

## 水蕹菜浮床在富营养化水体中的应用研究进展

林启存<sup>1</sup>, 冯晓宇<sup>1</sup>, 黄卫<sup>2</sup>, 蔡丽娟<sup>1</sup>, 王宇希<sup>1</sup>, 许宝青<sup>1</sup>, 戴瑜来<sup>1</sup>

(1. 杭州市农业科学研究院, 浙江杭州 310024; 2. 杭州海皇饲料开发有限公司, 浙江杭州 311100)

**摘要** 综述水蕹菜浮床的生长特性、应用效果及其优化技术进展, 初步探讨其在富营养化水体应用中存在的问题, 并对其应用前景作出展望。**关键词** 水蕹菜; 浮床; 富营养化

中图分类号 S645 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)29-10111-03

**Research Progress on Application of *Ipomoea aquatica* Floating Bed in Eutrophication Water**LIN Qi-cun<sup>1</sup>, FENG Xiao-yu<sup>1</sup>, HUANG Wei<sup>2</sup> et al (1. Hangzhou Academy of Agricultural Science, Hangzhou, Zhejiang 310024; 2. Hangzhou Haihuang Feed Development Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311100)**Abstract** Research progress on growth characteristics, application effect and optimization technology of *Ipomoea aquatica* floating bed were conducted, the application problems of it in eutrophication water were discussed, and the application prospect was forecasted.**Key words** *Ipomoea aquatica*; Floating bed; Eutrophication

人类活动导致的水体富营养化现象是当今世界水污染治理的难题, 并已成为全球最重要的环境问题之一<sup>[1]</sup>。治理水体富营养化的措施一般可分为物理、化学和生物方法, 生物修复方法具有无副作用、廉价和易操作等特点, 是当前富营养化水体治理研究的热点<sup>[2]</sup>。而作为一种新兴的生物生态修复方法——植物浮床技术, 由于它具有运行成本低、工程建设易行、效果良好、管理方便等优点, 在日本、德国和美国等一些西方发达国家得到广泛应用, 目前国内也有越来越多的环境工作者开始研究和应用这种技术<sup>[3]</sup>。

植物浮床技术是以浮床为载体实现高等植物在水面的种植, 并通过植物根部的吸收吸附作用和物种竞争相克机理, 削减富营养化水体中的氮磷及有机物质, 从而达到净化水质的目的。在浮床系统中, 植物处于核心地位, 选择何种植物或植物组合, 对于去除氮、磷至关重要。据不完全统计, 截至目前, 已研究的用于净化富营养化水体的高等植物近 80 余种, 有粮食作物(水稻)、蔬菜(丝瓜、水芹菜、水蕹菜、西洋菜、金针菜等)、花卉牧草(美人蕉、黑麦草、香根草、海芋等)

等<sup>[4]</sup>。从众多的研究结果看, 水蕹菜(*Ipomoea aquatica*)适应强、生长快、氮磷去除率高。为更好地促进水蕹菜浮床技术在富营养化水体中的应用, 笔者对水蕹菜浮床的试验研究及存在的问题进行了总结。

**1 水蕹菜浮床的生长特性**

水蕹菜俗称空心菜、藤菜、通菜、竹叶菜等, 为旋花科甘薯属 1 年生草本植物, 其根系发达, 生长快, 耐高温高湿, 抗病力强, 在我国长江流域及以南地区普遍栽培, 采收期从每年的 4 月开始可延续到 11 月。水蕹菜营养丰富, 富含各维生素、矿物质, 是夏季高温时期极为重要的绿叶蔬菜, 也是畜禽和鱼类的优质青饲料, 并具有良好的药用价值, 其味甘平无毒, 有温中通阳、理气宽胸、散瘀止痛之功效。

植物通过浮床栽种于水体, 改变了其原有的生长环境, 将会导致其生长特性改变。现有的研究结果显示, 浮床水蕹菜对富营养化水体的适应性很强, 试验存活率可达 99%, 且根茎叶生长效果比土培更好(表 1)<sup>[5]</sup>。

**表 1 浮床栽培与土壤栽培对水蕹菜生长特性的影响**

	鲜重//g				干重//g				含水率//%			
	总株	根	茎	叶	总株	根	茎	叶	总株	根	茎	叶
水培	792.5	128.8	385.5	170.5	70.0	31.0	18.5	10.8	91.0	89.5	92.0	91.2
土培	224.3	49.0	91.8	83.0	32.7	9.3	11.5	10.0	85.3	76.5	89.9	88.1

