中的芋头 (*Colocasia esculenta*) 植株



图4.5  
种植辣椒 (*Capsicum* spp.) 的基质床单元



图4.4  
后院基质床栽培单元中生长茂盛的蔬菜



图4.6  
小型营养膜栽培技术单元示意图

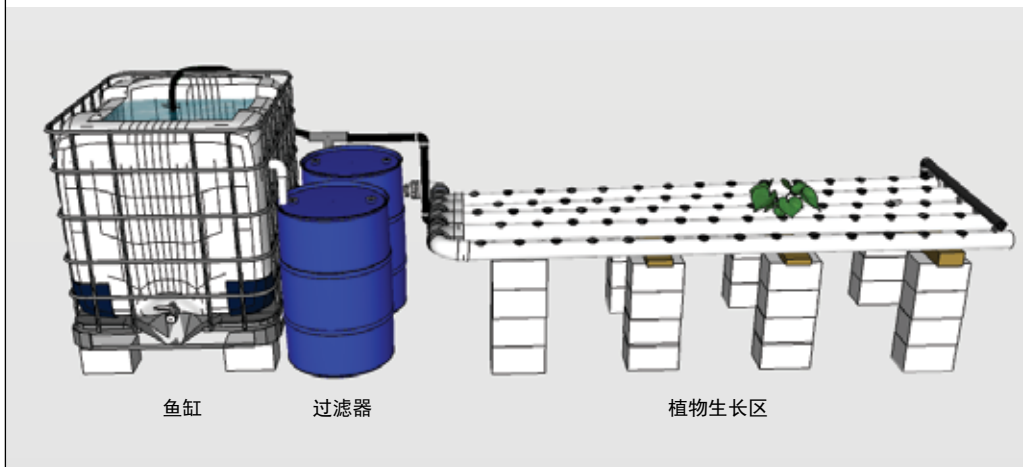


图4.7  
在小型营养膜栽培技术系统中生长的欧芹  
(*Petroselinum sp.*)



图4.8  
农民照料在营养膜栽培技术单元中的西红柿幼苗。网杯是塑料瓶底部钻孔制成的



图4.9  
利用垂直空间的营养膜栽培技术单元



图4.10  
一个小型深水种植系统示意图

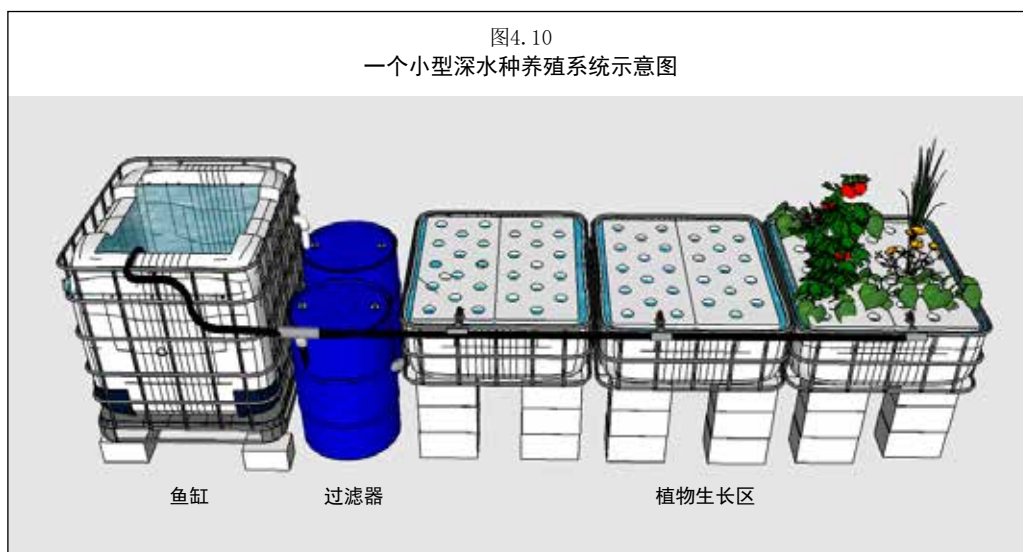


图4.11  
生长在深水栽培单元中的生菜



图4.12  
在深水栽培单元中生长的多品种生菜



图4.13  
在深水栽培单元中生长的甘蓝 (*Brassica* sp.) 的根



#### 4.1 选址

选址是新建一个鱼菜共生系统之前必须认真考虑的重要内容。本部分主要介绍建造在室外环境没有温室的鱼菜共生系统。同时，本部分也包括了大型系统需要的有关温室和遮阳网结构的简要说明。需要提醒的是系统的某些组成部分，尤其是水和砾石介质等不仅重且不易移动，所以要把整个系统搭建在最终地点才有意义。选定地点的地面应该是平坦和牢固的，所在的区域应该避免恶劣天气同时要有充足的光照。

### 4.1.1 稳定性

要确保所选地点是平坦和牢固的。因为鱼菜共生系统的一些主要构成部分是比较重的，有导致系统的一边沉陷地下的潜在风险。这将会导致水管中断、溢流或者是灾难性的崩塌。一定要选用最平坦和坚固的可用土地。也可使用混凝土预制板，但是不要深埋任何组成部件，因为这在存在被绊倒的危险。如果整个系统是建造在地上，那么土壤分层夯实是很有用的，并铺上一层材料以阻止杂草生长。除此之外，把混凝土和水泥块放到栽培床下做为支架可以提高其稳定性。石块通常被用来平整和加固表面土层。而且，把养鱼缸放在地面基础之上是很重要的，即有助于提高稳定性，保护鱼缸，还可以在缸下铺设水管和排水管道，起到与土地隔热的效果。

### 4.1.2 抗风、雨和雪

极端的环境条件会给妨碍植物生长甚至损坏其结构（图4.14）。强风会对植物生长造成严重的负面影响，而且还会对根茎和可再生器官造成损害。除此之外，强降雨会对植物造成伤害和破坏那些无保护装置的电源插座。大量的雨水还会稀释营养水体，如果没有集成导流机制在系统中的话，还可能淹毁整个系统。雪会引起和大雨一样的问题，还有额外的冰冻危害。建议把整个系统选在避风区域。如果经常下大雨的话，建造塑料大棚以保护整个系统也是很值得的，尽管不是在所有的地方都需要。

### 4.1.3 光照和遮阳装置

阳光对植物生长至关重要，正因为如此，植物才需要在白天适量地吸收太阳光。大部分鱼菜共生系统中的常见蔬菜品种都需要充分的光照条件才能健康生长；然而，如果光照强度过大，就应该在栽培床上方安装一个简易的遮阳装置。有些光敏感植物，包括生菜、沙拉绿叶菜和一些卷心菜，如果受到过度的太阳照射，就会结籽、变苦和不好吃。那些适应丛林之地的热带植物，比如说姜黄和某些观赏性植物，当受到过度的日光照射后叶片会呈现灼伤的情况，在有遮阳装置的情况下会长得更好。另一方面，如果光照不充分，一些植物的生长速度就会变慢。把鱼菜共生系统建在光照充足的地方可以避免上述情况。如果只有背阴的地方可以选择的话，那么建议选择种植喜阴类的植物。

系统的设计要能充分利用太阳东升西落的运动变化规律。通常，栽培床在空间安排上应该是长边按南北轴方向放置，这样可以白天对阳光进行最有效的利用。或者说，如果喜欢少光，就要把栽培床，管道和沟渠按东西轴线排列。当然也要考虑到所选地址何时何地会出现阴蔽。在种植蔬菜的时候一定要细心安排，只有这样才不会使有些蔬菜无意间遮挡了另一



图4.14  
被积雪损坏的深水栽培系统



些蔬菜。然而，把较高的植物种植靠西边位置或者把这两种蔬菜分散开来，这些较高的喜阳蔬菜就可以遮挡较矮的光敏蔬菜以防避高强度的午后光照。

与植物不一样，鱼不需要直接的光照。实际上，在鱼缸上放置在遮光物是很重要的。通常，鱼缸的上方要用可移动的遮阳材料覆盖（图4.15）。然而，如果可能的话，设计单独的遮阳装置把鱼缸分隔开来则更好。这样既可以防止藻类的生长（见第三章），也有助于在白天维持稳定的水温。还可以有效地阻止落叶和有机废物进入鱼缸，因为这些腐叶会污染水质，影响水的化学指标和阻塞管道。因此，要么远离悬挂的蔬菜种植区要么是用遮蔽物覆盖养鱼箱可任选其一。此外，鱼缸还面临捕食动物的风险，在鱼缸上铺设遮阳网、油布和其它遮挡物可以避免这类威胁。

#### 4.1.4 公共设施、栅栏和便捷通道

选址时，考虑公共设施的可用性是十分重要的。水泵和空气泵都需要电源，这些电源装置应防水并配备漏电保护器来减少电击的危险；漏电保护器可以在标准五金店中购买。此外，水资源也应该是容易获得的，无论是市政用水还是雨水收集设备。同样地，也要考虑系统产生的污水排放到哪里。尽管水的利用效率非常高，但是鱼菜共生系统也需要偶尔更换水量，过滤设备和沉淀也需要清洗。在附近土地种植一些植物并使用排放水来灌溉是非常实用的。系统还应该建造在每天都能轻松抵达的地方，这是因为频繁巡察和投喂的需要。最后，需要考虑是否有必要为整个区域装上栅栏。栅栏主要是防止偷盗和蓄意破坏，以及预防虫害和满足实行食品安全规定的需要。



#### 4.1.5 特别考虑：屋顶鱼菜共生系统

平坦屋顶通常是一个鱼菜共生系统的合适的选址点，因为屋顶是平坦的、稳定的、光照充足并且没有被用于农业生产（图4.16-4.18）。然而，当我们在屋顶建造鱼菜共生系统时，关键要考虑的是整个系统的重量，以及屋顶是否能够支撑起整个系统。在建造一个屋顶鱼菜共生系统之前，最好咨询一下建筑师或者土木工程师。除此之外，要确保所需的材料可以安全和有效地运达屋顶。

图4.17  
屋顶上的多单元鱼菜共生系统



图4.18  
生长在屋顶营养膜栽培技术系统的各种蔬菜



#### 4.1.6 温室和遮阳网

温室对于小型鱼菜共生系统不是必需的，然而在某些地区为了延长生长期则是非常有用的（图4.19和图4.20）。尤其是在地球的温带和其它寒冷的地区尤为需要，因为温室在寒冷月份可以保持较高的水温，因此能够进行全年的生产。

温室可以是以金属、木材和塑料为框架并用透明的尼龙、塑料和玻璃进行覆盖的构造。这种结构的目的是为了让太阳光（太阳辐射）能照进温室，进入的阳光给温室中的空气加温。当太阳落下后，温室中的热量由于有屋顶和墙壁得以保持，使得温室在24小时内保持温暖并且温度更加稳定的。温室提供了抵御风、雪和大雨灾害的条件。温室既可以通过吸收充足的太阳光照热量也可以使用内部加热装置来延长生长季节。温室可以隔离一些动物和其它害虫侵扰，也可以作为一种防盗措施。温室提供了在寒冷季节舒服的工作环境，而且保护种植者免受恶劣天气的影响。温室框架还可以用来种植攀爬类植物或者是悬挂遮阳材料。总的来说，温室的这些优点使其可以有更高的产量和更长的生长期。

当然，考虑这些优点时还需综合分析温室的一些缺点。由于技术水平和基建设计的要求，温室的初始投资可能是比较高的。温室另外还需要其它的运营成本，因为需要风扇来制造空气流动以防止产生过热和过潮的环境条件。尽管封闭的系统有利于对一些特定病虫害的控制，但是

图4.19  
温室中的小型鱼菜共生系统



图4.20  
温室中新组装的鱼菜共生系统





仍经常出现一些温室中常见的疾病和虫害，这也需要采取相应的管理措施（比如在门和窗户上安装防虫网）。

在一些热带地区，网盖棚比一些传统的用聚乙烯塑料或玻璃覆盖的温室更加适用（图4.21）。这是因为热带和亚热带的高温气候对通风提出了更高的要求，只有这样才能避免高温和过潮。网盖棚包括一个位于栽培床上方的框架，正上方是一个塑料屋顶，四周墙用网布环绕。塑料屋顶在防止雨水的进入中发挥重要作用，尤其是在当地雨水丰沛的季节，因为系统在多雨的日子里有可能会水涝。

网盖棚还可以用来防止热带地区常见的有毒害虫以及鸟类和大型动物带来的威胁。四周墙的网眼的尺寸大小取决于当地的害虫大小。对于较大的昆虫，网眼的大小可以是0.5毫米。对于较小的昆虫，它们通常是病毒的携带者，网眼的大小应该更小（比如网目0.3毫米）。如果太阳光过于强烈的话网盖棚还可以提供遮荫。常用的遮阳物的能达到25%-60%的防晒效果。

## 4.2 鱼菜共生系统的关键组成部分

所有的鱼菜共生系统都是由若干个常见的和关键的部分组成。这些组成部分包括：鱼缸、机械过滤装置、生物过滤装置和水耕栽培床。整个系统需要消耗能量以保持管道水循环和给水增氧。如上所述，植物的栽培床主要分为三种设计：栽培床、管道和渠道（栽培槽）。这一部分介绍这些必须的组成部分，包括鱼缸、机械过滤装置、生物过滤装置、水管和水泵。接下来的部分专门介绍水耕技术以及不同情况下各种技术方式的比较，帮助决定哪种技术更加合适。

### 4.2.1 鱼槽

在每个系统中，鱼缸都是必不可少的组成部分。就其本身而言，鱼缸的成本占到整个鱼菜共生系统总成本的约20%。鱼的存活和生长需要一定的条件，因此应该科学地选择鱼缸。以下几个因素需要重点考虑，包括形状、材料和颜色。

#### 鱼缸的形状

尽管任何形状的鱼缸都可以运转，但是推荐使用圆形平底鱼缸。圆形可使水流方向一致，而且在向心力的作用下能使得固体废物向鱼缸中央集聚。方形平底鱼缸也是完全可以接受的，但是需要经常的主动进行固体废物清理。鱼缸的形状极大地影响水循环，使用水流动性不好的鱼缸则存在较大风险。那些有许多曲线和弯曲的非几何图形的艺术性较强的鱼缸，通常会产生水流不畅的死角。这些区域容易聚集废物并造成缺氧，对鱼产生危险情况。如果使用了特殊形状的鱼缸，可以通过增加水泵或空气泵来确保水流和固体废物的清除。选择与饲养的鱼类习性相适应的鱼缸是很重要的，因为许多底层性鱼类在足够大的水平空间和更少的环境胁迫下表现出更好的生长。



## 材料

推荐使用强惰性塑料或者是玻璃纤维，因为它们的耐用性和长使用寿命。不建议选用金属材料，因为会生锈。塑料和玻璃纤维安装方便（管道也是如此），而且相当轻便和移动性较好。水生动物养殖槽通常也可以使用这些材料，因为它们便宜。如果使用塑料容器，要保证它们是防紫外线的，因为阳光直射会使塑料老化。通常选用低密度聚乙烯（LDPE）材料的鱼缸，因为它们有较好的韧性和食品级材料的特性。事实上，低密度聚乙烯（LDPE）是民用储水槽最常用的材料。另外一个方式是用土池。如直接用土池，鱼菜共生系统则很难管理，因为自然生态过程会在基质和淤泥中发生，从而供栽培植物利用的营养成分难以得到调控。得用水泥池或者塑料膜覆底池更可以接受，也不失为一个廉价的方式。土池会使得水管排布比较困难，在开挖之前，要仔细地规划好水管的排布设计。最简单的养鱼池是在地上挖一个洞，铺上砖块或煤渣块，再铺上一层防水材料聚乙烯塑料布做池底。另外一个方法是用废旧的容器，比如说浴缸、水桶和中型集装箱（IBCs）。一定要确保这些容器之前没有被用来装载过有毒物质。像有些溶剂型的化学物质污染物会渗入塑料之中，并且是不可能通过清洗而消除的。因此，要谨慎地选择那些废旧的容器，最好是认识的卖家。

## 颜色

强烈推荐使用白色或者浅色系，这样容易观察鱼缸中的鱼，也易于观察鱼的活动和鱼缸底部沉淀废弃物的多少（图4.22-图4.24）。白色的鱼缸还可以反射太阳光，保持水的温度不变。作为另一种选择是可以在外部颜色较深的鱼缸内部刷上白色。在非常炎热或者寒冷的地方，有必要在鱼池外部采用保温隔热措施。

## 遮盖和遮荫物

所有的鱼缸都应有遮盖物。遮荫可以阻止藻类的生长。盖网可以防止鱼跳出来（通常是新放的鱼或者在水质欠佳的时候），防止落叶和其它杂物的落入，并防止吃鱼的食肉动物，比如说猫和鸟。通常，可以使用能阻挡80-90%光照的农用遮阳网。遮阳布可以搭在一个可以承重的木制框架上，也方便把遮阳布收起来。

## 系统安全和冗余设计

千万不能让鱼缸漏水；如果鱼缸的水被意外排干，那么鱼就会死掉。虽然有些不可避免的意外事故发生（比如说一棵树砸到了鱼缸），但是许多大规的模鱼类





死亡却是由人为过错引起的。要确保鱼缸中的水不会由于操作人员无意的操作而被抽干。如果鱼缸内安装有水泵，要确保水泵离鱼缸的底部有一定的安全距离，以保证鱼缸中的水不会被抽干。在鱼缸中安装立式排水管确保鱼缸的最低水位。这些内容会在4.2.6部分中进一步介绍。

## 4.2.2 过滤—机械和生物过滤

### 机械过滤

对于循环水养殖系统（RASs）来说，机械过滤可以说是整个设计中最为重要的部分。机械过滤就是对鱼缸中固体的和悬浮的鱼类排泄物进行分离和清除。对于整个系统的健康运转而言，清除这些废物是非常关键的。因为固体废物留在水中并发生腐烂的话，厌氧细菌就会释放出有害气体。并且这些废物的富集可阻断和妨碍水体流动，从而导致植物根部缺氧。通常小型鱼菜共生系统的

养殖密度要比密集的循环水产养殖系统（RAS）要低，达不到那些机械过滤装置设计的水平。但无论哪种类型的水产养殖方法，一定程度的机械过滤对于健康的鱼菜共生鱼缸来说都是很有必要的。

机械过滤器有多种类型。最简单的方法是在鱼缸和栽培床之间放置一个滤网或者是过滤器。这个滤网可以收集固体废弃物，也需要经常对滤网进行清洗。类似地，从鱼缸出来的水可以通过一个与栽培床分开的，由特殊材料填充的小型容器；这个容器也可以方便地进行定期清洗。这些方法对于一些小型的鱼菜共生系统来说是有效的。但是对于放养密度高、相应固体废物产生量大的较大型系统来说是不够的。机械过滤装置的类型有很多，包括沉淀池、径流沉淀器、沙滤器和过滤板；应根据固体废弃物的清除量来选取过滤器类型。然而，本手册主要介绍小型鱼菜共生系统，因此沉淀器或者是机械分离器就是最适合的过滤器。一般来说，沉淀器可以清除约60%的总固体废弃物。想要了解更多有关机械过滤器的知识，请参阅本手册末推荐的阅读书目。

### 机械分离器（沉淀器）

沉淀器是一个利用水固分离特性的专用容器。通常，水流慢时的携带的颗粒物比水流快时要少多。因此，沉淀器的构造就是通过加快和减缓水流的速度使得颗粒物沉淀在底部并方便被清除。在漩涡式沉淀器中，来自鱼缸的水通过管道流入到澄清器中下部，并使水管出水方向和沉淀器的边相切，从而使水流在沉淀器中形成环流漩涡。水的环形流动向心力使得水中的固体废物向沉淀器的中央和底部聚集，因为漩涡中心的水流速度低于外圈的水流速度。当这些废物在底部集聚后，定期开启沉淀器底部的管道，把这些固体废物从沉淀器中冲洗掉。沉淀过的水通过沉淀器顶部开口经二次滤网过滤，进入生物过滤器或者是栽培床。图4.25-图4.27展示的是小型和大型鱼菜共生系统的

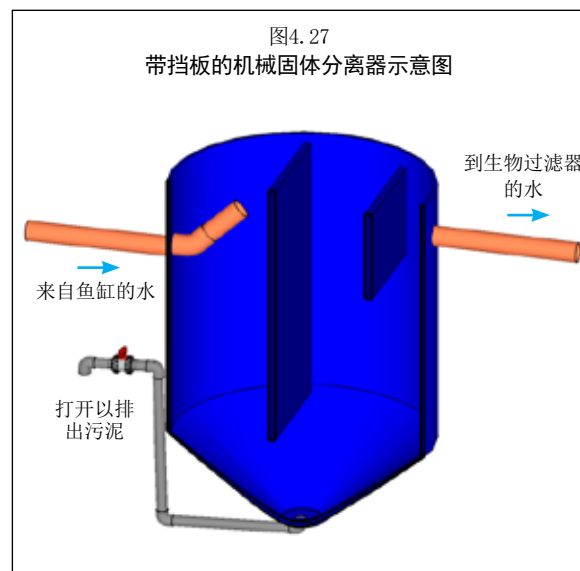
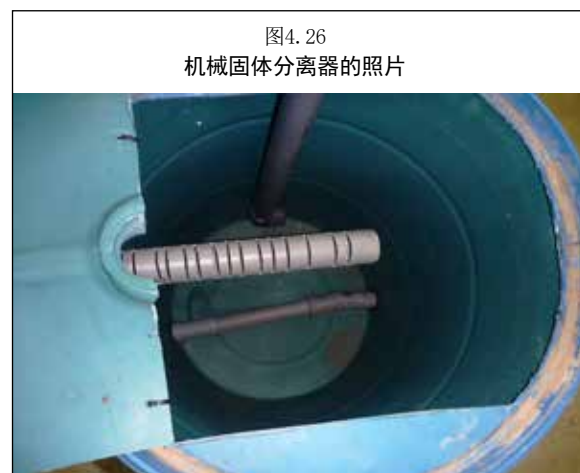
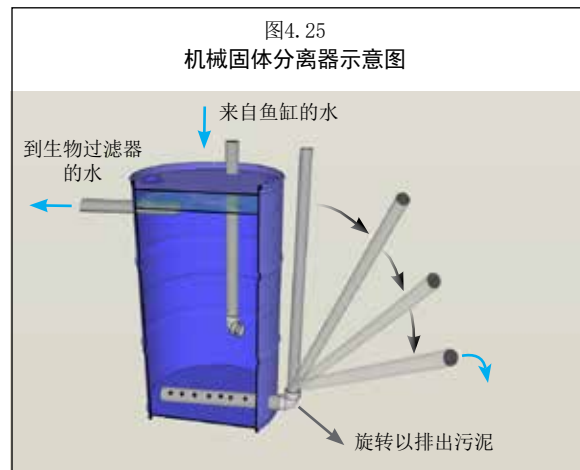
简明机械分离器样例。一般来说，收集到的和清除掉的固体废物中包含有丰富营养物质，可用于系统植物栽培或者用作菜园肥料；在接下来的部分我们将介绍固体废物的矿化过程。一般指导原则是，机械分离器的容量大小应是鱼缸容量的六分之一，也要考虑实际放养密度和设计的情况。对于系统中每一个部分构建的指导细节，附录8有详细介绍。

对于营养液膜技术（NFT）和深水栽培法（DWC）的系统来说，一级机械过滤器非常重要，可以收集和清除固体废物。如果没有一级过滤过程，固体的和悬浮的废物就会在栽培管道和水槽中不断累积，甚至造成植物根系表面阻隔。固体废物的累积还会导致水泵和水管设施的阻塞。最终，未经过滤的废弃物还可能造成系统中产生有害的缺氧点。这些缺氧点有利产生硫化氢的细菌生长，硫化氢对鱼类是致命的毒性气体，由固体废弃物发酵产生，通常能闻到臭鸡蛋一样的气味发。

### 生物过滤

生物过滤就是通过活细菌把氨氮和亚硝酸盐转化为硝酸盐的过程。由于鱼类的排泄物是直接溶解在水中，并且有些颗粒物太小而无法使用机械过滤，因此，为了处理这些细微的排泄物就需要利用微小细菌。生物过滤在鱼菜共生系统中是非常必要的。因为即使低浓度的氨和亚硝酸盐也是有毒的。但是植物却需要硝酸盐来促进生长。在一个鱼菜共生系统中，生物过滤器是特意设计的提供大量活性细菌生长的装置。而且，生物过滤器中水的动态运动会分解那些没有被沉淀器过滤的细小固体废物，从而避免了在营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）中植物根部废物的累积。然而，一些大型的、按维尔京群岛大学开发的鱼菜共生系统设施通常也不使用独立的生物过滤器，而是依赖于系统的湿润表面、植物的根系直接吸收氨氮。在基质栽培床技术中不需要单独的生物过滤器，因为栽培床本身就是很好的生物过滤器。

生物过滤器设计可提供较大的表面积，并使用富氧水。生物过滤器一般安装在机械过滤器和水培容器之间。生物过滤器的容量最好是鱼缸容量的六分之一。图4.28展示了一个小型系统中生物过滤器的样例。





一种最常使用的生物过滤器是生物球 (Bioballs®)，可以从水产养殖供应商店买到的专利商品，也有相似的通用品牌产品可选用 (图4.29)。这是经过设计的理想过滤材料，体积小，形状特殊的塑料制品，却有极大的表面积和容量比 (500-700平方米/立方米)。其他可用的材料，包括火山石、塑料瓶盖、尼龙材质的沐浴厚坐垫、网眼布、聚氯乙烯 (也叫PVC) 碎片和尼龙擦洗垫。生物过滤器材料需要有较高的体积与表面积比率，而且是惰性的和容易清洗的。Bioballs®的表面积与体积的比率并不多是火山石的两倍，这两种材料又都比塑料瓶高盖。当不能使用最好的过滤器材料时，需尽可能多地填装生物过滤器。即便如此，生物过滤器提供的表面积也不一定能满足充分的过滤需求。在建造初期能够设计冗余的过滤器，根据需要，可以增加一组过滤器。使用中，生物过滤器也需要不断搅动来防止阻塞，或者冲洗来防止固体废物阻塞产生缺氧区。参阅第八章和附录4，了解有关于小型鱼菜共生单元中生物过滤器大小的详细需求。

生物过滤器另一个组成部件是充气设施。硝化菌需要与空气充分接触才能使氨氮氧化。一个简单的解决方法就是使用空气泵，即把气石放置在过滤箱底部。这样可以确保细菌有持续不断、浓度高的溶解氧。空气泵还可以通过搅动和生物球的持续转动，以帮助打碎那些但没有被机械分离器过滤的固体或悬浮废物。为了在生物过滤器内部更多地过滤掉固体废物，可以在生物过滤器的进水口加装一个小型的圆柱形塑料桶，桶内放满尼龙网 (就像贝纶 (Perlon®))、海绵或是装满火山石的网袋。废弃物可以被这个次级机械过滤器所过滤，过滤水

通过桶底部的小孔流入到生物过滤器中。这些被过滤掉的废物可以被矿化或被细菌降解。

### 矿化作用

在鱼菜共生中，矿化作用指的是固体废物被分解和通过细菌代谢为植物生长所需养分的过程。由机械过滤器收集的固体废物含有养分；但是分解这些废弃物和生物过滤过程是不一样的，需要单独考虑。在整个系统中留下固体废物可以给植物提供更多的营养物质。任何留存在机械过滤器、生物过滤器或者是在栽培床中的废弃物都会发生一定的矿化过程。废弃物在一个地方残留的时间越长矿化过程就会越多；废弃物在过滤器中停留的时间越长矿化更多就会有更多的营养被留在系统中。然而，同样的固体废物如果不能得到妥善分解和矿化，就会阻碍水流、消耗氧气和引起缺氧环境，还可能产生有害的硫化氢气体和反硝化作用。因此，一些大型的系统会特意在过滤器中留下固体废物，在确保有适当的水流和氧气条件下，以便最大限度的释放出营养。然而，这个方法对于小规模的营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）的系统来说则是不可行的。如果确实需要矿化这些固体废弃物，一个简单的方法就是在独立容器中通过细菌来分解，将废弃物存放在独立的容器中，用气石充氧，在经过一段时间后，固体废弃物就会被异养细菌消耗、代谢和转化。这时，经处理的水可以倒入和重新加入到鱼菜共生系统中，而剩余的体积更小的废弃物，可移动到土壤中。

另外，这些被分离、清除的固体废物也可以作为肥料添加到地面农业、园艺或者堆肥桶中。然而，没有这些营养物质可能会导致系统中植物生长的营养不足，那么就需要在系统中补充营养物质（参见第六章）。

### 使用基质床作为机械过滤和生物过滤的组合技术

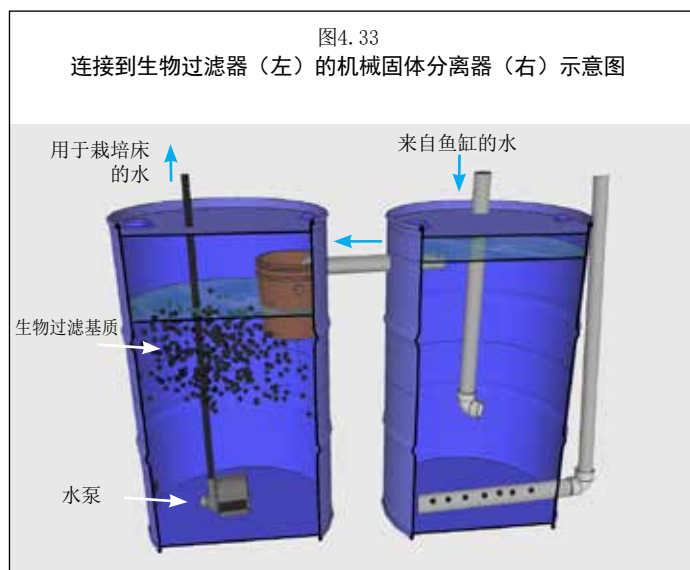
在营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）的系统中，可以使用基质填充床来完成机械过滤和生物过滤过程（图4.31和图4.32）。尤其是在那些漩涡式分离器和/或独立生物过滤器的原材料不容易获取的地方，就显得更为重要。尽管在第八章会详细介绍，这里要强调的是在每天投喂200克的鱼饲料的系统中需器要达到300升的生物过滤器。这些小石子基质可以为20千克的鱼提供充足的生物过滤。尽管这种基质床能为营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）系统提供充足的生物过滤，也能收集和保留固体废物，为了防止基质床被鱼类粪便阻塞，也推荐在基质床中

图4.31  
使用筛网进行额外机械过滤的小型基质床单元



图4.32  
用于深水养殖系统过滤的基质床单元





增加额外的固体废物收集装置，并定期清洗以便清除固体废物。

总的来说，一定程度的过滤装置对所有的鱼菜共生系统都是必不可少的，过滤装置的大小规模决定于养鱼密度和系统设计。机械过滤器可分离固体废弃物防止有毒物质的累积，而生物过滤可将溶解的含氮废物转化为硝酸盐（图4.33到4.34）。基质床既充当了机械过滤器也作为生物过滤器，但当养鱼的密度较高时，增加机械过滤器也很有必要（15千克/立方米）。在没有基质床的系统中，比如在俯视图图中机械过滤的固体分离器（右）连接到营养液膜技术(NFT)和深水栽培方法(DWC)系统中生物过滤器（左），那么独立的过滤器是必需的。固体废物的矿化过程给整个系统提供了更多的营养物质。矿化过程可在基质床中发生，但是在营养液膜技术(NFT)和深水栽培方法(DWC)系统中就需要单独的过滤设备。

#### 4.2.3 水培组件—基质床、营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）

水培组件是指整个单元中植物生长的那一部分的术语。有多种多样的设计，本书将详细介绍其中的三种，并确保每种方式能独立介绍。这三种设计分别是：基质床栽培法，有时也称为颗粒基质床，就是把植物栽培在基质颗粒中（图4.35和





图4.36)；营养液膜技术(NFT)系统，植物的根部生长在流动着的富有营养水的宽管道中(图4.37和图4.38)；和深水栽培技术(DWC)系统，也叫做浮筏式鱼菜共生系统或者是漂浮床系统，植物通过浮筏漂浮在鱼缸里(图4.39和图4.30)。每种方法都有优缺点，不同的构造方式能够满足不同的需要。参阅4.3-4.6部分查看每一种方法的详细说明。

#### 4.2.4 水流

水流是保持鱼菜共生系统中所有生物体存活的基础。水从鱼缸中流出，通过机械分离器和生物过滤器，最终流到栽培植物的基质床和管渠中，吸收掉溶解的营养物。如果水的流动停止，最直接的影响就是养鱼缸中溶解氧的减少和废物的堆积；没有了机械过滤器和生物过滤器，鱼类就会窒息并会在几个小时内死亡。没有水的流动，基质床中或者是深水栽培(DWC)系统中的水就是死水并且缺氧，而营养液膜(NFT)系统也会干涸。

对于放养密度高的鱼菜共生系统来说，一条常被提到的指导原则是系统中的水要能每小时循环两次。例如，当鱼菜共生系统的总水量是1000升，那么水体流动的速率就应该是2000升/小时，这样可以保证水每小时循环两次。然而，如果放养密度较低的话，这样的换水率和流速就没必要了，水仅需要每小时循环一次即可。在系统中通常有三种保持水体流动的方法：潜水泵、气提泵和人力方式。

图4.41  
市售多种品牌的潜水泵，用于小型鱼菜共生系统



### 潜水泵

通常，潜水泵被认为是鱼菜共生系统心脏，推荐使用叶轮型潜入式水泵（图4.41）。外部水泵也可以，但是需要配置更多的管道设施，一般较适用于大型鱼菜共生系统。推荐使用质量较高的水泵，可以保证较长的使用寿命和较高的能效。好品质的水泵可保持至少1-2年内其泵送能力和效率较高，使用寿命达到3-5年。然而，质量较差的产品会在很短的时间内丧失其泵送能力，并导致水流量大副下降。关于水流速率，本书中所介绍的小型系统需要的是

在水头扬高1.5米水流速率为2000升/小时；达标的潜水泵耗能约为25-50瓦电/小时。一个评价潜水泵的能源消耗估测指标是，抽40升的水消耗一度电，尽管有一些系统宣称通达到两倍的效率。

在为水泵设计管道时，需要注意的一重要点是，每多一个管道弯头其泵送能力就会减少；当水流泵过时，一个管道转接头就能减少总水流速率的5%。因此，在水泵和鱼缸之间使用尽可能少的转接头。需要注意的是，管道的管径越小，水流速损失的越大。在相同的水泵功率下，一根30毫米的水管的流量是一根20毫米的水管的两倍。此外，较大的水管也不需要任何的用于消除管道内部固体废物聚集的维护。实践中，大水管可以大量节省电力和运行成本。在安装鱼菜共生系统时，要确保把潜水泵安装在容易够得着的位置，定期保养维护是必不可少的。事实上，内部过滤器每两到三周就需要清洗一次。潜水泵无水空转就会损坏，永远不要让水泵干转。

图4.42  
简易的气提水泵



### 气提泵

气提泵是抽水的另一种技术（图4.42）。它们使用的是空气泵而不是水泵。把空气挤压到鱼缸里管道的底部，形成气泡并扩张，在气泡上升到表面的过程中把水带出。气提泵的一个优点就是更省电，尤其是在提升高度不高时（30-40厘米）。气提泵在较深的鱼缸中效果也不错，在其深度超过一米时达到最好。一个突出的好处是气提泵不会像潜水泵那样出现管道堵塞。此外，通过气泡的垂直运动也给水充氧了。当然，泵出的空气容量应该足够充足以使得水可以沿着管道流动。空气泵的使用寿命通常比潜入式水泵要长。空气泵的主要优势是来自于经济方面——购买一个空气泵可以同时用来充氧和泵水循环，从而减少了购买第二部水泵的资金投入。



### 人力方式

有些鱼菜共生系统的设计是使用人力来让水流通的（图4.43）。水可以用桶、用滑轮、改装的自行车或者是其它方式来实现流通。人工给高位池加水，然后自然地整个系统中完成一天的流动。这一方法仅适用于小型系统，尤其是在电力不足或者是电力不稳定的地方更应予以考虑。通常系统会常出现低溶氧和营养物混合不充分的情况，一些成功的改进技术会在第九章进行介绍。

### 4.2.5 增氧

空气泵通过放置在水槽内部的气管和气石将空气注入水中，从而增加水体的溶解氧（DO）水平（图4.44）。增氧设备是营养液膜技术（NFT）和深水栽培技术（DWC）系统的关键组成部分。气石放置在气管的末端，把空气变成小的气泡进行扩散（图4.45）。小气泡的表面积更大，与大气泡相比，可以向水中扩散更多的氧气；这使得充气系统更加有效率并节约成本。推荐使用优质的气石以获得最小的气泡。当产生生物堆积，气石就需要定期清洗，首先，使用含氯溶液来进行杀灭细菌，如果有必要，当出现气泡不连贯时，使用弱酸性溶液来清除矿化物，或者可以考虑替换新的气石。优质的空气泵是鱼菜共生系统中必不可少的组成部分，而且由于有丰富的溶解氧（DO）使得许多系统避免了灾难性的损失。如果可能的话，使用交流电和直流电双电源气泵则更好，因为在断电期间，我们交流电不供电时，可使用电池的直流电继续工作。

#### 增氧系统的功率配置

对于鱼缸容积为1000升的小规模系统，推荐使用至少两条空气管道，也被称作充气器。把气石安装在鱼缸内，另一个则安装在生物过滤器内。为了了解进入系统中的空气的容量，需测量气流速度。为了完成这个测量，需要在鱼缸中简单安装一个容积测量装置（包括一个2升的瓶子、量杯、有刻度的大口杯）即可。在助手的帮助下，当把冒泡的气石插入到测量装置中时启动计时器，当容器中的空气全部充满的

图4.43  
不使用水泵的后院鱼菜共生系统



图4.44  
市售多种品牌的小型气泵



图4.45  
用于将压缩空气以细小气泡扩散到水中的气石



时候停止计时。然后，计算出气流速度是每分钟多少升的比值。我们这里要达到的目标是所有气石流速加在一起达到4-8升/每分钟。记住充足的溶解氧（DO）总比给氧不足要好。

放置气石时要做到不会让沉淀的固体废弃物再次漂浮起来，所以要尽量避免从中心排水管进行气石的移动。

### 文丘里虹吸管

文丘里虹吸管是鱼菜共生系统中另外一项技术要求低且易于安装的技术。在深水栽培（DWC）的水渠里这一技术尤其具有价值。简单地说，文丘里虹吸管利用的是流体动力学原理，当加压水以较快的速度流经直径较小的管道部分时，就会从外部吸入空气（吸气）。在持续不断地水流下，如果管道的直径减少，水流的速度就会加快。并且这种较快的速度会产生负压。文丘里虹吸管是将管道里比较短的部分（直径20毫米，长度5厘米），插入到直径（25毫米）较大的主水流管道中。当主管道中的水强制流入较窄的管道中时，就会产生喷流效应（图4.46）。通过在外部的收缩管上开一个小孔，这种喷流效应就会将周围的空气吸入到水流中去。当文丘里虹吸管位于水下，那么小孔可以和暴露在外的长管道相连接。在深水栽培（DWC）渠道中，文丘里虹吸管可以安装在任何一个进水的管道中，这能够增加进水管内溶解氧的浓度。如果空气泵运转失灵，它们还可以起到补充养鱼缸空气的作用。请参阅“延伸阅读”章节了解更多信息资料。

图4.46

文丘里虹吸管的制作步骤。把一小段管道(a)插入主管管(b)的末端。在较细的管道上(e)切出一个小槽口(c, d)，通过它吸入空气(e)



### 4.2.6 存水池

存水池就是在系统中最低位置收集水的水槽；水总是会向下流入存水池中（图4.47）。这个位置通常是放置潜水泵的位置。存水池比

养鱼缸小，其容量应该是养鱼缸容量的四分之一到三分之一之间。对于潮汐式的基质栽培床，则存水池要足够大，至少能够容纳基质栽培床中全部的水量（见4.3部分）。外置存水池主要用在基质栽培床的系统中；然而，对于深水栽培（DWC）系统中水培渠道本身就是存水池或者是水泵房。尽管外置存水池很有用，但是它并不是系统的构成要件，许多系统设计中是没有外置存水池。对于一个鱼缸容量只有200升的小系统，只需把水从鱼缸中泵到栽培床中，然后通过水的缓慢流动再流回到鱼缸中。当然，对于较大型的系统存水池则是非常有用的。

鱼菜共生系统常用的一个方法，也是这里要推荐的一个方法，就是把水泵放在存水池。常用一组缩略词来说明这个设计的关键点，它就是：维持鱼缸水位高度——将水泵放在存水池中（CHIFT-PIST）。使用这个方法还表示任何的水量损失，包括蒸发和渗漏的部分，都只会在存水池发现，而不会影响鱼缸中的水量。接下来可以很直观地知道正常的蒸发损失并计算出需要补充水的时间，如果存在渗漏的话马上也能立即发现，从而更为重要的是保证水培系统中任何渗漏都不会对鱼类造成伤害。9.2部分介绍了保持水位的不同方法。

#### 4.2.7 管道材料

每一个系统都需要选用相应的PVC管道、PVC接头和配件以及软管和导管（图4.48）。这些材料构成了水流进入系统每个部分的通道。还需要隔水阀门、Uniseals®密封圈（以下称uniseal）、硅密封剂和铁氟龙胶带。PVC组件可通过PVC粘合剂牢固地粘接在一起。如果管道不是永久使用且连接处也没有高水压，那么也可以使用硅密封剂。除此之外，还需要一些常用的工具，比如，锤子、钻头、手工锯、电动锯、测量卷尺、钳子、闭锁钳、螺丝刀、水平尺等。一种特殊工具就是孔钻和/或铲形钻头，可以安装在电动钻头上用来挖直径达8厘米的洞，比如要把管道插入到鱼缸和过滤器中就需要用到，还有用于在营养液膜技术（NFT）和深水栽培（DWC）系统中的PVC或者是聚苯乙烯栽培床的管洞连接。附录8列出了本书中介绍到的每个系统需要用到材料的详细目录。

一定要确保系统使用的管道材料之前从来没有接触过有毒物质。同样很重要，就是所使用的管道应该是食品级的材料，以防止化学物质释放进入到系统水体中。还有一点也很重要，所使用的管道应该是黑色的和/或是不透光的，这可以阻止藻类的滋长。

图4.47  
集水槽埋在地下，通过重力收集水



图4.48  
常用的管道安装配件



图4. 49  
市售多种品牌的水质检测试剂盒，包括氨、亚硝酸盐、硝酸盐、pH和碱度的指标检测



#### 4. 2. 8 水质检测盒

简易水质检测对每一个鱼菜共生系统来说都是需要的。推荐使用比色法的淡水水质检测盒，既易购买、经济实惠而且使用简单。这些检测盒可以在水族商店或网上购买得到。检测盒包含了PH值、氨、亚硝酸盐、硝酸盐、总硬度和碳酸盐硬度的指标检测（图4. 49）。要确保生产商可靠并且在还在有效期内。其它检测方法还有数字化检测仪和试纸。如果PH值和硝酸盐的测量使用数字化检测仪，要确保按照生产商的使用说

明来进行校对和调试。温度计可用来测量水温。另外，如果水源中存在海水风险，使用比较便宜的比重计或者更加精确但较昂贵的盐度计都是可以的。有关比色法的使用细节在3. 3. 6部分介绍。

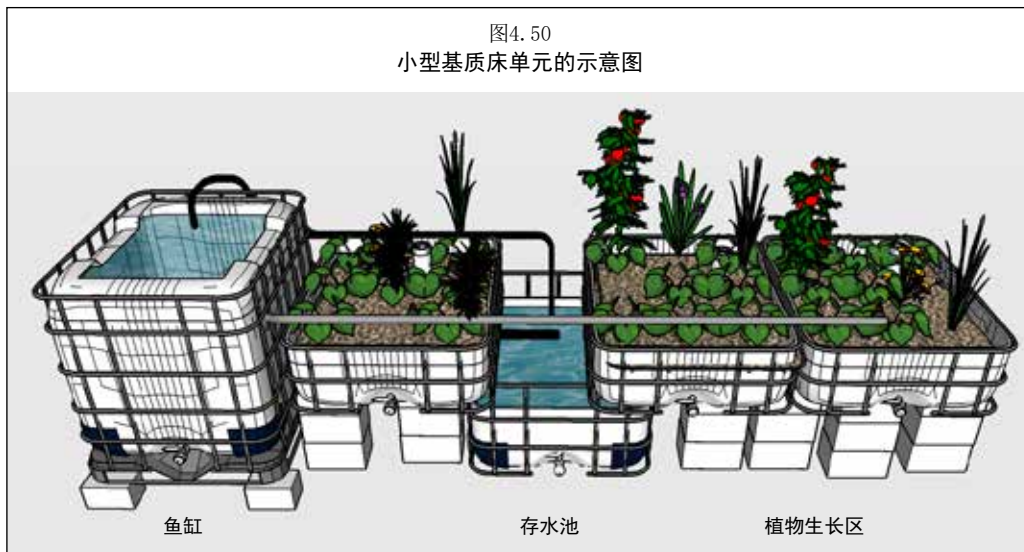
#### 4. 3 基质栽培床技术

基质填充栽培床技术是小型鱼菜共生系统最常见的设计。强烈推荐在所有发展中国家和地区使用这种方法。该设计能够有效地利用空间，初始投资较低且简单易学非常适合初学者。在基质栽培床系统，这些基质用来固定植株根部同时起到过滤器作用，兼具机械过滤和生物过滤双重作用。正是基质床的双重功能确定了其是最简单的系统的主要原因；接下来的部分会说明营养液膜技术（NFT）和深水栽培技术（DWC）这两种技术为什么需要独立的和更为复杂的过滤装置。然而，如果大规模运用的话，基质床技术就会变得不实用和更加昂贵。如果鱼的放养密度超过基质床的承载能力，基质床就会堵塞，这时候就需要配置单独的过滤装置。由于其有较大的面积暴露在阳光下，所以水分蒸发量也就更高。还有就是有一些基质是非常重的。

基质床的设计方法有很多种，并且可能是适应性最强的技术。举例来说，在印度尼西亚使用一种叫做Bumina的鱼菜共生技术，该项技术就是将许多个小型的基质栽培床与一个养鱼土池相连接（9. 4. 3部分）。而且，循环利用的材料很容易改造用来放置基质和支撑鱼缸。

##### 4. 3. 1 水流动力学

图4. 50展示了使用基质床的鱼菜共生系统的主要组成部分，包括鱼缸、基质床、存水池、水泵和起支撑作用的水泥墩。理解该系统最简易的方式是按系统水流顺序来了解。鱼缸里的水在重力作用下流出经过简单的机械过滤器流入基质床中。基质床中多孔的基质既充当机械和生物过滤器，还是矿化过程发生的场所。这些基质床提供了硝化细菌群落生长，也是植物生长的地方。在基质床的出口处，水仍在重力作用下汇流到存水池中。在此处，水几乎不再含有固体和可溶性废物。最后，这些清洁的水再次被泵入到鱼缸中，在水位上升后，使鱼缸中的水通过溢流进入基质床中，这样就完成一个水循环。有一些基质床被设计成潮汐式，也就是说当水位上升到某一水位点时，然后完全排干，这个过程能给植物根部增加氧气并帮助氨氮的生物过滤。其它的基质灌溉方法使用持续不断的水流，要么是从栽培床一边进水再从另一边出水，或者是通过滴灌管道来灌溉。



### 4.3.2 基质床的建造

#### 材料

基质床可以由塑料、玻璃纤维或者是底部和内墙用防水橡胶或者聚乙烯膜作内衬的木制结构。最常见的自己动手制作（DIY）的基质床是用塑料容器、改造的集装箱或者是旧浴缸（图4.51）。使用上述全部种类的容器，或者使用符合下列条件的其它容器：

- 要足够强韧，可以用来盛放水和生长基质，而且不会破裂；
- 可以经受恶劣的天气状况；
- 由食品级材质制作，确保对鱼类、植物和细菌是安全的；
- 可以轻松地通过简易的管道和其它部分进行连接；
- 可以放入到系统中并与其它组件组合。

#### 形状

基质床的标准形状是长方形，宽大约是1米，长在1-3米之间。也可使用或建造更大的基质床，但是需要更多的支撑（比如水泥墩）来支撑其重量。除此之外，很长的基质床中会导致固体废物的分布出现不均匀，在进水口的地方固体废物有可能聚集并形成缺氧点的风险。基质床也不应太宽，要能保证养殖户或操作者能够够到对面，至少应该要能够够到中间一半的位置。

#### 深度

基质生长床的深度是很重要的，因为这决定了系统中植物根部的生长空间，也决定了种植蔬菜的品种。如果种植大型果实类蔬菜，例如番茄、秋葵或是卷心菜，基质床的深度应有30厘米，如果达不到这个深度，这些大型果实类蔬菜就不能拥有充足的根部生长空间，这样就会发



图4.52  
用于基质床栽培单元的玻璃钢水槽



生植物根部纠缠交错和营养缺乏，甚至有可能倒伏（图4.52）。小的绿叶蔬菜仅需要基质床深度为15-20厘米，使得在基质床尺寸有限的情况下，种植该类蔬菜是一个好的选择。尽管如此，一些实验也证明只要营养物浓度足够充分，较大的植物可以在浅床中生长。

### 4.3.3 基质的选择

所有适用的栽培基质都满足几个共同的和基本的标准。基质在保证水和空气可渗透的同时还需要有充足的表面积，这样可以保证细菌生长、水体流动

和植物根部呼吸。选用的基质还应该是惰性的、不掉渣的、无毒的和中性酸碱度的，这样就不会影响水质。在将基质放入栽培床之前，把基质进行全面彻底的清洗是很重要的，尤其是那些含有大量的灰尘和微小颗粒物的火山砾石，这些颗粒物会阻塞系统，而且还有可能会伤害鱼鳃。最后，很重要的一点要确保所使用材料能够被农户接受。基本条件罗列如下：

- 有可供细菌生长的较大表面积；
- 中性的PH值和惰性的（即意味着不会渗出任何有毒物质）；
- 良好的沥水性能；
- 易于接受和使用；
- 基质内部能保证充足空间用于空气和水的流通；
- 可获得性且成本不高；
- 如果可能的话重量要轻。

几种常见且符合条件的介质介绍如下：

#### 火山砾石（凝灰岩）

火山砾石是基质床系统中最常见使用的介质，在可获得的地区推荐使用（图4.53）。火山砾石具有三个最好的特性，分别是有非常高的表面积和体积比率、成本低廉且获取方便、而且几乎是化学惰性的。依颗粒的大小，火山砾石的表面积和体积的比率大约是300平方米/立方米，这为细菌群落提供了充足的空间。火山砾石在世界许多地方都有广泛分布。一旦清洗掉灰尘和泥土，火山砾石就几乎是完全惰性的。在新建系统最初的几个月中，可能会有一些微量元素比如铁和镁的微量释放，以及有磷酸盐和钾的吸收。推荐使用的火山砾石的大小是直径8-20毫米。较小的火山石有可能出现固体废物阻塞，而较大的砾石又不能提供满足植物生长所需的充足的表面积。

图4.53  
火山砾石用作植物生长的介质



### 石灰石

石灰石不是推荐的栽培基质，尽管石灰石也是常见的栽培基（图4.54）。作为一种沉积岩，石灰石由于它的表面积与体积的比率较低，质量重并且非惰性，因此与其它介质相比并不突出。石灰石主要成份是碳酸钙（ $\text{CaCO}_3$ ），碳酸钙遇水能溶解，也会影响水质。石灰岩能增加水的碳酸盐硬度，提高水的pH值（见3.3部分）。石灰石适合在水的碱性度较低或酸性的地区，因为在这种情况下，为保证碱性水质，需要对进水中的酸性进行中和。不过，加入少量的石灰石可以平衡硝化细菌的酸化作用，而且还能补偿和缓解水质缓冲系统对水的调控要求。在石灰石基质床上种植和收获时可能会产生不舒服，而且，如果选用的石灰石粒度不合适的话还可能产生管道堵塞。然而，它却是可供选择的最便宜和最常见的砾石。如果没有其它的基质可选，那么石灰石便是唯一可以接受介质，但是一定要注意它对水质的影响。



### 轻质膨化粘土粒料

轻质膨化粘土粒料（LECA）由膨化后的粘土砾石制成（图4.55）。本来，它是制作为修建屋顶时的隔热材料，但是最近它也更多地被用于水耕系统中。这些粒料通常是圆形的，与其它基质相比非常的轻，而且它们使用起来非常方便，是屋顶鱼菜共生系统的理想材料。轻质膨化粘土粒料（LECA）的表面积比率大约是250-300平方米/立方米，这个是理想的指标范围。但是，轻质膨化粘土粒料（LECA）相对来说比较昂贵并且在全球范围内不是很普及。它们的大小尺寸多种多样，对于鱼菜共生系统而言，推荐使用直径为8-20毫米的较大粒料。假如该基质栽培床安置在屋顶层（视具体设计），这种材料能够为养殖户提供额外的益处，即能够给整栋建筑提供一层保湿材料，从而可以有效降低房屋的空调制冷或供暖成本。



### 其它可选基质

如果上述基质都无法获取，有可能要使用其它的基质。可选材料有：河床砾石，它通常也是石灰石但是其表面积与体积比率会较低，取决于形状和结构；浮石（也叫岩棉），一种白色/灰色的火山岩材料，在水耕系统中常被用作栽培基质；回收塑料，尽管塑料是漂浮的，需放入一层砾石使其没入水中；或者是一些有机基质，例如，椰子纤维、锯屑、泥煤苔或者是稻壳，这些通常成本不高但是有风险，比如，随着时间长了会出现缺氧、腐烂变质和阻塞系统的风险。尽管

表4.1  
不同生长基质的特点

基质类型	表面积 (平方米/ 立方米)	pH	成本	重量	寿命	保水性	植物支持 效果	使用难度
火山砾石 (凝灰岩)	300-400	中性	中等	中等	长	中-差	优良	中等
火山砾石 (浮石)	200-300	中性	中高	轻	长	中等	中-差	简单
石灰石砾石	150-200	碱性	低	重	长	差	优良	困难
膨化粘土 (LECA)	250-300	中性	高	轻	长	中-差	中等	简单
塑料瓶盖	50-100	惰性	低	轻	长	差	差	简单
椰子纤维	200-400 (可变)	中性	中低	轻	短	高	中等	简单

如此，在鱼菜共生系统中，可以合理使用有机基质，一旦这些有机基质开始变质，就要对系统进行基质更换，堆肥发酵后用作土栽植物有价值的补充肥料。表4.1总结了上述所有生长基质的主要特征。

#### 基质所引起的水位变化

根据基质种类，基质材料约占基质床总容量的30-60%之间。该百分比有助于确定每一个单元中存水池的大小，因为存水池应能够容纳基质床中的全部水量。存水池的大小应略微超出一些，以确保水泵始终有足够的水量，永不发生无水空转的情况。

例如，对于一个1000升的基质栽培床（尺寸：2米长X2米宽X 0.25米高），栽培基质的排水空间是300-600升，因此基质床内的总水量就是400-700升。推荐使用的存水池的容量应该至少是基质栽培床总容量的70%。就这个例子而言，存水池的容量大约应该是700升。

#### 4.3.4 过滤

基质栽培床可充当非常有效的机械和生物过滤器。与营养液膜技术（NFT）和深水栽培（DWC）系统不同，基质栽培床技术利用的是过滤器与植物生长区的组合。此外，基质栽培床还提供发生矿化作用的场所，而这是营养液膜技术（NFT）和深水栽培（DWC）系统中所没有的。然而，在高密度养殖时（>15千克/每立方米），机械过滤会超负荷，面临基质阻塞和产生危险的缺氧区域的风险。

##### 机械过滤器

基质填充栽培床可以起到一个大型物理过滤器的作用，收集和容纳固体废物、漂浮的鱼类粪便以及其它的漂浮有机废物。这种过滤器的效果主要是依赖于基质中颗粒的大小，因为颗粒的尺寸越小，堆集的密度越高，收集和过滤的固体废物越多。而且，较高的水流速度也会促使颗粒物快速通过基质床而不经过滤器。经过一段时间后，聚集到的固体废物会被分解和矿化。一个合理的达到平衡的系统应能够处理所有流入的固体废弃物。

当基质床的大小与放养密度不匹配的时候，基质床就会被固体废物阻塞。这表明在最初设计的时存在不足，只是使用投喂率来考虑整



个系统的平衡输入水平。这种情况会导致栽培床被固体废弃物阻塞、水循环不良、厌氧区和危险环境。一旦发生此种状况，需要清洗基质床，这也是一个劳动密集型的、中断植物生长周期和短时破坏硝化细菌活动的过程。

为了避免这种情况，要确保最初的设计要考虑放养密度、投喂方式和使用的投喂率来计算所需基质生长床的面积。或者，推荐再附加一个固体废物过滤器到系统设计中来，在放养密度超过15千克/每立方米和/或当每平方米栽培床的投喂率大于50克/每天时。对于附加的机械过滤器也有多种选择。一个最简单和最廉价的方法就是在鱼缸的水流进基质床的水龙头上套上一只旧袜子。这种简单的过滤器每天都可以拆下来进行清洗。另外一种稍为复杂的方法就是在基质床内放置一个3-5升的水桶，在水桶的外表面上钻一些小洞（6-8毫米）（图4.31）。水桶内放满装有海绵、尼龙网甚至是栽培基质（火山砾石、轻质膨胀粘土粒料）的多孔惰性袋子，这个过滤器能够拦截固体废物，只需要定期的清洗和更换滤料就行。

### 生物过滤

这里所述的所有栽培基质都具备有利于硝化细菌群落生长的较大表面积。在所有的鱼菜共生系统设计中，基质床有最好的生物过滤效果，因为有巨大的面积让细菌生长。如果基质床缺氧、温度下降或者是水质变差，生物过滤的能力就会受到限制或者下降，但是总的来说基质床有着充足的生物过滤能力。

### 矿化作用

过段时间，固体废弃物和悬浮的鱼类粪便以及其它杂物都会慢慢被生物和物理过程分解成以简单分子和离子形式存在的且易于被植物吸收的营养物质。如果在基质床上有污泥积聚并且不会消失，意味着矿化过程不够充分。在这种情况下，建议使用更加有效的物理过滤装置并对过滤后的残留废弃物单独处理。在4.2.2部分和第5章有对该过程的详细描述。

## 4.3.5 基质生长床的三个区域——特性和过程

潮汐式基质床的特点是创造了三个独立的微生态系统区域，可以根据水和氧气容量的不同进行区分。每个区域中都有多种群的细菌、真菌、微生物、蠕虫、昆虫和甲壳类动物。其中最重要的一点是用作生物过滤器的硝化细菌，但是还有很多其它的生物品种在分解鱼类废物过程中也发挥了作用。没有必要了解所有的生物品种，这个部分会简要地介绍三个区域的异同以及每个区域中发生的生态过程。

### 干区

栽培床上层的2-5厘米的地方是干燥区（图4.56）。该区域发挥挡光板功能，可以防止阳光直射水面而导致的藻类生长。同时也可以阻止导致的根茎部腐烂和其它的植物疾病的真菌和有害细菌的滋长。保持干燥区的另一个理由是通过覆盖来阻止阳光的直射进而减少栽培床的水分蒸发量。此外，有益细菌对阳光直射也很敏感。

图4.56  
处于排水期基质栽培床的三个区域

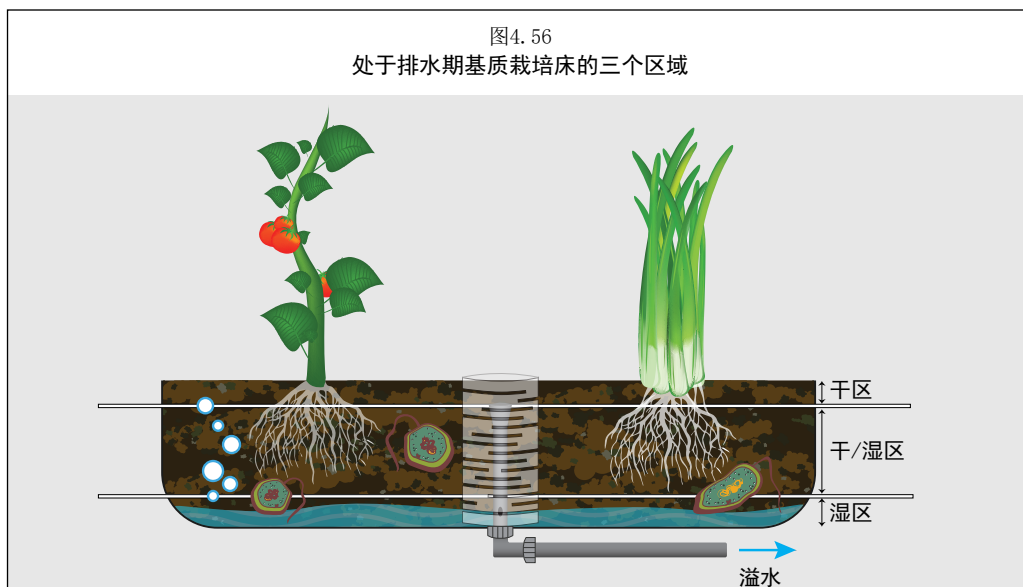
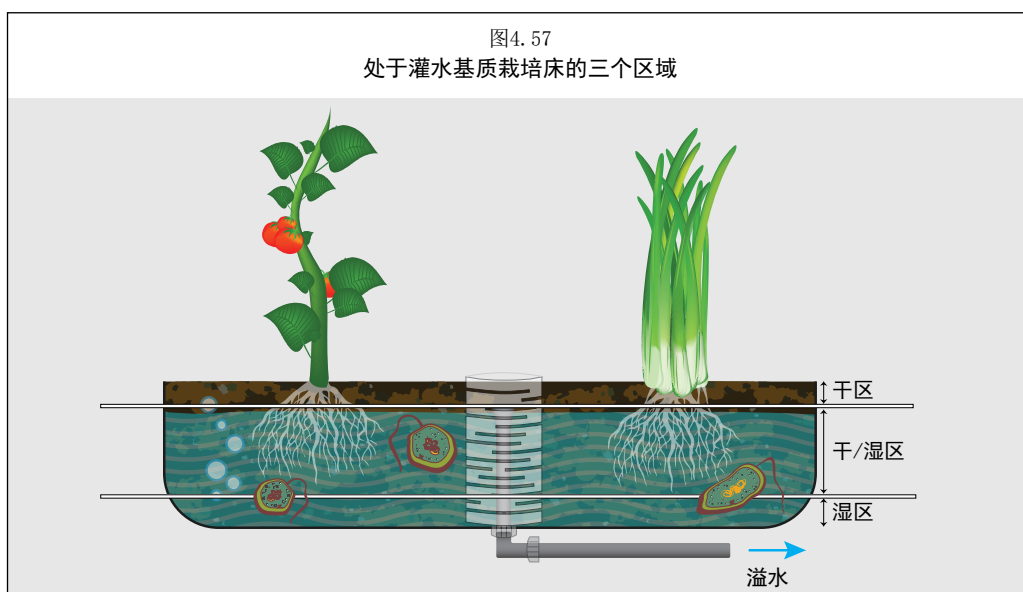


图4.57  
处于灌水基质栽培床的三个区域



### 干/湿区

这是一个既有水分又有充足气体交换的区域。在潮汐式技术（在下面讨论）中，该区域是基质床中潮汐带10-20厘米的区域（图4.57）。如果不使用潮汐式技术，该区域就是水流经基质的通道。大多数的生物活动都在这个区域发生。根部的生长、有益细菌群落和有益微生物都在这个区域表现活跃。由于这里是空气和水交互的界面，所以植物和动物在这里吸收水分、营养和氧气。

一个最常见的技术是在基质床中加入蠕虫，蠕虫就生活在这个干/湿区中。这些蠕虫有助于分解鱼类粪便，而且摄食腐烂的叶子或根须。这个技术可以防止废物阻塞系统。参考9.1.1部分，有更多关于蠕虫和蚯蚓粪的信息。

### 湿区

该区域是位于基质床底部的3-5厘米长期保持潮湿的地方。在该区域小颗粒固体废物会不断累积，因此，在矿化作用中最活跃的生物都位于这里。包括异养菌和其它的微生物。这些生物负责把废物分解成更小的通过矿化过程后被植物吸收的颗粒和分子。

### 4.3.6 灌溉型基质床

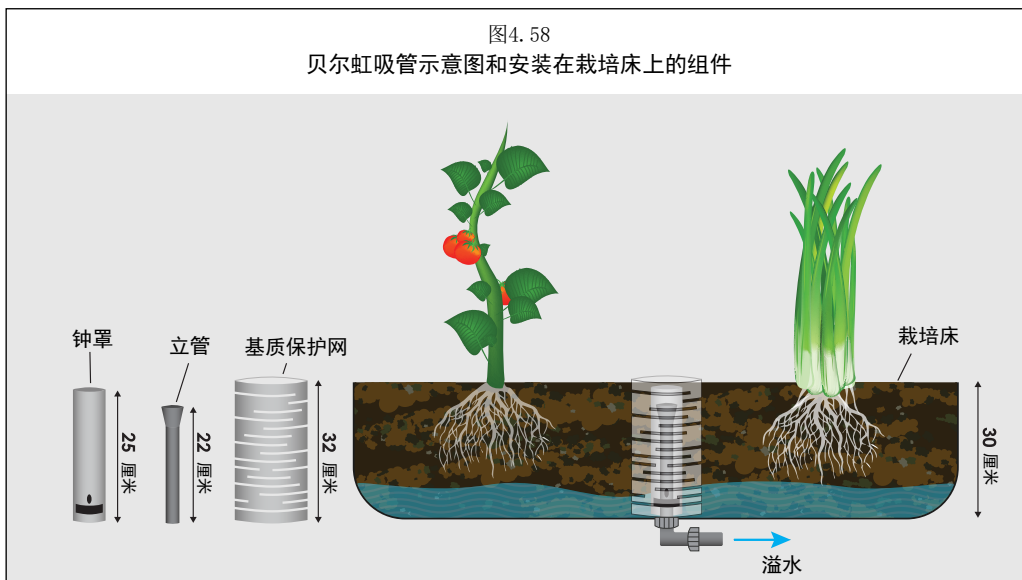
有许多不同的技术可能把水运送到基质栽培床中，每一种技术都取决于当地材料的可获得性、技术采用水平和操作者的经验。水可以简单的打洞的管道中慢慢均匀地流到基质中，这是一个完全可以被接受的设计。一些专家已经证明了持续流水设计，与更为复杂的方法一样，能够保持栽培床中的水位是一样的，保证植物的生长速度也是一样的。这种水流配置系统会被鱼类粪便阻塞，需要定期清洗。

