

典型湖泊边缘区丰水期营养状态及其影响因素研究 ——以蚌湖为例

胡春华^{1,2}, 黄 丹^{1,2}, 周文斌^{1,2}, 金 斐^{1,2}, 郑 兵^{1,2}

(1. 南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 江西 南昌 330029;

2. 南昌大学环境与化学工程学院, 江西 南昌 330031)

摘要: 为探讨影响典型湖泊边缘区藻类生长的主要水质因子, 于2011年7月测定了蚌湖的叶绿素a含量, 并对其分布特征及相关性进行分析。结果表明, 叶绿素a(Chl. a)浓度的变化范围为0.55~1.56 mg/m³, 表现出一定的空间差异性, 以入湖口处和湖尾区最大。总氮(TN)为0.699~2.596 mg/L, 以湖尾区最高; 总磷(TP)浓度整体较低, 最大值仅为0.0318 mg/L; N/P浓度比均大于30, 表明蚌湖为磷限制性湖泊。根据修正的卡尔森营养状态指数, 丰水期蚌湖均处于贫-中营养水平, 其中湖尾区条件最适宜藻类繁殖。由相关性分析结果可知, TN、TP、pH、COD和NO₃⁻-N为藻类生长的主要影响因子; 其中, Chl. a含量与COD呈显著正相关, 一定浓度范围内的COD增长会促进藻类生长繁殖; 不同于国内大多数淡水湖泊, Chl. a含量与pH值呈显著负相关, 主要原因是蚌湖水体碱度较高, 大部分区域pH值超过了藻类生长的最适范围。

关键词: 蚌湖; 营养状态; 边缘区; 叶绿素a

中图分类号: X171 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2013)03-0032-07

湖泊边缘区是指丰水期湖水因水位上涨扩散而形成的区域(一般在5~9月), 此区域地势低, 枯水期仍保有湖水, 属封闭式水体(胡春华, 2010)。蚌湖为鄱阳湖典型边缘深水区域, 位于鄱阳湖两大支流(赣江和修水)入湖口附近, 其污染物来源广而复杂, 包括了陆源污染和流域径流输运。鄱阳湖为季节性过水湖泊, 总体上污染物不易积累, 水质较好, 但对于水流速相对缓慢的边缘深水区(小湖面), 局部水体相对静止, 极易产生富营养化现象。深水区相对较弱的水交换能力也有利于营养元素和污染物的蓄积, 促进了浮游植物的生长(杨桂山, 2012)。叶绿素a是水体中浮游生物的综合指标, 是浮游生物数量和初级生产力水平的直接反映, 其含量的高低能够反映水体营养状况(金相灿和刘鸿亮, 1990; 王飞儿等, 2004)。氮、磷是构成水体初级生产者藻

类和浮游植物生长的重要元素, 也是湖泊富营养化的关键限制性因子, 当水体富营养化程度较高时, 易发生水华现象(Reynolds, 1984)。

近年来, 国内外学者对湖泊(水库)中叶绿素a(Chl. a)的分布特征及与各种环境因子的相关性开展了研究, 得到的结果不尽相同。邢可霞等(2005)、余进祥等(2009)研究认为总氮(TN)和总磷(TP)为主要影响因子。近几年的研究表明, 淡水湖泊中Chl. a与TN相关性不显著, 与TP相关性显著, Chl. a与pH、溶解氧(DO)呈极显著正相关, 而与其他影响因子的关系不尽相同(罗固源等, 2009; 周贝贝等, 2012; 朱孔贤等, 2012); 但这些研究大多偏向于湖泊(水库)整体, 而对于边缘深水区的研究并未深入。本文以鄱阳湖典型的边缘深水区——蚌湖为研究对象, 用叶绿素a来表征浮游植物生物量和反映水体的营养状况, 对丰水期蚌湖叶绿素a与环境因子进行相关分析, 探讨其营养状态的主要影响因子, 以期为区域其它湖泊的富营养化研究提供参考, 有利于湖泊富营养化的防治以及生态环境的保护。

