

沉水植物对东钱湖水环境稳态转换影响分析

蔡鲁祥¹, 俞国英², 李丹丹³(1. 宁波大红鹰学院, 浙江 宁波 315175; 2. 宁波和谐金峨园林建设有限公司, 浙江 宁波 315503;
3. 宁波伊玛环保生物技术有限公司, 浙江 宁波 315033)

摘要: 为了测评东钱湖的水质营养化状态, 从2014年4月到9月监测湖水温度、透明度(SD)、水质总氮(TN)含量、总磷(TP)含量、叶绿素(Chla)含量以及沉水植物生物量的变化情况。结果显示, 湖水水温缓慢增加到8月中旬, 而TP含量、TN含量、Chla含量以及沉水植物生物量的动态变化特征具有明显的统一性, 即东钱湖的水质在沉水植物和浮游植物的生长前期较为劣质。相关性分析表明, 沉水植物生物量与TP和TN为高度负相关, 而与水温为正相关。综合分析后认为, 沉水植物生物量的增加是导致后期东钱湖水环境稳态转换的关键因素, 说明沉水植物对东钱湖水环境稳态转换具有重要作用。

关键词: 水质总氮含量; 总磷含量; 沉水植物**中图分类号:** X524**文献标志码:** A

Analysis of the Impacts of Submerged Plants on the Steady-state Shift of the Aquatic Environment of Dongqian Lake

Cai Luxiang¹, Yu Guoying², Li Dandan³(1. Ningbo Dahongying University, Ningbo 315175, China; 2. Ningbo Harmonious Jiner Landscape Construction Co., Ltd., Ningbo 315503, China;
3. Ningbo Emwater Environmental and Biological Technology Co., Ltd., Ningbo 315033, China)

Abstract: From April to September 2014, variation of water temperature, transparency, contents of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and chlorophyll (Chla) of Dongqian Lake and the biomass of submerged plants in the Lake were monitored for determination of the eutrophic status of the Lake. The results showed that when the water temperature increased gradually till the middle of August, dynamic changes of the contents of TP, TN and Chla as well as the biomass of the submerged plants appeared obvious uniformity. That was, water quality of the Lakes was inferior at the early growth period of the submerged plants and phytoplankton. Correlation analysis showed that the biomass of submerged plant was highly negatively correlated with the contents of TP and TN but positively correlated with the water temperature. After comprehensive analysis, it was considered that the increased biomass of the submerged plants was the determinant for water quality shift of the Lake in the later phase, indicating that submerged plants played an important role in the steady-state shift of the aquatic environment of Dongqian Lake.

Keywords: Content of Total Nitrogen in Water; Content of Total Phosphorus; Submerged Plant**CLC number:** X524

浅水湖泊已经成为我国经济发展和人民生活的重要资源。近年来, 水体富营养化已经成为一个十分紧迫的社会问题。控制和治理浅水湖泊的富营养化已经成为水资源保护和水质安全的重要内容, 治理的主要方式是在控制污染的基础上进行生态恢复, 而外部驱动力的干扰, 例如人类的

干扰, 是影响浅水湖泊生态系统发生改变, 即稳态转换的重要因素之一^[1-2]。

稳态转换最初是在陆地群落中被确定, 并随后被引入到海洋生态系统中^[3]。近几年, 国内开展了大量的湖泊生态系统稳态转换研究, 研究重点主要侧重于机理、试验数据分析和工程应用方

收稿日期: 2015-08-20**基金项目:** 住房和城乡建设部2015年科学技术项目研究——研究开发项目(2015-K7-008); 宁波市科技局计划项目——富民计划(2015C50002)基金资助**作者简介:** 蔡鲁祥(1976-), 男, 副教授、高级工程师。研究方向: 生态景观设计、研究和项目管理。

面^[2]。温度、透明度(SD)、水质总氮(TN)含量、总磷(TP)含量、叶绿素(Chla)含量和高锰酸钾指数(COD_{Mn})等综合营养状态指数(TLI)的动态变化是评定湖泊稳态转换的主要指标^[4-6],如在滇池的研究中发现,温度、微生物和泥沙等是驱使稳态转换发生的动力^[7],而在星云湖的研究中,则发现浮游植物种群的变化、Chla和溶解氧浓度的降低与夏季发生的短暂的季节性稳态转换有关^[8],这些研究说明不同湖泊发生稳态转换的驱动机制不相同,因而,要解决一个湖区的富营养化问题就先要了解改变湖泊稳态型的因素。