另一种叫做注排式方法，也被称作是潮汐式，一种把养鱼缸中的水注入到基质床中，然后把水排到存水池的管道进排水系统。该过程通过自动虹吸或者定时水泵来完成。注水和排干的更迭确保了植物根部有新鲜的营养和充分的空气流动。因此，也就补充了植物和细菌所需的氧气水平。同时也确保了基质床中有充足的水分，以便细菌在最佳条件下进行生活。一般情况下，该系统每小时需完成1-2次完整循环，但是也有一些成功的系统每天仅需完成3-4次的循环。注排式设计并不是基质床唯一的技术，而且，对于操作新手来说，水流循环管理有可能是很麻烦和耗时间的。

本出版物简单讨论了两种比较常见的用于基质床的注排式方法。当然还有其他方法，就像已经使用并还在研究的环形虹吸技术。

#### 贝尔虹吸

贝尔虹吸是一种自动虹吸系统，利用流体动力学原理实现基质床在不使用定时器的情况下自动和定期完成注水和排干（图4.58）。该虹吸的启动、间隔时长和成功完成是依赖于恒定的流入基质床水流的速度。然而，贝尔虹吸是非常讲究和需要用心照料的。



#### 水流动力学

水以恒定的速度流入每一个栽培床。当水流注满栽培床时，并达到排水立管的顶端后，接着通过立管排向存水池。如果没有贝尔虹吸的钟罩部分，就会出现恒定的高水位。不同的是，当水不断地从立管中流出的时候，在立管顶部的钟罩就像是一个帽子，发挥气密锁作用，进而产生虹吸效应。钟罩内部的吸力引发虹吸，一旦开始，来自

基质床中的所有的水都会从立管中快速灌流而下，而钟状物充当了气密阀。通过立管向下排泄的水流要比从养鱼缸持续不断流入的水的速度快。当栽培床的水排到底部时，空气就会进入钟状物底部并迅速停止了虹吸。接着水流又会慢慢地流入直到注满，持续不断地重复整个循环。参阅本书最后的延伸阅读部分有关于贝尔虹吸的更多信息。

#### 贝尔虹吸的主要组成部件

接下来介绍贝尔虹吸的三个主要组成部件。请注意，关于贝尔虹吸系统的知识、建造和最优化的详细说明，以及这些组成部件的图片都可以在附录8中找到。立管、钟罩和保护网的尺寸大小完全取决于基质床的尺寸和流入的水流速度。本书列出的组成部件尺寸适用于鱼菜共生系统规模为基质床面积约1-3平方米、基质床高度为30厘米和每一栽培床水流速度为200-500升/每小时。对于更大型的栽培床来说，所有这些组成部件的尺寸也应更大。

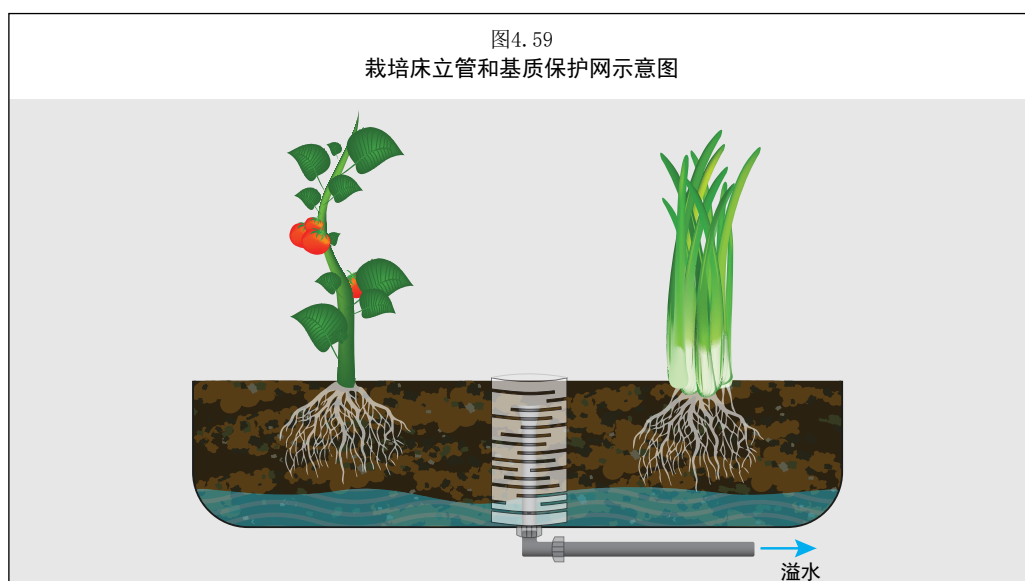
**立管**—立管通常是由PVC管制成，直径2.5厘米，高度22厘米。立管会穿过基质床的底部与存水池相通，也是水流排出时的路径。

**钟罩**—钟罩使用PVC管，直径7.5厘米，高度25厘米。管道一端有PVC的盖子，底部开放并与立管相适应；底部有两个长方形缺口，约1厘米X4厘米位于钟罩底部附近，一边比对面一边高1.5厘米，水通过此处进入钟罩内的立管。在底部约5厘米高处钻一个1厘米的小洞，它的作用是当栽培床已经排干且空气进入时能够停止虹吸。

**基质网管**—基质网管也是一段PVC管，直径11厘米，高度32厘米，管道边壁上钻有许多的小孔。基质网主要是防止基质床的砾石进入和阻塞立管，保证不会对水流造成阻碍。

#### 定时装置

注排式灌溉方法要依赖水泵上的定时开关来定期注水和排干活动（图4.59）。这种方法的好处是没有自动虹吸，因此可以通过人力来进行调控。然而，减少了鱼缸中水循环和充气也会导致整体过滤效果下降。这种方法在高密度养殖情况下是不适用的，而且需要考虑为鱼类提供补充性的充氧。



### 水流动力学

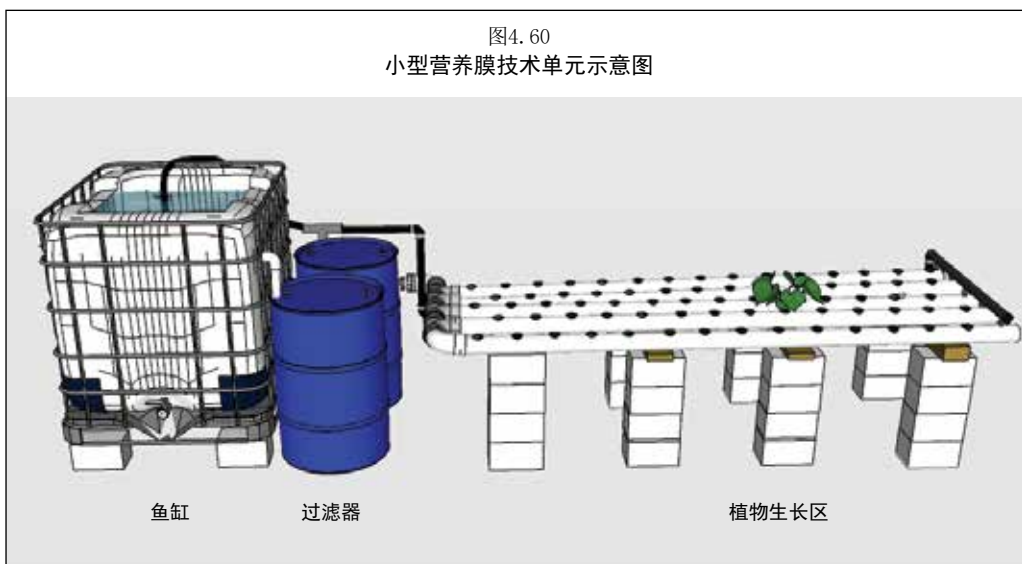
水流入栽培床，给栽培床注水直到立管的最顶端。随后水流通过立管向下排入存水池。大型立管的直径要足够大并确保把所有流入的水及时全部排出，大型立管的顶端就是栽培床所能承受的最高水位。还有一个小的进水口，直径约6-12毫米，位于底部，排水也是通过同一立管完成。该小型进水口不足以把所有流入的水全部排出，因此，即使水不停地进入该管中，栽培床中仍会持续注水直到达到最顶点。当栽培床充满水并达到最高点时，定时开关会切断水泵的电源。基质床中的水开始通过这个小型水孔流出，一直持续到栽培床中的水位降到底部出水口的水位。降至该点时，水泵重新供电栽培床会再次补充来自养鱼缸中的新鲜水。很重要的一点，流入基质床的水流要大于流入立管小型水孔中的水流，以便基质床再一次完全注满水。流入和流出的循环时长和滴水孔的直径由基质床的尺寸和流入的水流速度决定。

为保证充足的过滤过程，整个鱼缸的水量应该每小时通过一次栽培床循环一次。最后，要确保每周一次通过暂时的移走立管和排干剩水来冲洗生长床。

本书介绍的鱼菜共生系统使用的定时方法涉及材料如下：一根立管，直径2.5厘米，高度23厘米，钻有直径约6-12毫米孔，位于立管底部2.5厘米处；基质网管，直径11厘米，高度32厘米，环绕在立管外侧防止基质阻塞立管；和一个可以控制水泵的定时器，水泵的调控取决于水泵的水流速度和立管的水流速度。

### 4.4 营养膜技术（NFT）

营养膜技术是一种水耕栽培法，营养液在水平的浅流栽培槽里流动（如图4.60），植株放置于栽培槽上方的孔内，其植物根系通过薄膜吸收营养液。营养膜技术和深水栽培技术是商业运作中比较常见的方法，当扩大规模时，这两种方法比基质栽培在经济效益上更具可行性（图4.61）。这种技术的（营养液膜技术）蒸发量很少，因为营养液完全见不到太阳光。但是这种技术要比基质栽培法更复杂、费用更高，在一些





没有足够材料供应商的地方并不适用。这种方法在利用垂直空间或者有重量限制的城市区域中非常有用。

尽管所有的方法都有不同植物种植方法，营养膜技术和深水栽培技术与基质栽培技术相比最主要的不同就在于过滤方法的不同。随后的内容将详细描述营养膜技术单元和深水栽培技术系统的过滤方法。然后再分别讨论营养膜技术和深水栽培技术。本节的总体布局以水流动力学开始，或者水如何在系统中循环。然后讨论过滤方法，最后是营养膜技术的具体种植指导。

#### 4.4.1 水流动力

水流在重力作用下从鱼缸通过机械过滤器后进入生物滤池/存水综合池。然后从存水池中抽出的水通过“Y”型连接器和阀门将水分为两个方向，一部分水直接抽回鱼缸，其余的水通过一个支管均匀的分流到营养膜栽培槽中。水流在重力的作用下再次流经种有植物的栽培管，水流出栽培管后流经过滤池，然后再通过水泵抽到鱼缸或者栽培管槽。水进入鱼缸后达到鱼箱内溢出水位后通过排出管又回到过滤池，这样就完成了整个一个水循环。

这种设计正如本书所描述的，由于其水流的路径而被称为“8字型”设计。这种设计确保过滤后的水仅使用一个水泵就可以同时进入鱼缸和栽培管。这种设计不用把存水池的位置设计得比系统里的其他设备都低，这就使得该设计可在现有混凝土地面或屋顶上使用。这种系统设计可使农民有一个舒服的工作高度，不需要弯腰或使用梯子。此外，该设计能充分利用中等集装箱（IBC）容器的大小并确保鱼有充足的生活空间。该设计的一个缺点是存水池和过滤池综合在一起而稀释了流向栽培管中水的养分浓度，同时，流回鱼缸的水也已经完全失去了营养。然而，少量稀释是可以通过控制存水池/过滤池的双向水流进行调控的。总的来说，根据其对系统带得好处相比，它对系统生产效率几乎没有影响。一般情况下，80%的水经水泵回流到鱼缸，其余的20%流入栽培床或管道，这些都可以通过阀门来实现控制。

#### 4.4.2 机械过滤和生物过滤

专用的过滤装备在营养膜栽培系统和深水栽培系统中都是极其重要的部分。然而在基质栽培方法中，基质可以作为机械和生物过滤器使用。但营养膜技术和深水栽培并不具有这种优势，因此，这两种技术中的过滤器是需要谨慎设计和建造的：首先需要能处理固体废物的物理过滤器，然后是一个用于硝化作用的生物过滤器。正如在4.3中提到的，有多种机械过滤器的类型，并且在营养膜技术和深水栽培那里均指出其重要性。附录8中描述使用机械式旋涡过滤器来捕获，然后定期排放出微粒废物的设计。在旋涡式过滤器的出口，水穿过附加的滤

网过滤掉余下的固体废物，再流入到生物滤池。生物滤器内有气石充氧并包含有生物过滤介质，通常是一些生物球、尼龙网或瓶盖，这些地方正是硝化细菌转化可溶解废物的地方。一旦过滤不足，营养膜系统（NFT）和深水栽培系统（DWC）就都会出现堵塞问题，使得植物和鱼出现缺氧和生长不良现象。

#### 4.4.3 营养膜技术中的栽培管、建造和种植

继续上述过滤方法，营养膜技术（NFT）是使用鱼菜共生的水在水平安置的塑料管中来种植蔬菜（图4.62）。在可能的情况下，作物种植是使用宽度大于高度的标准矩形截面管道。原因在于，较大面积的营养液膜可以使植物根部全方位的吸收营养，利于植物生长。其中营养膜技术（NFT）的优势之一是管道的安装可以有多种方式，甚至在本书中提及的范围之外，并且可以充分利用垂直空间、墙壁和篱笆或者悬挂于阳台（图4.63）。

水从过滤池泵出来，流到每个水培管道中，使鱼菜共生的水在管道底部形成一个平稳而流动又营养丰富的浅流层。栽培管道顶部有许多开孔是用来放置种植蔬菜的。当植物开始从底部的浅流中吸收营养丰富的水时，开始在栽培管中形成根系。同时，它们的茎和叶在管道开孔周围长出。每根管子底部的浅水膜，保证了根系在根部区域获得大量的氧气、水分和营养。保持管底浅流层使根系有较大的空气交换面。每个栽培管里的水流速度应不大于1-2升/分钟，水流速通过Y型阀控制，所有多余的水都将流回到鱼缸中。

##### 栽培管道形状和尺寸

为种植品种选择一个最佳直径的管子是很重要的。方形截面的管道是最好，但圆管更为常见，得到普遍采用。对于较大型的果实型蔬菜，需要直径为11厘米栽培管，而对于生长快速的绿叶小型蔬菜和根系较小的蔬菜，直径为7.5厘米的管道就够了。对于小规模蔬菜混种（种植多品种蔬菜）应该采用直径11厘米的栽培管（图4.64），这样减少了植物品种选择的限制，因为小型植物可以在较大的管道里生长，虽然会牺牲种植密度。具有大型根系的植物，包括已经成熟的植物老根会堵塞小管道，造成水流溢出管道和损失。要特别注意西红柿和薄荷，因为其发达的根系很容易造成甚至大管道堵塞。



图4.64  
几根显示孔间距的栽培管



栽培管道的长度可以在1-12米之间。超过12米的管道，管道末端的植物会出现营养缺乏的现象，因为前端的植物已吸取了大部分营养。需要使管道保持有一个1厘米/米的倾斜度，确保水在整个管道的水流通畅。倾斜设计可以在近鱼缸一端的管道下垫片（木楔）来实现。

建议使用PVC管道，因为它最普遍容易获得且廉价。白色管道可用来反射太阳光，从而保持管道内部温度凉爽。或者推荐使用10厘米宽\*7厘米高的正方形或矩形的水耕管道。商业种植使用的专业水耕管道通常都是这种形状，还有一些种植者使用乙烯栅栏式柱状物。

#### 栽培管中的作物栽植

水耕管道上打的孔直径应为7-9厘米，与使用网杯的尺寸相匹配。在每两个种植孔中心之间的距离至少为21厘米，以确保多叶绿色植物和大型蔬菜有充足的生长空间（图4.65和图4.66）。

每棵幼苗放入一个塑料网杯中，然后依次植入栽培管中。这为植物生长提供了一个物理支撑。网杯中的幼苗周围用通用的水耕介质填充（火山砾石、石棉或陶粒）。如果需要的话，网杯中放置一个长5-10厘米，直径5厘米的PVC小管以进一步平衡和支撑植株。附录8中有详细的种植指南。

如果塑料网杯没有供应或者价格太贵，那么也可以使用常规的塑料饮料杯。根据之前章节中列出的种植过程，我们需要在塑料杯上钻

图4.65  
植物支撑材料，展示栽培基质和网杯



许多孔以便植物根系尽可能的进入栽培管。一些种植者使用可变形的、开孔泡沫作为管道内植物的生长支撑也取得成功。如果上述材料都无法获得的，那么也可以将幼苗直接移栽到管道中，尤其适合矩形的管道（图4.67）。幼苗也可以与秧苗培养基一起移植，培养基可被水冲洗掉并进入系统，或者是把植物根系先小心冲洗干净，但这样就增加了秧苗移栽进入系统的应激。无论如何，大家更偏向于使用填充有栽培介质的塑料网杯。

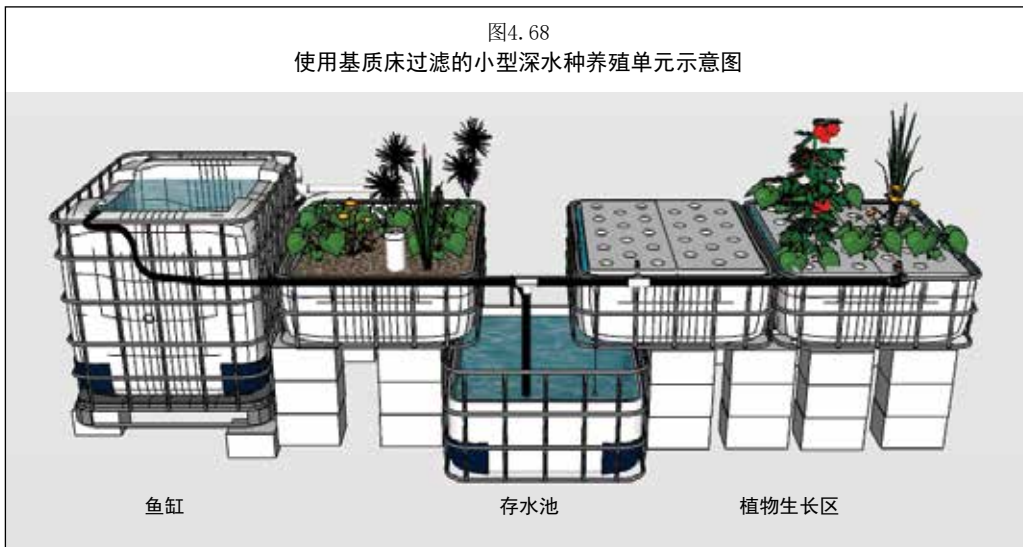


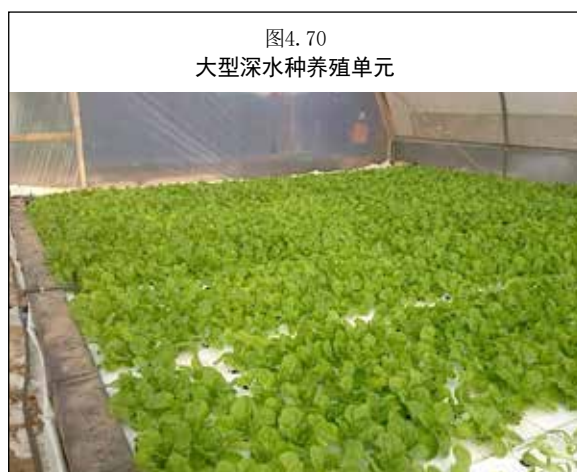
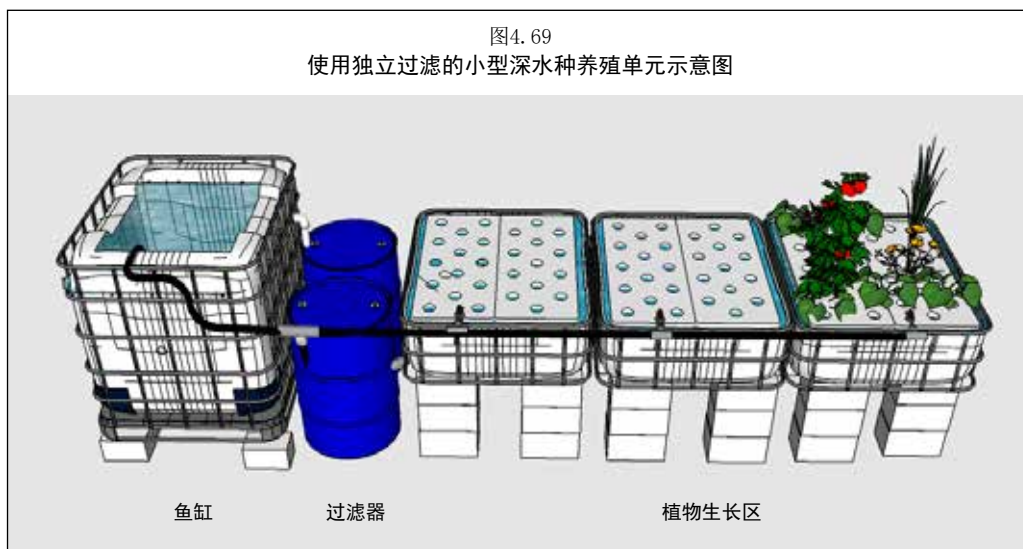


当把幼苗植入管道时，要确保植株根部能够接触到管底的营养水流，这样可以避免幼苗脱水。或者可以选择加吸水芯一起放入水流中。另外，良好的做法是在把幼苗移植到系统单元前先用鱼菜共生系统的水浇灌一个星期，这样有助于缓解幼苗移植后对新水质的不适。

#### 4.5 深水栽培技术

深水栽培技术是蔬菜悬浮在聚苯乙烯泡沫板上，作物根系部下垂在水中的种植方式(图4.68和图4.69)。该方法是大型商业化鱼菜共生种植特定品种最普遍方法(通常是生菜、沙拉叶或者紫苏，图4.70)，并更适用于机械化操作。在小规模的鱼菜共生系统中，该技术比基质栽培更复杂，并且可能在某些地方不适用，尤其是所需材料不能满足的地方。





#### 4.5.1 水流动力学

深水栽培技术中的水流动力与营养膜技术中的几乎完全相同。鱼缸里的水通过重力作用流出，通过机械过滤器后流入生物过滤/存水综合池，然后水从存水池中流出，泵入一个“Y”型的连接器和阀门分流到两个方向，一部分水直接泵回鱼缸，另一部分的水被泵进管道均匀分流到栽培管槽中。在重力作用下，水流通过种植植物的栽培槽从另一端流出。从栽培管道流出的水再重新返回生物过滤/存水综合池，然后被再次

泵回到鱼缸或者栽培管道中。进入鱼缸的水通过溢流装置进入机械过滤器，从而完成了整个一个水循环。

这种“8字型”形象地描述了深水栽培法中水流的路径。与营养液膜技术相比，水流在被泵回鱼缸和植物栽培槽之前，先经过了机械过滤器和生物过滤器。这种水循环路径存在一个不足，就是存水/生物过滤综合池把部分来自栽培槽的废水直接回流给了栽培槽的植物。另外，不像营养膜技术中在管道底部流动的浅流水营养会被植物根部很快消耗，深水栽培法的栽培渠道有大量的水富含营养供浮筏里的植物吸收。这种植物养分供给能力也要在不同的系统设计中体现。深水栽培法的栽培渠道可以进行阶梯分布，使用一个简单的类似“串联”的结构，只用一个进口一个出口直接到达最远的水槽，即一个栽培槽的出水口依次连着下一栽培槽的进水口，需要增加水流量才能保证植物根系获得充分的营养。

在图4.68所示的深水栽培系统中，水从生物过滤器中被水泵抽入有安装有聚苯乙烯泡沫植物栽培浮筏的栽培槽中，流入每个栽培槽的水流速度是相对较低的。一般地，水在每个栽培槽有1-4个小时的滞留时间。滞留时间是一个类似于周转率的概念，是指新流入的水取代容器中所有原来水所需要的时间。例如，如果一个栽培槽的容量为600升，进入该容器的水流速度为300升/小时，那么滞留时间就是2小时(600升÷300升/小时)。

### 4.5.2 机械过滤和生物过滤

在深水栽培系统中的机械过滤和生物过滤与4.2.2节中营养膜技术中描述过的是一样的。

### 4.5.3 深水栽培的栽培槽、建造和作物种植

栽培槽的长度可长短不一，从一米到几十米(如图4.71)。在一般情况下，栽培槽的长度并不是构一个问题，就像在营养膜法技术(NFT)中看到的，水体越大营养供给越充足。保持较长的栽培槽中具有合适的营养的方法是要有充足的水流，以及充足的增氧条件，保证充足的营养物质和植物根系的呼吸作用。就栽培槽宽度而言，一般建议是一块聚苯乙烯浮床的标准宽度，但也可以是好几个浮床的宽度。然而，狭长的栽培槽中其水流速度更快，从而让植物根部有大水流通过提供营养。栽培槽宽度的选择还应考虑到操作者的可操作性。栽培槽的深度建议为30厘米，给植物根系留出足够的生长空间。像鱼缸一样，栽培槽可以用任何能储水的坚硬的惰性材料制造。对于小规模的系统而言，比较流行的材料包括用塑料或玻璃纤维改装的中型集装箱(IBC)。更大型的栽培槽可以用覆有食品级防水膜的木质框架或混凝土块修建而成。如果使用混凝土块修建，需要确保粘结剂是无毒、防水密封的，避免潜在的有毒矿物质析出进入系统水中。

就像之前提到的，无论栽培槽的大小，水的滞留时间都是1-4小时。这是考虑到每一栽培槽都要有充足的营养补给，而且在深水栽培槽中，水的容量和营养物质的数量能够保证足够滋养植物较长一段时间，较快的水流速度和湍流明显更有利于植物的生长，因为植物根系可以接触到更多元素离子；而缓慢流动和几乎停滞的水是不利于植物生长的。

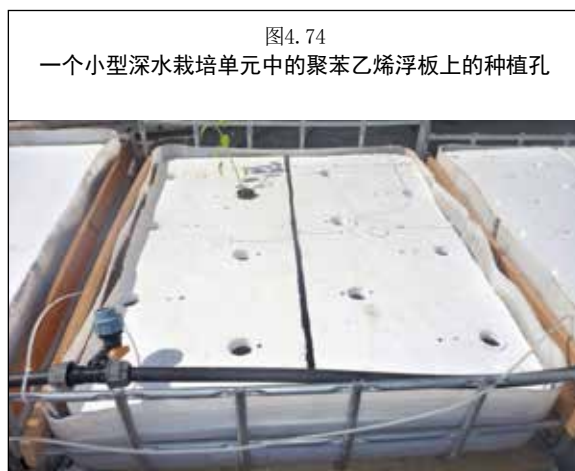
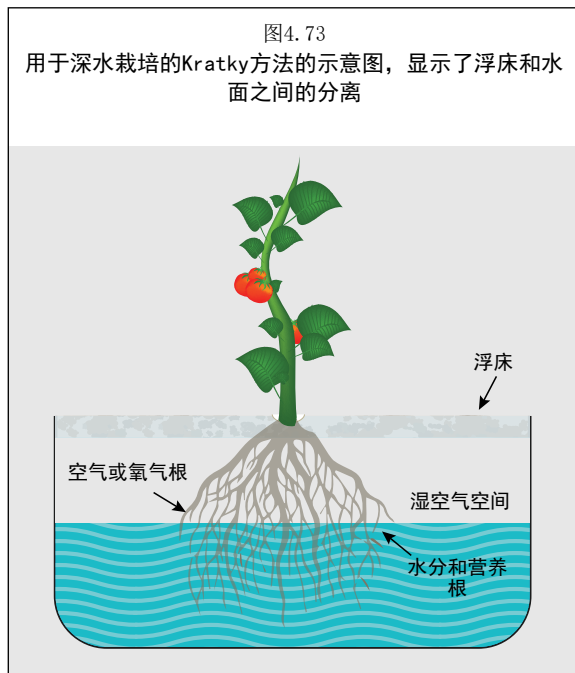
在深水栽培系统中进行增氧是非常重要的。在一个密集的栽培槽中，植物对氧气的需求会导致水中的溶解氧水平快速下降且低于最低要求值。栽培槽中任何可分解固体废物的存在，都会进一步加剧这个问题，即降低溶解氧水平。因此，增氧是必需的。最简单的方法是在栽培槽中放若干小的气石(图4.72)。按每2-4平方米栽培槽安放一些气石，保证每分钟能释放约4升的空气。此外，可在入水管安装文邱里虹吸(见第4.2.5)，这样也可使水进入栽培槽时充满空气。最后，还可以在深水栽培法中使用Kratky方法(图4.73)。该方法是在栽培槽中的聚苯乙烯浮床和水体之间保留3-4厘米的空间，使得植物根系的顶部空气能循环流通。这种方法不需要在栽培槽中放置气石，因为空气中有充足的氧气提供



图4.71  
小型深水鱼菜共生种养殖单元。聚苯乙烯浮床下方可见植物的根部



图4.72  
深水养殖水槽中使用的气石



给植物根系。该方法的另一个优点是避免了植物的茎部和水体直接接触，从而减少了植株颈疾病的风险。而且，由于增加的空气流动空间有利于水体热量的发散，这对于炎热的气候非常有益的。

不要在栽培槽内放养任何会啃食植物根系的鱼类，例如像罗非鱼和鲤这样的草食性鱼类。然而，像孔雀鱼、摩利鱼或者食蚊鱼这样的小型食肉性鱼类，可以非常成功的应用于防治蚊子幼虫，蚊虫对于一些地方的劳动者和左邻右里来说非常令人讨厌。

聚苯乙烯浮床应该有一定数量的孔洞用来放置支撑每棵植物的网杯（或者海绵柱）（图4.74）。孔洞的数量以及位置需要根据蔬菜的种类以及植物所需间距来决定，小型植物的洞孔可以放置得紧凑些。附录8中有详细介绍以及关于如何钻孔的小技巧。

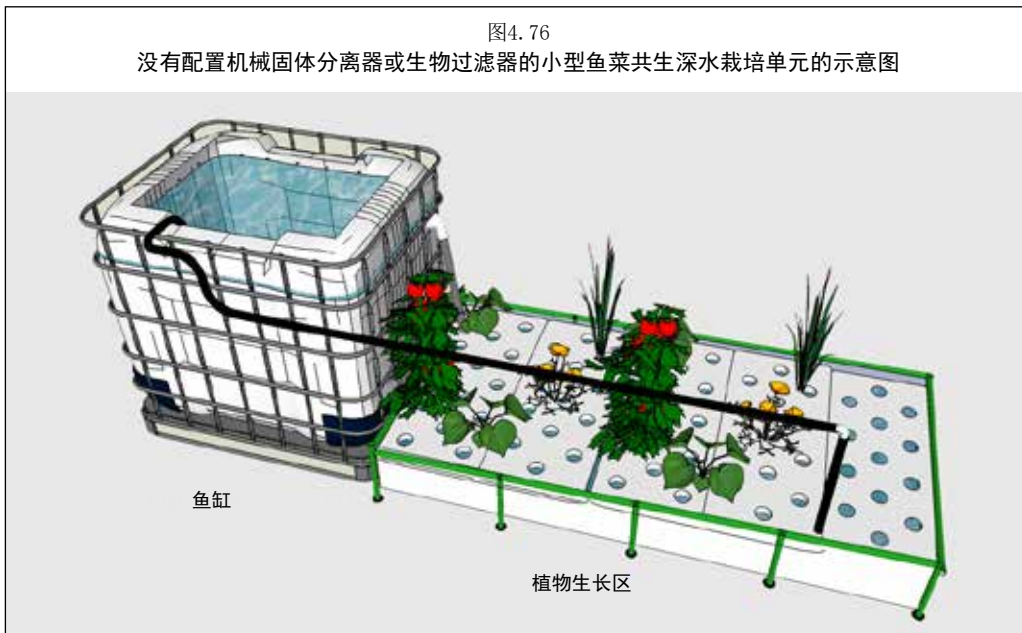
幼苗来自于专门的植物苗圃，使用土壤或者无土基质培养（见8.3部分）。当这些幼苗长得足够大并能用手操作时，就可以把它们移栽到网杯中然后种植在深水栽培系统中（图4.75）。网杯中植株周围用水培介质填充，例如火山砾石、岩棉或者陶砾，用来支撑幼苗的生长。也可以在网杯基质的上面直接放上种子。推荐使用播种法，如果蔬菜种子易于得到，因为该方式避免幼苗在移栽

过程中受到应激。在收获的时候，需要确保从栽培槽中拔出整棵植株，包括根部和已经烂掉的叶子。收获完成之后，需要清理泡沫浮床，但是不要等到干透了之后再使用，这样可以避免杀死那些浮床底部的硝化细菌。在大规模系统中使用水来清洗并清除植物残留，然后迅速放回到栽培槽中，以防止对硝化细菌造成任何的应激。



#### 4.5.4 深水栽培的特例：低养鱼密度，无过滤器

鱼菜共生中的深水栽培系统可设计成不需要配置外部过滤装置(图4.76)。这样的单元支撑非常低的养鱼密度(例如一立方米鱼缸放养1-1.5千克的鱼)，然后主要依靠植物根系和种植槽内表面积作为硝化细菌繁衍的地方。简单的筛绢可以过滤掉比较大的固体废物，栽培槽可作为细小废物的沉淀池。这种方法的优势在于可以降低初期的成本投资和资金投入。与此同时不需要对附加过滤装置和过滤材料的需求，这此可能在某些地方很难买到并且昂贵。当然，低密度放养必然导致较低鱼产量。同时，许多鱼菜共生企业的绝大部分利润来源于植物产量而不是鱼的产量。值得一提的是，这些系统只是把鱼作为肥水来源，该方式经常需要补足营养盐以确保植物的生长。如果考虑采纳这种方法，那么需要平衡考虑鱼类和作物的产量以及与此相对应的成本和收益。



#### 水流动力学

这两个设计的主要差别(高养殖密度和低养殖密度)在于低养殖密度设计既不使用外部过滤池也不需要机械或者生物过滤器。水通过重力作用从鱼缸直接流入深水栽培系统的栽培槽，期间只通过一个非常简易的筛绢。之后水回流到存水池再泵回养鱼缸或者不经存水池直接回流到养鱼缸。鱼缸和栽培槽中的水都用气泵充氧。鱼的排泄物由生长在植物根系表面和栽培槽壁上的硝化细菌和矿化细菌分解。

鱼的放养密度可以是一个连续变量，从完全不需要附加过滤器的低放养密度，一直到需要专门附加外部过滤器的高密度放养。一个实现额外矿化作用和生物过滤以及避免固体废物在栽培槽底部沉积的简单方案是，将筛绢和一个装满豌豆大小砾石或者黏土球的篮子组成的简易过滤网，放在养鱼缸出水口略高于栽培槽水面的位置。这个篮子能起到一个滴滤器作用，利用其中的介质过滤和矿化固体废物。从篮子中滴落的水因为飞溅作用而增加了氧气。除此之外，小砾石还有助于缓冲硝化作用后水质的酸化。另一种方法是鱼缸里装一个内置生物

过滤器一靠近气石附近放置一个简易内置生物过滤材质的网袋，这可以保证在不增加外部生物过滤器投入的情况下使水得到充分的生物过滤。最后，在不增加鱼的放养密度下增加总体水量，也就是用在鱼缸时只养少量的鱼，通过稀释鱼的排泄物来确保水质，使鱼少受应激，并让养殖户有充足的时间来做出反应和安排。当然这种方法会稀释有用的营养和抑制植物的生长。

较低的养鱼密度也可以意味着只需保留较低水的流速。因此使用更小的水泵，也能降低成本，但是要确保每小时至少半个鱼缸的水量能够完成更换。事实上，一些研究人员已经成功地完全去除电动水泵，而只依靠人工劳动完成每天两次的水循环。然而，这些系统还是完全依赖于充足的增氧。除了这些不同之处，有关鱼缸和深水栽培种植槽的推荐也适用于低放养密度方法。

#### 低养殖密度系统管理

与其他系统管理相比，将在第8章详细介绍，最大的不同就是更低的养殖密度。对于此类系统，建议的养殖密度是1-5千克/立方米(相对于本手册中介绍的其他系统的养殖密度是10-20千克/立方米)。之前的建议是，鱼和植物之间的平衡应遵照投喂率，这有助于计算系统中植物的栽培面积所需要的鱼饲料量。这些低密度养殖系统仍然遵循每天的投喂率是40-50克/平方米，但是应该是越往后期越低。一个有用的技巧是每天喂鱼2-3次，每次30分钟，然后清除掉鱼没吃完的饲料。过度喂养会导致排泄物在鱼缸和栽培槽中累积，这会导致形成缺氧区、生长条件恶化、疾病以及鱼和植物生长受到胁迫。特别是在没有过滤器的情况下，一定要时刻密切监测水质状况，如果检测到高氨氮和高亚硝酸盐的现象要减少喂食。

#### 低养殖密度的优势和劣势

主要的优势是系统装置简单。该系统单元构建更为简单并且初期成本更少，更低的资金投入。鱼因为在更为宽敞的环境下生长而应激较小。总之，这项技术对于初始资金较少的项目而言非常实用。该系统非常适宜养殖的高价值鱼，比如观赏鱼，或者特产作物，如中药材，可用较高的价值来补偿较低的产量。

然而，这种系统装置一个极大的缺点是不宜轻易扩大规模。在一定区域中生长的植物和鱼类是很少，所以他们的集约化程度比之前在概述中提到的其它系统更加低。如果要获得大量的粮食生产，这些系统就需要变得异常巨大。从理论上讲，附加的机械过滤和生物过滤器能使鱼菜共生系统提高一定小面积的集约化程度。

此外，鱼的生产也不能离开水耕系统而单独运行；植物必须始终生长在栽培槽里。植物根系为细菌繁殖提供了场所，没有了这些根系，生物过滤就无法为鱼提供充分的水质净化。如果必须一次性收获所有植物，比如在疾病暴发、季节变化或者重大气候事件发生的时候，减少的生物过滤会导致氨氮浓度升高和引起鱼类应激反应。另一方面，如果配置有外部机械过滤和生物过滤，那么即使没有水耕植物，作为一个标准的循环水养殖系统(RAS)，鱼类生产仍可以继续。

### 4.6 鱼菜共生技术比较

下面的表4.2总结了上述各种鱼菜共生系统的主要特点和比较。

表4.2  
主要鱼菜共生系统技术的优缺点

系统类型	优势	劣势
基质栽培单元 	简单而宽容的设计，适合初学者 可使用替代/回收的部件 支持高大的果蔬 可以种植所有种类的植物 多种灌溉技术 可以使用多种类型的培养床 使用钟形虹吸管时曝气量高 相对较低的电能消耗 固体废物被介质固定并矿化	非常重，取决于培养床的选择 培养床可能很昂贵 培养床可能买不到 比较笨重 蒸发量高于营养膜和深水栽培 属于劳动密集型的工作 排水循环需要仔细计算水量 培养床可能会在高饲养密度下堵塞 由于需要移动培养床，植物移植更加费力 如果供水不均匀，植物的长势可能因培养床而异
营养膜栽培单元 	比大规模培养床更具成本效益 是草本和绿叶蔬菜的理想选择 蒸发造成的水分损失最小 轻量化系统 安置在屋顶的最佳方法 收获方式非常简单 管道间距可以随着不同植物种类调整 已经被商业化无土栽培企业进行了充分研究 所需的水量最小 种植和收获所需的劳动力最少	过滤方法更加复杂 必须要用到水泵和气泵 不能直接播种 低水量放大了水质问题 水温的变化范围增大，对鱼类生长造成压力 进水管很容易堵塞 易受断电影响
深水栽培单元 	比大规模培养床更具成本效益 水量大更容易防止水质的突变 可以承受电力的短暂中断 蒸发造成的水分损失最小 已经被商业化无土栽培企业进行了充分研究 聚苯乙烯浮床增强了隔温效果，使水不受热量损失/增加的影响，从而更容易保持恒温 移动浮床有利于种植和收获 浮床可提供生物过滤器表面积 深水栽培的管道可以使用塑料衬里固定在几乎任何类型的墙壁上（木头、钢框架、金属型材） 适用于多种养殖密度	过滤方法更加复杂 装置非常重 管道需要高溶解氧，需要更复杂的气泵 塑料衬里必须是食品级的 聚苯乙烯浮床很容易破裂 很难养高大的植物 大的水量会增加湿度和真菌疾病的风险

### 4.7 本章总结

- 决定在哪里建造系统时主要考虑因素有：地基的稳定性；获取阳光和遮荫；抗风雨；公共设施的可用性；利用温室或遮阳结构。
- 鱼菜共生系统有三种主要类型：基质栽培法，也被称为颗粒床栽培；营养液膜技术（NFT）方法；和深水栽培法，也被称为浮筏式方法或漂浮系统。

- 所有鱼菜共生系统基本组成部分是：鱼缸、机械和生物过滤、植物栽培装置（基质床，营养膜生长管道或深水栽培种植槽），和水泵/空气泵。
- 基质栽培床必须：（1）是由强韧的惰性材料组成；（2）深度约30厘米；（3）填满含有高表面积介质；（4）提供充足的机械和生物过滤装置；（5）给不同的生物提供分开的生长区域；和（6）通过充分灌排水或其他灌溉技术，以确保良好的过滤作用。
- 在营养液膜技术和深水栽培系统中，机械过滤和生物过滤装置都能分别有效去除悬浮固体和氧化溶解性废物（氨氮转化为硝态氮）。
- 在营养液膜技术和深水栽培系统中，每一个栽培管中的水流量应该为1-2升/分钟，以确保植物良好的生长。
- 深水栽培系统（DWC）中种植槽中水的滞留时间是2-4小时。
- 高溶氧浓度是确保鱼、植物和细菌的良好生长必不可少的。在鱼缸里溶解氧的是由气石充气提供。基质栽培床有一个湿润区域和干燥区域的交互过程，也提供了可利用的大气中的氧气的场所。在营养液膜系统（NFT）中，给生物滤池充气，而在深水栽培系统（DWC）中在生物过滤器和作物栽培槽均放置有气石充气。



## 5. 鱼菜共生系统中的细菌

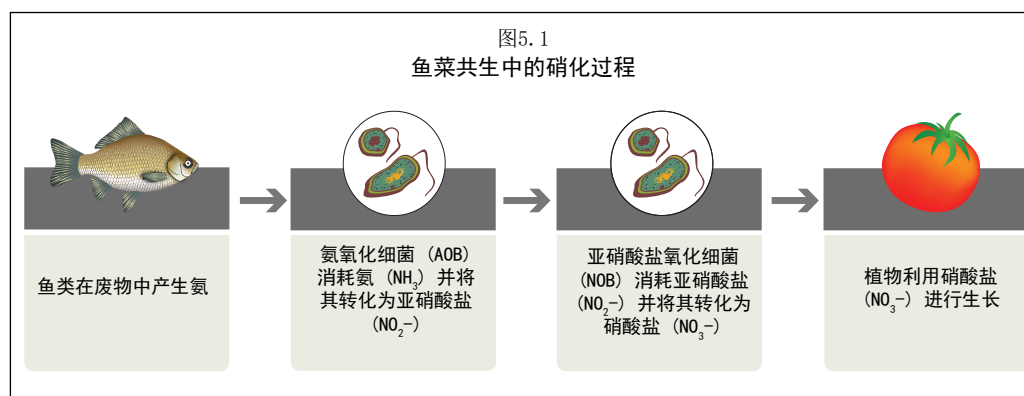
细菌是鱼菜共生系统中的一个关键部分，发挥着连接鱼类排泄物与植物肥料的桥梁作用。该生物引擎通过把有毒废物转化为植物可以吸收的营养素来去除其对系统的毒性。第二章讨论了氮循环，尤其是硝化细菌的关键作用，并且概述了维持一个健康群落的基本参数。第四章讨论了为这些细菌提供生活空间的生物过滤器材料的相关方面。本章是关于细菌的一个简单回顾，包括了重要的细菌种类的细节。全面讨论了异养细菌的活动在固体鱼类废物矿化过程中的作用。此外，还讨论了一些有害细菌，包括：反硝化细菌、硫酸盐还原细菌以及病原体。最后，讨论了一个新的鱼菜共生系统建立过程中的细菌循环时间表。

### 5.1 硝化细菌和生物过滤器

第二章讨论了在鱼菜共生系统的全过程中硝化细菌的重要作用。硝化细菌将系统中鱼类排泄物氨氮转变为硝酸盐，作为植物的养料(图 5.1)。这是一个包括两个步骤的过程，而且分别涉及到两类不同的硝化细菌。第一步氨氧化菌(AOB)将氨氮转化为亚硝酸盐，氨氧化菌属于最常见的亚硝化单胞菌属。第二步是亚硝酸氧化细菌(NO<sub>2</sub>-)将亚硝酸盐转化为硝酸盐，亚硝酸氧化细菌属于最常见的硝化菌属。这类细菌中有许多种细菌，考虑的本出版物的目的，个体差异并不重要，将此群体作为一个整体考虑则更有用。硝化作用过程的进行如下：

- 1) 氨氧化菌将氨(NH<sub>3</sub>)转化为亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-)
- 2) 亚硝酸氧化细菌将亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-)转化为硝酸盐(NO<sub>3</sub>-)

因此，对于一个运转良好的鱼菜共生系统来说，硝化作用以及一个健康的菌群是至关重要的。硝化细菌繁殖和形成菌群的速度相对较慢，需要几天甚至是几周的时间，因此，当建立一个新的鱼菜共生系统时，养殖者的耐心就成为一个最重要的管理特质。由于在细菌群落尚未完成形成之前便放养了太多的鱼，导致了许多水族馆和鱼菜共生系统的失败。另外，还有几个支持硝化细菌的关键参数。一般来说，细菌需要在大型、黑暗和水质良好的环境下利用充足食物和氧气形成



菌群。通常，硝化细菌在生物滤池内形成浅棕色或灰褐色粘滑膜质，并且伴有一种难以描述的独特气味，但气味并不特别难闻，难闻的气味往往表明存在其他微生物。

### 5.1.1 高比表面积

具有高比表面积(SSA)的生物过滤材料是硝化细菌形成大规模菌群的最佳材料。比表面积(SSA)指特定体积的基质所具有的表面积，通常是用平方米/立方米来表示。一般来说，基质颗粒越小、孔越多，细菌可用于形成菌群的表面积越大，其结果是生物过滤更有效。鱼菜共生系统中使用了很多这样的材料，要么作为生长基质，要么作为生物过滤的材料，例如火山砾石、膨化的粘土陶粒、商品化塑料生物过滤球以及植物的根系。本手册中所讨论的火山凝灰岩和生物滤球的比表面积分别为300平方米/立方米和600平方米/立方米，它们有着足够的比表面积(SSA)，以保证细菌的正常繁殖。在鱼菜共生系统中使用的不同基质更多的特点和比表面积(SSA)在表4.1和附录4中进行了归纳。如果生物滤器的选材不够理想，表面积与体积的比率较低，那么生物过滤器池应该要大一些。尺寸过大的生物滤器不会对鱼菜共生系统造成损害，尽管这会增加不必要的成本，但过大的生物过滤能力已使很多系统免于崩溃。

### 5.1.2 水的pH值

水的pH范围在6-8.5的时候，硝化细菌能充分发挥作用。一般来说，这些细菌在较高的pH环境下，能更好地发挥作用，亚硝化单胞菌发挥作用的佳pH为7.2-7.8，而硝化细菌则为7.2-8.2。然而，鱼菜共生系统的目标pH值为6-7，这是整个生态系统中所有生物之间的一种相互妥协。硝化细菌在这个pH范围内可以充分发挥作用，而且细菌活性的降低也能够通过使用一个较大的生物过滤器来补偿。

### 5.1.3 水温

硝化细菌的最适温度范围是17-34℃。这个温度范围有益于硝化细菌的生长繁殖。如果水温低于这个范围，细菌的繁殖力就会下降。需要特别指出的是，与亚硝化单胞菌相比，硝化细菌更加不耐低温，正因为如此，在比较寒冷的时期，就应该更加仔细地监测亚硝酸盐，以避免有害的累积。

### 5.1.4 溶解氧

硝化细菌需要水体始终保持充足的溶解氧，以健康成长和维持其高水平的繁殖能力。硝化作用是一个还原/氧化(氧化还原)反应，在反应过程中，氧和氮结合产生供细菌生长的能量。溶解氧的最佳浓度为4-8毫克/升，这也是鱼类和植物所需要的水平。如果溶解氧浓度低于2毫克/升，硝化作用便不会发生。通过生长基质床中的漫-排循环，外部生物滤器内的气石，或级联水回流管道至养殖水槽和污水池来增进生物滤器的曝气，以确保充分的生物过滤作用。

### 5.1.5 紫外线

硝化细菌在完全形成菌群前对光是很敏感的，阳光照射会对生物滤器造成相当大的伤害。生长基质床可以保护细菌避免阳光的照射，但是，如果使用外部生物滤器，必须确保其免受阳光的直射。

### 5.1.6 细菌活动的监测

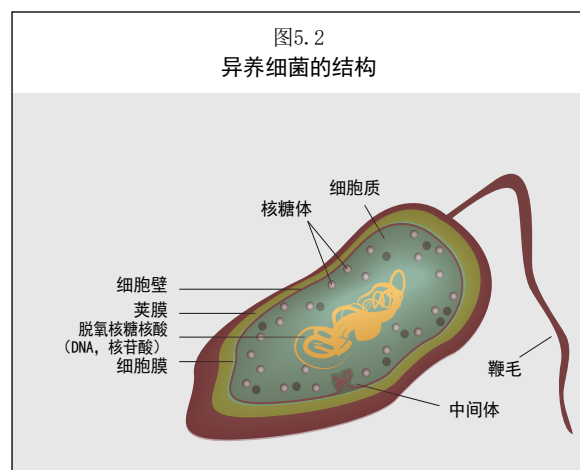
如果这五个参数都得到了足够的重视，那么我们就可以放心地认为，细菌可以很好地存活并发挥作用。也就是说，细菌对于鱼菜共生系统来说是如此的重要，因此非常值得我们去了解细菌在任何特定时间的整体健康水平。然而，细菌是微生物，没有显微镜就不可能观察到它们。可以通过一个简单的方法来监测细菌的功效，即检测氨、亚硝酸盐和硝酸盐来了解细菌群落的健康情况。在一个运转良好的平衡的鱼菜共生系统中，氨和亚硝酸盐的浓度应该一直在0-1毫克/升之间。如果两者之中有任何一个被检测到超出这一范围，这就表明硝化细菌出现了问题。这种情况的发生通常有两个可能原因。首先，就是相对于鱼和饲料的数量来说生物滤器太小。因此，产生了一种不平衡，即鱼的量太大。为了改变这一现状，要么增大生物滤池尺寸，要么减少鱼的数量，要么改变鱼的投饲方案。有时候，当鱼体尚小、系统从平衡状态刚启动就会出现这样的问题。但是，随着鱼不断长大而且投饲不断增加，而生物过滤器的大小不变，系统就会逐渐失衡。其次，如果系统只是在大小方面保持平衡，细菌本身可能仍然无法正常发挥作用。这可能是水质出现了问题，那么应该要检查上面列出的每一个参数。通常，这种情况发生在冬季，此时水温开始下降，而且细菌活动变缓。

### 5.2 异养细菌与矿化作用

鱼菜共生系统中还有另外一个重要的菌群，和其他微生物共同发挥作用。该菌群通常被称为异养细菌。这些细菌以有机碳作为食物源，主要是参与到了鱼类和植物的固体废物的分解过程中。大部分鱼只能保留他们所摄入饲料的30%-40%，这意味着鱼摄入的饲料有60%-70%会作为废弃物排放到水体中。在这些废弃物当中，有50%-70%是以氨的形式排放于水中的溶解废物。然而，剩余的废物是含有蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素和矿物质的有机混合物。异养细菌通过被称为矿化作用的过程来代谢这些固体废物，这为鱼菜共生系统内的植物提供可以获得的必需微量营养素（图5.2）。

这些异养细菌和一些自然产生的真菌帮助分解鱼的固体废物。通过这样的方式，它们就把锁定在固体废物中的营养物质释放到水里。这个矿化过程是必不可少的，因为植物不能直接吸收固体形态的营养物质。这些废物必须要分解成简单分子，才能被植物的根部吸收。异养菌以任何形式的有机物质为食，例如：鱼的固体排泄物，吃剩下的鱼食，枯萎的植物和植物叶，甚至还包括死去的菌体。在鱼菜共生系统内，有许多可供养这些细菌的食物来源。

异养细菌需要与硝化细菌类似的生长条件，特别是高浓度的可溶解氧（DO）。异养菌分布在系统的所有组成部件上，但尤其集中于固体代谢物的聚积处。异养菌的生长比硝化细菌快得多，在数小时内而非几天就能繁殖。在生长基质床上，废物通常集中于底部、始终潮湿的区域，在此能发现大量的异养细菌。在其它系统中，异养细菌群落主要分布在过滤器、分离器



和管道内。在鱼菜共生系统中矿化作用是很重要的，矿化过程能释放出植物生长所必需的几种微量营养物。如果没有矿化作用，有些植物可能会出现营养缺乏，而需要补充肥料。

异养细菌从系统内其他生物群体的固体废物的分解作用中获益。通常情况下，在鱼菜共生系统特别是在生长基质床内，可以找到蚯蚓、等足类动物、端足类动物、幼虫和其他小型动物。这些生物体与细菌一起发挥分解固体废物的作用，这种生物群落的存在能防止固体废物的累积。

### 5.3 有害细菌

#### 5.3.1 硫酸盐还原菌

硝化细菌和矿化细菌对鱼菜共生系统是有益的，但其他一些类型的细菌则是有害的。在这些有害的细菌中，其中之一是硫酸盐还原菌。这些细菌存在于厌氧条件下（没有氧气），它们通过硫的氧化还原反应获得能量。但问题是这个过程会产生硫化氢（ $H_2S$ ），其对于鱼类的毒性极高。这些细菌广泛存在于世界各地的湖泊，盐沼和河口，是自然硫循环的一部分。这些细菌导致类似臭鸡蛋的气味和灰黑色沉积物。在鱼菜共生系统中的问题是当固体废物的累积速度快过异养细菌和相关细菌群落能够有效地处理和矿化这些固体废物的能力时，反过来会导致缺氧腐烂条件的产生，而这种条件有利于这些硫酸盐还原菌的生存。在高密度的鱼类养殖系统中，鱼会产生相当多的固体代谢物以至于机械过滤器都无法快速地清除，这使得这些细菌不断繁殖并产生有毒的代谢物。大型的鱼菜共生系统通常配备一个除气池，这个除气池的作用就是保证硫化氢可以安全地释放到空气中。除气池对于小规模的系统是没有必要的。然而，即使是小规模的系统，如果发现会让人联想到臭鸡蛋味或未经处理污水的恶臭，则有必要采取适当的管理措施。这些细菌只生长在缺氧的条件下，为了阻止它们繁殖，要保证提供足够的曝气并加快机械过滤以防止污泥堆积。

#### 5.3.2 反硝化细菌

第二类有害细菌是导致反硝化的细菌。这些细菌也是在厌氧条件下生存。硝酸盐是植物生长所需的养分，而反硝化细菌则将硝酸盐转换成植物无法直接利用的氮并重新释放到大气中。这些细菌广泛存在于自然界当中，并且就其自身而言也很重要（见图2.4）。然而，鱼菜共生系统中，反硝化细菌会有效地去除氮肥而导致系统效率的降低。这是充氧不足的大型深水栽培床通常面临的问题。尽管系统中保持着平衡，而此时水中的硝酸盐浓度非常低，植物出现缺氮的迹象时，就应该怀疑是反硝化细菌导致的问题。这种情形下，需要调查深水栽培系统水槽中流通不畅的区域，并通过气石来进一步增加曝气。

一些大型的鱼菜共生系统有意地利用反硝化作用。虽然饲喂速率比与植物所需的营养素平衡，但通常会导致水中硝酸盐含量过高。可以通过水体的交换来稀释硝酸盐（本出版物建议特别用于小规模系统）。另外，在机械过滤器中可以促进可控的反硝化作用。这种技术需要仔细监控和排气，并且不建议用于小型系统。更多信息可在有关进一步阅读的章节中找到。

#### 5.3.3 病原菌

最后一组有害菌是那些引发植物、鱼和人类的疾病的病原菌。本书的其他章节会分别介绍这些疾病如何治疗，其中第6章和第7章分别讨论植物

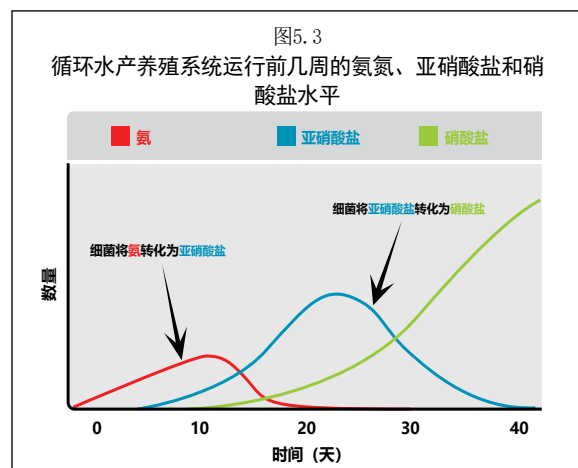
的疾病和鱼病，而人类健康则在第8章第6节中讨论。总的来说，良好农业操作规范（GAP）是很重要的，它在一定程度上可以降低和尽量减少鱼菜共生系统中细菌性疾病的风险。要通过以下措施防止病原菌进入系统：保证操作人员良好的卫生状况；避免啮齿动物在系统中排便；使野生哺乳动物（以及狗和猫）远离鱼菜共生系统；避免使用已经被污染的水；并注意任何活饵料都可能是把外来微生物带入系统里的载体。尤其重要的一点是不要使用从屋顶收集的含有鸟粪的雨水，除非雨水被事先处理过。来自温血动物的主要危险是会把大肠杆菌引入系统，而鸟类经常携带有沙门氏菌。危险的细菌可以随着动物粪便一起进入系统内。其次，在实施上述预防措施后，要保证鱼菜共生系统的水绝对不会接触到植物的叶子。这可以预防许多植物病害，也能避免养鱼用水对人类食用产品的潜在污染，尤其是这些产品被生食的情况下。在食用蔬菜前一定要清洗蔬菜，无论蔬菜是来自鱼菜共生系统还是其它地方。一般来说，保持常识和清洁是抵御来自鱼菜共生系统疾病的最佳卫士。保证鱼菜共生系统食品安全的其它方法贯穿全书，而且在扩展阅读中也有包含。

#### 5.4 系统循环和生物过滤器中细菌群落的建立

系统循环是一个描述任何循环水养殖系统，包括鱼菜共生系统启动之初建立细菌群落的最初过程的术语。在正常情况下，系统循环需要3-5周的时间；循环是一个需要耐心的缓慢过程。总体而言，该方法包括不断将氮源引入到鱼菜共生系统装置中，给新的细菌群落提供营养，并建立一个生物滤器。通过监测氮水平判断循环的进展情况。通常来说，鱼菜共生系统一旦建立，循环就开始发生，但有可能在建造新的鱼菜共生系统时，要把生物滤器作为一个开端。非常重要的一点是，要了解在循环过程中会出现高含量的氨和亚硝酸盐，而这对鱼可能是有害的。此外，确保鱼菜共生系统的所有组成部分，特别是生物滤器和鱼缸，在开始系统循环过程之前要避免阳光的直射。

氨一旦被引入到系统装置中内，就会成为氨氧化细菌（AOB）的最初食物来源，氨氧化细菌部分是自然产生并且自我补充到系统中的。我们在泥土里、在水和空气中都可以发现氨氧化细菌。在初次加入氨的5-7天的时间内，氨氧化细菌开始形成群落，并开始将氨氧化为亚硝酸盐。氨应该被少量持续和小心地的添加到系统内，既确保细菌群落发展有足够的食物，又不构成毒性。再过5-7天，水中的亚硝酸盐的含量将开始上升，这反过来又促进了亚硝酸盐氧化细菌（NOB）的生长。随着亚硝酸盐氧化细菌（NOB）菌群的增加，水中的亚硝酸盐的含量将开始下降，这是因为亚硝酸盐被氧化成硝酸盐。图5.3详细描述了循环开始后最初20-25天内水中的氨、亚硝酸盐和硝酸盐的变化趋势。

当硝酸盐水平不断稳步增加，亚硝酸盐水平为0毫克/升，同时氨水平低于1毫克/升时，可以认为是循环过程的结束。在外部条件良好的情况下，循环过程大约需要25-40天，但是如果水温偏低，完整的循环可能需要长达两个月才能完成。此时，已经形成了充分的细菌



群落，并且正在有效地把氨转化为硝酸盐。这个循环过程耗时长长的原因是因为水温过低时，硝化细菌生长相对缓慢，需要10-15个小时才能增殖一代。然而，一些异养细菌可以在短短20分钟内翻倍增长。

水族馆或水产零售商出售各种包含活硝化细菌（瓶装）的产品。一旦添加到系统装置中，他们迅速在整个系统内形成群落，从而避免了如上所述的循环过程。然而，这些硝化细菌的产品可能价格昂贵或不好获得的，甚至终就没有必要，因为系统可以通过有机方法来完成循环过程。此外，如果有另外一个可用的鱼菜共生系统，分享其生物滤池的一部分作为新系统的菌源，这将是有益的。这将大大减少系统循环的必要时间。提前几周连续地向生物过滤基质中滴加浓度为2-3毫克/升的氨溶液，对于单独启动生物过滤器也可能是有用的。随后，这种生物过滤基质会与新的鱼菜共生系统的生物滤池进行简单整合，从而发挥引子的作用。一个简单的氨滴流系统可以通过在一个装有氨水溶液的小水族箱上方悬挂一个宽大的塑料材质的板条箱来构建，并由一个小型鱼缸水泵进行循环。

许多人用鱼作为新鱼缸中氨的最初来源。然而，在整个循环过程中，这些鱼会受到高浓度的氨和高浓度的亚硝酸盐的影响。许多新的水族养殖管理者没有足够的耐心等待鱼缸的循环过程完成，其结果是新买的鱼死了，这种现象通常被称为“新鱼缸综合症”。如果刚开始就在鱼缸放鱼，建议采用非常低的放养密度（ $\leq 1$ 千克/立方米）。除了用鱼作为氨源，还有其他来源的初始氨为生物过滤器中菌落的形成提供所需。

一些可能的氨来源包括鱼饲料、消毒过的动物粪便、硝酸铵肥料和纯的氨。每一种氨源都有积极和消极的一面，有些氨源会比其他的更好使用和更安全。

最好的氨源是精细粉碎的鱼食，因为从生物学上来说，它是一个安全的产品，而且比较容易控制氨的添加量（图5.4）。一定要确保仅仅使用新鲜的、未变质且无病菌的鱼饲料。尽管鸡粪是一个极好的氨源，但是鸡粪是非常危险的，而且可能把危险的细菌带入到鱼菜共生系统中（图5.5）。大肠杆菌和沙门氏菌普遍存在于鸡和其它动物的粪便中，因此，任何粪便在使用之前必须要经过消毒。我们可以使用家用的氨产品，但我们必须要确保这些产品含有100%的氨，而不含有其它成分，如清洁剂、着色剂或重金属，这些成分会摧毁整个系统。一旦选定氨源，缓慢和持续地的添加氨是很重要的，同时，每2-3天要监测一次氨水平（图5.6）。通过用图表记录氨水平来追踪循环过程是很有用的。重要的是不要添加太多的氨，而且少

图5.4  
鱼饲料作为氨的来源



图5.5  
鸡粪作为氨的来源



一点比多一点要好。氨的目标浓度为1-2毫克/升。一旦氨的浓度超过3毫克/升，就需要换水稀释氨浓度，以防止抑制细菌的生长。

#### 5.4.1 在循环过程中添加鱼类和植物

只有在循环结束后，才能加入植物和鱼类。植物可以早一点移入，但早期移入的植物可能会出现营养缺乏，因为其它的营养物质需要一定的时间才能达到最佳的浓度（图5.7）。

只有当氨和亚硝酸盐的含量低于1毫克/升的时候，开始放养鱼类才是安全的。开始要慢慢放养鱼，一旦放养了鱼，出现中等和更小的氨氮和亚硝酸盐的上升并不少见。如果新放养鱼所产生的氨，比在循环期间每天添加的氨的量要多的话，这种情况就会发生。要对所有三种类型氮的含量进行持续监测，当整个系统保持循环时，如果氨或亚硝酸盐的含量上升且超过了1毫克/升时，就要进行换水。

#### 5.5 本章小结

- 在鱼菜共生系统中，氨一定要被氧化成硝酸盐，才能避免对鱼类造成毒害。
- 硝化过程是一个两步的细菌作用过程，其中氨氧化细菌将氨（ $\text{NH}_3$ ）转化成亚硝酸盐（ $\text{NO}_2^-$ ），然后亚硝酸盐氧化细菌把亚硝酸转化成硝酸盐（ $\text{NO}_3^-$ ）。
- 保证良好的硝化过程的五个最重要的因素是：有利于细菌的生长和繁殖的高比表面积基质；pH值（6-7）；水温（17-34℃）；溶解氧（DO）（4-8毫克/升）；进行遮蔽，避免直接在阳光下暴晒。
- 系统循环是在一个新的鱼菜共生系统装置中建立硝化细菌群落的初始过程。3-5周的系统循环过程包括把氨源（鱼饲料、氨系肥料，水中的氨的最高浓度为1-2毫克/升）添加到系统内，以促进硝化细菌的生长。氨源的添加应该是缓慢而连续的。要对氨、亚硝酸盐和硝酸盐的浓度进行监测，以掌握生物过滤器的状态：在硝酸盐开始累积前，氨会首先达到峰值，然后开始下降，随后亚硝酸盐水平也会以类似的形式变化。当氨和亚硝酸盐的含量较低，硝酸盐水平开始上升时，才能向系统中放入鱼类和植物。
- 氨和硝酸盐的测试用于监控硝化细菌的功能和生物过滤器的性能。在一个运转良好的系统中，氨和亚硝酸盐的含量应接近0毫克/升。高浓度的氨或亚硝酸盐需要进行换水和采取管理措施。通常来说，硝化作用的低效是水温、溶解氧或pH水平的变化所致。
- 在鱼菜共生系统中，另一类自然存在的微生物体是异养菌。异养菌分解鱼类的固体废物，释放一些营养物质到水中，这个过程称作矿化作用。

图5.6  
能显示低氨水平（0-0.5毫克/升）（a）和高氨水平（4毫克/升）（b）的水质测试盒



图5.7  
在循环栽培周期中将植物幼苗添加到培养床上







## 6. 鱼菜共生中的蔬菜

本章讨论了在鱼菜共生系统中成功种植蔬菜所需要的一些理论和实践。本章首先强调了土壤栽培作物与无土栽培作物生产上的主要差异；随后，围绕鱼菜共生中最重要方面，即植物生物学和植物营养学概念进行了基本探讨；然后，用简要章节就鱼菜共生单元中挑选种植蔬菜提出一些建议。最后两部分内容包括植物健康的知识、保持植物健康的方法以及就如何充分利用植物的生长空间提出一些建议。

