

菰和菖蒲对富营养化水体净化效率的比较

王春景¹, 杨海军², 刘国经³, 何松云³, 周守标^{1,①}

(1. 安徽师范大学生命科学学院, 安徽 芜湖 241000; 2. 东北师范大学草地研究所, 吉林 长春 130024;
3. 深圳市西丽水库管理处, 广东 深圳 518055)

摘要: 研究了菰 [*Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf]、菖蒲 (*Acorus calamus* L.) 及它们的复合体系对富营养化水体的净化效果。结果表明, 菰和菖蒲在供试富营养化水体中均能正常生长, 二者单独种植体系或等量混合种植体系对富营养化水体均有一定的净化能力。单独种植的菰和菖蒲及二者的混合种植体系对供试水体中总氮的去除率分别为 92.8%、92.7% 和 94.9%; 对氨氮的去除率分别为 95.5%、97.4% 和 96.6%; 对总磷的去除率分别为 83.9%、94.3% 和 84.7%; 对 COD_{Cr} 的去除率分别为 83.0%、85.5% 和 86.7%。单独种植的菖蒲对总磷的去除效果明显好于单独种植的菰和二者的混合种植体系。菰和菖蒲的混合种植体系对富营养化水体的净化效果与单独种植体系无明显差异。

关键词: 菰; 菖蒲; 富营养化; 植物净化

中图分类号: Q948.116; X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2007)01-0040-05

Comparative studies on purification efficiency of *Zizania latifolia* and *Acorus calamus* in eutrophic water WANG Chun-jing¹, YANG Hai-jun², LIU Guo-jing³, HE Song-yun³, ZHOU Shou-biao^{1,①} (1. College of Life Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China; 2. Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China; 3. Management Office of Xili Reservoir, Shenzhen 518055, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2007, 16(1): 40-44

Abstract: The purification efficiencies of *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf, *Acorus calamus* L. and their complex system to eutrophic water were studied. The results showed that both *Z. latifolia* and *A. calamus* could grow well in eutrophic water. The removal rate of TN by monoculture and complex system of *Z. latifolia* and *A. calamus* was 92.8%, 92.7% and 94.9% respectively, and that of NH₃-N, TP, COD_{Cr} was 95.5%, 97.4%, 96.6% and 83.9%, 94.3%, 84.7% and 83.0%, 85.5%, 86.7% respectively. The monoculture system of *A. calamus* had greater effects on purifying TP than monoculture system of *Z. latifolia* and the two species complex system. There was no evident difference of purification efficiency to eutrophic water between complex system of the two species and monoculture system.

Key words: *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf; *Acorus calamus* L.; eutrophication; phytoremediation

近年来,随着水污染状况的日趋严重,以水生植物为核心的污水处理和富营养化水体治理工作已成为研究的热点^[1-4]。目前,已筛选出一些能有效去除水体中的氮和磷并能有效改善水质的水生净化植物,如芦苇 (*Phragmites australis* Trin.)、宽叶香蒲 (*Typha latifolia* L.)、灯心草 (*Juncus effusus* L.)、凤眼莲 (*Eichhornia crassipes* Solms.) 和浮萍 (*Lemna minor* L.) 等,已通过漂浮栽植或构建人工湿地将这些植物种类应用于污水处理、生态河道建设及富营养化湖泊治理等生态工程中,并取得了良好的水体净化效果。利用水生植物治理和修复受污染水体具有效果好、投资少、运行成本低、易管理及景观效果

好等优点^[5]。由于某些外来水生植物(如凤眼莲等)对生态环境具有一定的负面影响,因此,有必要从乡土水生植物中筛选出净化效果好的种类用于污染水体的净化和受损河道和湖泊的修复。

菰 [*Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf] 俗称茭白或茭草,是禾本科 (Gramineae) 多年生大型挺水植

收稿日期: 2006-02-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30370280)、深圳市水务局西丽水库生态河道试验基金项目 (143-130411) 和安徽省重要生物资源保护与利用重点实验室专项基金项目

