

低温季节水生植物对污染水体的净化效果研究*

童昌华¹, 杨肖娥¹, 濮培民^{1,2}

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

摘要: 利用人工模拟的方法, 在低温季节用金鱼藻等6种植物对养鱼池污水进行净化处理, 结果表明, 低温季节6种植物对 TN、TP 和硝态氮仍有较好的吸收效果, 对氨态氮的吸收效果稍差; 处理4~8天后能显著提高水体透明度, 改善水质, 但对改善 COD 和 DO 的效果不理想, 可能与冬季温度低、植物换叶等因素有关。

关键词: 植物修复; 污水净化; 水生生态; 水生植物

中图分类号: X173; X171.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2003)02-0159-04

Effect on Polluted Water Decontaminated by Hydrophytes in Low Temperature Season

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

(1. College of Environment and Resource Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029;

2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008)

Abstract: By the method of artificial imitation, in the low temperature season, 6 aquatic plants were used to decontaminate the polluted water. The results showed that the water plants could absorb total nitrogen, total phosphorus and saltpetre from nitrogen effectively, the ammonia nitrogen could also be absorbed but not so effective as the above three. After 4 to 8 days the transparency of water was improved greatly by the water plants but the COD and DO were not improved obviously.

Key words: phytoremediation; decontamination of polluted water; hydro-ecology; hydrophyte

当前, 水体污染已成为环境污染中的一个带有普遍性的重大难题, 水质恶化已影响到我国许多城镇饮用水的质量, 甚至危及人类的生活, 因此迫切需要采取有效措施净化污染水体。作为污染水体修复的一种手段, 植物修复已经引起国内外学术界的重视。实验证明, 植物修复去除 N、P 具有明显的效果^[1-5], 可以用于富营养化湖泊、河道生活污水等方面的处理, 是一项既行之有效又保护生态环境、避免二次污染的净化污染水体的好方法。近年来这方面的研究较多^[6-7, 9-10], 但如何筛选高效植物品种, 进一步提高植物修复效率, 尤其在低温季节提高植物修复效率, 从而解决植物修复的周年循环问题, 是污染水体植物修复中必须解决的重要问题。本研究利用人工模拟自然条件的方法, 采用几种水生植物, 在其非生长季节(低温季节)对污染水体进行净化试验研究, 探讨低温季节不同水生植物对 N、P 吸收利用的差异以及对污染水体的净化效果, 为解决低温条件下植物修复的有效性提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在浙江大学华家池校区进行。采用人工模拟自然条件的方法, 底泥取自杭州市西湖湖底, 污水则取自华家池养鱼池中。污水的总氮为 4.282 mg/L, 硝态氮为 2.708 mg/L, 总磷为 0.027 mg/L, COD 为 15.96 mg/L, DO 为 8.7 mg/L, pH 为 7.9。从这些指标来看, 属于富营养化污水。

试验设在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, 每桶盛装湿土底泥 10 kg (经烘干, 折合为 3.592 g 干土), 厚度约 10 cm, 在加入部分污水后种养水生植物, 然后将污水加满水桶, 因此水深为 45 cm。

1.2 实验材料和方法

植物材料包括以下水生植物: 金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum* L.)、微齿(禾叶)眼子菜(*Potamogeton maackianus* A. Bennett)、马来眼子菜(*Potamogeton malaianus* Miq.)、凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)、苦草(*Vallisneria spiralis* L.)。以上植物中金鱼藻、微齿眼子菜、马来眼子菜和苦草均

* 收稿日期: 2002-10-05

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”(国科外函[2002]168号)的部分内容

作者简介: 童昌华, 男, 生于1963年, 在读博士生, 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, 已发表论文20多篇。

取自江苏太湖,其他采自浙江杭州郊区。2002年10月25日,将以上水生植物从湖中分别取来,放养到本试验基地的池塘中进行驯养适应,于11月19日分别装桶,将水生植物种养到试验用的水桶中。每处理3个重复。

