

文章编号:1671-8836(2007)02-0213-06

着生刚毛藻处理富营养化湖泊水

况琪军¹, 凌晓欢^{1,2}, 马沛明³, 胡征宇^{1†}

(1. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

3. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北 武汉 430079)

摘 要: 分别研究了室内和露天条件下在鹅卵石上着生的刚毛藻 *Cladophora oligoclona* 对富营养化湖水中氮(N)和磷(P)的净化效果及其对水华藻类生长的抑制能力,同时对处理后湖水的藻类生长潜力进行了测试. 结果显示,刚毛藻在原始浓度总氮(TN)10.512 mg/L和总磷(TP)0.856 mg/L的富营养化湖水中能维持正常的生长代谢,并能有效去除水体中的N、P养分. 在室内12 d培养期间,刚毛藻对TN、氨氮(NH₄-N)、TP和无机磷(PO₄-P)的平均去除率分别达53.13%,44.40%,35.71%和30.53%. 在室外6 d培养期间,刚毛藻对TN、NH₄-N、TP和PO₄-P的日均减少量分别为1.643 5±0.413 9,1.350 3±0.352 4,0.113 7±0.041 1,0.074 2±0.033 0 mg/L,总去除率分别高达93.81%,94.62%,79.67%和77.66%. 刚毛藻对水华微囊藻生长的抑制率达99.63%,处理后湖水的藻类生长潜力较原湖水下降了40.17%. 据此认为,刚毛藻在净化污染水体、修复受损湖泊及防治水体富营养化等方面具有潜在的应用前景.

关键词: 着生藻类; 刚毛藻; 污水处理; 氮磷; 去除率**中图分类号:** X 171 **文献标识码:** A

0 引言

氮磷过剩引起湖泊富营养化并发生藻类水华的现象日趋频繁,探索和研究湖泊富营养化控制技术,筛选能有效降低水体中氮磷浓度的生物,一直以来备受世界各国环保学者的广泛关注^[1~3]. 着生藻类(attached algae)是附着在浸没于水体基质表面生长的藻类,在浅水湖泊和小型河流的沿岸带、水底、水草或其他各种基质上均有分布,其生物量可远远超过浮游藻类的生物量. 应用着生藻类进行污水处理的初步研究结果显示,一些着生的大型丝状绿藻能有效吸收和降解水体中的无机或有机污染物,对维持水生生态系统的结构和功能有其特有的作用^[4,5]. 本文在前期获得不同着生藻类对人工合成污水净化效果的基础上,选择刚毛藻(*Cladophora oligoclona*)为材料,进一步研究了该藻对富营养化湖水中N和P的处理效果及其抑制水华藻类生长的能力,同时,对被处理后湖水的藻类生长潜力也进行了测试,旨在为拓展着生藻类在污水净化中的应

用范围、在受损湖泊水体修复中的应用提供参考依据.

1 材料和方法

1.1 实验藻种

实验藻种为刚毛藻(*Cladophora oligoclona* Kuetzing),采自武汉东湖磨山水域. 将刚毛藻连同其着生的鹅卵石一并带回实验室,用自来水冲洗附着在藻体上的其他微型生物和有机颗粒后,放入经修改的NaNO₃含量为1.5 g/L的BBM培养基^[2]中保种备用. 接种前,将保种的刚毛藻及其基质取出,用粗滤纸吸干藻体表面的水份,将藻类连同鹅卵石一并称重,接种到藻类处理系统中,待实验结束后,再单称鹅卵石的重量,获得刚毛藻的净接种量,本研究中刚毛藻的净接种量≥40 g/L.

1.2 室内实验

1.2.1 氮磷去除实验

被处理湖水采自东湖茶港湖区,每天上午9:00取水,先行测定总氮(TN)、氨氮(NH₄-N)、总磷

收稿日期: 2007-01-17 † 通讯联系人 E-mail: huzy@ihb.ac.cn

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601021); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2002CB412309)

作者简介: 况琪军(1952-),女,高级工程师,现从事污水生物净化与藻类生态毒理学研究.

(TP)和无机磷($\text{PO}_4\text{-P}$)的本底浓度后,自供料桶恒流($\approx 17.3 \text{ mL/min}$)至接有刚毛藻的藻类反应系统,停留 24 h 后,从出水口流出(图 1),日污水处理量 25 L.隔天取样测定出水的浓度,用与本底值相比的减少率确定藻类对氮磷的净化效果.