**2 水蕹菜浮床对富营养化水体的净化作用**

大多数植物都可以直接从水层或底泥吸收氮、磷, 并同化为自身的结构组成物质(蛋白质和核酸), 因此能对富营养化水体起到一定的修复效果<sup>[6]</sup>。水蕹菜浮床对受试水体中铵氮(NH<sub>4</sub>-N)、总氮(TN)、总磷(TP)和 COD 的去除效果已有较多报道<sup>[7-14]</sup>, 如表 2 所示。

**基金项目** 浙江省重点科技创新团队计划资助项目(2011R50029); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46-33); 杭州市科研院所技术开发研究专项(20132231E04)。

**作者简介** 林启存(1976-), 男, 浙江金华人, 高级工程师, 硕士, 从事水生动物病害防治与水域生态改良技术研究。

**收稿日期** 2014-08-25

由于研究条件不同, 去除率指标无可比性, 但从众多的研究文献可以看出, 水蕹菜浮床对不同水体的 TN、TP 等污染物指标均有良好的去除效果。黄婧等研究水蕹菜浮床对湖北大学环境工程污水(沙湖水) TN 的吸收量为 73.06 g/m<sup>2</sup>, 对 TP 的吸收量为 20.21 g/m<sup>2</sup><sup>[5]</sup>。唐林森研究水蕹菜浮岛对武汉市郊带有大量生活污水排入的池塘水 TN 的吸收量为 82.95 g/m<sup>2</sup>, 对 TP 的吸收量为 11.58 g/m<sup>2</sup><sup>[15]</sup>。可见, 水蕹菜能通过自身的代谢改良水体环境, 是一种可用于富营养化水体水质净化的优良植物。

**3 水蕹菜浮床优化技术**

**3.1 浮床载体的选择** 生物浮床一般由浮床框体、浮床床

表2 水蕹菜对不同受试水体  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TN、TP 和 COD 的去除率

%

受试水来源	水质	试验场所	$\text{NH}_4\text{-N}$ 去除率	TN 去除率	TP 去除率	COD 去除率
苏州苗家河	劣V类	塑料盆	93.9	92.9	94.30	37.00
镇江市玉带河	劣V类	塑料水箱	92.13	87.58	87.97	93.16
江苏洪泽鲤鱼养殖水	/	养殖池塘	19.23 ~ 46.34	9.04 ~ 36.56	33.33 ~ 45.10	3.13 ~ 19.05
鱼塘水	V类	塑料盆	79.35 ~ 91.39	62.30 ~ 68.98	77.95 ~ 78.88	/
中华鳖养殖水	/	池子	76.12	68.37	39.53	/
连云港泥鳅养殖水	/	玻璃缸	75.75	67.63	62.24	63.43
松江区虾塘养殖废水	劣V类	塑料缸	93.60	88.65	68.00	59.30
蟹岛度假村沼气池出水	/	塑料盆	98.37	/	91.45	61.00

体、浮床基质、浮床植物 4 个部分组成。由于水蕹菜对水体的适应性很强,根系发达且依靠自身浮力能浮于水面,因此水蕹菜浮床对基质和床体的要求不严,修复应用中一般很少用基质,床体可选择浮力较大的浮板,如塑料浮板、聚苯乙烯泡沫板等,也可用双层网片、绳结当床体。从床体成本、可操作性及美化环境角度综合考虑,双层网片法是目前水产养殖等富营养化水体中应用较多的水蕹菜浮床种植方式。浮床框体是浮床床体的外部固定结构,材质一般要求坚固、耐用并具有一定的浮力,如 PVC 管、木材、毛竹等,PVC 管无毒无污染、持久耐用、美观度好,但价格稍高于木头、毛竹。

**3.2 水蕹菜种类的筛选** 水蕹菜是我国以及亚洲地区常见的蔬菜,品种繁多,不同品种的水蕹菜具有不同的生理特性,对污染物的去除表现也不同。胡雄等运用浮床系统研究了华中地区 4 个常见水蕹菜品种(大叶青梗、细叶青梗、大叶白梗、柳叶白梗)在富营养池塘中的生长特性和对水体氮、磷的去除能力,发现大叶白梗在生长性能及去除氮磷方面都好于其他试验材料,是 4 个品种中最佳的浮床材料,可广泛用于池塘等相关富营养水体的修复<sup>[10]</sup>。

