

利用水生植物改善南太湖水质的研究

张爱菊¹, 叶金云², 赵汉取¹, 原居林¹, 沈锦玉¹

(1. 浙江省淡水水产研究所, 湖州 313001; 2. 湖州师范学院, 湖州 313001)

摘要:2010 年对太湖水域非种植区与景观水生植物种植区的浮游植物群落结构及水质理化指标进行了调查。结果显示, 非种植区和种植区采样点的理化指标在一定程度上存在差异性, 且 6 个水生植物种植区水质理化指标均有一定程度的好转; 其中, TN、TP、叶绿素 a、COD_{Mn} 的降幅分别在 13.76% ~ 40.12%、5.81% ~ 37.10%、5.50% ~ 32.64%、3.04% ~ 20.64%; 从浮游植物群落结构分析, 不同月份浮游植物优势种群变化明显, 太湖水域采样点处蓝藻爆发时间比水生植物种植水域早, 且爆发规模大; 表明种植水生植物对于减轻南太湖营养盐内负荷、控制湖泊富营养化具有积极作用, 岸边和水域内均有大量水生植物分布的 1~3 号采样点的净水效果略优于岸边有大量水生植物但分布较少的 4~6 号点。

关键词:南太湖; 水生植物; 水质

中图分类号:X171.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2011)06-0032-06

随着工农业迅速发展、人口剧增和城镇化加速, 大量未经处理或未经有效处理的生活污水和工农业生产废水排入江河湖海, 使水环境受到严重污染。我国主要湖泊的 90% 以上已处于中营养和富营养状态, 致使湖泊生态系统结构发生变化, 功能出现退化, 蓝藻水华频繁暴发, 水质性缺水日趋严重, 并造成巨大的经济损失。富营养化湖泊的治理通常采取三部曲的战略, 即控制污染源(包括外源与内源)、控制水华和恢复生态、实施流域管理。生物调控最早是由 Shapiro 等(1975)提出的, 其中恢复以水生高等植物为主的生态修复被认为是控制蓝藻水华和富营养化的主要途径。水生植物不仅能为水体景观增添色彩, 还能对水体产生净化作用(朱斌和陈飞星, 2002)。

近 10 年来, 国内外对水生高等植物在湖泊生态系统中的作用及其恢复进行了广泛的研究。我国开展水生植物恢复与生态修复的试验工作比较早。李文朝(1997)在太湖试验围隔区内组建了由喜温型沉水植物与耐寒型伊乐藻组成的常绿水生植被; 邱东茹等(1997)在武汉东湖受控生态系统中恢复和优化了若干种水生植物; 张圣照等(1998)研究了太湖富营养化对水生高等植物及植被恢复的影响, 用盆栽试验、壮芽直播试验研究了水体透明度对水生

高等植物生长繁殖的影响, 并恢复和重建了漂浮植物、浮叶植物及沉水植物群落; 王国祥等(1999)采用群落镶嵌技术在重富营养化湖泊内成功恢复了多种生态类型的水生高等植物, 并深入研究了在透明度低的富营养化水体中水生高等植物的恢复过程、镶嵌群落对富营养化湖泊氮素循环、水质改善以及生态系统结构的影响; 这些有益的探讨为控制湖泊富营养化、改善水质以及逐步恢复湖泊健康的生态系统奠定了基础。本次研究通过比较水生植物种植区与非种植区浮游植物群落结构的差异, 同时对 pH、TP、TN、COD_{Mn} 和叶绿素 a 等水质指标进行统计分析, 以为太湖治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

于 2010 年 4-8 月的每月 27 日对南太湖 7 个点进行采样。1~6 号采样点位于独立的封闭性水域内, 是湖州渔人码头建筑设施内的景观水体, 从太湖流域进水, 且水体种植有水生植物; 7 号(对照)采样点位于 3 号和 4 号点之间, 属于太湖大面积水体。采样点序号从东到西依次排序, 各个采样点种植的水生植物见表 1。表中采样点的植物按数量从多到少排序。

1.2 试验方法

1.2.1 理化指标测定 分析测定的主要理化指标为水温、pH 值、叶绿素 a、COD_{Mn}、总氮和总磷。测定方法参照《水和废水监测分析方法》进行(国家环境保护总局, 2002)。

