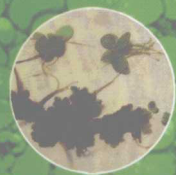
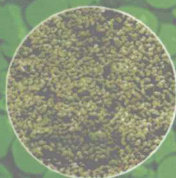
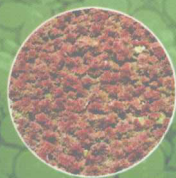


稻田浮萍：

农业综合体系中多功能小型水生植物

原著：Ronald A. Leng

黄世文 王玲 刘连盟 编译



中国农业科学技术出版社

黄世文 王玲 刘连盟 编译

中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

稻田浮萍: 农业综合体系中多功能小型水生植物 / 原著:
Ronald A. Leng, 黄世文, 王玲, 刘连盟编译. —北京: 中国
农业科学技术出版社, 2010. 5

ISBN 978 - 7 - 5116 - 0186 - 5

I. ①稻… II. ①黄…②王…③刘… III. ①稻田 - 浮萍 -
综合利用 IV. ①S511②Q949. 71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 099338 号

责任编辑 徐平丽

责任校对 贾晓红

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)82106638(编辑室) (010)82109704(发行部)
(010)82109703(读者服务部)

传 真 (010)82109709

网 址 <http://www.castp.cn>

经销者 新华书店北京发行所

印刷者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 880mm × 1 230mm 1/32

印 张 5. 375

字 数 200 千字

版 次 2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷

定 价 18. 00 元

版权所有 · 翻印必究

前 言

浮萍是世界上分布范围广、生长繁殖快、蛋白质含量高、具有许多功用的最小的开花植物。地球上除最寒冷的地区外均有浮萍存在，在适宜的环境条件下，一般2~4天其生物量就可翻倍，单位面积上浮萍蛋白质产量高于大豆，且不占用土地。浮萍可以在清洁水或污水中生长，可清除污水中的重金属、有毒有害物质、固定空气中的氮和二氧化碳而保护环境；浮萍可用作鱼类、家禽、家畜养殖业的饲料；浮萍还可为贫困地区的人们提供高质量的植物蛋白；浮萍可作为检测环境中有毒有害物质的指示植物；作为筛选活性化学物质的指示植物；浮萍由于个体小、生长快、结构简单而作为研究植物生长发育、生物化学、光合作用的模式植物。浮萍在转基因、遗传工程、生物医药等方面具有广阔的应用前景。

在发展中国家，尤其是在雨水多的东南亚热带、亚热带国家，针对浮萍的研究主要以利用废弃池塘、水沟养殖浮萍，为渔业、畜禽养殖提供饲料为主。在发达国家，如欧美、澳大利亚和以色列等，浮萍主要作为模式植物用于遗传工程、生物工程和生物医药的研究与开发。

我国地域辽阔，湖泊、池塘、水沟等遍布全国各地，淡水面积上百万公顷。从南到北几乎都可以养殖浮萍。在我国农村，很早就有将浮萍作为养鱼、养鸭和养猪的饲料加以利用。近年，浮萍在我国已有专业养殖，除用作养鱼、养鸭和养猪的饲料外，还用于养鸡、养鹅、养牛、养羊等的饲料；浮萍还作为绿色有机肥料、控制稻田有害生物的辅助措施加以应用。在我国，浮萍有一项特殊的用途是作为重要的中药成分，可以治疗多种病症。

在浮萍的研究、利用方面，我国与发达国家相比有较大差距，就是与一些研究、应用较多的发展中国家相比也存在差距。目前，我国南方各省的浮萍研究机构和人员都已转向其他研究领域。将浮萍作为指示植物、模式植物用于环境监测、遗传工程、生物工程和生物医药的研究与应用几乎没有或是刚刚起步。

