

复合立体生物浮床技术对微污染水体氮磷的去除效果

张毅敏, 高月香, 吴小敏, 陈楚星, 魏京玲 (环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘要: 复合立体生物浮床技术是一种有效的水体污染控制技术。利用竹子制成网格状的立体框架, 安放植物、螺蚌等, 同时配以弹性材料, 形成复合生物浮床。选用芋头、慈姑、荸荠、水芹、薹菜和美人蕉作为浮床植物, 研究其在夏季和秋季对微污染水体中氮磷的去除效果。结果表明, 在夏季试验中, 薹菜浮床 > 美人蕉浮床、荸荠浮床、芋头浮床 > 慈姑浮床、水芹浮床; 在秋季试验中, 芋头浮床 > 慈姑浮床、美人蕉浮床、薹菜浮床 > 荸荠浮床、水芹浮床。在夏季、秋季试验中, 芋头浮床的除氮效果一直很好, 对总氮的最大去除率分别达 71% 和 62%; 而薹菜浮床的除磷效果一直很好, 对总磷的最大去除率分别达 30% 和 8%。比较了复合立体浮床与传统平面浮床对总氮、总磷处理效果的差异, 指出复合立体浮床技术在微污染水体的生态修复方面具有较好的应用前景。

关键词: 复合立体生物浮床; 氮; 磷; 去除效果; 微污染水体

中图分类号: X52 文献标志码: A 文章编号: 1673- 4831(2010)S1- 0024- 06

Effect of the Technique of Complex Three-Dimensional Ecological Floating-Bed in Removing N and P From Slightly Polluted Water Body ZHANG Yimin, GAO Yue-xiang, WU Xiaomin, CHEN Chuxing, WEI Jingling (Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China)

Abstract The technique of complex three-dimensional ecological floating-bed is an effective water pollution control technology. The complex floating-bed is composed of a framework with grids made of bamboo plants and mollusks such as snails and mussels on the grids, an elastic material placed on or under the framework. *Colocasia esculenta*, *Sagittaria sagittifolia*, *Eleocharis dulcis*, *Oenanthe javanica*, *Iponoea aquatica* and *Ganna generalis* were used as subjects in the research on their effect in removing nitrogen and phosphorus from slightly polluted water body in summer and fall. Results show that the N and P removing effects of the six floating-beds different in plant on the bed followed the order of *Iponoea aquatica* > *Ganna generalis*, *Eleocharis dulcis*, *Colocasia esculenta* > *Sagittaria sagittifolia*, *Oenanthe javanica* in summer and *Colocasia esculenta* > *Sagittaria sagittifolia*, *Ganna generalis*, *Iponoea aquatica* > *Eleocharis dulcis*, *Oenanthe javanica* in fall. Obviously *Colocasia esculenta* showed good N-removing effect in both summer and fall with maximum removal rate reaching 71% and 62%, respectively, of total N, while *Iponoea aquatica* is good in P removing with maximum removal rate reaching 30% and 8%, respectively, of total P. Comparison between the new floating-bed with the traditional flat floating bed in N and P removing effect demonstrates that the former enjoys a bright prospect in application to ecological remediation of slightly polluted water bodies.

Key words complex three-dimensional ecological floating-bed; nitrogen; phosphorus; removal effect; slightly polluted water body

生态浮床技术是一种非常有效的水体氮磷净化技术, 因其具有净化水质、促进生物多样性、形成人造景观等方面的功能及经济潜力(浮床上可以栽种蔬菜、饲料等经济物种), 已在国内外得到广泛应用, 但一般的生态浮床仍存在处理效果不稳定、牢固性及抗风浪性较差、浮床支架聚苯乙烯泡沫板易产生二次污染等问题。笔者在生物浮床技术基础上, 利用竹架、竹篓、弹性材料、植物、动物等研制开发了立体复合生物浮床, 利用水生植物(水生蔬菜和水生花卉)对水体中 N、P 等营养物质的吸收, 以及植物根系微生物、弹性材料生物膜、螺、蚌等的净化作用, 提高水体中 N、P 的去除效率, 加上浮床支架材