收稿日期: 2011-07-15

通讯作者: 叶金云, 1962 年生, 男, 教授级高级工程师。E-mail: ZIFF2006@163.com

作者简介: 张爱菊, 1981 年生, 女, 硕士, 主要从事水生生态学研究。E-mail: zhangaiju2003@yahoo.com.cn

1.2.2 浮游植物测定 取混合水样 500 mL,装入采样瓶中,加入适量鲁哥氏液固定,带回实验室静置 24 h 后,弃去上清液,浓缩后于高倍镜下鉴定藻种,并进行计数。

表 1 各采样点的水生植物种类

Tab.1 Species of aquatic plants in different samples	
采样点	水生植物种类
1	菱(40%)、水竹芋(40%)、睡莲(5%)、荷花(5%)、水葱、茭白、千金子、早苗蓼、莎草、雨久花、金鱼藻、黑三棱
2	荷花(50%)、水竹芋(40%)、菱(5%)、茭白、睡莲、水葱、黑三棱、水花生、千金子
3	水竹芋(40%)、茭白(30%)、荷花(30%)、菱(5%)、睡莲(5%)、拂子茅、千金子、黑三棱、水花生
4	水竹芋(50%)、慈姑(20%)、千金子(10%)、睡莲、莎草、水花生、黑三棱、拂子茅
5	水竹芋(60%)、睡莲(20%)、拂子茅(10%)、莎草、香蒲、慈姑、水葱、野三棱、千金子、柳叶箬
6	莎草(40%)、水竹芋(30%)、水葱(5%)、千金子、慈姑、茭白、拂子茅、早苗蓼、水花生、睡莲
7	菱、睡莲

1.3 统计分析

运用 SPSS 16.0 统计软件对试验数据进行统计学分析。

2 结果

2.1 水质理化指标的变化

2.1.1 pH 多因素方差分析显示,不同采样点对 pH 值不存在显著性差异($P=0.536$);不同月份的 pH 值存在显著性差异($P=0.000$),7 月与 4 月、5 月与 6 月之间有显著性差异,8 月与 4 月、5 月与 6 月之间也有显著性差异。

2.1.2 总氮(TN) 与 7 号对照点相比,水生植物种植区采样点的 TN 大多降低,仅 6 月的 4 号采样点、4 月的 5 号采样点有所升高,详见表 2。调查周期内,1~6 号水生植物种植区采样点的 TN 同比对照点(7 号)平均分别降低 32.55%、40.12%、38.70%、18.35%、20.25% 和 13.76%。

多因素方差分析显示,7 个采样点的 TN 值存在显著性差异($P=0.001$);不同月份的 TN 值存在显著性差异($P=0.000$),4 月的 TN 与其它 4 个月之间均有显著性差异。

2.1.3 总磷(TP) 与 7 号对照点相比,水生植物种植区采样点的 TP 大多降低,仅 5 月和 8 月的 6 号采样点有所升高(表 3)。调查周期内,1~6 号水生植物种植区采样点的 TP 同比对照点平均分别降低 34.28%、35.13%、37.10%、5.81%、19.82% 和 6.96%。

表 2 水生植物种植区采样点的总氮下降率

Tab.2 Decreased percentage of TN in different samples							%
月份	采样点编号						
	1	2	3	4	5	6	
4	0.00	3.73	3.73	4.98	-0.83	5.81	
5	60.17	62.34	61.47	32.90	35.93	27.71	
6	27.14	50.75	44.22	-2.01	26.13	19.10	
7	51.10	51.10	68.68	30.22	25.27	2.75	
8	24.36	32.69	15.38	25.64	14.74	13.46	

注:“-”表示升高。
Note:“-”representation of the percentage increased.

表 3 水生植物种植区采样点的总磷下降率

Tab.3 Decreased percentage of TP in different samples							%
月份	采样点编号						
	1	2	3	4	5	6	
4	5.71	22.86	28.57	22.86	17.14	28.57	
5	61.22	52.38	50.34	12.93	31.29	-4.76	
6	52.52	57.55	47.48	4.32	20.14	12.95	
7	42.86	42.86	50.00	7.14	21.43	7.14	
8	9.09	0.00	9.09	18.18	9.09	-9.09	

注:“-”表示升高。
Note:“-”representation of the percentage increased.

