

刘 喆,钱 新,高海龙,等. 沉水植物群落配置对太湖贡湖生态修复区的调水效果[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):480-483.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.137

沉水植物群落配置对太湖贡湖生态修复区的调水效果

刘 喆,钱 新,高海龙,李慧明,吴红飞

(污染控制与资源化研究国家重点实验室/南京大学环境学院,江苏南京 210023)

摘要:基于国家水专项太湖贡湖生态修复区水质水量调控以及沉水植物群落配置的需求,建立了生态修复区的等比例缩放中尺度模型。以小试试验结果筛选的马来眼子菜、穗花狐尾藻、刺苦草和黑藻 4 种净化效果较好的先锋物种,在模型的西部和东部分别采取混合和分开的不同方式种植。调水方式采用前期研究的最优调水方案,分别进行夏、秋 2 季试验,通过监测模型内调水时流场数据以及调水后水质变化情况,得出模型内水质净化为原水质标准所需时间,同时通过对不同种植方式的沉水植物生长状况研究,论证该模型内 4 种沉水植物净化效果较好的种植方案,为生态修复区水质水量调控以及沉水植物种植方式提供有益的参考。

关键词:中尺度模型;调水;流场;沉水植物;太湖;植物配置

中图分类号:X171.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)05-0480-04

近年来,太湖富营养化水平的持续居高不下,加之周边城市的快速扩张,污染发生地不断向湖滨靠近,水体中氮磷营养盐的增加,导致水体蓝藻水华时有发生,引发贡湖草型生态系统的破坏,水质总体处于 V 类,水生态系统结构单一,污染净化能力下降,生态服务功能衰退,严重影响贡湖饮用水源地用水安全,亟须采取果断措施加以全面治理与保护。

当前,通过种植沉水植物净化水质是受污染水体修复的重要有效手段之一^[1]。沉水植物作为湖泊水生态系统的重要调节者,在固定底泥、防止底泥再悬浮、净化水质等方面具有重要作用。武汉东湖水生植被恢复试验^[2]、五里湖生态重建^[3]以及北京什刹海生态修复试验工程^[4]中都通过选种优良植物以优化植被结构,加速植被恢复进程,进而取得水体净化效果。然而,生态修复手段存在周期长,见效慢,对突发污染净化效果不佳等缺点^[5]。水体流动性差、换水周期长是太湖水质难以迅速改善的主要原因,北部湖湾换水周期可能更长^[6]。引清调水作为受污染湖泊修复的另一种有效手段,有着以清释污、以丰补枯、以动治静的作用^[7],目前已有巢湖生态调水^[8]、汾河清水复流^[9]、引江济太^[10]等成功案例。引清调水的重点是得出调水路线以及调水的水量,黎育红等运用二维水动力-水质耦合模型,对 9 种不同调水方案进行模拟,得到不同流量下调水的水质改善效果^[11],但模型模拟需要大量现场实测数据的支持验证。因此,本研究通过建立按一定比例缩放的贡湖湾生态修复区中尺度模型,在模型内种植小试试验最优种群配置的沉水植物,并采用前期试验所得出的调水方案^[12],根据沉水植物的生长习性不同,进行夏、秋 2 季

试验,通过监测模型内水质变化以及沉水植物生长情况,得出模型在试验调水流量下,模型内水质在不同季节净化到调水前水质标准所需时间,从而为生态修复示范区水质水量调控提供参考。

1 研究区域

本研究区域为国家“十二五”水专项课题太湖贡湖湾 2.32 km² 的生态修复示范区(图 1),示范区的调水水源是示范区北部的亲水河(连通太湖),调水点在图示的许仙港和典基港 2 处位置,示范区南部通过闸门与太湖相连通,从而能够为太湖提供清水。本研究建立的贡湖生态修复区等比缩放中尺度模型(图 2),模型容积 650 m³,平均水深约 1.3 m,位于生态修复区的东北角位置(图 1),长宽缩放比例均为 1:50。根据前期小试试验沉水植物最优配置结果选取马来眼子菜、穗花狐尾藻、刺苦草和黑藻 4 种沉水植物,分别在中尺度模型的西部和东部以混合种植和独立种植 2 种方式种植,具体种植方式如图 3 所示,北部 2 个箭头分别模拟生态修复区从许仙港和典基港的引水放流,图中 1~8 号点代表采样的 8 个点位。

