

朱华兵, 严少华, 封克, 等. 水葫芦和香蒲对富营养化水体及其底泥养分的吸收[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(2): 326-331.

水葫芦和香蒲对富营养化水体及其底泥养分的吸收

朱华兵¹, 严少华², 封克¹, 邹乐², 刘海琴², 张志勇²

(1. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225009; 2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 为探明水葫芦、香蒲改善富营养化水体水质的效果及其对底泥养分释放的影响, 以其为试材, 采用人工模拟试验方法, 分析其对不同富营养化水体及其底泥养分吸收的情况。结果显示: 水葫芦比香蒲有更好的适应性, 在不同浓度的水体中生物量快速增加, 而香蒲则需要较长的适应期; 在总氮、总磷浓度分别为 3.2~14.2 mg/L 和 0.2~1.0 mg/L 的富营养化水体中, 水葫芦、香蒲均可有效地消减上覆水中总氮和总磷。处理 3 个月后, 水葫芦净化系统的总氮、总磷浓度分别降至 0.84~0.86 mg/L、0.035~0.044 mg/L, 对水体总氮、总磷的去除量分别为 72.0%~94.0%、82.5%~98.1%, 总氮、总磷的负荷去除量分别为 18.4~105.8 mg/(m²·d)、1.3~7.6 mg/(m²·d); 香蒲净化系统的总氮、总磷的浓度分别降至 0.96~1.09 mg/L、0.030~0.062 mg/L, 对总氮、总磷的去除率分别为 66.0%~92.8%、77.0%~93.8%, 总氮、总磷的负荷去除量分别为 8.4~52.3 mg/(m²·d)、0.6~3.7 mg/(m²·d)。表明水生植物水葫芦和香蒲可有效消减富营养化湖泊水体氮、磷等内源污染物, 对富营养化水体水质具有良好的改善效果。

关键词: 水葫芦; 香蒲; 富营养化水体; 氮; 磷; 底泥

中图分类号: X524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2012)02-0326-06

Nutrients uptake in eutrophic water and sediment by water hyacinth and cattail

ZHU Hua-bing¹, YAN Shao-hua², FENG Ke¹, ZOU Le², LIU Hai-qin², ZHANG Zhi-yong²

(1. Institute of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. Institute of Agricultural Resource and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Water hyacinth and cattail were employed as experimental materials to study their effects on the purification of eutrophic water and nutrients release from sediment. The results showed that water hyacinth grown in eutrophic water with different concentrations of total nitrogen(TN) and total phosphorus (TP) had a more rapid increase in biomass than cattail, indicating that water hyacinth owned a better adaptability to different concentrations of TN and TP. Cultivation of both water hyacinth and cattail effectively reduced TN and TP in the overlying water with initial concentrations of 3.2-14.2 mg/L for TN and 0.2-1.0 mg/L for TP. After three-month water hyacinth treatment, the concentrations of TN and TP in overlying water were decreased to 0.84-0.86 mg/L and 0.035-0.044 mg/L, respectively, the removal rates of TN and TP were 72.0%-94.0% and 82.5%-98.1%, and the load removal rates of TN and TP were 18.4-105.8 mg/(m²·d) and 1.3-7.6 mg/(m²·d), respectively. The concentrations of TN and TP in cattail purification system was lowered to 0.96-1.09 mg/L and 0.030-0.062 mg/L, respectively, the removal rates of TN and TP were 66.0%-92.8% and 77.0%-93.8%, and the load removal rates of TN and TP were 8.4 - 52.3 mg/(m²·d) and 0.6 - 3.7 mg/(m²·d), respectively. It indicated that cultivation of water hyacinth and cattail reduced the endogenous N and P

收稿日期: 2011-04-24

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX(10429)]

作者简介: 朱华兵 (1985-), 男, 江苏兴化人, 硕士研究生, 研究方向为水体富营养化治理。(Tel) 025-84391231; (E-mail) zhu-huabing1985@163.com

通讯作者: 张志勇, (Tel) 025-84391231; (E-mail) jaaszyzhang@jaas.ac.cn

in eutrophic lakes and improved water quality.