**3.3 水蕹菜种植密度及比例** 不同的栽植密度对植物的生长发育及产量会产生影响。赵泉等在校区生活污水池进行了水培蕹菜的 7 个栽种间隔(5、10、15、20、25、30、40 cm)密度试验,结果显示,蕹菜属于密植类,在间隔为 5 cm 时仍然能存活生长,在间隔为 20 cm 时成活率达到最大,在间隔为 10 cm 时水培蕹菜的产量和经济综合效益可达到最大<sup>[16]</sup>。黄海平等研究了不同栽种密度水蕹菜对水桶内富营养水质的净化特性及效果,结果表明,12 d 时高密度组(10 g/L)水蕹菜生长效果最佳,对水体 TN、TP 等的去除效果也最大<sup>[17]</sup>。

浮床系统主要依靠植物、微生物等组成的综合系统对水质起净化作用。对特定的水域而言,浮床植物栽种面积若过小,系统的净化效果不一定理想或明显;相反地,浮床植物栽种面积若过大,系统的遮阴作用可能会对池塘水温、溶解氧产生不利影响,还会增加投资成本,因此合理的覆盖率对保证水蕹菜浮床净水效果和提高生态效益非常重要。介子林等以鲤鱼种养殖为对象,研究了不同比例的水培水蕹菜对养殖水质的净化试验,结果显示,占水体面积 5% 水培水蕹菜可以有效地改善水质状况<sup>[18]</sup>。陈家长等研究了浮床栽培水蕹菜对集约化养殖鱼塘的净化作用,结果表明,水蕹菜覆盖率为 10% 和 20% 处理组通过收获水蕹菜直接从 1  $\text{hm}^2$  养殖池

塘中移出的 TN 分别为 27.51、52.35 kg,TP 分别为 2.83、5.39 kg;浮床的净化效果与覆盖率呈正相关关系,20% 处理组对各营养因子的去除率最高,具有实用价值<sup>[9]</sup>。于津研究了不同梯度的水蕹菜对乌鳢鱼池的消污作用,结果发现,20% 的覆盖率对 TN 和  $\text{NH}_4\text{-N}$  的去除率最高,30% 的覆盖率对  $\text{NO}_2\text{-N}$  亚硝酸盐的去除率最高,乌鳢增长率也最高,依据水质理化、生物学指标结合水蕹菜、乌鳢种养综合效益认为乌鳢池水蕹菜的适宜种植量为 20% ~ 30%<sup>[19]</sup>。

**3.4 水蕹菜刈割** 刈割作为一种农艺手段能提高作物和牧草地上部的再生能力,不同的刈割频率、强度对牧草的群体结构、生理生态、品质、干物质分配、生物量和产量以及草地生态系统产生不同程度的影响<sup>[20]</sup>。合理的刈割频度能促进牧草再生,从而提高地上部分的生物量和质量,但高频度刈割反而抑制牧草地上部分和根系的生长。孙倩倩等在田间进行了刈割频度对水蕹菜再生及饲草产量和品质的影响试验,结果表明,再生生长期内刈割 G3 次处理,蕹菜再生草鲜草、干物质产量均比刈割 G4 次处理高<sup>[21]</sup>。贾悦等在过水河道条件下研究了浮床水蕹菜不同采收周期(14 d 采收 1 次、21 d 采收 1 次、28 d 采收 1 次)和留茬高度(15、25、35 cm)组合对浮床植物生物产出的影响,结果表明,刈割后的浮床水蕹菜仍能够适应过水河道环境,并在其生长周期内持续生长,综合考虑产量、质量及浮床便捷管理,每 21 d 采收 1 次、留茬 15 cm 的采收方式效果最佳,此时新芽平均生长速率 1.88 cm/d,平均茎叶比 1,总生物量 1 966  $\text{g}/\text{m}^2$ <sup>[22]</sup>。黄海平等研究了植物收割对植物生长和水质的影响,结果表明,短期内植物收割可促进水蕹菜的分蘖及对氮磷元素的吸收固定,并改善水体的 DO,但对其生物量增长有抑制作用<sup>[17]</sup>。