实验期间,4支 20 W 日光灯管分别置藻类培养系统的上部 24 h 提供光照,光强 $50\sim 70 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,用 JD-1A 型照度计(上海产)直接测定;温度控制在 $18\sim 23 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间.氮磷浓度按水与废水分析标准方法测定^[6].

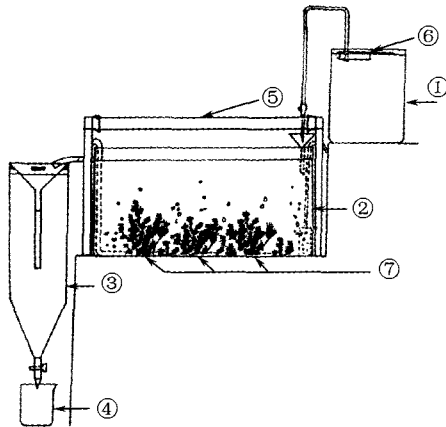


图 1 着生藻污水处理实验装置

- ① 供料桶, ② 藻类反应系统, ③ 沉降槽, ④ 水样收集瓶,
⑤ 日光灯(室内实验), ⑥ 恒流装置, ⑦ 藻类

1.2.2 水华藻类生长抑制实验

将汉阳月湖肉眼可见水体表面漂浮藻类水华的湖水取回实验室,测定其 TN、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TP、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的本底浓度,计数水华藻类(水华微囊藻 *Microcystis flos-aquae*)的原初细胞密度后,装入藻类反应系统并接种刚毛藻,隔天同步取样测定 TN、TP、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度,同时取样计数微囊藻细胞密度的变化,根据与本底浓度之差确定刚毛藻对微囊藻生长的抑制率及其对氮磷的去除率,实验周期 8 d.藻类细胞计数方法同第一作者等的先期报道^[7],培养条件同 1.2.1.不同之处在于,实验中的被处理湖水并非恒流,而是一次性注满至 25 L,以避免微囊藻细胞在恒流过程中流失而导致结果误差.

1.2.3 藻类生长潜力(AGP)实验

应用藻类生物测试通用标准方法^[8]进行藻类生长潜力实验,被试藻种为本实验室保种的斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*),在室内条件下扩大培养至对数生长期后用于实验.实验用水为从藻类反应系统流出的水(以下简称出水).实验设置为 7 组,分别为:出水、出水+N(按对照培养基 BG11 的量,下

同)、出水+P、出水+N+P、出水+BG11 的全部组份、BG11 标准培养基(对照)和未经处理的原湖水;配水前原湖水和出水均先经 Whatman GF/C 微孔滤膜($0.45 \mu\text{m}$)过滤,以去除水体中的颗粒杂质.实验容器为 150 mL 三角瓶,装量 100 mL;温度(22 ± 2) $^\circ\text{C}$,4支 20 W 银光灯从底部提供光照,光强 $50\sim 70 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,光暗循环 14:10.实验处理设 3 个重复,实验周期为 7 d,光密度(OD_{650})和细胞密度为测试指标,用与对照相比的百分率进行结果分析.

1.3 露天实验

为使实验条件更接近于自然环境,以便实验结果更具参考性,作者在室内研究的基础上,将处理规模扩大进行了露天实验.于两个容积为 600 L 的玻璃缸(规格:长 1.0 m,宽 1.0 m 和高 0.6 m)中一次性装入 480 L 被处理湖泊水(取自东湖距茶港湖区纳污口约 200 m 处),分别设为处理系统(A)和对照(B),白天以玻璃板为盖,既确保光照和防止水份挥发,又防止灰尘等杂质落入,晚间将玻璃板的一侧用木块垫高,以便气体交换.在先行测定污水的本底氮磷浓度后,于 A 池中接种刚毛藻,藻类的前处理同 1.2.1 所述;B 池不接种藻类,任其自然,用以消除天然湖水中原有生物或有机颗粒对营养的吸附利用以及光解作用导致的营养降解.于次日同一时间(24 h)两池同步取样测定 TN、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TP 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度,按公式: $R_n = (C_{A0} - C_{An})/C_{A0} - (C_{B0} - C_{Bn})/C_{B0}$ 计算藻类对 N、P 的去除率.式中: R_n 为第 n 天时刚毛藻对营养物质的去除率; C_{A0} 、 C_{B0} 分别为 A 池、B 池初始营养浓度,单位 mg/L; C_{An} 、 C_{Bn} 分别为 A 池、B 池当天的营养浓度,单位 mg/L.