本书是在翻译 Ronald A. Leng 先生编写的《Duckweed: A tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment》基础上，结合编译者多年的观察、研究和积累编译而成。本书是国内至今为止较为全面、系统地介绍浮萍的分布、分类、生长、发育、养殖和利用的著作，书中图文并茂、深入浅出、适合不同层次、不同对象阅读。同时，编译者希望以此抛砖引玉，引起该领域国内同行专家或有识之士的注意，加强对浮萍的收集、保护和开发、研究和利用。充分发挥好、利用好浮萍巨大的潜在功能，为保护环境、造福人类做出贡献。

本书的编译出版得到了“浙江省 151 人才”工程、“杭州市 21 世纪 131 优秀中青年人才”工程和“杭州市下城区新世纪拔尖人才”工程资金的资助，在此表示衷心感谢！

由于时间匆忙、加之编译者水平有限，书中错误、遗漏以及不当之处在所难免，敬请读者不吝赐教。

编译者

2010 年 1 月于杭州

目 录

第一章 绪论	(1)
一、概述	(1)
二、生态工程对浮萍的需求	(4)
三、全球变暖、石油资源和营养元素利用对浮萍的需求	(5)
第二章 浮萍及其生长环境	(8)
一、引言	(8)
二、浮萍的分类	(9)
1. 自然条件下的浮萍群体	(10)
2. 普通浮萍	(11)
3. 紫萍	(12)
4. 无根浮萍 (<i>Wolffiella</i>)	(13)
5. 微萍 (<i>Wolffia</i>) 或无根萍 (<i>Watermeal</i>)	(13)
6. 满江红	(16)
三、浮萍的生长特性	(17)
四、浮萍的形态学特性	(19)
五、浮萍的分布	(20)
六、浮萍的应用历史	(21)
第三章 浮萍生长的环境和营养要求	(22)
一、引言	(22)
二、水温	(23)
三、水体 pH 值	(23)
四、矿物质含量	(23)

五、水体深度	(24)
六、氮、磷、钾和其他矿物质元素	(25)
1. 氮素	(25)
2. 磷素	(29)
3. 钾素	(30)
4. 硫素	(30)
5. 钠素	(31)
6. 对矿物质需求的结论	(32)
七、浮萍对重金属离子的吸收	(33)
八、对矿物质营养的需求	(34)
1. 化学肥料	(34)
2. 粪肥	(35)
3. 粪肥和沼气	(35)
九、浮萍净化水体的实例	(37)
1. 浮萍净化环境污水	(37)
2. 浮萍的生物学产量	(38)
3. 浮萍的生长密度和产量	(40)
十、浮萍的人工养殖方式	(41)
1. 浮萍的人工养殖例 1	(42)
2. 浮萍的人工养殖例 2	(43)
3. 浮萍的人工养殖例 3	(44)
第四章 农业综合体系	(46)
一、为什么发展中国家需要对农业综合体系的潜力进行调查?	(46)
二、农业综合体系中的营养成分循环利用	(47)
三、农业综合体系中氮素和磷素的转化	(48)
四、综合农业体系需要考虑理论事项	(48)
五、浮萍在池塘综合体系中的应用研究	(49)
六、农业综合体系中的浮萍生长需求	(51)

七、将浮萍养殖整合到农作中的其他效益	(52)
八、其他需要考虑的事项	(53)
九、浮萍能产生对人类健康有重要意义的化合物	(54)
十、浮萍农业体系	(54)
1. 为什么要利用浮萍	(54)
2. 建立符合农村的浮萍体系	(55)
第五章 浮萍作为家畜的营养源	(56)
一、引言	(56)
二、浮萍作饲料	(57)
三、浮萍作为中药的化学成分	(58)
四、浮萍的蛋白质和氨基酸组成	(58)
五、浮萍作为禽类饲料中的补充营养	(59)
1. 浮萍养鸡	(59)
2. 浮萍和鸭子养殖	(63)
3. 浮萍与家禽肉类的生产	(66)
4. 浮萍用于家禽养殖结论	(68)
六、浮萍在猪养殖业中的应用	(69)
七、浮萍在反刍动物养殖业中的应用	(71)
1. 浮萍作牛饲料	(72)
2. 浮萍做羊饲料	(74)
八、浮萍在养鱼业中的应用	(75)
1. 浮萍在鲤鱼生产中的应用	(76)
2. 以浮萍为饵料的鲤鱼类的混养	(77)
3. 米尔扎布尔 (Mirazapur) 鲤鱼的养殖策略和 生长率	(78)
4. 浮萍作为鱼饲料	(80)
5. 有关浮萍用于小型农场养殖鲤鱼类的想法	(80)
6. 浮萍和罗非鱼的生产	(84)
7. 间接利用浮萍生产鱼的饲料	(85)