多因素方差分析显示,不同采样点的 TP 存在显著性差异($P=0.000$),4 号、6 号、对照点均与 2 号、3 号、1 号采样点之间存在显著性差异;不同月份的 TP 存在显著性差异($P=0.000$),4 月与其它 4 个调查月份之间均有显著性差异。

2.1.4 叶绿素 a 与 7 号对照点相比,水生植物种植区的叶绿素明显降低,仅 4 月的 2 号和 6 号采样点、5 月和 6 月的 4 号采样点有所升高(表 4)。调查周期内,1~6 号水生植物种植区采样点的叶绿素 a 同比对照点平均分别降低 30.14%、32.64%、31.40%、5.94%、16.34% 和 5.50%。

表 4 水生植物种植区采样点的叶绿素下降率

Tab.4 Decreased percentage of Chl-a in different samples							%
月份	采样点编号						
	1	2	3	4	5	6	
4	2.11	-0.92	22.35	5.11	0.11	-13.90	
5	43.21	13.01	15.69	-7.84	11.84	10.48	
6	49.35	50.90	36.16	-11.23	0.50	8.42	
7	28.54	45.32	35.39	37.32	29.31	5.40	
8	27.48	54.89	47.42	6.33	39.95	17.09	

注:“-”表示升高。
Note:“-”representation of the percentage increased.

多因素方差分析显示,不同采样点的叶绿素含量存在显著性差异($P=0.003$);不同月份的叶绿素含量存在显著性差异($P=0.000$)。

2.1.5 COD_{Mn} 与7号对照点相比,水生植物种植区的 COD_{Mn} 含量大多明显降低,仅4月的2号和4号采样点、5月的4号和6号采样点有所升高(表5)。调查周期内,1~6号水生植物种植区采样点的 COD_{Mn} 比对照点平均分别降低 20.64%、7.49%、19.53%、3.04%、13.14%和4.87%。

表5 水生植物种植区采样点的 COD_{Mn} 下降率

Tab.5 Decreased percentage of COD_{Mn} in different samples %						
月份	采样点编号					
	1	2	3	4	5	6
4	15.15	-5.05	25.25	-27.27	3.03	0.00
5	10.00	5.81	20.93	-13.26	8.14	-8.60
6	21.19	13.86	25.15	0.79	18.42	19.80
7	25.74	15.25	2.97	32.28	18.42	5.15
8	31.10	7.56	23.33	22.68	17.71	7.99

注:“-”表示升高。
Note:“-”representation of the percentage increased.

多因素方差分析显示,不同采样点的 COD_{Mn} 含量存在显著性差异($P=0.030$);不同月份的 COD_{Mn} 含量存在显著性差异($P=0.247$)。此外,相关性分析显示,叶绿素 a 含量与 pH 相关不显著($r=0.100, P=0.569$);与 TN 显著相关($r=0.784, P=0.048$);与 TP 相关不显著($r=0.000, P=0.560$);与 COD_{Mn} 相关不显著($r=0.232, P=0.208$)。

2.2 浮游植物群落结构的变化

2.2.1 种类组成 7个采样点5次调查共采集到浮游植物8门、42属;其中,蓝藻门6属,绿藻门20属,硅藻门10属,甲藻门1属,隐藻门1属,裸藻门2属,黄藻门1属,金藻门1属。不同月份浮游植物种类组成有所差异,4~8月分别为28、27、31、31、27属。浮游植物密度的月变化见图1。

2.2.2 现存量 多因素方差分析显示,不同采样点的浮游植物密度存在显著性差异($P=0.000$),4号采样点与其它各采样点之间均存在显著差异;不同月份的浮游植物密度不存在显著性差异($P=0.080$)。

4月:浮游植物密度以水生植物种植区的4号采样点最高,为465.0万个/L;7号对照点密度最低,为12.5万个/L;渔人码头水生植物种植区采样点的平均密度为159.5万个/L。

5月:太湖水域的7号对照点浮游植物密度增加,渔人码头水生植物种植区采样点的前4个采样点密度增加,后2个采样点密度反而有所下降。4号采样点处浮游植物密度仍最高,为640.0万个/L;2号和7号采样点密度最低,均为48.0万个/L;水