Key words: water hyacinth; cattail; eutrophic water; nitrogen; phosphorus

富营养化水体治理是当今世界性难题。当外源污染得到有效控制或者完全被截断后,底泥则成为主要的内源污染源。累积于底泥中的各类无机和有机污染物通过与上覆水体间的物理、化学和生物交换作用,在一定条件下可重新释放出来污染上覆水体。对瑞典一个湖泊的研究结果表明,夏季水体总营养量的99%来源于沉积物^[1]。美国发生的2 000多起有关鱼类消费问题的事件,多次证实是底泥引起的污染^[2]。目前控制底泥污染已经受到高度重视。

试验证明水生植物能有效去除水体中的氮和磷^[3-10]。在富营养化水体中,一般来说,底泥与上覆水中氮磷营养盐浓度处于一个动态平衡状态^[11-14]。水生植物修复富营养化水体时,水体营养盐浓度降低,打破了上覆水与底泥的营养平衡。先前的研究主要集中于水生植物有效去除水体中的氮和磷,而有关水生植物-上覆水-底泥间营养盐的交换与动态变化则少见报道。本研究以对富营养化水体具有良好净化效果的水葫芦和香蒲作为试材^[7-10],采用人工模拟培养试验方法,分析比较不同类型水生植物对富营养化水体的改善效果,试图探明净化过程中底泥间隙水营养盐浓度的变化,旨在为利用水生植物修复污染水体和有效消减富营养化湖泊内源污染负荷提供理论依据。

1 材料与方法

试验在江苏省农业科学院室外实验场进行,试验时间为2010年8月22日至11月18日。试验装置为内径50 cm,高100 cm的PVC桶。每个桶内放置45 kg鲜太湖底泥,厚度约25 cm,种养水葫芦的试验用水为140 L。考虑到香蒲不能在很深的上覆水中正常生长,种养香蒲的装置实验用水为70 L。水葫芦初始放养量为2.0 kg/m²,每桶约400 g,控制覆盖度为80%;香蒲投放量按地上部计算0.5 kg/m²。

试验设计3种不同富营养化水体,均为江苏省农业科学院1号塘污水加入NH₄NO₃和KH₂PO₄配制而成,富营养化水体I的氮、磷浓度略高于国家地表水质量标准V类水;富营养化水体II的氮、磷浓度约为富营养化水体I的2倍;富营养化水体III的氮、

磷浓度接近城镇污水处理厂一级A标准出水。3种富营养化水体的平均初始水质指标见表1。每种富营养化水体又设计:种养水葫芦、种养香蒲、无植物对照。每个处理3次重复。试验前期(8月22日至9月19日)每4 d采1次样,试验中后期(9月20日至11月18日)每7 d采1次样,采样同时测定DO(溶解氧)值和pH值。间隙水水样采用可以原位分层次采样的间隙水采样器^[15]。测定上覆水水样中的总氮、总磷、NH₄⁺-N(铵态氮)和NO₃⁻-N(硝态氮)含量。测定间隙水水样中的硝态氮、铵态氮和磷酸根含量。试验初期和收获期采集植物样本,测定植物生长特性、生物量、含水率、总氮和总磷含量。

表1 不同富营养化水体的初始水质指标

Table 1 Initial water quality in different eutrophic water bodies

富营养化水体	pH	溶解氧	总氮 总磷	
			(mg/L)	
I(低)	9.7	8.30	3.20	0.20
II(中)	9.9	7.10	7.00	0.56
III(高)	9.5	8.90	14.20	1.00