作者简介: 王春景 (1972-), 男, 安徽砀山人, 硕士研究生, 主要从事水生植物生物学研究。

① 通讯作者 E-mail: zhoushoubiao@vip.163.com

物,分布于中国南北各地;菖蒲(*Acorus calamus* L.)为天南星科(Araceae)多年生挺水植物,分布于中国南北各省^[6]。有关菰和菖蒲对污染水体的净化作用已有初步的研究报道^[7~9],但有关这2种乡土水生植物对污染水体净化效果的比较及二者复合种植体系净化效果的研究尚未见报道。为此,作者研究了菰和菖蒲单独种植体系及复合种植体系对富营养化水体的净化效果,旨在为生态河道建设及受损水体修复工程中水生植物种类的配置及净化工程对水体净化能力的评估提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的菰和菖蒲均采自芜湖市郊区,挑选生长健壮,大小基本一致且无枯黄叶片的健康野生植株,洗净后在自来水中进行适应性培养,4 d后移栽。移栽时,菰平均株高14.2 cm,平均根长9.6 cm,每株平均鲜质量2.0 g;菖蒲平均株高为10.3 cm,平均根长3.8 cm,每株平均鲜质量2.2 g。

供试的富营养化污水取自芜湖市青弋江排污口与江水交汇处,pH 8.18,含总氮(TN)14.38 mg·L⁻¹、氨氮(NH₃-N)5.47 mg·L⁻¹、总磷(TP)0.85 mg·L⁻¹、化学需氧量(COD_{Cr})112.5 mg·L⁻¹。参照GB 3838—2002判定,该水质超出地表V类水标准,属于富营养化水。

1.2 方法

1.2.1 处理方法 在容积为8 L的圆形玻璃缸(口径为26 cm)中分别装入7 L供试的富营养化水,以打有孔洞的泡沫塑料板为漂浮载体,分别将生长健壮、长势和个体大小一致的菰和菖蒲植株移栽至载体孔中进行水培。实验共设4个处理:对照(不种植植物)、菰(每缸6株)、菖蒲(每缸6株)及菰和菖

蒲复合体系(每缸每种各3株),每个处理设5个重复,置于安徽师范大学玻璃温室内进行培养,培养过程中保持通风,并尽可能保持各处理的玻璃缸在温室内位置一致,从而保证采光和通风条件一致。培养过程中,每7天补充1次一定量的蒸馏水以弥补蒸腾和蒸发的水分,从而保证玻璃缸内的水位保持一致。

实验于2005年3月22日开始,共持续50 d。每隔10天取1次水体的中层水样进行各指标的测定,每次测定设3个重复,取平均值。

1.2.2 测定指标和方法 分别采用卷尺、计数器、普通天平和烘箱烘干后分析天平称重等方法测定植物的株高、根长、根数、鲜质量和干质量等生长指标。

水体各指标的测定参照文献[10]的方法进行。总氮(TN)采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法;氨氮(NH₃-N)采用纳氏试剂光度法;总磷(TP)采用钼锑抗分光光度法;化学需氧量(COD_{Cr})采用重铬酸钾法。

1.3 数据处理

各指标的去除率按下列公式计算:去除率 = $[(C_0 - C_i)/C_0] \times 100\%$ 。式中, C_0 为实验开始时水体中的污染物浓度; C_i 为第*i*天时水体中的污染物浓度。所有实验数据采用Microsoft Excel和SPSS 11.5软件进行处理,用*t*检验或LSD检验进行差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 富营养化水体中菰和菖蒲生长状况的比较

在富营养化水体中培养50 d后,菰和菖蒲的生长状况见表1。由表1可见,菰和菖蒲在供试的富营养化水体中均能正常生长,株高、根长、根数、鲜质量和干质量均较移栽开始时有所增加;种植35 d

表1 富营养化水体中菰和菖蒲生长指标的比较($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 1 Comparison of growth indexes of *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf and *Acorus calamus* L. in eutrophic water ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