湖泊的富营养化是从贫营养到富营养的状态转变,此过程中生态系统的优势者类群会由水生植物向浮游植物转变,因此,本研究通过观测浙江宁波东钱湖水温、TN、TP、SD、Chla和沉水植物生物量的变化来探究东钱湖富营养化状态与沉水植物生物量的关系,旨在为治理东钱湖水质富营养化提供理论依据。

1 试验方法

2014年4月29日到9月7日对浙江宁波东钱湖水温度、SD、TP、TN和Chla的动态变化情况进行测定。试验取东钱湖区6个不同位置作为试验重复取样点见图1,每个取样点选取4个重复观测点位,共计24个点位。

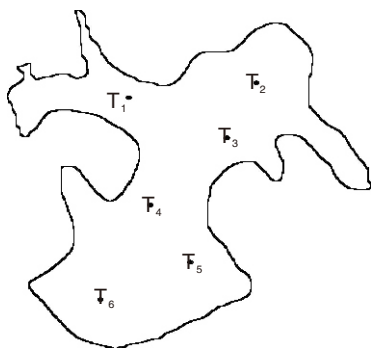


图1 东钱湖水体环境监测点示意图

1.1 湖水水温和SD的测定

采用多参数水质监测仪YSI6600测定(YSI, USA)测定湖水温度,采用透明度盘(BPL8-SD-30)测定湖水的透明度(SD)。

1.2 水质TP的测定

采用钼酸铵分光光度法(GB11893—89)测定东钱湖水水质TP含量。

1.3 水质TN的测定

采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894—89)测定东钱湖湖水TN含量。

1.4 水质Chla的测定

采用丙酮提取分光光度法^[9]测定东钱湖湖水中Chla的含量。取500 mL表层湖水,用孔径为0.45 μm的醋酸纤维滤膜抽滤,将滤膜对折剪碎后放入石英研钵中,加入少许的碳酸镁、石英砂和10 mL的90%丙酮溶液研磨成匀浆,将样品导入离心管内,混匀后低温避光保存8~12 h,样品离心后取上清液用90%丙酮定容至10 mL,测定样品在750、663、645和630 nm处的吸光度值,叶绿素a含量的计算公式为:

$$\text{Chla} (\text{mg/m}^3) = 10 \times [11.64 \times (D_{663} - D_{750}) - 2.16 \times (D_{645} - D_{750}) + 0.10 \times (D_{630} - D_{750})] / V$$

V为水样总体积(L)

1.5 沉水植物生物量的测定

划取每个取样点附近5 m半径范围内取样点的沉水植物为准,每次取样时,取1 m²沉水植物样本,样本在80℃杀青1 h后,105℃烘干,2~3 d,称重,取6个试验点数据的平均值。

1.6 数据分析

采用SPSS13.0软件对试验数据进行处理和相关性分析,数据用平均值±标准差表述。

2 结果与分析

2.1 东钱湖水温的变化

东钱湖水温为先升后降的变化趋势见图2。

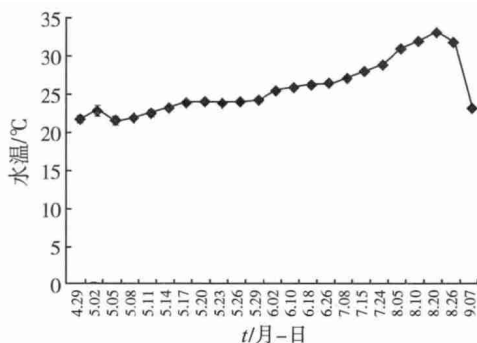


图2 2014年4月29日到9月7日东钱湖水温变化情况

图2看出,从4月29日到8月20日,东钱湖的水温呈缓慢上升趋势,到8月20日达到最高值(32.6 ± 0.2) $^{\circ}\text{C}$,从8月26日开始剧烈下降。