水样中的总氮、总磷、NH₄⁺和NO₃⁻使用Seal公司的AA3流动分析仪测定。DO值采用JPB2607型便携式溶氧仪测定。pH值采用PHB-5笔式pH计测定。植株的总氮经过H₂O₂-H₂SO₄消煮后采用半微量蒸馏定氮法测定^[16]。植株的TP经过H₂O₂-H₂SO₄消煮后采用钼蓝比色法测定^[16]。单位面积植物吸收的氮或者磷总量(*m*)按下式计算:

$$m = (M_2 \times L_2 \times N_2 - M_1 \times L_1 \times N_1) / s$$

式中M₂为植物收获期的鲜重;L₂为收获期植物的含水率;N₂为收获期植株中氮或者磷的百分含量;M₁为植物初始鲜重;L₁为植物初始含水率;N₁为植物初始氮或磷的百分含量;s为上覆水水面面积。

2 结果

2.1 水生植物对上覆水总氮的净化效果

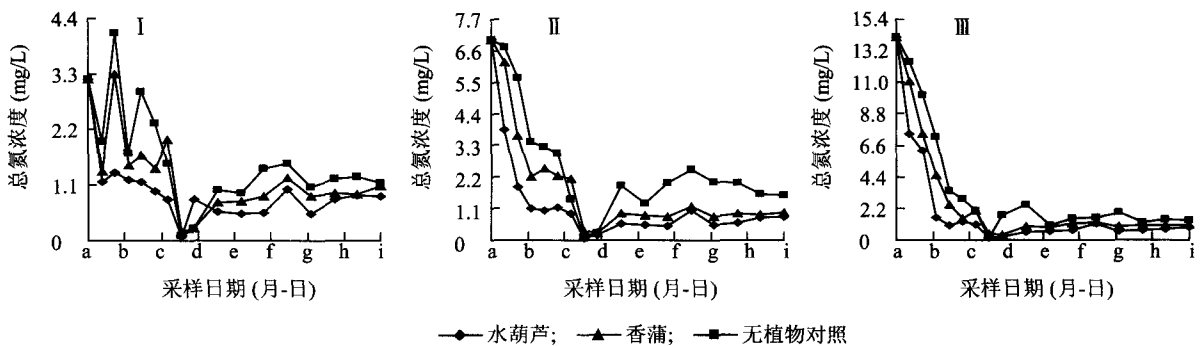
图1显示,在I、II和III这3种浓度富营养化水体中,2011年8月22日至11月18日水葫芦净化系统上覆水总氮的浓度分别从3.20 mg/L、7.00 mg/L和

14.20 mg/L 降至 0.88 mg/L、0.84 mg/L 和 0.86 mg/L, 总氮负荷去除量平均分别为 18.4 mg/(m²·d)、48.8 mg/(m²·d) 和 105.8 mg/(m²·d); 香蒲净化系统上覆水总氮的浓度分别从 3.20 mg/L、7.00 mg/L 和 14.20 mg/L 降至 1.09 mg/L、0.96 mg/L 和 1.02 mg/L, 总氮负荷去除量平均分别为 8.4 mg/(m²·d)、23.9 mg/(m²·d) 和 52.3 mg/(m²·d)。水葫芦对总氮的去除率分别是 72.0%、88.0% 和 94.0%, 香蒲对总氮的去除率分别是 66.0%、86.2% 和 92.8%。水葫芦净化系统对上覆水总氮的去除率高出香蒲系统 1.2~6.0 个百分点, 说明水葫芦对于上覆水总氮的消减能力优于香蒲。

在富营养化水体 I 中, 无植物对照与香蒲净化系统上覆水总氮浓度最高达到 4.12 mg/L 和 3.30 mg/L, 均高于初始总氮的浓度, 表明底泥间隙水中的氮向上覆水体释放^[17]; 而在富营养化水体 II 和 III

中, 试验前期(8月22日至9月19日)无植物对照与香蒲净化系统上覆水总氮的浓度则均呈下降趋势, 说明上覆水体的总氮浓度负荷越低, 底泥间隙水中的氮越容易向上覆水中释放。在3种富营养化水体中, 无植物对照上覆水总氮也呈现快速降低趋势, 除水体自净作用外, 主要是因试验期间有蓝藻生长(图1)。