每个样品测 3 个重复,取平均值进行结果分析.实验持续 6 d,自然光照,温度(23 ± 3) $^\circ\text{C}$,实验期间,天气情好无雨.

2 结果与讨论

2.1 实验藻类生长状况及种类组成

无论室内还是室外实验,刚毛藻的接种量大致控制在 40 g/L 左右,由于实验藻种采自天然水体,故在其繁茂的分枝上不免附着有其他藻类,经显微镜观察鉴定,夹杂在刚毛藻中的藻类有绿藻门的鞘藻(*Oedogonium* sp.)、小球藻(*Chlorella* sp.)和栅藻(*Scenedesmus* sp.),硅藻门的舟形藻(*Navicula* sp.)和异极藻(*Gomphonema* sp.),经生物量测算^[6],这些藻类的合计鲜重仅占总生物量的 5% 左右,故在分析藻类的净化效果时,只提及刚毛藻

(*Cladophora oligoclona*) 而不考虑其他藻类的作用。整个实验期间,刚毛藻在被处理湖泊水中能保持良好的生长代谢,接种 24 h 后即可观察到色泽鲜绿的新生藻丝,一周后藻丝长度达 10~20 cm,其旺盛的生长代谢可持续 2 周左右,而后代谢趋于减缓,部分老化藻丝断裂并沉入水底,对 N、P 的净化效率下降。

2.2 室内条件下刚毛藻对 N、P 的净化效果

图 2 列举了室内条件下刚毛藻对富营养化湖泊水中氮磷的净化效果,数据显示,在 12 天的实验期间,刚毛藻对水体中 TN、NH₄-N、TP 和 PO₄-P 的去除率分别波动在 45.32%~59.32%,36.05%~48.65%,31.77%~38.56% 和 27.66%~33.61% 之间,平均去除率分别为 53.13%,44.40%,35.71% 和 30.53%。对 TN 和 NH₄-N 的最高去除率出现在第 6 天和第 8 天,对 TP 和 PO₄-P 的最高去除率出现在第 4 天,四项被测指标的最低去除率均出现在第 12 天。比较上述数据可见,刚毛藻对 N 的净化效果比对 P 的净化效果要好一些,可能与污水中存在很多微生物有关,异养微生物通过氨化作用将水体中的有机氮化合物转化为 NH₄-N,从而加速了其他生物对氮的吸收利用;硝化与反硝化菌通过硝化和反硝化作用的连续反应将水体中的 NH₄-N 脱除。与作者早期应用刚毛藻处理人工合成污水的研究结果相比,刚毛藻对富营养化湖泊水中上述 4 项指标的净化效果均存在一定差异,但差异不显著 ($p>0.05$)。早期的研究结果证明,刚毛藻对人工合成污水中 TP 的去除率波动在 50%~60% 之间,对 PO₄-P、TN 和 NH₄-N 的最高去除率分别为 57.14%,40% 和 30%^[9],这些差异可能与被处理污水的性质、污水中原有生物颗粒的种类和数量不同有关。此外,藻类初始接种量的不同,藻类生长状况

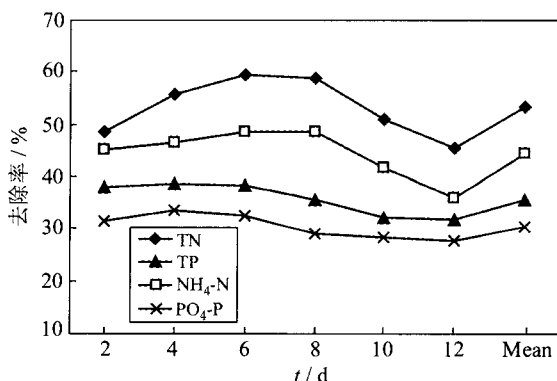


图 2 室内条件下刚毛藻对 N、P 的去除效果

的好坏,污水负荷及流速的差异,以及环境条件的改变等均可影响污水处理的最终效果^[10,11]。

2.3 露天条件下刚毛藻对 N、P 的净化效果

由于室内实验规模较小且条件稳定,而在实际应用中,一些不可预见的气候和环境条件的改变均可对处理效果造成干扰,为使实验结果更接近于现实状况,作者继而在露天条件下将实验规模扩大作了进一步研究。被试湖水的本底营养浓度为:TN 10.512 mg/L, NH₄-N 8.563 mg/L, TP 0.856 mg/L, PO₄-P 0.573 mg/L, 4 项指标均达富营养化水平。实验持续一周,期间,天气晴朗、光照充足、藻类光合放氧强烈。

