

水生植物控制湖泊底泥营养盐释放的效果与机理

童昌华¹, 杨肖娥¹, 濮培民^{2,1}

(1. 浙江大学环境与资源学院, 浙江 杭州 310029; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘要 通过人工模拟的方法, 进行了用狐尾藻、凤眼莲 2 种水生植物来控制湖泊底泥营养盐释放的研究。结果表明, 水生植物能有效抑制底泥中 TN、TP、硝态氮和氨态氮的释放; 沉水植物狐尾藻比漂浮植物凤眼莲的效果好。底泥采取物理处理(塑料包被)后在短期内(15~20 d)能暂时控制底泥中营养盐的释放, 但不能保持长久, 并在随后表现出一定的“补偿效应”。物理措施如底泥包被不是控制底泥营养盐释放的有效方法和根本途径, 水生植物修复才能有效抑制底泥中营养盐的释放, 今后将成为控制底泥中营养盐释放的发展方向。

关键词: 底泥; 营养盐; 植物修复; 水生植物

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2003)06-0673-04

Effects and Mechanism of Hydrophytes on Control of Release of Nutrient Salts in Lake Sediment

TONG Chang-hua¹, YANG Xiao-e¹, PU Pei-min^{2,1}

(1. College of Environment and Resource Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. Nanjing Institute of Geography and limnology, CAS, Nanjing 210008, China)

Abstract: With an artificial imitation, 2 aquatic plants named foxtail algae (*Myriophyllum verticillatum* L.) and hyacinth (*Eichhornia crassipes*) were used to probe release of the nutrient salts in lake sediment. The results showed that hydrophytes could effectively control the release of total nitrogen, total phosphorus, nitrate-nitrogen and ammonia-nitrogen. It has been found that efficacy of foxtail was better than that of hyacinth. The treatment with sediment wrapped by plastic could only control the release of nutrient salts for 15 to 20 days, and then would show the “compensation effects” later. Therefore, it may be concluded that physical measure such as sediment wrapped was not an effective method or an ultimate approach to control the release of nutrient salts in lake sediment. However, phytoremediation could still work effectively and will become the main measure adopted in this areas in the future.

Keywords: sediment; nutrient salts; phytoremediation; hydrophyte

我国湖泊河流众多, 且受到不同程度的污染。作为城市生态环境的重要组成部分, 城市湖泊水体的质量越来越受到人们的关注。近年来城市环境污染加剧, 使得湖泊水体水质受到很大危害, 大部分城市湖泊水体已严重富营养化。在污染源控制到一定程度后, 底泥则成为水体污染的主要来源。湖泊底泥营养盐的释放是湖泊富营养化的原因之一, 如不加以控制会加剧湖泊水体的富营养化。在国外, 莱茵河流域、美

国的大湖地区、荷兰的阿姆斯特丹港口以及德国的汉堡港等底泥污染均相当严重^[1]。美国发生的 2000 多起有关鱼类消费问题的事件, 多次证实来自底泥引起的污染^[2]。目前, 控制底泥污染已引起国内外的高度重视。

在底泥的修复技术中, 物理修复(如底泥疏浚)虽然见效快, 但工程巨大, 且耗费大量的人力、物力和财力, 而且通过底泥疏浚也难以达标。要进行大规模的治理, 在经济不发达的地区、国家更是难以实现。生物修复具有很多优越性, 它具有投资少、操作简便、不易产生二次污染等特点。虽然目前生物修复多半还停留在实验室阶段, 但随着生物技术的发展, 大规模地利用植物、微生物来修复污染底泥, 前景广阔。试验证明, 植物修复去除 N、P 具有明显的效果^[3-7], 可用于

收稿日期: 2003-01-26

基金项目: 国家科技部中澳合作项目“退化土-水生态系统的生物修复新技术体系研究—以中国太湖流域(莫干湖流域)为例”的一部分(国科外函[2002]168号)