2.2 湖水透明度监测

东钱湖水透明度为先升后降的变化趋势见图3。

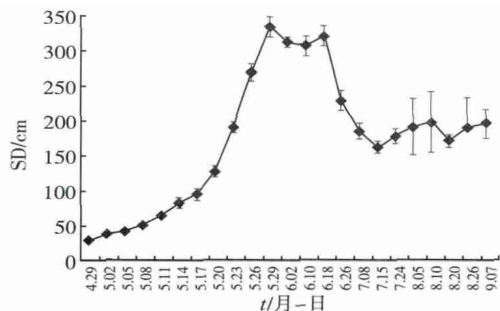


图3 2014年4月29日到9月7日东钱湖水透明度

图3看出,4月29日东钱湖的监测透明度值为最低值(25.2 ± 1.2) cm,之后透明度不断增加,从5月17日之后增加趋势更明显,到5月29日达到最高值(312.5 ± 14.1) cm,这之后到6月18日一直保持高度透明,从6月18日到6月26日之间迅速下降,之后到9月7日一直保持在170 cm之间。

2.3 东钱湖水质TP含量的变化

东钱湖水质TP含量为先升后降的变化趋势见图4。

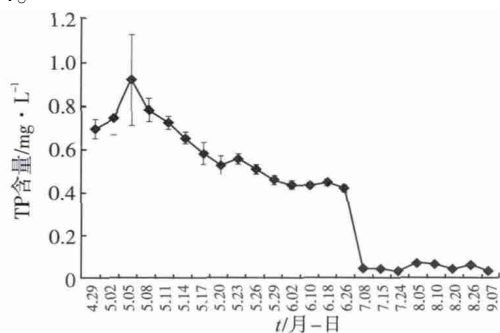


图4 2014年4月29日到9月7日东钱湖水质TP含量

图4看出,4月29日,东钱湖水质TP的含量处于较高水平(0.68 ± 0.04) mg/L,到5月05日TP含量达到最高值(0.89 ± 0.21) mg/L,之后TP含量缓慢下降,到6月26日达到(0.40 ± 0.01) mg/L。6月26日之后,东钱湖TP总磷的含量急剧下降,到7月8日时仅为(0.04 ± 0.01) mg/L,之后保持平衡。

2.4 东钱湖水质TN含量的变化

东钱湖水质TN的含量为逐渐下降的趋势

见图5。

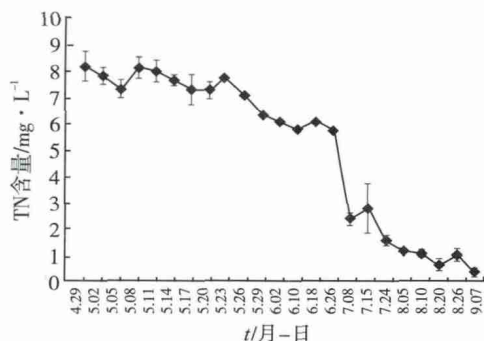


图5 2014年4月29日到9月7日东钱湖水质TN含量

图5看出,4月29日TN的含量为最高(8.23 ± 0.56) mg/L,从4月29日之后为锯齿状下降的趋势,到6月26日TN含量为(5.78 ± 0.04) mg/L,到7月8日急剧下降到(2.35 ± 0.25) mg/L,在7月15日有微弱的回升,之后继续下降。

2.5 Chla含量的变化

东钱湖Chla的含量为先升后降的趋势见图6。

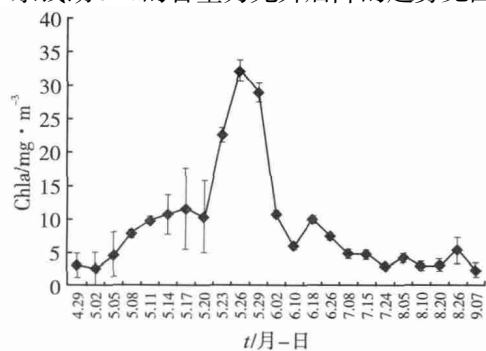


图6 2014年4月29日到9月7日东钱湖Chla含量

图6看出,从4月29日起,东钱湖水中叶绿素的含量缓慢上升,5月17日时为(11.52 ± 0.56) mg/m^3 ,5月20日时有所下降,从5月20日到5月26日,湖水中Chla的含量由(10.37 ± 5.46) mg/m^3 急剧升高到(32.19 ± 1.56) mg/m^3 ,之后再急剧下降到6月10日的(6.03 ± 0.29) mg/m^3 ,尽管6月18日有微弱的回升,Chla含量在6月26日之后一直保持在较低水平。