2 研究方法

贡湖生态修复示范区通过先期在深水区种植先锋优势种形成种群,然后进行下层植被恢复,增加生物量和覆盖度,最后辅助种植浮叶植物增加物种多样性。形成比较成熟的生态修复区,全年水质较好,能够为太湖制造更多的清水(亲水河水位高时自流补水进示范区)。为模拟示范区制造清水能力,在实体模型中选用流量为 25 m³/h 的水泵调水,根据前期研究结果^[12]采用 2 台水泵分别从西部入流口(模拟许仙港)和东部入流口(模拟典基港),每台水泵调水流量为 25 m³/h,连续调水 5 d,每天连续调水 3 h,可使模型换水一遍的最优调水方案。

本次试验分为夏季试验(6 月 29 日到 7 月 15 日)和秋季试验(10 月 20 日到 11 月 10 日),2 次试验调水水源都是太湖水。调水 5 d 期间每天采样,采样点包括出入流,以及模型内 8

收稿日期:2016-02-29

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2013ZX07101-014)。

作者简介:刘 喆(1990—),男,江苏徐州人,硕士研究生,主要从事水环境监测与模拟研究。E-mail:282988336@qq.com。

通信作者:钱 新,教授,博士生导师,主要从事环境系统模拟与评估、环境风险预警等研究。E-mail:xqian@nju.edu.cn。

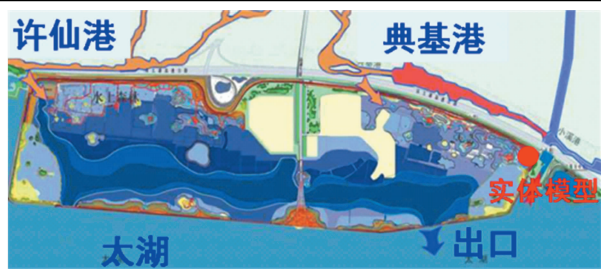
图1 太湖贡湖湾 2.32 km²的工程示范区

图2 中尺度模型

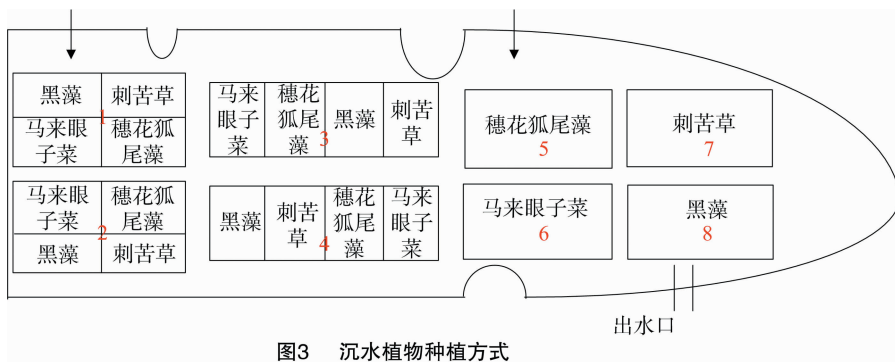


图3 沉水植物种植方式

个点位。静置期间每 3 d 采样 1 次,采样点为模型内 8 个点位。

连续调水期间采用多普勒声学流速剖面仪 (River Surveyor M9) 依次对中尺度实体模型内从西向东划分的 5 个横截面测量流速。进行流速测量时,将该仪器固定于微型船上漂浮于水面上,缓慢延横截面方向拉动船体,测定各横截面不同深度瞬时流速,该仪器垂向流速精度为 2 cm,并且模型内垂向流速差异不大,因此选取表层 20 cm 平均流速进行分析。采集水样检测氨氮、总氮、总磷、叶绿素 a 等水质指标;并且在夏季和秋季试验开始前和结束后对模型内的沉水植物生物量以及生长分布情况进行调查。