在很多商业化的鱼菜共生投资项目中，蔬菜生产所带来的利润比养殖鱼类的利润更加可观。然而也有例外，一些养殖者通过养殖高价值鱼类获得更高收益。通过对西方国家为主的商业化鱼菜共生单元的估测显示：高达90%的经济收益来源于蔬菜种植。其中一个原因就是跟鱼类相比，蔬菜的周转率要快得多。

第八章及附录包含了鱼菜共生中蔬菜种植的更多信息。第八章讨论了不同季节管理蔬菜生产的实践，同时针对不同无土栽培方式（基质床、营养膜技术型和深水栽培型）讨论了种植的方法。附录1对鱼菜共生中12种常见蔬菜进行了专业的描述；附录2包含一些说明书和表格，详细介绍了几种害虫和疾病的有机防治方法。

### 6.1 土壤栽培和无土栽培的主要差异

土壤栽培和无土栽培之间有许多相似之处，且二者的基本植物生物学总是相同（图6.1和6.2）。但是为了更好地缩小传统土壤栽培和新型无土栽培技术之间的差距，有必要探讨二者之间的主要区别（图6.1）。总体上说，二者的不同之处在于肥料的使用和水的消耗、利用非耕种土地的能力以及整体生产力。此外，无土栽培技术属于典型的低劳动密集型种植方式。最后，相比于土壤栽培，无土栽培技术更适合单一种养殖。



#### 6.1.1 肥料

土壤化学是一门十分全面且相当复杂的学科，尤其涉及到养分的可获得性和肥料动力学方面。施肥对于集约化土壤种植是必须的。但是，土壤中会

发生各种复杂的反应，包括生物和非生物的交互作用，这使得农民无法完全控制这些养分向植物的输送。这些交互作用的总效应决定了营养素对植物根部的可获得性。相反，在无土栽培中，营养素溶解于溶液中并直接输送至蔬菜，并且可以根据蔬菜的需要来专门配制营养素。在无土栽培中，蔬菜生长在含惰性介质的基质中。这些基质不会干扰养分向输送，而这种干扰会发生在土壤栽培中。另外，这种介质为植物提供物理支撑和保持其根部湿润和透气。此外，在土壤栽培中，一些肥料会被杂草吸收或者流失而损失，在引起一些环境问题的同时，也会降低肥料的使用效率。肥料是很贵的，会占到土壤栽培成本预算的大部分。

在无土栽培农业中，肥料的定制管理有两大优势。第一，在化学、生物和物理过程中肥料的损失最小化，这些损失会降低肥料的效率同时增加成本。第二，可以精确监控养分浓度并且根据植物特定生长阶段的需求来进行调整。这种控制的加强可以提高生产力并且提升产品质量。

### 6.1.2 水的使用

在水栽培和鱼菜共生系统中水的使用量远低于土壤栽培方式，在土壤栽培中水的损失包括以下几个方面：表面蒸发、叶子蒸腾作用、渗透到地下、径流和杂草生长。然而，在无土栽培中，唯一消耗水的地方就是作物的生长吸收以及叶子的蒸腾作用。在无土栽培中，作物生长所需要的水绝对是最少的，而且因无土基质蒸发损失的水微不足道。总的来说，在土壤和鱼菜共生系统中种植与土壤栽种相同的作物所使用的水量仅为土壤种植所用水量的百分之十。因此，无土栽培技术在水资源匮乏或水资源昂贵的地区具有巨大的生产潜力。

### 6.1.3 非耕土地的利用

由于不需要土壤，无土栽培方法可以在一些非耕地区域使用。对于鱼菜共生模式来说，鱼菜共生系统最常见于城市和城市周边的区域，这些地方一般不适合传统的土壤栽培。鱼菜共生系统可以设置在低楼、地下室（使用植物生长灯）或者屋顶。基于城市的农业会减少生产排放，因为运输需求大大降低。城市农业属于当地农业，有助于当地经济的发展以及当地食物保障。鱼菜共生的另一个重要作用就是在一些无法开展传统农业的区域，比如极端干旱的区域（如沙漠和其他干旱气候区域）、土壤含盐量很高的区域（如沿海地区、河口地区和珊瑚砂岛屿）、一些因肥料使用过度造成土壤质量退化或者因侵蚀或采矿导致的土壤流失的区域，或可耕地因土地使用权、土地购买成本和土地权而无法耕种的区域。就全球来说，适合农业耕种的可耕地一直在减少，而鱼菜共生系统是人们在一些传统土壤农业无法或很难开展的区域实现集约化作物种植的一个方法。

### 6.1.4 生产力和产量

最集约化的水栽培技术可以实现比最集约化的土壤栽培蔬菜多出20%-25%的蔬菜产量，虽然水培专家粗略数据显示的生产力要高2-5倍。这是在水栽培完全采用温室管控的情形，其中包括了作物的消毒和肥料的高昂投入。即使没有昂贵的投入，但本手册介绍的鱼菜共生技术也能实现与水栽培相当的产量，而且高于土壤栽培的产量。主要原因是在无

土栽培中，农民可以监控、维持和调整作物的生长条件，同时确保最佳的实时营养平衡、水的供给、pH值和温度。此外，在无土栽培中，作物没有杂草与之竞争，同时病虫害得到更好的控制，更有益于作物生长。

### 6.1.5 减少工作量

无土栽培不需要犁地、耕耘、培土和除草。在大型农场中，这就等于减少了对农业机械和化石燃料的依赖。对于小规模农业来说，这就等于让农户可以从事更容易的、劳动强度更低的工作，尤其是因为多数鱼菜共生单元都高于地面，可避免弯腰劳作。相比于土壤农业来说，在无土栽培中收割也相对简单，而且产品无需大量清洗以去除土壤污染。鱼菜共生适合任何性别、不同年龄段和劳动能力的人群。

### 6.1.6 可持续的单一栽培模式

无土栽培模式使农民完全有可能以单一栽培模式年复一年地种植相作物。对于土壤种植来说，重复种植相同作物则更具挑战性，因为土地会“疲乏”、失去肥力，同时病虫害也会增加。而在无土栽培中，就不会出现土地失去肥力或显得“疲乏”这些问题，而且所有妨碍单一栽培的生物和非生物因素都是可控的。然而，相比于混合养殖来说，所有的单一栽培模式都要求农民更加关注传染病的控制。

### 6.1.7 管理更加复杂和较高的初期投资

最初的设计和设备安装所消耗的劳动力以及成本会阻碍农民采用无土栽培技术。鱼菜共生模式比水栽培更加昂贵，因为种植单元需要养殖单元设施的支持。鱼菜共生是一个相当复杂的系统，它需要对三类生物群体进行日常管理。如果系统的任何一个部分出现问题，整个系统都会崩溃。另外，鱼菜共生系统需要可靠的电力。总体上，鱼菜共生系统比土壤园艺复杂的多。但人们一旦熟悉了这些过程后，鱼菜共生就会变得很简单，而且日常管理也会变得更容易。正如应用许多新的技术一样，鱼菜共生系统的管理需要经验积累，任何一个新的鱼菜共生管理者都要致力于去学习这些知识。鱼菜共生系统并非适用于所有的情形，在开始任何新的风险投资之前先要权衡一下收益和成本。

表6.1  
比较有土栽培和无土栽培植物生产的汇总表

类别		有土栽培	无土栽培
生产	产量	依土壤特性和管理而变。	因作物可以密集种植，所以产量很高。
	生产质量	取决于土壤特性和管理；可能会由于施肥/处理不当，导致生产质量较低。	在不同的植物生长阶段完全控制适当养分的输送。可以清除影响土壤中植物生长的环境、生物和非生物因素（如土壤结构、土壤化学、病原体、害虫）。
	卫生	使用低质量的水和/或使用受污染的有机物质作为肥料可带来污染风险。	对人类健康的污染风险最小。
养分	养分输送	高度可变的，取决于土壤特性和结构。很难控制根部区域的养分水平。	实时控制植物根区的养分和 pH 值。根据植物的生长阶段提供均匀、准确的养分。需要监测设施和专家指导。
	养分使用效率	根据生长阶段，由于肥料分布广泛而只需最低程度的营养控制。由于泄漏和流失可能造成很高的养分损失。	使用量最少。均匀分布 和实时可调节的营养流量。不会泄漏。

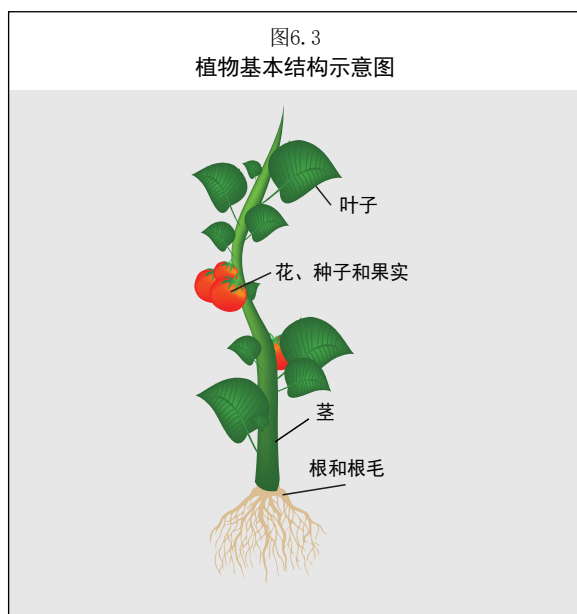
续上表6.1

类别		有土栽培	无土栽培
用水	系统效率	对土壤特性、植物中可能存在的水分胁迫、养分的高度分散等因素非常敏感。	最大限度地避免所有水分的损失。水的供应可以完全由传感器控制。浇水没有人工成本，但初期投资更高。
	盐度	易受盐分的影响，具体取决于土壤和水的特性。冲洗盐分需要使用大量的水。	取决于土壤和水的特性。可以使用盐水，但需要冲掉盐分，这也需要大量的水。
管理	劳力和设备	标准化，但需要机器来用于土壤处理（耕作）和收获，这些都需要依赖化石的燃料。需要更多人手来操作。	使用专家指导和日常监控的设备都是相对昂贵但也是必不可少的。初始建设成本高。收获操作相对更简单。

## 6.2 植物生物学的基本知识

本节内容简要论述了植物的主要部分以及植物营养学（图6.3）。进一步的探讨超出了本手册的范围，但是更多的信息可以在扩展阅读章节中找到。

### 6.2.1 植物解剖学和功能的基本知识



#### 根

根从土壤中吸收水分和矿物质，从根部伸出的细小根毛会协助这个吸收过程。根帮助植物锚定在土壤中，防止其倾倒。根还会存储额外营养以供将来之需。无土栽培植物的根与土壤栽培植物的根有显著的差异。在无土栽培中，水分和营养不断的输送给植物，这样可以便利它们对养分的搜寻利用，从而生长的更快。在水栽培中，根系生长对充分吸收和输送促进植物生长磷元素至关重要。值得注意的是，根部能保留被植物所吸收的90%的金属元素，这些金属元素包括铁、锌和其他一些有用的微量元素。

#### 茎

茎是植物主要的支撑结构。它们也充当着植物的管道系统，将水和营养素从根部运输到植物的其他部位，同时也将养分从叶子传输到其他部位。茎可以是草本的，像雏菊的可弯曲的茎；也可以是木本的，像一棵橡树的树干。

#### 叶

大多数植物的养分是在叶子中产生的，叶子的造型适合于捕阳光，然后植物利用阳光进行光合作用来产生养分。叶子对水分的蒸发也很重要。

## 花

花是大多数植物的生殖部位，包含花粉和一个叫做胚珠的卵状物。花授粉和胚珠受精后，胚珠会发育成果实。无土栽培中，植物开花之前及时提供钾有助于植物更好地结果。

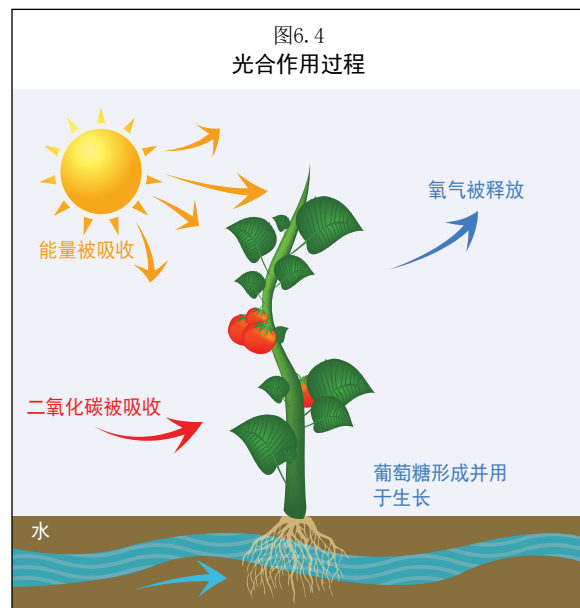
## 果实/种子

果实是含有种子的花子房发育部位。果实包括苹果、柠檬和石榴，同时也包括西红柿、茄子、玉米棒和黄瓜。尽管从烹饪定义来说后者通常被称为蔬菜，但是因为它们含有种子，所以在植物学定义上被认为是果实。种子是植物的繁殖结构，而果实可以帮助传播这些种子。相对于绿叶蔬菜来说，果实型植物有不同的营养需求，尤其是需要更多的钾和磷。

### 6.2.2 光合作用

所有的绿色植物都利用光合作用生成其自身的养分（图6.4）。光合作用需要氧气、二氧化碳、水和光。在植物内部有一种叫做叶绿体的细胞器，这些叶绿体含有叶绿素和一种酶，这种酶可以利用太阳能，将大气中的二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）分解，并产生含有高能量的糖分子，如葡萄糖。这个过程的关键是水（ $\text{H}_2\text{O}$ ），该过程释放氧气（ $\text{O}_2$ ），大气中所有的氧气均源自于此过程。糖分子一旦生成，就会被运输到植物的各个部位，而后被用于所有的植物生理过程，如生长、繁殖和新陈代谢。夜间，植物利用这些糖和氧气来产生生长所需的能量，这个过程则叫做呼吸作用。

将鱼菜共生单元放置在每个植物都可以获得阳光的地方至关重要。这样可以确保植物有足够的能量进行光合作用，系统应确保植物的根始终有充足的水供应。二氧化碳可以从大气中随意获取，即使是非常集约化的室内培养，只要保持通风，植物可以利用封闭空间内的所有二氧化碳。



### 6.2.3 养分需求

除了光合作用的这些基本需求之外，植物还需要若干种营养物质，也被称为无机盐。植物体内的酶需要这些营养元素促进光合作用，以供植物的生长和繁殖。这些物质原本可以从土壤中获得，然而，在没有土壤时，这些物质需要通过其他方式来供给。在鱼菜共生系统中，所有这些必需营养素都来源于鱼的废弃物。

总共有两大类营养素：常量元素和微量元素。两种类型的营养素对植物来说都是必不可少的，但是在需要量上有差别。六种常量元素需要量远大于微量元素的需要量。尽管这些元素都存在于鱼类固体废弃物中，但是在鱼菜共生系统中一些营养素的量可能有限，从而引起

营养元素不足，例如：钾、钙和铁。对每种营养素功能的基本了解对于了解它们如何影响植物生长非常重要。如果发生营养不良的现象，重要的是确定系统中缺少哪种元素，并通过添加补充肥料或提升矿化过程来相应地调整系统。

### 常量元素

植物对六种元素的需要量相对较大，分别是氮、磷、钾、钙、镁、硫。以下内容讨论了这些常量元素在植物体内的功能，同时也列出了缺乏这些元素可能出现的症状，以辨别系统中出现的问题。

氮（N）是所有蛋白质的基础成份，是构建植物结构、光合作用、细胞生长、新陈代谢和产生叶绿素所必需的。同样的，氮是植物中继碳和氧之后最常见的元素，而碳和氧都可以从空气中获得。因此，氮是鱼菜共生系统营养液中的关键元素，而且可用作其他元素的易于测量的代用指标。通常，溶解氮的形式为硝酸盐，但植物也可以利用少量的氨，甚至一些游离氨基酸供本身的生长。氮缺乏是非常明显的，包括老叶子变黄、茎秆变细和缺乏活力（图6.5a）。氮可以在植物组织中被重新分配，因此可以从老叶子中移出并被重新输送到新生叶子上，这就是为什么氮缺乏可以在老叶子观察到。过量的氮会引起蔬菜疯长，导致植物过度繁茂和绵软，而容易受病虫害的影响，同时也会对开花和挂果造成不利影响。

磷（P）是植物DNA（脱氧核糖核酸）的支柱，磷是磷脂膜的结构组成部分，也是三磷酸腺苷（将能量储存在细胞中的成分）的组成成分，对光合作用以及油和糖的形成都是必不可少的。它可以促进种子发芽以及幼苗根系发育。磷不足通常会导致根部发育不良，这是因为植物中能量不能被正常运输，老叶子就会出现暗绿色，甚至是紫褐色，叶尖也会出现焦枯的现象。

钾（K）通过控制离子在膜之间的流动，完成细胞间信号的传导。钾控制气孔的开放，参与开花和和结果，还参与糖的生成和运输、水分的吸收、植物抗病性和果实的成熟等过程。缺钾的主要症状为：老叶子上出现烧焦状斑点，植物干瘪没有活力（图6.5b）。如果没有钾，花和果实都无法正常发育，在叶片边缘可以看到叶脉萎黄或叶脉之间的泛黄。

钙（Ca）是细胞壁和细胞膜的结构成分。它可以增强茎的强度并有助于根部发育。缺钙在水栽培中是很常见的现象，由于钙在植物体内是无法转移的，所以缺钙在植物幼芽中最为明显。生菜叶端枯焦、西红柿和南瓜的花尖腐烂都是缺钙的表现。另外，幼叶顶端也会经常出现弯钩状卷曲和畸形的现象。钙只能通过活跃的木质部蒸腾作用进行运输。因此，当环境湿度过高时，可能获得的钙因为植物不进行蒸发作用而无法在植物体内运输。使用通风装置或风扇增加空气流可以预防这个问题。在可以通过添加珊瑚砂或碳酸钙来补充鱼菜共生系统中的钙，这同时还有缓冲pH值的益处。

镁 (Mg) 是叶绿素分子的中心电子接受体, 因而是光合作用中的一个关键元素。缺镁时, 叶脉之间叶子变黄, 植物的较老部位尤为明显。尽管在鱼菜共生系统中镁离子浓度通常较低, 但它不是限制性营养素, 通常也没必要向系统中添加镁元素。

硫 (S) 对某些蛋白质的生成至关重要, 包括叶绿素和其他光合作用酶。氨基酸中的蛋氨酸和半胱氨酸都含有硫, 这些含硫氨基酸有助于蛋白质三级结构的形成。缺硫元素的现象比较少见, 但包括在幼叶时整个叶片泛黄的现象 图6.5c, 叶子可能变黄, 变硬, 变脆, 脱落。

### 微量元素

下面列出的是植物仅以微量需要的营养素。大多数的微量元素缺乏症状都包括叶片的发黄 (如铁、锰、钼、锌)。然而, 缺铜会导致叶子的绿色加深。

铁 (Fe) 作用于叶绿体和电子传递链中, 并对适当的光合作用至关重要。缺铁症状表现为叶脉间泛黄, 紧接着是整个叶片变成浅黄色 (失绿), 最后叶片出现坏死的斑块以及叶片边缘扭曲并变成白色。由于铁是不可流动的元素, 所以当新叶片出现失绿时, 铁缺乏 (图6.5d) 很容易识别。当pH值大于7时, 铁很容易沉淀, 所以必须以螯合铁或隔离铁, 也称为乙二胺四乙酸铁的形式添加铁。当系统疑似缺铁时即可添加, 建议添加量为每平米生长床五毫升, 量稍微再多些也并不会损害生长系统, 但会引起水池和管道褪色。有人提出, 浸没式磁力驱动泵可以隔离铁, 这也是当前研究的热点。

锰 (Mn) 在光合作用中用于催化水的分解, 就这一点来说, 锰对整个光合作用而言很重要。缺锰症状表现为植物生长变缓, 虽然叶脉保持绿色, 但叶表面呈暗灰色, 叶脉之间开始泛黄, 然后就是坏死。与缺铁的症状极为相似, 还包括萎黄病。当pH值大于8时, 植物对锰的吸收会很差。

硼 (B) 作为一种分子催化剂, 参与结构性多糖和糖蛋白的构建、碳水化合物运输、植物代谢途径的调节。它还参与细胞的繁殖和水吸收。缺硼症状表现为芽和花发育不完全、生长停顿、顶端坏死和茎根坏死。

锌 (Zn) 为酶所利用, 也存在于叶绿素中, 影响整个植物的大小、生长和成熟。缺锌时可能表现为植物没有活力、生长迟缓, 节间长度和叶片大小变小、叶脉萎黄病, 这些症状可能会与其他元素缺乏症状相似。

铜 (Cu) 被一些酶利用, 特别是在植物繁殖过程中, 它还有助于加强茎的强度。缺铜症状表现为萎黄病、叶端棕色或橙色、果实发育缓慢和坏死。有时, 缺铜表现为异常的深绿色生长。

钼 (Mo) 在植物中用于催化不同形式氮的氧化还原反应。尽管含氮充足, 若没有充足的钼, 植物也会表现为缺氮的症状。当pH值小于5时, 钼在生物学意义上是无法利用的。



很多营养素对植物的可获得性取决于pH值（参见6.4节pH依赖型可用性），它们虽然存在于水中，但有时因为水质问题而无法被利用。超出本手册范围的对营养缺乏方面的进一步探讨，请参阅与图示识别指南相关的扩展阅读。

#### 6.2.4 鱼菜共生系统的营养来源

在鱼菜共生系统中植物需要的氮主要以硝酸盐的形式供给，这些硝酸盐通过细菌的硝化作用从鱼类废物中的氨转化而来。来自鱼类废物一些其他营养素溶解在水中，但是大部分营养素仍以植物无法获取的固体状态存在。这些鱼类固体废物被异养细菌分解，这个反应会将必需的营养素释放到水中。确保植物不发生营养素不足的最佳方法是保持最佳水pH值（6-7），为鱼类提供均衡全面的食物，并使用饲料率来平衡鱼饲料与植物的需求量。然而，随着时间的推移，再平衡的鱼菜共生系统也会出现某些营养素缺乏的现象，最常见的就是缺乏铁、钾或钙。

这些营养素的缺乏是受鱼饲料成分的影响。鱼用饲料颗粒（第七章中论述）对鱼类来说是全面的食物，这意味着它们提供了鱼生长所需的全部营养，但这不一定是植物生长所需的全部营养。鱼类根本不需要植物生长所需相同量的铁、钾、钙。这样的话，就可能出现这些营养元素缺乏。这对植物来说可能是一个大问题，但是有一些有效的方法可确保这三种元素适当的量。

一般来说，铁会以螯合铁的形式定期添加到鱼菜共生系统中，以确保铁浓度达到2毫克/升。因为硝化作用是一个酸化过程，所以钙和钾在需要缓冲水体的pH值添加。这两种元素是以氢氧化钙和氢氧化钾的形式，或者是以碳酸钙和碳酸钾的形式向系统添加（参见第三章了解更多细节）。缓冲液的选择可以根据种植植物的类型而定，如绿叶蔬菜可能需要更多的钙，而果实型植物则可能需要更多的钾。另外，第九章讨论了如何利用堆肥中制作简单的有机肥料来作为鱼类废弃物的补充剂，从而确保植物总是能获得适量的营养素。

### 6.3 植物所要求的水质

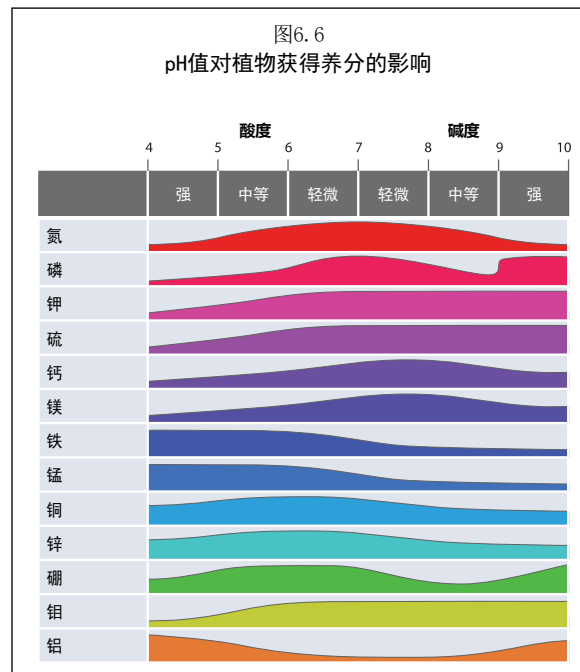
3.3节讨论了鱼菜共生系统作为一个整体时对水质参数的要求，在这里我们对植物的特定要求做进一步的扩展讨论。



### 6.3.1 pH值

对鱼菜共生系统中的植物来说pH值是最重要的参数，因为它会影响植物对营养素的获取。通常，大多数植物pH的耐受范围是5.5-7.5。pH值5.5的下限低于鱼和细菌的耐受范围，大多数植物更喜欢弱酸性条件。如果pH值超出了这个范围，植物就会经历营养锁闭，这意味着尽管营养素存在于水中，但植物却不能利用它们。这种锁闭现象在铁、钙、镁这三种元素格外明显。有时，植物中明显的营养不良实际上表明系统的pH值超出了最佳范围。图6.6描述了pH值水平与植物吸收某种营养素能力之间的关系。

然而，有证据表明，相对于水栽培来说，在一个成熟的鱼菜共生系统中发生营养锁闭是不太常见的。相对于半无菌状态的水栽培系统，鱼菜共生是一个完整的生态系统。就此而言，植物根系、细菌和真菌间存在着生物相互作用，即使系统出现高于图6.6所示的pH值，这种生物相互作用也会帮助植物吸收营养。然而，最好的做法就是努力维持系统内微酸性pH值（6-7），但是也要明白系统在稍高的pH值（7-8）下也能运行。这个领域是当前研究的课题。



### 6.3.2 溶解氧

大多数植物都需要水中有较高的溶解氧浓度（>3毫克/升）。在呼吸过程中，植物利用它们的茎和叶来吸收氧气，但是根部也需要氧气。如果植物根部没有氧气，植物就会出现根腐病，即根部坏死、真菌生长的情况。但一些水生植物，如荸荠、莲和芋头，它们不需要太高的溶解氧，而且可以忍受低氧的水体，例如在静水的池塘中。

### 6.3.3 温度和季节

大多数蔬菜适宜在温度为18-30℃的范围内生长。然而，一些蔬菜更适宜在特定条件下生长。在本手册中，冬季蔬菜适宜在8-20℃的温度下生长，夏季蔬菜适宜在17-30℃的温度下生长。例如，很多绿叶蔬菜最适宜在温度较低的环境下生长（14-20℃），特别是在晚上。当温度在较高的26℃或更高时，绿叶蔬菜会过快成熟，开始开花和结籽，这使蔬菜变苦并失去销售价值。一般而言，水温比气温对蔬菜的影响更大。因而，一定要注意选择正确的蔬菜和鱼类并满足其最佳水温范围。季节性种植另一个需要注意的方面是，一些蔬菜开花和结果需要一定量的日照，称为光周期现象。而有一些蔬菜被称为短日照蔬菜，它们在开花前需要一定的黑暗时间。蔬菜的这种生长信号表明冬天即将来临，蔬菜会将能量用于繁殖而不是生长。一些栽培中常见蔬菜的短日照蔬菜包括各种椒类以及某些药用花卉。另一方面，长日

照蔬菜在开花前需要经过一段日照时长，虽然在蔬菜栽培中很少考虑这一问题，但对于观赏性植物而言还是值得注意的。因此，重要的是遵循当地季节栽培规律来栽培各种蔬菜，或者选择对光周期要求不严格的蔬菜品种。附录1包含了特定蔬菜的更多细节。

#### 6.3.4 氨、亚硝酸盐和硝酸盐

正如第二章所述，植物能够利用三种形式的氮，但是对硝酸盐的利用是最容易的。氨和亚硝酸盐对鱼而言毒性很大，应始终保持低于1毫克/升。在一个运转正常的鱼菜共生单元中，氨和亚硝酸盐的浓度总是在0-1毫克/升之间，对植物来说应该不是问题。

### 6.4 植物的选择

迄今为止，在研究机构、家庭和商业化的鱼菜共生系统中，已有超过150种不同的蔬菜、药草、花卉和小型树木成功生长。附录1提供了12种最受欢迎的药草和蔬菜的技术摘要和详细的栽种说明。总的来说，绿叶蔬菜在鱼菜共生中表现非常好，还有一些最受欢迎的结果蔬菜也表现非凡，包括西红柿、黄瓜和椒类。结果蔬菜的营养需求较高，并且更适合于鱼类放养充分的系统。然而，一些块根作物和敏感植物在鱼菜共生环境中生长不良。块根作物需要格外注意，它们只能在深基质床栽培，或在9.3节中详细讨论的毛细床栽培中顺利生长。

蔬菜的总体营养需求各不相同，根据这种需求，可将鱼菜共生中的蔬菜分为两大类。低营养需求的蔬菜包括绿叶蔬菜和药草，比如生菜、叶甜菜、芝麻菜、罗勒、薄荷、西芹、香菜、香葱、小青菜和豆瓣菜。很多豆类的营养需求也比较低，比如豌豆和蚕豆。与此相对照的是高营养需求的蔬菜，有时候也被称为营养饥饿植物。此类情况包括了果实类蔬菜，比如西红柿、茄子、黄瓜、西葫芦、草莓和椒类。其他中等营养需求的蔬菜是卷心菜类，如羽衣甘蓝、菜花、西兰花和大头菜。

球茎蔬菜诸如甜菜根、芋头、洋葱和胡萝卜等营养需求从中等到高等不一，而萝卜的营养需求较低。种植基床的类型影响着植物的选择。在基质床栽培中，同时将绿叶蔬菜、药草和结果蔬菜进行混合栽培是很常见的（图6.7）。假如基质床深度合适（至少30厘米），就有可以种植上述类别中提到的所有蔬菜。小面积的混合栽培可以从套种中获益（见附录2）和优化空间管理，因为耐荫作物可以在更高的植物下生长。在商业模式的营养膜技术和深水栽培中，单一种植更加普遍，因为种植者会受到蔬菜栽培管道或筏上栽种孔数量的限制。

使用营养膜技术可以种植较大的结果蔬菜，比如西红柿，但是这些蔬菜必须获得大量的水来保证营养供给并且避免水的压力。如果水流中断，结果蔬菜很快就会出现枯萎，并对整体作物收成产生毁灭性的影响。此外，结果蔬菜的种植需要较大的种植管道内，最理想的是平底的管道，且相对于绿叶蔬菜，它们需要更大的间距。

这是因为结果蔬菜生长更高大，且需要更多光照才能使果实成熟，还因为根部在管道内的生长空间有限。另一方面，大球茎或块根蔬菜更适合基质床栽培，比如大头菜，胡萝卜和萝卜，因为营养膜技术和深水栽培不能给蔬菜提供良好的生长环境和足够的支撑。重要的是要考虑收割植物对整个生态系统的影响。如果所有蔬菜一次性收割完，必定会导致系统失衡，因为没有充足的蔬菜净化水，系统内富营素飙升。一些农民使用



一次性收获的方法，但是它必须与渔获量增加或饲料投喂量降低相符合。然而，仍然建议使用交错收割和种植周期。如果过多的蔬菜同步生长，它们在收获时期摄取营养的能力将达到最大，蔬菜就会出现某些营养素的缺乏。若系统中蔬菜处于不同生长阶段，即既有幼苗也有成熟蔬菜，整体的营养需求就能保持一致，这可以确保水中化学指标更加稳定，并且为家庭或市场提供了更为稳定的产量。在第8章中将更详细地讨论交错种植方法。

### 6.5 健康种植及病虫害控制

蔬菜健康的含义十分广泛，不仅仅是没有疾病，它代表使蔬菜能够发挥全部生长潜力的总体健康水平。蔬菜健康包括疾病的预防和害虫的预防和清除，在鱼菜共生的食品生产中是极为重要的一环（图6.8）。尽管在蔬菜健康中重要的进展已经通过致病菌和害虫管理得以实现，保持营养最佳、智能种植技术和恰当的环境管理对于确保蔬菜健康仍是必须的。此外，对特定栽培的植物的了解也是解决生产中各种问题的基础。尽管前文已经详细阐述了关于蔬菜营养方面的基本概念，但本节旨在进一步深入探讨如何风险最小化以及解决小规模鱼菜共生系统中蔬菜病虫害问题。



关于益虫更多的信息,包括昆虫的特点以及对气候的需求,害虫鉴别的基本资料及病虫害综合管理(包括可用于治疗的不同产品),请参阅附录2和延伸阅读部分列出的资料。

### 6.5.1 植物的害虫,综合生产和虫害治理

害虫会是植物生产中的问题,它们携带使蔬菜感染的疾病,并且钻到植物组织内吸取液体,导致蔬菜发育不良。在诸如温室这种受控环境中,害虫的控制尤其重要,因为无风无雨的封闭空间给害虫提供了有利条件。室外条件下的害虫管理也不同于被保护条件下(网棚、温室)的害虫管理,因为蔬菜与周围区域被物理分隔,可以使用益虫杀死或控制害虫。害虫患病率也高度依赖气候和环境。相当于热带地区,温带或干旱地区的病虫害管理更加容易。在热带地区,高发病率和害虫间的竞争使得防治害虫工作更加困难。

鱼菜共生环境是一个独立的生态系统,在基质床中存在大量微生物、小昆虫和蜘蛛是十分正常的。然而,其他有害的昆虫,例如粉虱、蓟马、蚜虫、潜叶虫、菜蛾和红蜘蛛会以蔬菜为食,损害作物。在蔬菜土壤栽培中,解决虫害的常见做法是使用化学农药或杀虫剂,但这种方法在鱼菜共生环境中是不可用的。任何强力的化学农药对系统中的鱼和有益菌都是致命的。因此,绝不能使用商业化生产的化学杀虫剂。不过,还有其他有效的物理的、环境的和养殖防治的方法来减少鱼菜共生中害虫的威胁,所以杀虫剂和抑虫剂应该作为最后的手段。尽管如此,成功的管理应当将作物和环境管理与使用有机生物防治虫害手段相结合。

综合生产和虫害管理(IPPM)是一种用于土壤和无土植物生产和保护的生态系统方法,它结合了不同的管理策略和实践,以种植健康的植物,并尽量减少农药的使用。这种方法将机械、物理、化学、生物学和微生物防治,同寄主植物抗性和栽培技术进行了结合。并非所有这些控制方法都适用于鱼菜共生,因为其中有些控制方法对鱼类和细菌而言可能是致命的(如化学和一些有机农药),而另一些控制方法对于小规模鱼菜共生而言可能经济上并不合理(如微生物抑制药剂)。因此,本节重点关注最适用于小型鱼菜共生环境的策略,包括用于预防病虫害威胁的机械和物理控制、寄主植物抗性和栽培技术。对于鱼菜共生安全的生物防治(即益虫和微生物)的一些简短评论和更多细节详见附录2。有关这些方法的更多信息请参阅延伸阅读部分。

#### 物理、机械和栽培控制

对于鱼菜共生中的虫害管理,预防是基础。定期和全面监测害虫十分重要,且在理想的情况下,在害虫破坏全部作物之前,一些小型的感染是可以鉴别和管控的。下面列举了适用于有机/传统农业的既简单又廉价的控制方法,这些方法同样适用于小规模鱼菜共生环境来避免虫害侵袭。物理隔离指的是确保害虫远离植物。机械移除是指农民主动将害虫从蔬菜中除去。栽培控制是指农民可以采取的防治害虫的选择和管理活动。在考虑其他方法之前,这些方法应成为抵御害虫的第一道防线。

### 网/筛

这种方法通常用于防治热带地区的虫害，或者用于有机园艺实践区，或是杀虫剂效果不佳的时候。网目尺寸的选择取决于目标害虫的大小；网目尺寸0.15毫米的网筛可排除蓟马，0.35毫米的网筛可排除粉虱和蚜虫，0.8毫米的网筛可排除潜叶虫。当秧苗十分幼小娇嫩时，使用网筛会格外有效。网不会抑制或根绝害虫，它们只能排除大多数害虫；因此，必须在害虫出现之前安装好筛子，并且注意不要让害虫进入被保护的环境中。

### 物理隔离

由于昆虫覆盖的距离是有限的，所以我们可以通过在蔬菜与周围草木之间设置物理障碍来减少害虫盛行，比如铺过的地面或多层建筑等。屋顶自然通风的环境有利于鱼菜共生的生产，且其垂直距离更高，从而产生了更大的物理隔离（从地面到屋顶的距离），于是创造了一个不受病虫害威胁的理想室外生产条件（图6.9）。温室的入口通道往往会有一个强力风扇向外吹风，这可以防止农民进入温室时带入害虫。

另一种有效的方发是在水栽容器的支架腿上安置一个障碍物。闪亮的铜环可以防止蜗牛和蛞蝓爬上水栽容器支架，涂抹凡士林可以预防蚂蚁。将支架腿底部放置在一个盛有水的容器内，也可以预防蚂蚁。



### 手动检查和手动移除

无论是用手、还是使用高压水流去清除受到害虫严重侵染的叶子或植物，都有助于避免和/或延迟昆虫向周围植物的传播（图6.10）。体格较大的害虫和幼虫也可以作为鱼的辅食物。对蔬菜叶片的背面直接用水管进行喷雾能非常有效的控制吸吮昆虫。事实上，水流可以杀死一些昆虫并冲走剩余的昆虫。水管喷雾对吸吮昆虫比如蚜虫和粉虱十分有效。水管喷雾法是小系统中最有效的方法之一，但这可能只是一种临时的补救措施，因为被冲走的昆虫还会回到蔬菜上。该方法会耗费大量的水，且在大型系统中使劳动强度过大。



### 诱捕

在受保护的环境中（如网棚、温室），安置在临近植物冠部上方的粘性陷阱能有效保护植物。蓝色粘黏卡可捕获成年牧草虫，而黄色粘粘卡可捕获粉虱和小鳞翅类昆虫（图6.11）。粘性陷

图6.11  
设置在温室 (b) 中的黄色粘蝇板 (a)



阱在户外使用效果较差，因为新的昆虫可以轻易地从周边区域飞来。对捕获昆虫的持续监测有助于农民采取针对性措施来减少特定害虫的出现频率。另一个控制害虫的有效方法是信息素诱饵陷阱，这种陷阱能吸引特定的雄性昆虫，从而减少该地区的交配种群。

#### 环境管理

在受保护的栽培区内，可以方便地改变光照、温度和湿度条件，从而保持这些条件处于最有利于蔬菜健康生长和不利于害虫生长繁殖的状态。例如，红蜘蛛不能忍受湿润和潮湿的条件，因此定时在蔬菜叶片上喷水可以防止红蜘蛛的侵扰。

#### 选择蔬菜

一些害虫对特定蔬菜品种的兴趣远超其他蔬菜，同样地，不同蔬菜品种对害虫的抗性/耐受性也不同。这就是混合种植可以防止害虫大规模侵袭的一个原因，因为有些蔬菜不会受影响。此外，一些蔬菜吸引并保留了更多有益的昆虫，来帮助控制害虫的数量（下面将更详细地讨论）。从当地供应商和农业推广机构选择抗性品种，也有助于减少蔬菜疾病和感染。

#### 指标型蔬菜和牺牲/捕获/陷阱作物

一些蔬菜比如黄瓜和豆类更容易被蚜虫和红蜘蛛感染，因此这些蔬菜可以用于早期检测虫害的发生。通常情况下，指标性蔬菜会被种植于大型菜园外部边缘。还有另一种方法可用于鱼菜共生中，就是在“诱捕植物”上使用生物杀虫剂，这种作物只能种植在鱼菜共生系统附近，而不是系统内部。诱捕植物（如蚕豆）会吸引害虫。这些植物可以种植在鱼菜共生系统附近的容器内，吸引害虫使之远离共生单元，之后可以使用杀虫剂来处理（如下）。这种策略既不会影响到鱼菜共生的生态系统，也不会妨碍存在于系统内的益虫。这种方法虽然不是纯粹的有机，但在大面积感染出现时，甚至可以对诱捕植物使用商业合成杀虫剂。蚕豆和喇叭花（花）可用于诱捕蓟马，蚜虫和螨虫。黄瓜也可以用来捕捉蚜虫和飞虱，而多汁的莴苣幼苗可以用来诱捕其他食叶昆虫。

### 混合种植

混合种植是种植者对植物间关系的建设性利用。例如，所有植物都会产生天然化学物质，这些化学物质是由蔬菜的叶、花和根释放出来的，它们可能吸引或排斥某些昆虫，并增强或限制邻近植物的生长速度和产量。因此，种植者要了解哪些植物种在一起能彼此皆受益，而哪些蔬菜的组合应当避免。附录2提供了选择作物时可参考的混合种植表。参考混合种植表时，相比于选择好的组合，应当更加重视避免错误的组合。有些蔬菜的根部或叶子会释放化学物质来抑制或驱赶害虫，这可以保护附近的其他蔬菜。

### 施肥

如上所述，过量氮会使蔬菜更容易被害虫侵袭，因为它们具有更多的多汁组织。通过对鱼类投饲率（见第2章和第8章）的调整实现的营养平衡，有助于蔬菜生长强壮以抵御虫害的侵袭。因此，当系统中硝酸盐水平高于120毫克/升时，应该更换一些水。

### 种植间距

高密度种植和/或植物修剪不充分会增加蔬菜间对于光照的竞争，且会促进害虫。这种竞争最终会导致蔬菜组织变得更加多汁，从而有利于害虫的钻入或致病菌的渗入，且蔬菜间狭窄的环境为害虫提供了庇护。一定要确保有足够的通风和充足的阳光穿透植物冠部。正如之前所讨论的，许多植物对阳光或避免阳光有特定的需求。通过混合种植全日照蔬菜和耐荫蔬菜，能够提高产量，而且无需冒增加蔬菜竞争和削弱植物生长的风险。在这种情形下，耐荫蔬菜可以在喜光植物冠部下方生长。通过这种方式，蔬菜更加健康，对病虫害抵御能力更强。

### 轮作

尽管鱼菜共生可采用单品种种植管理模式，不用担心土壤疲倦的问题（土壤中天然存在营养的损耗），但多季节连续种植同一种蔬菜也会对周围害虫产生选择性的影响。所以，即便是作物在短时期内的变化，都可能导致专门针对单品作物种植的害虫的急剧减少。

### 卫生

在每个收割期结束时，移除包括根在内的所有蔬菜的废弃物有助于减少病虫害的发生率。枯叶和病枝也应不断地移除。在没有网的室外条件下，建议将周围植被的量减到最小以防止害虫传播到鱼菜共生环境中。染病的植物和堆肥也应远离系统，防止污染系统。

### 化学防治

如果使用了以上介绍的物理、机械和栽培防治方法后，害虫问题仍然存在，那就可能需要使用化学防治了。在鱼菜共生中绝对不能使用合成农药和杀虫剂，因为它们会杀死鱼，而许多生物防治方法对鱼而言也是致命的。在鱼菜共生系统中，所有化学防治方法都应放在最后考虑，而且应非常谨慎地使用。如果可能的话，比如深水栽培系统，最好先将蔬菜移出系统后再来处理虫害，让使用的化学物质完全干燥。附录2列举了常见的杀虫剂和驱虫剂，以及其适用范围和它们对鱼的相对毒性。

### 生物防治

关于植物杀虫剂，一些从微生物中提取的物质对水生动物是安全的，因为它们专门作用于昆虫的构造，不会危害哺乳动物或鱼类。苏云金芽孢杆菌和球孢白僵菌是两种广泛应用于鱼菜共生和有机农业中生物。前者是一种细菌的毒素提取物，该提取物会破坏昆虫的消化道并杀死它，将其喷洒在叶片上，它可以在不危害其他益虫的同时专门杀除毛毛虫，叶蝉，蛾子或蝴蝶幼虫。球孢白僵菌是一种真菌，它会发芽并穿透昆虫的皮壳（甲壳素），使害虫脱水而亡。真菌的功效取决于喷洒出的孢子量以及最佳湿度和温度条件，是潮湿的热带地区较为理想的虫害控制剂。

### 益虫—害虫的天敌

最后，益虫是另一种防治害虫的有效方式，尤其是在温室或网棚这类受控环境中。在蔬菜生长空间中引入有益的捕食性昆虫如草蜻蛉等可以控制害虫的进一步侵扰。使用益虫的优点包括：无农药残留，不会诱发害虫抗药性，经济上可行（从长远来看仅适用于大规模运营），且生态友好。不过，要想使用这种方法成功防治害虫，还有赖于熟知每种益虫，对害虫持续监测以及在合适的时机引入益虫。另外，室外系统对益虫有天然的吸引力。许多益虫在成虫阶段多以花蜜为食，因此在鱼菜共生系统附近种上鲜花可保持益虫种群稳定，从而保持害虫的平衡。

需要强调的是，利用益虫并不能彻底消灭害虫。相反，害虫被迫处在一种捕食—被捕食的紧密联系中。这种方法已被应用于大规模鱼菜共生中，并取得了一定成果，然而对于小规模鱼菜共生而言，可能没有足够的害虫供益虫捕食，这就可能导致益虫飞走。选择益虫（见附录2）应该考虑实际操作的环境条件。

## 6.5.2 蔬菜疾病和疾病综合管理

与大多数情况下都要保持无菌条件的水栽法不同，鱼菜共生充分利用了一个复杂的微生物生态系统的优势，包括细菌、真菌和其他微生物。这些适应良好的微生物的存在使得每个系统在受到害虫或疾病侵袭时更具弹性。栽培蔬菜的好收成取决于避免病害爆发的管理，其主要关注的是环境条件，蔬菜管理中的抑制害虫（粉虱等害虫可能携带致命病毒），以及用有机的处理方法预防或治疗蔬菜病害。与IPPM相似，病害的综合管理主要依靠预防，蔬菜品种的选择和监控作为对抗病害第一道防线以及仅在必要时使用针对性治疗。

### 环境控制

温度和湿度在蔬菜的健康管理中发挥着重要的作用。每种蔬菜的病原体（如细菌、真菌或寄生虫；图6.8）都可能与其他品种不同的最适生长温度。因此，在特定区域和一年中的特定阶段，当环境条件更适宜致病菌而不是其宿主时，疾病就会发生。此外，水分对真菌孢子的萌发起着关键作用，真菌孢子萌发需要在蔬菜组织的表面有一薄层水。同样，一些细菌和真菌疾病的激活与植物表面水的存在紧密相关。所以，为了降低疾病爆发的风险，相对湿度和水分的控制是必要的。附录2包含了几种常见真菌病形成的具体环境条件。



控制相对湿度，特别是在温室鱼菜共生中，尤其重要。可以利用动力或机械通风设备来实现对湿度的控制，比如通过窗户或风扇产生的水平气流能使温差最小化和尽量减少容易发生水凝结低温点。空气在流动时不断混合，可以避免温度降至露点以下，因而水不会在蔬菜表面凝结。

蒸发的水能显著增加室内湿度，因此应通过物理覆盖水面的方法，来避免水分从温室内的鱼池和/或曝气的深水栽培水槽中蒸发。在炎热的季节，营养膜栽培系统中管道的水温会很高，这是由于管道连续暴露在阳光下。如果基质选择得当，基质床系统将是最佳的折衷方案，因为床最上的表面总是保持干燥（见第4章）。最后，相比于地面，建造在房顶的系统有气候干燥和通风良好的优势，这些优势有利于蔬菜的环境管理。

水温的控制避免真菌爆发中起着关键作用。鱼菜共生中有一种十分常见的疾病叫烂根病，这种病是由腐霉菌引起的，这是一种通过土壤传播的病原菌，稍不注意就可能经受污染的材料（土壤、泥炭和苗圃中的种苗）引入系统。与水栽培不同，鱼菜共生中有其他微生物的竞争性存在，这种真菌在一定温度下不会对蔬菜造成损害。因此将温度维持在28-30℃以下至关重要，这样就可以避免能最终导致真菌爆发的孢子的指数级萌发。

同样，也应该留意种植密度。种植过密会减少蔬菜内部通风，并增加蔬菜间的湿度。如果种植作物密度过大，患病的风险也会增加。在剧烈的光照竞争条件下，蔬菜在生长过程中无法加强细胞强度，从而导致其组织壁绵软且水分过多。蔬菜脆弱的组织缺少对害虫和/或致病菌侵扰的抗性，因而更容易患病。

### 蔬菜的选择

不同的蔬菜对致病菌有不同程度的抗性。在某些情况下，使用已知其抗性的品种是预防疾病最成功的方法。因此，选择最适于生长在特定环境中或对特定致病菌抗性很高的蔬菜是至关重要的。此外，许多种子供应商会提供针对致病菌反应不一的众多蔬菜品种选择。在特定环境下，采用自然选择的本地品种往往可以保证蔬菜健康的成长。

如果不能利用抗性品种控制某些疾病，那么在这种敏感季节转向种植其他作物是比较明智的。在腐霉菌的例子中，如果生菜的抗性品种和有益微生物不能控制感染，那么最合理的办法就是种植其他蔬菜，比如罗勒这种更能耐受致病菌和高水温的蔬菜。

种子和/或种苗必须从有信誉的苗圃中购买，这些苗圃应该采用了有效的疾病预防策略，并且可以保证种苗没有疾病。此外，要注意避免蔬菜损伤，因为在同一区域，枝杈折断、裂缝、割伤和害虫损伤经常会导致疾病爆发。

### 蔬菜营养

营养状况大大影响着蔬菜对病害的易感性，它同样也影响蔬菜利用不同机制来抵御病害的能力，包括排拒性（阻止草食动物寄居的过程）或抗性（在草食动物附着后或进食时杀死或减少它们的过程）。恰当的营养平衡不仅可以使蔬菜生长最佳，而且可以降低蔬菜对病害的易感性。尽管关于营养失调的描述前面已经讨论过了，表6.2仍会给出一些在病害发生时能发挥重要作用的营养素。

表6.2  
营养素对真菌病害的预防作用

营养素	效果
氮	过度施肥会产生更多肉质组织，更容易受到真菌侵袭。氮饥饿使发育不良的植物更容易受到条件致病微生物的攻击。
钾	加速伤口愈合，并减少霜冻伤害的影响。延缓植物的成熟和衰老。
磷	促进养分平衡，并加速植物的成熟。
钙	降低某些根和茎真菌病害的严重程度。影响植物中抵抗真菌渗透的细胞壁组成。
硅	有助于植物产生特定的防御反应，包括释放能对抗病原体的酚类化合物。

资料来源：Agrios (2004)。

### 监测—检查和排除

早期检测和干预是病虫害管理的基础。因此，蔬菜应该定期检查，这样就可以发现的感染早期迹象或观察到可能造成感染的害虫的存在。无论何时，当蔬菜表现出受损或病害初期（憔悴、枯萎病或烂根）前兆时，最关键的是去除受感染的枝杈、叶子或整株植物，以防病害在整个作物群中蔓延。另外，关于排除，重要的是对携带潜在病毒的载体（来源）进行强化控制，比如粉虱，可以在防虫网结构内种植蔬菜（见6.5.1节）。除此之外，避免土壤污染和使用消毒过的工具（如用于修剪/收割的剪刀）也有助于避免将潜在的致病菌传播到系统内。最后，监测和记录所有的症状和每种病害的进程是一个很好的做法，可以帮助制定出未来最佳的预防和治疗方法。

### 治疗—无机或化学方式

如上所述，鱼菜共生是一个复杂的生态系统，相比于水栽培，它对由土壤传播疾病的应对能力更强。然而，在的环境条件不良时，一些疾病也会发生，比如热带气候或温室里的高湿度，这些都需要加以控制。因为鱼菜共生是包含鱼类、蔬菜和有益微生物的复合系统，所以不能使用传统农业中那些标准的病害控制方式（即化学杀菌剂），这些方式对鱼有毒害作用。然而，用于有机农业的常用方法可能适用，只要这些方法不损伤系统中的鱼菜以及/或者细菌，并且不会在系统中累积、超出系统可接受的阈值。附录2中列出了一些在有机农业中应用的原理和方法，这些方法同样可用于鱼菜共生环境中，以消除和避免不同的病害。总而言之，使用这些方法成功控制病害依赖于多种策略的结合，以产生对特定致病菌的协同抑制作用。

### 治疗—生物方法

在鱼菜共生系统中可以使用一些生物控制剂，比如木霉菌，白粉菌和枯草芽孢杆菌，它们属于培养的微生物，看用于抵御一些病害。这些生物制剂可以用植物叶部或根部，它们可保护植物抵御最常见的由土壤传播的病害，包括霜霉病、白粉病和一些细菌引起的疾病，特别是木霉菌已被证实可有效防治腐霉菌和绝大多数由土壤传播的致病菌，而白粉菌可以替代任何治疗白粉病的无机或化学方法。就木霉菌而言，其孢子可以在播种时分布到培养基质上，有益真菌从种苗阶段就能为植物提供保护。农户在使用前应先向生产商和分销商咨询产品信息，以确定处理特定病害的最佳控制方案。

关于特定蔬菜病害的更多详细信息，包括鉴别、易感性和患病率等，请参阅延伸阅读部分。

## 6.6 种植设计

种植床布局有助于在可用空间内实现蔬菜产量的最大化。在种植前需明智选地择栽培的蔬菜品种，并牢记每种所选蔬菜所需的空间大小和适宜生长的季节。种植园区设计的最佳做法是在图纸上规划种植床布置布局，这样有助于更好的理清所有的东西。重要的注意事项包括：蔬菜的多样性，蔬菜的搭配和物理相容性，营养需求，市场需求和方便进入。例如，较高的作物（如西红柿）应种在基质栽培中最易触及的地方，这样更便于收获。

### 鼓励蔬菜种植多样性

一般来说，种植不同的作物及品种为种植者提供了一定程度的保障。所有蔬菜都可能会被某些病虫害侵扰。如果只种植一种作物的话，发生严重感染或流行病的几率就会大大增加，这将使整个系统失衡。因此，鼓励种植者们在小规模鱼菜共生中种植多样化的蔬菜（图6.12）。

### 交错种植

如前所述，交错种植十分重要。这种做法可以实现不间断的收获和重新种植，这有助于维持系统内的营养平衡。同时它也为家庭餐桌和市场提供了稳定的蔬菜供应。请记住有些蔬菜可以生产可以在整个季节中不断收割果实或叶子，比如色拉用叶菜类、罗勒、香菜和西红柿，而其他蔬菜只能一次性全部收割，比如甘蓝、莴苣和胡萝卜。如果想要实现交错种植，就应该始终保证种苗的供应（蔬菜苗圃的建立将在第8章中讨论）。

### 基质床空间最大化

关于种植空间最大化，不仅应该考虑表面积，还应该考虑作物生长的垂直空间和时空。例如，就时空而言，在生长期较长的作物（茄子）之间可种植生长期短的蔬菜（沙拉蔬菜）。这种方法的好处是，先收割绿叶蔬菜，这样可以为后期茄子的成熟提供更多的生长空间。如果在大型果菜之间继续重植嫩的蔬菜如莴苣，则大型果菜可以为它们提供天然的遮荫条件。一定要确保在大型作物成熟的过程中，这些遮荫作物不会被大型作物完全控制。有些蔬菜比如黄瓜，是天然的攀爬者，它们可以爬上爬下，甚至爬出基质床。这就需要我们使用木棍或细绳来支撑这些蔬菜的攀爬，这意味着在基质栽培中创造出了更多的生长空间（图6.13）。鱼菜共生的一个优势是蔬菜易于移位，只要把蔬菜的根与生长基质分离，再将蔬菜安置到另一个地方就可以。

图6.12  
两个种植了多种蔬菜的培养床示例



图6.13  
利用藤蔓作物(a)和交错种植(b)来最大化培养床空间的示例



### 6.7 本章总结

- 鱼菜共生相对于土壤农业的主要优势是：(i)不浪费肥料；(ii)用水量减少；(iii)更高的生产力/质量；(iv)可以利用非耕地；(v)避免了耕作、除草和其他传统农业劳动。
- 植物需要阳光、空气、水和养分才能生长。必需的常量营养素包括：氮、磷、钾、钙、镁和硫；微量营养素包括铁、锌、硼、铜、锰和钼。需要通过补充肥料或增加矿化作用来提供限制性养分和解决营养不足问题。
- 对植物来说最重要的水质参数是pH值，因为它会影响必需营养素的可用性。
- 大多数蔬菜的适宜温度范围是18-26℃，尽管许多蔬菜是季节性的。冬季蔬菜需要8-20℃的温度，夏季蔬菜需要17-30℃的温度。
- 绿叶草本植物和蔬菜在鱼菜共生中效果极佳。大型果蔬也适用，包括西红柿、辣椒、茄子、黄瓜、豌豆和豆类。块根作物和块茎种植的比较少，需要特别注意。
- 综合生产和虫害/病害管理通过物理、机械和养殖等过程来减少虫害/病原体，然后在必要时和有针对性的应用和使用对鱼类安全的化学和生物处理。
- 智能种植设计可以最大化空间，培育有益昆虫并提高产量。
- 交错种植可提供持续的收获、持续的养分吸收和更稳定的水分。

## 7. 鱼菜共生系统中的鱼类

本章第一节涉及鱼类解剖学和鱼类生理学的相关内容，包括它们如何呼吸、消化食物和排泄废物。介绍了饲料转化系数（FCR），该指标对所有水产养殖产业都很重要，它指的是鱼类将饲料转化为体重的效率。接着，专门讨论了鱼类生命周期和繁殖，因为这关乎育苗和种群维持。随后，讨论了鱼菜共生系统中鱼的养殖管理和鱼病问题，涵盖水质、氧气、温度、光照和营养。第三部分简要介绍了几种适合鱼菜共生养殖的经济水生动物品种，重点介绍了罗非鱼、鲤科鱼类、鲶、鳊、鲈和对虾（图7.1）。本章最后一部分讲述了鱼体健康、常见鱼病和鱼病预防措施。

图7.1  
在鱼菜共生系统中生长的罗非鱼幼鱼(a)和成鱼(b)



### 7.1 鱼类解剖学、生理学和繁殖

#### 7.1.1 鱼类解剖学

鱼类是一个多样的脊椎动物类群，有鳃，生活在水中。鱼类通过鳃从水中获取氧气，同时释放二氧化碳并代谢废物（图7.2）。鱼类是变温或冷血动物，即指其体温随生活水温的改变而改变。鱼具有和陆生动物几乎相似的器官，但它们还有鳔。鱼鳔位于鱼腹部，是一能充满空气的囊状物，鱼鳔能让鱼类在水中漂浮。大多数鱼类用鳍游动，身体呈流线型，可在水中畅行无阻。通常，鱼类的皮肤覆有保护作用的鳞片。鱼类多为卵生。鱼类拥有发达的感觉器官，如视觉、味觉、听觉、嗅觉和触觉。此外，大多数鱼类具有侧线，能感受水中压力的变化。有些种群甚至可以探测由猎物心跳产生的电场。但是，鱼类的中枢神经系统远不如鸟类和哺乳类动物发达。

#### 主要的体外解剖特征

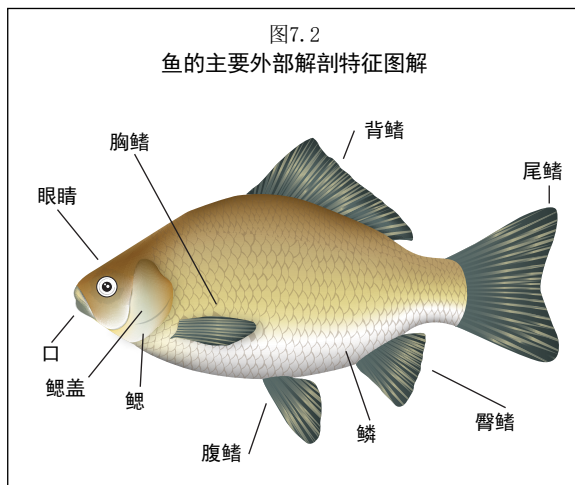
眼—鱼类的眼睛与陆生动物（如鸟类和哺乳类动物）极为相似，只是其晶体更像球体。一些鱼类，比如鲈鱼和罗非鱼，是依靠视觉发现猎物的，而其他品种则主要靠嗅觉。

鳞—鳞片为鱼体提供保护，就像一个遮蔽屏障，可抵御捕食者、寄生虫、疾病和物理伤害。

口和颌—鱼类通过口摄入食物，并在食道中分解。通常，鱼类的口相对较大，可以咽下大型的猎物。有些鱼类有牙齿，有些牙齿在舌骨上。鱼类呼吸时将水带入口中，并通过鳃盖排出体外。

鳃盖/鳃盖骨—这是覆盖在鳃的外部的结构，为纤弱的器官提供保护。鳃盖通常是一块骨板，可以看到当鱼呼吸时它会一开一合。

泄殖孔—这是位于鱼体腹部，靠近尾巴处的一个对外开孔。从消化道产生的粪便和尿液，经过肛门，最后通经泄殖孔排出体外。此外，泄殖孔也是生殖细胞（精子和卵子）排出的地方。泄殖孔与泄殖腔有类似的功能。



鳍—偶鳍，即胸鳍和腹鳍，都位于鱼体腹部，提供机动性和转向控制。奇鳍，即背鳍和臀鳍，分别位于鱼体的背部和腹部，提供平衡、稳定性和转向控制。尾鳍位于尾部反向末端，主要为鱼体提供运动的动力。鳍通常具有锋利的棘，有的还带有毒囊，是防御器官。

### 呼吸作用

鱼类用于头部两侧的鳃呼吸氧气。鳃由鳃丝构成。每个鳃丝包含一个血管网，为氧气和二氧化碳的交换提供大的表面积。鱼类吸入富含氧气到口中，然后从鳃中排出的方式进行气体交换，同时释放出二氧化碳。在鱼类的自然栖息地中，氧气有两个来源：水生植物通过光合作用提供的氧气；通过水体运动，比如风和浪，将空气中的氧气溶解在水中。如果没有充足的溶氧，大多数鱼就会窒息甚至死亡。这就是充分的增氧对水产养殖成功至关重要的原因。当然，有些鱼类具有辅助呼吸器官，类似于肺，让它们能离水呼吸。胡子鲶科的鲶鱼作为水产养殖的重要品种，就属于具有辅助呼吸器官的鱼类。

### 排泄

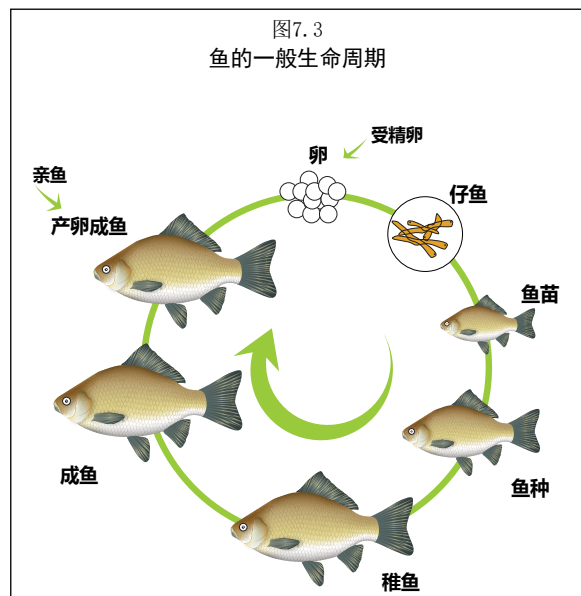
含氮废物是鱼类消化饲料新陈代谢的产物。这些废物是蛋白质分解以及氨基酸再利用后产生的。这些含氮废物对机体有毒必须排泄掉。鱼类有三种方式排出这些废物。第一种，氨氮通过鳃扩散到水中。当周围水体中氨含量很高，那氨气就不易扩散，这将导致血液中的氨不断累积，从而损伤鱼体内部器官。第二种，鱼体产生大量稀释的尿液，并通过泄殖孔排出体外。有些含氮废物（蛋白质，氨基酸，氨氮）也存在于粪便中，它们可通过泄殖孔排出。第三种，鱼类利用肾过滤血液并浓缩废物来排泄。排尿是一个渗透压调节的过程，有助于鱼类保持其含盐量。淡水鱼不需要喝水，甚至需要经常排出水分来维持生理平衡。

### 7.1.2 鱼类的繁殖和生命周期

几乎所有的鱼类都是雌鱼产卵并在体外发育；事实上，在所有已知鱼类中，97%是卵生。卵子与精子，鱼类生物学上称精液，的受精过程也大多发生在体外。雄鱼和雌鱼都将性细胞排放在水里。一些种类保留着筑巢习性，亲鱼护幼或保护受精卵，但大多数种类不会保护受精卵，只是简单地排放于水中。罗非鱼是一个典型的有护幼行为的实例，不仅花时间筑巢，而且还在雌鱼口中孵化幼鱼。鱼类的生殖器官包括产生精液的精巢和产生卵子的卵巢。有些鱼是雌雄同体的，既有精巢又有卵巢，发育同步，或者各自处于生命周期的不同发育阶段。

在本书中，一般说来，鱼类经过以下生命阶段：受精卵、水花、仔鱼、稚鱼、成鱼和性成熟期（图7.3）。各阶段的持续时间取决于鱼的品种。受精卵阶段常常相当短暂，和水温紧密相关。在这个阶段中，受精卵十分脆弱且易受到生理性损害。在养殖条件下，水体中要含有充足的溶氧，且增氧方式必须温和。消毒杀菌和良好孵化场管理可以防止孵出之前的受精卵受到细菌和真菌感染。一旦受精卵孵化，便称之为水花。这些小鱼通常还未成形，带有一个大的卵黄囊，外观上看和仔稚鱼与成鱼有很大不同。卵黄囊提供幼鱼营养，吸收过程贯穿整个水花阶段，这个过程长短取决于水温。在水花阶段末期，卵黄囊被完全吸收，幼鱼开始更活跃地游动并进入仔鱼期。

在仔鱼和稚鱼期，鱼开始摄食固态食物。自然环境下，这种食物通常是水中的浮游生物和固着藻类。这些时期的鱼摄食量大，每天的摄食量大概是体重的10%。随着鱼的生长，每天的摄食量占体重的百分比逐步下降。不同品种、不同的养殖户，对仔鱼、稚鱼和成鱼各阶段的划分不尽相同。通常，仔鱼、稚鱼和仔稚鱼需要分开饲养，以防止大个体鱼吞食较小个体鱼。成鱼阶段是鱼菜共生系统养殖的阶段，因为这个阶段鱼类摄食、生长和排泄的废物能为植物提供营养。大多数鱼都是在这个成鱼期捕捞收获。如果鱼在这个阶段后继续生长，就进入性成熟期了，其生长会因摄入的能量用于性腺发育而变得缓慢。有些成熟的鱼类需要养到繁殖阶段，并完成全部生命周期，这些鱼常被称作亲鱼。罗非鱼繁殖能力极强，经常发生在小规模系统中过度繁殖现象。鲶、鲤和虹鳟鱼则需要更加细心地管理，最好从信誉好的供应商那里购买鱼鱼。有关水产养殖育种技术的细节讨论不在本书的范围内，请查阅延伸阅读来获取有用的信息。