图 3 和表 1 分别展示了露天条件下刚毛藻对富营养化湖泊水中氮磷的去除效果及日减少量。数据显示,刚毛藻对 TN、NH₄-N、TP、PO₄-P 的日去除率分别波动在 8.21%~20.46%, 8.69%~20.58%, 4.91%~18.46% 和 7.33%~16.23% 之间,最高日减少量分别为 2.151, 1.762, 0.158, 0.093 mg/L, 出现在接种后的第 1 天;对 4 项被测指标的日均去除率分别为 15.63%, 15.77%, 13.28% 和 12.94%, 日均减少量分别为 1.643 5±0.413 9, 0.913 5±0.752 9, 0.113 7±0.039 6, 0.074 2±0.017 9 mg/L。除 TP 外,其他 3 项指标的日去除率显示随处理时间的延长呈逐渐下降趋势:在处理的前 3 天,日去除率高于均值,第 4 天与均值相当,第 5 天略低于均值,第 6 天明显低于均值。分析认为,与被处理湖水中氮磷浓度逐日减少有关,浓度越低,处理效果越不明显。

图 4 显示了露天条件下一周处理期间 A 池中氮磷浓度的变化,明显可见, A 池中的氮磷浓度随处理时间的延长逐渐下降,实验结束时, TN 和 NH₄-N 的浓度分别由 10.512 mg/L 和 8.563 mg/L 减少

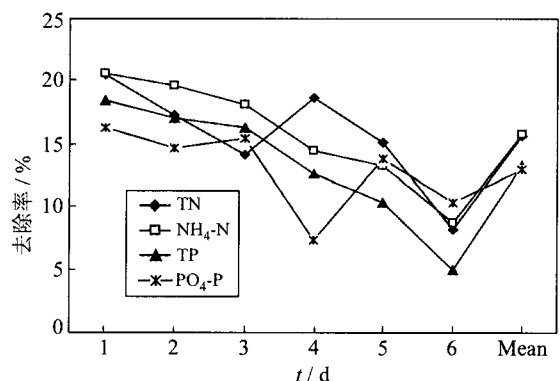


图 3 露天条件下刚毛藻对 N、P 的日去除效果

表 1 刚毛藻处理系统中氮磷浓度日减少量及均值

t/d	日减少量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			
	TN	$\text{NH}_4\text{-N}$	TP	$\text{PO}_4\text{-P}$
1	2.151	1.762	0.158	0.093
2	1.814	1.678	0.146	0.084
3	1.481	1.550	0.139	0.088
4	1.964	0.106	0.108	0.042
5	1.588	0.203	0.089	0.079
6	0.863	0.182	0.042	0.059
日均减少量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1.6435 ± 0.4139	0.9135 ± 0.7529	0.1137 ± 0.0396	0.0742 ± 0.0179

至 0.651 mg/L 和 0.461 mg/L, 总减少率分别高达 93.81% 和 94.62%; TP 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 分别由 0.856 mg/L 和 0.573 mg/L 降至 0.174 mg/L 和 0.128 mg/L, 总减少率分别为 79.67% 和 77.66%, 效果之显著可见一般. 对照池中氮磷浓度的减少率波动在 13%~15% 之间, 污水中原有细菌和有机颗粒对 N、P 的吸附利用和阳光的直接照射对营养物质的光解作用无疑是对照池氮磷浓度减少的主要原因.

