

伊乐藻对污染水体中氮、磷的净化效果及其克藻效应

张 卫¹, 林匡飞¹, 李 辉¹, 张 巍¹, 朱璞含¹, 王学东², 崔心红³, 付融冰⁴

(1.华东理工大学资源与环境工程学院, 国家环境保护化工过程环境风险评价与控制重点实验室, 上海 200237; 2.温州医学院环境与公共卫生学院, 浙江 温州 325035; 3.上海市园林科学研究所, 上海 200232; 4.上海市环境科学研究院, 上海 200233)

摘 要: 为了科学评价伊乐藻在水生态修复中的实际应用价值, 在模拟条件下初步研究了沉水植物伊乐藻 (*Elodea nuttallii*) 对污染水体中氮、磷的净化效果及其克藻效应。结果表明, 伊乐藻对总氮、氨态氮、硝态氮和总磷均具有一定的净化效果, 并且水体中氮、磷起始浓度越高, 其去除效果越明显; 不同生物量伊乐藻对河水中其他藻类均具有较强抑制作用, 并且随着生物量增加, 其克藻效应更加明显。

关键词: 伊乐藻; 污染水体; 氮磷含量; 净化效果; 克藻效应

中图分类号: X173 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2011)03-0554-05

The Purification Effect of Nitrogen and Phosphorus and Allelopathic Effect on Polluted Water by *Elodea Nuttallii*

ZHANG Wei¹, LIN Kuang-fei¹, LI Hui¹, ZHANG Wei¹, ZHU Pu-han¹, WANG Xue-dong², CUI Xin-hong³, FU Rong-bing⁴

(1.School of Resources and Environmental Engineering, State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Risk Assessment and Control on Chemical Process, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 2.School of Environmental Science and Public Health, Wenzhou Medical College, Wenzhou 325035, China; 3.Shanghai Institute of Landscape Gardening, Shanghai 200232, China; 4.Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

Abstract: In order to evaluate the role of *Elodea nuttallii* in aquatic ecological restoration, the purification effect of N and P by *Elodea nuttallii* were studied, and allelopathic effects on other algae were also investigated by a series of lab experiments. The results showed that *Elodea nuttallii* could decrease the concentrations of TN, NH_4^+-N , NO_3^--N and TP significantly; The initial concentration of N and P was higher, and the purification effect was better, such as the water with tolerant concentration; The inhibition function on other algae by *Elodea nuttallii* with different biomass was very obvious in water; Moreover, the biomass was higher, and the allelopathic effect displayed more distinct.

Keywords: *Elodea nuttallii*; polluted water; N and P content; purification effect; allelopathic effect

水体富营养化是全球性环境问题。利用水生植物富集氮、磷等营养性物质, 是抑制水体富营养化、净化水质的有效途径^[1-3]。伊乐藻 (*Elodea nuttallii*) 原产于北美洲, 20 世纪 80 年代由中科院南京地理与湖泊研究所从日本琵琶湖引入中国。伊乐藻是一种优质、速生、雌雄异株的沉水植物, 适应性广, 繁殖力强, 能越冬生长, 可作为鱼虾饵料, 近年来也开始尝试用于污染水

体的生态修复, 其对底泥污染物有较高的耐性^[4-5]。目前有关伊乐藻的报道主要集中在种植养护方面, 涉及富营养化水质净化的文献并不多见, 研究发现冬季低温时伊乐藻对污染水体有一定净化作用。本文选择 5—6 月详细考察了伊乐藻对 3 种不同营养类型污染水体中氮、磷的净化效果及其克藻效应, 以期探讨伊乐藻在水生态修复中的实际应用价值提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

从中国科学院水生生物研究所基地选择生长一致不受任何污染的伊乐藻幼苗, 置于盛有自来水的塑

收稿日期: 2010-08-13

基金项目: 国家自然科学基金 (40901148, 20807028, 41003031); 温州市重大科技专项 (Z090921421); 林业公益性行业科研专项 (201104088); 中央高校基本科研业务费专项 (WB0911011); 水专项 (2009ZX07101)