8. 以色列和孟加拉国的浮萍养鱼	(86)
9. 中国利用浮萍养鱼	(87)
九、浮萍作为人类的营养来源及应用思考	(91)
1. 浮萍作为人类的营养来源	(91)
2. 浮萍进入人类食物链的安全考虑	(93)
第六章 浮萍在污水处理上的潜力及稻田功用	(94)
一、引言	(94)
二、浮萍处理污水和污水处理场	(96)
三、水的循环利用和健康标准	(98)
四、浮萍作为有机肥料	(98)
五、浮萍控制杂草和作为有机肥	(100)
六、稻糠、浮萍抑制杂草的效果	(100)
1. 材料	(100)
2. 方法	(101)
3. 结果与分析	(102)
4. 结论	(106)
七、浮萍与稻、鱼、果、菜立体生态种养结构	(108)
八、浮萍作为养殖牛蛙的辅料	(109)
九、浮萍作为优质绿肥使用	(110)
十、开发浮萍植物，促进贫困地区综合发展	(110)
1. 浮萍的种类和利用历史	(111)
2. 浮萍的优良特性	(111)
3. 浮萍综合利用率高、用途广	(112)
4. 有关浮萍利用和建议	(113)
第七章 浮萍的药用功效	(115)
一、用于中药的浮萍	(115)
1. 浮萍的生态环境	(115)
2. 浮萍的采收和储藏	(115)

3. 浮萍资源的分布	(115)
二、浮萍作为中药的化学成分	(119)
三、浮萍用于中药的原理及论证	(119)
1. 浮萍的归经	(120)
2. 浮萍的药理作用	(120)
3. 浮萍的功效及其论证	(120)
四、浮萍中药常见选方及治疗实例	(124)
1. 浮萍常见选方	(124)
2. 浮萍作为中药的治疗实例	(125)
五、利用浮萍生产蚊香	(127)
 第八章 浮萍应用展望	(129)
一、引言	(129)
二、浮萍在东南亚国家的综合利用	(129)
三、浮萍和其他水生植物的净化水功能及其利用	(131)
四、浮萍在环境保护方面的利用	(132)
五、浮萍作为环境监测的标准模式体系	(133)
1. 有机物对浮萍的毒性	(133)
2. 重金属对浮萍的毒性作用	(135)
六、浮萍作为环境监测生物的研究利用	(138)
七、浮萍在其他方面的应用	(139)
八、浮萍在生物工程制药方面的利用	(139)
1. 国际合作利用浮萍生产生物工程药品	(140)
2. 美国利用浮萍生产生物工程药品	(140)
九、与浮萍有关的专利	(141)
1. 国内专利	(141)
2. 国外在中国申请的专利	(141)
3. 在美国申请或授权的专利	(142)
十、浮萍作为环境监测和化学活性物质筛选的指示 植物	(146)

十一、浮萍的危害	(146)
1. 河南安阳洹河浮萍大暴发	(147)
2. 重庆云阳澎溪河浮萍暴发	(147)
3. 浙江温岭滨海镇浮萍暴发	(148)
参考文献	(149)

第一章 绪 论

一、概述

地球总面积为 51 000 万平方公里，世界海洋的面积约为 36 100 万平方公里，占地球表面积的 70.8%，相当于 38 个中国大小。陆地面积 14 900 万平方公里，只占 29.2%。海洋即“水”的覆盖总面积差不多是陆地面积的两倍半。