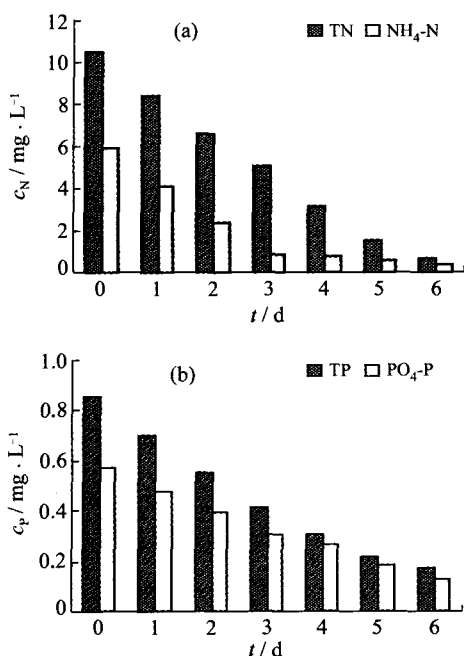


图 4 露天条件下实验池中氮磷浓度变化

(a): 氮浓度变化 (b): 磷浓度变化

2.4 刚毛藻对水华藻类的生长抑制效果

本项实验旨在进一步探讨刚毛藻能否有效抑制水华藻类的生长. 被处理湖水眼观混浊, 水体表面明显漂浮一层蓝绿色的藻细胞颗粒, 经鉴定为水华微囊藻 *Microcystis flos-aquae*, 其原初细胞密度达 172×10^6 个/L. 除水华微囊藻外, 水样中尚有绿藻门的普通小球藻 *Chlorella vulgaris*, 实球藻 *Pandorina morum*, 疏刺多芒藻 *Golenkinia paucispina*,

肾形藻 *Nephrocytium sp.*, 三叶四角藻 *Tetraëdron trigonum*, 齿牙栅藻 *Scenedesmus denticulatus* 和四尾栅藻 *S. quadricauda*, 硅藻门的小环藻 *Cyclotella sp.*, 星杆藻 *Asterionella formosa*, 蓝藻门的细小平裂藻 *Merismopedia glauca*, 颤藻 *Oscillatoria sp.* 和蓝纤维藻 *Dactylococcopsis sp.*, 以及囊裸藻 *Trachelomonas sp.*, 裸藻 *Euglena sp.*, 卵形隐藻 *Cryptomonas ovata* 和单鞭金藻 *Chromulina ovalis* 等, 这些藻类的细胞密度合计约为总细胞密度的 10% 左右.

随着培养时间的延长, 被处理水逐渐变清, 在实验系统的底部明显有死藻类细胞沉淀. 显微镜计数结果表明, 在培养的第 3 d, 第 6 d 和第 8 d, 微囊藻的细胞密度分别由原初的 $172 \times 10^6/\text{L}$ 减少至 $68.4 \times 10^6/\text{L}$, $12.8 \times 10^6/\text{L}$ 和 $0.64 \times 10^6/\text{L}$, 减少率分别达 60.23%, 92.56% 和 99.63%, 微囊藻的生长受到明显抑制.

与藻细胞计数同步取样测定的 N、P 数据显示, 在培养的前 6 d, 刚毛藻对 N、P 的去除率极低, 实验结束时, TN 浓度由原初的 1.31 mg/L 减少至 1.09 mg/L, 总去除率仅 16.8%; TP 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 分别由原初的 0.155 mg/L 和 0.077 mg/L 降至 0.091 mg/L 和 0.033 mg/L, 总去除率分别为 41.3% 和 57.1% (图 5). 与 2.3 部分的结果存在明显差异, 分析认为, 可能与实验初期微囊藻细胞密度急剧减少有关.

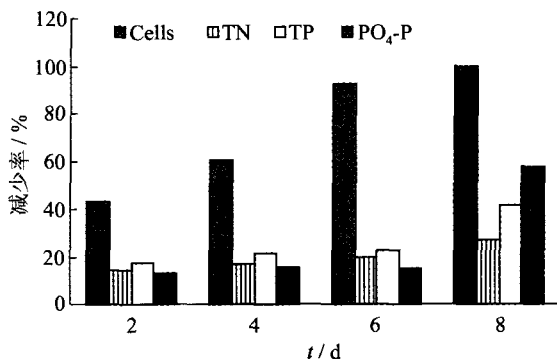


图 5 刚毛藻对富营养化湖水的净化效果

因为被抑制的微囊藻细胞死亡后沉入水底,死细胞中残留的部分营养物质可重新释放到水体中,从而增加了水体中的营养浓度.经显微镜观察发现,微囊藻死细胞的内含物基本无色,细胞结构无明显变化,据此分析,刚毛藻抑制水华微囊藻生长的机理可能是通过营养竞争和遮光作用,降低了水华微囊藻的蛋白质含量和酶的活性所致,相关研究有待进一步深入.