作者简介: 童昌华(1963—), 男, 博士生, 讲师, 主要从事逆境生理、环境生态、水污染治理等研究和管理工作。

E-mail: tongch2001@yahoo.com

富营养化湖泊、河道等治理。为控制湖泊水库中底泥营养盐的释放,本研究采用水生植物修复和物理措施(塑料包被)处理底泥,用人工模拟天然湖泊底泥进行试验,以寻求控制湖泊底泥营养盐释放的有效途径,为开展湖泊水库水体污染修复工程提供科学依据。

1 材料与方法

试验采用人工模拟的方法,底泥取自杭州市西湖湖底,污水则取自浙江大学华家池的养鱼池中。经测定,污水中的总氮为 $4.282 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 硝态氮为 $2.708 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 氨态氮为 $0.926 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总磷为 $0.027 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, COD 为 $15.96 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, DO 为 $8.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 为 7.9, 属于富营养化水体。底泥的氮含量为 0.8% 左右, 磷含量 0.1% pH 为 6.5~7.1。试验设在带有玻璃棚顶的网室里,相当于露天条件下的光照和温度,但不会被淋雨。采用 75 L 的白色半透明水桶,桶的高度为 55 cm,每桶盛装湿润底泥 10 kg(经烘干,折合为 3592 g 干土),厚度约 10 cm,在加入部分水(污水或自来水)后种养水生植物,然后用水加满水桶。

试验采用 2 种水生植物:沉水植物狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum* L.)和漂浮植物凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)。同时用物理措施对底泥进行了不同处理。底泥裸露就是将底泥直接装入水桶,再加入污水或清水(自来水);底泥包被就是将底泥用黑色塑料袋先包好,然后放入桶中,再将袋刺破种上水生植物,对照同样刺破若干小孔,但不种植物。于 11 月 19 日分别装桶,将水生植物种养到试验用的水桶中。自然条件下越冬(至 1 月 19 日)。每处理 3 个重复。试验处理如下(表 1)。

表 1 试验设计处理表

Table 1 Design of the experiment

| 处理序号 | 处理内容 | 代号 |
|------|----------------|-----|
| 1 | 污水+底泥 狐尾藻 底泥裸露 | H1 |
| 2 | 污水+底泥 狐尾藻 底泥包被 | H2 |
| 3 | 污水+底泥 凤眼莲 底泥裸露 | F1 |
| 4 | 污水+底泥 凤眼莲 底泥包被 | F2 |
| 5 | 污水+底泥 无植物 底泥裸露 | W1 |
| 6 | 污水+底泥 无植物 底泥包被 | W2 |
| 7 | 清水+底泥 狐尾藻 底泥裸露 | QH1 |
| 8 | 清水+底泥 狐尾藻 底泥包被 | QH2 |
| 9 | 清水+底泥 凤眼莲 底泥裸露 | QF1 |
| 10 | 清水+底泥 凤眼莲 底泥包被 | QF2 |
| 11 | 清水+底泥 无植物 底泥裸露 | Q1 |
| 12 | 清水+底泥 无植物 底泥包被 | Q2 |

试验前测定底泥和污水的基础数值(如上)。试验开始后每隔一定时间测定水中营养盐含量(包括 TN、TP、硝态氮、氨态氮)。TN 采用紫外分光光度法,TP 采用钼锑抗分光光度法,硝态氮用紫外分光光度法测定,氨态氮用纳氏试剂光度法测定。

2 结果与分析

2.1 水生植物对底泥总氮释放的抑制效果

从图 1 可以看出,水生植物能有效抑制底泥中 TN 的释放。在污水对照中,由于底泥中 TN 的释放,水中的 TN 在不断上升,尽管底泥包被能暂时减缓底泥中 TN 的释放,但在 20 d 后仍然达到了释放高峰,甚至高于底泥裸露。然而,水中种植狐尾藻, TN 的释放受到了明显的抑制,不仅没有出现释放高峰,而且在 20 d 以后降到了较低水平;凤眼莲对底泥中 TN 的释放也有一定的抑制作用,但效果不如狐尾藻明显,且底泥包被比裸露的效果差。