#### 4 水蕹菜浮床技术应用和研究中存在的问题

**4.1 适用范围** 每种植物都有适宜自己生长的环境条件,栽培水域一旦超过其适宜生长的范围,将导致植物生长受阻,甚至枯萎、死亡。不同的污染水体,由于其污染物种类、浓度、存在状态及水体的其他理化性质可能相差较大,因此,在实际应用中应考虑以上因素,选用适宜的水蕹菜品种,设计合理的种植面积,以提高修复效率或降低应用成本。

**4.2 季节搭配** 水蕹菜是暖季植物,在冬季低温下会停止生长甚至枯萎死亡,直接影响浮床的净化效能。因此,应筛选出一些低温季节能够生长且水质净化能力高的植物与水蕹菜进行合理搭配,以提高作用水域常年的植物修复效果。

**4.3 劳动力效率** 目前,浮床制作或安装、水蔬菜种植、收割等人工浮床技术操作大多需手工完成,劳动力效率很低,如能提高人工浮床技术机械化的程度,将有助于该技术的推广。

**4.4 产品质量与安全** 将水蔬菜引入浮床种植已被证明是可行的,但关于不同富营养化水域生物浮床产出水蔬菜的质量及食品安全还有待于进一步调查和研究。

**4.5 净化机制** 目前,国内对水蔬菜浮床系统的净化效果研究虽较多,但对该技术的净化机制研究还较缺乏,特别是浮床系统中植物、微生物和水生动物之间的相互作用有待于深入探究。

## 5 展望

通过浮床种植水蔬菜,不仅可起到明显的水质生态净化作用,还可获得大量浮床水蔬菜产出,如作用水域水质满足无公害蔬菜的生产要求,将为水蔬菜的蔬菜栽培提供有效途径,并改变以往水体污染物净化只投入没有产出的状况,从而使这一技术具有更为广阔的应用前景。随着浮床技术研究的深入与水蔬菜栽培技术的成熟完善,水蔬菜浮床必将在水域生态修复应用中起到重要作用。

## 参考文献

- [1] 全为民,严力蛟.农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施[J].生态学报,2002,22(3):291-299.
- [2] 宋关玲.生物修复技术在水体富营养化治理中的应用[J].安徽农业科学,2007,35(27):8597-8598.
- [3] 李艳蕾,姜应,李兆华,等.陆生经济植物浮床去除富营养化水中氮素研究[J].环境科学与技术,2010,33(8):103-107.
- [4] 马克星,吴海卿,朱东海,等.生物浮床技术研究进展评述[J].农业环境与发展,2011(2):60-64.

(上接第 10110 页)

## 参考文献

- [1] 赵满全,刘汉涛,麻硕士,等.农牧交错区农田留茬和秸秆覆盖对地表风蚀的影响[C]//卢良恕.2006 中国科协年会农业分会场论文集.中国农学通报报社,2006.
- [2] 秦红灵,李春阳,高旺盛,等.北方农牧交错带干旱区保护性耕作对土壤水分的影响研究[J].干旱地区农业研究,2005(6):53-54.
- [3] 莫宏伟,刘礼英,任志远,等.农牧交错区耕地净第一性生产力动态变化研究——以陕西榆林市榆阳区为例[J].干旱地区农业研究,2007(7):34-35.
- [4] 赵艳霞,刘欣,秦颜杰,等.河北省农牧交错区 LUCC 及其对生态脆弱性的影响[J].水土保持研究,2011(5):13-14.
- [5] 赵成义,王玉朝,李志良,等.西北干旱区退耕还林(草)后沿海水土资源开发的优化模式研究[J].干旱区地理,2002(4):33-35.
- [6] 吴铃.松嫩平原农牧交错区优化生态-生产范式[D].北京:中国科学院研究生院(植物研究所),2005.
- [7] 王保国.内蒙古阿荣旗高寒玉米种植区域北移近 200 公里[N].农民日报,2014-04-14.
- [8] 谭福忠,刘兴焱,杨耿斌,等.中国北部地区极早熟玉米的生产及发展方向[J].中国种业,2007(7):43-44.
- [9] 王巍,刘兴焱,谭福忠,等.高纬度地区极早熟玉米育种的现状与育种策略[J].作物杂志,2005(2):23-24.
- [10] 金振国.不同环境条件对玉米丝黑穗病发病率的影响[J].种子世界,