生植物种植区采样点的平均密度为174.7万个/L。
6月:浮游植物密度均增加。5号采样点浮游植物密度仍是最高,为778.2万个/L;4号采样点密度最低,为65.5万个/L;水生植物种植区采样点的平均密度为219.8万个/L。

7月:采样点5号浮游植物密度虽有所下降,但仍为最高,为352.6万个/L,其余采样点的浮游植物密度均有所增加,6号点浮游植物密度最低,为109.1万个/L;水生植物种植区采样点的平均密度为201.3万个/L。

8月:采样点3号处浮游植物密度下降,为138.4万个/L,其余采样点的浮游植物密度均有所增加,7号对照点浮游植物密度最高,为680.0万个/L;水生植物种植区采样点的平均密度为276.1万个/L。

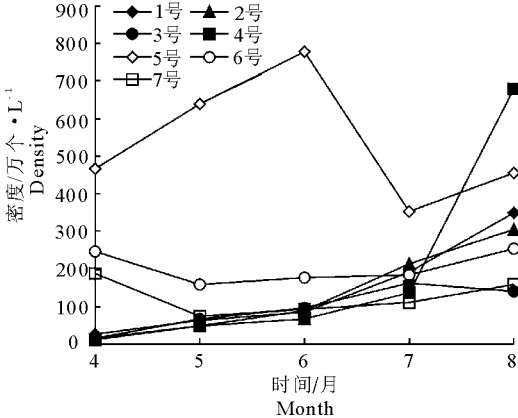


图1 各站点浮游植物密度的月变化
Fig.1 Monthly density variation of phytoplankton in different samples

2.2.3 优势种群 调查发现,渔人码头水生植物种植区6个采样点的浮游植物优势种群演替频繁,而太湖水域对照点6~8月一直是蓝藻占绝对优势。种植区与对照区蓝藻的月变化见图2,密度变化见表6。

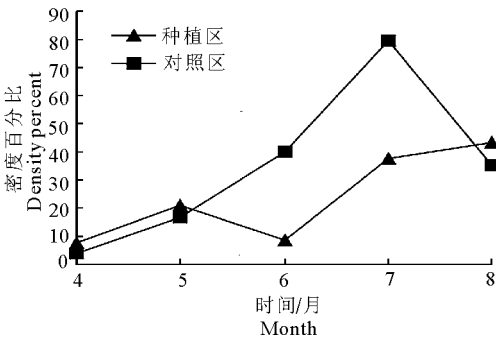


图2 水生植物种植区和对照区蓝藻密度的月变化
Fig.2 Monthly percent of density variation of phytoplankton

表 6 水生植物种植区和非种植区浮游植物优势种群密度的月变化
Tab.6 Monthly density variation of dominant populations

浮游植物	4 月		5 月		6 月		7 月		8 月	
	种植区	非种植区	种植区	非种植区	种植区	非种植区	种植区	非种植区	种植区	非种植区
优势种 1	硅藻	硅藻	绿藻	绿藻 + 裸藻	硅藻	蓝藻	绿藻	蓝藻	蓝藻	蓝藻
比例/%	33.32	48.00	34.34	27.08	36.98	40.00	38.26	79.61	43.42	35.29
优势种 2	绿藻	隐藻	蓝藻	硅藻	绿藻	硅藻 + 绿藻	蓝藻	绿藻	绿藻	绿藻
比例/%	23.97	32.00	21.02	22.92	27.04	20.00	37.42	13.62	25.85	29.41
优势种 3	隐藻	绿藻	硅藻	蓝藻	隐藻	裸藻	硅藻	—	硅藻	隐藻
比例/%	20.45	8.00	19.53	16.67	13.64	14.90	16.39	—	15.55	13.97

3 讨论

3.1 水生植物对南太湖水质的改善效果

一般认为水生高等植物不仅能够快速吸收水体和沉积物中的营养盐,分泌产生他感物质抑制浮游植物生长,而且对湖泊生态系统的物理、化学及生物学特性也有重要影响,在深入研究分析草型湖泊生态系统结构与功能的基础上,章宗涉(1998)提出了湖泊生物资源利用和富营养化控制的生态模型,强调水生高等植物在渔业和湖泊水质保护中的重要性。本次调查发现,6 个水生植物种植区水质理化指标均有一定程度的好转,其中,TN、TP、叶绿素 a、COD_{Mn}的降幅分别在 13.76%~40.12%、5.81%~37.10%、5.50%~32.64%、3.04%~20.64%;由此可见,本次试验支持章宗涉的观点。