## 7.2 鱼饲料和营养

### 7.2.1 饲料的组分和营养

鱼体生长和保持健康需要均衡的蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素和矿物质。这种均衡饲料被称为全价饲料。强烈推荐小规模的鱼菜共生系统使用商品化的鱼颗粒饲料，尤其是在开始阶段。在难以获得成品饲料的地方也可以自制鱼饲料。当然，这些自制的饲料需要特别关注，因为它们通常可能不是全价饲料，而缺乏某些必需的营养物质。关于更多自制饲料的信息可以参见9.11节和附录5。

蛋白质对鱼类体重增加是最为重要的营养成分。在成鱼期，杂食性鱼类（比如罗非鱼和鲤）饲料需要的蛋白质含量为25-35%，而肉食性鱼类饲料的蛋白质需求高达45%，才能满足最佳生长水平。通常，幼鱼（仔鱼和稚鱼）比成鱼饲料需要的蛋白质含量更高。蛋白质是所有生命体结构和酶的基础成分。蛋白质由氨基酸组成，有些可由鱼体自身合成，另一些却必需从食物中获得。因而也被称作必需氨基酸。在十种必需氨基酸中，蛋氨酸和赖氨酸通常是不足的，需要在一些以植物性原料为主的饲料中进行添加。

油脂是脂肪，是鱼类饲料所必需的高能量分子。鱼油是鱼饲料中常见的成分。在两类特殊的脂肪中，鱼油含有较高的不饱和脂肪，即欧米伽-3和欧米伽-6，它们对人体健康很有益。养殖鱼类健康油脂的含量取决于所使用的饲料。

碳水化合物包括淀粉和糖类。饲料中这一成分的原料不贵且可以增加饲料的能量值。淀粉和糖类也有助于将饲料黏合成颗粒。然而，鱼类并不能很好地消化和代谢碳水化合物，从而导致很多能量损失。

维生素和矿物质对鱼体的生长和健康也很必要。维生素是有机分子，由植物合成或人工合成而成，对个体发育和免疫系统功能很重要。矿物质是无机物元素。这些矿物质对鱼类合成自身成分（骨骼）、维生素和细胞结构是必需的。有些矿物质也会参与渗透压的调节。

### 7.2.2 鱼的颗粒饲料

鱼颗粒饲料有很多规格，直径从2-10毫米不等（图7.4）。颗粒饲料规格的选择取决于鱼的大小。仔鱼和稚鱼嘴小，不能吞入大的颗粒饲料，然而大鱼如果摄食的颗粒太小，则会浪费能量。如果可能的话，饲料应该按鱼的生长阶段来购买。或者，大颗粒饲料可以研碎为粉末和碎屑，作为仔鱼和稚鱼料。另一种方法是始终使用中等规格的饲料（2-4毫米）。这种方法可使鱼类从稚鱼期到性成熟期都吃同样规格的颗粒饲料。

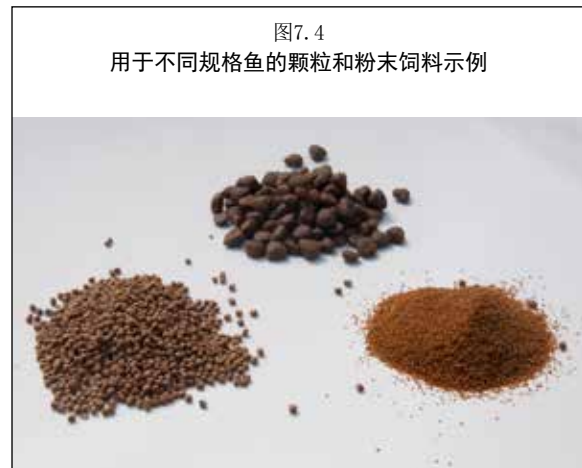
根据鱼的摄食习性，可设计成浮于水面或沉在水底的颗粒饲料。了解特定鱼类的摄食习性并提供准确类型的饲料是很重要的。浮性饲料的优势是容易判断出鱼的摄食情况。养殖者经常利用颗粒饲料投喂时间来驯化鱼类进食；然而，有些鱼却不会改变它们的摄食习惯。

饲料应该保存在避光、干燥、凉爽和安全的环境下。鱼饲料在温暖潮湿的环境下会腐烂，并被细菌和真菌分解。这些微生物会释放危害鱼类的毒素；不应给鱼类喂食已经变质的饲料。鱼饲料不应该储存时间太长，应购买新鲜的鱼饲料，并尽可能及时使用，以保持饲料的营养品质。



### 避免过度投喂

在鱼菜共生系统中不应留有残饵。因过度投喂而产生的残渣会被异氧细菌分解，此过程会消耗系统中的大量氧气。此外，分解饲料将增加氨氮和亚硝酸盐的浓度，会让系统中的水在相对较短时间内达到毒性水平。最后，残饵还会阻塞机械过滤器，导致系统中水流变缓，以及缺氧。一般说来，鱼会在30分钟内吃完它们所需的食物。鱼进食完后就需要清除残饵。如果发现残余饲料，下次应减少投喂量。8.4节将进行更多有关投喂方法的讨论。



### 7.2.3 投饲率和鱼的饲料系数

饲料系数是指动物将食物转化为体重的效率。该指标解释了动物增加一单位的体重需要多少单位的饲料——饲料系数适用于所有动物，并且为比较饲养动物的效率和成本提供了便利。一般而言，鱼类是家养动物中饲料系数最好的。在良好的条件下，罗非鱼的饲料系数为1.4-1.8，也就是说罗非鱼增加1千克的体重需要1.4-1.8千克的饲料。

在小规模鱼菜共生系统中，没有必要太注重饲料系数，但在某些情况下有参考意义。当改换饲料时，有必要考虑使用不同成本的饲料后鱼体的生长情况。此外，当计划新建一个小型的商业化鱼菜共生系统时，有必要计算饲料系数，将其作为商业开发计划和/或财务分析的一部分。即便不涉及到饲料系数，作为管理良好规范，需要定期打样鱼的体量，以确定它们长势良好，同时平衡各种系统的运行情况（图7.5）。这也为收获时间和产量提供了更精确的预期生长率。对于所有鱼类的操作而言，称重最好在避光情况下进行，避免使鱼产生应激反应。表3列出了鱼体称重的简单步骤。称量在同一养殖池中同龄鱼的重量，相比于生长在不同环境条件下的鱼更简单，因为测量可提供相对更可靠的平均值。

表3  
鱼体称重的简要步骤

- 1) 将小桶（10升）中加鱼菜系统中的水。
- 2) 用秤称量桶和水，记录净重。
- 3) 用鱼网捞5条大小平均的鱼，花几秒钟排干捞鱼网中过多的水，把鱼放入桶中。
- 4) 再次称重记录总重量。
- 5) 通过从总重中减去净重计算鱼体总重量。
- 6) 用这个数字除以5得到每条鱼的平均重量。
- 7) 视情况重复1-6步。尽量测量10-20%的鱼（尽可能不要重复），以得到精确的平均值。

图7.5  
使用计重秤对样本鱼进行称重



定期的称重将提供鱼的平均生长速率，把上文两次计算得出的平均鱼体重相减即可得到平均生长速率。饲料系数是指在一定阶段内用鱼消耗的饲料总重量除此阶段鱼增加的体重，注意两个数值需是相同的重量单位（比如千克、克）。

饲料总重量/生长总重量=饲料系数

饲料总重量可以通过统计每天的饲料投喂量来获得。生长总重量可通过鱼池中鱼的总数量乘上平均生长速率获得。

在成鱼期，大多数养殖鱼类（本书提到的）的每日投喂率是其体重的1-2%。通常，100克的鱼每天吃1-2克鱼颗粒饲料。同时观察鱼类摄食率和饲料系数，以确定鱼的生长率和食欲，可以协助保持整个系统的平衡。

### 7.3 养殖鱼类的水质

第二章讨论了鱼菜共生的水质。这里再次列出几个最重要的水质参数，并在表7.1中进行了总结。

#### 7.3.1 氮

氨和亚硝酸盐对鱼类都有很大的毒性，有时被称为“看不见的杀手”。通常认为，氨和亚硝酸盐浓度高于1毫克/升就具有毒性，但其任何浓度都会引起鱼类应激反应和健康不适。因此，在任何季节的鱼菜共生系统中，二者的检测含量都应该接近于零。生物过滤器能将这些有毒化学物质转化成毒性较小的形式。一旦检测到有毒物质的存在，就表明此系统的生物过滤器过小，与系统不匹配；或者生物过滤器功能异常。氨在温暖的条件下毒性更大；如果pH很高的话，任何浓度的氨都很危险。水质检测的氨指标称作总氨氮（TAN），检测包括氨的两种存在形式（离子态和非离子态）进行。氨和亚硝酸盐中毒的常见症状为鱼体、鳃和眼上出现红色条纹，刮擦池壁，浮头，嗜睡和死亡。另外，硝酸盐对于大多数鱼的毒性较小。大多数物种能忍受的浓度超过400毫克/升。

#### 7.3.2 pH

鱼类可以忍耐相当广泛的pH范围，但最适范围是6.5-8.5。短时间内pH的大幅变化（12-24小时内改变0.3）会出现问题，甚至对鱼体来说是致命的。因此，要尽可能地保持pH值稳定是很重要的。建议用碳酸盐缓冲以防止pH出现大幅度变化。

#### 7.3.3 溶氧量

总的来说，溶氧对于鱼菜共生系统是多多益善。在养殖实践中，大多数鱼需要4-5毫克/升的溶氧量。大多数养殖户没有办法检测养

殖系统的含氧量，因为数字式溶氧仪很昂贵，而成本较低的水族式测试盒尚未普及。虽然如此，遵循如下建议还是能确保充足的溶氧量。不要放养太多的鱼，每1000升的水体不要放养超过20千克的鱼。动态水流曝气，阶梯式水瀑回流到系统内，有助于向水中增氧，增加溶氧量。如有条件，应使用气泵。建议为每立方米水体每分钟5-8升充气速度，把气石放置在养鱼池中至少两个不同位置上。放养密度高的系统则需要更多的增氧气石。避免在水体中发生太大的搅动水流，或者其它扰乱鱼类游动的方式。

鱼缺氧时的一个明显现象是鱼头露出水面呼吸。这个行为称作浮头，此时鱼类贴近水面游动，靠嘴吸入空气。这种紧急情况需要得到及时的处理。准备备份的增氧系统对鱼菜共生系统来说十分有意义，可以在断电和设备故障时使用；在水产养殖业中，简易备用电池气泵拯救了无数的鱼类。

### 7.3.4 温度

鱼类是冷血动物，因此，它们适应大范围水温波动的能力较低。在恰当的耐受范围内，一个稳定的水温会让鱼处于最佳状态，且有助于鱼的快速生长，形成高效的饲料转化率。此外，最佳温度（因此应激反应更小）也能减少患病风险。隔热装置、加热器和冷却机都有助于保持水温稳定，不过这些设备在能耗昂贵的地区使用成本很高。最好是养殖适应当地环境的鱼类品种。养殖户应该了解每种鱼的最适温度范围。通常，热带鱼类最适合生长温度是22-32℃，而冷水鱼类最适生长水温是10-18℃。与此同时，有些温水鱼类具有广泛的温度适应范围，比如鲤和大口鲈鱼可耐受水温范围为5-30℃。

### 7.3.5 光照和避光

养鱼池的光照应减弱到防止藻类生长的水平。然而，也不应该处于完全黑暗的环境下，因为鱼类从完全黑暗的环境下突然掀开暴露在强光下时，会产生恐惧和应激反应。较为理想的条件，透过遮蔽物后间接地接受自然光，这样既能阻止藻类生长，也能避免鱼类产生应激反应。同时推荐在黑暗条件下进行鱼类的抓捕、收获、分拣，以降低鱼的应激反应至最小。

表7.1

鱼菜共生中常用的七种经济水生物种的水质参数、饲料需求和预期生长率

品种	温度 (°C)		总氨氮 (毫克/升)	亚硝酸盐 (毫克/升)	溶解氧 (毫克/升)	饲料粗蛋白含量 (%)	生长率 (成长阶段)
	适温范围	最适温度					
鲤鱼	4-34	25-30	<1	<1	>4	30-38	600克, 9-11个月
尼罗罗非鱼	14-36	27-30	<2	<1	>4	28-32	600克, 6-8个月
斑点叉尾鲴	5-34	24-30	<1	<1	>3	25-36	400克, 9-10个月
虹鳟	10-18	14-16	<0.5	<0.3	>6	42	1000克, 14-16个月
鳊鱼	8-32	20-27	<1	<1	>4	30-34	750克, 9-11个月
罗氏沼虾	17-34	26-32	<0.5	<2	>3	35	30克, 4-5个月
澳洲肺鱼	18-34	26-29	<1	<1	>4	38-45	400克, 9-10个月

## 7.4 鱼类品种选择

已经有几种鱼在鱼菜共生养殖中表现出优良的生长率。适合鱼菜共生的品种包括：罗非鱼、鲤、鲢、草鱼、尖吻鲈、宝石鲈、鲶、虹鳟、鲑鱼、墨瑞鳕和大口鲈鱼。这些鱼类在世界各地广泛分布，它们在鱼菜共生单元中长势良好，在接下来的几节中将详细讨论。在设计鱼菜共生系统设备时，必须认识到从当地有信誉的供应商那里获得健康鱼种的重要性。

有些养殖鱼类已被引种到原产地以外的地方，像罗非鱼和鲤，还有鲇形目鱼类。这些品种往往是通过水产养殖进行引种的。因此，了解当地对引进新品种的管理规定也很重要。应该禁止将外来物种（也即非本地物种）放养到当地的自然水体中去。应当联系当地技术推广员，以获取更多关于入侵物种和适合养殖的当地品种的信息。

### 7.4.1 罗非鱼

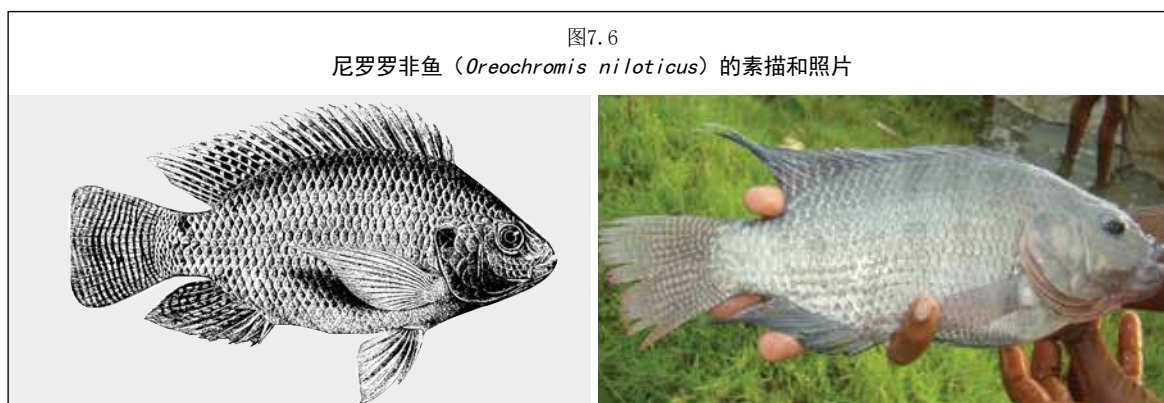
主要经济品种：

奥利亚罗非鱼 (*Oreochromis aureus*)

尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)

莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*)

这三种鱼的各种杂交品种。



#### 简介

罗非鱼原产于东非，是全球水产养殖系统中最受欢迎的淡水品种之一（图7.6）。它们可以抵御很多病原体 and 寄生虫，以及抓捕应激反应。它们能耐受较宽的水质变化范围，并且在较高水温下生长迅速。虽然罗非鱼能适应短时间内的温度极限14℃和36℃，但在水温17℃以下基本不进食，不长个儿，12℃以下就会死亡。最适的生长水温范围是27-30℃，这能确保罗非鱼保持较高的生长率。因此，在温带气候地区中，除非给水加温，否则罗非鱼将无法度过寒冷的冬天。在温带地区气候中解决养殖问题的一个方法就是采用轮养法，即在温暖的季节养殖罗非鱼，而在冬季放养鲤或虹鳟鱼。合适条件下，罗非鱼可以在6个月内从幼鱼（50克）长成成鱼（500克）。

罗非鱼是杂食动物，即它们同时吃植物性和动物性饲料。罗非鱼有许多可选用的饲料，这将在9.1.2节中讲述。罗非鱼可投喂浮萍、水蕨、辣木和其他高蛋白植物，但饲养必须确保全饲料（即全价营养）。罗非鱼也能吃掉其它的鱼，尤其在它们幼年时期。在罗非鱼繁殖时，应

该按大小将它们分开放养。体长15厘米以下的罗非鱼常吃更小的鱼，当体长大于15厘米时较大个体，通常游泳速度变慢，也停止残食现象。

罗非鱼在中小型的鱼菜共生系统中很容易进行繁殖。更多信息参见延伸阅读，以下将做一个简要的介绍。一个方法是在使用大型鱼菜共生系统养殖成鱼。然后用两个单独的较小的养鱼池分别放养亲本和仔鱼。小型独立的鱼菜共生系统可以用来管理两个养鱼池的水质，但在低放养密度下则没有必要。亲鱼是从成鱼群体中手工挑选的、适合繁殖的健康个体。性成熟罗非鱼随时可以繁殖，尤其在温暖、氧气充足、藻类丰富和有遮挡安静的环境下。水底岩石基质有助于建造巢穴。最佳的雌雄比例也有利于繁殖；通常，2条雄鱼配6-10条雌鱼产卵受精。罗非鱼受精卵和仔鱼即可在雌鱼口中出现，也可在水面游动。这些仔鱼需要转养在鱼苗池中养殖，以避免大的鱼苗会残食它们，等到长到足够大后把它们放进主养殖池养殖。

罗非鱼具有侵略性，尤其在低养殖密度下，因为雄鱼有领地意识。因此，在成鱼池中的鱼应保持高密度养殖。有些养殖户在成鱼池中只养殖雄鱼；相同年龄的雄鱼长得更快更大，因为雄鱼不用转移能量来发育卵巢，也不用像雌鱼那样因产卵而停止进食。此外，全雄鱼池的生长率在仔鱼和稚鱼阶段均保持着对食物的竞争不减少，而在性成熟的雄鱼和雌鱼混养池则会不断产生上述问题。单性罗非鱼可通过激素处理或人工挑选来获得。第一种方法是在鱼苗孵出后的三周内给仔鱼投喂富含睾丸酮的饲料。血液中高含量的激性激素会引发雌性仔鱼性反转。此技术在亚洲和美国普遍应用，但欧洲除外（因不同的管理规定），这项技术可以让养殖户在池塘放养相同规格的雄性罗非鱼，以避免出现产卵和仔稚鱼大小不同而产生的食物竞争引起的生长缓慢问题。

人工性别挑选是指当鱼体长成大约40克或更大时，通过观察它们的生殖乳突把雌鱼和雄鱼分离出来。鉴别过程直接简单。在泄殖孔区域，雄鱼只有一个开口，而雌鱼有两条细缝。雌鱼的泄殖孔更像“C”形，而雄鱼的生殖孔更接近三角形。随着鱼的生长，第二性征也有助于鉴别雌雄鱼。雄鱼的头部更大，并有一个更明显的前额区域，背部隆起，整体更像正方形。雌鱼线条流畅，头部较小。此外，鱼的行为特征也能表明性别，因为雄性鱼会驱逐其他雄性鱼，然后向雌性个体求偶。人工性别鉴定可以在数量较少的鱼中完成，因为这不会花费很长时间。然而，在大规模系统中，由于养殖的鱼量太多，而可能不实用。虽然如此，混合性别罗非鱼仍可以在大养殖池中进行，一直养到第五个月达到性成熟。虽然雌性个体生长较慢，在性成熟之前是不会产卵的，且可以在早一些的阶段收获（200克或更大些），留下雄鱼继续生长。

#### 7.4.2 鲤科鱼类

主要经济物种：

鲤鱼 (*Cyprinus carpio*)

鲢鱼 (*Hypophthalmichthys molitrix*)

草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)



### 简介

鲤科鱼类，原产于欧洲东部和亚洲，是目前在全球范围内养殖最广泛的鱼类物种（图7.7）。和罗非鱼一样，鲤科鱼类能够生长在对相对较低的溶氧水平和较差的水质中，且对水温有更大的耐受范围。鲤科鱼类可以生存在温度低至4℃以及高至34℃的水温环境中，这使它们成为温带和热带地区鱼菜共生系统的理想选择。当温度在25℃和30℃之间时，鲤科鱼类的增长速率最高。在这样的条件下，它们可以在不到一年（10个月）内从鱼苗长到可以收获的规格（500–600克）。当温度低于12℃时，生长率显著降低。雄性鲤科鱼类个体比雌性小，但野生条件下仍然可以生长达到40千克体重，体长1~1.2米长。

在野生条件下，鲤科鱼类是以各种底层饵料为食的杂食性动物。它们喜欢吃无脊椎动物如水生昆虫、昆虫幼虫、蠕虫、软体动物以及浮游动物。一些食草性鲤科鱼类也吃秸秆、叶片、水生和陆生植物的种子，以及腐烂的植物。养殖鲤科鱼类可以很容易地驯化其吃漂浮颗粒饲料。

鲤科鱼类鱼苗最好从孵化场和专用的育种中心获得。相比于罗非鱼，获得鲤科鱼类鱼苗的过程更为复杂，因为雌性鲤科鱼类产卵需注射激素来诱导，这是一种需要掌握更多有关鱼类生理学知识技术和经验的积累。

鲤科鱼类易于混养，已经有几个世纪的传统。它将草食性鱼类（草鱼），食浮游生物鱼类（鲢）和杂食性/腐食性鱼（鲤）一起，分布于各个食物生态位。在鱼菜共生系统中，将这三个品种组合，或至少是将草鱼和鲤组合，能够更好地利用食物，因为前者可食颗粒和作物麸皮，后者可将沉积在池底的食物残渣吃掉。在其他作物残茬中，根系的补充，也能丰富鱼菜共生系统中的营养物质，因为鱼的消化物以及矿化产物会将大多数微量营养元素返回到植物中。



### 其它鲤科鱼类（观赏鱼）

金鱼或锦鲤主要作为观赏鱼而不是食用鱼（图7.8）。这些鱼对水质条件也有很高的耐受性，因此它们也是鱼菜共生系统中鱼类养殖的较好选择。观赏鱼可以高价出售给个人和水族馆商店，价格比食用鱼高出不少。锦鲤和其他观赏鱼是素食鱼菜共生养殖者的流行之选。

除了气候特征以及鱼的管理问题，鱼菜共生中鲤科鱼类品种的选择应遵循成本效益分析，该分析考虑养殖便利性，包括养殖多刺的，因而低价的鱼是否合算。

### 7.4.3 鲶

#### 主要经济物种

斑点叉尾鮰 (*Ictalurus punctatus*)

非洲鲶 (*Clarias gariepinus*)



#### 简介

鲶是耐受力极强的一类鱼，可以耐受溶氧量，温度和pH的骤变（图7.9）。它们也能抵抗很多疾病和寄生虫，这使得它们成为水产养殖的理想品种。鲶可以适应高密度养殖，高达150kg/立方米。这样的养殖密度要求综合配套的机械过滤和固体分离器，部分包括在本书的讨论范畴。非洲鲶是胡子鲶科众多品种中的一种。这些种类有辅助呼吸器官，从而在溶氧量突然或急剧下降的情况下也不会死亡，受到水产养殖和鱼菜共生系统的欢迎。对于初学者或想在电力供应不可靠的地方尝试鱼菜共生的人们来说，鲶鱼是最容易上手的品种。鲶对低溶氧和高氨氮浓度耐受力很高，只要提供充足的机械过滤装置，鲶就可以在高密度下养殖。关于废物处理，值得注意的是，鲶产生的悬浮固体废物比起罗非鱼量少且更易溶解，这也能更大程度促进矿化作用。与罗非鱼一样，水温越高鲶生长越快，最适宜生长水温为26℃，但非洲鲶在20-22℃以下停止生长。鲶在生理学上与其它鱼不同，因为它们可以耐受高浓度的氨氮，但最新的研究表明，超过100毫克/升的硝酸盐浓度可能会降低它们的食欲，这是由于它们血液中高浓度的硝酸盐会引起体内调控系统的反应。

鲶是底栖鱼类，一般占用水池底部生境，这对高密度养殖带来了一些困难，因为它们不会按水层分散活动。在过度拥挤的水池中，鲶的鳍棘可能会互相伤害。养殖鲶时，比起使用较深的水池来，更推荐使用横宽较浅的容器，从而使得鱼在水底可以分散开来。或者，很多养殖户将鲶和其他鱼类一起混养，以利用上层空间，通常与蓝鳃太阳鱼、鲈鱼和罗非鱼混养。鲶鱼可以被驯化吃浮性颗粒饲料。

#### 7.4.4 鲑鳟鱼类

主要经济物种：

虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)



#### 简介

鲑鳟鱼类是肉食性的冷水性鱼类，属于鲑科（图7.10）。所有鲑鳟鱼类都需要比之前提到的其他物种温度更低的水，温度在10–18℃之间，最适温度为15℃。在北欧或温带气候地区，尤其是冬天，鲑鳟鱼类是鱼菜共生的理想鱼类。当温度超过21℃时生长率显著降低，即便溶氧量很充分，此时鲑鳟鱼类可能无法有效地利用溶氧量。相较于鲤科鱼类和罗非鱼，鲑鳟鱼类需要高蛋白饲料，也就是每单位鱼饲料都需要在养分原料中添加更多的氮。这样在维持鱼菜共生系统平衡的同时需要更多的叶菜类种植区域。鲑鳟鱼类对盐的耐受性很强，很多种类能在淡水、半咸水和海水环境中存活。总而言之，相比罗非鱼和鲤科鱼类，鲑鳟鱼类需要更好的水质，对溶氧量和氨含量的要求更高。要想成功养殖鲑鳟鱼类，还需要频繁进行水质监控，同时还需要气泵和水泵备用系统。

虹鳟是水产养殖系统中养殖最普遍的鲑鳟鱼类，分布于美国、加拿大、中北欧（挪威，英属苏格兰）的海水网箱或流水式养殖池和池塘、南美的部分区域（智利，秘鲁）、热带和亚热带高山地区的非洲和亚洲（伊朗、尼泊尔、日本）和澳大利亚。虹鳟细长体型，无鳞，通常呈蓝绿色，背部有斑，身体两侧有红色条纹。鲑鳟也养殖一段时间后投放到河流和湖泊作为游钓补充。

鲑鳟鱼类需要富含脂肪的高蛋白饲料。鲑鳟鱼类被称为“油性鱼”，是一种表示营养价值的说法，即其富含维生素A，维生素D和欧米伽-3脂肪酸，这使它们成为家庭消费的绝佳养殖品种。因为营养丰富，鲑鳟鱼类的市场价格很高，同时它们也需要投喂富含鱼油的饲料。

#### 7.4.5 大口黑鲈

主要经济物种：

大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)





### 简介

大口黑鲈原产于北美洲，但广泛分布于世界各地，生活在各种水体和池塘中（图7.11）。大口黑鲈属鲈形目（体形似鲈），鲈形目还包括条纹鲈、澳洲鲈、黑海鲈、欧洲鲈和很多其它品种。

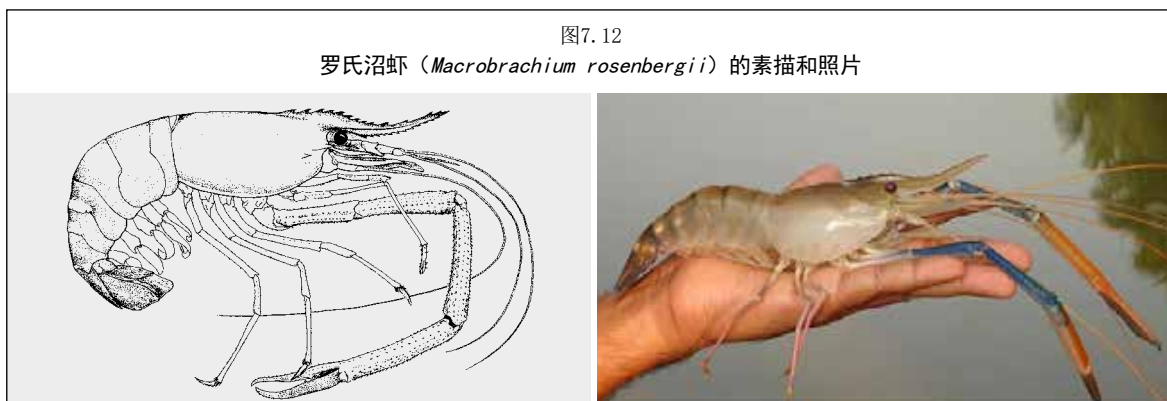
大口黑鲈适应较宽的生长温度范围，只有温度低于10℃或超过36℃时才会停止生长；在温度低于10℃时会停止进食。其生长阶段的最适生长温度为24-30℃之间。溶氧量在4毫克/升以上时大口黑鲈饲料转化率较高，同时大口黑鲈也能耐受低溶氧量和低pH值。

大口黑鲈更喜欢生活在悬浮物浓度少于25毫克/升的洁净水体中，尽管浑浊度高达100毫克/升时也能存活和生长。与鲑鳟鱼类一样，大口黑鲈是肉食性鱼类，需要高蛋白饲料；因此大小不一的鱼应该分开，以防止大鱼吃掉仔鱼和较小稚鱼的现象。大口黑鲈的生长率与水温 and 饲料质量密切相关；在温带地区，鱼体生长主要发生在较温暖的季节（春末，夏季和早秋）。大口黑鲈拥有耐低溶氧和亚硝酸盐的特性，对于鱼菜共生养殖户，尤其是那些不能选择适应冷暖季节的养殖品种的人来说，大口黑鲈是不错的选择。目前大口黑鲈与罗非鱼一起混养仍在尝试阶段。从营养学角度来说，大口黑鲈含有比其他淡水鱼都要高的欧米伽-3脂肪酸。

### 7.4.6 虾类

#### 主要经济物种

罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*)



## 简介

虾一词指的是一群种类较多、有眼柄、淡水十足类甲壳动物，它们细长的腹部肌节，长触须，细长腿（图7.12）。虾以底栖生物为食，大多生活在沿岸带和河口，以及淡水系统中。虾生命周期通常为1-7年，大部分种类是杂食动物。虾类，一般来说分别指海水和淡水种类，但是这些名字经常混淆，尤其在烹饪方面更易混淆。

虾类可以成为鱼菜共生系统的一个极好的补充品种。它们能吃掉吃剩的鱼饲料，鱼排泄物，和其他水中或水底的有机物质。因此，它们既能帮助清洁并维持系统的卫生，也能加速有机物质分解。最好将虾类和中层鱼类混养在鱼菜共生系统中，因为不能把虾类进行高密度养殖，它们也不能为植物提供充足的排泄废物。对虾有很强的领地意识，所以需要给它们提供充足的横向空间；因此水平面积决定虾类的养殖数量，当然使用网簾叠层可以增加养殖的表面积，也可以提高虾的养殖数量。有一些虾和罗非鱼混养系统获得了一定程度的成功，但其放养的个体数量很低。大多数虾有相似的需求，包括硬水，适宜的温度（24-31℃），以及良好的水质，但是养殖条件仍得需根据具体品种来调控。

适宜条件下，虾生长周期是4个月，这说明理论上可以一年养三茬。虾苗需要从苗种场购买。虾的幼体阶段相当复杂，养殖者需要对水质进行严密监控并使用专用饲料进行喂养。虽然虾可以进行小规模养殖试验，但只推荐专业人士来养殖。因为虾会吃掉植物的根系，所以只能在养殖池中进行养殖。

## 7.5 鱼的转塘适应

鱼转塘后适应新的养鱼池，这对鱼来说会产生很强的应激过程，尤其目前都是用袋子或小转运箱从一个地方运输到另一个地方（图7.13）。尽可能去除许多能使鱼体产生应激反应而致死的因素。使鱼适应过程时有两个主要引起应激反应的因素：旧水和新水的温度差异以及pH的变化；必须将这些变化降至最低。

养殖水体和转运水体的pH值最好应经过测试。如果两者的pH值差异超过0.5，那么鱼苗至少需要24小时去适应。将鱼苗先放在盛放之前养殖池水的小型容器中增氧，然后缓慢地向容器中加入目标池里面的水，历时一天。即便两个环境中的pH值很接近，鱼体仍然需要适应新环

图7.13

鱼的适应。仔稚鱼装在塑料袋中运输(a)，装着鱼的塑料袋漂浮在放养池(b)内，然后将鱼放出来(c)



境。最好的办法是将装有鱼的密封运输袋漂浮在目标水中一段时间，使温度缓慢地达到平衡。这个过程应持续至少15分钟。然后将少量的目标水体加入到装有鱼的运输水体中。这个过程也应持续至少15分钟，以期慢慢使鱼适应新水体。最后，才可以将鱼放入新养鱼池中。

## 7.6 鱼类健康和疾病

要保持任何水产养殖系统中鱼类的健康的最重要的方式就是每天要观察鱼的活动，注意鱼类的行为和身体情况。通常来说，养殖者在喂食前、喂食中和喂食后进行观察。保持良好的水质，包括以上讨论的所有水质指标，增强鱼类的天然免疫力，使其对寄生虫和疾病具有抵抗力。本节简要介绍鱼类健康的几个方面，包括一些识别不健康的鱼和预防鱼类疾病的实用方法。这些内容是：

- 每天观察鱼类行为和身体表现情况，注意鱼类发生的任何改变；
- 了解应激反应、患疾和长寄生虫时的特征和症状；
- 根据品种特性，保持优良稳定的水质，减少引起应激反应；
- 遵照推荐的养殖密度和喂食率。

### 7.6.1 鱼类健康

鱼类是否健康的主要表现是其行为。为了保持鱼类的健康，极为重要的是了解健康鱼类的行为模式，以及鱼类在应激反应、患疾、长寄生虫时的症状。日常喂食是观察鱼类的最佳时间，在投喂饲料的前后都需要记录鱼吃了多少饲料。健康的鱼会表现出以下的行为：

- 鱼鳍伸展，鱼尾直挺；
- 以正常、优雅的姿态游动。不会显得无精打采。然而，鲶常在水底休息，直到摄食时开始活跃；
- 食欲很强，不会因为投喂者出现而避开；
- 身体上没有斑点，没有褪色块、条纹或纹路；
- 不在养鱼池的墙面摩擦和刮擦；
- 不浮到水面呼吸；
- 眼睛清晰明亮有光。

### 7.6.2 应激反应

本书中多次提到了应激反应，这里有必要特别说明一下。一般而言，应激反应是鱼类处于非最适条件时产生的生理反应。密度过高、不适宜的温度或pH，低溶氧量和不恰当的投喂都会使鱼类产生应激反

表7.2

鱼类应激反应的原因和症状

应激反应原因	应激反应症状
温度超出适应范围或者温度突变	食欲不振
pH超出适应范围或者突变	游泳方式异常，在水面或者水底休息
高浓度的氨、亚硝酸盐或者毒素	在鱼缸侧面摩擦，浮在水面，身体有红色斑点和血道纹
溶解氧浓度太低	在水面浮头
营养不良和/或过于拥挤	鱼鳍紧贴体侧，有伤口
水质太差	呼吸急促
对鱼的处理不当，养殖环境有噪音或者光线干扰	行为怪异
鱼被同类攻击	有伤口

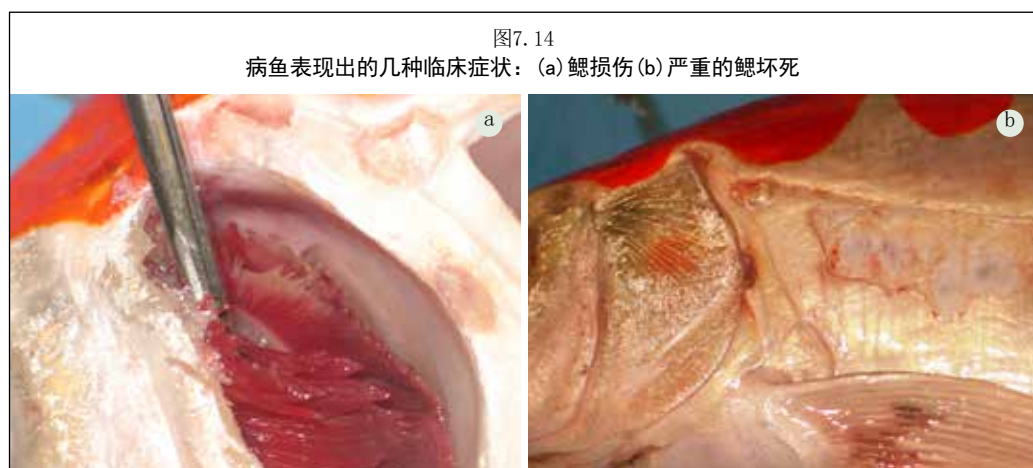
应(表7.2)。鱼类机体需要努力克服这些劣势环境,从而导致其免疫力下降。免疫力下降会使鱼类康复能力和预防能力下降。鱼类应激反应可以通过检测某种激素水平来精确测量。应激反应是一种整体状态,仅应激反应并不会使鱼体死亡。然而,如果鱼类长时间处于应激反应状态,难免会受到各种细菌、真菌和/或寄生虫的感染而生病。只要有可能,应尽量避免应激反应,并且要认识到多种因素可以同时导致应激反应的发生。

### 7.6.3 鱼类疾病

疾病往往是鱼类、病原体和环境之间不平衡产生的结果。在一定条件下,动物机体的虚弱和高浓度的病原会导致疾病的发生。良好的鱼类管理实践能够提高鱼的健康防御系统,也是鱼类最基础的健康屏障。因此,充分的环境调控对于避免鱼类应激反应和降低病原浓度极为重要。

疾病可由非生物和生物因素引起。在之前几个章节的讨论中,可知水质参数是避免代谢紊乱和降低死亡率的决定性因素。另外,控制气候条件和污染物能够减少感染和中毒的几率。循环系统因具有更好的控制投入品,更好的关键水质和环境参数管理的特性,使鱼菜共生系统不易引入病原体和疾病爆发。对于需要引入外来水源,简单方法是采用慢速砂滤法,来保护鱼菜共生系统受到任何可能的寄生虫或细菌的侵入。类似的方法,消灭蜗牛和小甲壳类动物,以及防止动物和鸟类的进入,能够减少寄生虫问题和可能的细菌污染。

引发鱼类疾病的三大病原体是真菌、细菌和寄生虫。当放入新鱼、加入新水时,病原体能够轻易从环境中进入到水产养殖系统中,或者系统中之前就存在了病原体。目前来说预防是防止鱼类疾病的最好方法。每日进行鱼的观察和鱼类疾病情况的监控,能够使出现疾病的鱼尽快受到治疗,以防止更多的鱼受到感染(图7.14)。小规模鱼菜共生系统的鱼病治疗方法很有限,所以需要尽可能注意鱼病的预防。



#### 鱼病预防

下面表格中标出了鱼病预防的主要方法并总结了鱼菜共生系统中鱼类养殖的主要经验:

- 从可靠的、有信誉的、专业的鱼苗场处获取健康的鱼苗;
- 不要向鱼菜共生系统中放入不健康的鱼, 应检查新鱼是否有患

病症状：

- 在将新鱼加入主系统前，建议将新鱼置于检疫隔离池暂养45天；
- 若有可能或必要，建议将新鱼用盐水浴（以下有详细说明）来去除鱼身上的寄生虫或对早期的感染进行处理；
- 确认水源来自于可靠来源。如果水来自于井水或水体时，应使用一消毒剂消毒。如果水是市政来源的水，需要去除水中的氯；
- 时刻保持关键水质参数处于最适水平；
- 避免pH，氨，溶氧，温度的大幅度变动；
- 确保充分的生物过滤，防止氨或亚硝酸盐的累积；
- 充分增氧，维持尽可能高的溶氧水平；
- 给鱼类投喂平衡和营养的饲料；
- 在阴凉干燥处保存饲料，防止饲料霉变；
- 确保活饵料生物没有病原体和寄生虫，饲料来源没有质量保障的必须进行消毒杀菌处理；
- 清除残饵和养鱼池中有机污染物；
- 确保养鱼池有遮挡不受阳光直射，但也不是完全黑暗的环境；
- 防止鸟类、蜗牛、两栖类和啮齿类动物的进入，因为这些动物是病原体或寄生虫的中间宿主；
- 不允许宠物或任何家养动物进入养殖区域；
- 遵循标准的卫生程序：勤洗手，对操作用具进行经常的清洗和消毒；
- 不能允许参观者把手伸进水里或不遵守适当的卫生程序来抓鱼；
- 每个养鱼池使用专用的渔网，防止疾病或寄生虫在池间的交叉污染；
- 养鱼池周围避免噪音、闪光和震动。

### 识别鱼病

即便应用了上述所有的预防措施，疾病还是有可能发生。至关重要的是保持警惕并每天观察鱼的行为，从而在疾病发生早期辨识出疾病。下面的列表标出了常见鱼病发生时鱼的身体表现和行为症状。更详细的症状和更具体的治疗方法参考附录3。

### 患病的外部症状：

- 鱼体表面溃烂，色斑，白色或黑色的斑点；
- 烂鳍，鳍条裸露；
- 鳃和鳍坏死以及腐烂现象；
- 鱼体异形，脊柱弯曲，上下颌变形；
- 腹部胀大，水肿；
- 鱼体上棉花样创口；
- 眼睛肿胀或突出（眼球突出症）。

### 患病的行为表征

- 没有食欲，摄食习惯改变；
- 无精打采、精神萎靡，怪异的游泳方式；
- 以奇怪的姿势处于水中：头朝下或尾巴朝下，难以保持浮力；
- 浮头；
- 摩擦或刮擦硬物。

### 非生物性疾病

鱼菜共生系统中大部分的鱼死亡并不是由病原体引起的，而主要是由水质或毒物等非生物因素引起的。然而，这些非生物因素可以诱发不健康或应激反应鱼的二次感染。这些诱因的鉴定还可帮助鱼菜共生系统中的养殖户区分代谢性疾病与病原性疾病，也可以帮助他们及时识别出原因，制订治疗方法。附录3列出了最常见的非生物性疾病和它们的症状。

### 生物性疾病

通常而言，鱼菜共生系统和循环水养殖系统比池塘养殖或网箱养殖更不易受到病原体感染。大多数情况下，养殖系统中都存在有病原体，但是并未发生疾病，因为鱼类的免疫系统可以抵抗一般的感染，而且鱼菜共生的环境抑制了病原体的发展。因此，健康管理、避免应激反应与控制水质对降低疾病的发生很重要。每当疾病发生时，重要的是要把受感染的鱼从种群中清除或分离出来，执行防止传染到种群内其它鱼的策略。如果实施治疗方法，坚持的原则是要将鱼放在隔离检疫池中治疗，并且保证治疗过程中所使用过的任何物品都不会进入到鱼菜共生系统中去。这是为了避免对系统中的有益菌群产生影响。附录3中包含了鱼类养殖中最常见的生物性疾病和通常采用的治疗方法。可以从文献和地方渔业推广服务部门得到更多内容。

### 疾病治疗

如果有比较大比例鱼出现鱼病症状，那么很可能是环境因素造成了应激反应。这种情况下，需要检查氨、亚硝酸盐、硝酸盐、pH和水温，并作出相应的调控。如果只有少数鱼受感染，应该立即移除受感染的鱼以防疾病进一步传染给其他鱼。一旦移出受感染的鱼，马上仔细检查鱼体并尝试确定具体的疾病/原因。参考本书提出的指南，再查阅其它文献资料。当然，必要时请兽医、推广机构或其他水产养殖专家进行的专业诊断。对疾病的确诊有助于确定治疗方法。将受感染的鱼置于隔离的养鱼缸中以便进一步观察，这种隔离养鱼缸也被称作检疫池或医用池。用合适的方法处理杀死和丢弃的病鱼。小规模鱼菜共生系统中鱼病处理方法并不多，商品药物很昂贵且不易获取。而且，抗菌药和抗寄生虫药对系统的其他部分有不利影响，这些部分包括生物滤池和植物。当必须使用治疗手段时，只能限制在医用池中进行治疗；鱼菜共生系统中绝不能使用抗菌类化学物质。对于最常见的治疗细菌和寄生虫感染的有效方法之一就是盐水浴。

### 盐水浴疗法

被体外寄生虫、霉菌和细菌性鳃感染的鱼可以用盐水浴治疗。被感染的鱼须从主养鱼池中移入盐水浴桶中。盐水浴对病原体有毒性，但对鱼没有致命性危害。盐水浴的盐浓度应为每100升水溶解1千克盐。将被感染的鱼置于该浓度的盐水中20-30分钟，然后移入一个隔离养鱼池中5-7天，该蓄养池中盐浓度为每升水中含有1-2克盐。

在白点病感染严重的情况下，所有的鱼都需要从鱼菜共生系统中移出，并用该方法处理至少一周。在治疗过程中，鱼菜共生系统中任何新出现的寄生虫都会因找不到寄主而最终死亡。把鱼菜共生系统中的水升温可以缩短寄生虫的生命周期并使盐水治疗更加有效。当把

鱼重新置于鱼菜共生系统后不能使用盐水浴后的水，因为盐浓度会对种植的植物产生负面影响。

### 7.7 产品质量

在养殖鱼类中，尤其是淡水鱼类中，常常会产生异味。一般而言，鱼肉品质降低是由于特定化合物的存在，这些化合物中最常见的是二甲萘烷醇和2-甲基异冰片。这些次级代谢产物由蓝藻（蓝细菌）或由链霉菌属的细菌、放线菌和粘细菌产生，积累在鱼的脂肪组织中。土臭味素有明显的泥土味，而2-甲基异冰片有发霉的味道。这些异味严重影响消费者的接受度并降低产品的市场竞争力。土池和循环水养殖系统中都会出现异味现象。

处理异味的一种常见方法是在销售或食用前在净水中净化3-5天。此时鱼不能喂食并在单独和增氧的养鱼池中进行。在鱼菜共生系统中，这一过程很容易整合到日常管理中，因为净化所用的水可以回流到系统中使用。

### 7.8 章节总结

- 推荐在鱼菜共生系统中使用标准化生产的水产颗粒饲料，因为这些饲料是全价饲料，含有鱼类所需的均衡配方的蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素和矿物质。
- 蛋白质是构建鱼体生物量的最重要的部分。杂食性鱼类如罗非鱼和鲤的饲料需要32%的蛋白质，而肉食性鱼类则需要更多。
- 千万不能过量投喂，而且喂食30分钟后应清理食物残渣，从而减少氨氮或硫化氢中毒的风险。
- 需要保持良好的水质。氨氮和亚硝酸盐的浓度必须接近0毫克/升，因为任何可检出水平都是对鱼类有毒性的。硝酸盐浓度应低于400毫克/升。溶氧量应为4-8毫克/升。
- 在热带或干旱的条件下，罗非鱼、鲤和鲶适合鱼菜共生系统中养殖，因为它们生长速度快，并能在较差水质和低溶氧水平时存活。鲑鳟可在冷水中养殖，但需要更好的水质。
- 必须每天监控鱼类的健康情况，并尽量减少应激反应。水质差、换水、拥挤和物理干扰都能引起应激反应，继而引发疾病。
- 鱼体变形、行为反常常是应激反应、水质变差、寄生虫或发生疾病的表现。仔细观察和监视鱼类表现，以便尽早识别症状并进行治疗。





## 8. 管理和故障排除

前几章主要聚焦了细菌在确保植物和鱼类良好生长中的重要性；也关注了建造不同鱼菜共生系统时的关键因素和在单个鱼菜共生系统中如何恰当地管控鱼类和蔬菜。本章总结了主要的原则和经验，以期最佳鱼菜比率、投料方式和生物过滤器的尺寸等提供一些参考。

本章第二部分罗列整个养殖周期中所有重要的管理阶段，覆盖了系统的启动到全部生长季节的生产管理。同时深入讨论了养殖最初三个月中鱼类和蔬菜管理问题。最后，本章制定了一个用于全生长季节管理的每日、每周和每月实用清单，同时还讨论了问题发生时的应对之策。

### 8.1 组成部分的计算和比率

鱼菜共生系统必须是平衡的。鱼类（当然也包括鱼饲料）需要为植物提供充足的营养物质；植物需要为鱼类对水进行过滤。生物过滤器需要足够大，以处理所有的鱼废弃物，而且需要足够的水量来保证整个系统的循环。要在一个新系统中实现这种平衡可能是不容易的，但是本节提供了有益的计算，来估计每个组成部分的大小。

#### 8.1.1 植物生长区域，鱼和鱼饲料的量

一个鱼菜共生系统要获得平衡，最成功的做法就是使用在2.1.4节所阐述的投料比率。对于鱼菜共生系统来说，这个比率是确保鱼菜共生生态系统内部的植物和鱼类可以共生互利最重要的计算方法。

这个比率估计了每天要向系统中投入多少鱼饲料，它是根据可用于植物生长的区域来计算的。这个比率取决于所种植蔬菜的类型；结果蔬菜所需要的营养物质比绿叶蔬菜要多三分之一，这些多出来的营养物质主要是用来供给花和果实的生长。鱼饲料的类型也会影响投料比率，这里所有的计算都假设鱼饲料的行业标准为32%的蛋白质含量。

绿叶植物	结果蔬菜
每天每平方米投放40-50克鱼饲料	每天每平方米投放50-80克鱼饲料

在进行计算时，推荐第一步要决定需要多少蔬菜。通常，蔬菜按下表所列（图8.1）的密度种植。这些数字仅仅是平均水平，受蔬菜种类和收获大小的影响，还存在很多变数，因此这些数字仅作参考。

绿叶植物	结果蔬菜
每平方米20-25颗蔬菜	每平方米4-8颗蔬菜

一旦选定了所需蔬菜的数量，接下来就可以确定所需的生长面积，进而，就能确定每天应向系统中添加的鱼饲料量。



一旦蔬菜的生长面积和所需鱼饲料的数量被计算出来，就可以确定用于摄食这些饲料所需的鱼类生物量。不同大小的鱼对饲料的需求不同，投料频率也不同，这就意味着许多条小鱼的摄食量可能和几条大鱼相同。从平衡鱼菜共生系统的角度看，鱼类的实际数量可能不如养殖池中鱼类总生物量那么重要。通常，对于在7.4节中所讨论的鱼的种类来说，在生长阶段，它们每天要进食自身重量的1%-2%。这是假定了鱼体重大于50克，因为就摄食量与自身体重的百分比而言，小鱼比大鱼吃的更多。

#### 鱼饲料的投喂率

日投喂量为鱼类体重的1%-2%

下面的例子演示了如何进行这一系列计算，以确定：为了每周产出25株莴苣，一个鱼菜共生系统应该放养10-20千克的鱼，每天要投喂200克鱼饲料，而且蔬菜要有4平方米的生长面积。整个运算过程如下：

一旦莴苣的种苗被移栽到鱼菜共生系统中，它要4周才能长成，而且我们要每周收获25棵莴苣，因此：

$25\text{颗}/\text{每周} \times 4\text{周} = \text{在整个系统中有} 100\text{颗}$

每25颗莴苣需要1平立米的生长空间，因此：

$100\text{颗} \times 1\text{平方米}/25\text{颗} = 4\text{平方米}$

每平方米的生长空间每天需要50克的鱼饲料，因此：

$4\text{平方米} \times 50\text{克鱼饲料}/\text{每天}/1\text{平方米} = 200\text{克鱼饲料}/\text{每天}$

系统中的鱼类（生物量）每天会进食自身重量的1%-2%，

$200\text{克鱼饲料}/\text{每天} \times 100\text{克鱼饲料}/1\text{-}2\text{克鱼饲料}/\text{每天} = 10\text{-}20\text{千克的鱼类生物量}$

尽管相当有用，但这个投料比率也仅作参考，尤其是对小规模鱼菜共生系统而言。这个比率涉及很多变量，包括鱼的大小和种类，水温，鱼饲料的蛋白质含量和植物的营养需要求，这些变量在一个生长季节中可能会有明显的变化。这些变化要求养殖人员调整投料比率。

对水中氮含量的检测有助于我们确定整个系统是否处于平衡状态。如果硝酸盐的水平过低（低于5毫克/升），那么就要每天慢慢提高投料比率，但不可投料过度。如果硝酸盐的水平是稳定的，那么可能缺乏其它营养物质，这时就要特别注意补充钙、钾和铁。如果硝酸盐的含量上升，当硝酸盐的含量超过150毫克/升的时候，就需要临时换水。硝酸盐含量的不断增加，表明其它必需营养物质的浓度是适当的。

### 8.1.2 水体容量

对于鱼菜共生系统的水产养殖部分来说，水体容量是最重要的因素。不同的放养密度影响着鱼的生长和健康，而且也是鱼类应激状态最常见的根本原因之一。然而，总的水体容量不会影响水栽培部分，但有一种情况例外：水体容量过大，在循环初期需要花费更多的时间来积聚足够营养物质。因此，如果一个系统有相对较大的水体容量，唯一的影响就是将会花费更长的时间才能达到植物生长所需的最佳营养物质浓度。大的水体容量有助于减轻水质变化的影响，但也有可能会使问题隐藏得更久。深水栽培（DWC）方法中的总水量总是会高于营养液膜技术（NFT）或基质床方法。

推荐的最大饲养密度是在有1000升水的养鱼槽中放养20千克的鱼。本出版物中所介绍的小型鱼菜共生系统就是大约有1000升水和要放养10-20千克鱼。较高的放养密度需要更复杂的曝气技术，这样才能为鱼类保持稳定的溶氧量水平，同时，也需要更为复杂的过滤系统来处理固体废物。对于初次尝试鱼菜共生系统的养殖人员来说，强烈建议放养密度不要超过每1000升水中放养20千克鱼。尤其是电力供应不稳定的地区更应如此，因为一次短暂的电力中断就会使所有高密养殖的鱼在一个小时内全部死亡。任何大于500升的养鱼槽，都适用这样的放养密度；对于任何水体容量的水槽，仅使用这个比例就可以计算出最大饲养密度。如果养鱼槽的水体容量小于500升，放养密度就要减半，或者是按照每100升水1千克鱼的标准放养，尽管在养鱼槽小于500升时不推荐养鱼。作为参考，罗非鱼在收获时均重为500克，在放养时为50克规格。

#### 鱼的放养密度

每1000升水放养10-20公斤鱼

### 8.1.3 过滤要求——生物过滤器和机械分离器

在鱼菜共生系统中，需要的生物过滤量取决于每天投入到系统中的鱼饲料量。主要考虑的是生物过滤材料的类型和基质的表面积。表面积越大，可寄生的细菌群落就越大，而氨转化为硝酸盐的速度就越快。下面给出了两种材料的比率，一个是基质床中的火山砾石，另外一个是在营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）中的生物球。这个计算结果应该被视作一个最小值，富余的生物过滤量并不会对系统造成什么损害，相反，它使得系统在氨和硝酸盐达到峰值时更有弹性。如果担心低温会影响细菌活性，生物过滤器的尺寸应该要大一些。附录4包含了更多如何确定生物过滤器的尺寸和计算所需容量的信息。

生物过滤材料	表面积之比 (平方米/立方米)	所需要的水量 (升/克饲料)
火山砾石	300	1
生物球	600	0.5

应该根据水量来确定机械分离器的尺寸。一般来说，机械分离器的容量应该是养鱼槽容量的10%-30%。对于营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）这两个系统以及高密度养殖（>20千克/1000升）的基质生长床系统来说，机械过滤器是必需的。

### 8.1.4 组件计算的总结

- 投料比率提供一种平衡鱼菜共生系统中各个部分的方法，用于计算生长区域，鱼饲料和鱼类生物量。
- 鱼菜共生系统的投料比率：
  - 每平方米每天投料40-50克（绿叶蔬菜）；
  - 每平方米每天投料50-80克（结果蔬菜）。
- 鱼摄食率：每天摄食量为其体重的1%-2%。
- 鱼放养密度：10-20千克鱼/1000升水。
- 生物过滤体积：
  - 每天1克的投料量需要1升水（基质床中的火山砾石）
  - 每天1克的投食量需要0.5升水（营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）中的生物球）

表8.1总结了设计小型基质床、营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）系统的关键数值和比例。很重要的一点就是要始终意识到这些数值仅作参考，因为其它外部因素（例如，气候条件、稳定的电力供应）可能会改变实地的设计。请注意表格下面的备注，解释了数值及其在每种鱼菜共生方法中的适用性。

表8.1  
小型鱼菜共生单元的实用系统设计指南

鱼池容积 (升)	最大鱼生物量 <sup>1</sup> (公斤)	投喂比率 <sup>2</sup> (克/天)	水泵流量 (升/小时)	水过滤容量 <sup>3</sup> (升)	生物过滤介质的最小体积 <sup>4</sup> (升)		植物生长区面积 <sup>5</sup> (平方米)
					火山砾石	生物球	
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1200	20-50	100	50	2
1000	20	200	2000	100-200	200	100	4
1500	30	300	2500	200-300	300	150	6
2000	40	400	3200	300-400	400	200	8
3000	60	600	4500	400-500	600	300	12

备注：

1. 建议的鱼群密度是基于20公斤/1000升的最大放养密度。通过进一步增氧和增加机械过滤可以提高放养密度，但不建议初学者这样做。
2. 对于体重超过100克的鱼，建议的喂食率为每天体重的1%。对于不同的植物来说，每平米的投喂比例为：绿叶蔬菜40-50克/平方米；瓜果蔬菜50-80克/平方米。
3. 机械分离器和生物过滤器的容积应为鱼缸总容积的10-30%。实际上，容器的选择取决于其大小、成本和可用性。生物过滤器仅用于营养膜技术和深水栽培装置；机械分离器适用于鱼密度超过20公斤/1000升的营养膜技术、深水栽培装置和培养床装置。
4. 这些数据是假设细菌一直处于最佳状态。如果没有，在一定时期内（冬季），可能需要添加额外的过滤介质作为缓冲。根据它们各自的比表面积，为两种最常见的生物过滤介质提供了不同的数值。
5. 植物生长空间的数值仅包括绿叶蔬菜。果蔬的面积会稍低一些。

## 8.2 新型的鱼菜共生系统和初始管理

### 8.2.1 系统的建造和准备

附录8提供了按步骤的详细建造指导。一旦系统建成，就是为其准备常规运营的时候了。尽管鱼菜共生装置的管理不需要过多的时间和精力，但是要记住一个完善的系统每天至少需要10-20分钟的维护时间。在向新系统中放养鱼种和种植蔬菜之前，确保系统中所有设备的正常运转非常关键。检查最重要的方面就是水泵、气泵和水加热器（在适用的地方）。检查确认营养液膜技术（NFT）的管道和基质床是稳固的和水平平衡的，这是非常

重要的。刚开始的时候，要在系统中试水，以确保系统中没有管道渗漏和连接处松动的情况。如果有的话，就要马上紧固和修理。9.3节提供了更进一步的方法来保持水位和防止灾难性的缺水事件。一旦系统建立之后，要让水循环至少两天，以确保氯气消散。高强度的曝气可以加速这个过程。如果水源不含氯，比如雨水和过滤过的水，这个步骤就没有必要。

#### 基质床单元的准备

生长基质（火山砾石，膨化粘土）应该被好好地清洗。用基质来填充生长床，并让水从基质床中流过；所使用的水应该是干净清澈的。通过水的冲刷把基质床中任何的沉淀（如果有的话）清除掉。如果使用电子定时器来向基质床中注水和排水，重要的是要协调水填满生长床所用的时间和水注入基质床的流速。如果使用钟形虹吸管，要调整水流速度以确保自动虹吸的功能。水的流速要足够可以激活虹吸，但是也不能太快，以防止虹吸停止。

#### 营养液膜技术（NFT）和深水栽培方法（DWC）单元的准备

确保水以合适的流速（对营养液膜技术（NFT）来说是1-2升/分钟；对深水栽培方法（DWC）来说是1-4个小时的停留时间）流入每一根生长管道和水槽。速度过快可能会对植物根部有负面的影响，然而速度过慢又不能供应充足的营养物质和氧气。

### 8.2.2 系统循环和建立生物过滤器

一旦整个系统已经通过了初期的组成部分的检测，而且已经毫无问题地运转了2-3天，就是循环一下整个装置的时候了。正如在第五章所讨论的那样，系统循环就是描述在一个全新的系统中建立细菌菌群最初过程的概念。一般说来，这是一个3-6周的过程，包含了为硝化细菌提供其生长所需的氨源和帮助硝化细菌扩散。所涉及到的步骤在第五章中已经简单地介绍过，而且每一个新系统都应按照这些步骤来做。

在系统循环的过程中，重要的是每3-5天就要检测氨、硝酸盐和亚硝酸盐的水平，以此来确保氨浓度不会变得对细菌有害（大于4毫克/升）。如果氨浓度达到了这个水平，就有必要换水了。当硝酸盐的水平开始上升和氨与亚硝酸盐的水平下降接近于0的时候，整个系统就已经完成了循环过程。

### 8.3 对蔬菜的管理方法

只要检测到了硝酸盐就可以把种苗移植到系统中来。可以预料到的是，由于水中营养物质的供应暂时不够充分，这些第一批种下的蔬菜有可能会生长缓慢，会表现出暂时的营养不良。推荐等待3-4周的时间，让营养物质积聚。通常来说，在前六周的时间里，鱼菜共生系统的生长率会比土壤栽培或是水培生产方法要略低。然而，系统内充足的营养物质基础一旦建立（1-3个月），蔬菜的生长率就会比土壤栽培的蔬菜快2-3倍。

#### 8.3.1 种植指南综述

##### 蔬菜的选择

在开始一个新的鱼菜共生系统时，最好选择一种生长速度快和生命力强、对营养物质要求低的蔬菜。一些好的例子包括绿叶植物，如沙拉

菜，或者是固氮蔬菜，如豆角或豌豆。经过2-3个月的时间，系统就已经准备好了，可以种植需要更多营养物质的大型结果蔬菜。

### 种植间距

由于在鱼菜共生系统中蔬菜不需要争夺水分和养分，因此种苗间距可以比土壤种植时的间距更小一些。即便如此，蔬菜依旧需要足够的空间来成长，避免相互对阳光的竞争，不然就会影响它们的卖相或者仅生长但不结果。除此之外，考虑到成熟蔬菜的遮阴影响，可以在这些较高蔬菜边上种一些当季的耐阴蔬菜。

### 补充铁元素

在最初2-3个月的生长期内，一些新的鱼菜共生系统会出现铁元素不足的情况，这是因为铁元素在蔬菜早期生长阶段非常重要，而鱼饲料中铁元素含量不丰富。因此，初期有必要向系统中加入一些螯合铁（粉末状的可溶性铁）以满足蔬菜对铁元素的需求。建议在一个新系统开始的头3个月中添加1-2毫克/升，如果出现缺铁的情况，就要再这样添加。粉末状的螯合铁可以从农资供应商手中买到。使用对鱼菜共生系统安全的有机肥料，比如堆肥或者是海藻液，可以补充铁元素，因为这两样中都含有丰富的铁元素。9.1.1节讨论了对于鱼菜共生系统安全的有机肥料。

## 8.3.2 蔬菜苗圃的建造

在一个小型鱼菜共生系统的生产中，蔬菜是最重要的产出。只栽种强壮健康的种苗是必要的。而且，所采用的栽种方法必须要尽可能避免移栽休克。因此，建议建造一个简易的蔬菜苗圃，来保证健康种苗的充足供应，这些种苗可适时移栽到鱼菜共生系统中。准备充足的、适合移栽到系统中的蔬菜种苗总是最佳的，而且通常等待种苗也是生产延误的一个缘由。

如图8.2所示，使用覆盖聚乙烯的横向木条可以建造一个简单的苗圃床。每天向苗圃床中注水约半小时（用一个简单的电子定时器来控制），让水和湿气充分浸入生长基质。接着，水会慢慢排向下面的水槽。这个循环每天都要进行，主要目的是为了防止水浸泡种苗。水分过多会增加真菌感染的风险。



聚苯乙烯培育托盘被放置在苗圃床内，而且填满了土壤，惰性的生长基质比如石棉，泥煤块，椰子纤维，蛭石，珍珠岩或者是混合了多种生长基质的盆栽。能用作培育托盘的更简单的材料，可能就是使用可回收利用的材料，比如空的鸡蛋箱（图8.3）。应该选择那种可以让种苗之间有充足间距的培育托盘，这样就能使种苗不用争抢阳光，可以良好地生长。框4列出了播种的7个步骤。

#### 在基质床中直接播种

在基质床中直接播种是有可能的（图8.4）。如果使用注满和排干的机制（例如钟形虹吸），种子可能会被冲得到处都是。因此，在基质床中播种的时候，应该把虹吸装置去掉，然后，在最初叶片出现后可以再重新装上虹吸装置。

### 8.3.3 种苗移植

除非必需，不建议移栽土壤生长床中的种苗。在这种情况下，所有根部泥土都要很轻柔地清洗掉（图8.5），因为根部泥土有可能带有植物病原体。这个清洗的过程对种苗破坏很大，而且，因为植物要适应新的环境，有可能损失4-5天的生长。所以，正如上面所解释的那样，在培育托盘中使用惰性基质（石棉、蛭石或者是椰子纤维）来发育种子是比较好的。采用这种方法，种苗移栽过程中的受伤害程度最小。盆罐中的较大的植物也可被移栽，但同样需要把土壤全部清洗掉。要避免在中午移栽，因为植物根部对直接的阳光照射相当敏感，而且在新的生长环境下，叶子要面临水应激反应。建议在黄昏时刻栽种，这样这些幼苗在次日早晨太阳升起之前，可以有一个晚上的时间来适应新环境。

图8.3  
使用空的鸡蛋托盘作为植物的发芽盘



图8.4  
在培养床上直接移栽植株苗，使用棉绒来保持水分



#### 框4

#### 使用自制的培育托盘来播种的七个步骤

- 1) 用诸如堆肥或椰子纤维这类的生长基质来填充空的蛋盒或其它种苗托盘。
- 2) 在深度大约为0.5厘米的洞中播下种子；用剩下的基质把洞覆盖但不要压实。
- 3) 把这个培育托盘放在一个阴凉的地方并且进行灌溉。自动浇水系统可减少人力投入。
- 4) 在种子发芽之后，一旦长出第一片叶子，就要开始强化这些种苗，把这些种苗放置在不断增强的阳光下，每天几个小时。
- 5) 这些种苗要一周施一次肥，主要使用的是含磷量高的中性有机肥，这主要是为了增强植物的根部（有选择性的）。
- 6) 在长出第一片叶子之后，为了确保根部的充分生长，要保证种苗生长至少两周。
- 7) 作物充分生长并且足够强壮的时候，就把这些种苗移栽到系统中。使用小型钝器分开种苗和它们的生长充填质。