打开世界地图可以看到，地球上的陆地，一块块地散布在世界的海洋上。这些陆地，大块的叫大陆，小块的叫岛屿。全世界共有六块大陆，它们是东半球的亚欧大陆、非洲大陆、澳大利亚大陆，西半球的北美大陆和南美大陆，以及地球最南端的南极大陆。亚欧大陆是世界上面积最大的大陆，澳大利亚是面积最小的大陆。比澳大利亚大陆面积小的陆地就叫岛屿。地球上的岛屿有几万个，它们的总面积有 970 多万平方公里，和中国的面积差不多。地球上大陆和岛屿的面积加起来约 14 900 万平方公里，相当于 15 个中国大小。大陆和它附近的岛屿合起来叫做大洲。亚欧大陆虽然是一个整块的陆地，却又分为亚洲和欧洲两个大洲。这样，世界上的大陆是 6 个，而大洲是 7 个，即：亚洲、欧洲、北美洲、南美洲、大洋洲、南极洲、非洲。

地球上的海洋面积有多大呢？人们习惯上把环绕在陆地周围的广大水面叫做海洋。其实“海”和“洋”是既不能截然分开，又不是完全相同的两个概念。“洋”是世界海洋的主体。而“海”是“洋”的一部分，它分布在大洋的边缘，和陆地紧紧相连，面积和深度比大洋要小得多。地球上的大洋是相互通连的，分为太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋 4 个大洋。其中太平洋的

面积最大，有 18 000 多万平方公里，比地球上陆地面积的总和还要大。

地球上的总储水量为 1.386×10^{18} 立方米，即 1 386 000 万亿立方米。其中，97.47% 是咸水，主要存在于海洋中，不能直接利用。所以通常所说的水资源主要是指陆地上的淡水资源，地球上的总淡水量为 34 650 万亿立方米，占地球上总储水量的 2.53%。主要存在于陆地上（极地和高山冰川、河流、湖泊）、大气中、生物体内和地下，其中大部分（近 70%）是固体冰川，即分布在两极地区和中、低纬度地区的高山冰川，很难加以利用。目前人类比较容易利用的淡水资源，主要是河流水、淡水湖泊水，以及浅层地下水，为 2 772 万亿立方米，储量约占地球淡水总储量的 0.3%，只占全球总储水量的十万分之七。据研究，从水循环的观点来看，全世界真正有效利用的淡水资源每年约有 900 万立方米。

地球表面相当大的一部分被水体覆盖着，而海水（咸水）占绝大部分，由海水退还为陆地的地表部分，由于雨水的侵蚀作用导致矿物质不断流失。水体环境受海水的冲洗造成的影响只是暂时的，但大多数排泄废弃物对水体环境的影响却是永久的。多年来，动物和人类一直可以从水生环境中获取可供利用的物质。比如，人类将这些物质用作食物、燃料、建筑材料等。工业革命时期，人们将陆地上的资源最大限度地开采利用。因此，后来的农业学家从水生或者陆生的环境中寻找新的生物资源，并用生物和矿物质来提高生物体产量。但是，由于农业废水排放、人类日用污水排放以及水电站的污水排放，水生环境变得富营养化，水体受到了污染。另一方面，土壤侵蚀、农业灌溉、水库库存、废水处理、工业废水处理以及生活用水等及其他的人类行为也加剧了水体的富营养化。

总的来说，工业生产和其他人类活动已造成了水体环境的退化。人类活动导致了水体中矿物质和有机物大量流失，水体出现富营养化，水生生物大量下降。尽管水体微生物能分解有机物产

生氧气,但富营养化的水体中依然非常缺少氧气,这就导致了厌氧细菌的大量繁殖和甲烷气体的产生。

在年降水量多的一些亚热带地区有大量的水产企业。其中有人工养鱼的小型农户养殖企业,也有大规模的鱼类和甲壳类动物人工养殖企业。这些企业通过人工养殖生产水产品,不再从海水中捕捞生物体。全球水产业的分布情况如图 1-1 所示。随着水产业的发展,从海洋中捕捞的鱼的数量下降了,人工养殖的鱼的数量增加了。这充分说明了水产业对蛋白饵料产量是多么的重要,图 1-2 中世界对虾的产量趋势也说明了这个问题。