作者简介: 张 卫 (1974—), 男, 博士, 副教授, 主要从事环境毒理和生物修复方面的研究。E-mail: wzhang@ecust.edu.cn

料桶(底部直径 $\times$ 高=40 cm $\times$ 72 cm)中,在室外进行适应性培养(其底部淤泥采自上海市典型河道进木港, pH7.7, 有机质 6.39 g $\cdot$ kg $^{-1}$), 备用。

分别选择进木港河水(以下简称河水)、V类水和胁迫浓度水作为试验水体, 3种水体理化性质见表1, 所有溶液经 121 $^{\circ}$ C 高温灭菌 30 min, 备用。

表1 3种水体理化性质

Table 1 Physical and chemical characteristics of three kinds of water

水体类型	水质指标			
	总氮/mg $\cdot$ L $^{-1}$	氨态氮/mg $\cdot$ L $^{-1}$	硝态氮/mg $\cdot$ L $^{-1}$	总磷/mg $\cdot$ L $^{-1}$
进木港河水	9.3	6.5	2.8	0.5
V类水	4.0	2.0	2.0	0.4
胁迫浓度水	40.0	25.0	35.0	5.0

1.2 试验设计

试验模拟自然环境。每桶盛装干燥混合均匀的底泥 2.5 kg, 厚度约 12 cm, 分别称取一定生物量伊乐藻栽入桶中, 加水至藻全部浸没, 使其在新的土壤-水体环境中适应 7 d, 然后用虹吸法沿桶壁加水至刻度线 30 L, 防止底泥悬浮。

1.2.1 伊乐藻对污染水体中氮、磷的净化效果

试验共设 6 个处理: (1) 河水+底泥+伊乐藻; (2) 河水+底泥; (3) V类水+底泥+伊乐藻; (4) V类水+底泥; (5) 胁迫浓度水+底泥+伊乐藻; (6) 胁迫浓度水+底泥。其中伊乐藻添加量均为 200 g, 每个处理设 3 次重复。每周测定水中总氮(TN)、氨态氮(NH $_4^+$ -N)、硝态氮(NO $_3^-$ -N)和总磷(TP)含量, 持续 9 周, 分析伊乐藻对污染水体中氮、磷的净化效果。

1.2.2 不同生物量伊乐藻的克藻效应

试验共设 6 个处理, 分别向河水添加 0、100、200、250、400 g 和 500 g 等不同生物量的伊乐藻, 每个处理设 3 次重复。每周测定水中叶绿素 a(Chla) 含量, 持续 5 周, 分析伊乐藻对污染水体中浮游藻类的抑制效果。

1.3 测定方法

TN、NH $_4^+$ -N、NO $_3^-$ -N、TP 和 Chla 的测定采用《湖泊富营养化调查规范》^[6]中的方法进行。

2 结果与分析

2.1 伊乐藻对污染水体中 TN 的净化效果

伊乐藻对污染水体中 TN 的净化效果见图 1。可以看出, 伊乐藻对河水、V类水和胁迫浓度水中 TN

的净化效果存在明显差异。水体中 TN 起始浓度越高, 其去除效果越明显; 对于胁迫浓度水, 伊乐藻对 TN 去除率为 95.3%, 而对照组去除率仅为 52.6%; 对于起始浓度相对较低的河水和 V类水, 伊乐藻对 TN 虽然有一定净化效果, 但趋势不明显, 2 个月后和对照相比 TN 浓度几乎相同。另外, 各对照处理中 TN 浓度随时间延长而逐渐降低, 这可能是部分 NO $_3^-$ -N 在微生物作用下发生反硝化作用变成气态氮, 或者是部分氮素被颗粒物吸附而带入水体下部造成的, 形成水体的自净过程。