### 基质床的种植

在火山砾石或者是在第六章推荐的其它任何一种生长基质中种植时，只需要简单地把砾石推开，然后挖一个足够容纳植株的洞（图8.6）。为了使根部仅有部分浸入水中，需要在基质床中满水时的最高点来种植（大约是在砾石表面以下5-7厘米的地方）。不要种得太深，这会让水接触到植物的茎或叶，并可能导致疾病（颈部腐烂）。



### 营养液膜技术 (NFT) 的种植

为了在生长管道中种植，种苗需要用填有3-4厘米砾石或其他生长基质（图8.7）的短管或网杯来支撑。网杯的剩余部分应用砾石和保水基质（比如堆肥或者椰子纤维）的混合物来填充。这些基质帮助保持水分，因为幼苗的根部只是刚刚触及到生长管道内部的水流。如果椰子纤维或者堆肥难以获得，那么其它任何一种标准基质都可以胜任。一周之后，它们的根部就会从网杯中延伸出来，并且进入到生长管道中，这时根部可以完全接触到沿着管道底部流动的水流。此外，如果必要，根部可以一直从网杯底部延伸到水流中。





### 深水栽培方法 (DWC) 的栽种

与在营养液膜技术 (NFT) 中种植相似，深水栽培方法 (DWC) 的系统也需要用一种填充了3-4厘米惰性基质的小型网杯来固定种苗 (图8.8)。当种苗支撑相当充分时，把单株种苗植入在聚苯乙烯薄板上钻出的洞中，这样就可以浮在水的表面。网杯的底部应该是刚刚触及到水面。



### 8.3.4 收获蔬菜

在1-2个月的时间里，绿叶蔬菜就应该可以收获了。在3个月之后，整个系统应该也拥有足够的营养基础，可以开始种植更大的结果蔬菜。下面的要点详述了经过最初的3个月之后，蔬菜种植的最终指南。

#### 交错种植和收获

正如在第6章所讨论的那样，为了避免一次收获完所有的蔬菜，随着时间推移进行交错种植值得一试。如果一次完全收获，那么在收获之前系统内营养物质水平将会下降，这会尤其蔬菜的营养问题；而收获之后，系统内营养物质会飙升，这又会导致鱼类的应激反应。此外，交错种植允许蔬菜的不断收获和移栽，这也确保了持续不断的营养吸收和水体过滤。

#### 收获方法

当从基质床中收获所有蔬菜 (即莴苣) 时，确保全部的根部系统都被拔走。除此之外，摇晃下被卡在根部之间的砾石，然后把这些砾石重新放回到基质床中。在营养液膜技术 (NFT) 和深水栽培方法

图8.9  
收获时要将整个植株（包括根）取出



(DWC) 系统的管道/水渠中，也要保证整个根部系统都被清理掉（图8.9）。把这些丢弃的植物根部放入到堆肥箱内来回收利用这些蔬菜废物。残留在系统内的根系和叶子会引发疾病。在收获蔬菜时，应使用锋利干净的小刀。为了防止细菌污染，要确保鱼菜共生系统中的水不会打湿叶子。把收获的蔬菜放入一个干净的袋子中，并且要尽快地清洗和冷藏这些蔬菜以保持蔬菜新鲜。

### 8.3.5 在一个成熟的系统中管理蔬菜 稳定pH值

保持pH值在6-7之间，这是蔬菜良好生长必不可少的条件，此时蔬菜能够获得水中所有可用的营养物质。为了保持在3.6节中所描述的最佳pH值水平，每当pH值接近6.0时，都可以添加少量的基质或是缓冲剂。只有当鱼菜共生系统中水的硬度太高而阻止硝化细菌自然地降低pH值至最佳水平时，才可以添加雨水或是用酸性溶液来中和碱性过强的水。用酸性溶液来处理系统中的水只能在鱼菜共生系统外部进行，而且要在检测完pH值之后再把水注入到系统中。

#### 有机肥料

如果出现了营养不良的问题，就有必要添加一些外源的营养物质。有机液体肥料既可以用蔬菜叶片的稀释叶面肥料，也可以直接注入到根部区域。第九章讨论了制作对鱼菜共生系统来说是安全的简单自制肥料的方法。建议使用堆肥液和海藻液。6.2.3节主要讨论了营养不良的问题。当相对于鱼的数量来说，蔬菜数量过多的时候；或冬天投饲量减少的几个月份，会时常出现营养不良的问题。在添加肥料之前，一定要先检测一下pH值，以确保不存在营养锁闭。

#### 害虫和疾病

要确保采用6.5节中讨论的综合生产和害虫管理（IPPM）技术来预防害虫。如果害虫问题依然存在，在考虑杀虫剂之前先采用物理去除的方法。只能使用对鱼菜共生系统来说是安全的补救方法，比如：植物提取物或者驱虫剂、生物杀虫剂（苏金云芽孢杆菌和球孢白僵菌）、肥皂水、灰烬、植物油或者精油提取物、色彩/引诱剂陷阱以及用杀虫剂处理过的外部引诱植物。不管怎样，都要避免让化学喷雾进入水中。

#### 遵循当季种植的建议

在某种程度上，鱼菜共生系统食物生产方法提供了延长栽种季节的手段，尤其当是整个系统处于温室内。但是，依旧强烈推荐遵循当地季节性种植的规律。蔬菜在适宜的季节和它们所适应的环境条件生长得更好。

### 8.3.6 蔬菜——总结

- 在最开始的几个月里面选用那些低营养需求的蔬菜，即生菜和豆角或豌豆。
- 在经过了最初的3-6月之后，就可以开始种植一些高营养需求的蔬菜。
- 选种推荐的适合鱼菜共生系统的蔬菜，而且要遵循当地的季节性种植规律。
- 建立一个蔬菜苗圃来保证足够数量的健康种苗。
- 移栽那些根部发育良好的，并且生长充分和强壮的种苗。
- 在栽入系统之前，轻柔地清除掉根部多余的基质。
- 根据蔬菜成熟时的大小，在蔬菜之间留出充足的生长空间。
- 设计一个交错收获的系统。
- 如果出现营养不良，可能有必要施用机肥。
- 保持适合的水质，尤其是pH值要维持在6-7之间。

## 8.4 鱼类的管理实践

把鱼类加入到一个新的鱼菜共生系统中是十分重要的事。最好在初始循环过程全部完成后再投放鱼苗，这时生物滤器也已完全运行。理想情况下，氨和亚硝酸盐为零并且硝酸盐含量开始上升。此时是投放鱼种最安全的时机。如果决定在循环未完成之前放鱼，那么就必须要减少放养鱼的数量。这期间，鱼体将面临很大的压力，而换水可能是必要的。带着鱼进行系统循环可能比没有鱼进行系统循环花费更长的时间。

鱼类必须要有适应新水体的过程。一定要保持温度和pH值相匹配，并始终让鱼慢慢适应（如7.5节所述）。当从当地孵化场采购鱼种时，要确保鱼苗是健康的和仔细检查是否有患病的迹象。

### 8.4.1 鱼的摄食和生长速度

用投料比率比计算鱼饲料的方法，适用于成熟系统中的成鱼养殖，还需要更多的考虑。使用与8.1.1节相同的例子，1个1000升的水箱，目标养鱼量是10-20千克。这大概是40条左右收获规格的罗非鱼。但是，在一开始的2-3个月，鱼还非常小，摄食不了为提供整个种植床所需营养物质的所计算的饲料量（每天200克饲料）。更具体地说，新放养的鱼种规格约为50克。小鱼每天摄食饲料的量大约是自身体重的百分之三。因此，40条鱼种的刚放养时的重量为2000克，它们每将天共摄食60克饲料。

初始的低密度放养对于不成熟的鱼菜共生系统是一个很好的实践，因为它给生物滤器额外的时间来发育，并且给植物更多时间生长，和过滤更多的硝酸盐。建议根据鱼的体重来估算投饲量，而且要仔细观察鱼摄食行为和相应地调整投饲量。随着鱼的生长，他们开始吃更多的饲料。此外，如果有不同可用的饲料配方，建议为小鱼提供一个蛋白质含量相对较高的饲料配方。

按这个比率投饲2-3个月后，40条鱼每条将长到80-100克，总重将达3200—4000克。此时，它们每天应该能够吃80-100克的饲料，这依然只是前面例子中按投饲料比率计算投饲量的一半。继续投喂鱼类能吃完的饲料，但要慢慢增加饲喂量，以避免饲料浪费。再过几个月，这些鱼每尾将重达500克，总共重20000克，每天需要摄食200克鱼饲料。在水温25℃，水质良好的条件下，罗非鱼从放养时的50克长成收获时的500克需要6-8个月。

确保将所投饲料分为上午和下午两个部分。此外，中午的增加投喂对幼鱼的生长有益。日投喂量的拆分对鱼和植物的健康生长都有利，能使营养在一天内均衡分布。将鱼饲料均匀地撒在整个水面上，使所有鱼都可以吃到，避免鱼群为了抢食而伤害彼此或撞到鱼池壁而受伤。避免在饲喂时有突然的动作而吓到鱼群。只需要静静地站着观察鱼。在30分钟后清理掉没有吃掉的鱼饲料，并相应调整下次的投饲量。如果30分钟后没有饲料剩下，则增加投喂量；如果剩下很多，则减少投喂量。

健康鱼类的一个主要指标是有很好的食欲，所以观察它们的日常进食行为很重要。如果鱼的食欲下降，或如果它们全部停止进食，这是一个表明系统出现了问题（最有可能是水质变差）重要迹象。此外，鱼的食欲跟水温直接相关，特别是热带鱼类，如罗非鱼，所以在寒冷的冬季记得调整投饲量，甚至要停止喂食。

#### 8.4.2 收获和交替放养

鱼池内恒定的鱼类生物量保证了植物有源源不断的养分供应。这保证了鱼摄食饲料的量就是用投饲比率计算得出的量。前面的例子说明了投饲量的多少取决于鱼的大小，而且，小鱼吃的饲料不够为全部生长区提供足够的营养素。为了在鱼池内保持一个恒定的生物量，应采用交替放养的方法。这种技术涉及在同一个鱼池内维持3个年龄组的鱼群。大约每三个月，长成的鱼（每条500克）收获后需立即补充放养新的鱼种（每条50克）。这种方法避免了一次性收获所有的鱼，从而保持了鱼池内鱼生物量的稳定。

表8.2列出了在一个鱼池中采用交替放养后，罗非鱼一年内的潜在生长速度。本表的重要之处在于，鱼的总重量在10-25千克之间变化，平均生物量为17千克。这张表是描绘鱼类最佳生长条件的基本指南。在现实情况中，诸如水温和环境对鱼类的胁迫等因素，都会改变这里提到的数字。

表8.2  
使用交错放养方法的罗非鱼一年内的潜在生长率。

月份	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
放养轮次	重量 (千克)												
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	12.75	15.0*			
3							1.5	3.75	6.0	8.25	10.5	12.75	15.0*
4										1.5	3.75	6	8.25
5													1.5
鱼总生物量 (千克)	1.50	3.75	6.0	9.75	14.25	18.75	24.75-9.75	14.25	18.75	24.75-9.75	14.25	18.75	24.75-9.75
操作							补充放养			补充放养			补充放养

#### 备注：

\*每三个月放养一次罗非鱼鱼种（1.5千克=50克/鱼×30条鱼）。每条鱼都能在六个月内存活并长到收获大小（15千克=500克/条鱼×30条鱼）。星号\*表示收获。如果不是一次性捕获所有30条鱼，则收获/放养的月份可以是一个范围，比如30条成鱼在整个一个月里持续捕获。这个表格介绍了在理想状态下进行轮捕轮放的理论指南。

如果不能定期的获得鱼种，为了维持一个稳定的生物量进而为植物提供养分，可以放养较多数量的鱼，渐进地收获小鱼。表8.3展示了一个每6个月放养一次50克罗非鱼鱼种的系统。在这个例子中，第一次收获从第三个月开始。假如鱼类生物量低于最高限制的20千克/立方米，可以应用放养频率、鱼数量和重量之间的各种组合。如果鱼是雌

表8.3  
使用渐进式收获技术同个水槽中罗非鱼在一年内的潜在增长率

月份	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<b>第一轮放养</b>													
鱼缸中鱼的数量	80	80	70	60	50	40	30	10					
鱼的重量 (克)	50	125	200	275	350	425	500	575					
群体生物量 (千克)	4	10	14	17	18	17	15	5.8					
<b>第二轮放养</b>													
鱼缸中鱼的数量							80	80	70	60	50	40	30
鱼的重量 (克)							50	125	200	275	350	425	500
群体生物量 (千克)							4	10	14	17	18	17	15
鱼缸总生物量 (千克)	4	10	14	17	18	17	19	15.8	14	17	18	17	15

**备注:**

罗非鱼苗种每六个月放养一次。从第三个月开始轮捕轮放，从而保证其总生物量低于最大放养量20公斤/平方米。表格显示如果鱼养殖在理想状态下，理论上一年里每次能够捕捞的鱼体重。

雄混养的，收获的首要目标是雌性鱼，以避免它们生长5个月达到性成熟后进行繁殖。繁殖将令整个群体受到影响。在罗非鱼雌雄混养的情况下，开始阶段鱼可以放养在一个网箱内，在可以确定性别后，再将雄鱼放到鱼池中自由活动。

记住，成年罗非鱼、鲶鱼、鲑鱼，如果与它们较小的同类放养在一起，它们会捕食比自己小的同类鱼。将所有这些鱼安全地饲养在同一个鱼池里的一种方法就是，将较小的鱼隔离在浮动框中。这个框基本上就是一个浮动的网箱，它可以用聚氯乙烯管作框架，并用塑料网覆盖制作成一个立方体。重要的是要确保大鱼不能通过上方进入浮动网箱，所以要保证浮动网箱侧面至少高出水面15厘米以上。在主鱼池中，所有易受攻击的鱼群都应该分开放养在单独的浮动网箱中。当鱼长到足够大，不再有被吃掉的危险，就可以移放到主鱼池中。用这种方法，在同一个鱼池中，可以容纳多达3种不同放养重量的鱼，所以，保证鱼饲料颗粒大小适合所有大小的鱼很重要。把鱼放养在网箱内能带来便利，通过全程测量鱼的增重和所用饲料重量，能密切监控和确定饲料转化效率。

### 8.4.3 鱼类-总结

- 如果适用的话，系统应在无鱼情况下完成循环，再放养鱼。
- 每天投料两次，投饲量为鱼30分钟内的摄食量。30分钟后清理吃剩的饲料。记录总投料量。使用投料比率来平衡投饲率和植物数量，但要避免过度投喂或投喂量不足。
- 水温直接关系到鱼的食欲，特别是热带鱼类，如罗非鱼，所以记得在寒冷的冬季调整投饲量。
- 在理想条件下，罗非鱼鱼种（50克）达到收获规格（500克）需要6-8周。交替放养技术是在一个系统内每次收获部分成鱼的同时放养新的鱼种。这种技术为植物提供了保持相对恒定的生物量、喂食率和养分浓度的手段。

### 8.5 日常的管理实践

下面是为了确保鱼菜共生系统良好运行，每日、每周以及每月要进行的的活动。这些活动应该被纳入核查清单，并做好记录。这样，所有的操作者都知道要做什么，并且核查表可以防止日常活动中可能的疏漏。这并不意味着这些列表需要过于详尽，而仅仅是基于本出版物中描述的系统的一个指南，并且可以作为日常管理活动的回顾。

### 8.5.1 日常活动

- 检查水泵和气泵是否运作良好，并且清理它们进口的障碍物。
- 检查水是否流动。
- 检查水位，在必要的时候，增加水量以补充蒸发所耗损的水分。
- 检查泄漏。
- 检查水温。
- 喂鱼（可能的话一天2-3次），清理吃剩下的鱼饲料并且调整投饲率。
- 每一次喂食的时候，注意观察鱼类的行为和形态。
- 检查植物上是否有害虫。必要的时候，治理害虫。
- 清理任何死掉的鱼。清理任何生病的植物/枝干。
- 清除沉淀池中的固体废弃物，冲洗所有过滤器。

### 8.5.2 每周的活动

- 在投喂鱼饲料前检测水质，包括pH值，氨，亚硝酸盐和硝酸盐这些指标。
- 必要时，调节pH值。
- 检查植物，判断是否存在营养不良。必要时，增施有机肥料。
- 清理鱼池底部和生物过滤器内的鱼废物。
- 按需求种植和收获蔬菜。
- 如有必要，收获成鱼。
- 检查植物根部，以保证没有阻塞任何管道或水流。

### 8.5.3 每月活动

- 必要时，在鱼池中放养新的鱼种。
- 清理过滤池、沉淀池以及所有过滤器。
- 用鱼网清理鱼池底部。
- 对鱼取样称重并且全面检查是否有任何疾病。

## 8.6 工作安全

无论是操作人，还是系统本身，安全都是重要的。鱼菜共生系统中最危险的部分是电和水的接近，因此应采取适当的预防措施。食品安全同样重要，要确保没有病原体被传递到人类的食物上。最后，采取预防措施，以防止人类把病原体引入到系统中，这也很重要。

### 8.6.1 电力安全

始终使用漏电保护器（RCD）。这是电流断路器的一种，如果电流接触到水，这种电流断路器将切断系统的电力供应。最好的选择是让电工在主接线盒安装一个。作为替代，漏电保护器适配器能在任何五金店或家居店买到且价格便宜。例如，大多数吹风机都装配了漏电保护器。这种简单的预防措施可以挽救生命。此外，不要把电线悬挂在鱼池或过滤器上方。保护电缆、插座和插头远离一些常见的侵蚀，特别是雨水、飞溅的水和潮湿。有用于上述目的室外接线盒。经常检查裸露的电线、破损的电缆或有故障的设备，并更换相应的设备。在适当的地方使用“滴环”，以防止水从导线向下流入接线盒。

### 8.6.2 食品安全

应当采用良好农业实践（GAPs）尽量减少任何由食物传播疾病，若干实践适用于鱼菜共生系统。第一、也是最重要的一条也其实简单：永远保持干净。大多数影响人类的疾病也会通过工作人员自己带入到系统中。采取正确的洗手方法，始终对收割设备进行清洁。收获时，不要让水接触农产品；也不要让湿的手或湿的手套接触产品。如果存在病原体，大多数是在水里而不是在产品上。始终在收获后清洗农产品，并且在食用前再次清洗。

第二，防止土壤和粪便进入系统。不要将收获设备放在地面上。防止害虫，如老鼠等进入系统，使宠物和牲畜远离养殖区域。恒温动物经常携带可以传播到人类的疾病。尽可能的防止鸟类污染系统，包括使用隔离网和威慑装置。如果使用雨水收集器，在把雨水添加到系统前，需要确保鸟没有栖息在集水区域，或者是考虑在将水引进系统前进行处理。最好不要用裸露的手来处置鱼、植物或基质，而是使用一次性手套。

### 8.6.3 一般安全

鱼菜共生系统、农场和花园经常会有一些可以采取一些简单的防范措施避免其他普通灾害。避免在走道留下电源线、空气传输线或管道，因为它们可能危害正常通行。水和基质很重，所以需要适当的承重技术。在处理鱼时戴上防护手套，避免被刺。处理任何刮伤和刺都伤时，都需要立即使用标准的急救程序—清洗，消毒，包扎伤口。如果必要的话，寻求医疗护理。不要让血液或体液进入系统，不要带着开放伤口工作。当建造系统时，要注意锯、钻以及其他工具。将酸和碱储存在安全区域，在处理这些化学物质时要使用正确的安全器具。始终妥善存放所有的危险化学品和物件，并且让它们远离儿童。

### 8.6.4 安全总结

- 在电器设备上使用漏电保护器避免触电。
- 使用恰当的设备遮盖所有电力连接部位，以免遭受雨水、溅湿以及潮湿的损坏。
- 采用良好的农业实践避免农产品受到污染。始终保持收获工具的清洁，经常洗手和戴手套工作。不要让动物粪便污染系统。
- 不要裸手在水中以免污染系统。
- 保证整个工作环境的整洁，避免通行中的不便。
- 处理鱼的时候戴手套，避免被刺
- 及时对伤口进行清洗和消毒。不要带着开放伤口工作。不要让血液进入系统。
- 使用动力工具、危险化学物品时一定要小心，而且要穿防护服。

### 8.7 故障排除

表8.4列出了在运行一个鱼菜共生系统时最常见的问题。如果有什么不寻常的问题出现，立即检查水泵和气泵是否正常运转。低溶氧量水平，包括事故性泄漏，都是鱼菜共生系统的头号杀手。只要水是流动的，系统就不会处于紧急阶段，可以系统而冷静地处理问题。第一步总是进行一个全面的水质分析。了解水质能为确定如何解决问题提供了必要的反馈。

表8.4

鱼菜共生系统常见问题故障的排除

情况	原因	问题	解决方案
1) 电力/泵和系统问题			
泵不工作；电力中断。	没有电力。	溶解氧会减少。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 如果供电不可靠，应安装直流备用电源系统。</li> <li>2) 从集水池中取水倒入鱼缸，临时补充氧气；每1-2小时重复此过程，直到电力恢复。</li> <li>3) 在鱼缸上方安装一个200升的容器，可以将缓慢的水流释放到鱼缸中，从而产生气泡。</li> </ol>
泵不工作；电力正常。	泵损坏、故障或堵塞。	溶解氧会减少。	检查并清除预过滤器或管道中的任何障碍物。如果泵出现故障，请立即更换泵。
系统下方的水池或水位异常低。	泄漏或裂缝。	所有的水都会流出，给鱼和植物带来压力，并最终杀死它们。	立即修复任何泄漏或孔洞。使用立管防止鱼缸失水。补充水分。
系统中的水和鱼缸的侧面看起来是绿色的。	水华。	溶解氧会减少。	给系统遮荫，并以物理方式去除成熟的藻类。
2) 水质问题			
氨或亚硝酸盐>1毫克/升。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 细菌不起作用。</li> <li>2) 对于生物过滤器的大小来说，鱼太多了。</li> <li>3) 累积了太多非生物量：未食用的饵料、死鱼、固体废物。</li> </ol>	鱼会受到过激而死亡。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 立即用新水更换1/3-1/2的系统水。</li> <li>2) 清除鱼缸中所有未食用的饵料、死鱼或堆积的固体废物。</li> <li>3) 停止喂食，直到水平下降。</li> <li>4) 确保pH值和温度适合细菌生长。</li> <li>5) 如果亚硝酸盐含量高，每升添加1克盐，立即消除有毒水质威胁。然后，在2周内更换整个水体。</li> <li>6) 重新计算组分比率、生物过滤器尺寸和投喂方式。</li> </ol>
硝酸盐水平在数周内>120毫克/升。	高投喂比率。	没有直接问题，但如果硝酸盐持续增加，可能会产生毒性。	更换水并使用倾倒的水来灌溉作物。
碳酸盐硬度（KH）为0毫克/升。	所有的碳酸盐都被鱼菜共生单元中产生的酸所使用。	水的pH值会迅速变化，对鱼类和植物造成压力。	将碳酸钙（石灰石砾石或贝壳）添加到装置中。
3) 鱼的问题			
鱼在水面上浮头。	氧气含量太低。	鱼会承受巨大的应激并死亡。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 确保通电且泵完全工作。</li> <li>2) 确保钟形虹吸管和气泵功能正常。</li> <li>3) 确保系统鱼缸被完全覆盖遮阴以降低温度。</li> <li>4) 增加辅助增氧设备。</li> </ol>
鱼不吃食	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 溶解氧低。</li> <li>2) 氨氮和/或亚硝酸盐浓度太高。</li> <li>3) pH太高或太低。</li> <li>4) 鱼生病了。</li> </ol>	鱼受到应激，可能进一步发展为鱼病，甚至死亡。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 对水体氨氮、pH、亚硝酸盐和硝酸盐进行检测。</li> <li>2) 确定导致鱼应激的因素（pH升高，氨氮和/或亚硝酸盐浓度升高，溶解氧降低，有机物污染，鱼病）并进行相关处理。</li> </ol>



续上表8.4

情况	原因	问题	解决方案
水温过高 (>33℃) 或过低 (<15℃)。	气候变化。	如果温度太高: 鱼会停止进食, 植物会开始枯萎和死亡。 如果温度太低: 细菌会停止工作, 有些鱼可能无法进食。	1) 在夏季, 确保系统鱼缸被遮阴, 使水保持相对凉爽。 2) 在冬季, 先对鱼缸进行隔离, 然后再进行隔热保温。然后, 使用太阳能或电加热器, 并减少装置内鱼饲料和蔬菜的数量。 3) 改变鱼种, 养殖更适合该气候的鱼种。
4) 植物的问题			
植物不生长和/或叶子变色。	植物缺乏一些必需的营养素 (或温度对某些植物来说过高, 植物会生病)。	植物不会生长或结果。	1) 确保水质适合植物生长。 2) 检查硝酸盐水平: 如果硝酸盐水平太低, 每天慢慢增加鱼饲料。 3) 检查是否有任何根/茎病害。 4) 向植物中添加鱼菜共生安全肥料。
硝酸盐含量高但植物叶子变黄	1) pH值不在最佳水平 (过高或过低)。 2) 植物缺乏一些必需的营养素。	植物不能充分生长或结果。	1) 检查黄化是在新叶还是老叶上。如果是新叶, 添加铁至3毫克/升。 2) 检查pH值, 如果不是最佳值, 则进行调整。 3) 向植物中添加鱼菜共生安全肥料, 如堆肥或海藻茶。
进水管周围的蔬菜正在茁壮生长, 而远处的其他蔬菜却生长不佳。	入口管道周围的蔬菜正在吸收所有的营养。	培养基床中蔬菜生长不均。	1) 使用带小孔的灌溉管将水洒在种植床周围。 2) 每天拆下培养基床立管, 将培养基床中的水冲洗到集水槽中。 3) 检查硝酸盐含量: 如果太低, 慢慢增加每天的鱼饲料。

## 8.8 章节总结

鱼菜共生系统管理中的10个最重要的方面包括:

- 每天观察和监控系统。
- 确保水泵和气泵有足够的曝气和水循环。
- 保持良好的水质: pH值在6-7; 溶解氧>5毫克/升; TAN<1毫克/升; 亚硝酸根离子<1毫克/升; 硝酸根离子在5-150毫克/升之间; 温度在18-30℃之间
- 根据季节气候选择鱼和植物的种类
- 鱼池放养不要过分拥挤 (<20千克/1000升)
- 避免过度投喂, 投饲30分钟后清理吃剩的鱼饲料。
- 清理固体废物, 保持鱼池清洁并提供遮阴。
- 维持植物、鱼数量和生物过滤器尺寸之间的平衡。
- 通过交替收获、补充放养鱼种和重新栽种来维持系统的平衡。
- 不要让人类或动物身上的病原体进入系统, 不要让系统的水弄湿叶子从而污染农产品。



## 9. 鱼菜共生系统的相关内容

本书的最后一章讨论了关于小型鱼菜共生系统管理的次要但重要的话题。鱼菜共生系统需要几个基本的投入，包括鱼饲料、电力、种子/幼苗、鱼苗、补充性植物肥料和用来补足系统的水。所有这些必要的投入都可以通过购买获得，但在家庭层面，也有一些简单方法，可以使用可持续的方法制作一些必需材料。这些方法可以降低系统每年的运行成本，并有助于使生产尽可能对环境负责。

不要将鱼菜共生系统装置中的水排干，管道破裂、接头松动或软管不安全都会导致系统里的水漏光，会造成鱼的死亡，而且这一过程会将系统破坏得一塌糊涂。为了确保系统水位安全，对故障安全和补救的技术进行了讨论。最后，对鱼菜共生系统如何适应其他类型的农业生产，以及如何进一步整合进行了简短的讨论。

### 9.1 鱼菜共生系统的可持续的、当地的投入替代品

#### 9.1.1 有机植物肥料

第6章讨论了，即使是均衡的鱼菜共生系统也会遇到营养不良的问题。虽然鱼饲料颗粒是鱼全部食物的来源，但它们不一定具有植物所需要的适量的营养物质。通常来说，鱼饲料中的铁、钙和钾含量较低。在次优的生长条件下如寒冷的天气和冬季，植物也可能出现营养缺乏。因此，有必要施加补充性植物肥料，尤其是种植结果植物或种植那些具有高营养需求的植物。对于鱼菜共生系统而言，合成肥料往往太过粗糙，而且会破坏生态系统的平衡；相反地，鱼菜共生系统可以依靠堆肥茶来补充各种营养物质。

#### 一般堆肥过程

堆肥是由分解的有机物（包括食物残渣）制成的肥沃肥料。在以土壤为基质的种植中，堆肥在补充有机物质、保持水分和提供营养方面是非常有用的。此外，堆肥可以用来制造一种液体肥料，称为堆肥茶，其可以添加到鱼菜共生系统的水里来提高营养供给。从厨余垃圾中就可以获得高品质的堆肥。通常，食物残渣会被添加到容器中，后文把这称为堆肥单元。在堆肥单元内，好氧细菌、真菌和其他生物体把有机物分解成可供植物吸收的简单养分，所产生的最终物质被称为腐殖质。腐殖质由约65%的有机物质组成，没有病原体，而且营养丰富。从食物残渣到腐殖质的整个过程，可能需要长达六个月的时间，这取决于堆肥单元内部的温度和通风质量。

通常，堆肥单元有200-300升，是一个带有盖子和许多通风孔的筒状容器（图9.1）。它们通常是深色的，这样就可以保温，也可加速分解过程。各种类型的堆肥单元都是较易获得的，而且很容易通过可回收的部件进行搭建。建议经常翻动堆肥单元的堆肥，因为它们只需要较少的空间，同时需要保持良好的通风和均匀性。确保有足够的空间来适当地旋转桶。所有堆肥单元都需要足够的气体流动。



图9.1  
立式堆肥装置

当制作堆肥时，对进入堆肥单元中的材料进行管理是非常重要的。最好保持干湿有机材料的良好比例，以相等的数量分层，以达到约60%-70%的含水量。在最初的2-3周的热好氧过程中，温度高达60-70℃，此时重要的是避免水分过多，过多的水分会减少热量。热好氧过程会加速堆肥进程，并有助于用巴氏杀菌法来消灭源于有机废弃物中任何可能的病原体。为了防止堆肥过湿以及避免产生厌氧区域，很重要的一个方法就是要进行分层。经常给堆肥通风曝气是一项重要任务，这样才能保证细菌在有氧条件下生存，它们才能均匀地处理废料。该曝气操作包括简单地把废弃物上下颠倒或定期地旋转桶/容器。这有助于给好氧细菌通风。

通过混合湿物料和干物料，就可以获得优质的生态堆肥，湿物料如植物食品剩余物、磨碎的咖啡、水果和植物，干物料如面包、草屑、干树叶、秸秆、灰烬和木屑。然而，保持碳和氮元素之间的最佳平衡（C:N比在20-30）是很重要的，因为这种平衡有利于材料的快速转化。一般情况下，明智的做法是不使用过多的秸秆或木屑（C:N>100），而是使用“绿色”的废弃物如草屑，而且最好使用稍微干燥一点的，这样可以降低其水分含量。为避免pH值的过度升高，不建议使用过多的木灰，只建议使用来源于木材/植物的灰，因为其他来源（如纸张）可能含有有毒物质。一些材料不适合做堆肥，包括乳制品、肉制品、柑橘类水果、塑料、玻璃、金属和尼龙。堆肥的包容性很强，但理想的堆肥应该有足够的水分和氮，以满足所有有益生物的生存。如果堆肥过于干燥，可以添水。堆肥温度的上升表明有激烈的微生物活动，这表明堆肥过程正在进行中。事实上，堆肥的温度会变得非常高，此时可以用于加热温室。

蚯蚓堆肥就是在堆肥单元中使用蚯蚓的一种特殊的方法（图9.2）。



图9.2  
来自蚯蚓堆肥装置的红蚯蚓 (*Eisenia fetida*)

添加蚯蚓有如下几个好处。首先，蚯蚓可以加速分解的过程，因为蚯蚓消耗有机废弃物；其次，蚯蚓的代谢废弃物（蚯蚓粪）是一种肥力很高、营养全面的肥料。可以购买或建造特殊的蚯蚓堆肥处理装置，并有丰富的信息可用。很重要的是，要从信誉良好的供应商那里获取蚯蚓，并确保这些蚯蚓从来没吃过动物肉或动物的代谢物。一旦开始堆肥，在苗圃中就可以直接用蚯蚓粪来促进种子的萌发，因为一旦秧苗移栽，蚯蚓粪将把营养引入鱼菜共生系统。或者，可以将蚯蚓粪做成堆肥茶。

### 液态堆肥和二次矿化

当有机废弃物最终分解成腐殖质，这可能需要4-6个月，这个过程有可能制作液态堆肥。这个过程很简单。几个大堆的堆肥被系在一个网袋中，用一些石头加重。把这个袋子悬挂在一桶水里（20升）。在网袋下方配备一个连接着小型气泵的气石，以产生气泡搅动堆肥（图9.3）。曝气非常重要，可以防止厌氧发酵的发生。将混合物放置数天，并且要保证经常曝气。应不时地搅拌堆肥，以避免产生缺氧区域。2-3天后，液态堆肥就可以使用。液态堆肥应该通过细布过滤，然后加水按1:10的比例稀释。施加到植物中的液态堆肥有两种，要么加到喷雾罐里作为叶面肥，要么是作为液体肥料施加到植物根部。如果直接把稀释的液态堆肥添加进鱼菜共生系统中，开始的时候应使用少量（50毫升），并耐心地记录下植物生长的变化。必要的时候重新添加，但要注意不要加太多。



### 其他液态肥

除了堆肥，还有许多其它营养丰富的有机物质可按照上述方式酿制成液态肥。上面提到的一个方法是，使用鱼缸中的固定废弃物，这种废弃物可以通过机械过滤获得。固体废弃物以同样的方式酿制后完全矿化，并且可以重新添加到鱼菜共生系统中。其他有机物质来源还包括海藻、荨麻和紫草。海藻是一个很好的补充源，因为它含有丰富的钾和铁，鱼菜共生系统中往往缺乏钾和铁，但一定要洗净海藻上残留的盐。使用较大的液态有机肥，也可以暂时维持无鱼的鱼菜共生系统。在一年中的寒冷季节，当鱼的代谢水平很低而植物需要增加营养物质时，这种方法可能是非常有用的。

### 堆肥的安全性

当使用堆肥时，确保其完全分解，这样才能保证没有病原体。禁止使用从恒温动物处获得的有机物材料，这会增加引入病原的风险。此外，在生产堆肥茶的时候，要确保水的含氧量良好，并持续曝气，因为这有助于矿化作用，同时可以防止某些致病菌生长。始终避免鱼菜共生系统的水与植物叶子接触，尤其是使用堆肥茶时。对于生产堆肥茶的详细信息，请参阅扩展阅读部分。

## 9.1.2 鱼饲料的替代物

对于任何鱼菜共生系统而言，鱼饲料都是最重要和最昂贵的投入之一。鱼饲料可以购买或自制。本书作者强烈推荐使用优质的人工鱼饲料颗粒，因为它们是鱼的全部食物来源，这意味着饲料颗粒可以满足鱼类的所有营养需求。即便如此，下面是一个鱼饲料补充物的例子，这种补充物以家庭为单位就可以轻易获得。在买不到人工饲料或者人工饲料太贵的时候，这种补充物可以帮助节省资金或做临时使用。自制饲料颗粒的更多信息可以在附录5查阅。



### 浮萍

浮萍是一种生长迅速的浮游植物，蛋白质含量丰富，可作为鲤鱼和罗非鱼的食物来源（图9.4）。在最佳条件下，每1-2天浮萍的数量就可以翻倍，这意味着每天都可以收获一半的浮萍。浮萍应该在和鱼分开的水箱中生长，否则鱼会吃光浮萍；不需要曝气，而且水流应以缓慢的速度流过容器。浮萍可在阳光直射或半阴暗的地方生长。多余的浮萍可以装袋后冷冻存储，以备日后使用。浮萍也是一种非常有用的家禽饲料。

对鱼菜共生系统而言，浮萍是一种有用的营养补充，特别是当种植浮萍的容器沿着植物生长基质和鱼缸位置之间的回流管分布的时候更是如此。任何从植物生长基质床上漏下来的营养物质都可当作浮萍的肥料，从而保证了回流到鱼池中的水尽可能的清洁。浮萍不会固定大气中的氮，浮萍中含有的所有蛋白质基本上都是来自鱼饲料或其他外部来源。

### 满江红属，水蕨

满江红是蕨类植物的一种，浮在水面生长，与浮萍习性相似（图9.5）。主要区别在于，满江红属能固定大气中的氮，本质上是利用空气合成蛋白质。这是因为满江红与一种名为满江红鱼腥蓝细菌的细菌有共生关系，这种细菌分布在叶内。除了提供免费的蛋白质来源外，满江红还是一种极具吸引力的饲料来源，因为它的生长速度非常快。与浮萍类似，满江红应生长在水流缓慢的单独水箱中。其生长通常受到磷的限制，因此，如果想要满江红密集生长，需要额外添加磷，如堆肥茶。

源外，满江红还是一种极具吸引力的饲料来源，因为它的生长速度非常快。与浮萍类似，满江红应生长在水流缓慢的单独水箱中。其生长通常受到磷的限制，因此，如果想要满江红密集生长，需要额外添加磷，如堆肥茶。

### 昆虫

在许多文化中，昆虫都是不受欢迎的害虫。然而，在为延续传统的食物链而提供更可持续的解决方案的过程中，昆虫展现了巨大潜力。在许多国家，昆虫已经是人们的饮食的一部分，并在市场上出售。此外，早在几个世纪前，昆虫就已被用作动物饲料了。

昆虫是一种健康的营养来源，因为它们富含蛋白质和多元不饱和脂肪酸，并且富含必需的矿物质。其粗蛋白含量在13%和77%之间（平均40%），并因品种、生长阶段和饲养饮食的不同而有所不同。昆虫还含有丰富的必需氨基酸，这是很多饲料原料所不具备的（附录5）。可食用昆虫也是脂类的一个很好的来源，因为昆虫的脂肪量含量在9%和67%之

间。在许多昆虫物种中，必需的多元不饱和脂肪酸的含量也很高。这些特性共同促使昆虫成为人类食品和动物或鱼的饲料的健康和理想选择。

鉴于昆虫数量和种类繁多，可以根据当地的可用性、气候条件/季节和可用饲料的类型来选择要饲养的昆虫。昆虫的食物来源可包括主食果壳、植物叶、植物废弃物、粪肥，甚至木材或富含纤维素的有机材料（适用于白蚁）也是可以的。昆虫也能很大程度上促进废弃物的生物降解，因为它们分解有机物，直到它能被真菌和细菌消耗，再经过矿化作用成为植物营养素。

饲养昆虫并不像饲养其它动物那样具有挑战性，因为唯一的限制因素是饲料，而不是饲养空间不足。昆虫有时被称为“微型家畜”。空间需求小意味着创建昆虫农场只需要使用非常有限的空间和投资成本。此外，昆虫是冷血动物，这意味着它们将饲料转化成肉的效率远高于陆生动物，与鱼类相似。在扩展阅读的饲料部分，介绍了在昆虫养殖方面的很多可能选项以及补充知识。在许多可用的物种中，一种有趣的、可用作鱼饲料的物种是黑水虻（见下文）。

### 黑水虻

黑水虻的幼虫（光亮扁角水虻）中蛋白质的含量非常高，是包括鱼类在内的家畜的重要蛋白质来源（图9.6）。在有利的气候条件下，对一个完整的家庭农业系统而言，这种昆虫的生命周期使其成为一种既方便又有吸引力的补充。可用畜禽粪便、动物尸体和食物废弃物喂养黑水虻幼虫。当饲养黑水虻时，这类废弃物要放置在排水和通风均良好的堆肥单元里。随着幼虫生长到成熟阶段，它们沿着安装在堆肥单元里的斜坡爬离饲料来源，然后爬向连接着的收集桶。从本质上讲，幼虫吞食废弃物，累积蛋白质，然后自己收获。三分之二的幼虫可以加工成饲料，而其余的三分之一则是在一个单独的区域中发育为成虫。成虫不是疾病的携带者；成虫没有口器，不能摄食且不被人的任何活动所吸引。成虫经过简单交配然后返回到堆肥单元里产卵，一周后死亡。已有研究表明，黑水虻可以防止家畜设施上孳生家蝇和绿头苍蝇，同时能有效降低堆肥中的病原体负荷。即便如此，在用幼虫喂鱼之前，为保证安全，幼虫应经过处理。在烘箱中（170℃，持续1小时）烘烤可以消灭任何病原体，并且可得到干燥的幼虫，经过研磨，加工成饲料。



### 辣木或辣根

辣木是一种典型的热带树木，营养成分非常丰富，包括蛋白质和维生素。辣木被一些人列为超级食品，目前用于防治营养不良，因为辣木含有必需的营养物质，所以辣木可以作为一种有价值的添加剂加入自制的鱼饲料里。辣木树的所有部位都适合人类食用，但在水产养殖中，通常是使用叶片。事实上，在非洲，几个小规模鱼菜共生系统已经取得成功，这些系统用辣木树的叶子作为罗非鱼的唯一饲料来源。这些辣木树生长迅速，抗旱，并易于通过扦插或种子繁殖。然而，它们不耐霜冻，不适合生长在寒冷地区。对于叶子的生长，每年四次修剪主干的所有分枝，这个过程称为修剪树冠。

### 9.1.3 种子的采收

在许多类型的小规模农业生产当中，另一个重要的节约成本和可持续发展策略是从生长着的植物中收集种子。因为植物是鱼菜共生系统的主要生产目标，所以收集种子对于鱼菜共生特别有效。种子采集是一个简单的过程，此处讨论两大类种子，干籽荚和湿豆荚。在一般情况下，只使用成熟植物的种子。秧苗的种子不会发芽，而成熟植物会散播它们的种子。避免植物杂交，杂交后的植物可能是不育的。从许多植物中收集种子，有助于保持遗传的多样性和植物的健康。此外，考虑一下当地种子交换组织，它们支持与其他小规模农民进行种子交易。

#### 干籽荚

此亚类包括罗勒、生菜、芝麻菜和花椰菜。其中一些植物，可以在



图9.7  
从干罗勒植株上 (*Ocimum*) 收集种子

其整个生长周期中收获种子，例如罗勒（图9.7）。其他一些植物，只能在植物已经完全成熟且不可再食用后才能收集种子，例如生菜和西兰花。种子收集的一般过程是：把切好晾干的/成熟的茎装到一个大纸袋里，于阴凉避光处储存3-5天。在此期间，轻轻摇动密封的纸袋有助于种子脱落。接下来，打开袋子，而且当根茎或整个植物还在袋子里时，最后一次摇晃袋子。然后，去掉茎和所有的植物碎屑，过筛后收集剩余的种子。收集这些种子并把它们装回到纸袋，确保纸袋里只有种子，不存在植物碎片。

#### 湿豆荚

该亚类包括黄瓜、西红柿和辣椒。种子在果实内部发育，通常在种子表面上有一层胶状囊，会阻止里面的种子发芽。当果实准备好收获时，通常此时果实的颜色明亮而鲜艳，从植株上摘取果实，拿刀切开水果后用勺子收集内部的种子。把带有胶状囊的种子取出并放到筛子上，然后用水冲洗种子上的胶，并用光滑布擦净。之后，取出种子，在阴凉处摊开来晾干种子，不定时翻动直到种子完全干燥。最后，去除所有剩余的胶或植物碎屑，并将它们保存在一个小纸袋里。



### 种子的贮藏

建议把种子保存在密封的纸袋或信封中，存放在阴凉、干燥、阴暗、湿度最小的地方。小冰箱是存储种子的一个理想场所，最好是能放在一个带有干燥剂袋（即硅胶）的气密容器中，以保持水分低于真菌生长所需的水平。至关重要的是要确保只有种子而不含有其它植物或土壤碎屑，这样就可以避免患病或过早发芽的风险。植物碎片和水分还会滋生真菌和霉菌，从而损害种子。一旦种子装入袋中，要在包装袋上写明日期和植物类型。为了提高种子发芽率，应该在2-3个生长周期内使用种子。

### 9.1.4 雨水的收集

收集雨水对鱼菜共生系统进行再补给，是降低运行成本的又一有效途径。在鱼菜共生系统中使用雨水有如下几个好处。首先，雨水是免费的。本出版物中所描述鱼菜共生系统，每天将损失1-3%的水量，主要是植物叶片的蒸腾作用。水是一种珍贵的资源，并且在一些地区水是昂贵且不可靠的。其次，大多数雨水的质量很高。雨水不太可能有毒或含有病原体。雨水不包含任何的盐分。雨水也具有较低水平的总硬度（GH）和碳酸盐硬度（KH），并且通常雨水呈弱酸性。雨水是非常有用的，尤其是在那些水碱性过高的地方，因为雨水可以起到中和作用，这样就保证了进入到鱼菜共生系统中的水的pH在最佳的6.0-7.0范围内。然而，雨水碳酸盐硬度（KH）较低，这意味着雨水对酸变化的缓冲效果不佳。因此，正如在第3.5.2节中所述，如果将雨水用作系统水的主要来源，应在雨水中添加碳酸钙。要认真注意雨水收集的表面，并尽量避免从鸟类栖息地或动物粪便堆积处的周围取水。降低病原体污染风险的一个简单方法是慢砂过滤，这可以通过简单地将水渗透到50-60厘米高的细砂过滤器中，并在水箱底部开口处收集过滤后的水。

在建筑物或房屋的周围安装排水管，将其连接到一个大的干净容器中，就可以轻松实现雨水收集（图9.8）。例如，在每年降雨量只有330毫升的地方，36平方米的集水区将收集11900升水。这样收集雨水，会有一部分损耗，但收集到的雨水可以完全满足小规模鱼菜共生系统的需要。平均来说，这里所描述的系统每年消耗2000-4000升水。收集雨水是最容易的部分；储存雨水更重要，也更具挑战性。水必须一直保留到系统需要它的时候，同时水必须保持清洁。装水的容器应盖上遮盖物以防蚊子和植物碎屑的进入。蓄养一些小古比鱼或罗非鱼苗也很有用，它们可以捕食雨水中的昆虫，同时单独加入一个的气石，从而避免水中产生厌氧细菌。



图9.8  
从屋顶收集雨水

### 9.1.5 鱼菜共生系统的替代建筑技术

人类的聪明才智已经给鱼菜共生系统的基本主题提供了无数的变化。从最基本的意义上说，鱼菜共生系统简单地把鱼类和植物装在不同的容器中，并共享含氧的水。在建造一个鱼菜共生系统时，我们

图9.9  
回收的浴缸用作基质栽培床



可以用到旧水箱、浴缸、塑料桶、桌子、木头和金属零件（图9.9）。在建造深水栽培系统时，筏和种植杯都可以取材于竹子或再生塑料；当地现有的碎石可用于填充基质栽培系统。始终确保系统的组成成分（鱼缸、基质栽培床、生长管道和卫生设备）此前没有装过有毒或有害的物质（伤害鱼类、植物或人体）。此外，任何材料在使用之前，都有必要彻底清洗。

最便宜的鱼菜共生系统是在地面挖一个大洞，用廉价的0.6毫米的聚乙烯塑料布作池塘衬垫。用铁丝或网眼把鱼和植物分隔开来。池塘的一侧是鱼池，鱼的放养密度相对较低，而另一侧则是覆盖着聚苯乙烯泡沫塑料的深水栽培系统管道。要始终保证曝气和水体流动，但也可以通过高低落差或通过人力抽水来增加水体流动和曝气。把水提升到集水箱中，并允许它通过级联回落将氧气添加到水里，这是无需用电的一种方法。在桶和中型散装容器很昂贵的地方，农民可以考虑使用这种方法，但是总体产量将会下降。

附录8展示了使用中型散装容器来建造鱼菜共生系统的方法，这种方法世界各地到处可见。此外，在扩展阅读的章节列出了自制鱼菜共生系统的两种不同的方案。

### 9.1.6 鱼菜共生系统装置的替代能源

在鱼菜共生系统中，无论是气泵，还是水泵，操作这些电动泵都需要能量来源。通常情况下，要在正常的功率下使用电泵，但这不是必须的。这些系统完全可以利用可再生能源来供能。为建设可再生能源系统提出规划，不在本出版物的讨论范围之内，但在扩展阅读的部分列出了有用的资源。

#### 光伏发电

太阳能来自太阳光，是一种可再生的替代能源。光伏电池板将来自太阳的电磁辐射转换成热能或电能（图9.10）。对于鱼菜共生系统而言，

水泵和气泵可以通过太阳能供电，光伏太阳能电池、交流/直流电压逆变器和大容量电池可以保证无论在夜间或阴天都可以24小时供电。虽然太阳能是高度可持续的能源，但由于从光伏电池中转换和存储能量需要额外的设备，这些设备成本高昂，需要大规模的初始投资。然而，在一些推广使用太阳能的地区，这些基础投资的成本可能会有所降低。

图9.10  
用于为水泵供电的光伏电池



#### 保温

在冬季，可能有必要对水进行加热。通过使用化石燃料，有很多种方

法可以实现这种加热。然而，更便宜和更可持续的方法可能会被采用，例如水箱保温材料和螺旋加热。在冬季，使用标准保温材料包裹在鱼缸外，防止热量从鱼缸散发出去。大量的热能耗散实际上是气石的曝气活动所致，因此最好就是覆盖且隔离生物滤池，或采用替代曝气的方案，避免气泡曝气。

### 螺旋加热

螺旋加热是一种被动利用太阳能的形式。系统中的水通过黑色螺旋软管进行循环。黑色塑料吸收太阳热量并将其传导到水中。为了进一步提高该系统的温度，螺旋加热管道可以安置在充当微型温室的小玻璃板房子里。黑色背景也有助于保温。对于这里所描述的系统，推荐的管道尺寸是直径25毫米，长度为40-80米（图9.11）。



## 9.2 保证小规模鱼菜共生系统的水位

小规模或经济型鱼菜共生系统的一个最常见的灾难是失水事件，即系统中的水全部漏光。这是灾难性的，会杀死所有的鱼类并破坏整个系统。漏水事件有几种常见的发生原因，包括断电、管道堵塞、排水管开着、忘记添加新水或动物阻断水流。如果不立即处理这些问题，那么这些问题可能会在数小时内对鱼类造成致命威胁。下文列举了一些防止上述情况发生的方法。

### 9.2.1 浮动开关

浮控开关是一种廉价的设备，可根据水位来控制水泵（图9.12）。如果贮槽水箱中的水位下降到低于一定的高度，该开关将关闭水泵。这可以防止水泵把槽中所有的水都抽掉。同样地，浮控开关可从软管或给水管进水，进而把鱼菜共生系统装满水。类似于马桶浮球阀和阀门，浮控开关可以确保水位从不低于某一特定的点。应当注意的是，在某些类型的失水事件，例如管子破了，这种方法的确可以保证鱼类不死，但实际上会使得水泛滥更加严重，而且这种方法可能也不适合用于室内的鱼菜共生系统。





### 9.2.2 溢流管

如果正常的排水管道被堵塞，溢流管可以使系统最高点的水回流到集水槽（图9.13）。在这些设计中，最高点是鱼缸，但在其他设计中鱼缸的上方是基质栽培板。如果植物的叶、基质或鱼的排泄物不断累积，那么管道就可能会被堵塞，但是无论如何，溢流管都可以安全地将水循环回落到集水槽中。这消除了从系统的顶部把水抽出并排干水箱的风险。

### 9.2.3 竖管

通常在底部排水的鱼缸内部安装竖管，用来防止鱼缸里的水流光。在出了问题的鱼缸内，将垂直管插入排水管中（图9.14）。这种技术规定了水柱的高度；水既不能比垂直管的顶部深，也不能比垂直管的顶部浅。然而，这种方案也意味着鱼缸底部的水不会被排干，除非在底部同心地围绕着竖管的位置安装开口更宽更长的管子。如果这样做，水将从底部进入，向上流动直至到达竖管的顶部空隙，此时水将从顶部溢出。这种方法非常安全，但需要时不时地移动

外管，来去除两个管之间堵塞间隙的废弃物。

### 9.2.4 动物围栏

牲畜和鸟类在寻找水喝或是在寻找鱼和植物吃的过程中，也有可能通过移动、搞乱或破坏水管而造成水的流失。为了防止这种情况，可以安装一个简单的动物围栏。

## 9.3 整合鱼菜共生系统与其他园林

鱼菜共生技术可以单独使用，但对于小规模养殖者而言，只有在与其他农业技术结合使用时，鱼菜共生技术才变成更强大的工具。虽然前面已经讨论了如何种植其他植物和饲养昆虫以补充鱼饲料，但鱼菜共生技术还可以为花园的其他部分提供帮助。总的来说，来源于鱼菜共生系统的营养丰富的水可以被其他的植物生产区域共享。

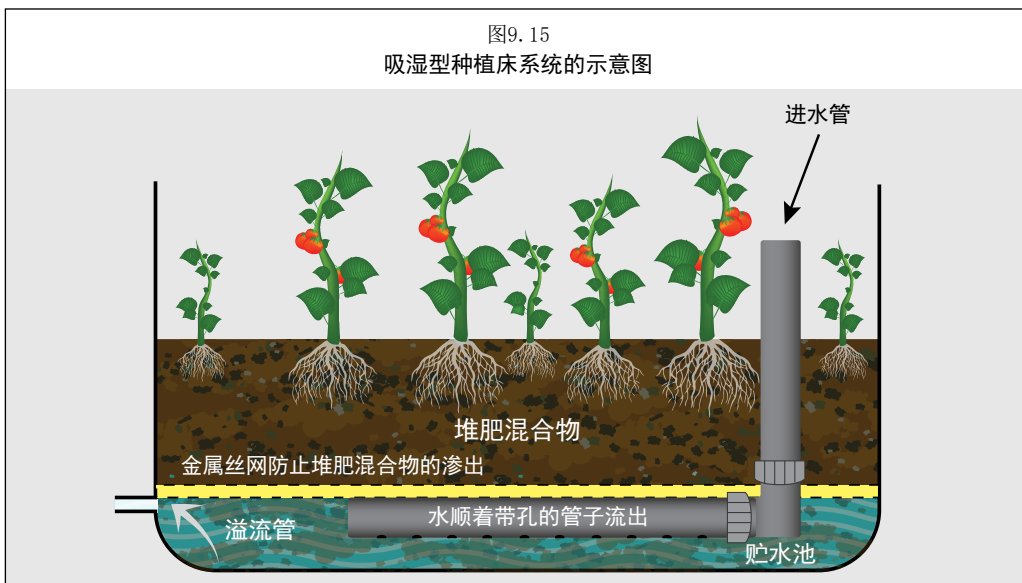
### 9.3.1 灌溉和施肥

对于植物生长而言，鱼菜共生系统拥有营养丰富的水源。这种水也可用来给观赏植物、草坪或树木施肥。对于所有以土壤为基础的生产活动来说，鱼菜共生系统的水是最佳的有机肥料。对于生长在培养基或者小土块中的蔬菜，可以定期地从鱼菜共生系统抽取水，并灌溉到其种植空间，为其生长提供促进性的必需营养素。如果是在花园或是在阳光可以照射到的任何地方，用小型花盆种植较大的结果蔬菜（例如西红柿），在叶和茎

发育的早期阶段，鱼菜共生系统的水可以用作富硝酸盐肥料。鱼菜共生系统的水也可用于种子萌发。

### 9.3.2 灌溉渗透型种植床

花园种植的另一非常节水的形式就是渗透型种植床。该种植床本身有贮水容器，这个贮水容器位于种植床底部，用大鹅卵石填充。在这些鹅卵石上方覆盖有保湿较好的土壤混合物。通常用遮光布、土工布或其他布料把这两个区域分开。植物种植在土壤当中。重新填充的管子穿过土壤的顶层向下进入贮水池的底部区域。通过毛细作用将水从贮水池向上供给到根系（图9.15）。这避免了额外浇水，并且减少了因蒸发而损失的水量。在潮湿的土壤中，根系生长需要有水、氧气和营养物质的持续供给。渗透型种植床可以用普通的自来水浇灌，但使用鱼菜共生系统的水可同时供给营养物质，不再需要施肥。安装在渗透型种植床容器底部的阀门有助于定期冲洗水，可以防止盐和/或厌氧区的形成。



在干旱和缺水地区，渗透型种植床是种植蔬菜的绝佳方法。与标准的自上而下的灌溉方法相比，渗透型种植床最多只需要用一半的水。渗透型种植床可以用防水容器做成，或在地面向下挖并用聚乙烯内衬密封来存水，这就使其在土壤很少或没有土壤的干旱和半干旱地区成为食物生产的理想方法（图9.16）。

另一种方法是在鱼菜共生系统内，将渗透型种植床恰当地放置在基质种植床的顶部。这种构造实质上建立了一个单向通道，可以保持系统中没有土壤，但可使水分向上渗透到根系区域。此方法可用于种植块茎和根茎类蔬菜，如芋头、洋葱、甜菜和胡萝卜。有关渗透型种植床概念的更多信息，请参阅扩展阅读章节中所列出的内容。



## 9.4 小型的鱼菜共生系统设置示例

在许多地方，鱼菜共生系统已经得到了成功应用。此外，为满足养殖者多样化的需求和目的，鱼菜共生技术已被改进，超越了普通的中型散装容器或桶装方法（本出版物中所描述的方法）。这样的例子有很多，但本书中选取的这些例子，都突出了鱼菜共生系统的适应性和多样性。

### 9.4.1 缅甸鱼菜共生系统现状

为促进微型农业发展，由意大利发展合作组织资助的E-妇女项目在缅甸试点建造小规模鱼菜共生系统。该项目的目标是通过使用当地可用的材料和独立太阳能系统，打造低技术含量和低成本条件的生产装置。该系统主要养殖罗非鱼和种植多种蔬菜（图9.17）。该系统用于制定家庭规模系统的成本效益分析，包括折旧，目标是实现千年发展目标设定的1.25美元/天的收入目标。

根据当地的价格，放置在竹网房子内且有太阳能电池板供电的一个27平方米鱼菜共生系统，成本价是25美元/平方米。该系统每天从蔬菜中获得的净利润是1.6-2.2美元，同时每天可提供400克罗非鱼用于家庭食用。投资回报周期取决于农作物，大概是8.5-12个月。网状房子就可以满足防虫的需要，同时对不利的气候条件（雨）的防范可以避免季节性损失。在东南亚，农民常常需要育苗，对于缺地或没有土地的家庭，这可能是进一步增加鱼菜共生系统收入的另一种有趣的选择。

该试点项目表明，在世界各地的许多地区，鱼菜共生系统在保障粮食安全和生计方面具有重要作用。在小块土地鱼类养殖和植物种植活动让贫困人群创造收入，使得家务劳动的价值增加，而且也在社会层面为妇女赋予权力。

图9.17  
装满土的竹制框架（a），去掉土并衬以聚乙烯膜，形成生长槽和基质栽培床（b）



### 9.4.2 盐碱地的鱼菜共生系统

在那些不能开展传统农业的沿海或盐碱地区，海水或咸水的水产养殖业与农业融合是一种生产食品的新方式。水生动物的内陆养殖，除了具有来自污染防治或景观恢复产生的环境效益外，优势还在于生产要素

更加可控，感染污染物或病原体的风险大大降低。尽管盐水不是植物生长的理想条件，因为盐水会产生渗透压冲击、限制生长以及引起钠中毒，但在一些盐度较低的水中仍然可以种植一些植物。

在鱼菜共生系统或封闭的循环系统中，种类繁多的植物可以从营养丰富的水中吸收营养。在干旱和盐碱地区，盐生植物（耐盐品种）可以提高粮食产量和提升农业生产力。一些种类是高价值的特产作物，如猪毛菜属（图9.18）、海茴香、滨藜属或海蓬子属，而其他一些被作为谷物收获，如珍珠粟、藜麦和水苦草，还有一些种类可以作为生物柴油。对于盐生植物，理想盐度条件是盐度范围为海洋强度的1/3到2/3，但一些植物也可以耐受高盐的条件。

现代农业的最大挑战之一是让园艺植物适应在盐水中生存。然而，在微咸水里直接种植一些园艺品种也是有可能的。这些品种大多数属于藜科（甜菜、牛皮菜），因其耐盐性较高，可在海水盐度的1/6到1/3范围内较好生长（图9.19）。假如采取量身定制的农艺策略的话，其他常见的物种，如番茄和罗勒在海水盐度1/10的范围内，依然有可观的产量（图9.20）。这些策略包括：增加营养素浓度、植物生物调节、与耐盐根茎嫁接、加强气候控制和提高种植密度。然而，与淡水作物相比，盐碱作物的质量性状更高，外观更好看、味道更佳、保质期更长。

图9.18  
猪毛菜在三分之二海水盐度的咸水中生长，每月产量可达2-5千克/平米



图9.19  
海甜菜生长在三分之一海水盐度的深水栽培单元的聚苯乙烯板上，



图9.20  
嫁接番茄生长在十分之一海水盐度的沙地里



### 9.4.3 Bumina和Yumina

有一种来自印度尼西亚的鱼菜共生技术值得特别关注。在印尼语中，这种技术被称为bumina和yumina，字面上可翻译为“果实-鱼”和“植物-鱼”。这个名字说明了在鱼菜共生系统中植物和鱼是如何密切相关的。Bumina和yumina本质上是基质栽培技术的一个范例。

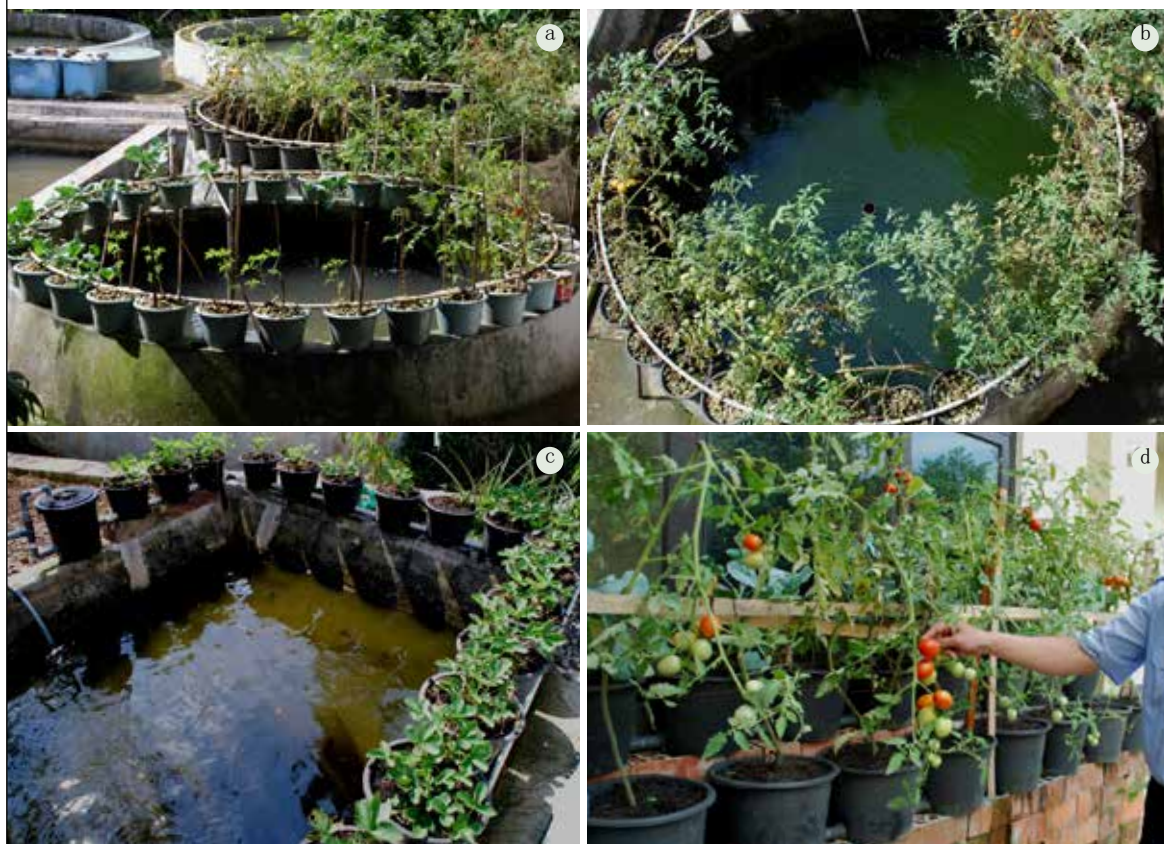
在地上挖出的土池塘，用沙袋或空心砖做池塘内衬，将鱼暂养在这个池塘里。这个池塘内衬可以选用篷布，更好一点的话可用聚乙烯。池塘内衬是必要的，可以防止底部沉积物内部发生不必要的生物和化学反应，而且有助于保持该系统的清洁。作为另外一种选择，也可以把鱼养殖在一个隆起的混凝土水池内。这个池塘的水通过水泵进入集水箱，集水箱通常由一个大塑料桶建造而成。如果饲养密度高到一定程度，桶里可以加入机械和生物过滤材料。借助重力，水通过一个配水管从这个集水箱供给系统。

整个池塘底部排布着小型罐子、简单的花盆或其他小容器，这些容器中都装满了有机栽培基质。分流管道铺设在这些花盆之上，水沿着小孔传送。这些花盆里的植物通过这些水进行灌溉和施肥，然后通过花盆底部流回到鱼塘（图9.21）。水的下流回落效应也有助于鱼塘的曝气。

Bumina和yumina是印尼各地的家庭粮食安全计划的重要组成部分，主要目的是提高家庭蛋白产量。这些系统的初始投资低于比本书中介绍的IBC系统，但这些系统需要在地面挖池塘，因此不适用于一些城市、室内或屋顶的应用。

图9.21

印度尼西亚的鱼-果-蔬系统的中央混凝土鱼池(a, b)周围环绕着花盆基质栽培的草莓(c)和番茄(d)





## 9.5 本章小结

- 堆肥茶可用于为植物补充营养，并可通过将植物废料堆肥进行小规模生产。
- 在一个小规模鱼菜共生系统里，可以生产并提供替代性和补充性鱼饲料，包括浮萍、满江红属、昆虫和辣木。
- 通过简单的技术就可以收集和保存种子，这样就可以降低补种的成本。
- 雨水收集和存储可为鱼菜共生系统补充水，此方法经济有效。
- 采用冗余和故障保护的方法，来防止可能导致鱼类死亡的灾难性失水事件。
- 鱼菜共生系统的水可为其他的园艺活动提供肥料和灌溉。
- 鱼菜共生系统有多种类型和方法，但本出版物因篇幅所限并未全部列出。



## 拓展阅读材料

### 循环水养殖系统和鱼类繁殖

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](http://www.fao.org/docrep/013/i1794e/i1794e00.htm)).

### 品种特性

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/](http://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/](http://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/](http://www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/common-carp/common-carp-home/en/)

### 鱼菜共生

Backyard Aquaponics. 2011. *The IBC of aquaponics* [online]. Edition 1.0. Backyard Aquaponics, Success Western, Australia.

Available at: [www.backyardaquaponics.com/Travis/IBCoofAquaponics1.pdf](http://www.backyardaquaponics.com/Travis/IBCoofAquaponics1.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](http://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.G., 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.