由于本次实验仅局限在实验室规模,避免了许多不可预知因素的干扰,而在实际应用中,这些干扰无法排除,因此,上述刚毛藻对微囊藻生长的抑制率可能与天然条件下实际应用中的结果略有差异.

2.5 富营养化湖水处理前后藻类生长潜力(AGP)的变化

藻类生长潜力(AGP)可有效甄别水体中藻类生长的限制因子和评价水体的营养状况.为了确定富营养化湖水的 N、P 浓度被降低后,其 AGP 会有多大改变,继而对 2.2 部分的富营养化湖水处理前后的 AGP 进行了生物测试.在 7 天实验期间,对照

BG11 培养基的藻类生长量呈稳步上升趋势;未经处理的原湖水(OLW)的藻类生长量最高达对照的 73.02%(第 1 天),最低为 49.84%(第 7 天),平均 61.17%;经处理后湖水(TLW)的最大 AGP 值为对照的 43.17%(第 3 天),第 5 天至第 7 天波动在对照的 25%左右;与未经处理的原水相比,TLW 的平均 AGP 值为 OLW 平均 AGP 值的 59.23%,相差 40.77%;当于经处理后湖水中分别添加 N、P 营养,AGP 值明显较未添加营养的高,其中,+N,+P 和 +BG11 全培养基的两组处理的 AGP 值相差不大(图 6).以对照组的藻类生长量为 100%,添加不同营养的藻类日均生长百分率高低的排序是:TLW+BG11(94.05%),TLW+N+P(91.41%),TLW+P(80.93%),TLW+N(67.15%),显然,N、P 的添加均有利于藻类生长,相比之下,添加 P 的效果较添加 N 的效果更佳.由此证明,利用着生藻类吸收和转化富营养化湖水中的 N、P 营养可有效降低湖泊的藻类生长潜力,从而减缓湖泊富营养化的进程并防止藻类水华的发生.

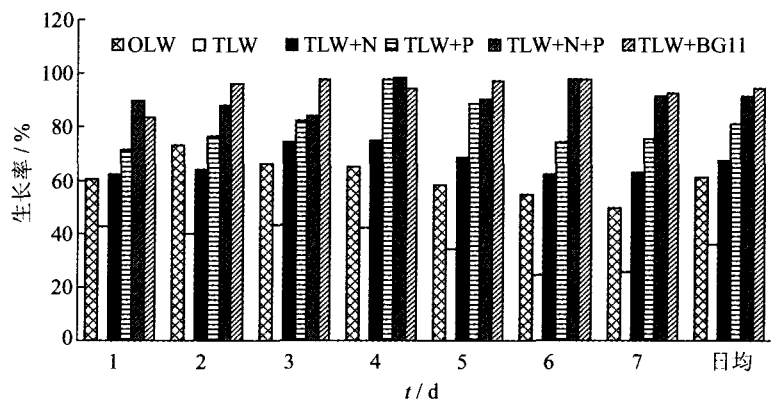


图 6 被处理湖水的 AGP 变化

3 结论

利用着生藻类处理污水是一种低成本、高效率,易于控制的生态工程污水净化手段,在去除水体中的过剩营养、改善水质、恢复生态系统的物种多样性等方面具有潜在的优势.其工程设计较为简单,只要提供能使藻类附着其表面生长的基质、控制适当的水位和流速、确保一定的光照强度即可达到净化污水的目的;当藻类生物量过大时,无需复杂的富集过程,仅将基质取出,刷除其表面附着的藻类即可对藻类进行收获.必须注意的是,工程运行期间应定期监测、加强管理、及时收获衰老藻类,以便污水净化效果的稳定性和持续性.

参考文献:

- [1] Nagase H, Inthorn D, Miyamoto K. The Use of Photosynthetic Microorganisms in Bioremediation [J]. *J Toxicol Environ Health*, 1994, **40**(6):479-485.
 - [2] Craggs R J, Adey W H, Jenson K R, et al. Phosphorus Removal from Wastewater Using an Algal Turf Scrubber [J]. *Water Science and Technology*, 1996, **33**(7):191-198.
 - [3] 凌晓欢,况琪军,邱昌恩,等.两种藻类对水体氮、磷去除效果研究 [J]. *武汉大学学报(理学版)*, 2006, **52**(4):487-491.
- Ling Xiaohuan, Kuang Qijun, Qiu Changen, et al. Removal Efficiency of Nitrogen and Phosphorus in Wastewater by Two Species of Algae [J]. *J Wuhan*