试验进入中后期(9月20日至11月18日), 水葫芦净化系统与香蒲净化系统上覆水总氮浓度的下降速率降低, 甚至略有升高, 这是因为水生植物的生长相对缓慢, 底泥间隙水中的氮向上覆水的释放大于植物生长吸收氮的速率所致。整个试验期间, 3种富营养化水体中水葫芦净化系统上覆水总氮浓度的降低趋势最快, 且始终保持较低浓度水平, 说明水葫芦能够有效消减或控制上覆水总氮的浓度(图1)。



I、II、III 分别代表不同浓度的富营养化水体。a:08-22;b:09-02;c:09-13;d:09-24;e:10-05;f:10-16;g:10-27;h:11-07;i:11-18。

图1 不同富营养化水体上覆水总氮浓度的动态变化

Fig.1 Dynamic changes of total nitrogen concentrations in differently eutrophied water bodies

2.2 水生植物对上覆水总磷的净化效果

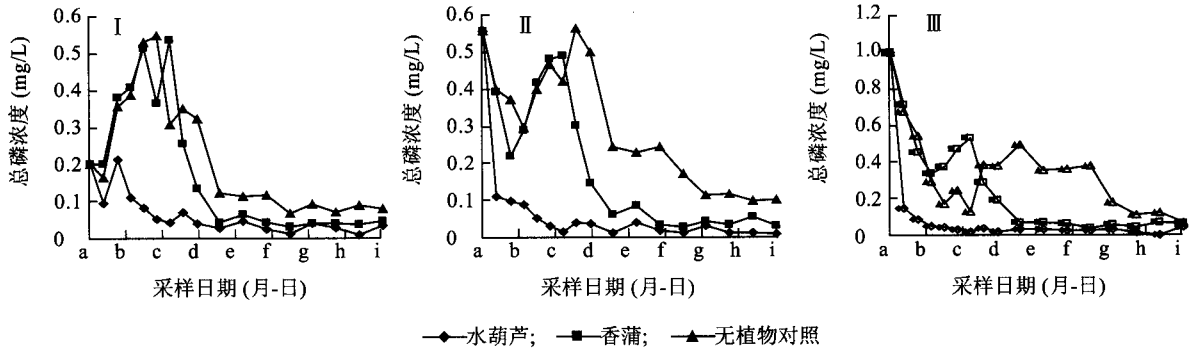
图2显示:在I、II和III这3种浓度富营养化水体中,2011年8月22日至11月18日水葫芦净化系统上覆水的总磷浓度分别从0.200 mg/L、0.557 mg/L、1.000 mg/L 降至 0.035 mg/L、0.038 mg/L、0.044 mg/L;去除率分别是82.5%、98.1%和95.6%,总磷负荷去除量平均分别为1.3 mg/(m²·d)、4.1 mg/(m²·d)和7.6 mg/(m²·d);香蒲净化系统上覆水的总磷浓度分别由0.200 mg/L、0.557 mg/L、1.000 mg/L 降至 0.046 mg/L、0.030 mg/L、0.062 mg/L,去除率分别是77.1%、89.9%和93.8%,总磷负荷去除量平均分别为0.61 mg/(m²·d)、2.1 mg/(m²·d)和3.7 mg/(m²·d)。3种浓度富营养化水体中,水葫芦

净化系统与香蒲净化系统上覆水总磷的出水浓度均优于地表水质量标准Ⅲ类水,说明水葫芦和香蒲均能很好地消减或控制上覆水的总磷浓度。

在3种富营养化水体中,无植物对照上覆水体总磷的浓度均在一定时期内出现迅速上升的现象,且随着上覆水体初始浓度的升高,总磷浓度开始升高的时间延后,这说明底泥间隙水向上覆水体释放了磷^[18],上覆水体总磷浓度越低,越有利于底泥间隙水中磷的释放。试验期间,水葫芦净化系统的总磷浓度均呈现快速下降趋势,且始终保持较低浓度水平,说明水葫芦可有效消减或控制上覆水体总磷浓度;而香蒲净化系统上覆水体的总磷浓度在试验前期(8月22日至9月19日)呈现升高趋势,随后逐渐降低,这是由于试