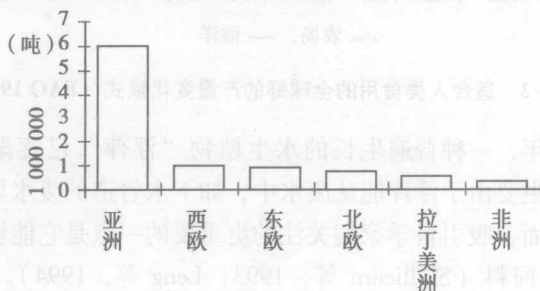


图 1-1 全球水产业的分布 (FAO 1989)

虽然从水生环境中人们可以采集一些传统的主要农作物,但是,从水生环境中获得含有 β -胡萝卜素和长链脂肪酸的高营养价值的作物,不仅种植难度大而且费用昂贵。虽然水耕法在精细水产业中机械化程度已较高,但仍需要娴熟的操作人员和完善的体系,且机械化的成本也较高。

目前,全世界特别是亚洲的农民已经将水生植物用于动物饲料、绿肥和家庭用饲料中。最常见的水生植物有浮游植物、水浮莲、水葫芦、浮萍、红萍(满江红)以及其他的水生植物。

1989年,哈弗(Have)就已经对满江红作了详细的描述。蕨类植物满江红,能与有固氮功能的细菌共生、生长速度快、且能够在含有磷而氮含量低的水体中生长。

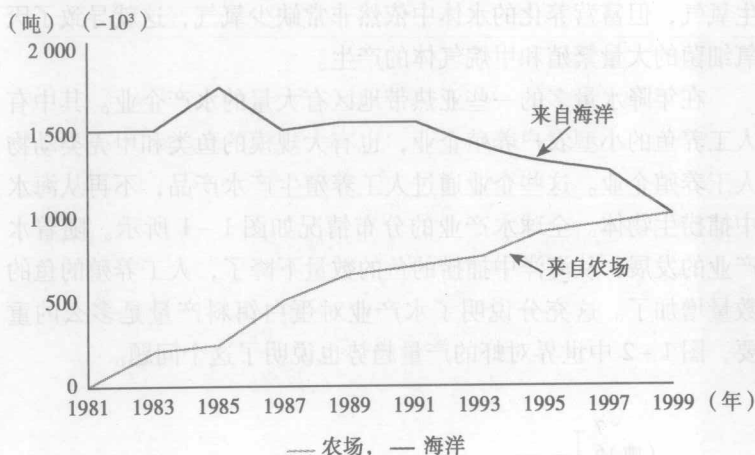


图 1-2 适合人类食用的全球虾的产量变化模式 (FAO 1989)

近几年，一种普遍生长的水生植物“浮萍”已逐渐地受到重视。这主要由于浮萍能从废水中，如下水管道的废水里吸取矿物质。然而，吸引科学家们关注的更重要的一点是它能够作为畜禽喂养的饲料 (Skillicorn 等, 1993; Leng 等, 1994)。浮萍在 N、P、K 含量较高的水体中生长时可浓缩水中的矿物质，合成自身所需的蛋白质。这种蛋白质可用作饲料，喂养反刍动物、猪和依赖于农业、工业副产品和作物残渣的家禽等。

水环境污染直接威胁到某一地区和农业的生态环境，这一问题已引起人们的重视。人们使用生物学方法净化污水以便水资源能够再利用。一般来说，水资源的利用率低会限制人类活动以及在有限的农业耕地面积上养活越来越多的人口。另一方面，在欧洲，地下水污染已到了无法忍受的程度，这更加促进了将水生植物作为重复使用的肥料来进行研究。