3.2 水生植物密度对净水效率的影响

通过对 5 次调查 TN、TP、COD_{Mn}和叶绿素 a 含量的数据统计分析,发现水生植物种植区 1~3 号点 TN、TP、叶绿素 a 的下降率略优于 4~6 号;同时,在不同采样点对 TP 的多重比较分析中,4 号和 6 号分别对 1 号、2 号、3 号采样点有显著差异性,太湖水域 7 号采样点的 TP 与渔人码头水生种植区的 1~3 号采样点之间存在显著差异;因此认为太湖水域水质和水生植物种植区水质在一定程度上存在差异性,1~3 号采样点处的净水效果略优于 4~6 号。

多因素方差分析显示,不同采样点对 TN、TP、COD_{Mn}、叶绿素 a 含量、浮游植物密度存在显著性差异;多重比较也显示,水生植物种植区采样点之间也存在差异性,部分水体中 TN、TP、COD_{Mn}和叶绿素 a 含量在某些时候反而比太湖流域水体高,原因可能是渔人码头水生植物种植区水域属于景观水体,呈封闭性和非流动性的特征,在某些时候水质相对容易恶化;其次,水生植物的种类和密度也会是影响净水的效果。虽然水生植物种植区采样点的植物种类几乎相同,但在种类密度上却有差异;4~6 号采样

点处水域仅岸边分布大量的水生植物,至少占水生植物总量的 70% 以上,而水域内的水生植物稀少;1~3 号采样点的荷花、水竹芋、菱和茭白为绝对优势种群,不仅岸边分布有密集的水竹芋和茭白等水生植物,水域内也成片分布有荷花和菱等,且岸边和水域内的水生植物数量分别占总数量的 50% 左右,因此大大提高了净水的有效面积,产生了较高的净水效率。

3.3 水质理化指标和浮游植物群落结构的月变化

本次研究同时显示,水质理化指标和浮游植物群落结构随季节变化明显,不同月份对 pH、TN、TP、COD_{Mn}和叶绿素 a 均存在显著性差异。7 月对照点表现出明显的蓝藻爆发高峰,占总浮游植物密度的 79.61%,严重制约了其他藻类的生长;此外,本次浮游植物分析显示,渔人码头水生植物种植区 6 个采样点的浮游植物优势种群演替频繁,而对照点 6~8 月一直是蓝藻占绝对优势。综合分析图 2 可见,5 月水生植物种植采样点的蓝藻密度百分比与对照点相似,但前者在 6 月份明显降低,此后逐渐增加,至 8 月份达到 43.42%;后者在 6 月和 7 月的密度持续增加,在 8 月出现下降。值得注意的是,7 月太湖对照点蓝藻密度百分比是种植采样点的 2 倍之多。对比蓝藻占全部浮游植物总密度的百分比和蓝藻成为第一优势种群的时间,发现太湖水域对照点处蓝藻爆发的时间比有水生植物的采样点早,且爆发规模更大。

3.4 水生植物改善水质的可行性分析

生物调控后湖泊能否保持清水状态,很大程度上依赖于水生高等植物的恢复情况。研究表明,水生高等植物可维持水体长期稳定于清澈状态。Hosper(1998)认为水生高等植物是湖泊浊水态与清水态之间的转换开关及维持清水态的缓冲器;Hosper & Meijer(1993)指出,生物调控之后要保持长期稳定性,总磷浓度应小于 0.1 mg/L,而且沉水植物对稳定清水态有重要作用(Juttner,1999)。本次研究

发现,渔人码头水生植物种植区6个采样点的总磷平均浓度分别为0.097、0.109、0.108、0.110、0.090和0.110 mg/L,虽然比太湖水域采样点0.114 mg/L略有降低,但大部分仍高于0.1 mg/L,使得渔人码头水生植物对维持水域清水态可能没有长期的稳定效果。4月和5月的7号对照点的浮游植物平均密度比同时期水生植物种植区采样点的密度略低可能就是此原因。