### 细菌, 微生物 和氮循环

- 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.

### 贝尔虹吸设计与建造

- 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.

## 鱼饲料

- 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](http://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](http://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/](http://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](http://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](http://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.

## 堆肥浸提液

- Brewing Compost Tea. Fine Gardening. Brewing Compost Tea by Elaine Ingham. Available at: [www.finegardening.com/brewing-compost-tea](http://www.finegardening.com/brewing-compost-tea).
- Ingham, E.R. 2000. *The compost tea brewing manual*. Fifth edition. Corvallis, USA, Soil Foodweb Incorporated. 79 pp.

## 鱼病

- 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](http://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.

## 温室和网棚

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](http://www.fao.org/docrep/018/i3284e/i3284e.pdf))

## 营养不良

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>

## 植物病害

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/>

## 病虫害管理

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](http://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](http://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](http://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](http://www.entomology.wisc.edu/insectid/index.php)

### 无土栽培

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.

### 吸湿型栽培床，毛细植床

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](http://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](http://www.waterright.com.au/Wicking%20worm%20beds.pdf)





## 词汇表

- 酸** — 一种具有在水中与碱基或碱反应形成盐的能力特征的物质。酸在水中解离时释放氢离子，其pH低于7。
- 交流/直流两用** — 一种电器电源配备，可以按交流电（AC）运行，如来自墙壁插座的供电，同时具有直流（DC），如用电池供电。通常用在给增氧机和水泵供电的电源备份系统中。
- 好氧** — 提供或需要气态氧的条件或过程。耗氧生物通过有氧呼吸获取能量以促进增长。
- 碱度** — 碱性矿物质的量（酸结合）指的是在水中该溶液内所含中和氢离子的量。通常单位为SBV单元（德国术语Säurebindungsvermögen的缩写）或者碳酸钙的当量，二者之间的换算因子是1 SBV=50毫克当量 碳酸钙/升。碱度可以用甲基橙为指示剂，当pH为4.2-4.4之间时，颜色发生变动，说明此时碱完全耗尽。
- 厌氧** — 指的是不要求或没有需要气态氧的条件或过程。
- 自动虹吸** — 在没有计时器或移动控制的条件下，实现水池自动进水和排水的设备。进水时水池内水位上升并达到虹吸发生的临界高度；这时启动排水且比进水更快，最终水池中水被排空，随后空气进入设备中并中止排水，水池重新进水。
- 碱基** — 一种具有在水中与酸或氢离子反应形成盐的能力特征的物质。pH高于7时，碱基在水中解离时氢氧根离子。
- 稳态** — 综合农业系统的达到动态平衡的状态，如在鱼菜共生系统中，各种生物和化学过程随着时间保持相对稳定的状态。
- 生物附着** — 生物体在带水表面的聚积，并妨碍其正常的功能。
- 生物滤池（生物过滤器）** — 在鱼菜共生系统中，有机污染物分解的处理单元的组成（主要是氧化）是由于微生物的活动结果。最重要的过程是异养细菌降解氮代谢物和亚硝酸盐经过氨氧化成硝酸盐。
- 生物量比值** — 通过鱼和植物之间的最佳平衡来获得鱼和蔬菜的良好生长效果。它可以表示为给定的投喂率能够支持的植物生长面积。
- 缓冲作用（酸结合能力）** — 一种含有弱碱及其共轭酸的溶液，在加入少量酸的时候，具有能够防止pH值降低的能力。缓冲作用只能发生在一定的pH值范围内，而且其抵消作用也取决于溶液中存在的碱基含量。在鱼菜共生系统中，缓冲作用伴随着碳酸盐或碳酸氢根离子与来自硝酸的氢离子结合，直到他们都成为饱和碳酸，出现微弱的共轭酸的形式。
- 肉食性动物** — 主要以其他动物的组织为食的动物。
- 沉淀池** — 建造的从鱼菜共生基质中通过沉淀或分离的手段除去悬浮在水中的固体物沉淀池。
- 螯合物** — 一个金属离子和较大的配位体形成分子结合物螯合环，明显地促进离子更具可溶性和生物可用性。
- 脱氮作用** — 通过微生物作用，促进中间亚硝酸盐的生化还原过程，使

硝酸盐还原成分子态（气体）的氮气和二氧化碳。在水产养殖中：有必要进行的水处理过程，发生在循环系统很少或没有水交换的氮积聚过程；也发生在沉淀池、聚集的悬浮性固体物和蓄水池当中。

**投饲比率** — 一个有关均衡鱼菜共生系统的比率，即平衡增加投饲量与植物生长区面积的比值。

**潮汐式进排水** — 一种用于控制在水培栽培床或鱼菜共生系统之间水流的方法，其中基质床可以交替漫灌和排空，这确保了植物的根系和细菌菌落获得充分曝气，同时保持水分和养分输送均衡。也被称为潮汐式进排水。

**足迹** — 一个资源测量工具，确定支持一个社区或一个活动和吸收产生的废物所需的土地或需水量。高可持续性的获得是指只需要较小的足迹来获得相同的产品，或通过使用不同的技术以及通过采用更有效的管理来实现。

**粒度分析** — 一个利用颗粒状材料在其表面积与体积比的描述来进行大小分类。

**硬度** — 在水中溶解的钙和镁离子的浓度测定。硬度表示为每升（毫克/升）碳酸钙的毫克当量。硬度可也表示为每升毫当量，德国硬度（°dH）或毫克/升的氧化钙（CaO）；可参考以下转换因子50毫克/升碳酸钙= 1毫克当量 /升= 2.805（°dH）= 28毫克/升的CaO。

**水头，水头水压** — 水利学用语：用高度表达水压的方法，即通过水管等，水能被保持或抬升到的高度，并允许水流至较低的位置

**蓄水池** — 保持水位并向较低位的养殖设施，例如苗种场的孵化槽和育苗池，供水的水池

**草食性动物** — 主要是以植物性料为食物的动物。

**水培法** — 无土栽培农业的一种方式，通过给植物提供含有全部必需营养素和生长所必需的微量营养素的营养液，或者通过灌溉惰性基质，或直接在营养液水槽里种植的植物种植方法。

**离子** — 由于丢失或获得电子，带有正电荷的（阳离子）或负电荷（阴离子）的原子或自由基。

**分子氮** — 构成了地球大气的78%的一种无味的气体元素，是所有活组织的重要组成成分。在气态形式下它基本上是惰性的。

**新池综合征** — 在新安装的水产养殖和水族系统内，不充分或不稳定的生物过滤会导致有毒的氨氮和亚硝酸盐的积累，造成鱼类应激和最终死亡的现象。

**硝化作用** — 氨经过好氧细菌，通常是亚硝化单胞菌属和硝化菌属，的转化作用（氧化），和有机氮形成稳定的盐（硝酸盐）的过程。

**固氮作用** — 某些细菌和蓝藻能够把大气中的氮转化成化合物的形式进入土壤，能够被植物利用的过程。

**营养盐循环（氮循环）** — 一个生物地球化学循环过程，即无机养分通过土壤、生命体、空气和水的循环过程。在农业上，指的是植物从土壤中吸收的营养物质返还回到土壤的过程。营养盐循环可通过落叶、根系分泌（分泌物）、残留废物再循环、制作绿肥等过程实现。

**营养盐锁定 (pH依赖型养分利用)** — pH值和土壤化学对植物吸收营养素的生物利用度的影响, 在水培和鱼菜共生系统内尤为重要。每个营养素只在一定的pH之内才是可用的, 但在此pH范围之外, 养分将不能被植物吸收, 尽管养分存在于营养液中。

**杂食性动物** — 以植物和动物两种为饵料的动物。

**氧化** — 一类化学反应类型, 总是伴随着还原反应, 其中分子失去一个电子, 通常与氧结合。比如木材燃烧或铁生锈。

**光周期** — 植物和动物依据季节性的白天和黑夜的长度变化而产生的生理反应。在植物中, 存在的光感受器会告诉植物开花的最适时期。因种而异, 不同光周期的植物开花时间可能是从长白天或短白天开始的。在动物中, 光周期与温度一起调节其性行为、迁移和休眠的生理变化。

**还原** — 一种化学反应类型, 总是伴随着氧化过程, 其中分子获得一个电子, 通常失去一个氧分子、原子或离子。

**无土栽培农业 (水培)** — 无土生长的植物。以含有营养物质的曝气溶液给植物提供营养, 并且根部埋在惰性基质里或在营养液中自由漂浮。

**土壤疲劳** — 在同一区域反复种植同一作物后, 土壤出现产量逐步降低的现象。产生这个现象是由于养分耗竭、土壤结构的过度开发 (有机物含量低)、针对农作物的病原体累积 (寄生虫、害虫、细菌和真菌), 因种而异的特定杂草, 抑制根系的分泌物累积。

**可溶性** — 某物质溶于水或其他液体介质的能力, 通常取决于分子的电荷和大小和溶液的电荷。分子越不易带电荷且越大, 其在水中的溶解性越差。

**比表面积** — 描述单体或物体组合单位体积下外部和内部表面积的比例。比表面积的值提供了一个物质的孔隙率和粒度的间接读数, 而在化学反应和生物活动过程中特别重要的, 高比率能提供更大的反应面积。

**放养密度** — 通常指的是在每单位面积区域内放养的鱼的数量或体重, 每单位体积的水中放养的鱼的质量。

**应激** — 任何不良刺激 (物理的、内部的或外部的) 扰乱生物体的最佳生存状态, 并且会降低其生存机会的有关生物应激反应的总和。

**可持续发展** — 通过保护和管理自然资源, 以及技术和政策改进的方式, 确保当代和后代人的可持续获得性的实现。这种可持续发展保护了土地、水、植物和动物遗传资源, 是环境不退化、技术上合适、经济上可行和社会可接受的方式。

**系统循环** — 水产养殖或水族系统内生物过滤的初始运行期, 在水箱和生物滤池材料内氨氧化细菌和亚硝酸氧化细菌开始生长的过程。这些细菌分别把氨的来源氧化为亚硝酸盐和硝酸盐。通常需要根据温度、水质和氨源, 系统循环需要一到六周。充分的系统循环将会降低新型鱼缸综合症的影响。

**水交换率** — 在养殖系统中如鱼缸、流水槽、池塘或者其他设施, 这个术语指的是一段真正的水交换率, 表示为停留时间的倒数:  $Q$  (水量, 单位立方米 / 小时) /  $V$  (单位体积, 单位立方米)。

**紫外光** — 分布在光谱的紫色的末端的不可见电磁波。那部分的太阳辐射光谱在40纳米和400纳米波长之间。在水产养殖中，一般用于水的消毒和预防由病原微生物引起的疾病。

## 附录

附录1 - 鱼菜共生系统中12种常见蔬菜的生产指南	169
附录2 - 植物虫害与疾病防治	183
附录3 - 鱼类害虫和疾病控制	187
附录4 - 计算鱼菜共生系统中的氨氮量和所需的生物过滤基质	191
附录5 - 自制鱼饲料	193
附录6 - 建立一个鱼菜共生系统前的关键考虑因素	199
附录7 - 小型鱼菜共生系统的成本收益分析	205
附录8 - 小规模鱼菜共生系统建设步骤指南	209



## 附录1 - 鱼菜共生系统中12种常见蔬菜的生产指南

下面信息对鱼菜共生系统中12种最常见蔬菜的种植提供了技术建议。这些关于蔬菜最佳生长条件的信息，包括每种蔬菜的特定生长条件以及采摘技术说明。下文的指南基于各种经验，包括鱼菜共生农业长期积累的经验、土壤种植/无土栽培的园艺手册、推广材料以及农民及科研人员的专业经验。这份清单并不是详尽无遗的。相反，它应该作为人们种植任何作物所需信息类型的一个示例，并帮助读者在种植此处没有列出的作物时确定其研究目标。本附录中未包括的其他常见作物有：秋葵、小棠菜、奶白菜、蕹菜、瓢儿菜、甘蓝、薄荷、百里香、茼蒿、青葱、韭菜、香菜、芋头、豆瓣菜、芝麻菜、食用花卉、观赏花卉，甚至是一些小果树。根菜类蔬菜比如有：洋葱、胡萝卜、甜菜、萝卜以及芋头，这些应该种植在以毛细材料做介质的种植床上。

### 罗勒属植物

**pH值：** 5.5-6.5

**株行距：** 15-25 厘米(8-40株/平米)

**发芽时间和温度：** 在20-25℃下6-7天

**生长时间：** 5-6周（当植物长到15厘米时即可开始收割）

**温度：** 18-30℃，最佳温度是20-25℃

**光照：** 日光或者稍微遮蔽

**株高和株幅：** 30-70 厘米;30厘米

**推荐鱼菜共生中的种植方法：** 基质栽培、营养膜式栽培和深水栽培



**在鱼菜共生单元中种植罗勒：** 罗勒是在鱼菜共生系统中种植的最受欢迎的草本植物之一，尤其是在大规模的商业化单一种植单元，究其原因是由于它的高价值以及城市或城郊地区的高需求。很多罗勒品种都在鱼菜共生系统中尝试并测试种植，这些品种包括意大利热那亚的罗勒（甜罗勒）、柠檬罗勒和紫红罗勒。由于氮吸收率较高，罗勒是鱼菜共生单元中一种理想的植物，然而，应该留意避免使水中营养过度消耗。

**生长条件：**罗勒种子需要适当和稳定的高温来开始发芽（20-25℃）。罗勒一旦移栽到系统中，就需要在温暖和全光照的条件下生长。然而，通过轻微的遮荫，可以获得更优质的叶子。在强烈的太阳辐射季节，日常温度超过27℃时，植物则需要进行通风或者用遮阳网（20%）覆盖以防止叶尖烧伤。

**种植指南：**当幼苗有4-5片真叶时，才能将新幼苗移植到鱼菜共生单元中。罗勒会受各种真菌病害的影响，包括枯萎病、灰霉病以及黑斑病，尤其是在次优温度以及高湿度的条件下。昼夜保持通风和水温高于21℃，有助于减少植物应激反应以及疾病的发病率。

**收割：**当植物长到15厘米高时开始收割叶子，并持续30-50天。收割过程中，处理叶子时要多留意，避免叶挫伤和变黑。在植物生长期，最好移除花顶以避免叶子有苦味，同时促进分枝生长。然而，罗勒花对传粉者以及有益昆虫都很有吸引力，所以留下几株开花的植株不仅可以改善整个花园环境，同时可以确保罗勒种子的持续供应。罗勒种子在一些地方还是特产。

### 花椰菜

**pH值：**6.0-6.5

**株行距：**45-60 厘米（3-5 株/平米）

**发芽时间和温度：**在8-20℃下4-7天

**生长时间：**2-3个月（春季作物），3-4个月（秋季作物）

**温度：**初始营养生长期温度20-25℃，花冠形成期温度是10-15℃（秋季作物）

**光照：**全日照

**株高和株幅：**40-60厘米；60-70厘米

**推荐鱼菜共生中种植方法：**基质床栽培



**在鱼菜共生单元中种植花椰菜：**花椰菜是一种高价值、营养丰富的冬季作物，若有足够的株行距，它可以在基质栽培单元中茁壮生长。花椰菜有相对较高的营养需求，在氮和磷浓度较高的条件下生长良好。在其它的营养元素中，钾和钙对花冠的形成非常重要。这种植



物对气候条件非常敏感，在炎热、寒冷或者非常干旱的条件下，花冠无法正常发育。因此，选择合适的品种和移植的时机是至关重要的。

**生长条件：**植物初始生长的最佳气温为15-25℃。在花冠形成过程中，植物需要稍低的温度：10-15℃（秋季作物）或15-20℃（春季作物），而且在良好的相对湿度百分比、阳光充足的条件下，花冠形成较好。花椰菜可耐受低温，但花冠易受冻害。在较暖和的温度下（高于23℃），对其进行轻微遮光是很有益的。

**种植指南：**采用繁殖盘播种，20-25℃条件下萌芽。在早期幼苗阶段，提供直接光照，以防止植物茎长得细长。当幼苗培育3-5周，并且有4-5个真叶时，即可移植到鱼菜共生系统中，保持50厘米间距。当花冠直径达到6-10厘米时，为保持花冠洁白，可用绳子或橡皮筋将外侧叶子固定在花冠上方。一旦达到这个阶段，在理想的温度下不超过一周即可收割；若在温度稍低的条件下，也只需一个月即可收割。过多的日照、高温或氮吸收会形成米粒状花冠，即中心花冠分散成很多小粒，像稻米状谷粒。若温度低于12℃则会形成“毛花”。花椰菜极易受到一些害虫的侵害，包括卷心菜虫、跳甲、白蛆（幼虫）以及甘蓝蚜虫，这些害虫可通过人工或使用其它害虫防治技术清除。

**收割：**当花冠紧实、洁白且稳固时即可收割。用一把大刀将花冠从植物上砍下，然后将剩余的植株和根从基质床管中拔出，并放在堆肥箱中。

### 生菜（什锦沙拉菜叶）

pH值：6.0-7.0

株行距：18-30 厘米（20-25 头/平米）

发芽时间和温度：在13-21℃下3-7天

生长时间：24-32天（有些品种时间长些）

温度：15-22℃（花期要高于24℃）

光照：全日照（温度稍高时要轻度遮光）

株高和株幅：20-30 厘米；25-35 厘米

推荐鱼菜共生中种植方法：基质栽培、营养膜式栽培和深水栽培



**在鱼菜共生单元中种植生菜：**若鱼菜共生系统的水处于最佳营养浓度，则生菜可以生长的特别好。很多品种的蔬菜都可以种植在鱼菜共生系统中，但这里列出四种主要的品种：卷心莴苣（透明包心菜），它结球紧实且叶片质地脆嫩，是稍冷条件下的理想品种；球生菜，叶子比较松散，一片一片堆在一起，并且没有苦味；直立莴苣，具有垂直并紧密折叠的叶子，会放慢抽薹，而且叶子味甜；松叶生菜，可以长出各种各样的颜色和形状，没有花头，可直接播种在基质床上，并且收割时可以只采摘单一的叶子而不用收割整株植物。生菜需求量大，在城市和城市周边地区具有较高的价值，这使其成为非常适合大规模商业化生产的作物。

**生长条件：**生菜是一种冬季作物。顶叶生长发育时，夜晚气温应该为3-12℃，白天温度为17-28℃。生长期生长受光周期与温度的影响，如果延长光照或者夜晚温度稍高（>18℃），均会引起生菜抽薹。水温大于26℃时也易发生抽薹和叶苦味。这种植物对营养的需求很低，但水中较高的钙浓度有助于防止夏季作物叶尖烧伤。理想的pH值是5.8-6.2，但在pH高达7时，生菜依然可以生长很好，尽管在高于中性时，会降低铁元素的生物有效性，从而引起一些缺铁现象。

**种植指南：**当幼苗发育至三周，至少有2-3片真叶时即可往鱼菜共生单元中移植。在两到三周时，给幼苗补充磷肥，既有助于根系发育，又能避免在移植时的植物应激。此外，对于植物硬化，可在移植前将幼苗暴露在较低温度以及阳光直射3-5天，来保证更高的成活率。当在温暖的天气移栽生菜时，要稍微遮光2-3天以避免植物的水分胁迫。要想快速获得酥脆、味甜的生菜，可以在鱼菜共生单元中保持高硝酸盐含量。当气温和水温随季节升高时，选用不易抽薹的品种（夏季）。如果种植在基质床中，当生菜被旁边稍高的植株遮挡时，则要移植新的生菜。

**收割：**当叶球或者叶子生长到足够大可以食用时即可收割。如果出售给市场，在收获时一旦达到市场重量（250-400克），就把全部植物和根移除。将根切除掉并放在堆肥箱中。在清晨叶子酥脆且充满水分时采摘，并迅速冷藏。

## 黄瓜

**pH值：**5.5-6.5

**株行距：**30-60 厘米（取决于品种，2-5 株/平米）

**发芽时间和温度：**在20-30℃下3-7天

**生长时间：**55-65天

**温度：**白天22-28℃，夜晚18-20℃；极易受到霜冻

**光照：**全日照

**株高和株幅：**20-200 厘米；20-80 厘米

**推荐鱼菜共生中种植方法：**基质栽培；深水栽培



**在鱼菜共生单元种植黄瓜：**黄瓜，还有葫芦科的其它品种，如南瓜，西葫芦和瓜类植物，都是很好的的高价值夏季蔬菜。它们具有强大的根系结构，所以它们是在基质栽培单元中种植的理想植物。黄瓜还可以种植在生物浮床上，但是在种植管道中会由于其根系的过度生长而会面临管道堵塞的风险。黄瓜生长需要大量的氮和钾，因此在选择种植数量时，应考虑水中可利用的营养物质量以及鱼群生物量。

**生长条件：**白天保持长时间炎热潮湿、阳光充足；晚间保持温度适中，这样黄瓜生长最好。最佳的生长温度是白天24-27℃，70-90%的相对湿度。最佳基质温度大约为21℃。在10-13℃时，植物会停止生长和结果。建议维持较高的钾浓度，这样坐果率和产量较高。

**种植指南：**黄瓜幼苗长到2-3周并有4-5片叶子时即可移植。植物生长很快，当茎长到两米长时，一个很好的做法，是通过掐顶来限制它们的营养活力并且将营养转移给果实；将外侧支剪掉也有助于通风。可以通过只留下从主茎上长出的两个最远的嫩芽，来保证植株的延伸生长。将达到销售规格（对于切片品种达到>180克）的果实定期采摘，有助于植物进一步产生果实。授粉昆虫的存在对于植物获得良好的受精和坐果是必要的。黄瓜的生长需要支架，这也将为它们提供充分的通风，以防止叶片疾病（白粉病、灰霉病）。由于黄瓜植物中害虫的发病率高，因此制定适当的综合病虫害管理策略（参见第六章）以及选择适当的受虫害治理影响较小的植物进行间作是非常重要的。

**收割：**一旦移植后，黄瓜在2-3周即可开始成果。在最优条件下，黄瓜可以收割10-15次。每隔几天收割一次，以防止黄瓜长的过大，同时有助于下面黄瓜的生长。

## 茄子

pH值：5.5-7.0

株行距：40-60 厘米（3-5 株/平米）

发芽时间和温度：在25-30℃下8-10天

生长时间：90-120天

温度：夜晚15-18℃，白天22-26℃；极易受到霜冻

光照：全日照

株高和株幅：60-120 厘米；60-80厘米

推荐鱼菜共生中种植方法：基质栽培



**在鱼菜共生单元种植茄子：**茄子是夏季结果的蔬菜，由于深根系的生长，它们可以在基质床上生长良好。每棵植株可以结10-15个茄子，总产量为3-7公斤。茄子对氮和钾的需求量较高，这就意味着对于每一个鱼菜共生单元，必须要精细化管理种植数量以避免营养失衡。

**生长条件：**茄子喜欢温暖的气温和充足的日照。在相对湿度为60-70%，每日温度22-26℃的条件下，茄子生长最好，这两个条件都有助于更好的坐果，当温度小于9-10℃或者高于30-32℃时，茄子生长很受限。

**种植指南：**种子在暖和的温度（26-30℃）下8-10天内发芽，当幼苗有4-5片叶子时即可移植。植物在春天气温升高时可以移植。夏季快结束时，开始掐掉新花，以利于现有果实的成熟。在夏季结束时，植物可以在20-30厘米处大幅度的修剪，只留下三个分支。这种方法只是中断作物的生长，并没有在不适宜的季节里（冬季和夏季）移除植物，使得作物在之后可以重新生长并生产。植物不经修剪也可以生长，但是，在有限的空间或者温室中，打桩以及系垂直线有助于对植物分支的管理。

**收割：**当茄子长到10-15厘米长时即可开始收割。茄子外皮应该是发亮有光泽的，表皮变暗和变黄都是茄子过熟的迹象。延迟收割则会由于茄子中籽过多而滞销。用一把锋利的刀子将茄子从植株上砍下，但留下至少3厘米的茎附着在茄子果实上。

## 辣椒

pH值：5.5-6.5

株行距：30-60厘米（3-4株/平米，小型植物品种可稠密些）

发芽时间和温度：在22-30℃下8-12天（低于13℃，种子不会发芽）

生长时间：60-95天

温度：夜晚14-16℃，白天22-30℃

光照：全日照

株高和株幅：30-90厘米；30-80厘米

推荐鱼菜共生中种植方法：基质栽培



**在鱼菜共生单元种植辣椒：**辣椒的品种很多，它们在颜色以及辣度上都是不同的，然而从甜的灯笼椒到辣的红辣椒（墨西哥辣椒或者尖辣椒），它们都可以种植在鱼菜共生系统中。辣椒更适合基质栽培方法，但是如果有额外的物理材料支撑，它们也可以生长在直径11厘米的营养膜式管道中。

**生长条件：**辣椒是一种夏季结果蔬菜，它们更喜欢温暖的条件和充分的阳光照射。种子发芽温度较高：22-34℃，在低于15℃时，种子不会很好地发芽。在相对湿度为65-60%，白天温度为22-28℃，夜间温度为14-16℃时，是最佳植株生长条件。根系的最佳温度是15-20℃。一般来说，气温低于10-12℃，植物会停止生长且会导致果实畸形，使它们滞销。温度高于30-35℃时会导致花期败育或者脱落。一般来说，更辣的辣椒要在更高的温度下生长。植物顶部的叶子可以保护下面挂着的果实免受日晒。和其它果期植物相比，最初营养生长需要硝酸盐支持（最佳浓度范围是20-120毫克/升），但是开花和结果则需要更高浓度的钾和磷。

**种植指南：**只要晚上温度在10℃以上即可将具有6-8片真叶的幼苗移植到单元中。用木桩或竖直的绳子支撑茂密、高产的植株，这些绳子悬挂在铁丝上，水平地拉在设备上方。对红甜椒来说，将绿色果实留在植株上直到它们成熟变红。将植物上最先长出的几朵花掐掉，以进一步促进植物生长。减少花的数量以防止坐果过多，以使生长的水果达到足够的尺寸。

**收割：**当辣椒长到市售规格时即可开始收割，将辣椒留在植株上直到它们改变颜色和提高维生素C水平，以达到完全成熟。在整个季节可以不断收割以促进开花、坐果和生长。新鲜辣椒可以很容易的在相对湿度为90-95%、10℃的条件下保鲜10天，也可以脱水用于长期保存。

### 西红柿

**pH：**5.5-6.5

**株行距：**40-60厘米（3-5株/平米）

**发芽时间和温度：**在20-30℃下4-6天

**生长时间：**到第一次收割前需50-70天，结果期为90-120天，最多8-10个月。（不确定的品种）

**最佳温度：**晚间13-16℃，白天22-26℃

**光照：**全日照

**株高和株幅：**60-180厘米，60-80厘米

**推荐鱼菜共生方法：**基质栽培和深水栽培



**鱼菜共生中种植西红柿：**西红柿是一种很好的夏季果菜，可用所有鱼菜共生方法种植，尽管需要必要的物理支架。鉴于西红柿营养需求高，尤其是钾，在每个单元里都需要根据鱼群生物量设计蔬菜植株数量，以避免营养不足。在早期，较高的氮浓度有利于蔬菜的营养生长；但是，从开花期开始，钾就应该存在，钾有利于蔬菜的结果与生长。

**生长条件：**西红柿比较喜爱温暖气温和充足的阳光照射。低于8-10℃，蔬菜停止生长，而晚间温度在13-14℃有利于结果。温度高于40℃会导致花期败育和结果率低。西红柿种植主要有两种类型：定期（季节性生产）和不定期（花枝连续生产）。在第一种类型中，蔬菜能以小灌木的形式生长，可以保留3-4个主枝，去除其它所有辅枝，将营养转移到果实中去。定期和不定期品种都应该去除所有辅枝，依靠唯一的茎（高活力的蔬菜可以有两个）生长。但是，在定期品种中，当蔬菜长到7-8个枝杈时，为了结果，需要尽快剪除单茎的顶端。西红柿的生长需要依靠支撑，可以用木桩（灌木）来固定或者用系在高于蔬菜位置的铁丝上的塑料/尼龙绳来固定。西红柿对盐度有中等的耐受性，这使得它们适于纯淡水缺乏的区域。在结果期，高盐度可以提升产品质量。

**种植指南：**在移栽前要打好桩或架好植物支撑结构来防止根损伤。在发芽3-6周后，幼苗长到10-15厘米，且晚间温度持续保持在10℃以上时，将幼苗移栽到系统中。在移植幼苗时，要避免种植面积周围出现水涝以减小患病风险。一旦西红柿植株长至60厘米高，就要开始确定生长方式（灌木或单茎），修剪掉多余的高枝杈。将主茎底部以上30厘米处的叶子都去除，这样可以保障更好的空气流通并减少真菌感染。剪除所有辅枝以利于果实成长。在果实成熟前移除每一个枝杈上的叶子，这会使得营养流向果实，加速成熟进程。

**收割：**为了获得最佳风味，需在西红柿果实坚硬并且上色后收割。若在果实半熟时采摘并放入室内，就会继续成熟。在温度5-7℃，相对湿度85-90%的条件下，水果很容易保存2-4周。

### 豌豆和豆类

**pH：**5.5-7.0

**株行距：**10-30厘米，取决于品种（灌木类20-40株/平米，攀爬类10-12株/平米）

**发芽时间和温度：**在21-26℃下8-10天

**生长时间：**到达成熟期需50-110天，具体取决于品种

**温度：**晚间16-18℃，白天22-26℃

**光照：**全日照

**株高和株幅：**60-250厘米（攀爬类）；60-80厘米（灌木类）

**推荐鱼菜共生方法：**基质栽培

**鱼菜共生中种植豆类：**不论是攀爬类还是矮菜豆品种，在鱼菜共生环境中均生长良好，不过为了提高鱼菜共生利用率，推荐多种植前者，因为攀爬类蔬菜更节省种植空间，也比灌木类生产的荚果多2-3倍。豆类对硝酸盐的需求较低，但对磷和钾的需求适中。这种营养需求使得豆类成为鱼菜共生生产的理想选择，但是过量硝酸盐可能推迟花期。推荐在新建立的系统中种植豆类。因为它们可以固定空气中的氮。



**架菜豆的生长条件：**攀爬品种享受充足的阳光，但是在温暖的条件下也能耐受局部遮荫。在低于12-14℃条件下，蔬菜无法生长。温度高于35℃会导致花期败育和结果率低。蔬菜最佳相对湿度为70-80%。豆类对光周期敏感；因此，根据地点和季节选择合适的品种是很重要的。总而言之，攀爬品种应在夏季栽培，而矮灌木品种更适于短日照条件（春季或秋季）。

**架菜豆生长指南：**在基质栽培中直接播种到基质3-4厘米深度（确保钟形虹吸管已打开，以便在发芽期间水位较高）。豆类移植不好，这会导致它们很难在营养膜式管中生长。所有支撑杆都应在种子发芽前安置好，这样可以避免根损伤。在播种时要注意避免将来可能与其它植株有交叉遮阴。豆类易受蚜虫和红蜘蛛的侵害，尽管用机械补救方法可以控制这些害虫发生率，但如果必须进行必要处理，应注意选择伴生植物，以避免交叉污染。

#### 收割：

**食荚菜豆品种（绿或黄荚种菜豆）** - 在收割时，豆荚应该是坚硬且鲜嫩的，里面的种子应该是没有充分发育或较小的。用一只手托住茎而另一只手采摘豆荚，以免扯断还会产生豆荚的枝杈。摘下所有豆荚以保持蔬菜生产力。

**壳豆（黑豆，罗汉豆或蚕豆）** - 当豆荚变色，豆子内部完全形成且不干瘪，则采摘这些品种。豆荚应该丰满，坚实。如果它们留在蔬菜上太久，质量就会下降。

**干豆（芸豆和黄豆）** - 让豆荚在天气转凉之前变干，或在蔬菜变为褐色、失去绝大部分叶子时。豆荚在非常干燥的条件下极易裂开，这让分离种子变得更加容易。

#### 卷心菜

pH: 6-7.2

株行距：60-80厘米（4-8株/平米）

发芽时间和温度：在8-29℃下 4-7天，

生长时间：移栽后45-70天（具体取决于品种和季节）

理想温度：15-20℃（高于25℃时生长中止）

光照：全日照

株高和株幅：30-60厘米；30-60厘米

推荐鱼菜共生方法：基质栽培（不适于新建立的鱼菜共生单元）



**鱼菜共生中种植卷心菜：**卷心菜是一种高营养的冬季作物。这种蔬菜在基质栽培中生长最佳，因为可以收割时达到有效尺寸，而对浮筒或生长管而言，它们可能会生长的过大过重。卷心菜是一种营养需



要型蔬菜，这使得它不适于新建立的鱼菜共生单元（少于四个月）。然而，由于空间需求更大，卷心菜每平方米所需的营养比其它冬季叶菜（生菜、菠菜、芝麻菜等）要更少。虽然卷心菜可以耐受5℃的低温，但这种温度却可能不适合养鱼。

**生长条件：**卷心菜是一种冬季作物，其理想生长温度在15-20℃；卷心菜在天气转凉、花冠成熟时生长最旺，因此应计划在白天气温达到23-25℃前收割。当花冠开始生长时，高浓度的磷和钾是必不可少的。为了给植物提供足够的养分，可能需要在叶子或基质上施用有机肥料。

**生长指南：**移栽有4-6片叶子且高度约15厘米的幼苗。根据选择的品种将幼苗以最佳种植密度种植。在白天温度高于25℃时，使用一个遮光度20%的遮光网，以防蔬菜抽薹（生长到产生种子）。鉴于卷心菜虫和其它包括蚜虫、根蛆和银纹夜蛾等害虫的高发率，进行仔细监测至关重要，并在必要时使用有机（保证鱼菜共生安全）农药。

**收割：**当卷心菜的花冠坚实且直径达到10-15厘米（具体取决于种植的品种）时开始收割。用锋利的刀将花冠从茎上切下，将外部的叶片放进堆肥箱。如果卷心菜的花冠有破损的趋势，这就表明蔬菜已经过熟，应该早点收割。

## 西兰花

pH: 6-7

株行距: 40-70厘米（3-5株/平米）

发芽时间和温度: 在25℃下 4-6天

生长时间: 移栽后60-100天

日平均温度: 13-18℃

光照: 全日照; 可耐受部分遮荫, 但会成熟缓慢

株高和株幅: 30-60厘米; 30-60厘米

推荐鱼菜共生方法: 基质栽培



**鱼菜共生中种植西兰花：**西兰花是一种营养丰富的冬季蔬菜。由于西兰花是一种大而重的收获植物，因此推荐使用基质栽培方法。西兰花种植起来比较困难，因为它是营养需求型蔬菜，也非常容易受到温暖环境的影响，因此，应选择抗抽薹的品种。

**生长条件：**西兰花在白天温度14-17℃时生长最好。对于花冠形成而言，冬季品种需要10-15℃的温度，如果湿度较高，温度再高一点也可以，否则，高温就会引起早熟抽薹。

**生长指南：**移栽有4-5片叶子且高度约15-20厘米高的幼苗到基质栽培环境中。幼苗间相邻间隔应在40-50厘米左右，因为间隔间会长出更小的中心花冠。西兰花和卷心菜一样，都易受卷心菜虫和其它传染性持久的害虫的侵袭。一些机械移除方式产生的效果较小，但使用生物杀虫剂和驱虫剂可以控制这种侵扰。

**收割：**为了获得最好的品质，应在花冠幼芽坚硬紧实时收割西兰花。若幼芽开始分裂并开始开花（黄花），则应立即收割。

### 瑞士甜菜/莙达菜

**pH：**6-7.5

**株行距：**30-30厘米（15-20株/平米）

**发芽时间和温度：**4-5天，25-30℃最佳

**生长时间：**25-35天

**温度：**16-24℃

**光照：**全日照（温度高于26℃可部分遮荫）

**株高和株幅：**30-60厘米；30-40厘米

**推荐鱼菜共生方法：**基质栽培；营养膜式栽培和深水栽培



**鱼菜共生中种植瑞士甜菜：**瑞士甜菜是一种在鱼菜共生种植中非常受欢迎的绿叶蔬菜，它在三种鱼菜共生栽培方法中都能茁壮生长。它需要中度的硝酸盐，且对钾和磷的需求浓度比果菜要低，因此它对鱼菜共生而言是一种理想蔬菜。由于其市场价值高、生长速度快和营养成分丰富，瑞士甜菜经常被种植在商业鱼菜共生系统中。它的叶子有绿到深绿，但是它茎的颜色却更加引人注目，有黄色、紫色或红色。

**生长条件：**瑞士甜菜最佳生长温度为16-24℃，而生长的最低温度为5℃。虽然瑞士甜菜传统上属晚冬/春季作物（对霜冻有一定耐受性），但它在阳光充足而温和的夏季也可以良好生长。建议在高温时使用遮荫网。瑞士甜菜对盐有一定的耐受，所以它是咸水栽培的理想作物。

**生长指南：**瑞士甜菜的种子可以产出多个幼苗，因此当幼苗开始生长时需要进行间伐。当蔬菜随着季节变化逐渐衰老时，需要剪去老的叶子以促进新的枝叶生长。

**收割：**瑞士甜菜的叶子可以在达到可收割大小后连续进行多次收割。剪除较大的叶子可以促进新叶片的生长。收割时要避免破坏蔬菜中心的生长点。

### 欧芹

pH: 6-7

株行距: 15-30厘米 (10-15株/平米)

发芽时间和温度: 8-10天, 20-25℃最佳

生长时间: 移栽后20-30天

温度: 15-25℃

光照: 全日照; 25℃以上可部分遮荫

株高和株幅: 30-60厘米; 30-40厘米

推荐鱼菜共生方法: 基质栽培, 营养膜式栽培和深水栽培

**鱼菜共生中种植欧芹：**欧芹是一种在家庭或商用鱼菜共生中都十分常见的草本植物，因其营养价值丰富（富含维生素A和C，钙和铁）且具有较高市场价值。同时，相比于其它蔬菜，欧芹对营养的需求相对较低，较易种植。



**生长条件：**欧芹是一种二年生草本植物，但传统上按一年生种植；当冬季温和、霜冻小到中等时，大多数品种生长会超过两年。虽然这种植物可以抵御0℃的低温，但生长的最低温度为8℃。第一年时，蔬菜主要长叶子，而第二年蔬菜会开始长出花茎用于种子的生产。欧芹喜欢充足的日照，每日需达到8小时日照时间，不过若温度高于25℃，需要部分遮荫。

**生长指南：**种植欧芹的主要困难在于初始发芽阶段，这个过程大概需要2-5周，具体取决于种子的新鲜程度。为了加速发芽，可以将种子浸泡在温水中（20-23℃）24-48小时，这样可以软化种壳。然后将水排尽，把种子播种到繁殖盘中。新生的幼苗长得像草，两片狭长的种子叶相对。5-6周以后，就可以在早春时将幼苗移栽至鱼菜共生单元中。

**收割：**一旦植株的茎长到至少15厘米长时，就可以开始收割了。先收割蔬菜外部的茎，这有利于蔬菜整个季节的生长。如果只收割顶部的叶，则茎秆会被留下，而且蔬菜的生产力将降低。欧芹能很好的干燥和冷冻。若蔬菜干了，则可以用手压碎并储存在密封容器内。



## 附录2 - 植物虫害与疾病防治

鱼菜共生的虫害防治可以从应用于有机农业中的大多数常见生物学方法中获益。但是，重要的是要记住，应根据在该特定地区出现的昆虫害虫以及在特定季节和特定环境中种植的作物来规划防治害虫的战略。

### 虫害控制：驱虫剂，软化学剂和植物衍生杀虫剂

软化学剂可替代工业杀虫剂应用于虫害防治。包含碾碎了的大蒜、辣椒、肥皂和杀虫剂油的有机混合物都能用来消除虫害的威胁。如果选用肥皂，要确定是天然的肥皂，否则人造肥皂中含有的潜在有害化学物质可能进入到水中。肥皂可能对鱼鳃有伤害，因此加入到水中的肥皂应该适量。为了有效地控制虫害，必须对植物进行彻底覆盖。尽管观察和经验知识表明这些理论方法是起作用的，但是并没有系统科学的研究证明它们是有用的。此外，蔬菜提取物的药用性能表明在运用这些方法时应谨慎小心，因为这些药用物质对鱼类存在毒性风险。

物质	功能/功效	虫害防治	应用方法
香茅油	防护剂。	广谱杀害虫。	将产品溶解在水中，彻底喷洒在植物上。
大蒜油	如果把油和肥皂混合，杀虫性能是增强的。	蚜虫、菜青虫、叶蝉、粉虱、某些甲虫和线虫。	溶解85克切碎的大蒜在15毫升的植物油并浸泡24小时。之后，再加入500毫升的水混匀，彻底喷洒在植物上。
腌辣椒，辣椒粉（辣椒素）	虫害防护剂。	蛆，蚂蚁。	把灰尘撒在植物上。
番茄叶喷雾	有益微生物的引诱，可能为生物碱的毒性效应。	蚜虫、棉铃虫。	取250克新鲜的西红柿叶，置于250毫升水中并放置12小时。另取一杯水以进一步稀释，彻底喷洒在目标植物上。
香油精（鼠尾草、百里香）	驱虫。降低喂养损伤水平。	广泛的害虫。	取几滴混于250毫升水中，喷洒在目标植物上。
乙醇提取物（牛膝草迷迭香，鼠尾草，百里香等）	防护剂。降低喂养损伤水平。	广泛的害虫。	取250毫升的鲜叶浸泡在400毫升水中过夜。滤去叶子，用作叶面喷施。
肥皂（脂肪酸盐）	穿透角质层，造成脱水至最终死亡。	软体昆虫：蚜虫、介壳虫、粉虱。同时有螨、尺度、蓟马、蛛。	使用天然肥皂：1汤匙（或更多）于4公升的水中（根据不同的植物和害虫）。肥皂也可以与植物油混合（见下文）。
植物油	使害虫窒息。	蚜虫、蚧、螨、鳞。	在早晨或晚上，喷射2%浓度的喷雾，商业产品也应该有一种乳化剂售卖。
石灰/灰分	防护剂。	广泛的害虫。	精细筛灰分并用掸子敲打湿的叶子。
淀粉喷雾（小麦粉或土豆糊精）	叶表面的诱捕剂。	蚜虫，蜘蛛，螨，牧草虫，粉虱。	混合30-45毫升的马铃薯淀粉于1升水中，接着加入2-3滴的液体肥皂。用作叶面喷雾。

资料来源：Ellis and Bradley (1996)-参考文献见扩展阅读。

### 病虫害防治：植物源性杀虫剂

在鱼菜共生中，应该特别注意，并不是所有的生物杀虫剂都适用于鱼类。虽然生物杀虫剂被归为有机用途，但大多数生物杀虫剂对鱼和有益昆虫是有毒的。下面表格列出了一些常见的杀虫剂及其安全使用的关键信息。

植物源杀虫剂	来源	对害虫的影响	使用条件
尼古丁（烟草的水提取物）	植物	神经毒性杀虫剂。	对鱼是有毒的。
印楝（印度楝）	植物	强有力的拒食素。每10天需要重复处理。	对鱼有毒，可作为叶面喷雾剂使用。对益虫无害，是一种杀真菌剂。
除虫菊酯（除虫菊）	植物	自然的神经毒性杀虫剂。广谱杀虫剂，也杀死有益微生物。	对鱼有毒，可作为叶面喷雾剂使用。持久性差，光照下1-3天内容易被破坏。
鱼藤酮（毛鱼藤属，鱼藤酮属，山毛豆属。）	植物	天然杀虫剂影响广谱害虫。	对鱼极有毒性，可作为叶面喷雾剂。适用于用作鱼菜共生的植物苗圃。
苦木科植物（阿马拉 苦木科植物）	植物	引起昆虫幼体自噬。	木膏喷雾。对鱼无害。
鱼尼丁（南美杀虫植物鱼尼丁）	植物	细胞钙离子通道干扰害虫。	适量地使用，小心对鱼的毒性作用。
沙巴黎芦	植物	干扰害虫神经细胞膜。	谨慎使用，对鱼的毒性作用仍旧是未知的。
硅藻土（DE）	无机物	研磨性粉尘吸收来自昆虫骨骼的蜡质外层的脂质（如蚂蚁），使其脱水。	使用时应戴口罩，避免吸入灰尘。对鱼无毒性。
硫磺（粉状或石灰硫）	无机物	害虫防护剂和有效杀螨剂。	同样可以用于杀真菌。
铜	无机物	以波尔多混合物的形式作为一种昆虫驱避剂。	铜也是一种杀菌剂，但避免在水中过度积累，对甲壳类动物有毒性。

资料来源：Copping, 2004; Shour, 2000; Soil Association, 2011; IFOAM, 2012 -参考文献见扩展阅读。

### 病虫害防治：益虫

有益昆虫可以用来控制害虫。这种方法更适用于大规模生产商，因其成本对于小规模生产商而言是比较高的。益虫的选择必须与对应害虫和环境条件相匹配。

益虫/生物体	种类	害虫防控
二星瓢虫	捕食性甲虫	蚜虫类
腹小蜂	寄生蜂	蚜虫类
普通草蛉	草蛉	蚜虫类
科列马阿布拉蚜茧蜂	捕食性蜂	蚜虫类
隐唇瓢虫	捕食性甲虫	水蜡虫
克虱跳小蜂	寄生蜂	水蜡虫
赤眼蜂	寄生蜂	毛毛虫
杆线虫	线虫	蛴螬幼虫
斯氏线虫	线虫	苹果蠹蛾
苹果小卷蛾	病毒颗粒	苹果蠹蛾
稻虱缨小蜂	寄生蜂	叶蝉
高额茧蜂与潜蝇姬小蜂	寄生蜂	叶蝉
介壳虫	捕食性甲虫	介壳虫
捕食螨	捕食性螨	眼蕈蚊、蓟马

接上页

益虫/生物体	种类	害虫防控
斯氏线虫	线虫	眼蕈蚊和蓟马
胡瓜钝绥螨	捕食性螨	蓟马
智利小植绥螨	捕食性螨	蓟马
小花蝽	捕食性蝽	蓟马
加州钝绥螨	捕食性螨	叶螨
瘦蚊螨	螨蚊	叶螨
丽蚜小蜂	寄生蜂	温室白粉虱
浆角蚜小蜂	寄生蜂	温室白粉虱
浆角蚜小蜂	寄生蜂	白粉虱
秆线虫	线虫	蛀象鼻虫
蛴螬	线虫	蛴螬

资料来源: Olkowski et al., 2003; Soil Association, 2011-参考文献见扩展阅读。

### 疾病控制：环境

许多真菌病都是与温度和湿度有关，因此，控制环境因素可以减轻疾病的发生。如果环境因素无法控制，可以选择抗性较好的作物或品种。

疾病	疾病病原体	植物	对象	温度 (°C)	湿度
根腐病	腐霉	生菜	根	28-30	淹水土壤
霜霉病	霜霉	黄瓜、西葫芦、南瓜	叶	20-25	叶子浸泡1小时
白粉病	白粉菌	黄瓜、西葫芦、南瓜	叶	27	-
黄萎病	棉花黄萎病菌	各种植物	茎	21-27	潮湿的土壤
枯萎病	尖镰孢菌	黄瓜，南瓜	茎	25-27	-
早疫病	茄链格孢菌	番茄，马铃薯	叶	28-30	自由水

### 疾病控制：无机化学

一些无机化合物可以用来治疗真菌病，其中许多可被用于鱼菜共生方面。下面的表格概述了一些这样的情况。

物质	使用条件
粘土	叶面喷施。
铜盐	叶面喷施。谨慎使用，因为铜可以在系统中积累。最好在移栽前的苗期使用。
硫	叶面喷施：谨慎使用，因为它可能会在系统中积累（负面作用是影响植物的生长）。
石灰硫磺合剂（石硫合剂）	只作为杀真菌剂于叶面施用，谨慎使用，因为它可能会在系统中积累（负面作用是影响植物的生长）。
碳酸氢钾	叶面喷施。它也可以用来增加碳酸盐硬度（KH），缓解生态水的pH值（见3章）。
碳酸氢钠	叶面喷施，不作为在系统中钠离子的积累来缓解水中的pH，并对植物生长不利。
氢氧化钙（熟石灰）	只作为杀真菌剂于叶面施用。
硅酸盐/硅	叶面喷施。

资料来源: Modified from IFOAM, 2012-参考文献见扩展阅读。

### 混合种植图

混栽是一种小规模の間作方法，它在有机和生物动力园艺方面是很常见的。理论上说，不同植物群体的组合会对害虫有一个机械的，趋避的或者阻遏的作用。此外，有益植物通过释放物质或根系分泌物可以对复合土壤/植物-农业生态系统产生有益的影响。虽然已对病虫害防治进行了一定程度的科学验证，但是成功与否取决于：病虫害的程度，作物的密度，作物与有益植物之间的比例，以及具体的种植时间。在综合植物和害虫管理之间，混栽可与其他策略结合在一起，以在鱼菜共生系统中获得更健康的作物。

根据生物力学原理，下表给出了可能组合的总体概述。具体信息可以很容易地从有机农业和生物动力农业的详细文献中获得。

农作物	适宜混栽	不适宜混栽
芦笋	番茄、欧芹、罗勒	-
豆类	大多数蔬菜和草本植物	-
矮秆菜豆	爱尔兰马铃薯、黄瓜、玉米、草莓、芹菜、夏香薄荷	洋葱
蔓生菜豆	玉米，夏得薄荷，萝卜	洋葱、甜菜、大头菜、向日葵
白菜（花椰菜，西兰花）	香草、芹菜、甜菜、洋葱属，甘菊，菠菜，甜菜	苜蓿，草莓，豆角，西红柿
胡萝卜	豌豆，生菜，迷迭香，洋葱属，鼠尾草，西红柿	小茴香
芹菜	洋葱和卷心菜属、番茄、菜豆、旱金莲	-
玉米	爱尔兰马铃薯，豆类，豌豆，南瓜，黄瓜，南瓜	番茄
黄瓜	豆类、玉米、豌豆，向日葵，萝卜	爱尔兰马铃薯，芳香药草
茄子	豆，金盏花	-
生菜	胡萝卜，萝卜，草莓，黄瓜	-
洋葱属	甜菜、胡萝卜、莴苣、卷心菜属，夏得薄荷	豆，豌豆
西芹	番茄，芦笋	-
英格兰豌豆	胡萝卜，萝卜，萝卜，黄瓜，玉米，豆类	洋葱属，马铃薯
萝卜	英格兰豌豆、金莲花、生菜、黄瓜	牛膝草
菠菜	草莓，蚕豆	-
西葫芦	金莲花、玉米、万寿菊	马铃薯
番茄	洋葱属，豆瓣菜属，万寿菊，芦笋，胡萝卜，黄瓜，香菜，罗勒	土豆，茴香，白菜属
萝卜	英格兰豌豆	马铃薯

资料来源：<http://permaculturenews.org/2011/12/02/companion-planting-information-and-chart/>



## 附录3 - 鱼类害虫和疾病控制

如第7.6.3节所述，疾病是鱼类、病原体和环境之间不平衡的结果。动物身体虚弱，出现更利于病原体致病的某些环境条件，都会导致病原体发病率较高。建立健康免疫系统的鱼类良好管理实践是确保鱼群健康的基本应对之策。因此，必须要能够简单方便地识别和治疗鱼类疾病。下面的两个表格列举了常见疾病的症状和病因，主要分为生物性和非生物性两种，目的是为了强调在疾病鉴定过程中水质和环境状况的重要性。

非生物性疾病	
缺氧	<p><b>症状：</b>鱼聚集在水流量大的管道位置，不活泼、厌食症（慢性缺氧），较大的鱼会死、小一些的容易活，鱼死后鳃盖和嘴巴都会张很大。</p> <p><b>原因：</b>不充分的曝气，曝气中断，拥挤，低水流量，溶解氧的减少（温度或盐度升高）。</p> <p><b>治疗方法：</b>增加曝气，降低放养密度，减少饲料，监测氨氮和亚硝酸盐的水平。</p>
温度压力	<p><b>症状：</b>嗜睡、不耐冷（低温）或不耐热（高温）、鱼霉病（低温）、呼吸困难（高温）。</p> <p><b>原因：</b>加热或保温不足，温控器损坏，管理不当。</p> <p><b>治疗方法：</b>使用隔离罐，添加一个热水器，房子在寒冷季节（低温）运用温室系统；给罐遮遮阳，晚上通风，安装一个冷却系统（热疗）。</p>
氨中毒	<p><b>症状：</b>运动异常，不进食，鳃呈深色、鳃变大（增生为慢性毒性），眼睛和鱼鳍周围发红。</p> <p><b>原因：</b>新鱼缸综合症、生物滤池失效（各种原因，在水培槽也可能是抗生素或防腐剂处理鱼的结果），生物滤池超负荷，饲料供应过量，过量的蛋白质饲料，水流量减少，水的含氧量降低，温度下降，抑制硝化细菌。</p> <p><b>治疗方法：</b>立即换水（20-50%），添加沸石（快速补救，但在高盐度下效果不佳），用酸性缓冲液降低pH值，加入细菌，增加生物滤池填料，增加氧浓度，调节温度，停止喂食。</p>
亚硝酸盐中毒	<p><b>症状：</b>呼吸困难，鳃呈深色，血液呈褐色，游动异常，比如大量聚集在水层表面，嗜睡，眼睛和鳍周围发红。</p> <p><b>原因：</b>新鱼缸综合症、生物滤池失效（各种原因，在水培槽也可能是抗生素或防腐剂处理鱼的结果），生物滤池超负荷，饲料供应过量，过量的蛋白质饲料，水流量减少，水的含氧量降低，温度下降，氯：NO<sub>2</sub>比率低。</p> <p><b>治疗方法：</b>立即换水（20-50%），添加细菌，增加生物滤池填料，降低鱼密度，停止喂食，添加氯化物，增加溶氧，调节温度，避免鱼的干扰，因为它会导致急性大规模死亡。</p>
硫化氢	<p><b>症状：</b>有腐烂的鸡蛋味道，鳃呈紫色，游动行为异常。</p> <p><b>原因：</b>固体废物积累、严重缺氧、缺乏足够的曝气，温度升高</p> <p><b>治疗方法：</b>去除在厌氧条件下积累的有机废物，将鱼移到回收罐，直到原因被清除，增加在水中溶解氧，增加pH值，降低温度。</p>
pH值	<p><b>症状：</b>低pH值：急性死亡，震颤和多动，呼吸困难，粘液分泌增加；高pH值：皮肤和鳃变的混浊，角膜损伤（不常见）。</p> <p><b>原因：</b>低pH值：硝化作用发生，低缓冲液，酸过多；高pH：不适当的缓冲液，水中过于丰富的碱度/硬度。生物滤池填料或混凝土罐中有太多的碳酸从碳酸盐浸出。</p> <p><b>治疗方法：</b>立即换水，添加缓冲液，添加碱或酸来调节pH值。</p> <p>如果pH值低，则在氨水平很低时（高pH值下氨结合的风险）使用碱进行调节，如果pH值过高，则添加蒸馏水/雨水。</p>

表格继续

非生物性疾病	
盐度不适	<p><b>症状：</b>皮肤受损、不活泼。</p> <p><b>原因：</b>盐浓度超出鱼的耐受范围；代替水的盐度过高/盐度过低；盐浓度的计算错误（耐盐物种）；水分蒸发导致盐浓度过高。</p> <p><b>治疗方法：</b>添加去离子水/雨水或淡水降低盐浓度；增加盐浓度，每小时增加的盐不应超过1毫克/升。</p>
气体过饱和（气泡病）	<p><b>症状：</b>鱼浮在水面，由于气栓而导致眼睛异常鼓出，气栓在血液和其它器官，包括眼睛、皮肤和鳃中均存在。</p> <p><b>原因：</b>快速增加的温度或快速下降的水压力，降低气体的溶解度，地下水的利用，水溶氧过高。</p> <p><b>治疗方法：</b>减少过量的气体，避免在恢复过程中对动物的压力。</p>
食物缺乏	<p><b>症状：</b>生长发育不良，行动迟缓，死亡率高，骨骼异常，眼部病变，贫血。</p> <p><b>原因：</b>饲料缺乏必须元素，饲料储存不当，投料不当，盲目性，过度脂肪积累。</p> <p><b>治疗方法：</b>按照鱼的特点，改变饮食，提供特定的颗粒饲料，提供必须的维生素和矿物质，平衡蛋白质和减少脂肪（防止脂肪积累）。</p>

资料来源：修改自Noga, 1996-根据扩展阅读的章节阅读全部参考文献。

细菌性疾病	
柱状（花序梗病、烂鳍病、棉花毛病、黑色斑块坏死）	<p><b>症状：</b>皮肤发红或溃疡、坏死糜烂，鳃坏死，病灶分泌黄色液体。</p> <p><b>原因：</b>主要是柱状屈挠杆菌。并发原因急性应激，温度增加，低氧，亚硝酸盐；15℃以上会增加致病性。</p> <p><b>治疗方法：</b>浸泡在高锰酸钾一定时间以治疗鱼并让他们吃药饲料增加食欲；短时间浸泡在硫酸铜；在单独的鱼缸里进行抗生素治疗（土霉素，硝呋吡醇），消除潜在原因。</p>
水肿	<p><b>症状：</b>器官感染导致体内液体积聚，鱼身体水肿。</p> <p><b>原因：</b>各种细菌、病毒或者寄生虫都可导致病症，并发原因也会削弱鱼的免疫力，以及水环境质量较差等。</p> <p><b>治疗方法：</b>在单独的鱼缸里进行抗生素治疗（氯霉素、四环素），消除水环境的原因。</p>
烂鳍病	<p><b>症状：</b>鳍损坏或鳍线暴露，侵蚀，颜色退化，溃疡和出血，内部败血症。</p> <p><b>原因：</b>细菌感染来自不同的病原体，但假单胞菌易复发；水源条件差，受到其它鱼类的欺凌；在低温下往往致病。</p> <p><b>治疗方法：</b>查明原因，把鱼在一个单独的鱼缸里提供药物饲料与非耐药性抗生素（氯霉素或四环素）或溶解在水中的抗生素；保持分离，直到完全恢复。</p>
猪链球菌病	<p><b>症状：</b>急性出血，眼睛异常鼓出；腹膜液体腔出血。</p> <p><b>原因：</b>链球菌。</p> <p><b>治疗方法：</b>用抗生素治疗（土霉素、红霉素、氨苄青霉素）。</p>
结核	<p><b>症状：</b>瘦小，精神不振，缺乏食欲；皮肤呈现溃疡，鳞片有侵蚀性的损失；身体表面出现黄色结核或黑色结节；1到4毫米的内部器官，特别是在肾脏和脾脏的白色结节。</p> <p><b>原因：</b>细菌方面主要是分枝杆菌属造成的，密度过大，水质差和易感的鱼品种也是并发原因；摄入是最常见的传播因素；囊菌能在水环境中存活两年。</p> <p><b>治疗方法：</b>用红霉素、链霉素或卡那霉素、维生素B6治疗；治疗的时候注意不要让人感染。</p>
弧菌	<p><b>症状：</b>皮肤出血发红斑、在鱼的外侧和腹侧病变，溃疡释放脓液；肾和脾系统感染；眼部病变，如眼混浊、溃疡，眼球突出，最终导致器官丢失；另外还表现厌食和行动迟缓。</p> <p><b>原因：</b>各种类型的弧菌属，多见于海水鱼和热带鱼；温度高会增加发病率；压力、密度大、有机污染都是并发因素；在鲑科鱼种，鳃弧菌病的爆发多出现在5℃以下。</p> <p><b>补救措施：</b>由于疾病发生非常迅速，需要用抗生素及时治疗（土霉素、磺胺类药物）；减少压力是长期控制疾病的基础；当疾病可能传染给人们时，需要注意处理。</p>

表格继续

真菌性疾病	
白色棉状菌丝的水霉菌	<p><b>症状：</b>鱼的表皮会长白色、棕色、红色棉状的丝；眼部病变，如眼睛混浊，失明或眼珠脱落。</p> <p><b>原因：</b>水霉属经常跟随其他菌属感染鱼；急性应激、温度下降、运输应激都是并发原因。</p> <p><b>治疗方法：</b>一定时间的盐浴或者甲醛浴，用过氧化氢或亚甲蓝长时间浸泡鱼卵；病变部位可用聚维酮碘或汞浸透的布治疗。</p>
原虫病	
球虫病	<p><b>症状：</b>肠道感染、肠炎，上皮坏死；内脏器官，如肝、脾、生殖器官和膀胱有不同程度的损伤。</p> <p><b>原因：</b>球虫属于不同的科。</p> <p><b>治疗方法：</b>使用抗球虫药莫能菌素，磺胺（1毫升32公升水，每周重复）或氨丙啉治疗。</p>
六鞭毛虫症	<p><b>症状：</b>肠道和胆囊或其他器官均有寄生虫发生，腹胀、存在白色粘液及排泄物；其次是行为障碍，例如鱼躲在角落里，头向下和/或向后游泳，眼睛以上头部体积明显减少，身体颜色加深。</p> <p><b>原因：</b>鞭毛虫属螺旋核虫属，寄生时附着在原生动物肠附着点，动物会变得虚弱。</p> <p><b>治疗方法：</b>在饲料（1%）和水（12毫克/升）中使用甲硝唑（两种）。此外，硫酸镁也可以治疗，也提高温度，改善环境条件。</p>
脑出血/白斑病	<p><b>症状：</b>鱼的身体上出现白色小囊肿（高达1毫米），外观像盐颗粒，皮肤糜烂；行为障碍表现为嗜睡、食欲不振，身体会摩擦墙壁试图消除寄生虫。</p> <p><b>原因：</b>多子小瓜虫。</p> <p><b>治疗方法：</b>寄生虫的几个易感阶段是自由游泳的幼鱼时期、成鱼时期（滋养体）以及产生囊肿的时期；每周用盐水或甲醛浴治疗，直至治愈；30℃左右的水保持10天以上；把温度从21提高到26℃从而将寄生虫的周期从28天缩短到5天，缩短治疗周期。</p>
车轮虫	<p><b>症状：</b>显微镜下，刮开鱼的皮肤可以看见寄生虫；皮肤和鳃上是灰色的膜，并伴随着过多的白色粘液；严重感染的鱼会出现厌食症状。</p> <p><b>原因：</b>碟形的原生动物寄生虫附着在鳃和宿主的身体表面；常在水质较差和密度过高的养殖环境中发现。</p> <p><b>治疗方法：</b>甲醛或高锰酸钾浴；盐或醋酸浴浸泡（淡水原虫）。</p>
天鹅绒/粉尘	<p><b>症状：</b>褐色的灰尘覆盖身体和/或鳍；由于鳃上存在寄生虫而引起呼吸不适（呼吸困难），眼睛混浊；无感染性寄生虫不影响囊肿形成。</p> <p><b>原因：</b><i>Piscinodinium</i> spp. 一种寄生的皮肤鞭毛虫，与宿主结合。</p> <p><b>治疗方法：</b>该疾病是高度传染性和致命的，将温度从24℃提高到27℃可加速治疗周期；保持系统空置两周（无鱼）；对于严重感染用3.5%盐浴1-3分钟可以有效的去除。另外，在一个单独的鱼缸里用0.2毫克/升的硫酸铜治疗，必要时重复；铜能导致生物累积，引起毒性。</p>
寄生虫性疾病	
锚虫、寄生虫	<p><b>症状：</b>皮肤、鳃、口腔内均有寄生虫的存在；侵蚀与溃疡；皮肤上的红点可以扩大到直径5毫米左右。</p> <p><b>原因：</b>各种来源的桡足类，主要是由外部（野外）侵入。</p> <p><b>治疗方法：</b>可用放大镜识别，可在盐水中浸泡（淡水物种），同时过氧化氢、甲醛和伊维菌素是治疗的良方。</p>
吸虫	<p><b>症状：</b>聚集在罐壁，使鳃分泌粘液，损害鳃和鳍。</p> <p><b>原因：</b>扁虫大约1毫米长、寄生在鳃和皮肤上，可用放大镜检测。</p> <p><b>治疗方法：</b>在10毫克每升高锰酸钾浸泡10至30分钟（淡水寄生虫）、盐浴（淡水寄生虫）、甲醛或铜浴。</p>
水蛭	<p><b>症状：</b>寄生在皮肤上，会产生小的红色或白色病变；严重感染会导致贫血。</p> <p><b>原因：</b>外来寄生虫，主要是由外部（野外）侵入。</p> <p><b>治疗方法：</b>避免引入外来植物或蜗牛感染、用盐浴治疗、使用有机磷农药。</p>
线虫	<p><b>症状：</b>体重减轻，嗜睡，寄生虫会在腹部和肛门处聚集，肠道内的寄生虫可达到0.6-7.0毫米。</p> <p><b>原因：</b>蛲虫寄生在全身，但只有聚集在肛门的时候才能看见；侵扰发生在野生或者池塘鱼类的引入。</p> <p><b>治疗方法：</b>芬苯达唑和左旋咪唑的药物饲料。</p>

资料来源：修改自Noga, 1996-根据扩展阅读的章节阅读全部参考文献。



## 附录4 - 计算鱼菜共生系统中的氨氮量和所需的生物过滤基质

这个附录详细阐述了在给定的鱼饲料量，将氨态氮转换为硝态氮这一过程所需过滤介质的最佳数量。另外，本书正文第八章中除了介绍相关信息外，也在公式中引入两个非常重要的新参数：

- 鱼饲料产生的总氨态氮(TAN)
- 细菌将氨态氮到硝态氮的转化率

### 测定饲料产生氨态氮含量的方法

氨是蛋白降解产生的副产品。水中的氨含量由很多因素决定，包括饲料中蛋白质或氨基酸的质量/数量、可消化性、鱼的种类、水温和鱼菜共生系统中鱼类废物的清理方式。一般来说，投喂饲料的蛋白质只有30%会被鱼类摄食并转化为鱼肉。因此，70%的氮将损失掉：其中15%的蛋白质不能被消化，比如固体废物（粪便）以及残饵，其余的55%以氨或者易降解为氨的产物形式被鱼类排泄出来。除了直接溶解的废弃物，值得注意的是由系统产生的大约60%的固体废物通过沉淀池或者分离排出系统，最后大约残留6%的固体废物被降解为氨排到水中。总而言之，饲料中61%的氮转化成氨，并且进行硝化作用。

以20千克的鱼为例，每天投喂占鱼体重1%的饲料（200克鱼饲料）。这200克饲料（蛋白质含量32%）大约会产生7.5克氨。为了计算得出这个结果，首先计算出氮的量，基于食物中的蛋白含量百分比来计算；以及蛋白质中的氮含量（16%）。然后，计算氮损耗量：损失61%的氮（其中6%是残留系统中的未消化/未被摄食的残饵，55%由鱼排泄系统排泄）。根据标准化学计算方法（这里没有写出），每1克损失的氮，都会产生1.2克氨态氮。下面的公式展示了这个过程：

$$200\text{克饲料} \times \frac{32\text{克蛋白质}}{100\text{克饲料}} \times \frac{16\text{克氮}}{100\text{克蛋白质}} \times \frac{61\text{克废氮}}{100\text{克总氮}} \times \frac{1.2\text{克氨气}}{1\text{克氮}} = 7.5\text{克氨}$$