- Univ (Nat Sci Ed)*, 2006, **52**(4):487-491(Ch).
- [4] Champagne C P, Lacroix C, Isabelle S G. Immobilized Cell Technologies for the Dairy Industry[J]. *Critical Reviews in Biotechnology*, 1994, **14**(2):109-134.
- [5] Craggs R J. Wastewater Treatment by Algal Turf Scrubbing [J]. *Water Science and Technology*, 2001, **44**(11-12):427-433.
- [6] 国家环境保护总局. 水和废水检测监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration. *Analysis Methods for the Examination of Water and Wastewater*[M]. Beijing:China Environmental Science Press, 2002(Ch).
- [7] 况琪军, 毕永红, 周广杰, 等. 三峡水库蓄水前后浮游植物调查及水环境初步分析[J]. 水生生物学报, 2005, **29**(4):353-358.
Kuang Qijun, Bi Yonghong, Zhou Guangjie, et al. Study on the Phytoplankton in the Three Gorges Reservoir before and after Sluice and the Protection of Water Quality[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(4):353-358(Ch).
- [8] Environmental Protection Agency. *Algal Assay Procedure-Bottle Test*[M]. Corvallis; National Eutrophication Research Program, 1971:182.
- [9] 况琪军, 马沛明, 刘国祥, 等. 大型丝状绿藻对 N、P 去除效果研究[J]. 水生生物学报, 2004, **28**(3):323-326.
Kuang Qijun, Ma Peiming, Liu Guoxiang, et al. Study on the Removal Efficiency of Nitrogen and Phosphorus by Filamentous Green Algae[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, **28**(3):323-326(Ch).
- [10] 陈汉辉. 冬季水网藻对源水水质的净化作用[J]. 上海环境科学, 2000, **19**(2):76-78.
Chen Hanhui. Purification Ability of Hydrodictyon for Source Water in Winter[J]. *Shanghai Environmental Science*, 2000, **19**(2):76-78(Ch).
- [11] 马沛明, 况琪军, 刘国祥, 等. 底栖藻类对氮、磷去除效果研究[J]. 武汉植物学研究, 2005, **23**(5):465-469.
Ma Peiming, Kuang Qijun, Liu Guoxiang, et al. Study on Removal Efficiency of Nitrogen and Phosphorus by Freshwater Benthic Algae[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2005, **23**(5):465-469(Ch).

Treatment of Eutrophication Lake Water by Attached *Cladophora oligoclona*

KUANG Qijun¹, LING Xiaohuan^{1,2}, MA Peiming³, HU Zhengyu¹

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, Hubei, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. Institute of Water- Engineering Ecology, Chinese Ministry of Water Resources and
Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, Hubei, China;)

Abstract: The removal efficiency of nitrogen and phosphorus in eutrophic lake water by attached *Cladophora oligoclona* has been investigated at the conditions in laboratory and outdoor, respectively. The results showed that attached *Cladophora oligoclona* grew quite well and had high removal rates of N and P in the eutrophic lake water at the concentrations of TN 10.512 mg/L, NH₄-N 8.563 mg/L, TP 0.856 mg/L and PO₄-P 0.573 mg/L. The average removal rates of TN, NH₄-N, TP and PO₄-P from the eutrophic lake water by *C. oligoclona* were 53.13%, 44.40%, 35.71% and 30.53% in a 12-day culture at laboratory conditions. The total removal rates of the four parameter were 93.81%, 94.62%, 79.67% and 77.66%, with a daily reduction of TN 1.643 5±0.413 9 mg/L, NH₄-N 1.350 3±0.352 4 mg/L, TP 0.113 7±0.041 1 mg/L and PO₄-P 0.074 2±0.033 0 mg/L, by the algae in a 6-day culture under outdoor conditions. The growth of *Microcystis flos-aquae* could be restrained by *Cladophora oligoclona*, the limited rate was reached to 99.63% in a 6-day culture in laboratory. The algae growth potential of the treated eutrophic lake water was reduced 40.17% of the original lake water. The results showed that attached *Cladophora oligoclona* was suitable for treating the wastewater with high concentrations of phosphorus and nitrogen.

Key words: attached algae; *Cladophora oligoclona*; wastewater treatment; nitrogen and phosphorus; removal efficiency