2.6 沉水植物生物量变化

东钱湖区域沉水植物的生物量变化趋势为逐渐升高的趋势见图7。

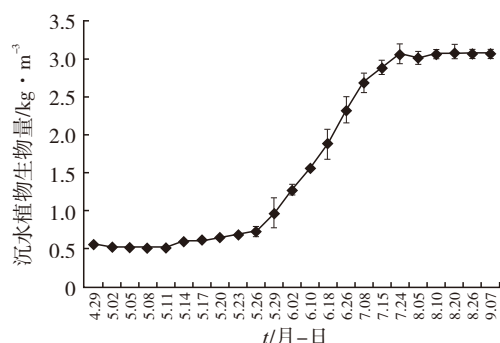


图7 东钱湖沉水植物生物量变化

图7看出,在4月29日到5月26日为缓慢增加阶段,而从5月26日到7月15日为快速增加阶段,7月15日达到最大生物量(3.05 ± 0.13) mg/m^3 ,并在

7月15日之后一直维持在该水平。

2.7 相关性分析

对东钱湖水温、SD、TP、TN、Chla和沉水植物生物量之间的相关性进行统计分析,结果显示,东钱湖水温的变化与TP和TN含量变化呈负相关,相关系数分别为 -0.82942 和 -0.82651 ,见表1,而水温与沉水植物生物量的变化呈正相关;TP与TN的含量变化高度正相关(相关系数: 0.945099);而沉水植物生物量与TP和TN的含量呈高度负相关,相关系数分别为 -0.94754 和 -0.96439 。

表1 东钱湖稳态转换因子之间的相关性分析

	温度	SD	TP	TN	Chla	Biomass
温度	1					
SD	0.371299	1				
TP	-0.829420	-0.449070	1			
TN	-0.826510	-0.292860	0.945099	1		
Chla	-0.305100	0.413295	0.283714	0.440552	1	
Biaomass	0.845240	0.368709	-0.947540	-0.964390	-0.46217	1

注:SD,透明度;TP,水质总磷含量;TN,水质总氮含量;Chla,水质叶绿素含量;Biaomass,沉水植物生物量。

3 结论

研究探究了东钱湖区中水温 and 沉水植物生物量以及水质TP、TN和Chla含量的变化情况,结果显示,湖水水温变化平稳,而TP、TN、Chla以及沉水植物生物量的动态变化特征具有明显的规律性:东钱湖的水质在沉水植物和浮游植物的生长前期较为劣质。

研究表明,TP和TN是反映湖泊稳态特征的重要因子,也是重要的营养性污染物,是控制湖泊富营养化的重要指标之一^[10]。研究数据显示,东钱湖在4月29日到7月15日的TN含量均在 $2.0 \text{ mg}/\text{L}$ 以上,最高为 $8.23 \text{ mg}/\text{L}$,并且在4月29日到6月26日之间TP的含量均在 $0.2 \text{ mg}/\text{L}$ 以上,按照国家标准法规定的湖区TN和TP的I-V级分类: ≤ 0.2 、 0.5 、 1.0 、 $2.0 \text{ mg}/\text{L}$ 和 ≤ 0.01 、 0.025 、 0.05 、 0.1 、 $0.2 \text{ mg}/\text{L}$ ^[10],5月到7月中旬的东钱湖水属于劣V类水区。从七月下旬开始,东钱湖

水区TP和TN的含量处于国标的III和IV类水质标准之内,并且Chla的含量($\geq 2.38 \text{ mg}/\text{m}^3$)一直超过国家标准的第V类水质标准($0.65 \text{ mg}/\text{m}^3$),处于劣V类水状态^[10],综合以上数据说明,东钱湖区水域已经处于劣V类水区。