- [5] 黄婧,林惠凤,朱联东,等.浮床水培蔬菜的生物学特征及水质净化效果[J].环境科学与管理,2008,33(12):92-94.
- [6] 卢进登,帅方敏,赵丽娅,等.人工生物浮床技术治理富营养化水体的植物遴选[J].湖北大学学报:自然科学版,2005,27(4):402-404.
- [7] 李欲如,操家顺,徐峰,等.水蔬菜对苏州重污染水体净化功能的研究[J].环境污染与防治,2006,28(1):69-71.
- [8] 汪松美,周晓红,储金宇,等.空心菜浮床+仿生植物系统对污染物去除效果[J].环境科学与技术,2013,36(3):78-82.
- [9] 陈家长,孟顺龙,胡庚东,等.空心菜浮床栽培对集约化养殖鱼塘水质的影响[J].生态与农村环境学报,2010,26(2):155-159.
- [10] 胡雄,谢从新,何绪刚,等.几种空心菜在富营养池塘中的生长特性和去除氮磷效果比较[J].渔业现代化,2010,37(3):9-14.
- [11] 牛英豪,孙红岩,刘文青,等.水生蔬菜生物浮床净化中华鳖养殖水质的研究[J].河北渔业,2014(3):5-10.
- [12] 杨晓玲,郭金耀.水蔬菜对富营养化养殖水的净化作用研究[J].作物杂志,2012(1):49-52.
- [13] 武艳,李华,张明,等.水生经济植物对虾塘养殖废水的净化能力研究[J].安徽农学通报,2011,17(5):36-37,50.
- [14] 余俊任,林聪,张晓军,等.水生植物净化规模化猪场厌氧发酵水的影响研究[J].可再生能源,2007,25(2):52-55.
- [15] 唐林森.湖北农村地区富营养化水体的人工生态浮岛技术修复研究[J].农业环境与发展,2010(4):56-58,64.
- [16] 赵泉,朱联东,李艳蕾,等.富营养化水体中水培蔬菜的种植密度研究[J].资源开发与市场,2011,27(1):1-3.
- [17] 黄海平,谢从新,何绪刚,等.密度和收割对水蔬菜净水效果的影响[J].渔业现代化,2012,39(1):22-26,39.
- [18] 介子林,张坤,周晓林.水培空心菜优化比例试验研究[J].河南水产,2009(1):33-34,26.
- [19] 于津.乌鳢池水体氮、磷污染及水蔬菜等水生植物消污作用的研究[D].长沙:湖南农业大学,2011.
- [20] 周晓红,王国祥,杨飞,等.刈割对生态浮床植物黑麦草光合作用及其对氮磷等净化效果的影响[J].环境科学,2008,29(12):3393-3399.
- [21] 孙倩倩,沈益新.施氮和刈割频率对蔬菜再生及饲草产量和品质的影响[J].草原与草坪,2010,30(1):14-19.
- [22] 贾悦,李秀珍,唐莹莹,等.不同采收方式对富营养河道浮床空心菜生物产出的影响[J].生态学杂志,2011,30(6):1091-1099.

2011(9):30-31.

- [11] 曹士亮.玉米丝黑穗病遗传育种研究进展[J].黑龙江农业科学,2009(6):157-159.
- [12] 石爱丽,高立起,张玲,等.夏玉米丝黑穗病菌保存环境与致病力关系研究[J].河北农业科学,2013,17(2):64-67.
- [13] 苏前富,王巍巍,宋淑云,等.防治玉米丝黑穗病种衣剂的筛选试验[J].吉林农业科学,2009,34(5):33-34.
- [14] 董立,马继芳,郑直,等.3 种拌种剂防治玉米丝黑穗病的效果比较[J].中国植保导报,2012,32(1):52-53.
- [15] 季志强.加强区域试验地块及田间管理措施[J].陕西农业科学,2010(2):238.
- [16] 季志强.依据合同管理繁种基地[J].种子科技,2000(4):208.
- [17] 季志强,盖颜欣,杨青林,等.细化农作物区域试验工作,提高区域试验精度[J].中国种业,2010(7):34.
- [18] 季志强,杨青林,桑利民,等.玉米自交系防杂保纯繁殖技术[J].农业科技通讯,2011(6):133-135.
- [19] 季志强,桑利民,杨青林,等.玉米南繁育种的技术要点[J].种子世界,2011(4):37.
- [20] 方华,李青松,郭玉伟,等.中国玉米品种生育期研究[J].河北农业科学,2010(4):20-22.
- [21] 李青松,方华,郭玉伟,等.春玉米品种熟期类型划分研究[J].河北农业科学,2010(9):32-34.