料——竹子的特殊性, 使其具有成本低廉、耐用程度好、无二次污染等优点。

1 复合立体生物浮床

1.1 基本结构

复合立体生物浮床由用竹子制成网格状的 3 层立体框架构成, 上层竹子框架节点处安放植物, 中层框架节点处固定装有螺、蚌的网袋, 沿竹状网格下装

基金项目: 国家“十一五”重大科技专项(2008ZX07101-007); 国家“十五”重大科技专项(2002AA601012-4)

收稿日期: 2010-11-05

有由悬线形聚乙烯与聚丙烯制成的线形或球形弹性材料。图 1 为复合立体生物浮床结构示意图 (专利号: ZL200410065239.3)。

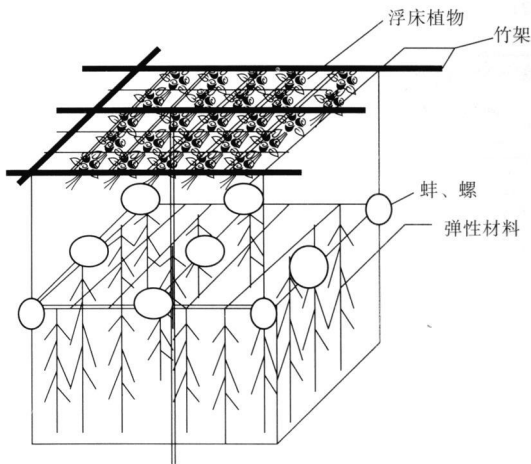


图 1 复合立体生物浮床结构示意图

Fig 1 Schematic diagram of the complex three-dimensional ecological floating bed

1.2 工作原理

水生植物的自身生长需要从水体中吸收大量营养物质,随着植物的快速生长,水体中营养物质转移到植物体中,通过不断地收获植物体,营养物质被移出水体从而达到去除目的^[1]。另外,丰富的植物根系形成了一个根区微环境,根区丰富的好氧菌、厌氧菌、兼性菌通过硝化和反硝化作用将 N 以 NH_4^+ -N 和 N_2 形式移出水体。P 则通过磷酸盐沉降并固结在基质上,或转化为可溶性磷再被植物吸收。

水深超过 1.5 m 后,透明度下降,光照减弱,水生植物的生长受到限制,即使是沉水植物,也难以生长。因此当水深超过一定限度后,水生植物净化水体的能力大大减弱。沿竹状网格下安装的由悬线形聚乙烯或聚丙烯制成的弹性材料比表面积较大,形成生物膜,可以解决在深水条件下植物生长因受到光照制约而不能较好发挥作用的难题。生物膜由细菌、真菌、藻类、原生动物、后生动物以及一些肉眼可见的蠕虫、昆虫的幼虫组成,它呈蓬松絮状,具有较强的吸附能力。这些微生物吸附水体中的有机物,并迅速将其降解,逐渐在介质上形成更厚的膜,在污水处理过程中生物膜总是在不断地增长、更新、脱落。由于膜增厚造成质量增大,以及厌氧层和介质的黏结力较弱等因素,导致膜脱落。脱落的膜将不断沉积在水体底部,从而去除水中 N、P 等营养物质。