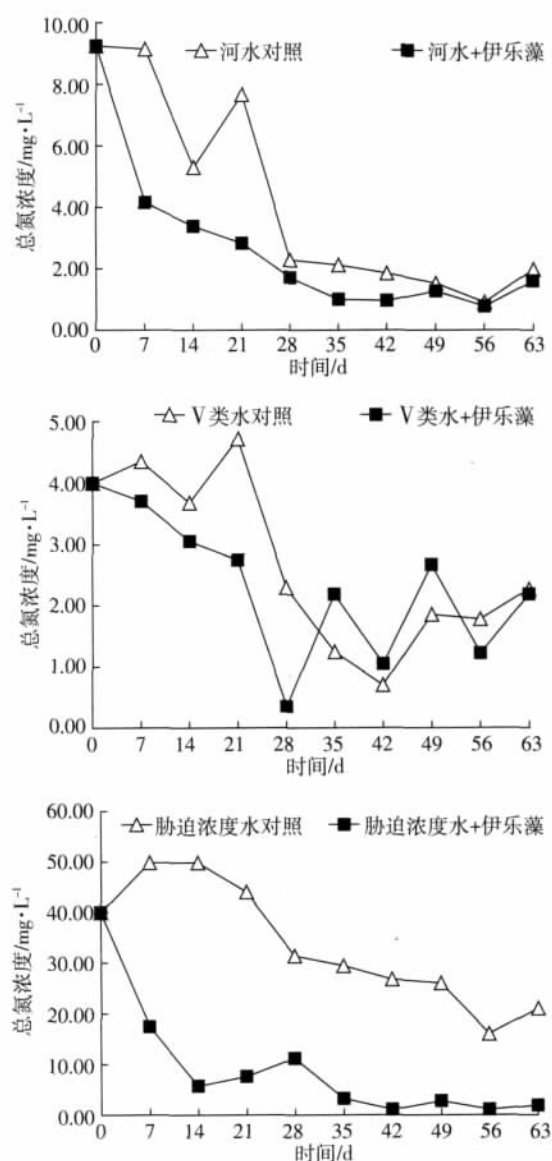


图1 伊乐藻对污染水体中 TN 的净化效果

Figure 1 The purification effect of TN in polluted water by *Elodea nuttallii*

2.2 伊乐藻对污染水体中 NH $_4^+$ -N 的净化效果

伊乐藻对污染水体中 NH $_4^+$ -N 的净化效果见图

2. 可以看出,伊乐藻对河水、V类水和胁迫浓度水中 NH_4^+-N 的净化效果较好,经过4周左右水中 NH_4^+-N 基本被去除。相对于河水和V类水,伊乐藻在前两周对胁迫浓度水中 NH_4^+-N 的净化效果最明显,去除率高达77.7%;而在各处理体系中, NH_4^+-N 浓度在第3周时会出现一个释放高峰,这可能是由于N元素的转化是一个可逆过程,在植物处于贫营养状态下会从水中大量吸收 NH_4^+-N ,但 NH_4^+-N 浓度过低时又会导致植物将已吸收的部分N元素重新转化成 NH_4^+-N 释放到水中^[7]。

2.3 伊乐藻对污染水体中 NO_3^--N 的净化效果

伊乐藻对污染水体中 NO_3^--N 的净化效果见图

3. 可以看出,伊乐藻对污染水体中 NO_3^--N 的净化效果与TN的趋势基本一致。对于起始浓度较高的胁迫浓度水,伊乐藻在第4周时对 NO_3^--N 的去除率即达到99%,而对照组的去除率仅为53.6%,并且伊乐藻一直保持对 NO_3^--N 的高去除率直到实验结束;而对于起始浓度相对较低的河水和V类水,伊乐藻虽然对 NO_3^--N 有一定去除效果,但趋势不明显,2个月后和对照组相比浓度几乎相同。