研究数据显示,从5月中旬开始,东钱湖水域的透明度和沉水植物的生物量开始急剧升高,这可能是由于大型水生沉水植物抑制了湖泊沉积物和浮游植物的再悬浮,使得湖水部分悬浮物有附着之地^[11-14]。沉水植物和浮游植物的比例是影响浅水湖清水稳态和浊水稳态的重要原因^[15],沉水植物占优势时,水质清澈,湖泊为清水稳态,反之浮游植物占优势时,以水质混浊的浊水稳态为主。并且本研究的相关性分析表明,沉水植物生物量的变化与水质TP和TN的含量呈高度负相关,证明植物的生长可以缓解水质富营养化状态,因此沉水植物的有无和存

在比例是决定湖泊稳态类型的重要因子之一，并对浅水湖泊生态系统的恢复至关重要^[16-17]。

文献[15]报道，驱动湖泊稳态转换的动力因素还包括湖泊的营养盐条件、透明度条件、生物牧食条件和水位条件等，水位越高，透明度越差，影响沉水植物的光合作用和生长，从而减弱其在清水稳态中的优势，而营养盐浓度的升高不仅仅使沉水植物转为耐污性植物，还会使水体中的浮游植物与藻类增多，进而降低透明度，影响沉水植物生长，转变水质稳态类型^[15,18]。因此，结合本研究结果推测，沉水植物生物量的增加在东钱湖的稳态转换中起到了重要的作用，并且，对沉水植物的恢复将会是缓解东钱湖水域污染、促进水质稳态转换的有效方式。

参考文献

- [1]李玉照,刘永,赵磊,等.浅水湖泊生态系统稳态转换的阈值判定方法[J].生态学报, 2013,33(11):3280-3290.
- [2]杨扬,刘明清,吴振斌,等.亚热带水体营养状态定量评价及预测研究[J].水生生物学报 2001,25 (3):230-235
- [3]王阳阳,霍元子,曲宪成,等.贡湖水源地水体营养状态评价及富营养化防治对策[J].水生态学杂志, 2011,32(2): 75-81.
- [4]陈小华,李小平,王菲菲,等.苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析[J].生态学报,2014,34(2):390-399.
- [5]金相灿.中国湖泊环境[M].海洋出版社,1995.
- [6]李源.白洋淀水环境稳态特征研究[D]. 济南:山东师范大学,2010.
- [7]雷泽湘,谢贻发,徐德兰,等.大型水生植物对富营养化湖水净化效果的试验研究[J].安徽农业科学,2006,34(3):553-554.
- [8]童昌华,杨肖娥,濮培民.水生植物控制湖泊底泥营养盐释放的效果与机理.农业环境科学学报[J]. 2003,22(6): 673-676.
- [9]辛晓云,马秀东.氧化塘水生植物净化污水的研究[J].山西大学学报:自然科学版,2003, 26(1): 85-87.
- [10]年跃刚,宋英伟,李英杰,等.富营养化浅水湖泊稳态转换理论与生态恢复探讨[J].环境科学研究,2006,19(1): 67-70.
- [11]邱东茹,吴振斌.富营养化浅水湖泊沉水水生植被的衰退与恢复[J].湖泊科学,1997. 9(1): 82-88.
- [12]Hastings A, Wysham D B. Regime shifts in ecological systems can occur with no warning[J]. Ecology Letters, 2010, 13(4): 464-472.
- [13]Dodds W K, Clements W H, Gido K, et al. Thresholds, breakpoints, and nonlinearity in freshwaters as related to management[J]. Journal of the North American Benthological Society, 2010, 29(3): 988-997.
- [14]Wang, Y C, Wang Z, Chang F Y, et al. Experiments on aquatic ecosystem regime shift in enclosures near Lake Dianchi, China[J]. Fresenius Environmental Bulletin, 2009, 18(3):294-303.
- [15]Wang, Y C, Wang Z C, Wu W J, et al. Seasonal regime shift of an alternative-state Lake Xingyun, China[J]. Fresenius Environmental Bulletin, 2010, 19(8):1474-1485.
- [16]Allinson G, Stagnitti F, Colville S, et al. Growth of floating aquatic macrophytes in alkaline industrial wastewaters[J]. Journal of Environmental Engineering, 2000, 126(12):1103-1107.
- [17]Scheffer, M. Multiplicity of stable states in freshwater systems[J]. Hydrobiologia, 1990, 200(1): 475-486.
- [18]Carpenter S R, Lodge D M. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes[J]. Aquatic Botany, 1986, 26:341-370.