试验前测定底泥和污水的基础数值。试验开始后每隔一定时间测定水中的相关参数(包括 TN、TP、硝态氮、氨态氮、COD、DO、SD 等),同时观察水生植物的生长状况。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,COD 用改良碱性高锰酸钾法测定,DO、SD (透明度)及水温等现场测定。

2 结果分析

2.1 不同水生植物对污水系统中营养吸收的差异

2.1.1 不同水生植物对污水系统中 TN 吸收的差异 从图1中可以看出,在低温季节6种不同水生植物对 TN 的吸收都有一定的效果,但植物之间差异较大,其中以狐尾藻和微齿眼子菜的效果最好,30 d 后水中的 TN 含量分别只有0.877 mg/L 和1.219 mg/L,分别只有对照的16.03% 和22.28%;而金鱼藻在这6种植物中效果最差,为4.637 mg/L,为对照的84.74%。6种植物对 TN 的吸收效果依次为:狐尾藻> 微齿眼子菜> 马来眼子菜> 凤眼莲> 苦草> 金鱼藻。

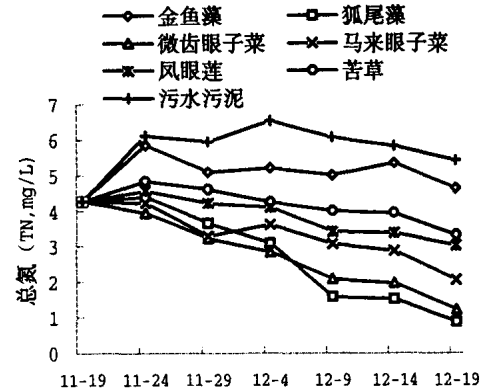


图1 不同水生植物对污水系统中 TN 吸收的差异

2.1.2 不同水生植物对污水系统中硝态氮吸收的差异 如图2所示,6种水生植物对硝态氮的吸收效果其基本趋势同 TN,但是植物对硝态氮的吸收比总氮效果更好。前5 d,由于底泥向水中释放营养物质,水中的硝态氮含量升高,但随着植物的不断吸收,水中的硝态氮含量也不断下降,至处理30 d 以后,微齿眼子菜和狐尾藻的硝态氮只有0.421 mg/L 和0.187 mg/L (对照为4.504 mg/L),分别只有对照的9.35% 和4.15%。不同植物之间的差异较大,其中狐尾藻和微齿眼子菜的效果最好,金鱼藻效果最差,其他3种植物都有较好效果(图2)。

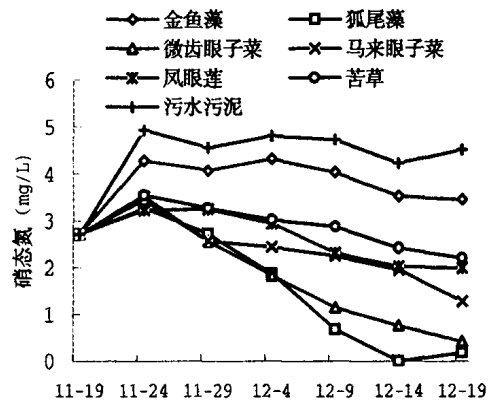


图2 不同水生植物对污水系统中硝态氮吸收差异

2.1.3 不同水生植物对污水系统中氨态氮吸收的差异 低温条件下水生植物对氨态氮的吸收不如硝态氮和总氮,不同处理之间分别为对照的30.12%~ 86.90% 不等(表1)。这可能与低温条件下一些硝化细菌、反硝化细菌等不够活跃有关。胡春华等认为,在反硝化细菌、氨化菌、硝化菌、亚硝化菌等微生物活跃的条件下,可促使氨态氮向硝态氮转化。