2.4 伊乐藻对污染水体中TP的净化效果

伊乐藻对污染水体中TP的净化效果见图4。可以看出,伊乐藻对污染水体中TP的净化效果与TN和 NO_3^--N 的趋势基本一致。对于TP起始浓度较高的

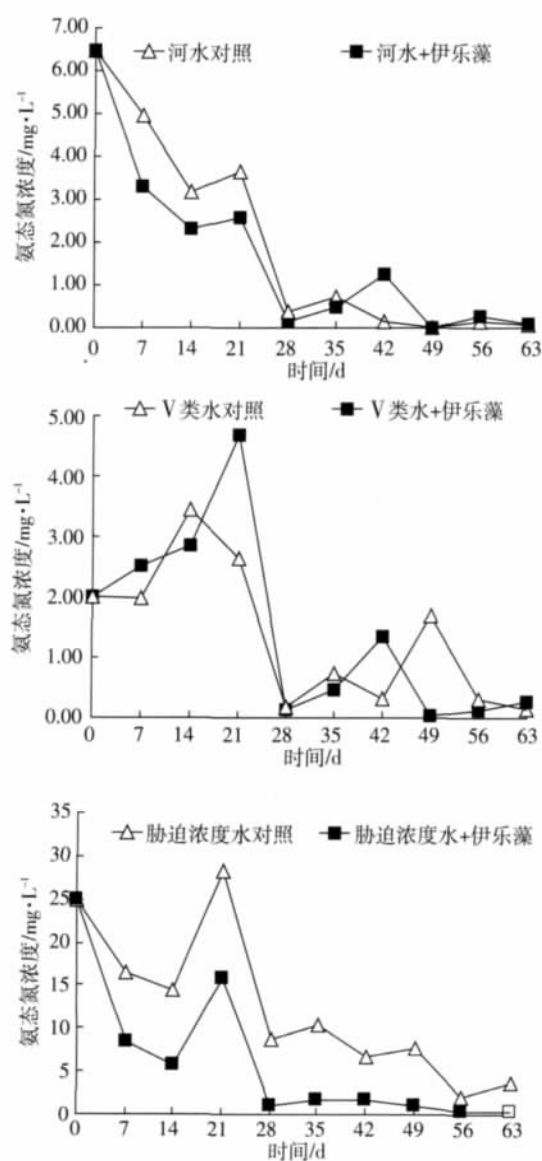


图2 伊乐藻对污染水体中 NH_4^+-N 的净化效果

Figure 2 The purification effect of NH_4^+-N in polluted water by *Elodea nuttallii*

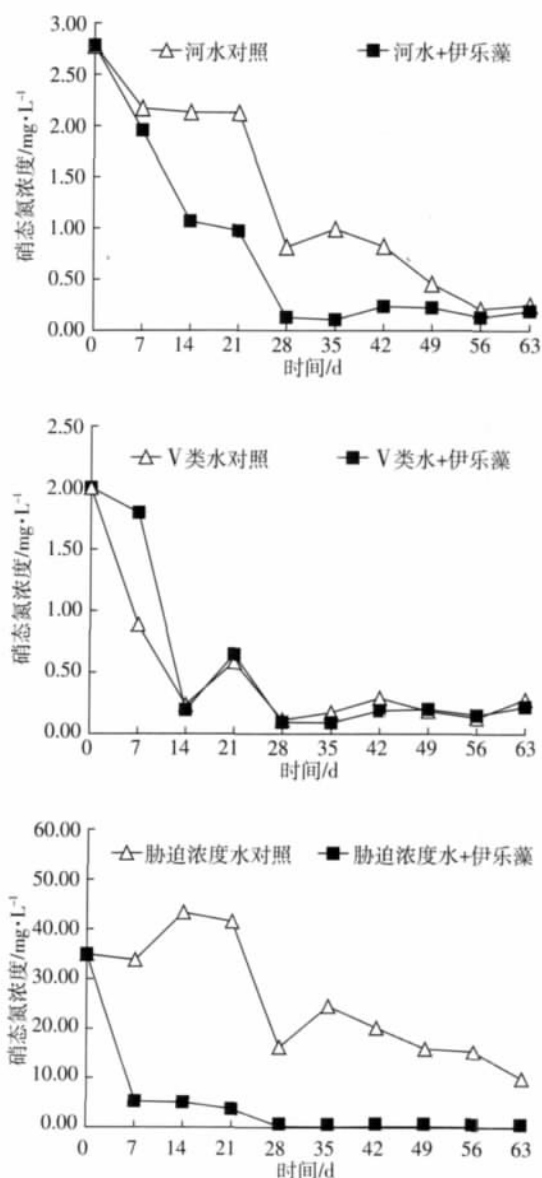


图3 伊乐藻对污染水体中 NO_3^--N 的净化效果

Figure 3 The purification effect of NO_3^--N in polluted water by *Elodea nuttallii*