种类 Species	处理 Treatment	株高/cm Plant height	根长/cm Root length	根数 Number of root	鲜质量/g Fresh weight	干质量/g Dry weight
菰 <i>Z. latifolia</i>	单一种植 Monoculture	51.7 ± 1.5a	20.7 ± 4.5a	24.0 ± 2.0a	4.18 ± 0.37a	1.06 ± 0.08a
	复合体系 Complex system	48.0 ± 7.0a	22.7 ± 4.0a	18.7 ± 3.1a	2.91 ± 0.33b	0.69 ± 0.11b
菖蒲 <i>A. calamus</i>	单一种植 Monoculture	46.0 ± 2.0a	19.0 ± 1.0a	19.0 ± 1.0a	5.75 ± 1.33a	0.87 ± 0.34a
	复合体系 Complex system	44.6 ± 4.9a	18.3 ± 2.9a	16.0 ± 2.0a	6.35 ± 0.73a	1.00 ± 0.14a

¹⁾同一种类同列数据后不同的字母表示具有显著性差异(*t*检验, $P=0.05$) Different letters in the same column of same species indicate the significant difference (*t* test, $P=0.05$).

时,菰和菖蒲基部都有1~2片叶枯黄,但上部叶片生长正常。除了单一种植及复合体系中菰的鲜质量及干质量有显著差异外,菰和菖蒲的其他指标均无显著差异,表明在复合体系中菰的生物量增长可能受到了一定的抑制,而菖蒲并没有表现出明显的生长优势。

2.2 菰和菖蒲对富营养化水体的净化效果

2.2.1 水体中总氮和氨氮浓度的变化

菰和菖蒲对富营养化水体中的总氮和氨氮均有一定的净化作用(图1和图2)。复合体系对总氮的去除率最高可达94.9%,菰和菖蒲单一种植体系对总氮的去除率略低于复合体系,分别为92.8%和92.7%;各种植体系对氨氮去除率由高到低依次为菖蒲单一种植体系(97.4%)、复合体系(96.6%)、菰单一种植体系(95.5%)、对照(59.6%)。各处理组对总氮和氨氮的去除率均显著高于对照,3个处理组之间对总氮和氨氮的去除率虽然有所不同,但差异并不显著。

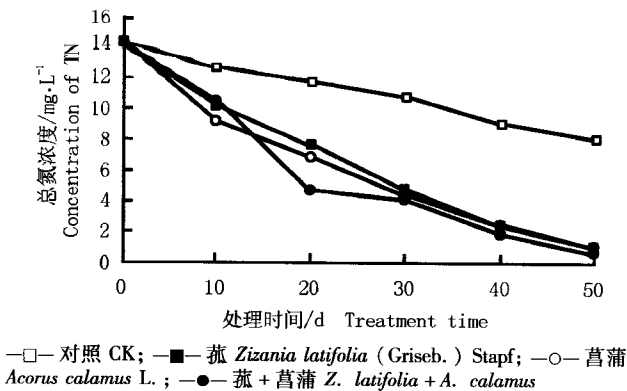


图1 不同处理组的富营养化水体中总氮浓度的变化
Fig. 1 Change of TN concentration in eutrophic water with different treatments

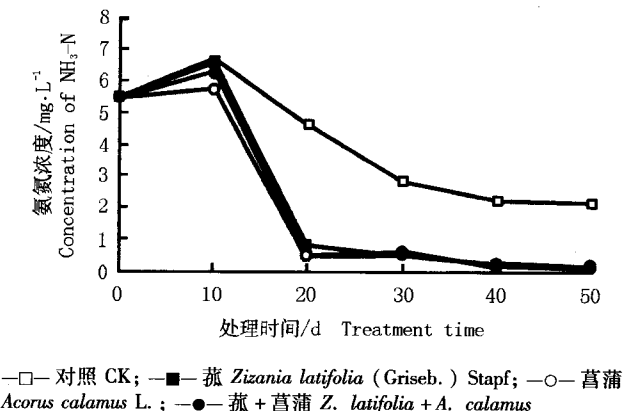


图2 不同处理组的富营养化水体中氨氮浓度的变化
Fig. 2 Change of NH₃-N concentration in eutrophic water with different treatments