表1 不同水生植物处理30 d 后水中氨态氮含量的差异

处理	狐尾藻	微齿眼子菜	凤眼莲	苦草	马来眼子菜	金鱼藻	污水污泥
氨态氮	0.25	0.28	0.42	0.45	0.62	0.72	0.83

2.1.4 不同水生植物对污水系统中 TP 吸收的差异 不同处理在5 d 后对磷的吸收就表现出明显的效果。但由于污水中磷的初始含量并不高,底泥加入后又释放出部分磷,因此10天后有3种植物处理的污水中出现了磷浓度增加现象。尽管如此,30 d 之后(12月19日)所有处理的磷都降到了较低的水平(除凤眼莲外都在0.004 mg/L 以下),仅为初始值的3.7%~ 29.63%。对照处理前期的 TP 明显高于各处理,但在30 d 后水中的磷也降到了较低水平,这可能与底泥对磷的吸附等有关(图3)。

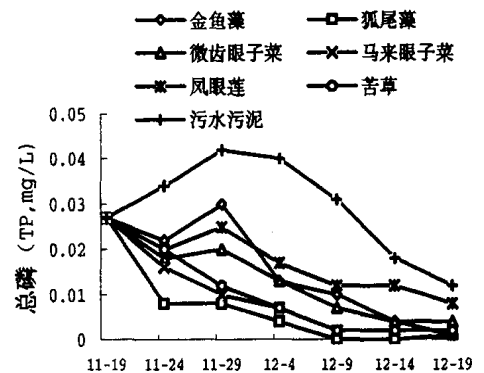


图3 不同水生植物对污水系统中 TP 吸收差异

2.2 不同水生植物对污水净化的作用

2.2.1 水生植物对 COD 的影响 水生植物对污染水体中 COD 的影响变化较大,处理10 d 比对照有显著降低,分别只有污水对照(16.36 mg/L)的17.58%~ 32.27%,污水污泥的对照(11.71

mg/L) 24.42% ~ 45.09% (表2)。但是, 处理15 d(12月4日)以后, 由于冬季低温导致部分水生植物叶子衰老、死亡, 各处理的COD都有所回升(图4)。表明水生植物在低温季节对降低COD的作用是有限的。

2.2.2 水生植物对DO的影响 水生植物对DO的影响表现为: 植物种养后, 使水中的DO浓度下降, 并且在2天时下降到最低(表3), 之后又缓慢恢复(图5)。DO的下降可能与底泥释放有机物质以及微生物、植物的生长活动有关。

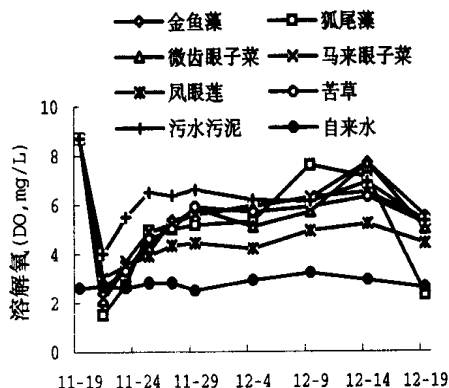
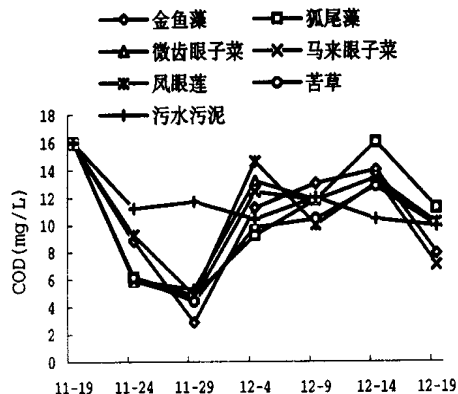


图4 不同水生植物处理后污水系统中COD的变化

图5 不同水生植物处理污水系统中DO的变化趋势

2.2.3 水生植物对提高水透明度的效果 6种水生植物对净化水质、使水体澄清都具有明显效果, 种养后2 d即能看到明显效果。使污水系统中水的透明度(SD)从20 cm(污水初始透明度)增加到45 cm(由于水桶所限, 其水深最深为45 cm, 透明度达到45 cm即已见底)所需的时间不同植物之间差异较大。从种养后(11月19日)开始 金鱼藻和微齿眼子菜只需4 d, 狐尾藻、马来眼子菜和凤眼莲需要6 d, 苦草需8 d, 有污泥的污水要25 d, 而没有污泥的污水则到了30 d时才得到彻底澄清(表4)。这表明在污水系统中种养水生植物能有效提高水体的透明度, 改善水体观感效果。