胁迫浓度水,伊乐藻在第3周时对TP的去除率即达到96.4%,很好地抑制了底泥中磷盐的释放,而对于起始浓度较低的V类水体,伊乐藻处理效果最差;试验前期,各体系中TP含量随时间延长而逐渐降低,可能是由于一方面磷以磷酸盐形态发生沉降并固结在基质上,另一方面可溶性磷被伊乐藻吸收;实验后期,各体系中TP含量有所回升,可能是由于水体中磷含量降低到吸附/释放平衡点时,磷从底泥中释放出来以维持体系中磷素的平衡。

2.5 不同生物量伊乐藻的克藻效应

Chl.a 是各种藻类的重要成分,其含量高低与该水体藻类的种类、数量及发育状况等密切相关,也就

是与水环境质量有关。Chl.a 在水体富营养化评价中愈来愈发挥显著作用,为水生态系统水质测定中必选项目之一。因此,通过测定 Chl.a 含量能够在一定程度上反映出水质状况。

不同生物量伊乐藻的克藻效应见图5。可以看出:从试验开始至结束,不同生物量伊乐藻对河水中其他藻类都有较强的抑制作用。100、200、250、400 g 和 500 g 伊乐藻的 Chl.a 浓度抑制率分别为 66.5%、73.8%、80.7%、93.1%和 97.3%,而对照组(0 g)水体中 Chl.a 的含量明显高于伊乐藻组,35 d 时抑制率仅为 17.2%,这可能是由于伊乐藻向水体分泌某些化学物质对其他藻类产生了抑制效应,并且随着生物量增加,伊乐藻的克藻效应越明显^[8]。在后续研究中,尚需借助 GC-MS 等先进仪器对样品中新增化学物质结构进行分析以验证克藻效应现象;也可能存在当伊乐藻生物量增大到一定程度后导致营养盐不足,引起种群竞争从而和所分泌化学物质共同作用造成其他藻类密度下降的现象。