2.2.2 水体中总磷浓度的变化

菰和菖蒲对富营养化水体中的总磷也均有一定的净化作用(图3)。对总磷去除效果最好的是菖蒲单一种植体系,去除率达94.3%,显著高于其他2个处理组。菰和菖蒲复合体系和菰单一种植体系对总磷的去除率分别为84.7%和83.9%,均显著高于对照。

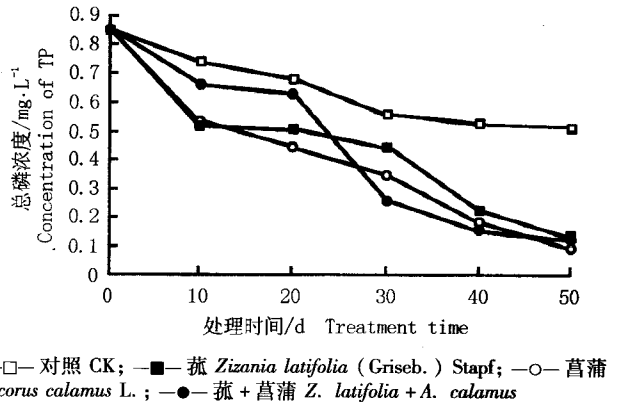


图3 不同处理组的富营养化水体中总磷浓度的变化
Fig. 3 Change of TP concentration in eutrophic water with different treatments

2.2.3 水体中化学需氧量(COD_{Cr})的变化

随处理时间的延长,各处理组水体中的COD_{Cr}浓度均呈下降趋势(图4)。各种植体系对COD_{Cr}去除率由高到低依次为菰+菖蒲(86.7%)、菖蒲(85.5%)、菰(83.0%)、对照(51.6%)。3个处理组对COD_{Cr}的去除率均显著高于对照,但各处理组间的差异并不显著(表2)。

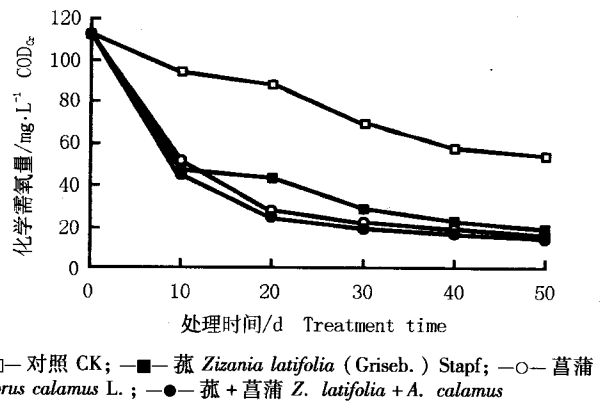


图4 不同处理组的富营养化水体中化学需氧量的变化
Fig. 4 Change of COD_{Cr} in eutrophic water with different treatments

2.2.4 菰和菖蒲对富营养化水体净化效果的比较

菰和菖蒲的不同配植方式对富营养化水体的净化效

果见表2。由表2可以看出,无论是单一种植体系还是复合种植体系,菰和菖蒲对供试的富营养化水体中总氮、氨氮、总磷及 COD_{Cr} 的去除率均显著高于对

照,特别是菖蒲,对富营养化水体中总磷的去除效果最好,显著高于其他处理。

表2 菰和菖蒲对富营养化水体中总氮、氨氮、总磷和化学需氧量去除率的比较($\bar{X} \pm SD$)¹⁾
Table 2 Comparison of removal rates of TN, NH₃-N, TP and COD_{Cr} in eutrophical water with different treatments of *Zizania latifolia* (Criseb.) Stapf and *Acorus calamus* L. ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

处理 Treatment	去除率/% Removal rate			
	TN	NH ₃ -N	TP	COD _{Cr}
对照 CK	42.6 ± 1.3a	59.6 ± 6.7a	38.8 ± 2.1a	51.6 ± 9.2a
菰 <i>Z. latifolia</i>	92.8 ± 4.4b	95.5 ± 0.7b	83.9 ± 1.3b	83.0 ± 5.4b
菖蒲 <i>A. calamus</i>	92.7 ± 4.3b	97.4 ± 0.6b	94.3 ± 8.3c	85.5 ± 3.6b
菰 + 菖蒲 <i>Z. latifolia</i> + <i>A. calamus</i>	94.9 ± 0.3b	96.6 ± 0.5b	84.7 ± 1.2b	86.7 ± 2.1b

¹⁾ 同列数据后不同的字母表示具有显著性差异(LSD 检验, $P = 0.05$) Different letters in the same column indicate the significant difference (LSD test, $P = 0.05$).