底栖软体动物对富营养化水体也具有明显的净

化作用,通过增加螺蛳、河蚌放养量,可补充底栖动物资源数量,增加系统稳定性,促进物质循环,达到净化水质的目的^[2]。

2 材料与方法

2.1 不同季节不同浮床植物对污染物的去除效果

2.1.1 材料

浮床植物的选择:(1)尽可能选择来源方便且适应能力较好的本地土著种类;(2)根系发达;(3)生长量大,繁殖能力强;(4)具有一定的经济价值或观赏价值。根据以上原则,选定 6 种植物作为试验材料,包括改良后的陆生花卉美人蕉 (*Canna indica*) 和蔬菜芋头 (*Colocasia esculenta*)、慈姑 (*Sagittaria sagittifolia*)、荸荠 (*Eleocharis dulcis*)、水芹 (*Oenanthe javanica*)、薹菜 (*Ipomoea aquatica*),所选植物均从本地池塘、河道中采集,再移到试验场地栽种。

2.1.2 方法

采用容积 210 L (50 cm × 70 cm × 60 cm) 的水箱,试验用水取自河道,试验前测定水体的本底参数值(表 1)。水箱中不加底泥,用竹子等材料将植物固定于水箱中,同时设置空白对照组。试验期间定期补水,以补充因吸收、蒸发、蒸腾而损失的水分,维持水箱中水面高度为 40 cm。

试验分夏季和秋季 2 个批次,时间分别为 8 月 3 日—9 月 8 日和 9 月 25 日—11 月 2 日。

2.2 复合立体生物浮床对污染物的净化效果

2.2.1 复合立体生物浮床的构建

利用竹子制成网格状的立体框架,安放植物以及螺、蚌等软体动物,同时配以弹性材料,形成单个复合立体生物浮床。用尼龙绳将单个浮床进行串联并用竹子固定在河道内。

植物的选择与配置:(1)由于不同水生植物对各种污染物的净化效果不同,选择去氮效果较好的薹菜和去磷效果较好的芋头进行适当配合,以提高水体的总体净化效率;(2)由于植物生长的季节性差异,选择薹菜、芋头、慈姑 3 种喜温植物,以及在深秋和早春生长较好的水芹,以保证浮床的周年净化效果;(3)考虑景观美化效果,选择污染物去除效果较好的美人蕉作为浮床植物。

2.2.2 试验区域的布置

在野外现场某河道选取 50 m 长范围,用隔板划分成 2 个 25 m 长的试验区域,每个区域面积约为 $25 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 75 \text{ m}^2$ 。在区域 1 设置复合立体浮床和平面浮床各 1 个试验组,在区域 2 布置薹菜、慈姑、芋头的复合立体浮床,见图 2。

表 1 2 个批次试验用水的水质

Table 1 Water quality used in the two experiments

季节	水温 / °C	$\rho / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$					
		TP	PO_4^{3-}	TN	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	NO_3^-	COD
夏	30 ± 1	1.315 ± 0.272	1.013 ± 0.190	2.549 ± 0.421	1.619 ± 0.345	0.016 ± 0.005	17.381 ± 1.369
秋	25 ± 1	0.407 ± 0.050	0.317 ± 0.043	1.747 ± 0.606	0.498 ± 0.198	0.457 ± 0.256	13.699 ± 1.594

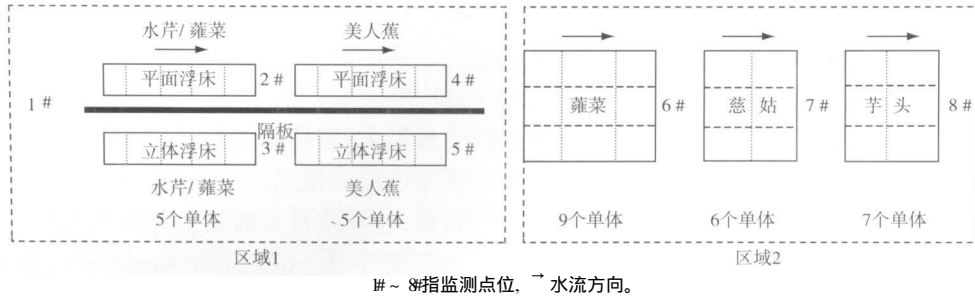


图 2 试验区平面布置
Fig 2 Layout of the experimental zone

3 结果与分析

3.1 不同季节不同浮床植物对污染物的去除效果

3.1.1 不同季节不同水生植物对 TP 的去除效果

由图 3 可知, 在平均温度为 30 °C 的夏季试验中, 种植荸荠、蕹菜的水体中, TP 浓度有所降低, 最大去除率分别为 48% 和 30%, 高于对照组 (5.6%)。在试验前期美人蕉去除效果较好, 但随