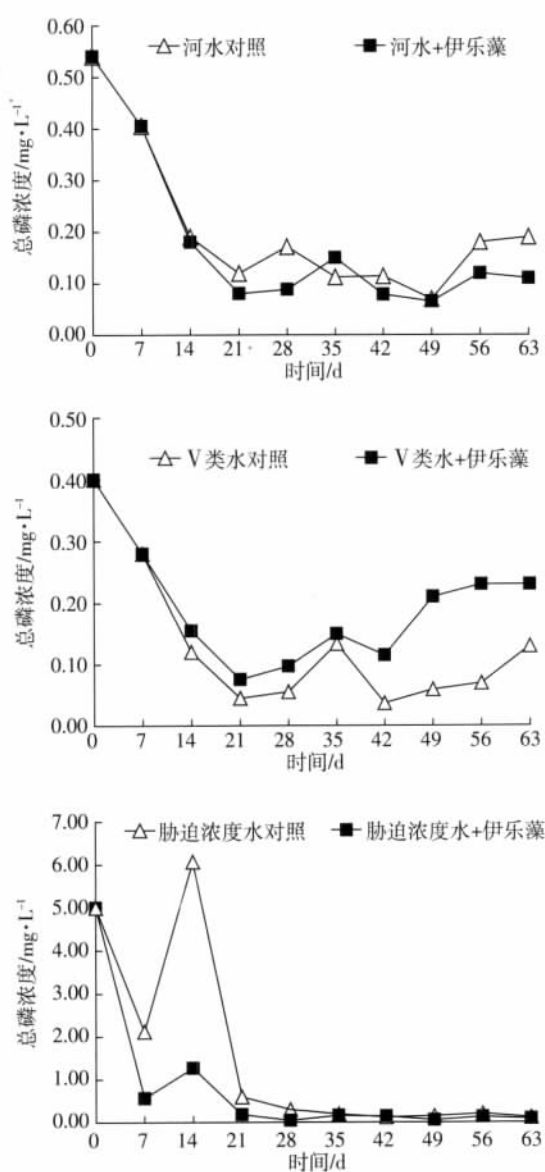


图4 伊乐藻对污染水体中TP的净化效果

Figure 4 The purification effect of TP in polluted water by *Elodea nuttallii*

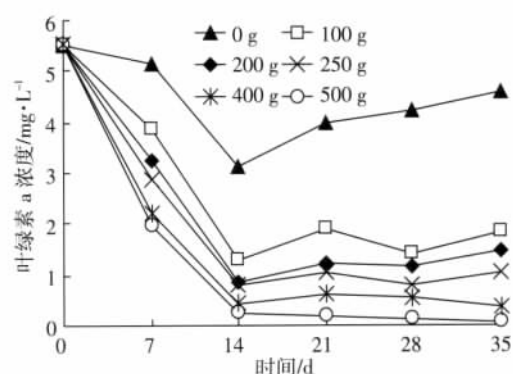


图5 伊乐藻的克藻效应

Figure 5 Allelopathic effect of *Elodea nuttallii*

3 小结与讨论

伊乐藻对污染水体中TN、 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 和TP均具有一定的净化效果,并且氮、磷起始浓度越高,其去除效果越明显。在模拟试验过程中观察了各种水质状态下伊乐藻的生长情况,发现其和实际净化效果密切相关。胁迫浓度水中伊乐藻营养源充足,长势最好,生物量较高,因此能从水体中迅速吸收氮、磷等物质,对底泥中营养物质的释放起到了很好的抑制作用;河水中伊乐藻生长状态次之,导致净化效果也一般;V类水中氮、磷起始浓度最低,伊乐藻较难获得足够营养源,生长明显受影响,长势最差,因而对水体中营养物质的抑制能力最差。

伊乐藻通过向河水中分泌某些化学物质对其他

藻类产生了抑制作用,并且随着生物量增加,克藻效应越明显。然而,高温下化感物质的生物活性可能显著降低^[8]。因此,在进一步研究伊乐藻的克藻效应时需要重点考虑温度对其次生代谢物热稳定性的影响。

参考文献:

- [1] Melzer A. Aquatic macrophytes as tools for lake management[J]. *Hydrobiologia*, 1999, 395/396: 181-190.
- [2] Reeta D S, Ann C W. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater[J]. *Ecological Engineering*, 2004, 22: 27-42.
- [3] Gulati R D. Can macrophytes be useful in biomanipulation of lakes? The lake Zwenmlust example[J]. *Hydrobiologia*, 1990, 200/201: 399-407.
- [4] ZHANG Zheng, WU Zhen-bin, HE Li. The accumulation of alkylphenols in submersed plants in spring in urban lake, China [J]. *Chemosphere*, 2008, 73 (5) : 859-863.
- [5] GAO Guang. Experimental studies on the effect of purification of fish-culture waste water by *Elodea Nuttallii* and *Hydrilla Verticillata* [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1996, 8 (2) : 183-188.
- [6] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 286-302.
- JIN Xiang-can, TU Qing-ying. The standard methods in lake eutrophication investigation[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 286-302.
- [7] 黄 蕾, 翟建平, 王传瑜, 等. 4 种水生植物在冬季脱氮除磷效果的试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24 (2) : 366-370.
- HUANG Lei, ZHAI Jian-ping, WANG Chuan-yu, et al. Removals of nitrogen and phosphorus in Taihu Lake water by four hydrophytes in winter season[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24 (2) : 366-370.
- [8] 鲜啟鸣, 陈海东, 尹大强, 等. 四种沉水植物的克藻效应 [J]. 湖泊科学, 2005, 17 (1) : 75-80.
- XIAN Qi-ming, CHEN Hai-dong, YIN Da-qiang, et al. Allelopathic effects of four submerged macrophytes on microcystis aeruginosa [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2005, 17 (1) : 75-80.