### 确定培养硝化细菌所需的生物过滤基质的数量

经硝化细菌的氨态氮去除率是每平方米每天0.2-2克。去除率取决于生物过滤的设计、水流量（流经细菌的水量）、温度（在>20℃时，生物活性更高）、盐度、pH、溶氧和鱼代谢物中的悬浮颗粒。为了简化所需的复杂计算，我们使用一个比较保守的去除率：每平方米每天的水体表面区域有0.57克氨态氮被转化。假设每日投饲量为200克并且产生7.5克的氨态氮，则可得到硝化菌作用的表面区域13.3平方米，如下面计算公式所示：

$$7.5 \text{克氨} \times \frac{1 \text{平方米}}{0.57 \text{克氨}} = 13.3 \text{平方米}$$

获得生物过滤基质所需的表面积可以有许多可供选择的基质材料，每一种材料都有一个特定的比表面积（SSA），也被称为面积体积比，表达式为每立方米体积的平方米面积（平方米/立方米）。常见的生物过滤基质包括碎石、沙子、纤维网垫和塑料过滤料。SSA表明一立方米的特殊基质所具有的全部表面积，如果所有颗粒都测出其所含的表面积。表A4.1是一部分基质的SSA值的记录(参见表4.1)。转化氨态氮所需要介质的体积可利用SSA来进行计算得到。下面的公式举例了一个使用火山凝灰岩的方法。

火山凝灰岩的SSA为300平方米/立方米，确保作用表面积为13.3平方米（上文计算得出的硝化细菌所需的面积），所需凝灰岩的体积可通过简单的相除计算得出：

$$13.3 \text{平方米} \times \frac{1 \text{立方米}}{300 \text{平方米}} = 0.0443 \text{立方米}$$

处理日投饲量200克需要火山凝灰岩体积为0.0443立方米。一立方米等于1000升，因此全部所需要的火山岩体积为44.3升。也就是1升的火山凝灰岩能够转化4.5克饲料带来的氨态氮。

$$\frac{44.3 \text{升凝灰岩}}{200 \text{克饲料}} : \frac{1 \text{升凝灰岩}}{4.5 \text{克饲料}}$$

在鱼菜共生系统中使用基质床法时，用于植物生长的基质量远远超过生物过滤和氨态氮转化量所需的最小值。这也导致这个活跃系统中硝化细菌转化的效率严重不足。在本书的附录8中描述的系统，设计了一个900升体积的凝灰岩，几乎是去除200克饲料氨氮所需体积的20倍。

表A4.1

几种生物过滤料的比表面积，包括每日投喂饲料量的氨转化率计算，假设投喂含有32%蛋白质的饲料

基质类型	比表面积 (平方米/立方米)	每升基质可处理饲料量 (克)	每100克饲料所需基质量 (升)
粗砂 (0.6-0.8 毫米)	5000	75.0	1.3
过滤珠	1400	21.0	4.8
生物球®	600	9.0	11.1
泡沫	400	6.0	16.7
光纤网垫	300-400	4.5-6.0	16.7-22.2
波纹结构填料	150-400	2.3-6.0	16.7-44.4
火山砾石	300	4.5	22.2
粘土球 (LECA)	200-250	3.0-3.8	26.7-33.3
粗砾	150	2.3	44.4

知道准确的SSA，就可以确定使用何种生物过滤基质及该基质的使用体积。然而，值得一提的是，如果水中悬浮颗粒多，那么基质的SSA越大，系统被堵塞的风险也越大。这一情况在鱼放养量较大的鱼菜共生系统中很容易发生，如果这些系统没有足够的分离器和沉淀池来清除鱼类粪便。

## 附录5 - 自制鱼饲料

鱼饲料是小型鱼菜共生系统最大的成本投入之一。同时，饲料也是整个鱼菜共生生态系统中最重要的一部分，因为它同时维持鱼和蔬菜的生长。因此，农民和从业人员有必要了解它的成分。同样，如果商业化的颗粒饲料无法获得的话，掌握在农场制作饲料的方法就显得尤为重要。此外，当为改善鱼生长或鱼菜共生系统的生长表现而需要特定的配方时，自制饲料就很有用了。

### 饲料的成分

鱼饲料含有鱼生长、能量需求、繁殖所需要的所有营养素。饲料成分包括有蛋白质、氨基酸、碳水化合物、脂肪、能量、矿物质和维生素（见表A5.1）。下面简单概述了饲料主要成分、成分表和配方，作为饲料制作过程的一个指南。

### 蛋白质

膳食蛋白质在动物的生长和新陈代谢中发挥着基础性作用，它们由20种不同的氨基酸组成，表现为重组的无数的组合，为生长提供所有不可缺少的蛋白质。

动物只能合成部分氨基酸，其他的则不能，而这些无法合成的就需要通过膳食摄取。对于水生动物来说，有十种是必需氨基酸（EAA），这些氨基酸为：精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸和缬氨酸。因此，饲料配方必须实现一个满足每种鱼特定需求的最佳EAA平衡。若达不到要求，就会阻碍鱼类合成自身的蛋白质，同时也会浪费存在的氨基酸。因此，理想的饲料配方应该考虑到每一种成分中EAA的含量，并且满足鱼所需要的量。关于EAA含量（尤其是蛋氨酸、半胱氨酸和赖氨酸）的信息在任何饲料成分表中均可查到（详见补充阅读材料）。

蛋白质的推荐摄入量取决于鱼的种类和年龄。对于罗非鱼和草食性鱼类来说，最佳范围为28-35%，而肉食性鱼类则需要38-45%。相对于成鱼来说，幼鱼需要更高蛋白含量的食物，来满足其集中的身体生长需求。

在饲料中，除了最佳氨基酸含量，我们还要强调蛋白质和能量（由碳水化合物和脂肪提供）的最佳膳食均衡的重要性，这样不仅可以获得最佳生长成效，也可以降低成本、减少浪费，避免利用蛋白质来提供能量。尽管蛋白质也可以作为能量来源，但它们的成本比碳水化合物和脂肪高很多，后者才是首选。

在鱼菜共生系统中，在膳食中增加任何蛋白质都会直接影响水中氮含量，这种情况应该通过增加系统中蔬菜种植量或选择具有高氮需求的蔬菜来平衡。

一般来说，粗蛋白（CP）的总量或者配合饲料中特定必需氨基酸（EAA）的含量都可以简单的通过将配方中每种成分的百分比与其粗蛋白

含量乘积得到（或者计算出的特定必需氨基酸的百分比），最后汇总得到数值。例如，膳食中含有60%的大豆（大豆含有44%的粗蛋白）和40%的小麦（小麦含有18.8%的粗蛋白），则总粗蛋白含量为 $(0.6 \times 44) + (0.4 \times 18.8) = 26.4 + 7.52 = 33.9\%$ 的粗蛋白。如果通过计算获得的粗蛋白含量（或者特定必需氨基酸的含量）可以满足鱼对粗蛋白（或者特定必需氨基酸百分比）的需求，则配方可以被认为是最优的。

确定最便宜的蛋白来源可以通过每种成分的成本除以其粗蛋白的百分比，结果可以得到一个单位蛋白质（1%）的成本，并且可以帮助找到最节省成本的饲料配方。

### 碳水化合物

对动物来说，碳水化合物是最重要也是最便宜的能量来源，它们主要由简单的糖类和淀粉组成，而其他复杂的结构，如纤维素和半纤维素，鱼类是无法消化的。一般来说，膳食中应该包含最大耐受量的碳水化合物以降低饲料成本。杂食性的鱼和温水鱼类可以消化高达40%的碳水化合物，但是肉食性鱼和冷水性鱼类则只能消化大约25%。碳水化合物也常被用作粘合剂，确保饲料颗粒在水中保持其形状。一般来说，在挤压或颗粒状饲料中使用最多的是淀粉（来源于马铃薯、玉米、木薯和面筋小麦），淀粉在60–85℃会经历一个熟化过程，可防止饲料颗粒易溶于水。

### 脂肪

脂肪为鱼类提供能量和必需脂肪酸（EFAs），这对鱼的生长和其他的生理功能是必不可少的。脂肪在吸收脂溶性维生素和保证激素的生成方面也起着重要作用。和其他动物一样，鱼类不能合成必需脂肪酸，必须根据物种的需要通过膳食来摄取。脂肪酸供应不足会导致生长减缓、繁殖效率受到限制。

一般来说，淡水鱼对欧米伽3和欧米伽6脂肪酸两者都有需要，而海水鱼主要需要欧米伽3脂肪酸。罗非鱼主要需要欧米伽6脂肪酸以确保最佳生长和较高的饲料转化率。大多数饲料包含5–10%的脂肪，而对一些海洋生物来说，这个比例会更高一些。饲料中的脂肪含量需要遵循最佳蛋白质/能量比率，这样可以确保获得良好的生长、避免为提供能量而消耗蛋白质（缺乏脂肪/碳水化合物来提供能量），也要避免体内脂肪堆积（饲料中脂质过多）。

### 能量

能量主要通过氧化碳水化合物、脂肪以及有时部分蛋白质而获得。鱼类对能量的需求要远低于恒温动物，因为鱼类身体对热量的需求较低，进行新陈代谢的需求也较少。然而，每个物种都需要一个适宜的蛋白质和能量比，以确保最佳的生长条件，同时避免动物消耗价格高的蛋白质来获得能量。因此，重要的是精心挑选饲料原料以满足每个水生品种所需的可消化能（DE）。关于鱼菜共生系统中最常见的鱼所需的最佳蛋白质和能量平衡，下面提供了一个简要参考（表A5.1）。关于DE水平的信息在任何一种饲料成分数据表中均可见到（参见拓展阅读中鱼饲料的部分）。



一般来说，配方饲料中DE值可以简单的通过将饲料每种成分的DE与其含量相乘，然后将获得的各个值相加（例如，饲料中含有60%的大豆，大豆的DE为2888千卡/千克，40%的小麦，小麦的DE为2930千卡/千克，则相当于饲料中的DE为 $[0.6 \times 2888] + [0.4 \times 2930] = 1732 + 1172 = 2904$ 千卡/千克）。如果通过计算获得的能量可以满足所养鱼类对能量（以及蛋白质）的需求，则饲料被认为是最适合的。

表A5.1  
选定鱼类所需的最佳蛋白质、能量、DP/DE比和必需氨基酸

品种	可消化蛋白质 (DP)	可消化能 (DE)	可消化蛋白质/可消化能 DP/DE	精氨酸	组氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	蛋氨酸	苯丙氨酸	苏氨酸	色氨酸	缬氨酸
尼罗罗非鱼	30	2900	103	1.2	0.5	0.9	0.9	1.4	0.7	1.0	1.0	0.3	0.8
鲤	32	2900	108	1.5	0.8	0.9	1.3	2.2	1.2	2.5	1.5	0.3	1.4
虹鳟	42	4100	105	1.6	-	-	-	1.9	1.0	-	-	0.3	-
斑点叉尾鮰	27	3100	86	1.0	0.4	0.6	0.8	1.2	0.6	1.2	0.5	0.1	0.7

资料来源：修改自（美国）全国科学研究委员会NRC(1993)。

## 维生素和矿物质

维生素是维持生长和完成生命所需的所有生理过程所必需的有机物质。维生素必须通过摄食来补充，因为动物体内不能合成维生素。维生素不足最可能发生在集约化网箱养殖和养殖池系统，在这些的地方，动物无法获得天然饵料。退化性症状通常是由这些维生素和矿物质的缺乏引起的。

矿物质是动物生命活动中重要的元素。它能维持骨骼的生长，参与渗透压调节、能量输送、神经和内分泌系统的正常运行。它们是很多酶和血细胞的核心成分。鱼类需要7种主要的矿物质（钙、磷、钾、钠、氯、镁和硫）和其他15种微量元素。这些可以通过饲料来补充，但也可以通过皮肤和鳃直接从水中吸收。维生素和矿物质的补充应根据不同品种的需求来进行（表A5.2）。

表A5.2  
最重要营养成分的常见饲料原料来源

营养成分	饲料来源
蛋白质	植物来源：藻类，酵母，大豆粉，棉籽粉，花生，向日葵，油菜籽/油菜，其他油籽饼。 动物来源：水产副产品（鱼粉或内脏），家禽副产品（禽肉粉或内脏），肉粉，肉骨粉，血粉。
碳水化合物	小麦粉，麦麸，玉米粉，玉米糠，米糠，土豆淀粉，木薯根粉。
脂肪	鱼油，植物油（大豆，油菜，葵花籽），经加工的动物脂肪。
维生素	维生素预混料，酵母，豆类，肝脏，牛奶，麸皮，麦芽，鱼油和菜油。
矿物质	矿物质预混料，碎骨。

## 养殖场饲料生产

饲料生产需要很好地配比各种营养成分（蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、矿物质和总能量）。不均衡的饲料会引发生长缓慢、营养失调、疾病等，最终会导致生产成本提高。

鱼粉被认为是水生动物最佳的蛋白质来源，因为它的蛋白质含量很高和均衡的必需氨基酸含量。然而，鱼粉的成本一直上涨，考虑到其可持续性。而且鱼粉也并不总是随时何以获取。植物来源的蛋白可以充分取代鱼粉；但是它们需要经物理处理（脱壳，研磨）和高温加工来改善其可消化性。植物原料事实上是高抗营养因子，会干扰动物对营养物质的消化和吸收，最终导致鱼类生长迟缓，表现不佳。

鱼颗粒饲料的尺寸应为鱼嘴大小的20-30%，这样方便摄食，和避免损失。如果颗粒太小，鱼在进食时就会消耗更多的能量；而如果颗粒太大，鱼就不能进食。推荐50克以下小鱼的鱼饲料颗粒大小为2毫米，而超过50克的未成年鱼的最佳尺寸为4毫米。

使用任何动物源原料（鱼内脏，血粉，昆虫等）前都应经预防性热处理，以防鱼菜共生系统中出现任何微生物污染。

### 杂食性/草食性鱼类的自制鱼饲料配方

以下是两种简单的均衡鱼饲料配方，这两种配方包含了30%的粗蛋白。第一个配方由蔬菜源蛋白制成，主要是大豆粉。第二个配方主要由鱼粉制成。表A5.3和表A5.4中的每种成分都以重量（千克）形式表达，可制作总重10千克的饲料。然后提供了制备颗粒饲料的简单步骤指南。关于饲料、营养和配方的更多信息可见于粮农组织网站上本书拓展阅读部分列表。

表A5.3  
使用10千克植物源蛋白的鱼饲料配方及其营养素相对含量的近似分析

饲料原料	重量（千克）	占总饲料量的百分比（%）	营养素近似分析	%
玉米粉	1.0	10	干物质	91.2
面粉	1.0	10	粗蛋白	30.0
大豆粉	6.7	67.2	粗脂肪	14.2
大豆油	0.2	2	粗纤维	4.8
麦麸	0.7	7.8	灰分	4.6
维生素和矿物质	0.3	3	无氮浸出物（NFE）	28.3
总量	10.0	100	-	-

表A5.4  
使用10千克动物源蛋白的鱼饲料的配方及其营养素相对含量的近似分析

饲料原料	重量（千克）	占总饲料量的百分比（%）	近似分析	%
玉米粉	1.0	10	干物质	90.9
面粉	4.0	40	粗蛋白	30.0
大豆粉	1.5	15	粗脂肪	10.5
大豆油	0.2	2	粗纤维	2.1
鱼粉	3.0	30	灰分	8.3
维生素和矿物质	0.3	3	无氮浸出物（NFE）	34.5
总量	10.0	100	-	-

### 自制鱼饲料的步骤

1. 收集表A5. 5中所列出的器具。
2. 收集表A5. 3或表A5. 4中所列举的材料。预先购买干燥的脱脂大豆粉、玉米粉及面粉。若这些材料均不可获得，则购买大豆、玉米粒及小麦粒等原材料。这些原材料需要经干燥、去壳和研磨处理。此外，大豆需要在120℃下烘烤1-2分钟。
3. 按上述配方上的数量将各成分称重。
4. 加入干性配料（面粉和谷类）并彻底混合5-10分钟，直至混合均匀。
5. 将维生素和矿物质预混料加入干性配料中，再彻底搅拌5分钟。确保维生素和矿物质在整个混合物中搅拌均匀。
6. 添加大豆油，继续搅拌3-5分钟。
7. 混合物中加水以获得柔软但不粘的面团。
8. 蒸汽烹制混合料团，使其熟化。
9. 挤压混合料团。将料团先分割为可处理的小块，然后将其放入绞肉机/长条机制成通心粉状的长条。绞肉机圆盘要根据所需颗粒大小来选择。
10. 在铝盘上将长条摊开，使挤出的料团干燥。若条件允许，可将饲料长条在电烤炉中进行烘烤，温度在60-85℃，时间为10-30分钟，使淀粉熟化。定时检查长条，以防起火。
11. 绞断干燥的长条。在托盘上，用手指折断或者切断长条，使其成小块状。将颗粒弄成相同大小，避免多次地绞碎颗粒，以防其破碎成粉状。粒料可以过筛和分装，粒度均匀，尺寸适中。
12. 饲料存储。当饲料被分成小块时，尽快将完全干燥的饲料颗粒放入密封的塑料容器，以防颗粒回潮。

表A5. 5

饲料配方所需的工具 and 材料清单

工具	数量	规格
电子秤	1	可称量1-3千克，最小刻度1克
研磨机	1	电动咖啡研磨机
金属筛	1	筛孔0.2-0.4厘米
搅拌钵	1	容量10升
塑料碗	3	容量2升
绞肉机/面条机	1	手动或电动
搅拌勺	1	大号
铝制焙烤托盘	10	40×40厘米或其他可用尺寸

### 保存自制饲料

一旦制作好了，储存鱼饲料的最佳方法是：饲料完全干燥并且分装保存，尽快将颗粒放入一个密封的容器中。容器必须置于阴凉、干燥和通风的地方，远离虫害。将颗粒保存在温度较低（<10%）的地方，以防其发霉和产生有毒真菌毒素。在合适的温度下，饲料颗粒可以储存长达两个月。

另一个长期保存颗粒饲料的方法是将它们装在一个塑料容器中，然后放在冰箱里，但是这种方法需要电力。饲料以这种方式可以保存超过一年。

使用饲料必须遵循“先进先出”的原则，避免使用任何有腐烂或发霉迹象的饲料，因为这对鱼类来说可能是致命的。

### 补充饲料和活性饵料

鱼类可以投喂一些当地可获得的补充饲料。事实上，使用新鲜饲料可以为动物的生长补充蛋白质，它也可以补充鱼颗粒饲料中可能不足的维生素和矿物质。

鲜活饵料的范围广泛-其选择取决于养殖的鱼类品种和当地可获得性。但重要的是记住任何外源饵料都可能携带微生物或寄生虫，如果这些饵料是从外部水域（受污染的或不干净的）或动物来源（例如未杀菌的动物粪便中的蠕虫）获得的话。活性饵料可以在家庭安全标准范围下生产，或者在喂食鱼之前经加热处理。

活物鱼饵料的例子包括：

- 水浮萍和大型水生植物。水浮萍具有丰富的蛋白质，直接投喂可以达到每日投喂量的10%。然而，大型水生植物由于其纤维含量较高，比配方制作的饲料的更难消化，这也增加了系统中固体/废物的数量。
- 鱼菜共竹系统中的植物残余和其它碎屑可以少量被杂食性鱼类食用。
- 在农村地区，蚯蚓经常可以从植物堆肥里获得。推荐暂养1-2天且不投喂的方式来处理从外面采集到的蚯蚓，从而可以减少将细菌引入到系统中的风险。
- 昆虫幼虫也富有很高的蛋白，但由于其脂肪含量高，切勿过量使用。昆虫幼虫可以在腐败的有机质（蔬菜、水果）中培育；但若基质中含有动物源性材料，建议静养处理1-2天。
- 昆虫可以直接投喂杂食性和肉食性鱼类为食，但外骨骼中的几丁质会降低它们的可消化率。
- 小型鱼类、甲壳类和贝类可以从小溪和池塘里获得。由于有污染和寄生虫的风险，因此需要谨慎使用。
- 藻类可以直接用于草食性和杂食性鱼类为食。藻类可以在鱼菜共生系统外的独立鱼池中进行培养，然后投喂。

## 附录6 - 建立一个鱼菜共生系统前的关键考虑因素

全世界有许多功能齐全的小型商业鱼菜共生系统。鱼菜共生系统不仅可以在热带和亚热带地区建立，这些地区气候条件有利，支持全年运作生产，而且也可以在冬季长达六个月的寒冷地区建立。在一个特定的地方运行一个鱼菜共生系统，需要进行全面的成本收益分析，包括评估其在经济、环境、后勤管理和社会等相关条件。

在着手一个鱼菜共生项目前必须考虑许多因素，不管是家庭消费，还是更偏向于商业运作。有许多鱼菜共生的经营失败了。创建一个商业经营企业需要经过充分的研究，制订运营计划和风险评估分析。这些方面并没有包括在本附录之中。然而，下文讨论了关于运营不同规模的鱼菜共生系统的一些关键因素和要求。

### 经济因素

决定鱼菜共生是否成功的一个主要因素就是其对可替代生产方法的竞争力大小。鱼和植物的组合增加了投资的风险，为了保证利润，必须最大限度地提高植物与鱼的产量和收益。

这意味着，对潜在市场进行分析也是制订一个商业计划中的重要内容，因为需要评估所有可能的产品，清楚其生产的利润率，以及主要消费者。一个常见的误导问题是问：“我要生产什么？”而更重要的问题是：“我能卖什么？”“我要卖给谁？”，然后才是“我该如何去生产？”

市场分析时应针对利润最高的产品以及成本效率最高的管理环节。这意味着，由于市场需求和生产成本的原因，一般会选择养殖在鱼菜共生系统指南中介绍的不同的鱼类品种。

在决策过程中，针对家庭消费和以市场为导向的生产之间有着很大差异。虽然前者可以依据零售价格来估计利润率，但具有商业规模的企业必须找到市场，产品价格也可能接近于批发价格，尤其是在大规模经营的情况下。然而，小型鱼菜共生系统无法受益于规模经济（例如，一个小温室每平方米的成本比一个大温室的更高），这意味着非商业生产的种养者可能面临更高的生产成本。

在北美，鱼菜共生在一定程度上被公认为是一种“有机”的生产形式，但这在欧洲不适用。在欧洲，“有机”一词还仅适用于土壤栽培生产。从一个呼吁生态的积极前景来看，鱼菜共生产品在西方市场可以获得更高的收益；但这在发展中国家中仍不太可行，因为发展中国家的消费者仍然以价格导向为主。在营销方面，鱼菜共生产品的优势可能来自足迹标签，因为从水资源保护和无污染的角度来看，鱼菜共生是水产养殖系统中最佳实践，实现了在农业上也减少肥料和化学物质投入。然而，仍需在此基础上进行深入研究，提供鱼菜共生系统能朝着更节能的管理战略的发展方向。

仍然限制鱼菜共生进行广泛推广应用的原因之一，是鱼菜共生的投资成本几乎是标准水培系统的两倍。然而，这种定论部分来源于错误的想法：鱼菜共生仅仅是一种植物生产系统而不是补充支持农业的循环水养殖系统（RAS）。如果和一个标准的RAS相比，鱼菜共生在资本、运营成本以及某种程度上的系统简化方面仍具持续的优势。如果节约成本的设计/项目能使鱼菜共生系统的初始投资成本接近水培技术，这将会使鱼菜共生取得更大的成功。然而，这将需要更多的努力来专注开发更简单的系统。

在不利气候条件下建立的鱼菜共生系统，可能会依赖于先进的温室气候控制系统来保持最佳的水温、气温、湿度以及通风条件。这将会增加鱼菜共生系统的初始成本和运行成本，但至少在这个方面，温室建设的投资成本不会和水培技术的投资成本有明显的不同。

### 环境因素

有一些关键因素是确定鱼菜共生最适合和最能获益的地方。在全球范围内，发展鱼菜共生系统理想的地点是土壤肥力较差的地区（特别该地区很难或者需要花费很高的代价通过有机材料给土壤补充营养）以及水资源稀缺的地区。在水资源的利用方面，鱼菜共生系统，即使是在最有生产力的传统养殖业和农业系统中，也是具有竞争力的。鱼菜共生食物生产过程中水资源利用效率极高，因为它通过无土栽培种植蔬菜。然而，鱼类和蔬菜作为一个整体和水培技术相比，它具有更高的基础设施成本。考虑到这些因素，半干旱缺水地区将从这种新食物生产方法中受益良多。

水是一个重要因素，尤其是水的质量标准。鱼菜共生系统利用了水循环的巨大优势，从而避免了每天大量用水弥补损耗。在水资源污染的地方，水被污染物或病原体/寄生虫污染，而鱼菜共生，就像RAS一样，是优化鱼类生产的理想系统，减少了水生动物的死亡率同时提高了水产品的质量。在这种情况下，额外的投入就是需要补充少量的优质水（例如通过雨水收集或来自自流井），这个成本通过提高的鱼质量和降低的病死率，可以很容易抵消。

水的盐度水平是水评估过程中的另一个内容。尽管淡水鱼可以忍受一定的盐度，但水的电导率（EC）增加超过一定水平（如2000电导率单位）后将影响不耐盐蔬菜的生长。这迫使农业生产者必须考虑耐盐品种，但这些品种可能不被市场接纳，从而有利润率减少的潜在风险。此外，进入鱼菜共生系统的饲料成分和作物吸收之间的不平衡，将造成养分和盐分积聚，这同样给鱼菜共生系统带来盐度累增的问题。这些问题可以通过排出系统内适量的水或改进管理（控制饲料使用，种植吸盐作物）来解决，当然这些做法有可能会降低系统的盈利水平或生产力，并需要经营者具有更高水平的专业知识。

气候是另一个主要影响因素，因为它将决定维持每个鱼菜共生单元进行食物生产的理想环境所需的额外成本。一般情况下，地区全年日均气温是20-30℃是热带鱼类，如罗非鱼和耐温植物，理想的生长气温。因此，作物和鱼类的选择将会显著影响生产成本，如果需要调控气温来达到鱼和植物这两部分的理想生长条件。此外，在日均温度适宜的地区，如果白天和夜间（即高地和山地区）的气温波动较大，也

会对鱼的生长产生影响。这是因为较大的气温变化会给动物带来应激反应。

还必须注意到季节变化的影响。寒冷的冬季会迫使鱼菜共生系统的种养者要么给温室投资需要消耗能源的供暖系统，要么完全停产几个月。因此，仔细研究生产安排和计划并尽可能找到可选品种是十分重要的，这样可以避免年中停产的现象。

长时间的雨季会要求种养者们用牢固的檐篷或温室来保护他们的系统，因为大量的雨水可能会损坏作物，导致系统中水溢出或过度稀释水中的营养。然而，这一方面需要额外的投资，另一方面这也使得在因为洪水和养分流失严重限制着传统农业的生产地区，变得有利可图。同时，这种做法也可以防止大风对作物带来的侵害，当遇到风灾时，作为一个受保护的环境，鱼菜共生系统可以带来更高产量和更高质量的蔬菜，然而传统农业却难以为继。

夏季会造成水过热的现象。尽管在此期间保持较低水温的方法相对简单，即可以通过适当的系统设计来实现。但是在极其炎热的季节，如果没有水冷却系统，水的温度可能会上升到不适水平。这将影响种养者蔬菜的生长速度和品种选择，尽管它不一定会影响热带鱼和硝化细菌。

### 配套服务与管理因素

鱼类生产是鱼菜共生运作的一个重要组成部分。易于获得养殖的水生动物对于养殖户来说至关重要，包括获得当地鱼类养殖技术和知识也同样是重要的。

因此，在没有鱼苗场、水产养殖实践和推广服务的地区，鱼菜共生系统的发展将受到限制，除非亲本、鱼种和鱼饲料的生产也是鱼菜共生经营计划的一部分。但这样的话，投资会变得风险更高，因为这意味着需要更长时间使系统完全运作，这也需要投入更多时间用于知识转移和考察产品出售的潜在本地和区域市场。

在任何地区，获得电力和适当的水量是非常必要的。特别是电力，拥有一个恒定可靠的电力网是确保水泵连续运转的根本。缺少这些资源将严重限制鱼菜共生系统的推广，除非设计的是低产量系统，可以忍受几个小时断电而不影响鱼类生存。鱼菜共生系统的运行，特别当它们用于商业目的时，必须依靠备用电源系统和发电机，这也将增加建设成本。鱼的生产是鱼菜共生中最复杂的部分（特别是对水产养殖新手而言），需要每日管理维护来避免系统发生故障并造成重大损失。

还必须有一个鱼菜共生系统关键配件和监测工具（水质测试盒，酸度计，电导率计）的销售市场，通常当地的水产市场就可以满足。任何水生生物设施成功的决定性因素是使用当地可获得的材料以及系统对当地环境和资源的合理适应。如果没有这一点，就很难开发出具有成本效率的食物生产方法。

在一个地区或国家选择具体项目点位置时，教育能力也是一个主要考虑因素。和传统以土壤为基础生产食物的方法相比，鱼菜共生系统是一个相对复杂的方法。该方法需要使用者对集成生态系统有更深层次的理解，以及其主要影响因素（水，环境，营养等）。鱼菜共生系统同时也要求个人具有良好的水产养殖和园艺学知识，并能够因地

制宜进行转化和改造。主要挑战包括，为了让文盲或半文盲种养者和/或终端用户作为可持续的生产方式，鱼菜共生系统需要降低其系统的复杂性水平，通过改造技术，至少在概念上应适应当地资源、需求和文化。通过改造并融入当地社会环境，可让鱼菜共生系统更加适应当地种养者已经亲近和实践了几千年的农业实践。这将要求从业者更好地了解如何设计系统的知识，让系统中每个组件或材料的管理需求减少到最低限度。

当鱼菜共生系统在一个特定区域内还没有真正成为食物生产的方式。和地方高校或农业推广机构合作，可以有助于开发出最佳生产实践的相关知识以及其最简单有效的模式。

### 社会因素

在除了采用鱼-植物综合系统作为有竞争力的食物生产方法之外，鱼菜共生系统还没有获得一个肯定的前景。在北美，鱼菜共生系统作为一种有机生产方法，已经被广泛接受，然而在欧洲，却看不到同样的情况出现，并降低了其获得溢价的潜力。

在消费者和研究者中，也存在一些担忧。因为鱼的粪便，鱼菜共生系统的水可能成为潜在细菌污染的载体。虽然不同的国家在用水安全上的规定不同，但在那些对细菌限制更严格的国家，鱼菜共生系统的发展可能会受到限制。这将需要更加注重和遵守当地的标准（例如，使用消毒技术），尽管水产养殖的废水通常比其他水源安全水平更高。

另一方面，鱼菜共生系统为生产无化学药品、无病害、更安全的食品提供了机会。就水产养殖业而言，这个增值的特性，可能会引起人们对这一生产系统的兴趣。最近，许多国家在农业领域对于农药使用的关注，吸引许多发展中国家的消费者购买更安全的产品。把准确了解这种消费模式并结合到决策过程中，才能判定鱼菜共生系统在所选的区域是否具有可行性。



## 不同规模鱼菜共生系统基本要求总结

表A6.1 不同规模鱼菜共生系统关键注意事项汇总

表A6.1

不同规模鱼菜共生系统关键注意事项

基本要求	小规模 (50-500株莴笋)	半商业化规模 (500-2500株莴笋)	大规模商业化
鱼菜共生适宜气候和环境条件	X	X	X
优质鱼苗、鱼种和蔬菜种子/种苗的可获得性	X	X	X
鱼菜共生组配件的可获得性	X	X	X
全天候系统获取电力和优质水	X	X	X
在受保护的环境（温室）中气候和环境调控的可行性方案		X	X
水质监控工具（溶解氧、pH计、水质测试盒）的可获得性		X	X
有效的大型鱼类固体废弃物的分离设备和生物过滤器（涡旋分离器、沉淀器等）		X	X
淤泥废物管理		X	X
备用发电机		X	X
生物安全和综合虫害管理方案		X	X
水产养殖和园艺学方面的良好经验		X	X
商业计划，包括充分的市场研究	X	X	X
具备水产养殖和水耕栽培专长的员工或有随叫随到的技术人员			X
鱼苗生产设备，现场水质实验室和能鉴定和治疗鱼病的推广技术服务			X
监测和调控氧气和水质参数的自动化技术			X



## 附录7 - 小型鱼菜共生系统的成本收益分析

表A7.1-A7.4描述了一个小规模鱼菜共生系统的成本和效益。表格中的信息意在使读者理解建立和运行一个鱼菜共生单元所必需的费用，以及在第一年的预计产量和收益。表A7.1总结了初建（投资）一个小型基质栽培单元的材料总成本（该系统材料成本的完整清单可在本书的附录8中找到）。表A7.2包括了年度运行成本的所有细节。运行成本计算的详细信息可在表的注释部分找到。表A7.3详细说明了蔬菜和鱼年度预期产量。表A7.4汇集了来自表A7.1-A7.3的成本和经济收入，计算出了初始投资的总利润和投资回收期。

应该指出的是，表中给出的数字旨在为新手提供一个参考。提供准确的数字十分困难，特别是关于产量和价值，因为还会受许多生产和财务因素的影响：温度、季节、鱼类品种、鱼饲料质量和饲料蛋白比、市场价格等。

### 计算假设

- 所有的计算都是基于小规模基质栽培单元（本书正文介绍内容），即具有3平方米的栽培面积和1000升的鱼缸体积（如本书附录8所示）
- 这个单元只为提供家庭食物消费，并不用于小规模生产创收。整个系统经济利益的组成会有所变化，如果选择种植利润更高的作物，也许产出比表A7.4更大的收益。因为聚焦为提供家庭食物消费的小规模鱼菜共生系统，因此在计算中考虑了两茬作物，这两茬作物也能更好的反映作为家庭消费而种植作物的生产模式：一茬是绿叶蔬菜（生菜），另一茬是瓜果类蔬菜（番茄）。
- 产量数据来自12个月的连续生产，每天用蛋白质含量32%的优质饲料饲喂鱼类，系统全年水温23-26℃。
- 该单元鱼类生物量稳定保持在10-20千克。
- 养殖鱼品种是罗非鱼。养殖鱼缸投饲率为50克/平方米，相当于每天总饲料消耗量为150克（50克×3平方米）。放养鱼种规格是50克；期望收获的重量是每条鱼500克，养殖周期为6-8个月。
- 对于业余种植者来说，其平均计算产量水平为：每月每平方米收获20棵生菜，每月每平方米收获3千克西红柿。

表A7.1  
栽培床系统（1000升鱼缸和3平米种植面积）的总投资投入

项目描述	价格（美元）
IBC鱼缸*	200
电力设备：水泵、气泵和连接线	120
栽培床底座：混凝土砖和厚木板	80
火山岩碎块（生物过滤器媒介）	120
其他设备：鱼网、生胶带（特氟龙）、遮阴材料等	100
水管：水管、水管配件和接头	80
合计	700

备注：表格中讨论的设备长度参见本书的附录8。

\*如果IBC鱼缸涂上漆或其他材料、且免受阳光照射，则可延长其使用寿命。

表A7.2  
运行一个小规模鱼菜共生系统需要的月度总开支

系统投入	单位	月使用量	单位价格（美元）*	总计（美元）
植物	幼苗	35	0.10	3.50
鱼类	鱼种	5	1.00	5.00
电力	千瓦时	25	0.10	2.50
水	升	450	0.0027	1.20
鱼饲料	千克	4.5	2.50	11.25
其他	-	1	3.00	3.00
总开支/月				26.45

备注：

\*表中数值是基于以色列的各种投入的估价计算的。可用当地售价来替换这些数据，计算出当地的总运营成本。

幼苗：35株是种植面积3平米的平均复耕比例，种50%的绿叶蔬菜（20株/平米）和50%的瓜果类蔬菜（5株/平米）

鱼种：最大年生产量是30千克，相当于每年收获500克的鱼60条。因此，系统每年需要60条鱼，每月需要5条。

电力：30瓦（水泵）+5瓦（气泵）×24小时×30天÷1000=25千瓦时/月

水：平均来说，补充水量对于种植绿叶蔬菜的系统 and 种植瓜果类蔬菜的系统来说按每天补充系统总水量（1500升）的1%来计算；即15升×30天=450升/月。

鱼饲料：50克（鱼饲料）×3（基质床数量）×30天=4.5千克/月

其他支出：每个月3美元的估价是基于使用的酸和碱调节剂，水质测试盒，以及可能需要使用的液体肥料

表A7.3  
小规模鱼菜共生系统中蔬菜和鱼类的预期年产量，包括预期年收益

产出	产量(数量)	单位	市场价格（美元）*	总产出（美元）
莴笋	360	头	1.20	432.00
西红柿	54	千克	1.60	86.40
鱼类	30	千克	8.00	240.00
合计				758.40

备注：

\* 市场单价：价格来自于以色列市场价格比较网站（www.zap.co.il），以及以色列的蔬菜生产和经销管理局（www.plants.org.il）。两个网站数据均为2013年9月17日访问的数据。

平均莴笋年产量：1.5平米（种植面积的50%）×20头/平米/月（1.5×20）=30头/月。即年产量为，30×12=360头莴笋。

平均西红柿年产量：1.5平米（种植面积的50%）×3千克西红柿/平米/月（1.5×3）=4.5千克/月。即年产量为，4.5×12=54千克。

平均鱼类年产量：鱼种体重50克，6-8个月收获时成鱼体重500克。平均鱼密度为：1000升的鱼缸中10-20千克/立方米。平均每个月收获5条鱼，等于2.5千克/月，即年产量为30千克/年。

**重要提示：**此计算结果是基于在已经建成的成功运营的鱼菜共生系统的养殖鱼产量水平。而在新建的系统放养同规格的鱼种时，其预期产量要偏低。因此对于新系统而言，建议多放养一些数量的鱼种，以期能够为植物提供足够的养分。在这个例子中，第一次收获可以在第三或第四个月开始（即鱼体重为150-250克），这样可以保持其生物量稳定。

表A7.4  
基质栽培床的年度成本-收益分析

年度总成本	年度合计（美元）
初始建设投入成本（表A7.1）	700.00
年运营成本（表A7.2）	317.40
年收益（表A7.3）	758.40
年净利润	441.00
初始建设成本回收期（月）	19

从表A7.2和表A7.3中的年运营成本和年收益最终数据，可以得到总净利润为441美元（表A7.4）。这表明，总体来说，对于一个以家庭消费为目的的小规模鱼菜共生系统而言，一旦系统建立运营成功，每投资1美元，将获得净利润1.38美元。初始投资的回收期为19个月。

减少资金投入（比如使用回收利用的鱼缸）或减少运营成本（比如使用鱼用粗饲料），或者增加收益（比如在特色产品市场销售），将在相当程度上的缩短投资回收期。



## 附录 8 - 小规模鱼菜共生系统建设 步骤指南

此步骤说明介绍了本书在第四章提到过的小规模鱼菜共生系统从三个模式的构建：基质栽培、营养膜式栽培（nutrient film technique, NFT）以及深水栽培（deep water culture, DWC）系统。

### 关于三个系统设计的初步比较

本书第4章对上述三个系统的实际设计原理做出了说明。本附录仅侧重于说明如何使用简单易得的材料来构建这些系统。此外，对每个系统内一些最为复杂的部分作了简洁的解释说明。每种装置在设计时要考虑的关键因素包括：1) 材料成本；2) 材料的可获得性；3) 生产容量。因此，在图表中所展示的用于不同系统设计的材料都是经过选择的，均为普遍易获得的。鱼缸、基质栽培床和DWC管道所使用的主要材料是中型散装容器(IBC)。IBC容积约为1000升，在全世界被广泛用于运输不同液体。但是，设计每一装置的所有组件，都可用当地的或者更为便宜的材料来代替，下面会对本书第4章所提到的替代材料作出建议说明。

本附录包括三个主要部分。第一部分将说明如何使用组装式IBC容器来组建鱼缸、基质栽培床和沉淀池从而建造基质栽培单元。第二部分说明如何构建一个NFT单元，具体包括：如何装配鱼缸（与基质栽培单元的构建相同），如何使用聚乙烯容器制作和安装机械分离器和生物滤池，以及如何使用标准4英寸（110厘米）PVC排水管安装NFT长管。第三部分，也是最后一部分将说明如何构建DWC单元。鱼缸设计采用NFT单元所用的涡旋沉淀装置和生物滤池。其余部分将说明如何使用聚苯乙烯板来组装DWC管道和制备浮床。







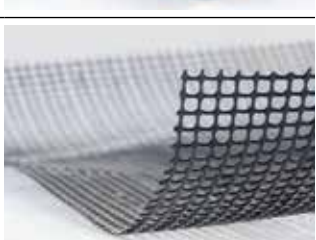







以下会对每一部分中所用到的所有材料和工具做一个索引，装置中构建所有主要的部分均包括在内。

### 目录表格（附录8）

材料列表	210-213
工具列表	214-215
基质栽培	217-226
营养模式栽培（NFT）	227-238
深水栽培（DWC）	239-247

## 材料表

表A8.1  
材料表

1 IBC罐		8 生态肥皂或润滑油	
2 200升桶 (蓝色)		9 聚苯乙烯板	
3 遮光材料		10 防水胶带 (水暖工用)	
4 尼龙网		11 尼龙扎带	
5 混凝土砖		12 配电箱(防水)	
6 木条 (8×1厘米)		13 PVC管 (110毫米)	
7 潜水泵 (最低2000 升/小时)		14 PVC管 (50毫米)	



续上表A8.1

15 有喇叭口的PVC管 (75毫米) + PVC闷头 (75毫米) + 橡胶垫圈 (75毫米)		22 PVC转接器 (20毫米 × 3/4英寸) 公头	
16 PVC管 (25毫米)		23 PVC弯头 (25毫米 × 1英寸) 母头	
17 聚乙烯水管 (25, 20毫米)		24 PVC弯头 (25毫米 × 3/4英寸) 公头	
18 密封圈Uniseal* (50, 110毫米)		25 PVC转接器 (25毫米 × 3/4英寸) 母头	
19 密封橡胶垫圈 (50, 110毫米)		26 PVC水龙头 (20毫米)	
20 PVC异径扩大接口 (40-25毫米)		27 PVC或金属水龙头 (3/4英寸) 公头转母头	
21 PVC 接头 (25毫米 × 1英寸) 母头		28 水桶 (20升)	

续上表A8.1

29 气泵 (10瓦特/小时), 带2个出气口		36 网钵	
30 橡胶管		37 PVC弯头 (50毫米)	
31 塑料瓶		38 PVC耦合器, 直管 (50毫米)	
32 气石		39 PVC T型接头 (50毫米)	
33 鱼网		40 PVC闷头 (50毫米)	
34 生物过滤器 (生物球或瓶盖)		41 PVC弯头 (110毫米)	
35 火山砾石 (8-20毫米)		42 PVC T型接头 (110毫米)	

续上表A8.1

43 PVC耦合器,  
直型  
(110毫米)



44 PVC异径管  
(110-50毫米)



45 PVC B型连接  
器,  
(1英寸)



46 PVC V型连接  
器,  
(1英寸)



47 PVC或金属水龙  
头(1英寸)  
公头转母头



48 PVC弯头  
(20毫米)



49 PVC弯头  
(25毫米×  
3/4英寸)  
母头



50 PVC T型接头  
(20毫米)



51 PVC闷头  
(110毫米)



52 PVC转接头  
(25毫米×  
3/4英寸)



53 PVC转接头,  
T (25毫米×  
1英寸) 母头



54 PVC弯头  
(25毫米)



55 PVC T型转接头,  
(25毫米)



56 PVC弯头  
(25毫米×  
1英寸) 公头面



57 PVC T型转接头,  
(25×3/4英  
寸) 母头



## 工具目录

表A8.2  
工具列表

1 护耳套		6 管子钳	
2 工作手套		7 锯子	
3 护眼镜		8 锤头	
4 水平仪		9 老虎钳	
5 卷尺		10 螺丝刀	

续上表A8.2

11 电钻



15 记号笔



12 锥形钻  
(0-1  
英寸)



16 圆形钻头  
(打孔  
钻)



13 线锯



17 角磨机



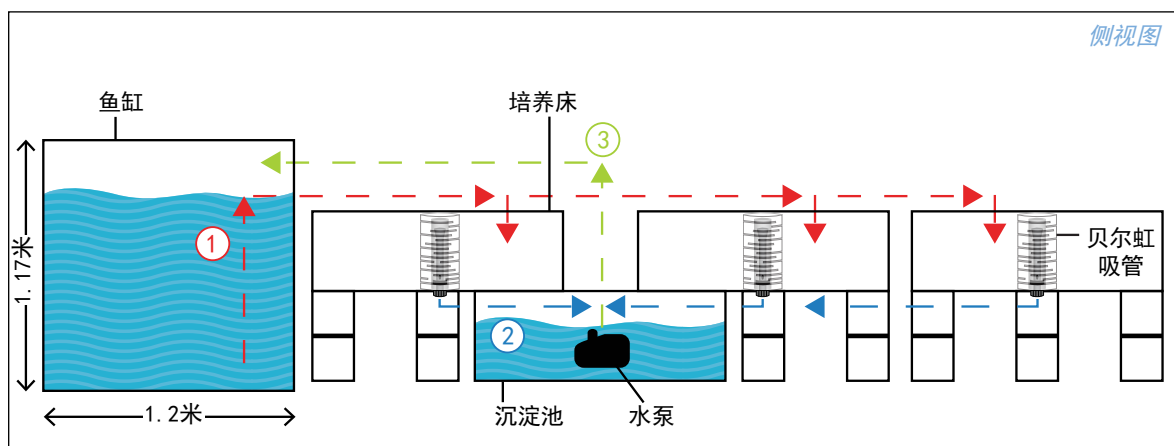
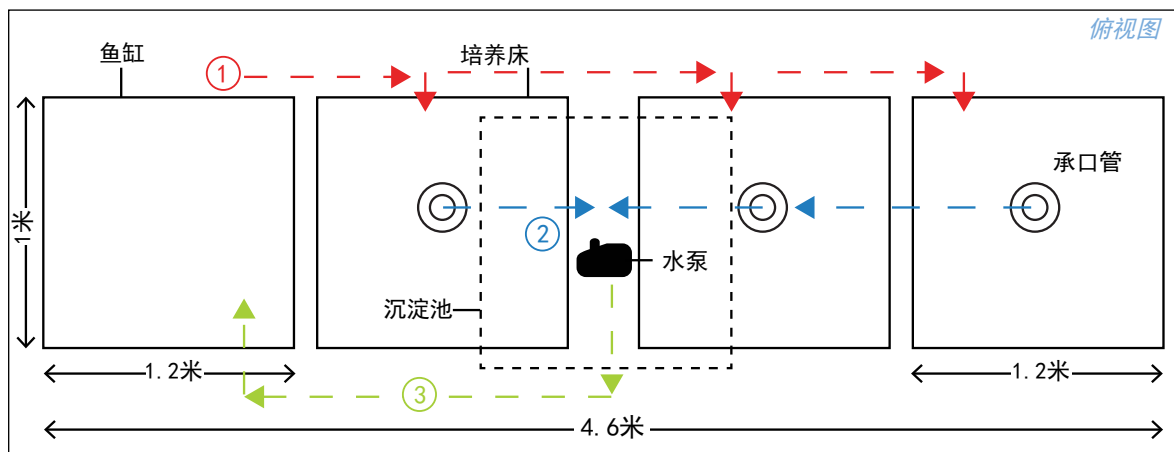
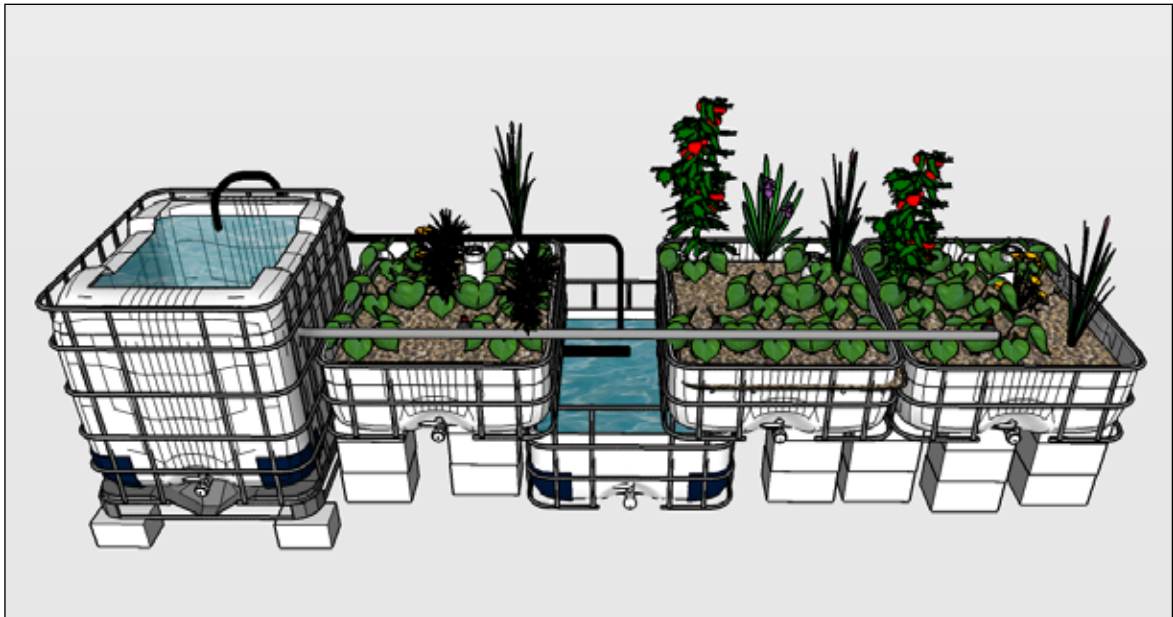
14 小刀



18 梅花批头



## 第一部分—基质栽培床



水流示意图

- ① 在重力的作用下，水从鱼缸流向基质栽培床。
- ② 水从基质栽培床流向沉淀池。
- ③ 水通过水泵作用从沉淀池流回鱼缸。

表A8.3  
基质栽培系统项目列表

	项目名称	表A8.1中的 项目编号	数量
1	IBC罐	1	3
2	潜水泵（最小2000升/小时）	7	1
3	气泵（10瓦特/小时）有两个出气口	29	1
4	橡胶管	30	3米
5	气石	32	2
6	混凝土砖	5	48
7	木条子（8x1厘米）	6	21米
8	砾石，火山岩（4-20毫米）	35	750升
9	遮阳材料	3	2平方米
10	防水胶带（水管用的）	10	1卷
11	塑料扎带	11	15
12	配电箱（防水的）	12	1
13	生态肥皂或润滑剂	8	1
14	塑料瓶	31	1
<b>聚氯乙烯管和配件</b>			
15	PVC管（50毫米）	14	7.5米
16	橡胶密封圈（50毫米）	19	1
17	PVC弯管（50毫米）	37	5
18	PVC耦合器，直管（50毫米）	38	6
19	PVC T型转接器（50毫米）	39	2
20	PVC闷头（50毫米）	40	4
21	PVC与桶转接器，B型（1英寸）	45	3
22	PVC或金属水龙头（1英寸）公头转母头	47	3
23	密封圈Uniseal®（50毫米）	18	1
<b>承口管</b>			
24	PVC管（110毫米）	13	0.9米
25	有喇叭口的PVC管（75毫米）和PVC闷头（75毫米）和橡皮垫圈（75毫米）	15	3
26	PVC管（25毫米）	16	0.8米
27	PVC与桶连接器，V型（1英寸）	46	3
28	PVC增大器（40-25毫米）	20	3
29	PVC接头（25毫米x1英寸）母头	21	3
30	PVC弯头（25毫米x1英寸）母头	23	3
31	聚乙烯管（25,20毫米）	17	9米

## 1. 准备鱼缸

1.1—移除用于固定内部塑料容器的IBC箱上表面的两条水平钢管。钢管以4个星形螺丝（图1）固定，用星形螺丝刀（图2）或星型扳手（图3）将其移除。移除钢管后，取出内部塑料桶。

如果没有星形扳手，使用角磨机切除螺丝。



1.2—取出塑料桶后，在桶顶表面距四周边缘5厘米处画一个近似方形（图4）。然后使用角磨机（图5）沿方形切割并将其移除（图6）。之后以肥皂和温水彻底清洗桶内表面，放置晾晒24小时（图7）。

切下的桶顶盖可用作鱼缸盖。



## 2. 安装鱼缸排水管

2.1—在IBC桶的一侧，距离桶顶和侧边12厘米处标记一点（图8），使用57毫米圆形钻头在标记处钻孔（图9）。在孔内插入一个50毫米的单管（图10）。

注意：圆形钻头尺寸为57毫米，而不是50毫米（见图8）。



2.2—鱼缸排水管由两根PVC管（50毫米）组成，这两根PVC管通过一个PVC弯管（50毫米）和PVC连接器/直式连接器（50毫米）连接（图11）。在桶底铺设的PVC管（50毫米）上，用角磨机切出2-3毫米宽的水平狭缝（图12），以使固体废物进入管内，但鱼不能进入。桶底铺设的PVC管开口端以PVC阀盖/塞子（50毫米）封上。在通过单管（50毫米）的一小段PVC管上开槽，并将其组装至PVC弯管（50毫米）末端内部



(图11)，之后再将另一根垂直水管与其组装。最后，在与单管（50毫米）相连的PVC弯管（50毫米）上钻一个直径2-3厘米的孔。该小孔可以防止管内形成气密，当断电或水泵停止工作时，这种气密可以排光鱼缸内的水。这也被称为意外虹吸。这一步必须要完成。



### 3. 准备基质栽培床和沉淀池

为了制作3个基质栽培床和1个沉淀池，需要另外2个IBC桶：一个用于制作沉淀池和1个基质栽培床，另一个用于制作其余2个基质栽培床。如之前图1-3所示，要拿出2个IBC桶，移除4根钢管和取出塑料桶。

### 4. 用一个IBC桶制作两个基质栽培床

首先，将内部塑料桶直立摆放（图14），用米尺和铅笔在距离罐两侧边30厘米处画两道切割线（图15）。务必保证准确画线。用角磨机沿两条切割线小心切割，然后制成两个深30厘米的容器（图16）。之后，以天然皂和温水彻底清洗两个容器，日光下晾晒24小时。



### 5. 为基质栽培制作金属支架

5.1—按照图14所示切割线，使用角磨机切割出两个IBC金属篓框（图17）。切割篓框的两条30厘米边时，确保两个水平金属剖面保持完整，以保证基质栽培满载水和其他介质后能为各面提供完好支撑（图18）。



5.2—之后，将两个金属篓框平放于地上。如图19所示，将木板（四块104厘米长，一块42厘米长，一块48厘米长）放置在支架上。这些木板可以保证基质栽培床处在水平位置，而水平状态对贝尔虹吸管发挥作用来说至关重要。接下来，将清洗后的基质床放置于金属篓框和木板之上（图20）。最后，在基质床的两侧，塑料的基质栽培和金属篓框之间的剩余木板长度上嵌上木板，以提供进一步支撑（图21）。

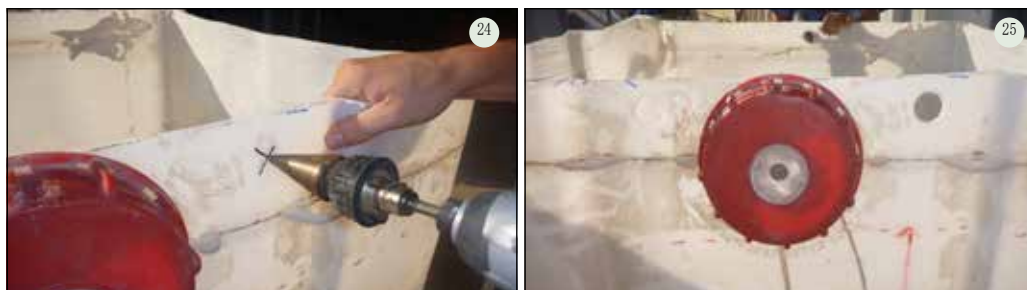


## 6. 用一个IBC桶制作一个沉淀池和一个基质栽培床

6.1—将剩余IBC桶直立放置并做标记，如图22所示，使用米尺和铅笔标出一条30厘米切割线。之后，用角磨机沿切割线同时切割内部塑料容器和金属篓框（见图22）。分成30厘米容器（第三个基质床）和剩下的70厘米容器（沉淀池）（图23）。以天然皂和温水彻底清洗两个容器，日光晾晒24小时。



6.2—按照前述方法对第三个基质栽培床做同样步骤的处理。最后，使用图25所示锥形钻头在沉淀池容器上钻两个孔（直径25毫米）（之后在两孔内插入25毫米管，用于排出每个基质栽培床内的水）。



## 7. 准备贝尔虹吸管

如本书第4章所述，被用于基质栽培床自动给排水的贝尔虹吸管是一个十分简单的装置。一个虹吸管的制作需要以下材料，总的来说每样共需3个：

- 35厘米基质挡板（110毫米PVC管）
- 27厘米贝尔管（流线型端口PVC管（75毫米）+ 阀盖/塞子（75毫米）+ 橡胶垫圈（75毫米））
- 16厘米立管（25毫米PVC管）
- 圆柱式连接器（25毫米）
- PVC减速器（40-25毫米）
- PVC内螺纹接头（25毫米×1英寸）
- PVC弯管（25毫米×1英寸）

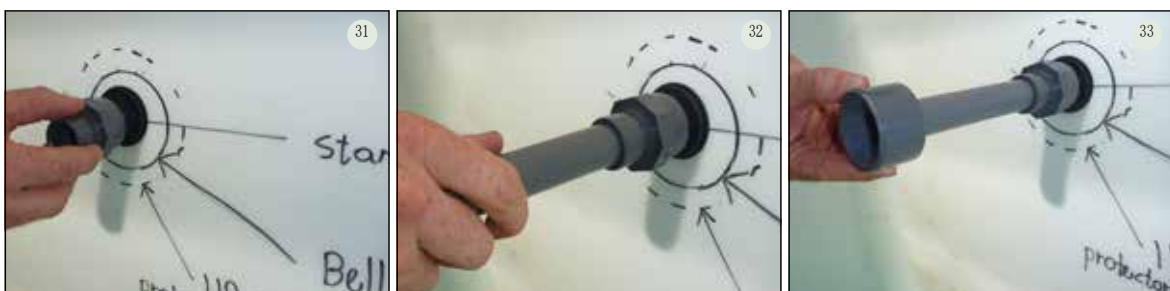
7.1—首先，制作贝尔管。如图26所示，取一根27厘米的PVC管（75毫米），使用角磨机将其切成两段。之后，如图26所示，使用一个约1.5厘米的钻头在两段管片上钻出一个孔（直径10毫米）。最后，使用PVC阀盖/塞子（75毫米）和橡胶垫圈（75毫米）密封钟形管的一端。

7.2—接下来，用35厘米长的PVC管（110毫米）制作基质挡板，并使用角磨机沿全管切割出5毫米狭缝（图27）。

7.3—现在，如图28所示，在基质栽培床下方两块木板之间标记中心点。在每一个中心点处钻一个孔（直径25毫米），并向基质栽培床内部插入带有橡胶垫圈的圆柱式连接器（25毫米）。使用扳手拧紧圆柱式连接器的两侧（图30）。



7.4—在基质栽培内部的圆柱式连接器（25毫米）顶部拧上PVC连接器（1英寸-25毫米）。之后，在立管顶端连上第二个PVC连接器（25-40毫米）（图31-33）。第二个PVC连接器的作用是，当水达到顶端高度时，可以让更多的水流入立管。这有利于虹吸作用的产生，进而把水抽到沉淀池。



7.5—在立管上套入贝尔虹吸管和基质挡板（图34-36）。



7.6—最后，将PVC弯管（1英寸-25毫米）连上基质栽培下方的圆柱式连接器的另一端，以使水流出基质栽培床。

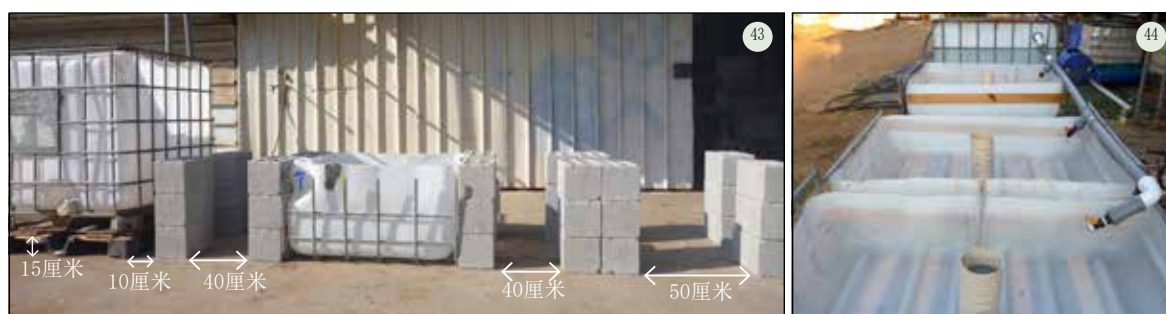


## 8. 基质栽培床和沉淀池的组装

8.1—首先，如图40和41所示，放置好沉淀池，并在每一面放置6个混凝土块（共12个）将其固定起来。确保混凝土块不会遮盖沉淀池上钻出的孔洞（图42）。



8.2—如图43所示，剩余的混凝土块和鱼缸之间保证适当距离。鱼缸需高出地面约15厘米，可以按照图43所示方法放置混凝土块来将其抬高。将三个基质栽培床（包括金属篓框和木板）放置在混凝土块上（如图44所示）。确保培养床在混凝土块上摆放稳妥，并用水平仪校正水平位置。如果不平，可以轻微调整下方土块的布置。



## 9. 水管系统：从鱼缸到基质栽培床（水流布置）

9.1—这一部分所需管道配件包括：

- 圆柱式连接器，B型（1英寸）×3
- PVC接头（1英寸）×3
- PVC阀盖/塞子（50毫米）×3
- PVC弯管（50毫米）×2
- PVC连接器，T（50毫米）×2
- PVC偶联器（50毫米）×3
- 150厘米 PVC管（50毫米）×1
- 85厘米 PVC管（50毫米）×1

9.2—接“鱼缸的准备工作”（2.2）一节的说明。前面说到了一段通过单管（50毫米）开槽并导出鱼缸的PVC管（50毫米）。另取一个PVC弯管（50毫米）并将其连上通过单管开槽的PVC管（图45）。之后，使用一段PVC直式连接器（50毫米）和另一个PVC弯管（50毫米），在基质栽培床上方的同一高度将鱼缸出水管与配水管（50毫米）连接（图46）。



9.3—在每一个基质栽培床上，使用一个阀来控制进入栽培床的水流。为了安装阀门，首先需要有一个PVC阀盖/塞子（50毫米），并钻一个孔（直径25毫米）。向孔内插入一个圆柱式连接器（25毫米），并用扳手拧紧两端。之后，用特氟龙胶带缠绕在圆柱式连接器公头的螺纹上，并将圆柱式连接器上的旋塞（1英寸）拧紧（图47-50）。每一个基质栽培需要一个阀门，共需3个。



9.4—通过与鱼缸出水管相连的PVC弯管（50毫米），按照图51所示设计管道，水流可以进入每一个基质栽培床。材料包括：PVC管（50毫米），PVC弯管（50毫米）和PVC T-连接器（50毫米）。之后，如图51所示，将阀门的适配管盖与PVC T-连接器和配水管中的PVC弯管相连，每一基质栽培床均做同样布置。需要的话，还可再连接一个PVC直式连接器（50毫米）。

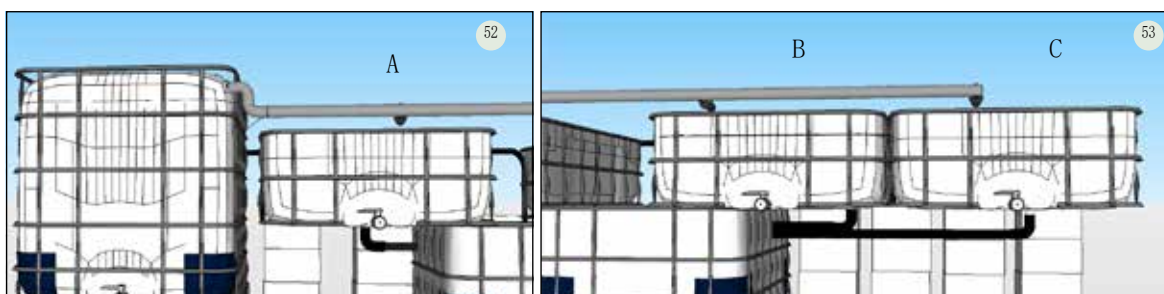


## 10. 水管系统：基质栽培床到沉淀池（排水管）

10.1—将图52和53内的基质栽培床标为A、B和C。在基质栽培床A中，将一个60厘米长的PVC排水管（25毫米）与基质栽培底的弯管连接处相连（图54）。该弯管连接处出口在贝尔虹吸管立管底部。之后，将60厘米PVC管插入沉淀池一边最近的钻孔，以使水直接流入沉淀池内。

10.2—连接基质栽培床B和基质栽培床C（图53）：在基质栽培床C中：将一个PVC弯管连接器（25毫米至1英寸）与圆柱式连接器末端相连（图54）。之后，将一个2米长的聚乙烯管（25毫米）与沉淀池一边的钻孔相连（图53和图55）。

10.3—使用1米长的聚乙烯管（25毫米）对基质栽培B做同样处理（图55）。这样，基质栽培B和C流出的水就可以通过聚乙烯管（25毫米）直接流入沉淀池。



最后，可以用尼龙布将基质栽培下管道与金属篓框固定，以减小小管道配件承受的压力（图54）。



## 11. 水管系统：沉淀池到鱼缸

11.1—使用一个PVC直式连接器（1英寸-25毫米），或其他任何可以连接配备的水泵和25毫米管的连接器，将一个聚乙烯管（25毫米）与水下泵相连（图56）。取一根足够长的聚乙烯管（25毫米），管长要求可以从水泵抵达鱼缸内部（图57）。将其一端连上水泵，另一端则要浸入鱼缸内（见图57-60）。鱼缸和水泵之间使用的连接器越少越好，尤其是弯管，这样可以减少水泵抽水能力的损失。

11.2—配电箱应放置在高于水面的安全处，同时应避免阳光直射。确保配电箱插上水泵和气泵插头后仍然可以防水（图61）。



## 12. 添加培养基质并试运行

12.1—至此，除了基质栽培内的生长基质（火山砾），系统各个部分已经都准备好了。但是在加入培养基质前，推荐先把鱼缸和沉淀池装满水，运行水泵，检查系统内是否有渗漏。检查过程中，应移除立管和贝尔虹吸管，使水可以直接流入沉淀池。如果发现问题，应立即修复，如拧紧管道连接处，在螺纹处重新用特氟龙胶带处理，并确保所有接头都处于最佳状态（图62-67）。