验前期香蒲生长缓慢,底泥间隙水中磷向上覆水的释放速率大于植物的吸收速率,而后期香蒲的快速生

长,上覆水体的总磷浓度才呈下降趋势(图3)。



I、II、III分别代表不同浓度的富营养化水体。a:08-22;b:09-02;c:09-13;d:09-24;e:10-05;f:10-16;g:10-27;h:11-07;i:11-18。

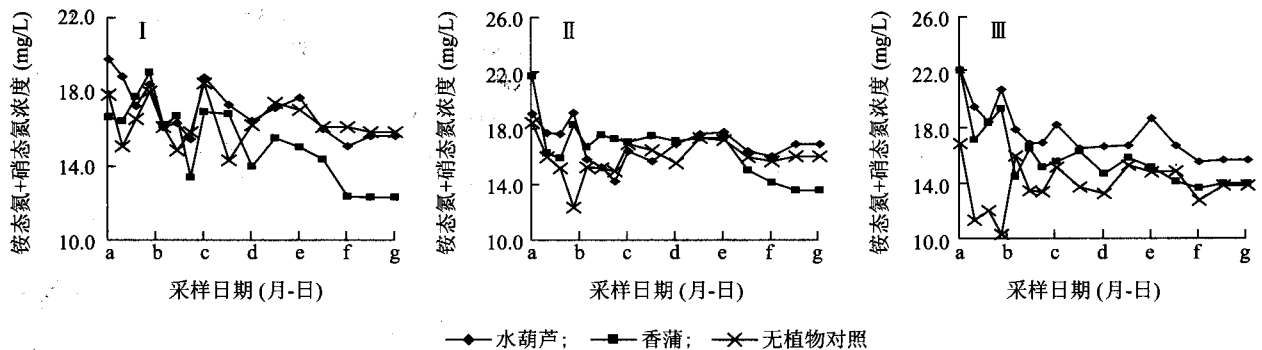
图2 不同富营养化水体上覆水总磷浓度的动态变化

Fig.2 Dynamic changes of total phosphorus concentrations in differently eutrophied water bodies

2.3 底泥间隙水营养盐的动态变化

在3种浓度富营养化水体中,各处理系统底泥间隙水中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度均明显高于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度均低于 1.0 mg/L 。说明在底泥中反硝化作用大于硝化作用,沉积物中的氮大多以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的形式溶出^[19]。9月1日至9月16日,水葫芦净化系统与香蒲净化系统底泥间隙水中铵态氮+硝态氮的浓度均高于无植物对照(图3),说明水生植物的存在促进了底泥中氮营养盐向间隙水释放。整个试验期间,

水葫芦净化系统底泥间隙水的铵态氮+硝态氮浓度虽均比香蒲净化系统和无植物对照高,但其上覆水总氮的浓度则均保持最低水平(图3),说明水葫芦在促进底泥中氮营养向间隙水中释放的效果强于香蒲,同时能有效消减或控制上覆水中的总氮。香蒲净化系统底泥间隙水中铵态氮+硝态氮的浓度在试验后期低于水葫芦净化系统和无植物对照(图3),这是因为香蒲根系非常发达,可直接从底泥吸收养分,从而降低了底泥间隙水中的氮。