3 结果与讨论

3.1 沉水植物对水流流场的影响

模型内沉水植物种植前,夏季调水试验以及秋季调水试验的 5 个断面 (A、B、C、D、E) 的流速矢量图如图 4 所示。

夏季试验中 5 个断面的矢量图与无沉水植物相似,主要是在马来眼子菜的区域水流有所减弱,有的产生停滞或者回流 (图中虚线箭头部分),但影响较小。秋季试验相比较夏季试验主要是在马来眼子菜的区域水流受到沉水植物的阻碍效应有所减小,但黑藻对水流的阻碍作用加强。秋季试验平均流速为 0.021 m/s,比夏季试验的平均流速 0.032 m/s 有所减小,这是因为受到沉水植物阻碍作用更强,流速相对减弱。如果流速以东方 (流向出水口方向) 为正, A、B、C、D、E 5 个断面在夏季试验中负方向流速占所有流速点的比例分别为 39.3%、41.7%、42.1%、40.7%、36.4%;而秋季试验,虽然生物量减少,但是植株长度增加,所以负方向流速所占比例分别为 42.3%、50.6%、55.7%、45.7%、38%, 5 个横截面的负方向流速所占比例都略微增加,这意味着回流区域稍微变大。但是从调水流场整体方向来看,都从入流口流向出流口,且方向性很明显,所以沉水植物的影响虽有但可以忽略。

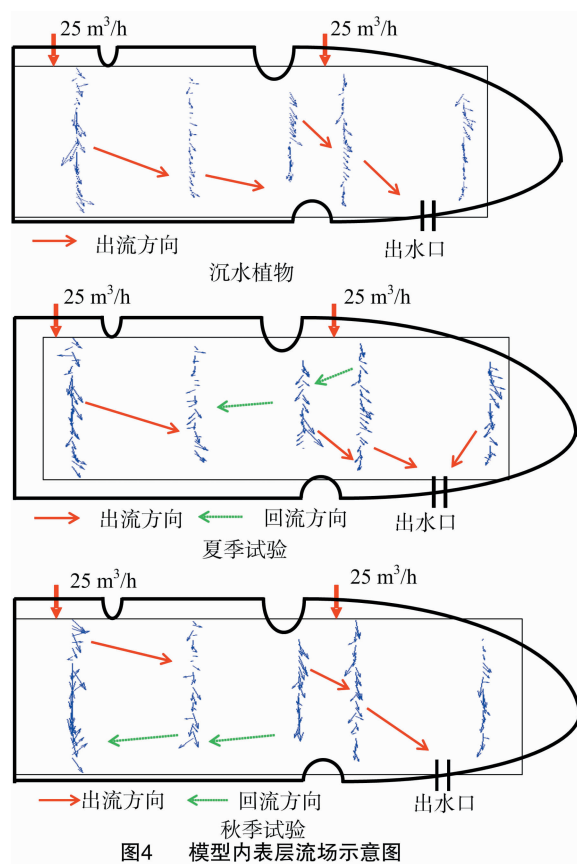


图4 模型内表层流场示意图

3.2 模型内水质变化情况

夏季试验期间调水水质为 V 类:总氮 3.14 mg/L,氨氮 1.3 mg/L,总磷 0.23 mg/L,叶绿素 a 77.1 μg/L。调水前模型内 8 个采样点平均水质为 III 类:总氮 0.83 mg/L,氨氮 0.21 mg/L,总磷 0.04 mg/L,叶绿素 a 12.9 μg/L。调水期间模型内水质变化如图 5。模型西部和东部区域 4 个采样点营

养盐平均值在静置期间的去除率如表 1。前 5 d 为连续调水期,后 12 d 是静置期。各营养盐指标除叶绿素 a 在调水最后一天达到峰值,其他 3 种指标由于调水水质较差,在调水第二天就达到峰值。在调水 14 d 以后,各水质指标都能达到调水前的Ⅲ类水质,其中 TN、氨氮已经处于稳定状态,而 TP、叶绿

素 a 在调水 17 d 时稳定下来。从模型的东西部对营养盐的去除效率来看,除 TP 的去除率为 40% 以上,其他都要高于 60%。并且除 TN 以外,西部对营养盐的去除效果都要稍好于东部。所以模型西部混合种植的沉水植物比东部分散种植的沉水植物对营养盐的去除效率要稍高。