1 材料与方法

1.1 样点设置

根据蚌湖的自然环境、地理特点和丰水期鄱阳湖湖水流向等特征, 把蚌湖水流扩散方向分为: 湖口

收稿日期: 2013-02-23

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008zx07526-008-03); 国际科技合作资助项目(2006DFB91920); “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2007BAB23C02); 国家自然科学基金(40672159; 41040032); 中国经济改革实施技术援助项目(支援期TCC5jxspyhzh09-03); 鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室支持项目(13005879; 13005870)。

通讯作者: 周文斌。E-mail: wbzhou@ncu.edu.cn

作者简介: 胡春华, 1976年生, 男, 博士, 副教授, 研究方向为水环境化学。E-mail: nchuchunhua@163.com

-湖中心-湖尾,于2011年7月在蚌湖设置5个采样断面。根据不同区域宽度,各设置1~5个采样

点,取平均值代表该断面水质,系统采集0.5 m 深的表层水样;采样位置见图1。

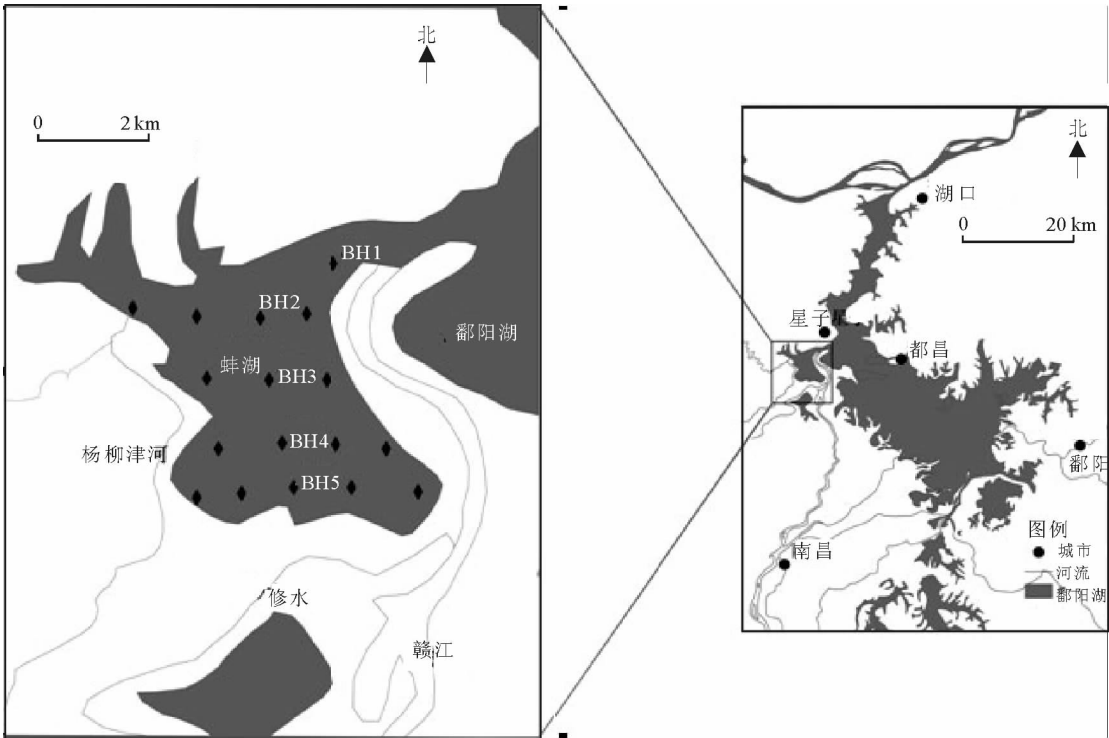


图1 蚌湖采样点分布
Fig.1 Sampling sites distribution in Banghu Lake

1.2 指标测定

采样现场首先测定水体流速和透明度(SD),并立即用HACH便携式现场分析仪测定pH值、温度、电导率、溶解氧等参数,同时用叶绿素仪(HACH HYDROLAB)测定叶绿素a。