时间增加去除率逐渐降低。其他试验组对 TP 的去除效果较差。

由图 3 可知, 在平均温度为 25 °C 的秋季试验中, 不同浮床植物对 TP 的总体去除效果好于夏季试验, 蕹菜、芋头、慈姑对水体中 TP 的去除率高于对照组, 其中蕹菜的最大去除率达到 81%。其他试验组对 TP 的去除效果较差。

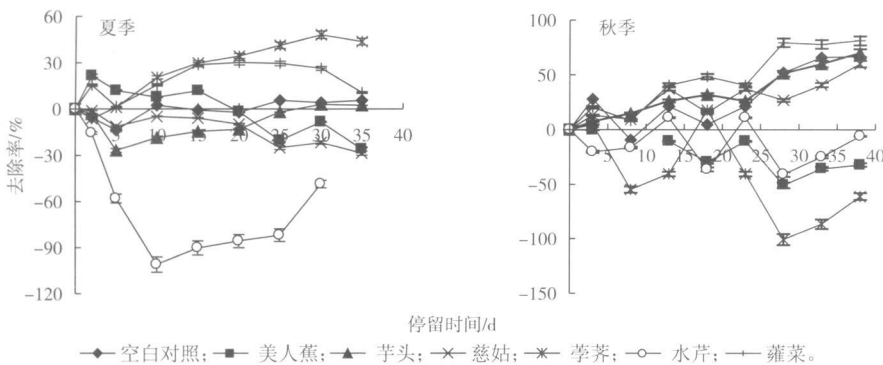


图 3 不同季节 7 种浮床植物对总磷的去除率
Fig 3 TP removal rate of 7 different plants on the floating-bed in different seasons

3.1.2 不同季节不同水生植物对 TN 的去除效果

由图 4 可知, 夏季试验中大部分水生植物对 TN 的去除率均高于对照组。其中, 芋头的去除效果最好, 最大去除率达 71%, 且随着时间增加而不断增加; 慈姑、美人蕉的最大去除率也 > 50%, 且效果比较稳定, 试验 15 d 内去除率不断增加, 随后保持一

定的去除水平; 而荸荠和水芹的去除效果不佳。

由图 4 还可知, 秋季试验中水生植物对水体中 TN 的去除效果不如夏季试验。芋头的去除效果较好, 最大去除率达 62%; 美人蕉、蕹菜的最大去除率也 > 50%, 但与对照组持平。其他试验组水体中 TN 浓度不断增加, 去除效果不佳。

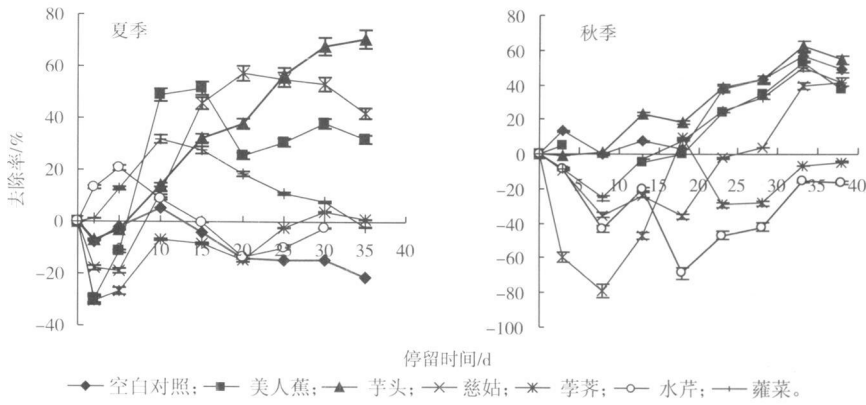


图 4 不同季节 7种浮床植物对总氮的去除率

Fig 4 TN removal rate of 7 different plants on the floating bed in different seasons