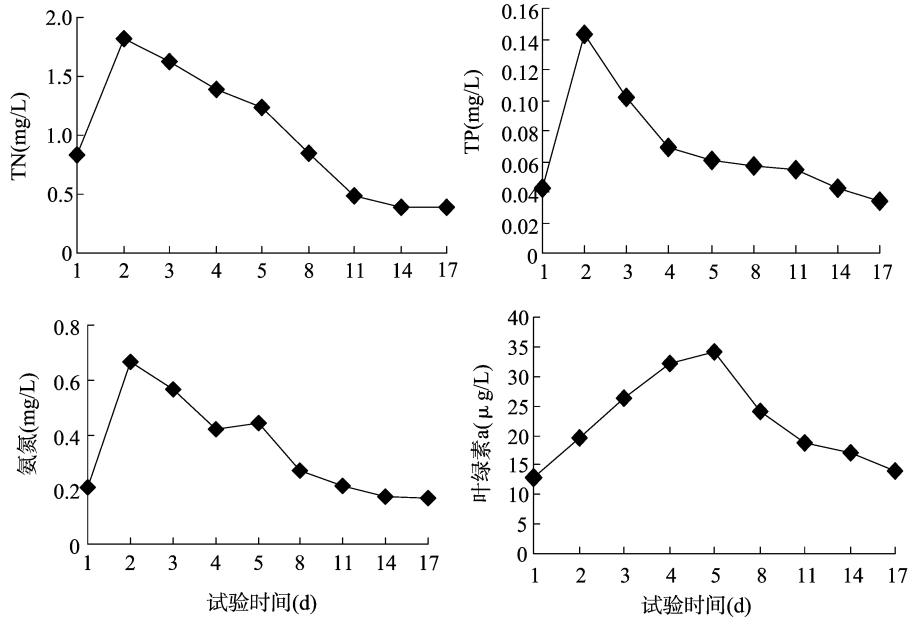


图5 夏季试验模型内水质变化

表 1 模型内东、西部营养盐去除率

部位	氨氮去除率(%)	TN 去除率(%)	TP 去除率(%)	叶绿素 a 去除率(%)
夏季模型西侧	62.65	68.12	48.46	66.29
夏季模型东侧	61.83	68.93	40.17	61.91
秋季模型西侧	27.27	36.18	60.00	86.68
秋季模型东侧	24.32	30.00	46.67	80.90

秋季试验期间调水水质为 V 类:总氮 0.92 mg/L,氨氮 0.17 mg/L,总磷 0.1 mg/L,叶绿素 a 22.34 μg/L。调水前模型内 8 个采样点平均水质为(Ⅱ类):总氮 0.28 mg/L,氨氮 0.05 mg/L,总磷 0.02 mg/L,叶绿素 a 0.29 μg/L。调水期间模型内水质变化如图 6。模型西部和东部区域 4 个采样点营养盐平均值在静置期间的去除率如表 1。前 5 d 为连续调水期,后 15 d 是静置期。调水 17 d 时模型内水质已达调水前的试验结束模型内水质为Ⅱ类水质,达到调水前的标准。TP、氨氮在静置第一天达到最高值,TN 与叶绿素 a 在调水的最后一天达到最高值。4 种水质指标在调水期间都呈上升的趋势,在静置期间都呈下降趋势,其中 TN、叶绿素 a 在试验 17 d 的时候已经稳定,TP、氨氮在 20 d 的时候稳定。从对营养盐的去除率来看,模型内沉水植物对叶绿素 a 的去除率最高,东部和西部都达到 80% 以上,对氨氮的去除率最低,这和入水氨氮浓度较低有一定关系,不过去除率也都达到 20% 以上。总体来看,同样可以得出模型西部混合种植的沉水植物比东部分散种植的沉水植物对营养盐的去除效率要高。