3 讨 论

菰和菖蒲在供试的富营养化水体中均能正常生长,二者各项生长指标的差异不显著,表明菰和菖蒲种间竞争能力基本相同,均未表现出明显优势。这可能与二者根状茎发达、均具有较强的繁殖能力有关,具体竞争机理有待进一步的深入研究。

无论是单一种植体系还是复合种植体系,菰和菖蒲均能有效去除供试富营养化水体中的总氮、氨氮、总磷和 COD_{Cr},特别是菖蒲对该水体中总磷的去除效果明显高于其他处理,这与前人的研究结果^[11]基本一致。水体中氮素的去除包括沉积、吸附、植物吸收、生物硝化和反硝化等过程,生物硝化和反硝化过程是去除水体中氮素的主要途径之一^[12]。有机物经胺化和氨化作用转化为氨氮^[13],形成的氨氮一部分通过植物吸收和挥发作用而去除,大部分则通过连续的硝化和反硝化作用而除去^[14]。实验进行到第10天时,各处理水体中的氨氮浓度均有所升高(图2),可能是由于实验开始时氨化作用较快,而植物生物量却较小,吸收速率和硝化及反硝化过程较慢所引起的,具体机理有待进一步研究。

水体中磷的去除主要通过沉淀、吸附及固结等理化作用实现^[14],所以,在本实验中,没有配植植物的对照组的总磷浓度也有所下降,种植菰和菖蒲后总磷浓度则显著降低,一方面是部分可溶性磷被植物吸收,另一方面可能是有植物存在时,上述理化反应更加剧烈。因为根系的分泌物往往能加速这些反

应,而且植物体表也为这些反应的发生提供了物理支撑^[15]。

水体中 COD_{Cr} 浓度下降是由于水体中的有机物在自然状况下受到微生物的作用而逐步转化为无机物所致,因而,对照组水体中的 COD_{Cr} 随着实验时间的延续而逐步降低,种植菰和菖蒲后其下降幅度更大,去除率显著提高。这是由于植物一方面可以直接吸收小分子有机物,另一方面水生植物还可以通过向根区输送氧^[16,17]使根区附近变为好氧环境,有利于污水中有机物的好氧分解。

一般认为,多种植物的合理搭配能产生比单一物种更好的去污效果^[12]。Coleman 等比较研究了宽叶香蒲、灯心草和水葱(*Scirpus validus* Vahl)3种植物混合种植和分别单独种植对生活污水的净化效果,发现三者混合种植比分别单独种植具有更好的净化效果^[18]。但菰和菖蒲的混合种植对富营养化水体的净化效果与二者单独种植没有明显差异,说明在富营养化水体的净化过程中,二者可能不是最佳的植物组合。因而,还需进一步加强不同乡土水生植物搭配组合(如深水-挺水与浅水-挺水植物的搭配等)对富营养化水体净化效果的研究,以期对富营养化水体净化和生态河道建设及受损水体修复生态工程提供更加高效的植物配置模式。

参考文献:

- [1] Sekiranda S B K, Kiwanuka S. A study of nutrient removal of *Phragmites mauritianus* in experimental reactors in Uganda [J]. *Hydrobiologica*, 1998, 364: 83-91.
- [2] 王国祥, 濮培民, 张圣照, 等. 冬季水生高等植物对富营养化湖水的净化作用[J]. *中国环境科学*, 1999, 19(2): 106-