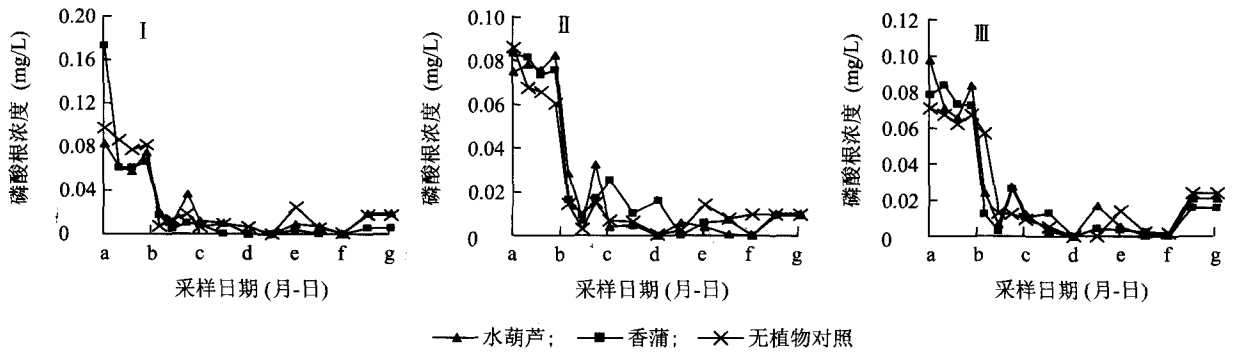
I、II、III分别代表不同浓度的富营养化水体。a:08-26;b:09-09;c:09-23;d:10-07;e:10-21;f:11-04;g:11-18。

图3 不同富营养化水体间隙水铵态氮+硝态氮浓度的动态变化

Fig.3 Dynamic changes of ammonia nitrogen and nitric nitrogen concentrations in differently eutrophied water bodies

图4显示:在3种浓度富营养化水体中,各处理系统底泥间隙水的磷酸根浓度均在试验开始后迅速下降,与其上覆水体总磷浓度在试验初期的上升趋势相似,说明底泥间隙水向上覆水中释放了磷酸根。图4还显示,8月26至9月7日低

浓度富营养水体 I 中水葫芦净化系统与香蒲净化系统底泥间隙水磷酸根浓度明显低于无植物对照;而在较高浓度富营养水体 II 和 III 中,水葫芦净化系统和香蒲净化系统间隙水的磷酸根浓度则高于无植物对照。



I、II、III 分别代表不同浓度的富营养化水体。a:08-26;b:09-09;c:09-23;d:10-07;e:10-21;f:11-04;g:11-18。

图4 不同富营养化水体间隙水磷酸根浓度的动态变化

Fig.4 Dynamic changes of soluble orthophosphate concentrations in differently eutrophied water bodies

3 讨论

外源性氮、磷进入水体后,有相当多的氮、磷沉积或者被吸附到底泥中,底泥是一个汇。但是当外源性污染被截断或者被控制时,底泥中的氮、磷就会向上覆水中释放,底泥便成了一个污染源。底泥中的氮、磷浓度高,释放的氮、磷就会比较多,严重的能够导致水体富营养化^[1-2,11-14]。童昌华等^[20]研究了水生植物(水葫芦与狐尾藻)控制湖泊底泥释放的效果与机理,认为水生植物的生长能明显抑制底泥中的氮、磷释放,尤其是沉水植物狐尾藻可直接与底泥接触,不仅能吸收从底泥释放到水中的营养盐,而且还能直接吸收底泥中的营养,抑制作用更加明显。杨荣敏等^[21]研究了大型水生植物(芦苇、苦草与茭白)对太湖底泥磷释放的影响,认为水生植物对底泥磷的释放有抑制作用。本研究结果证明水生植物吸收了上覆水中的氮、磷,促进了底泥间隙水中氮、磷向上覆水的释放,促进底泥中氮、磷向间隙水中转移,同时在植物生长期水生植物还能有效地消减或控制上覆水中总氮、总磷的浓度。水葫芦在促进底泥中氮、磷营养向间隙水中释放的效果强于香蒲,同时能更有效地消减或控制上覆水中的总氮和总磷。在试验后期香蒲净化系统底泥间隙水中铵态氮+硝态氮的浓度下降明显,低于水葫芦系统与无植物对照,这是因为香蒲根系非常发达,可直接从底泥中吸收养分,从而降低了底泥间隙水中铵态氮+硝态氮的浓度。