综上所述,模型内水质类别主要受到 TP 的限制,夏季试验在调水 14 d 后模型内水质恢复到原Ⅲ类水质,秋季试验 17 d 后模型内水质恢复到原Ⅱ类水质。

3.3 沉水植物生长状况

模型西部的沉水植物采用混种方式种植,种植区域为采样点 1~4 的 4 个区域,区域东部沉水植物采用分开种植,定为区域 5。西部混合种植密度为 75 g/m²,东部分开种植密度为每种植物 300 g/m²。夏季和秋季试验沉水植物的相对生长率(RGR)如图 7 所示。相对生长率(RGR)作为常用的生长特征参数,可以用来判断沉水植物生长速度的快慢,其公式为^[13]:

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / t。$$

式中:W₁、W₂ 分别表示试验开始测定的生物量(g)和试验结束测定的生物量(g);t 表示 2 次测定的时间间隔(d)。

从相对生长率来看,夏季试验中模型西部的混种区域,刺苦草相对生长率最大,黑藻的相对生长率最小且为负值;东部分开种植区域,马来眼子菜的相对生长率最大,其次为刺苦草和穗花狐尾藻,黑藻的相对生长率同样最小且为负值。这与黑藻的生长习性有关:黑藻春秋季节生长速度较快但不耐夏季的高温。总体来看,黑藻在夏季调水试验中生长不佳,而刺苦草表现出了很好的耐污生长能力,因此在夏季的实际种植中应当适当增加苦草的生物量,减少黑藻的生物量,可以达到更好的水体净化效果。

秋季试验中,苦草、马来眼子菜和穗花狐尾藻均出现衰亡,其中刺苦草衰亡最明显,而黑藻则还可以继续生长,对水质起到一定的净化作用。黑藻在夏季试验生长不佳,而在秋季试验却生长良好,这是黑藻自身最佳生长温度偏低造成的。

综上所述,在夏季可以增加刺苦草的种植生物量,秋季多增加黑藻的种植生物量,可以最大限度地增加沉水植物的生物量,获得最好的水体净化效果。

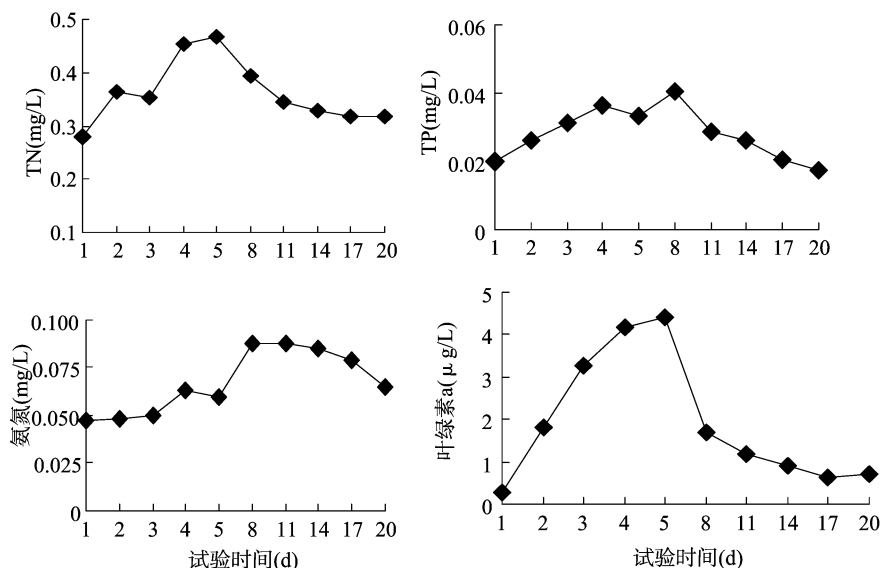


图6 秋季试验模型内水质变化

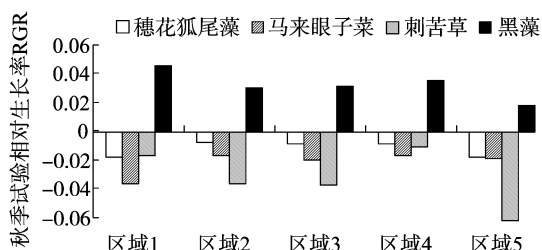
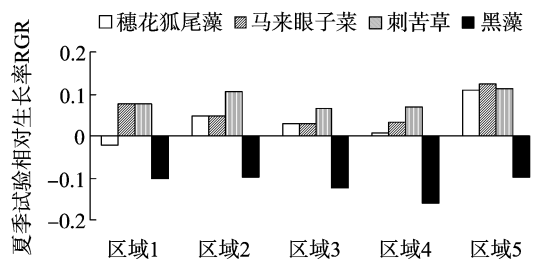