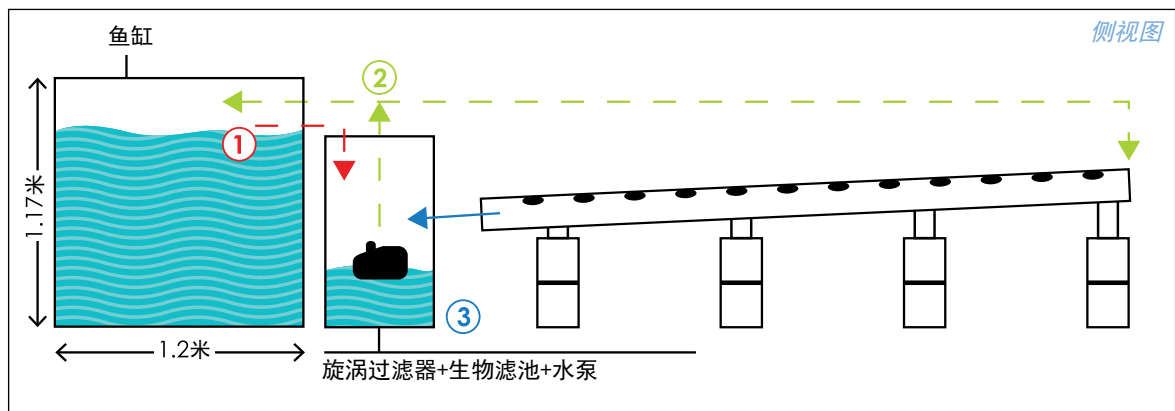
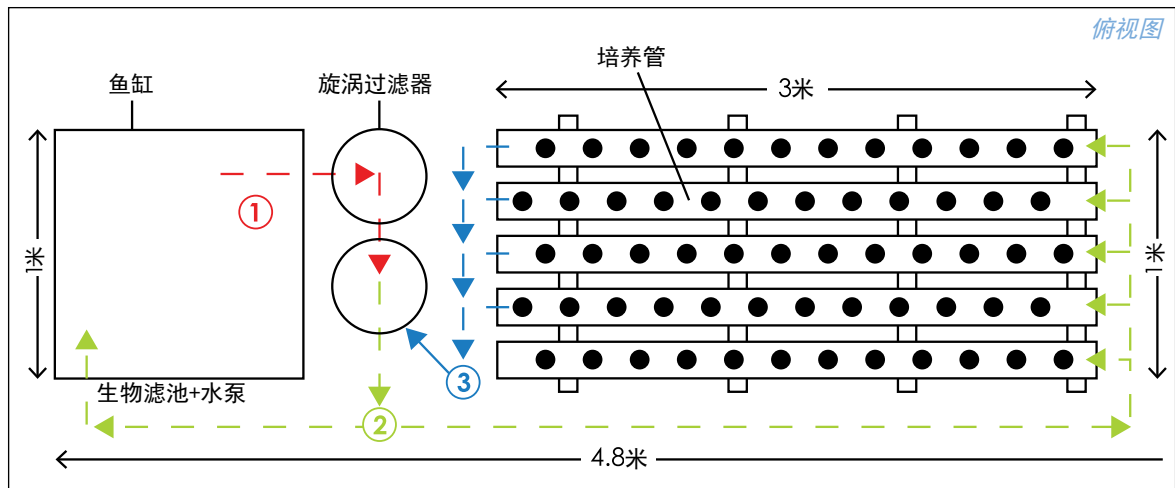
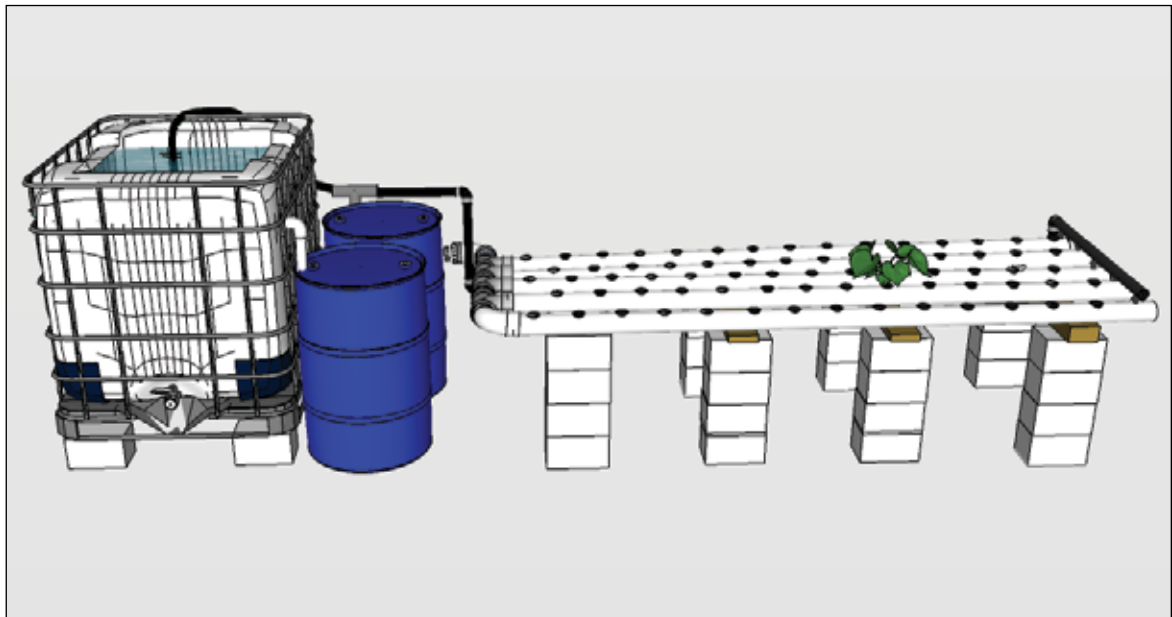
12.2—一旦解决好了所有问题之后，水流可以顺利通过管道体系内所有部分，就可以再装上贝尔虹吸管和立管，填充上培养基质在基质栽培床内至深度30厘米（图68-69）。







## 第二部分-营养液膜式栽培系统



水流示意图

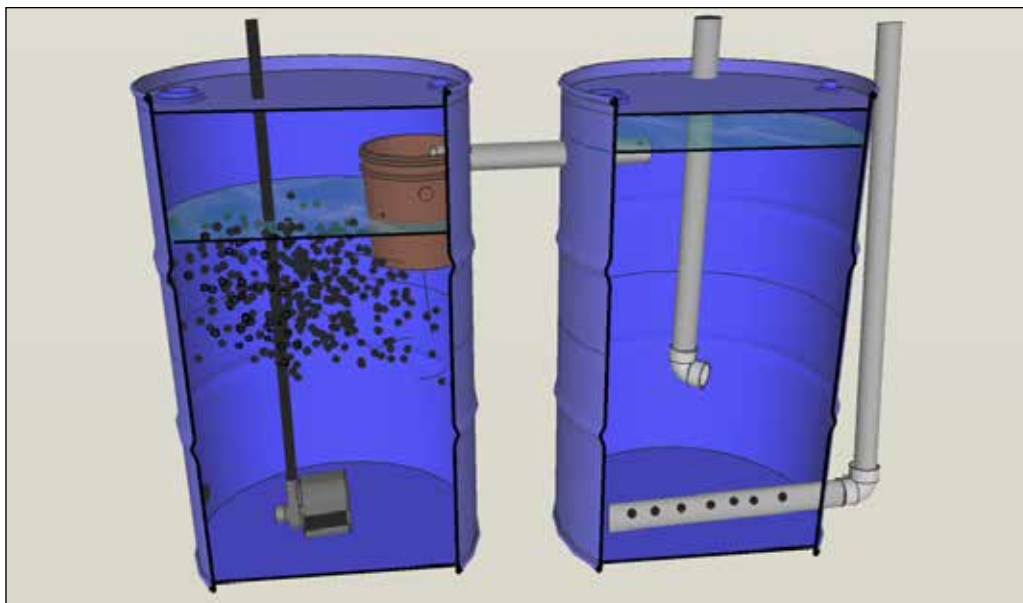
- ① 在重力作用下，水从鱼缸流向旋涡沉淀池和生物滤池。
- ② 通过潜水泵抽水，使水从生物滤池流向鱼缸（80%）和营养液管道（20%）。
- ③ 水从管道流回到生物滤池。

表A8.4  
营养膜式栽培系统的项目列表

	项目名称	表A8.1中的 项目编号	数量
1	IBC罐	1	1
2	桶 (20升)	28	1
3	200升桶 (蓝色)	2	2
4	生物过滤器介质 (生物球或瓶盖)	34	40-80升
5	潜水器水泵 (每分钟2000升/时)	7	1
6	气泵 (10瓦特/小时)	29	1
7	空气管	30	3米
8	气泡石	32	2
9	混凝土砖	5	32
10	木条 (8x1厘米)	6	8米
11	遮光材料	3	2平方米
12	渔网	33	1
13	聚四氟乙烯胶带	10	1
14	尼龙扎带	11	25
15	电箱 (防水)	12	1
16	净锅	36	80
17	砾石 (4-20毫米)	35	30升
18	生态肥皂或润滑剂	8	1
<b>PVC管和配件</b>			
19	PVC管 (110毫米)	13	16米
20	PVC接头, T型 (110毫米)	42	4
21	PVC转接头 (110毫米)	41	2
22	PVC垂直耦合器 (110毫米)	43	1
23	PVC盖帽/塞子 (110毫米)	51	5
24	PVC减径管 (110-50毫米)	44	1
25	密封橡胶垫圈 (110毫米)	19	20
26	PVC管 (50毫米)	15	5米
27	Uniseal® (50毫米)	18	5
28	PVC转接头 (50毫米)	37	6
29	PVC垂直耦合器 (50毫米)	38	4
30	PVC盖帽/塞子 (50毫米)	40	1
31	密封橡胶垫圈 (50毫米)	19	8
32	聚乙烯管 (25毫米)	17	8米
33	PVC接头, T型 (25毫米)	55	2
34	PVC转接头 (20毫米x3/4英寸)	49	2
35	PVC适配器 (20毫米x3/4英寸)	22	1
36	聚乙烯管 (20毫米)	17	2米
37	PVC接头, T推进 (20毫米)	50	4
38	PVC转接头 (20毫米)	48	1
39	PVC盖帽 (20毫米)	26	5

## 1. 鱼缸准备（同基质栽培床，1-2部分）

### 2. 准备机械分离器和生物滤池



2.1—取两个蓝色的水桶（200升）（图1）、用角磨机剪出如图（图2-4）所示的形状。然后，用肥皂和温水彻底清洗两个桶，在太阳下晾晒24小时。

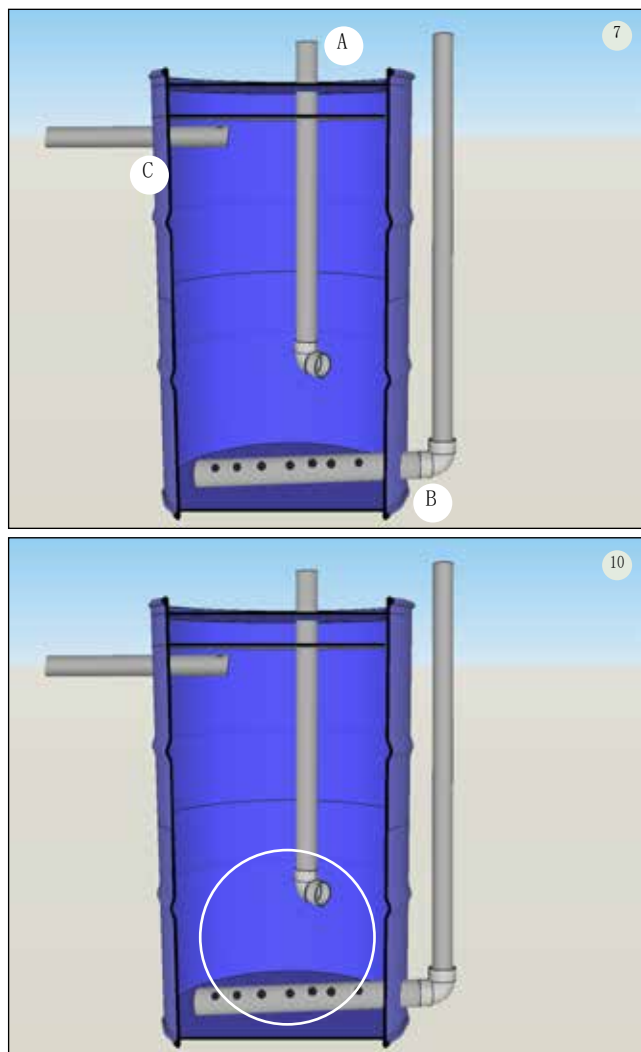


2.2—两个水桶剪下的部分可用作水桶盖子，可以用尼龙扎绳将它们绑在水桶的顶部(如图5-6)。



### 3. 一号桶—机械分离器 机械分离器的进/出水管

- A. 鱼缸的进口管
- B. 机械分离器的底部的排水管道
- C. 生物滤池的出水管道



### 鱼缸进水口

3.1—用50毫米圆形钻头在水桶顶面和鱼缸的出水管处各钻一个洞（50毫米），如图8-9。



3.2—在机械分离器离底部30厘米处接入出水管。将PVC弯管（50毫米）与出水管底部连接，水流横向流入容器，迫使容器中的水能转动起来（图10）。

### 机械分离器底部的排污管

3.3—接着，用角磨机在整个长为50毫米的PVC管上切出若干个2-3毫米的开口缝（图11）。在水桶的离底部5厘米处，钻一个洞（57毫米），插入一个敞口管（50毫米）（图12）。通过单管接入排水管（50毫米PVC管切出开口缝），将敞口管与PVC弯管（50毫米）连接，底部与容器外部连通。最后，将另一个PVC管（50毫米，60-70厘米长）与弯管相连，确保管道的顶部在最大水位时水面之上（图13）。排污管上的缝隙允许固体废物进入，通过倾斜连在桶外的垂直管，从底部冲水可使固体废物排出。



### 机械分离器与生物滤池的连接管

3.4—在长为65厘米的聚氯乙烯管(50毫米)上切出与前面(3.3)相同的平行缝,只需使用角磨机在管道末端的25厘米进行开口(图14)。用PVC塞子或封头密封管道末端(50毫米)。下一步,在离桶底上方70厘米处用57毫米圆形钻头钻一个洞(57毫米),然后在底部插入一个敞口管,将转移管(50毫米)插入敞口管,并确保末端25厘米的开口缝全部在机械分离器筒内部(图15-16)。

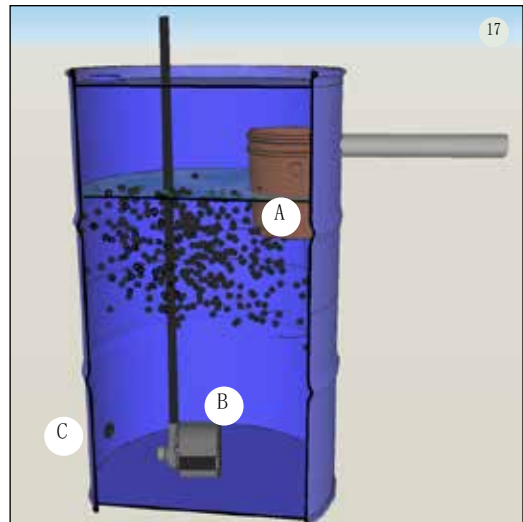


### 4. 二号桶-生物滤池的进/出水管道路

- A. 机械分离器的进水管(图17)。
- B. 水泵的出水管。
- C. 排水阀。

#### 25毫米排水阀

4.1—在生物滤池桶的底部钻一个洞(25毫米),插入桶的连接器(V型,25毫米),而后固定紧。在连接器的外部接上一个排水阀并用特氟龙做防水密封连接器(图18)。生物滤池容器底部的排水阀可用于清除累积的固体废物。



#### 机械分离器的进水管

4.2—在桶底部上方70厘米处,用57毫米的圆柱钻头钻一个孔(57毫米),在孔中插入一个敞口管(图19)。将生物滤池与机械分离器靠近放置。把那根已经与机械分离器相连的长65厘米的PVC管穿过生物滤池的开口。现在,这两个桶就通过这根连接管接合在一起了(图20)。



### 准备固体物质收集桶

4.3— 在20升桶上，顶部靠下5厘米处钻一个50毫米的洞（图21）。

4.4— 用一个8毫米钻头在桶的底部钻出至少20个孔（直径8毫米），保证水顺畅流入生物滤池（图21）。



4.5— 将65厘米的输送管（与连接两个过滤器桶的65厘米管相似）插入生物滤池（图22-23）。

4.6— 转移管上钻一个20毫米洞，插入6-10厘米PVC管（20毫米）（图23），以防止固体收集桶从传输管道上滑落。



4.7— 放置过滤介质（在这个装置中我们使用火山砾，但聚酰胺纤维、海绵或其他过滤器也可使用）于桶内，以捕获任何剩余的固体或悬浮废弃物（图24）。



4.8— 细菌过滤器内填满生物滤池介质（生化滤球或瓶盖）。

## 5. 放置营养膜式栽培管道

这部分需要材料如下：

- 48块混凝土土块
- 1米长的木头（30毫米厚）一根
- 1米长的木头（20毫米厚）一根
- 1米长的木头（10毫米厚）一根



5.1—如图25所示，把混凝土块距离固定。每个点有8块(两列，每列4块高)。从远到近依次在土块上放上3厘米、2厘米、1厘米厚的木头。这种结构斜率较小，使水容易流过管道，返回到生物过滤桶(图25)。

## 6. 营养膜式栽培管道与公共下水道连接

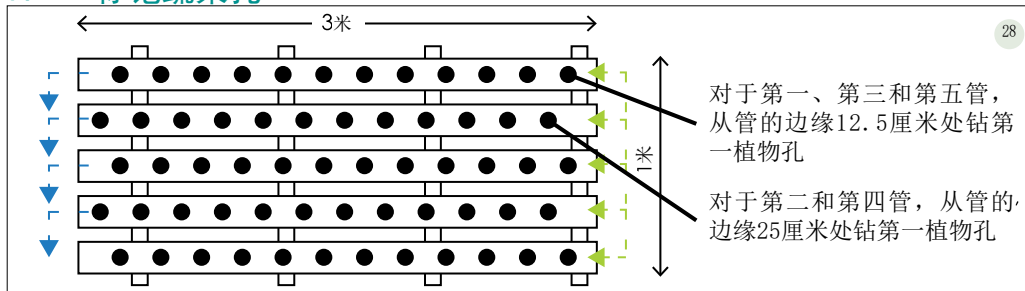
这部分所需材料如下：

- 3米PVC管道(110毫米)×5
- PVC弯管(110毫米)×2
- T型PVC接头(110毫米)×4
- PVC塞子或封头(110毫米)×5
- 橡皮垫圈(110毫米)×15
- 天然香皂

6.1—根据图27连接管道系统，确保每个管道和管道配件内装有润滑橡胶密封件，使用天然肥皂作为润滑剂(图26)。



## 7. 标记蔬菜孔



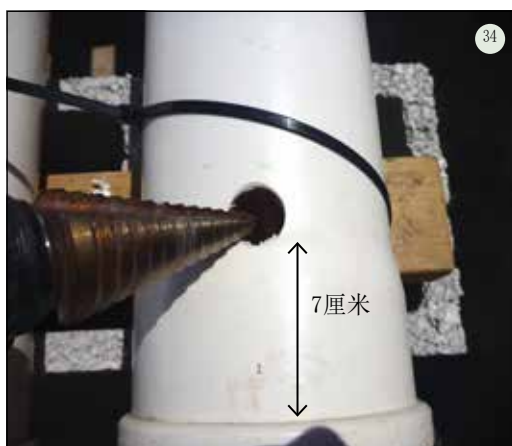
7.1—将NFT管放置在块状物和木块的顶部，并将五个末端(110毫米)安装到离鱼缸最远的管道末端(图30)。一个用于标记蔬菜孔的有效方法是：沿着每个管道的顶部伸展并固定一根细绳，以便精确地标出均匀的距离。

7.2—沿着绳子每隔25厘米标记一个点，这将是洞的中心点(图29)。根据网砾的大小钻孔(图33)。为了获得最佳的植物生长空间，请按照图28和图31所示的三角形图案实施。

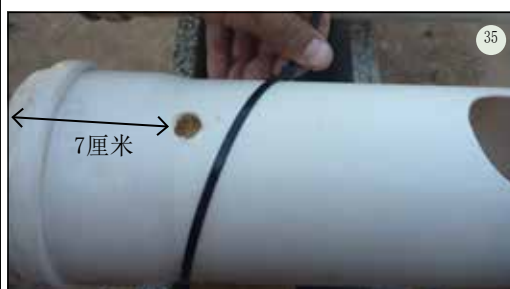




7.3—最后，在距离鱼缸水管的末端7厘米处，钻若干个20毫米的孔，从而保证水可流入NFT管（图34）。



7.4—用塑料扎带将NFT栽培管道固定到长木板上（图35）。



## 8. C将栽培管道底部和生物滤池相连

8.1—取一个PVC直式接头（110毫米），将其连接到NFT管道公共槽的末端PVC弯头（110毫米）上（图27），这是由一串T型PVC接头（110毫米）制成。然后，将一个PVC减速管（110-50毫米）与PVC直式接头相连（110毫米）。公有的排水系统必须连接到生物滤池。在生物滤池的外侧钻出一个50毫米孔，比栽培管的底部低10厘米。将PVC弯头（50毫米）插入该孔。使用PVC管（50毫米）将弯头（50毫米）连接到减速器（110-50毫米）上，允许水从NFT管回流入生物滤桶（图36-38）。





## 9. 为每个NFT管安装输送管道

所需材料如下：

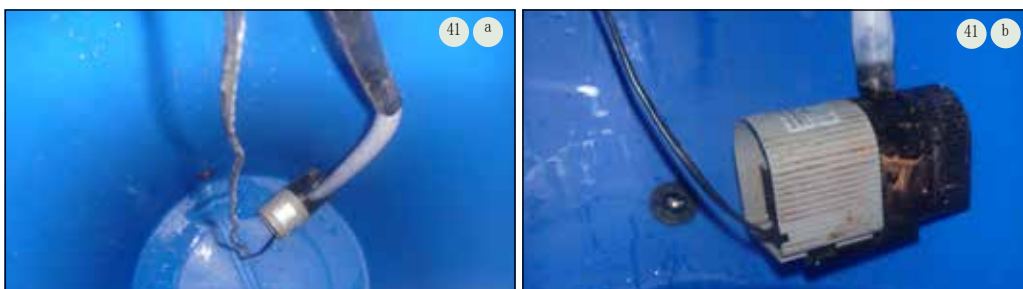
- PVC“按压式”水龙头（20毫米）×5
- PVC“按压式”T型接头（20毫米）×4
- PVC“按压式”弯管接头（20毫米）×2
- 聚乙烯管（20毫米）×2
- PVC接合器（20毫米-3/4英寸）×1
- PVC内螺纹弯接头（25毫米-3/4英寸）×1
- 水管胶带（特氟龙）

9.1—根据图39和40连接所有的管道和配件



## 10. 添加潜水泵

10.1—对于这个系统而言，潜水泵应放置在过滤器桶底（图41a、41b）。水被泵送至这两个位置：NFT管道和鱼箱。80-90%的水流入鱼缸，而10-20%的水流入NFT管道。水龙头可用来控制每个位置的水流速度。



## 11. 抽水至鱼缸中

11.1—使用有内螺纹（25毫米-1英寸）的PVC接头或其它适配的接头，将潜水泵连接到一个聚乙烯长管（25毫米）。聚乙烯管（25毫米）应至少有1米长。将T型PVC接头（25毫米）放置在管道末端，让水可以流入鱼缸和NFT管道（图42-43）。



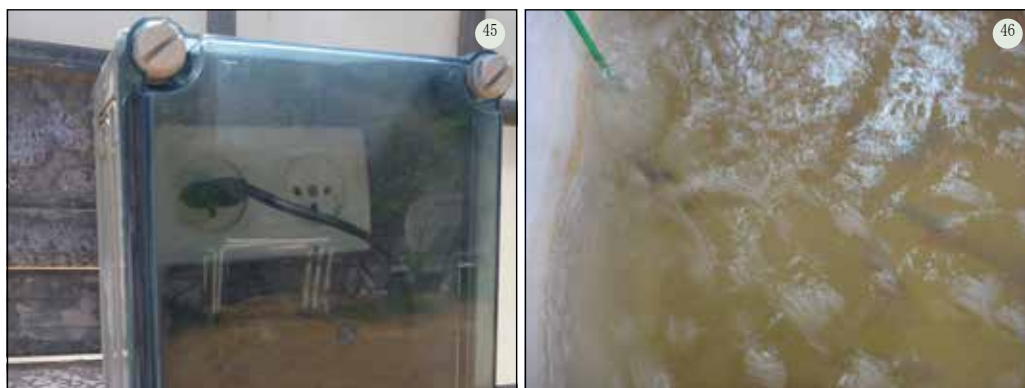
11.2—在T型接头（图42）的末端增加一个足够长的可以到达鱼缸的PVC管（25毫米）（图44）。如果可能的话，使用一个软管以减少额外接头需要量，多余的接头将减少泵的泵送能力。在管道的末端加上一个水龙头（25毫米），以此来控制进入鱼缸的水的流速（图44）。

11.3—接下来，取大约4米的PVC管（25毫米），安装在生物滤池内水泵管的PVC T型接头（25毫米）的另一端。通过PVC外螺纹弯接头（25毫米-3/4英寸）（图40所示）将上述PVC管（25毫米）连接到对应分配管道上，将通过这些管道向每个NFT管道供水（图44）。



## 12. 配电箱+空气泵

12.1—将配电箱放在一个高于水平面且远离阳光直射的安全地方（图45），以确保插入水泵和空气泵插头后仍然防水，并将气石放入鱼缸内（图46）。



### 13. 最后的检查

13.1—现在，系统各部分都已到位。在进入氨氮循环、加入鱼或植物之前，将鱼缸和两个过滤器装满水，并运行水泵以检查系统中有无渗漏。如果有渗漏出现，立即修复它们（图47-49）。下面的步骤说明了这个过程。



机械分离器的排水检查（图50-52）。



- 用基质装填生物滤池并放水（图53a和图53b）。
- 机械分离器放水（图54）。
- 机械分离器和生物滤池（图55）。



- 拧紧水管连接处。
- 检查用于两个过滤器的管道连接和水龙头。
- 在螺纹连接处再次使用特氟龙。
- 确保所有的阀门都处于理想位置。

最后，检查进入每个NFT管中的水流速。可以用秒表和一个空的1升塑料瓶来计算得出流速。在NFT管中，符合标准的流速是1-2升/分钟，也就是说通过NFT管的水要在1分钟（1升/分钟）或者30秒（2升/分钟）内装满瓶子（图56）。

一旦所有的渗漏都修理好了，水应能顺利通过所有组件，才可能进入氨氮循环装置（关于这个过程的更多细节见本出版物的第5章。）



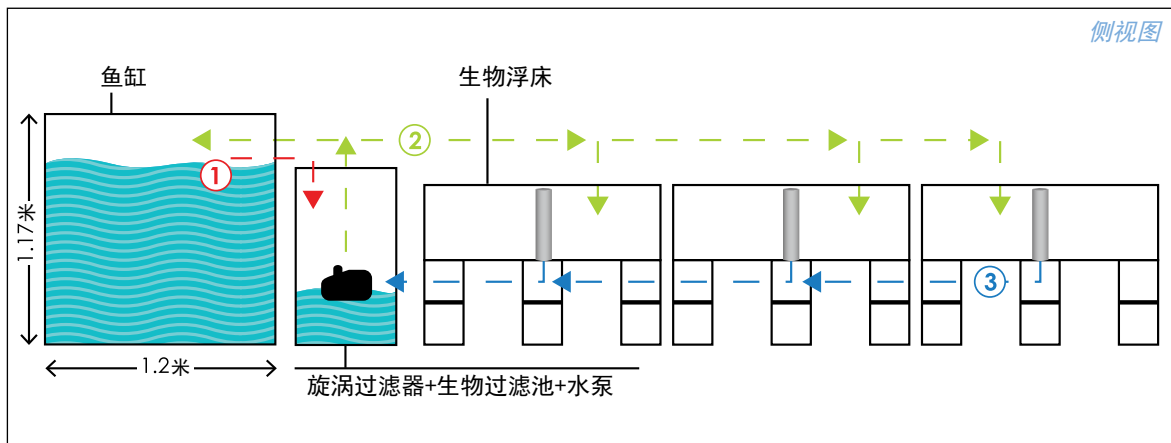
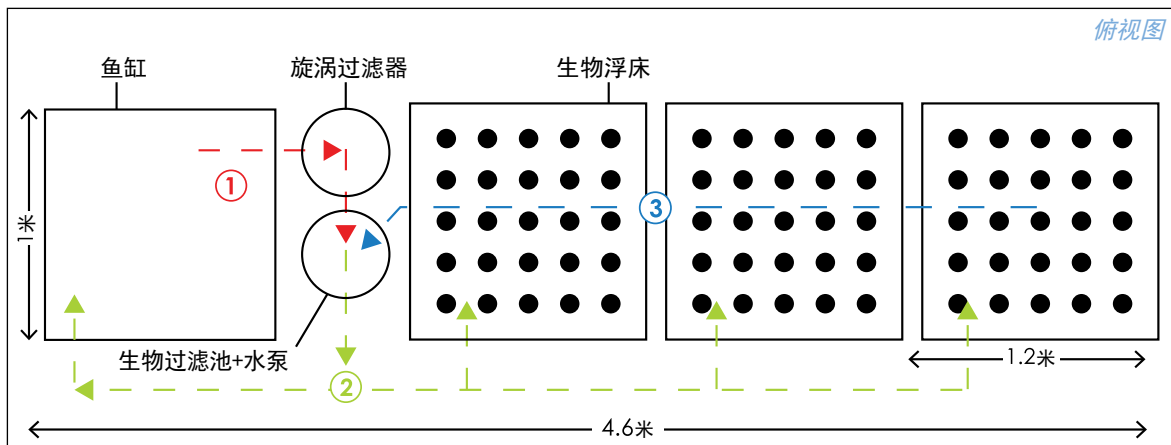
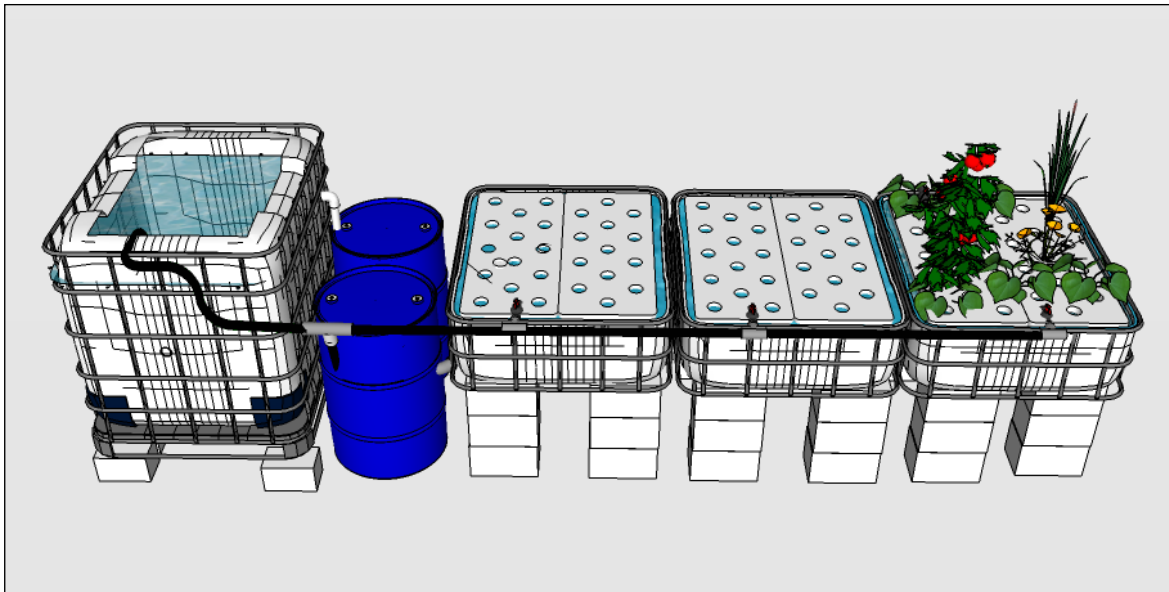
#### 14. 种植—制作种植杯

14.1—关于植物，按照下图所示种植。确保种植杯有足够的孔，不仅要让根系长出直至管道，同时也要防止生长基质脱落。种植杯由一个网筛和10厘米的PVC管（50毫米）制成（图57-59）。

由简单的塑料/纸杯和一个塑料瓶制作成的植物砵（图60和61）。植物根系清晰可见（图62-66）。



### 第三部分—深水栽培 (DWC) 系统



#### 水流程图

- ① 在重力的作用下，水从鱼缸流向旋涡过滤器和生物滤池。
- ② 用潜水泵把水从生物过滤池抽出，流向鱼缸 (80%) 和DWC管道 (20%)。
- ③ 水从管道回流到生物滤池。

表A8.5  
深水栽培系统的项目列表

	项目名称	表A8.1中的 项目编号	数量
1	IBC桶	1	3
2	水桶 (20升)	28	1
3	200升的桶 (蓝色)	2	2
4	生物过滤器介质 (Bioball®或者瓶盖)	34	40-80升
5	潜水泵 (最低 2000升每小时)	7	1
6	气泵 (10瓦特每小时) 4出口*	29	1*(2)
7	橡胶管	30	10米
8	气石	32	4
9	混凝土砖	5	40
10	木条子 (8x1厘米)	6	8米
11	遮光材料	3	2平方米
12	鱼网	33	1
13	聚四氟乙烯塞子	10	1
14	尼龙扎带	11	25
15	电箱 (防水)	12	1
16	网钵	36	80
17	砾石 (4-20毫米)	35	30升
18	聚苯乙烯板	9	3平方米
19	生态肥皂或润滑油	8	1
<b>PVC管和配件</b>			
20	PVC或金属水龙头 (3/4英寸) 公头转母头	27	4
21	PVC或金属水龙头 (1英寸) 公头转母头	47	1
22	PVC弯头 (25毫米x3/4英寸) 公头	24	3
23	PVC弯头 (25毫米x3/4英寸) 母头	49	1
24	PVC T型转接头, (25毫米x1英寸) 母头	53	2
25	PVC T型转接头 (25毫米x3/4英寸) 母头	57	2
26	PVC弯头 (25毫米x1英寸) 母头	23	2
27	PVC弯头 (25毫米x3/4英寸) 母头	49	1
28	PVC转接头 (25毫米x3/4英寸)	52	1
29	PVC (25毫米x1英寸) 母头	21	3
30	PVC V型桶接头, (1英寸)	46	5
31	聚乙烯管 (25毫米)	17	8米
32	PVC T型转接头, (25毫米x3/4英寸) 母头	59	1
33	PVC 管 (25毫米)	16	0.9米
34	PVC 管 (50毫米)	14	2米
35	密封圈Uniseal® (50毫米)	18	5
36	PVC弯头 (50毫米)	37	6
37	PVC耦合器, 直管 (50毫米)	38	5
38	PVC 闷头 (50毫米)	40	1
39	密封橡胶垫圈 (50毫米)	19	10

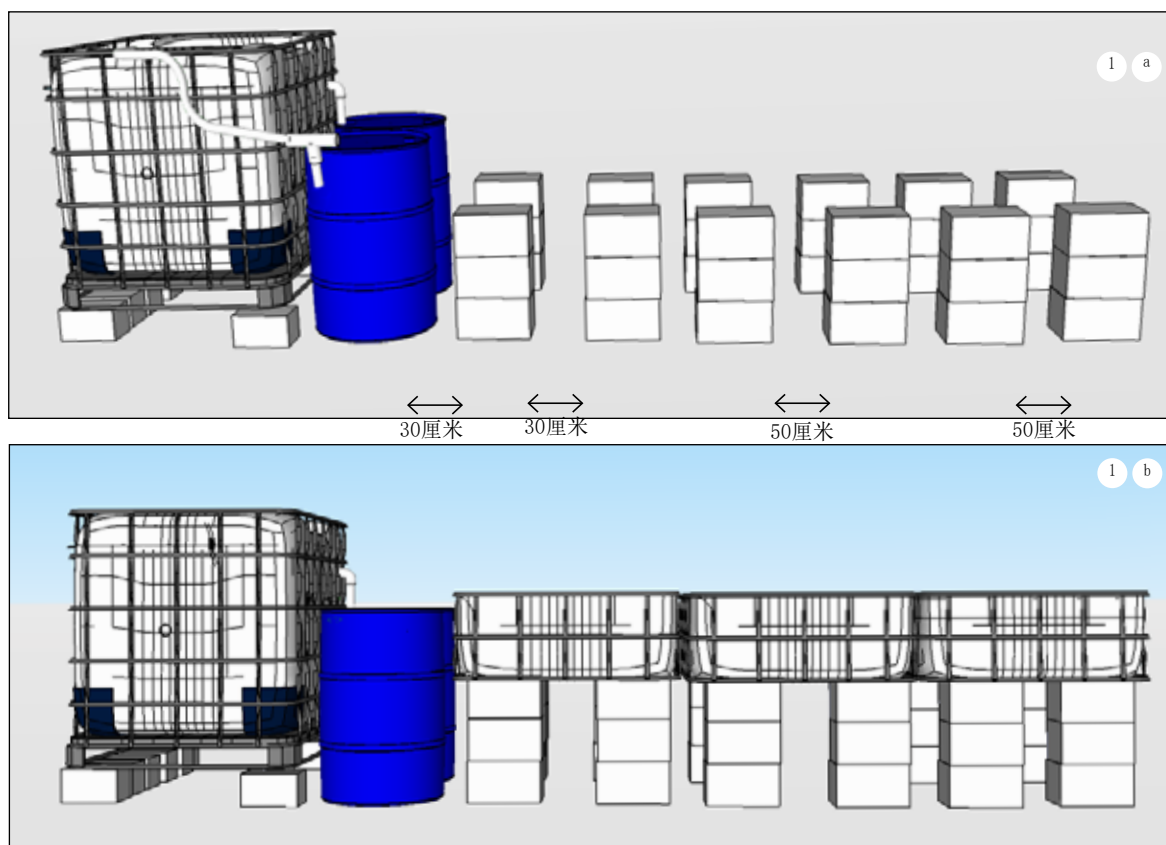
1. 准备鱼缸（同第1和2部分培养床的准备）。
2. 准备机械分离器和生物滤池（方法同NFT的第1-4部分）。
3. 从2个IBC桶里准备三个DWC水槽（与第四部分的基质栽培相同）。

#### 4. 建立DWC系统的准备步骤

前面的章节中讲述了鱼缸、机械分离器、生物滤池和DWC管道的组装。一旦这些全部装备完好，我们就要开始组装DWC系统。对于DWC系统来说，切割好的IBC桶作为基质栽培系统的沉淀池，也可以作为第4个水槽。安装第4个DWC水槽需要额外的土块和水管。

#### 5. DWC水槽的装配

5.1—按照图1a方式中的距离排好混凝土桩。鱼缸应该用混凝土板垫高15厘米左右。然后，按照图1b所示，将三个栽培床（包括金属篮子）摆放到混凝土板上的上面部分（确保栽培床放在水泥桩顶部是安全的，如果有问题，重新调整下面水泥桩的布局）。



#### 6. 准备进入生物滤池的排水管道

需要以下材料组装三个排水管单元：

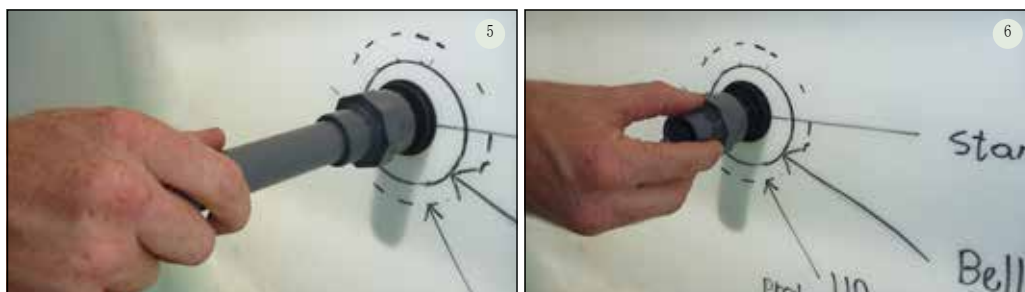
- 24厘米长的PVC管（25毫米）×3
- 水管接头（25毫米）×3
- PVC适配器，螺母（1英寸-25毫米）×3
- PVC转接头，螺母（1英寸-25毫米）×1

- PVC接头（25毫米-1英寸（螺母）-25毫米）×2
- 橡胶垫圈（25毫米）×3

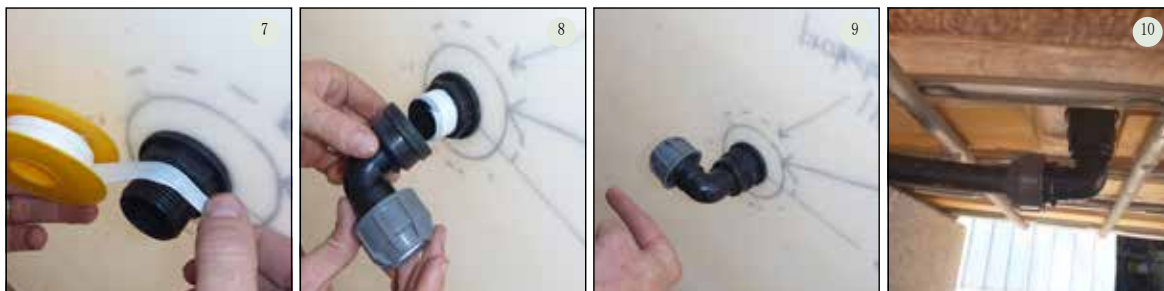
6.1—标记每个DWC水槽底部的中心位置，在每个中心点钻一个直径25毫米的孔，并插入25毫米的筒形连接器（25毫米），用橡胶垫圈垫置在栽培床内。用扳手拧紧连接器的两侧（见图2-4）。



6.2—将PVC适配器，螺母（1英寸-25毫米）拧到桶上的连接器（25毫米），然后将立管沿着管槽插进去。确保立管上端切出五个纵向的凹槽，防止管道堵塞（图5-6）。



6.3—然后，将PVC转接头，螺母（25毫米-1英寸）与DWC水槽下端的水管接头末端相连（图7-10）。然后旋紧剩余的两个T型PVC接头（25毫米-1英寸[螺母]-25毫米），与桶下面的其他两个管道连接。取三根长约1米的PVC管（25毫米），通过转接头与下面的T型管道连接（图11和图12）。





## A、B、C管道之间的连接



6.4—最后，用环形钻头在生物滤池侧面，在栽培水槽出水管下方至少15厘米处钻一个直径约25毫米的孔，而且在此处嵌入一个管道接头（1英寸）。然后，将PVC转接头（25毫米-1英寸）和管道接头相连，之后再用一个PVC管（25毫米）把生物滤池的PVC转接头（25毫米-1英寸）和池子A下方的末端T型接头连接起来，另一个嵌入生物滤池25毫米的孔里（图13和14）。



## 7. 加入潜水泵

在这个系统中，潜水泵安装在生物滤池桶的底部（图15-16）。



潜水泵将水泵到两个地方：一个是3个DWC水槽，另一个是鱼缸。其中，80%转入鱼缸而20%转向植物栽培床。这个水龙头用来控制每个位置的水流量。





## 8. 向鱼缸和DWC水槽中泵水

8.1—将潜水泵用适配器（1英寸的螺母-25毫米）连接到聚乙烯管（25毫米），或者用其他任何适配的连接器。这个管子至少1米长。在管子末端放置T型管（25毫米），保证鱼缸的水正常流动。

8.2—把T型连接管一侧的末端用一个管子（25毫米）连接到鱼缸。使用有韧性的管子，这样就尽量减少了转接头的需要，从而不会降低水泵的出水能力（图19）。把水龙头（25毫米）连接到管道的末端，以控制进入鱼缸的水流速。

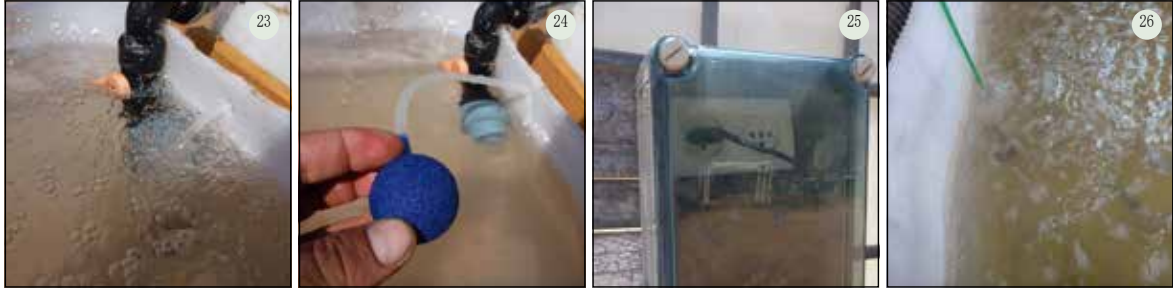
8.3—然后，取一个长约3.5米的聚乙烯管（25毫米），将一端与生物滤池里水泵的T型接头处连接。沿着DWC水槽铺开这个3.5米的管子。在每个管道中，添加一个T型接头（25毫米- $\frac{3}{4}$ 英寸-25毫米）、一个盖帽（ $\frac{3}{4}$ 英寸的螺丝- $\frac{3}{4}$ 英寸的螺母），一个PVC转接头（25毫米- $\frac{3}{4}$ 英寸螺丝），从而能让水流向管道的任何地方（图20-22）。在离鱼缸最远的管道，用一个PVC转接头（25毫米- $\frac{3}{4}$ 寸螺母）替代T型接头。确保用塑料扎带将管道固定在金属架上。



## 9. 安装气泵和气石

9.1—在这种装置中，气泵将气体输送到DWC水槽。气泵应放置在系统最高点的一个保护箱内（理想的情况是在鱼缸的边上）（图25）。取4-6米长、直径约8毫米的气管。将一端连接到气泵，余下部分沿着DWC水槽平铺。在每个鱼缸里，在顶部下方约1-2厘米处钻一个直径8毫米的孔，将8毫米的管子插进去。

9.2—把气石与8毫米的管子相连接，并将它们放置在水流的入口边，以确保管道中的氧饱和度。管子连接到鱼缸的方法同上（图23, 24和26）。

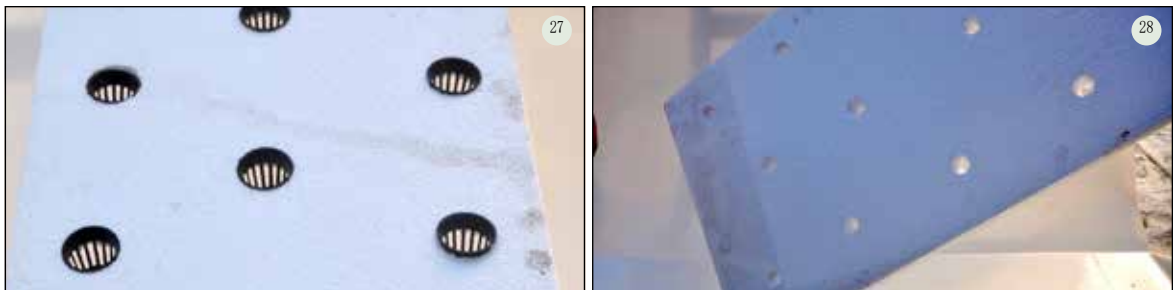


9.3—用塑料扎带将管道连接到金属架上。

## 10. 制作浮床

准备聚苯乙烯浮床的关键原则：

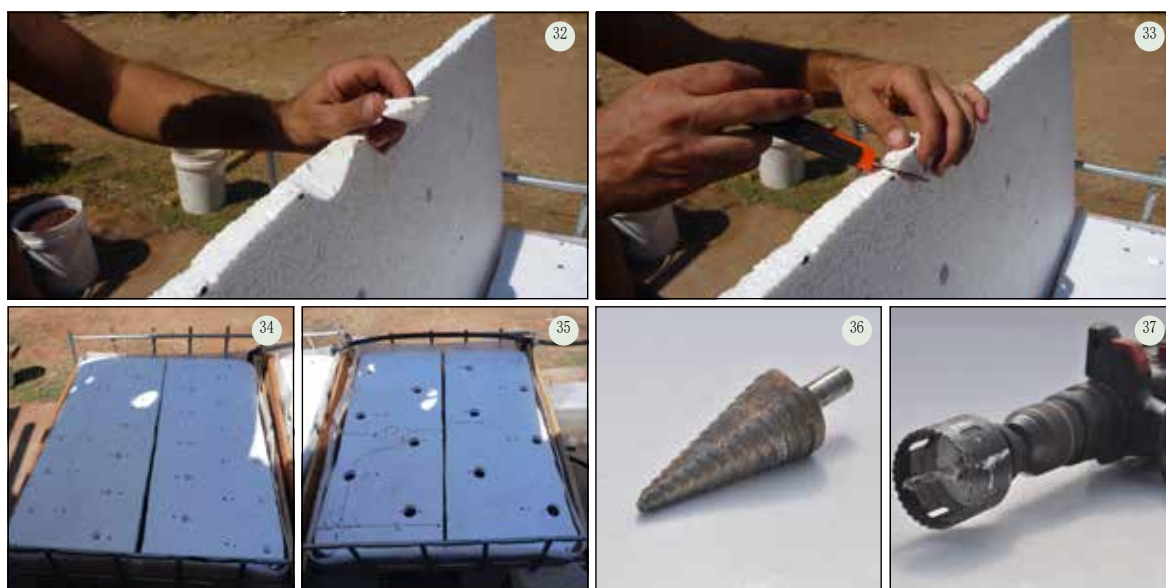
- 所有水槽里的水必须盖住（不可暴露在阳光下）。
- 聚乙烯板厚度在3厘米以上，确保能承受植物的重量。
- 确保聚乙烯板不会向水中排放任何有毒物质（确保材质的安全可用于食品生产或食品级质量）。也可以使用漆制胶合板。
- 放置植物孔的大小和间距取决于具体栽培的植物品种。种植孔的范围在16毫米（植物种子可以直接进入浮床而不需要种植砾（图28）到30毫米，这取决于可获取的网体的具体尺寸（图27）。



10.1—把聚苯乙烯浮床放到DWC水槽上部并标记边缘部分，用小刀切除超出水槽的部分（图29-31）。



10.2—使用环形钻头（图36和37）钻种植孔（图34和图35）。沿着种植孔，确保每个水槽的侧面只切割一个孔（图32和图33）。



### 11. 最后的检查

系统装置中的所有部分一旦都安装到位，就在鱼缸、两个过滤器和DWC水槽中通水（图38-43），用水流来测试和检查系统是否渗漏。如果出现渗漏，立即修复：

- 拧紧水管接头；
- 检查两个过滤器的水龙头和扩孔；
- 重装特氟龙防水接头；
- 确保所有的阀都处于最佳位置。



用塑料扎带固定所有剩余的管道（图45-46）。

最后，检查每个DWC水槽的水流情况。已经知道的是每根管道的容积约300升，根据本书第4章提到的，每根管道的理想水流速是每小时75-300升。水流量可以用计时器和1升的塑料瓶来测试计算（图44）。每小时的水流速75升时，需要48秒可以装满1升的瓶子；每小时300升的水流量大概需要12秒就可以装满1升的瓶子。等所有部件都安装完好，

水流测试完毕，通过用氨刺激硝化细菌繁殖开始整个系统的生物循环过程（见本书5章）。



有砒种植过程（图47-51）和无砒种植（图52）



装配好的系统





## 鱼菜共生技术快速查询手册

**注意：**以下部分复制了粮农组织鱼菜共生出版物的章节摘要（见下面的引文）。它旨在成为一个简短且易于复制的补充，提供给学生、工人和农民，以用于教育、推广和拓展应用。

完整的技术文件可在以下网址找到：[www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. 2021. 小型鱼菜共生食物生产, 鱼菜综合种养技术。粮农组织渔业和水产养殖技术文件第589号, 罗马, 粮农组织。 <https://doi.org/10.4060/i4021zh>

### 鱼菜共生介绍

鱼菜共生是把循环水产养殖系统和水耕栽培系统整合在一个生产系统中。在一个鱼菜共生系统单元中，来自养鱼槽的水经过过滤装置、植物栽培床，然后流回养鱼槽（图1.5）。在过滤器中，鱼类产生的排泄物会从水中分离，首先使用机械过滤清除固体废物，接着通过生物过滤吸收可溶性废物。生物过滤器为细菌提供了一个场所，从而把对鱼类有毒的氨转化为对植物来说更易吸收的营养物质——硝酸盐，这个过程被称作是硝化作用。当水（包含了硝酸盐和其它营养物质）流经过植物栽培床的时候，植物会吸收这些营养物质，最后流回养鱼槽的水就得到了净化。只要该系统保持恰当平衡，那么这其中的鱼类、植物和细菌可以共同生活并为彼此创造一个健康的生长环境。

在鱼菜共生系统中，水产养殖的富营养水经过植物栽培床被吸收，不会排放到环境中，同时植物所需要的营养是以一种可持续的、经济的和非化学方式供应。这种综合形式排除了独立进行水产养殖或水耕栽培时存在的一些不可持续性因素。除了综合系统所带来的益处之外，鱼菜共生也证明其蔬菜和鱼类的产量与循环水养殖和水耕栽培系统的产量相当。尤其是在土地和水源都受限制的地方，鱼菜共生可能更高产和更具经济可行性。然而，鱼菜共生是复杂的和需要大量的初期投资。增加的产量应当能够弥补整合两个系统的高昂投资成本，在建设一个大型的或者投资巨大的鱼菜共生系统之前，应当制定一份包括经济、环境、社会和物流等多方面考量的整体商业计划。





**鱼菜共生食物生产的优缺点****鱼菜共生食品生产的主要好处：**

- 可持续和集约化的粮食生产系统。
- 两种农产品（鱼和蔬菜）由一种氮源（鱼饲料）生产。
- 非常节水。
- 不需要土壤。
- 不使用化肥或化学农药。
- 更高的产量和高质量生产。
- 有机的管理和生产。
- 更高水平的生物安全和更低的外部污染物风险。
- 对生产的更高控制而使损失更低。
- 可用于沙漠等非耕地；退化或盐碱土壤；城市地块；和沙岛。
- 产生很少的废物。
- 日常工作、收割和种植是省力的，因此适合所有性别和年龄。
- 是许多地方的家庭粮食生产或经济作物的经济型生产方式。
- 可以根据可用材料以多种方式建造。

**鱼菜共生食品生产的主要缺点：**

- 与土壤生产或水培相比，初始建设成本较高。
- 每位农民要想获得成功，都需要了解鱼类、细菌和植物生产方面的知识。
- 鱼和植物的生长要求并不总是完全匹配。
- 不推荐用于养殖鱼类和植物无法达到其最佳温度范围的地方。
- 与独立水产养殖或水培系统相比，减少了管理选项（植物不使用杀虫剂，鱼类不使用抗生素）
- 失误或事故可能导致系统的灾难性崩溃。
- 日常管理是强制和必须的。
- 能源需求较大。
- 需要可靠的电力供应、鱼种和植物幼苗。
- 单独地一个鱼菜共生系统不能提供完全的饮食食谱。

**备注：**


---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---





### 鱼菜共生单元设计

- 决定在哪里建造系统时主要考虑因素有：地基的稳定性；获取阳光和遮荫；抗风雨；公共设施的可用性；利用温室或遮阳结构。
- 鱼菜共生系统有三种主要类型：基质栽培法，也被称为颗粒床栽培；营养液膜技术（NFT）方法；和深水栽培法，也被称为浮筏式方法或漂浮系统。
- 所有鱼菜共生系统基本组成部分是：鱼缸、机械和生物过滤、植物栽培装置（基质床，营养膜生长管道或深水栽培种植槽），和水泵/空气泵。
- 基质栽培床必须：（1）是由强韧的惰性材料组成；（2）深度约30厘米；（3）填满含有高表面积介质；（4）提供充足的机械和生物过滤装置；（5）给不同的生物提供分开的生长区域；和（6）通过充分灌排水或其他灌溉技术，以确保良好的过滤作用。
- 在营养液膜技术和深水栽培系统中，机械过滤和生物过滤装置都能分别有效去除悬浮固体和氧化溶解性废物（氨氮转化为硝态氮）。
- 在营养液膜技术和深水栽培系统中，每一个栽培管中的水流量应该为1-2升/分钟，以确保植物良好的生长。
- 深水栽培系统（DWC）中种植槽中水的滞留时间是2-4小时。
- 高溶氧浓度是确保鱼、植物和细菌的良好生长必不可少的。在鱼缸里溶解氧的是由气石充气提供。基质栽培床有一个湿润区域和干燥区域的交互过程，也提供了可利用的大气中的氧气的场所。在营养液膜系统（NFT）中，给生物滤池充气，而在深水栽培系统（DWC）中在生物过滤器和作物栽培槽均放置有气石充气。

### 备注：

---



---



---



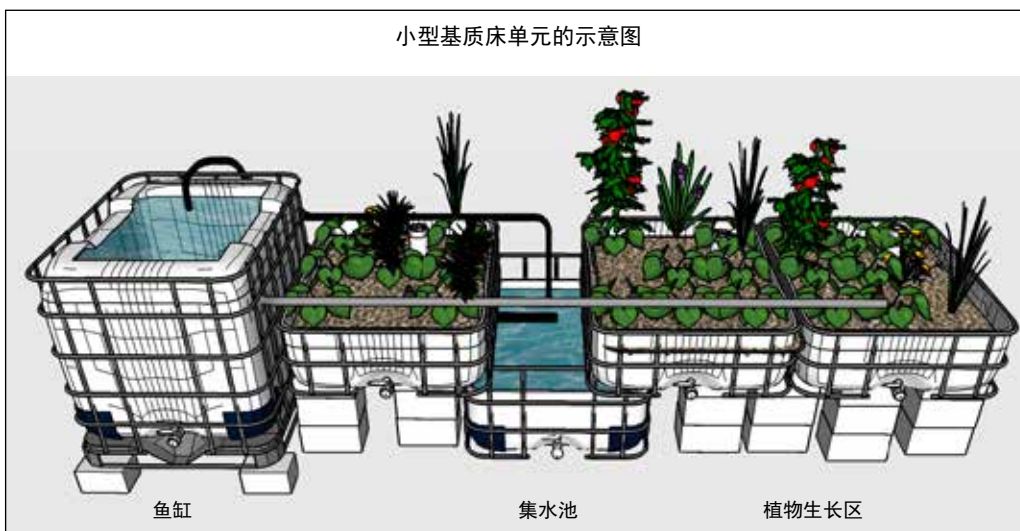
---



---



---









### 平衡鱼和植物配置：配置比例的计算

鱼菜共生系统必须是平衡的。鱼类（当然也包括鱼饲料）需要为植物提供充足的营养物质；植物需要为鱼类对水进行过滤。生物过滤器需要足够大，以处理所有的鱼废弃物，而且需要足够的水量来保证整个系统的循环。要在一个新系统中实现这种平衡可能是不容易的，但是本节提供了有益的计算，来估计每个组成部分的大小。

一个鱼菜共生系统要获得平衡，最成功的做法就是使用在2.1.4节所阐述的投聊比率。对于鱼菜共生系统来说，这个比率是确保鱼菜共生生态系统内部的植物和鱼类可以共生互利最重要的计算方法。

这个比率估计了每天要向系统中投入多少鱼饲料，它是根据可用于植物生长的区域来计算的。这个比率取决于所种植蔬菜的类型；结果蔬菜所需要的营养物质比绿叶蔬菜要多三分之一，这些多出来的营养物质主要是用来供给花和果实的生长。鱼饲料的类型也会影响投聊比率，这里所有的计算都假设鱼饲料的行业标准为32%的蛋白质含量。

绿叶植物	结果蔬菜
每天每平方米投放40-50克鱼饲料	每天每平方米投放50-80克鱼饲料

在进行计算时，推荐第一步要决定需要多少蔬菜。通常，蔬菜按下表所列（图8.1）的密度种植。这些数字仅仅是平均水平，受蔬菜种类和收获大小的影响，还存在很多变数，因此这些数字仅作参考。

绿叶植物	结果蔬菜
每平方米20-25颗蔬菜	每平方米4颗蔬菜

使用上述指标（多叶与瓜果类）选择所需的种植面积。农民选择所需要的栽培面积，以满足市场或食品生产目标。这也需要根据作物来决定，因为有些植物需要更多的空间并且比其他植物生长得更慢。一旦选择了所需的植物数量，就可以确定所需的生长面积，从而确定每天应在系统中使用的鱼饲料量。

一旦计算了鱼饲料的量，就可以计算出食用这种鱼饲料的鱼的生物量。不同大小的鱼有不同的饲料要求和投喂方式，这意味着许多小鱼和几条大鱼吃的一样多。在平衡鱼菜共生系统方面，鱼缸中鱼的总生物量比鱼的实际数量重要。平均而言，50克以上体重的鱼，在成长阶段每天会消耗其体重约1-2%的饲料量。相反，从每日饲料消耗占体重的百分比来看，小/幼鱼比大鱼的比例要高。

鱼饲料的投喂率
每天投喂量占鱼类总体重的1-2%

下面的例子演示了如何进行这一系列计算，以确定：为了每周产出25株莴苣，一个鱼菜共生系统应该放养10-20千克的鱼，每天要投喂200克鱼饲料，而且蔬菜要有4平方米的生长面积。整个运算过程如下：



一旦莴苣的幼苗被移栽到鱼菜共生系统中，它要4周才能长成，而且我们要每周收获25棵莴苣，因此：

$$25\text{颗/周} \times 4\text{周} = \text{在整个系统中有} 100\text{颗}$$

每25颗莴苣需要1平立米的生长空间，因此：

$$100\text{颗} \times 1\text{平方米} / 25\text{颗} = 4\text{平方米}$$

每平方米的生长空间每天需要50克的鱼饲料，因此：

$$4\text{平方米} \times 50\text{克鱼饲料/天} / 1\text{平方米} = 200\text{克鱼饲料/天}$$

系统中的鱼类（生物量）每天会进食自身重量的1%-2%，  
 $200\text{克鱼饲料/天} \times 100\text{克鱼饲料} / 1\text{-}2\text{克鱼饲料/天} = 10\text{-}20\text{千克的鱼类生物量}$

尽管相当有用，但这个投料比率也仅作参考，尤其是对小规模鱼菜共生系统而言。这个比率涉及很多变量，包括鱼的大小和种类，水温，鱼饲料的蛋白质含量和植物的营养需求，这些变量在一个生长季节中可能会有明显的变化。这些变化要求养殖人员调整投料比率。

对水中氮含量的检测有助于我们确定整个系统是否处于平衡状态。如果硝酸盐的水平过低（低于5毫克/升），那么就要每天慢慢提高投料比率，但不可投料过度。如果硝酸盐的水平是稳定的，那么可能缺乏其它营养物质，这时就要特别注意补充钙、钾和铁。如果硝酸盐的含量上升，当硝酸盐的含量超过150毫克/升的时候，就需要临时换水。硝酸盐含量的不断增加，表明其它必需营养物质的浓度是适当的。

#### 小型鱼菜共生单元的实用系统设计指南

鱼缸容积 (升)	鱼的最大生物量 <sup>1</sup> (公斤)	投喂比率 <sup>2</sup> (克/天)	泵流量 (升/小时)	过滤容量 <sup>3</sup> (升)	生物过滤介质的最小体积 <sup>4</sup> (升)		植物生长区 <sup>5</sup> (平方米)
					火山砾石	生物球	
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1200	20-50	100	50	2
1000	20	200	2000	100-200	200	100	4
1500	30	300	2500	200-300	300	150	6
2000	40	400	3200	300-400	400	200	8
3000	60	600	4500	400-500	600	300	12

#### 备注：

- 建议的鱼群密度是基于20公斤/1000升的最大放养密度。通过进一步增氧和机械过滤可以获得更高的密度，但不建议初学者这样做。
- 对于体重超过100克的鱼，建议的喂食率为每天体重的1%。对于不同的植物来说，每平米的投饵比例为：绿叶蔬菜40-50克/平方米；瓜果蔬菜50-80克/平方米。
- 机械分离器和生物过滤器的容积应为鱼缸总容积的10-30%。实际上，容器的选择取决于其大小、成本和可用性。生物过滤器仅用于营养膜技术和深水栽培装置；机械分离器适用于鱼密度超过20公斤/1000升的营养膜技术、深水栽培装置和培养床装置。
- 这些数据是假设细菌一直处于最佳状态。如果没有，在一定时期内（如冬季），可能需要添加额外的过滤介质作为缓冲。根据它们各自的比表面积，为两种最常见的生物过滤介质提供了不同的配置数值。
- 植物生长空间的数值仅包括绿叶蔬菜。果蔬的面积会稍低一些。













鱼菜共生是一种将水产养殖和水耕栽培两种成熟技术进行共生整合的方法。本技术手册介绍了鱼菜共生系统中的三类生物（细菌、植物和鱼类），手册讨论了管理策略和故障排除方法以及相关的内容，尤其强调了这种粮食生产方法的优势和劣势。

本技术手册介绍了鱼菜共生的主要理论概念，包括氮循环、细菌的作用和鱼菜共生系统的均衡概念。同时介绍了水质参数、水质测试和鱼菜共生系统的材料，以及系统设计的一些方法和理论基础，以及三种主要的鱼菜共生系统：基质床栽培、营养膜栽培和深水栽培。

本手册还讨论了一些其他的重要内容：鱼菜共生中常见植物生长的适宜条件；常见病虫害的化学和生物防治，含蔬菜栽培指南；常见鱼病及其症状、病因和治疗方案；在给定放养鱼类数量和鱼饲料投喂量条件下，计算产生的氨含量和所需的生物过滤介质量；自制鱼饲料的生产；建立鱼菜共生系统装置的步骤和注意事项；小规模基质栽培鱼菜共生系统的成本收益分析；运用三种方法构建小规模鱼菜共生系统的全面流程指南；以及把本手册简要总结用作拓展、延伸和教育补充材料。

鱼菜共生是一种高效可持续的集约化农业生产方式，尤其可以满足水资源短缺的需要。全球来看，改良农业生产可以减轻农村贫困和加强食物安全；鱼菜共生系统不会产生残留，避免了化肥和杀虫剂的使用；鱼菜共生系统还是节省劳动力的技术，不分性别和老幼均可掌握该技术；面对人口增长、气候变化和不断减少的水资源供应和全球可耕地面积，发展高效综合的农业技术将推动经济的发展。

ISBN 978-92-5-135282-3 ISSN 2225-241X



9 789251 352823  
I4021ZH/1/12.21