秦伯强等(2006)认为,草型湖泊生态系统的恢复,首先必须降低营养盐浓度,与营养盐浓度相比,风浪、光照、鱼的牧食等均不是根本的影响因素;本次研究结果也支持这一结论。需要指出的是,本次研究的客观条件限制了本文站位的确立;1~6号采样点位于独立的封闭性水体水域内,这些封闭性水体位于湖州渔人码头景观建筑设施内;7号采样点属于太湖大面积水域水体,这样的站位设置存在一定的不足之处,站位选择还有待斟酌。

参考文献

- 国家环境保护总局编委会. 2002. 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.
- 李文朝. 1997. 富营养水体中常绿水生植被组建及净化效果研究[J]. 中国环境科学, 17(1): 53-57.
- 秦伯强, 胡维平, 刘正文, 等. 2006. 太湖梅梁湾水源地通过生态修复净化水质的试验[J]. 中国水利, 17: 23-29.
- 邱东茹, 吴振斌, 刘保元, 等. 1997. 武汉东湖水生植被的恢复实验[J]. 湖泊科学, 9(2): 168-174.
- 王国祥, 濮培民, 张圣照. 1999. 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, 19(2): 106-109.
- 张圣照, 王国祥, 濮培民. 1998. 太湖藻型富营养化水对水生高等植物的影响及植被的恢复[J]. 植物资源与环境, 7(4): 52-57.
- 章宗涉. 1998. 水生高等植物-浮游植物关系和湖泊营养状态[J]. 湖泊科学, 10(4): 83-86.
- 朱斌, 陈飞星. 2002. 利用水生植物净化富营养化水体的研究进展[J]. 上海环境科学, 21(9): 564-567.
- Hosper S H. 1998. Stable states, buffers and switches: an ecosystem approach to there storatoin and management of shallow lakes in Netherlands [J]. War Sci Teeh, 37(3): 151-164.
- Hosper S P, Meijer M L. 1993. Biomanipulation will it work for your lake. A simple test for the assessment of chances for clear water following drastic fish-stock reduction in shallow eutrophic lakes[J]. Ecological Engineering, (2): 63-72.
- Juttner F. 1999. Efficiency of bank filtration for the removal of fragrance compounds and aromatic hydrocarbons [J]. Wat Sei Tech, 40(6): 123-128.
- Shapiro J, Lamarra M, Lyneh M. 1975. Biomanipulation: an ecosystem approach to lake restoration. In: Brezonik D, Fox J L eds. Water Quality Management through Biological Ways [M]. Gainesville: University Press of Florida: 85-96.

(责任编辑 万月华)

Utilization of Aquatic Plants for Improvement of Water Quality of Southern Taihu Lake

ZHANG Ai-ju¹, YE Jin-yun², ZHAO Han-qu¹, YUAN Ju-lin¹, SHEN Jin-yu¹

(1. Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China;
2. Huzhou Teachers College, Huzhou 313001, China)

Abstract: An investigation in phytoplankton community structure and physicochemical index of water quality in non-growing area and landscape growing area of hydrophyte were conducted in southern Taihu Lake in 2010. The results showed that the physicochemical indexes of water quality in Southern Taihu Lake and landscape growing area of hydrophyte had differences to some extent, and the water quality of the six growing areas was improved to some extent. The decline of the content of TN, TP, Chl-a and COD_{Mn} were 13.76% – 40.12%, 5.81% – 37.10%, 5.50% – 32.64% and 3.04% – 20.64% separately. From the perspective of phytoplankton community structure, the dominant population of phytoplankton varied significantly in different months, and cyanobacterial bloom in Southern Taihu Lake was earlier than that in growing areas on a larger scale. Therefore, growing aquatic plants had a positive effect on the reduction of inner loading nutrients in sediments and the control of lacustrine eutrophication. Purifying effect at No. 1, No. 2 and No. 3 stations where plenty of aquatic plants vegetated in their waters and close to the shore sides was better than that in No. 4, No. 5 and No. 6 stations where there were lots of aquatic plants close to the shore sides but scarcely in the waters.

Key words: Southern Taihu Lake; aquatic plants; water quality