3 2 复合立体种类生物浮床净化效果

3 2 1 不同植物浮床的净化效果比较

分析比较了区域 2(图 2)内的薺菜、慈姑和芋

头浮床对 TN、TP 的去除效果(图 5)。结果表明,除个别月份外,薺菜浮床对 N、P 有较好的去除效果,芋头浮床次之,而慈姑浮床对 N、P 的去除效果不明显。

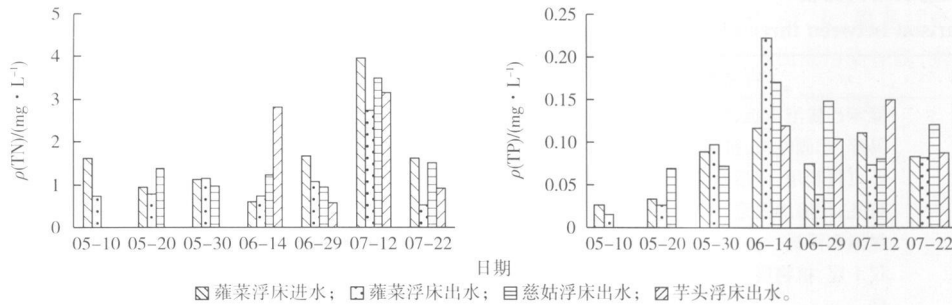


图 5 不同植物浮床对 TN、TP 的去除效果

Fig 5 TN and TP removal effects of floating beds different in plant

3 2 2 立体浮床与平面浮床的净化效果比较

分析比较了区域 1(图 2)内立体浮床与平面浮床对 TN、TP 的去除效果(图 6)。结果表明,流经立体浮床与平面浮床后的水体中 TN、TP 浓度总体均呈下降趋势,且立体浮床对 TN、TP 的处理效果好于平面浮床,但水芹浮床的去除效果不够理想。

污染负荷条件下,不同水生植物对 N、P 的去除效果各不相同。在夏季试验中,综合氮磷的去除效果,以薺菜最优,美人蕉、荸荠、芋头次之,慈姑和水芹最差;在秋季试验中,以芋头最优,慈姑、美人蕉、薺菜次之,荸荠、水芹最差。在夏季和秋季 2 次试验中,薺菜对磷的净化效果一直很好,对总磷的最大去除率分别达 30% 和 81%;芋头对氮的净化效果一直很好,对总氮的最大去除率分别达 71% 和 62%。

与一般浮床^[3-8]相比,一方面,复合立体生物浮床充分发挥植物、软体动物、弹性材料的共同作用,提高了对 N、P 的去除效果;另一方面,其制作材料——竹子的价格低廉且易于获得,与泡沫材料相比,其耐用性和防止二次污染的性能较好。3 种浮床性能与结构比较见表 2。

水芹在 2 次试验中对水体中营养物质的去除效果都很差,与以往的研究^[9]有较大差异,这可能是因为在夏季和初秋并不是水芹生长的最佳季节,水芹长势一直不佳。秋季试验结束后继续对水芹进行观察并取样分析。试验时间为 11 月 2 日—11 月 29 日,结果见图 7。