在本试验的3种浓度富营养化水体中,水葫芦和香蒲均能很好地生长,水葫芦对环境的适应明显

优于香蒲,表现在能够迅速生长,生物量增加明显快于香蒲。水葫芦和香蒲均能很好地消减上覆水体中的总氮和总磷负荷,系统出水水质均优于地表水质量标准Ⅲ类水;水葫芦对不同浓度水体总氮、总磷的去除率均高于香蒲,可有效消减富营养化湖泊水体氮、磷等内源污染物,对富营养化水体水质具有良好的改善效果。相信随着研究的深入和技术的不断完善,以水葫芦为代表的水生植物的富营养化水体修复技术,将会得到越来越广泛的应用。

参考文献:

- [1] RYDNI F, BURNBEGR A. Seasonal dynamics of phosphorus in lake erken surface sediment[J]. Arch Hydrobiology Spec Issues Advance Limnos, 1998, 51: 167.
- [2] 曲久辉. 我国水体复合污染与控制[J]. 科学对社会的影响, 2000(1): 36-40.
- [3] 吴振斌, 邱东茹, 贺 锋, 等. 水生植物对富营养化水体水质净化作用研究[J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(4): 299-303.
- [4] 齐玉梅, 高伟生. 凤眼莲净化水质及其后处理工艺探讨[J]. 环境科学进展, 1999, 7(2): 136-139.
- [5] 童昌华, 杨肖娥, 濮培民. 富营养化水体的水生植物净化试验研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1447-1450.
- [6] 周小平, 徐晓峰, 王建国, 等. 3种植物浮床对冬季富营养化水体氮磷的去除效果研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 102-104.
- [7] 袁东海, 高士祥, 任全进, 等. 几种挺水植物净化生活污水总氮和总磷效果的研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 77-92.
- [8] 张志勇, 刘海琴, 严少华, 等. 水葫芦去除不同富营养化水体中氮、磷能力的比较[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(5): 1039-1046.
- [9] 张志勇, 郑建初, 刘海琴, 等. 凤眼莲对不同程度富营养化水体氮磷的去除贡献研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 152-157.

- [10] 成水平. 香蒲、灯心草人工湿地研究[J]. 湖泊科学, 1997, 9(4): 351-379.
- [11] 余源盛. 太湖底质与湖泊富营养化关系[C]//中国科学院地理与湖泊研究所. 中国科学院地理与湖泊研究所集刊(第九号). 北京: 科学出版社, 1993: 48-62.
- [12] 高 光. 水-沉积物界面氮、磷迁移转化研究[D]. 南京: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 1993.
- [13] GARBER K J, HARTMAN R T. Internal phosphorus loading to shallow Edinbro Lake in northwestern Pennsylvania[J]. Hydrobiologia, 1985, 122(1): 45-52.
- [14] LAMBERTUS L. Phosphorus accumulation in sediment and internal loading[J]. Hydrobiol Bull, 1986, 20(1-2): 213-214.
- [15] 宋 静, 骆永明, 赵其国. 土壤溶液采样技术进展[J]. 土壤, 2000(2): 102-106.
- [16] 鲁如坤. 土壤农化分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [17] 周劲风, 温琰茂, 李耀初. 养殖池塘底泥-水界面营养盐扩散的室内模拟研究 I. 氮的扩散[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3): 786-791.
- [18] 周劲风, 温琰茂, 李耀初. 养殖池塘底泥-水界面营养盐扩散的室内模拟研究 II. 磷的扩散[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3): 792-796.
- [19] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 2版. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [20] 童昌华, 杨肖娥, 濮培民. 水生植物控制湖泊底泥营养盐释放的效果与机理[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(6): 673-676.
- [21] 杨荣敏, 李宽意, 王传海, 等. 大型水生植物对太湖底泥磷释放的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 274-278.

(责任编辑: 李大庆)