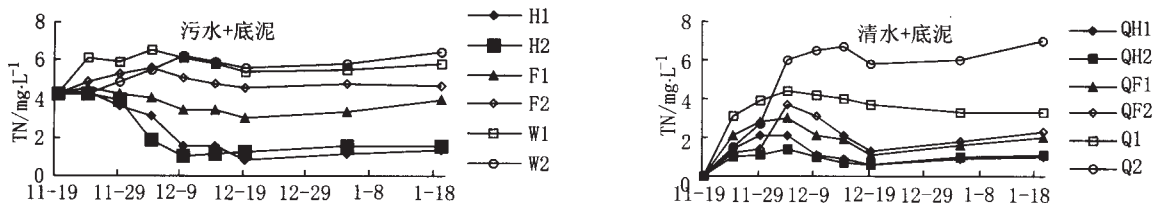


图 1 水生植物对底泥中总氮释放的抑制效果

Figure 1 The effect of hydrophytes on the control in release of TN

(Upper: polluted water + sediment; below: clear water + sediment)

在清水对照中,底泥中 TN 的释放速度明显快于污水中,尤其是包被处理,15 d 以后水中 TN 的含量竟高出所有处理,且出现了明显的释放高峰。而在水中种植了水生植物后,则大大降低了 TN 释放的峰值,而且在 20 d 以后 TN 降到了很低的水平。

由此看出,无论是对污水底泥还是清水底泥,种植水生植物对 TN 的抑制作用都是非常明显的;而沉水植物狐尾藻的效果则显著好于漂浮植物凤眼莲。底泥包被虽能暂时缓解 TN 的释放,但并不能从根本上控制底泥营养盐释放,而且后期还出现了“补偿效

应”。

2.2 水生植物对底泥中硝态氮释放的抑制作用

水生植物对底泥中硝态氮释放的抑制作用与 TN 的趋势基本一致(图 2)。但其效果更加明显,种植狐尾藻的处理在 20 d 以后水中硝态氮含量接近于 0。凤眼莲的效果不如狐尾藻。此外,还有一个明显的现象值得注意,就是底泥包被处理并不能有效抑制营养盐的释放,只能在短时间内(15 d 左右)缓解营养盐的释放,而且在后期还出现了“补偿效应”,尤其是在清水对照中这种效应更为明显。在后期,底泥包被处理其水中硝态氮的含量大大高于底泥裸露处理(图 2 下图)。

2.3 水生植物对底泥中总磷释放的抑制作用

水生植物也能有效抑制底泥中 TP 的释放,降低了 TP 的释放高峰,并在处理 20 d 以后使水中的 TP

始终保持在 $0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下。虽然后期对照的 TP 也处于较低的水平(图 3)。

不像 TN 和硝态氮,底泥向水中释放的 TP 似乎很少。仅在开始的 5 ~ 20 d 时间里 TP 的释放出现了一个小高峰,但峰值(第 10 d)并不大,而且 20 d 以后都降到了较低的水平,无论是污水还是清水环境中,TP 的释放量都不如 TN 和硝态氮(比较图 1、2 和 3),即使对照处理的 TP 也很低,而且也没有出现“补偿效应”。这很可能与磷易在土壤中被吸附固定有关。

2.4 水生植物对底泥中氨态氮释放的抑制作用

水生植物对底泥中氨态氮释放抑制作用与其他几种营养盐有所不同。在污水底泥中,水生植物在前 1 个月使水中的氨态氮显著下降,但在随后的 1 个月则出现缓慢的回升(其中有 1 个处理回升幅度较大)。