表2 水生植物处理10 d后(11月29日)污水中的COD

处理	金鱼藻	狐尾藻	微齿眼子菜	马来眼子菜	凤眼莲	苦草	污水污泥	污水
COD	2.86	4.84	5.28	4.62	4.84	4.40	11.71	16.36

表3 水生植物处理2 d后污水系统中的DO状况

处理	金鱼藻	狐尾藻	微齿眼子菜	马来眼子菜	凤眼莲	苦草	污水污泥
DO	2.35	1.50	2.10	2.20	3.00	2.65	4.00

表4 不同处理使污水系统水质变清所需的时间

处理	金鱼藻	微齿眼子菜	狐尾藻	马来眼子菜	凤眼莲	苦草	污水污泥	污水
时间	4	4	6	6	6	8	25	30

3 讨论

有研究表明, 沉水植物占优势时, 水体水质清澈, 生物多样性高; 水生植物有过量吸收营养物质特性, 可降低水体营养水平; 能减少因为风和摄食底栖生物的鱼类等所引起沉积物重悬浮, 从而降低浊度^[8]。水生植物还能抑制浮游植物的生长, 从而降低藻类的现存量, 显著提高富营养化水体的水质, 对污染水体有明显的净化作用^[5]。

李科德等^[1]利用芦苇床系统净化污水, 结果表明, 污水中BOD和COD的去除率与床内微生物的数量有明显相关性; 污水中氨态氮的去除率与硝化细菌和反硝化细菌数量显著相关; 磷的去除率则与微生物数量不相关。同时认为, 污水中的含氮有机物分解所产生的氨态氮, 一部分是通过植物吸收和挥发作用而去除, 大部分则是通过硝化作用和反硝化作用的连续反应而去除的。而磷的去除一方面是以磷酸盐沉降并固结在基质上, 另一方面是可给性磷被植物吸收^[7]。本研究结果表明, 在低温条件下(试验期间气温20℃以下至-2℃, 水温2.2~15.4℃)水生植物对TN、TP、硝态氮等均有较好的吸收效果, 而对氨态氮的吸收则相对较差; 同时对COD的去除作用也不明显, 除了在处理后的前10 d(温度比较高)与对照有明显差异外, 其余时间和对照没有明显差异。

(图4)。这些情况似乎表明, 氨态氮和 COD 的去除与微生物的活动密切相关, 因此在低温条件下微生物的活动较弱, 去除效果就差。尤其在试验的后半阶段, 温度逐渐下降, 对氨态氮和 COD 的去除效果变得不明显。

胡春华等^[4]认为, 高等水生植物根、茎的吸附、分解、吸收, 及其共生细菌构成的多级生态系统分泌物, 使水体中的悬浮颗粒与胶体凝聚后沉降, 对浮游藻类产生抑制作用, 快速提高了透明度; 高等水生植物对水体中营养盐的吸收, 使水体中营养盐含量减少, 高等水生植物的存在, 也促使富含营养盐转化为营养盐的悬浮有机碎屑沉降, 离开水体, 使水体中营养盐含量减少^[4]。本研究结果证明, 高等水生植物在吸收水体中的营养盐、提高水体透明度等方面具有显著的效果, 即使在低温季节也只需要4~8 d 时间将污水澄清, 从而提高观感效果, 同时去除了水中的营养盐, 降低或控制了富营养化程度, 为今后解决饮用水源富营养化问题提供了新的途径。