4 讨论

试验结果表明,在不同温度(不同季节)和不同

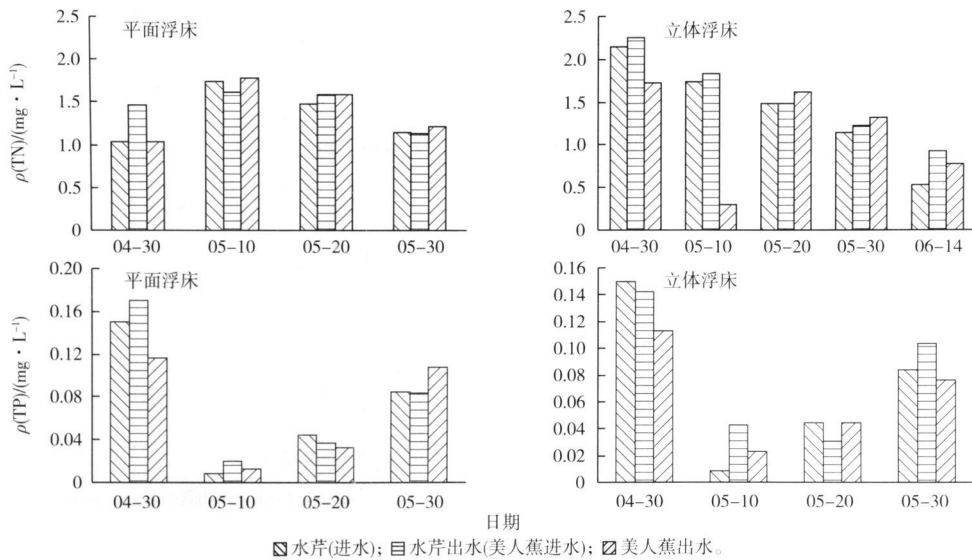


图 6 平面浮床与立体浮床对 TN、TP 的去除效果

Fig 6 TN and TP removal effects of flat floating bed and three-dimensional floating bed

表 2 3 种浮床性能及结构比较

Table 2 Comparison between three kinds of floating beds in performance and structure

性能及结构	常见浮床	平面生物浮床	立体生物浮床
支架材料	聚苯乙烯泡沫板, 化学合成材料	毛竹, 天然材料	毛竹, 天然材料
稳定性	易碎, 牢固性差, 抗风浪性能差	牢固, 以单头相连, 抗风浪性能好	牢固, 以单头相连, 抗风浪性能好
可利用性和污染性	不可再利用, 碎后易造成二次污染	可再利用, 不会造成二次污染	可再利用, 不会造成二次污染
植物固着方式	打孔, 用海绵固定	置于小篓子中	置于小篓子中
个体间连接方式	绳索和浮桶	绳索和竹子, 无浮桶	绳索和竹子, 无浮桶
结构特点	仅 1 层, 植物层	仅 1 层, 植物层	分 3 层, 包括植物层、弹性材料层和螺蚌层
净化效果	佳	佳	更佳
支架材料价格 ¹⁾	36元·m ⁻²	12元·m ⁻²	20元·m ⁻²
单元个体价格 ¹⁾ 和规格	400元·个 ⁻¹ , 1.5m×1.0m	100元·个 ⁻¹ , 2.0m×2.0m	250元·个 ⁻¹ , 2.0m×2.0m×1.0m

1)按 2005 年市场价计。

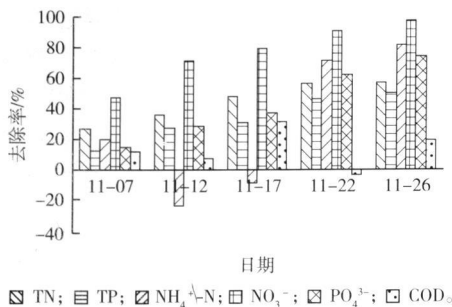


图 7 水芹对水体中营养物质的去除

Fig 7 Eutrophic salt removing rate of *Oenanthe javanica*

由图 7 可知, 11 月是水芹最佳的生长季节, 水芹长势良好, 对水体中各种营养物质都具有较高的去除率, 对总磷、总氮的最大去除率均 > 50%。水芹是耐寒植物, 每年 11 月至翌年 3 月采收^[10-11], 期间植株长势很好且具有较好的绿化效果和水质净化效