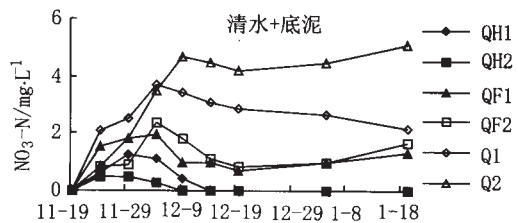
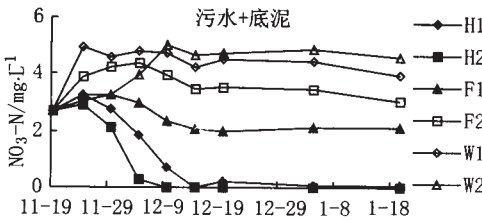


图 2 水生植物对硝态氮释放的抑制作用

Figure 2 The effects of hydrophytes on the control in release of nitrate - nitrogen (The above: polluted water + sediment; below: clear water + sediment)

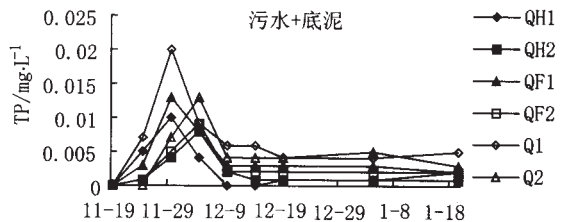
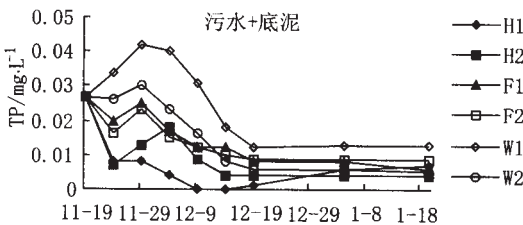


图 3 水生植物对总磷释放的抑制作用

Figure 3 The effects of hydrophytes on the control in release of TP (The above: polluted water + sediment; below: clear water + sediment)

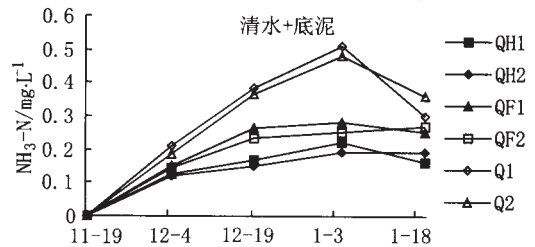
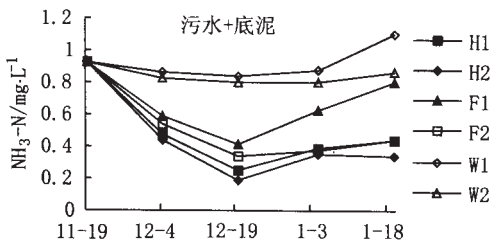


图 4 水生植物抑制底泥中氨态氮释放的效果

Figure 4 The effect of hydrophytes on the control in release of ammonia nitrogen (The above: polluted water + sediment; the below: clear water + sediment)

在清水底泥的环境中,水生植物则明显抑制了氨态氮的释放。与对照相比,有水生植物的处理氨态氮没有出现明显的释放高峰,且始终保持在低水平(图4)。不同植物之间相比,狐尾藻的效果优于凤眼莲。而底泥处理之间的差异并不明显。