本研究结果表明, 通过水生植物净化污水是一项经济有效又保护环境的新方法。但不同植物对营养盐的吸收和水体净化效果差异较大, 而且对于同一种植物来说, 某一方面效果好, 可能另一方面效果会相对差些, 如本研究中, 金鱼藻对提高水体透明度效果既好又快, 但吸收 TN、TP、硝态氮等方面效果差些。反之, 狐尾藻在吸收 TN、TP 及硝态氮方面效果好, 但降低 COD 及提高 DO 方面不理想。因此, 在开展植物修复工程时, 要合理搭配植物, 进行多种植物组合, 同时考虑到植物功能方面的季节性差异, 以保证能够周年循环。

4 结 论

从本试验结果来看, 即使在冬季或低温条件下, 水生植物仍能较好地吸收污水中的营养物质 TN、TP 及硝态氮, 且受温度的影响不大; 即使在 P 含量很低($< 0.027 \text{ mg/L}$)的情况下, 水生植物仍能较好地吸收并降低其浓度。对氨态氮来说, 低温会降低水生植物对它的吸收效果, 可能与低温导致微生物的活动下降有关。

低温季节水生植物对提高水体透明度效果好, 但对降低 COD 和提高水中 DO 的效果不理想。冬季或低温使植株或部分组织衰老枯死, 并不会使水中的营养盐浓度增加, 但会导致 COD 上升。

参考文献

- [1] 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
- [2] 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
- [3] 王国祥, 濮培民, 等. 人工复合生态系统对太湖局部水域水质的净化作用[J]. 中国环境科学, 1998, 18(5): 410- 414
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 唐述虞, 史建文, 陈建国. 凤眼莲生态工程在炼油废水深度处理中的应用研究[J]. 环境科学学报, 1994, 14(1): 98- 104
- [7] 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
- [8] Scheffer M. Multiplicity of stable states in freshwater system [J]. Hydrobiologia, 1990(200, 201, 总期号): 475- 487.
- [9] Schnoor J L, Licht L A, McCutcheon S C, et al. Phytoremediation of organic and nutrient contaminations[J]. Environmental Science & Technology, 1995, 29: 318- 323
- [10] Truong P N V. Vetigrass, its potential in the stabilization and rehabilitation of degraded saline land[A]. In: Squire V R, Ayoub A T eds. Halophytes as a resource for livestock and for rehabilitation of degraded lands[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994. 293- 296
- [11] 胡田田, 等. 旱地土壤矿质氮和可矿化氮与土壤供氮能力的关系[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 83- 86
- [12] 陈效民, 等. 太湖地区主要水稻土中硝态氮水平运移规律的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 95- 97
- [13] 吴甫成, 等. 洞庭湖退耕还湖区水质监测与分析[J]. 水土保持学报, 2002, 17(1): 134- 136
- [14] 阎伍玖, 等. 巢湖流域农业活动与非点源污染的初步研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 129- 132
- [15] 张水龙, 等. 辽西易旱区小流域农业非点源污染形成的规律[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 81- 84

上接第158页

参考文献

- [1] 王斌瑞. 黄土高原径流林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996
- [2] 李嘉钰. 甘肃黄土高原林业现状及发展方向探讨[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(1): 87- 91
- [3] 陈云明, 等. 黄土丘陵半干旱区不同类型植被水保生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 57- 61
- [4] 张永涛. 不同集水面积和施肥量对油松、侧柏生长的影响[J]. 林业科技通讯, 2000(10): 17- 19
- [5] 王斌瑞. 黄土高原径流林业技术研究[J]. 林业科技通讯, 1996(9): 13- 15
- [6] 王百田. 干旱半干旱地区集流造林工程设计[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 4- 5
- [7] 赵焕胤. 半干旱地区油松人工林带降水截留作用分析[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(6): 66- 69
- [8] 何园球, 等. 红壤丘岗区人工林土壤水分、养分流失动态研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 91- 93
- [9] 金小麒, 等. 板桥河小流域防护林体系生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 80- 83
- [10] 宋轩, 等. 长江中游栓皮栎林水文生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 76- 79