- 109.
- [3] 成水平, 况琪军, 夏宜琤, 等. 香蒲、灯心草人工湿地的研究——I. 净化污水的效果[J]. 湖泊科学, 1997, 9(4): 351-358.
- [4] 葛 滢, 王晓月, 常 杰. 不同程度富营养化水中植物净化能力比较研究[J]. 环境科学学报, 1999, 19(6): 690-692.
- [5] Green M B, Upton J. Constructed reed beds: a cost-effective way to polish wastewater effluents for small communities[J]. Water Environmental Research, 1994, 66(3): 188-192.
- [6] 颜素珠. 中国水生高等植物图说[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 225, 285.
- [7] 卢少勇, 张彭义, 余 刚, 等. 农田排灌水的稳定塘-植物床复合系统处理[J]. 中国环境科学, 2004, 24(5): 605-609.
- [8] 徐丽花, 周 琪. 人工湿地控制暴雨径流污染的实验研究[J]. 上海环境科学, 2002, 21(5): 274-277.
- [9] 张荣社, 周 琪, 张 建, 等. 潜流构造湿地去除农田排水中氮的研究[J]. 环境科学, 2003, 24(1): 113-116.
- [10] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [11] 吴振斌, 陈辉蓉, 贺 峰, 等. 人工湿地系统对污水磷的净化效果[J]. 水生生物学报, 2001, 25(1): 28-35.
- [12] 夏汉平. 人工湿地处理污水的机理与效率[J]. 生态学杂志, 2002, 21(4): 51-59.
- [13] 夏汉平. 香根草和水花生对垃圾污水中N、P、Cl的吸收效果[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 613-616.
- [14] 李科德, 胡正嘉. 芦苇床系统净化污水的机理[J]. 中国环境科学, 1995, 15(2): 140-144.
- [15] Brix H. Functions of macrophytes in constructed treatment wetlands[J]. Water Science and Technology, 1990, 29(4): 71-78.
- [16] Reddy K R, D'Angelo E M. Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands[J]. Water Science and Technology, 1997, 35(5): 1-10.
- [17] Armstrong J, Armstrong W, Beckett P M. *Phragmites australis*: venturi- and humidity-induced pressure flows enhance rhizome aeration and rhizosphere oxidation[J]. New Phytology, 1992, 120: 197-207.
- [18] Coleman J, Hench K, Garbutt K, et al. Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands[J]. Water, Air and Soil Pollution, 2001, 128: 283-295.

欢迎订阅《植物资源与环境学报》

“中国期刊方阵”双效期刊

“江苏期刊方阵”优秀期刊

季刊, 单价10元, 邮发代号: 28-213, 国内统一连续出版物号: CN32-1339/S

《植物资源与环境学报》系江苏省·中国科学院植物研究所、江苏省植物学会及中国环境科学学会植物园保护分会联合主办的学术刊物, 国内外公开发行人。本刊为BA、CA、CAB、Elsevier's、中国生物学文摘、中国环境科学文摘、中国科学引文数据库、万方数据——数字化期刊群、中国学术期刊(光盘版)和中文科技期刊数据库等国内外著名刊库收摘。本刊围绕植物资源与环境两个中心命题, 报道我国植物资源的考察、开发利用和植物物种多样性保护, 自然保护区与植物园的建设和管理, 植物在保护和美化环境中的作用, 环境对植物的影响以及与植物资源和植物环境有关学科领域的原始研究论文、研究简报和综述等。凡从事植物学、生态学、自然地理学以及农、林、园艺、医药、食品、轻化

工和环境保护等领域的科研、教学、技术人员及决策者, 可以从本刊获得相关学科领域的研究进展和信息。从2006年起本刊每期页码增加至80页, 定价改为每期10元。

本刊于1992年创刊, 全国各地邮局发行, 若错过征订时间或需补齐1992至2007年各期者, 请直接与编辑部联系邮购, 订价: 1992至1994年每年8元, 1994至2000年每年16元, 2001至2005年每年24元, 2006至2007年每年40元(均含邮资)。编辑部地址: 南京中山门外, 江苏省·中国科学院植物研究所内, 邮编: 210014; 电话: 025-84347016; Fax: 025-84432074; Email: nbqxx@jlonline.com 或 zwzy@mail.cnbg.net。