3 讨论

3.1 不同措施对底泥污染的修复效果

目前,对底泥污染的修复控制,在原位处理方法中,可通过物理固定的方法阻止污染物在生态系统中的迁移,也可通过生物降解方法降低或消除污染物,减轻污染。物理修复是借助工程技术措施,消除底泥污染行为的一种方法,主要有疏浚、引水、填沙掩蔽等。底泥疏浚虽然见效快,但工程大,且耗资多,需要一定的经济实力,因此难以大规模推广。掩蔽是在污染底泥上放置一层或多层覆盖物,使污染底泥与水体隔绝,防止底泥污染物向水体迁移。国外在这方面已有较多的应用^[8],但用清洁泥沙作掩蔽物的最大问题是工程量大,且来源困难。本研究试图采用塑料膜作掩蔽物对污染底泥进行掩蔽,以克服上述方法之不足。但是试验表明,用薄膜包被底泥也不是控制底泥营养盐释放的有效方法和根本途径。生物修复是利用生物体,包括微生物、植物来吸收、降解底泥中的污染物或营养盐,或抑制其释放。其优点是能在一些河流、湖泊中进行大面积的应用^[9],而且植物材料本身会不断繁殖,不像泥沙那样需不断从外地运输,从而克服了掩蔽技术费用大和取材难的不足。本研究采用沉水植物狐尾藻和漂浮植物凤眼莲对底泥的营养盐释放进行控制,取得了明显的效果。尤其是沉水植物狐尾藻的效果非常显著,值得进一步的研究。

3.2 水生植物和薄膜对底泥修复的机理探讨

从外源进入水中的N、P等营养元素,有相当一部分会沉积到底泥中。底泥中N、P含量较高时,向水中释放N、P会明显增多,严重时导致水体富营养化。当水体外来污染源得到控制时,N、P则主要来自底泥的释放。水生植物的生长会吸收底泥或水中的一部分的营养成分,其余部分与水体保持平衡状态。由于本试验开始后没有新的污染源,因此无论是污水还是清水中N、P的增加都来自底泥。在有底泥的水中种养水生植物后,底泥中TN、TP、硝态氮、氨态氮的释放都得到了明显的抑制,尤其是沉水植物狐尾藻的作用更加明显。这可能因为其直接与底泥接触,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;而漂浮植物凤眼莲因为漂浮在水中,只能吸收水中的营养盐,因此效果相对较差。

与水生植物修复相比,本试验中用物理措施(薄膜包被)来控制底泥营养盐的释放,其效果显然差得多。这可能是因为,一方面薄膜包被本身并不能降解或消除污染物,只是在时间上推迟或延缓,在量上并没有减少。而且由于薄膜包被起到了厌氧效果,加快了底泥中的厌氧反应,反而促使底泥中部分物质被还原而释放,因而后期出现了水中营养盐浓度高于底泥裸露的现象,即本试验中的“补偿效应”。另一方面,薄膜包被并没有将底泥和水完全隔绝,不可能使底泥中的营养盐处于完全封闭状态(现实中也同样不可能把底泥完全封闭起来)。由于本研究设计时种植植物需刺孔(对照同样刺孔),因此掩蔽作用是暂时的。而通过种养水生植物来降解或削减污染物(或营养盐),是从污染系统中把污染物带走或转化,从根本上削减了底泥中的污染,因而是解决底泥污染的根本而有效的途径。

从本研究结果看,单一的物理措施(薄膜包被)并不能有效控制底泥污染物,而水生植物尤其是沉水植物能有效吸收和控制底泥营养盐的释放,降低水中营养盐浓度。水生植物修复很可能成为今后解决湖泊底泥污染的一个发展方向。

参考文献:

- [1] Blom G, Winkels H.J. Modeling sediment accumulation and dispersion of contaminants in lake IJsselmeer (the Netherlands) [J]. *Wat Sci Tech*, 1998, 37(6-7): 17-24.
- [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] 郭 静, 林荣忱. 水生植物对地热废水净化作用的研究[J]. 环境科学学报, 1995, 15(2): 251-255.
- [5] 由文辉, 刘淑媛, 钱晓燕. 水生经济植物净化受污染水体的研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2001, 1: 99-102.
- [6] 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.
- [7] 胡春华, 濮培民, 王国祥, 等. 冬季净化湖水的效果与机理[J]. 中国环境科学, 1999, 19(6): 561-565.
- [8] Palermo M R. Design consideration for in-situ capping of contaminated sediments[J]. *Wat Sci Tech*, 1998, 37(6-7): 315-321.
- [9] 林 力, 杨惠芳. 生物整治技术进展[J]. 环境科学, 1997, 18(3): 67-71.