果^[12-14]。水芹采收期长, 而且正值春节前后, 经济效益好, 不仅可以满足冬春淡季蔬菜的供应, 而且可以净化水体, 取得农业生产与环境保护“双赢”。

5 结论

采用竹架、竹篓、弹性材料、植物、动物等构建复合立体生物浮床, 利用水生植物(水生蔬菜和水生花卉)对水体中 N、P 等营养物质的吸收, 以及植物根系微生物、弹性材料生物膜、螺、蚌等的净化作用, 达到改善水质的目的。

植物的选择配置是构建立体复合生物浮床的关键, 笔者从经济价值、观赏价值以及保障周年运行等角度出发, 选择水生蔬菜和水生花卉作为试验对象, 分析了不同季节不同植物浮床对 TN、TP 的净化效率。在此基础上, 选择处理效果较好的蕹菜、慈姑和芋头, 并搭配具有观赏价值的美人蕉以及低温条件

下能正常生长的水芹作为浮床植物。同时,对复合立体浮床与传统平面浮床进行比较后发现,复合立体生物浮床不仅对 N、P 的去除效果优于一般浮床,而且具有成本低廉、耐用程度好、无二次污染等优点,在富营养化水体治理中将具有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 任照阳,邓春光.生态浮床技术应用研究进展[J].农业环境科学学报,2007,26(增刊):261-263.
- [2] 全为民,沈新强,严力蛟.富营养化水体生物净化效应的研究进展[J].应用生态学报,2003,14(11):2057-2061.
- [3] 宋祥甫,应火冬,朱敏,等.自然水域无土栽培水稻研究[J].中国农业科学,1991,14(4):8-13.
- [4] MIYAZAKI A, KUBOTA F, AGATA W, *et al.* Plant Production and Water Purification Efficiency by Rice and Umbrella Plants Grown in a Floating Culture System Under Various Water Environmental Conditions[J]. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University, 2000, 45(1): 29-38.
- [5] 吴伟明,宋祥甫,金千瑜,等.鱼塘水面无土栽培美人蕉研究[J].应用与环境生物学报,2000,6(3):206-210.
- [6] 马立珊,骆永明,吴龙华,等.浮床香根草对富营养化水体氮磷去除动态及效率的初步研究[J].土壤,2000,31(2):99-101.
- [7] 吴伟明,宋祥甫,邹国燕.利用水上栽培方法研究水稻根系[J].中国水稻科学,2000,14(3):189-192.
- [8] 周小平,王建国,薛利红,等.浮床植物系统对富营养化水体中氮、磷净化特征的初步研究[J].应用生态学报,2005,16(11):2199-2203.
- [9] 王旭明,匡晶.水芹菜对污水净化的研究[J].农业环境保护,1999,18(1):34-35.
- [10] 董玲,陈静娴,廖华俊,等.水芹组织培养与快繁[J].植物生理学通讯,2003,6(3):235.
- [11] 朱建清,王铸庭,胡慧根.水芹的生物学特性及高产栽培技术初探[J].上海农业科技,2006(4):97-98.
- [12] 李欲如,操家顺.冬季低温条件下浮床植物对富营养化水体的净化效果[J].环境污染与防治,2005,27(7):505-507.
- [13] 严以新,操家顺,李欲如.冬-春季浮床技术净化重污染河水的动态试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(2):119-122.
- [14] 郑翀,孙梅,郑少奎,等.低温下水芹浮床对氨氮类富营养水体的连续小试净化[J].环境污染治理技术与设备,2006(8):23-26.

作者简介:张毅敏(1965—),女,黑龙江齐齐哈尔人,研究员,博士,主要研究方向为面源污染控制、湖泊富营养化与水体生态修复。E-mail: zym@nies.org