图7 夏秋季试验沉水植物生长率

4 结论和展望

建立贡湖生态修复区的等比缩放中尺度模型,在模型内分开种植沉水植物,进行夏秋2季试验,通过监测模型内水质变化、沉水植物生长情况以及调水时模型内流场图,分析了该调水情景下和模型内沉水植物的种植方式下,模型净化调水到原水质标准所需时间,为贡湖生态示范区的调水方案以及沉水植物的种植方式提供参考,主要结论如下:

(1) 秋季试验虽然沉水植物生物量减少但是植物植株普遍较长,所以对流速的阻碍强于夏季。从整体流场图来看,夏季和秋季2期调水的流向主要从入流口流向出流口,死水区与回流区较小,能够起到调水的水质混合效果,沉水植物的阻碍作用基本可以忽略。

(2) 在现有调水方式下,夏季试验在调水14 d后模型内水质恢复到原Ⅲ类水质,秋季试验17 d后模型内水质恢复到原Ⅱ类水质。模型西部沉水植物的营养盐去除率稍高于东部

区域的沉水植物,混合种植方式水体净化效果更好,生态修复示范区沉水植物可以多采用类似的混合种植方式。

(3) 刺苦草属于耐高温耐污效果好的沉水植物,而黑藻春秋季生长较好,所以在生态修复示范区易污染的浅水区域或夏季补种刺苦草,而在秋季补种黑藻,沉水植物的生长状况较好,水体修复能力更强。

参考文献:

- [1] Irfanullah H M, Moss B. Factors influencing the return of submerged plants to a clear - water, shallow temperate lake[J]. Aquatic Botany, 2004, 80(3): 177 - 191.
- [2] 邱东茹, 吴振斌, 刘保元, 等. 武汉东湖水生植被的恢复试验研究[J]. 湖泊科学, 1997, 9(2): 168 - 174.
- [3] 章 铭. 太湖五里湖生态修复示范区水质改善效果分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [4] 屠清瑛, 章永泰, 杨贤智. 北京什刹海生态修复试验工程[J]. 湖泊科学, 2004, 16(1): 61 - 67.
- [5] 何 用, 李义天, 李 荣, 等. 改善湖泊水环境的调水与生物修复结合途径探索[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(1): 56 - 60.
- [6] 张利民, 钱 江, 汪 琦. 江苏省太湖应急防控形势及对策体系研究[J]. 环境监测管理与技术, 2011, 23(2): 1 - 7.
- [7] 吴浩云, 周丹平, 何 佳, 等. 引江济太工程综合效益的评估及方法探讨[J]. 湖泊科学, 2008, 20(5): 639 - 647.
- [8] 陈昌才, 王化可, 唐红兵. 生态调水对巢湖水环境的改善效果研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10387 - 10390.
- [9] 李 悦, 刘家宏, 桑学锋, 等. 汾河清水复流生态调水量研究[J]. 水利水电技术, 2013, 44(9): 21 - 24, 30.
- [10] 周小平, 翟淑华, 袁 粒. 2007—2008 年引江济太调水对太湖水质改善效果分析[J]. 水资源保护, 2010, 26(1): 40 - 43, 48.
- [11] 黎育红, 贺石磊. 浅水湖泊群连通与调水的二维水动力 - 水质耦合模型研究[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(1): 21 - 27, 38.
- [12] 杨 阳, 钱 新, 叶 瑞, 等. 引水放流方式对太湖贡湖示范区水质的影响[J]. 环境监测管理与技术, 2015, 27(4): 61 - 64.
- [13] 赵则海. 攀援角度对五爪金龙形态、生物量分配及相对生长速率的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 758 - 762.