二、生态工程对浮萍的需求

早在 20 世纪 60 年代，许多科学家就断言，随着能源资源的

枯竭和人口的膨胀,农业将不能为越来越多的待哺的人类提供足够的食物。

从短期来看,这个说法是错误的。因为我们不仅有大量的未发掘的石油能源,而且作物产量特别是谷物产量也在不断的提高。以提高谷物产量为主的“绿色革命”的发展速度已经超过了人口的增长速度。以我国为例,新中国成立以来,水稻增产幅度就远大于人口增长,目前我国人口虽然比解放初期增加了145.2%,水稻播种面积虽只增加13.6%,但单位产量增加了247.1%、总产增加了294.9%。

然而,产量大幅度提高的同时也带来了一些负面效应,如因大量使用化肥、农药,地表受侵蚀程度加重,某些地区水污染严重,对水和肥料的需求日益扩大。肥料和水的利用在很大程度上依赖于石油的价格。在世界的许多地区,地表蓄水层水的使用量远远超过了雨水的补给量。

尽管当今科学技术发展水平和研究成果将有助于提高人类赖以生存的作物产量。但是,很明显地可持续发展的前提必须是以不加重环境污染,对水、肥料和石油资源的需求较少等为先决条件。因此,为了寻找高效低耗的污染防治技术,自20世纪70年代以来,多种以大型水生植物为核心的污水处理和水体修复的生态技术被广泛研究和应用。大量工程实践表明,这项技术具有低投资、低能耗等优点,近年来已成为环境领域的研究热点之一。在众多水生植物种类中,浮萍科植物是被研究应用较多的类群之一。

三、全球变暖、石油资源和营养元素利用对浮萍的需求

全球变暖已经是一个不可避免的现象了。在许多国家,这已成为一个重要的政治话题。政府认为,第一,石油燃料的消耗会造成温室效应,使全球温度升高;第二,石油资源紧缺,未来石

油价格将更加昂贵。正如弗利（Fleay, 1996）在《石油时代的衰落》这本书中所指出的，近十年内将不会有更多的石油资源被发现。这暗示着最大的石油资源已经被人类发掘完毕。大量的油井已经采掘了地球石油储量的一半或一半以上了。现今，开发剩余的石油使得石油价格大幅度攀升。石油资源的减少和石油价格的提高均要求工业和农业的发展寻找一个可替代能源。

石油是所有的工业中最重要的经济命脉，特别是对于工业化农业来说更是如此。因此，食品价格会受到石油价格的波动而变化。但是，随着机械化程度的提高，谷类产量的能量平衡却一直在下降。如果将石油作为作物生长的能源，投入约 100 万焦耳（MJ）的石油能源，作物能产出约 1.5 MJ 的能量，但是能量平衡被破坏了。影响食品价格的还有其他因素，如农机、肥料、农药（杀虫剂、杀菌剂和除草剂）和水等，特别是灌溉过程中的物质成本。

近些年来，各国发展可持续农业的发展已经蓬勃开展起来了，特别在发展中国家更加活跃。在人口密度最高和增长速度最快的亚洲和非洲的发展中国家，发展可持续农业需要做到：减少人口增长、保持农业人口数量并且以可持续生产方式提高作物产量。

发展可持续农业要求合并小的农场，最小化投入肥料和其他的化肥，减少空气污染。同时由国家来确保粮食安全。1997 年亚洲金融危机，由于燃料成本较高，一些小型农户受到了严重冲击。未来的几年，如果肥料的使用受限制，肥料价格上涨，将会对作物生产造成严重的影响，谷物产量也会下降。

有关石油供给的问题，要通过法律的实施来减少石油的使用以降低污染。笔者发现，在发展中国家减少对化学肥料的使用，需要有一个完善的农作体系，而不是像现今的单一栽培体系那样。

完善的农作体系需要做到以下三点以减少化肥的使用：一是氮素固定到作物体内（比如豆科植物的固氮作用）；二是将释放