水样采集后置低温避光保存。对部分需测定总氮、总磷等原水样经现场用0.45 μm的Millipre滤膜进行过滤,并加浓H₂SO₄酸化保存,运回实验室后立刻进行化学分析。TP、TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N等指标均按国家标准或改进方法测定,分别为钼酸铵分光光度法(GB/T11893-1989)、碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(王毛兰等,2006)、纳氏试剂分光光度法(HJ 535-2009)和紫外分光光度法(GB/T7480-1987)。

2 结果

2.1 水体理化参数

蚌湖5种水体理化参数的测定结果见表1。丰水期时,蚌湖水温(WT)较高,均大于30℃,其中湖口处BH1水温均低于其它4点,可能与该区域和鄱阳湖存在水体交换、水体进行热传导有关;溶解氧(DO)含量为7.54~8.69 mg/L,均处于正常范围

内,DO饱和率为63.6%~95.1%;pH变化范围为9.32~9.74,变化差异不明显,但pH值偏高,平均值为9.59,表明蚌湖水体碱性较重,可能与蚌湖所处地质土壤环境有关;电导率(γ)平均值为121 μS/cm,湖区电导率较小,空间差异性较小,一定程度上反应了丰水期蚌湖营养盐浓度较低(李秋华等,2005);透明度(SD)为1.6~3.0 m,空间上存在较明显的差异,以湖中心BH3处最大,水流从湖口-湖中心-湖尾流动,SD先增大后减小。

表1 丰水期蚌湖的理化参数

Tab.1 Physical-chemical parameters of Banghu Lake in wet season

采样点	WT/ ℃	DO/ mg · L ⁻¹	pH	γ/ μS · cm ⁻¹	SD/ m
BH1	30.1	8.69	9.74	119	1.6
BH2	34.3	8.35	9.58	120	2.1
BH3	35.0	7.65	9.67	125	3.0
BH4	34.2	8.67	9.62	125	2.1
BH5	33.7	7.54	9.32	116	2.0

2.2 叶绿素a含量的分布

丰水期时,蚌湖叶绿素a含量为0.55~1.56 mg/m³,湖尾区BH5处的含量最高,为1.56 mg/m³,BH4次之,为1.15 mg/m³,湖口BH1

处含量最低,为0.55 mg/m³(表2)。

根据经济合作与发展组织(OECD,1982)富营养化单因子(Chl. a)评价标准:Chl. a < 3 mg/m³ 为贫营养;3 ~ 11 mg/m³ 为中营养;11 ~ 78 mg/m³ 为富营养;Chl. a > 78 mg/m³ 为严重富营养。由表2可知,所采集的丰水期蚌湖样点均处于贫营养水平,丰水期蚌湖还未满足发生富营养所需的条件。

表2 丰水期蚌湖叶绿素 a 含量 mg/m³

Tab.2 Chl. a Content of Banghu Lake in wet season

采样点	BH1	BH2	BH3	BH4	BH5
Chl. a 含量	0.55	0.74	0.65	1.15	1.56

2.3 营养状态评价

选用修正的卡尔森营养状态指数(TSI,Trophic State Index)评价蚌湖的营养状态,评价的指标有Chl. a、TN、TP、SD、COD 共计5项,计算公式为(张晟等,2010):

$$TSI_M(\sum) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TSI_{M(j)}$$
$$TSI_M(\text{Chl. a}) = 10 \times (2.46 + \ln \text{Chl. a}) / \ln 2.5$$
$$TSI_M(\text{TN}) = 10 \times [2.46 + (3.93 + 1.53 \times \ln \text{TN})] / \ln 2.5$$
$$TSI_M(\text{TP}) = 10 \times [2.46 + (6.71 + 1.15 \times \ln \text{TP})] / \ln 2.5$$
$$TSI_M(\text{SD}) = 10 \times [2.46 + (3.69 - 1.53 \times \ln \text{SD})] / \ln 2.5$$
$$TSI_M(\text{COD}) = 10 \times [2.46 + (1.50 + 1.36 \times \ln \text{COD})] / \ln 2.5$$

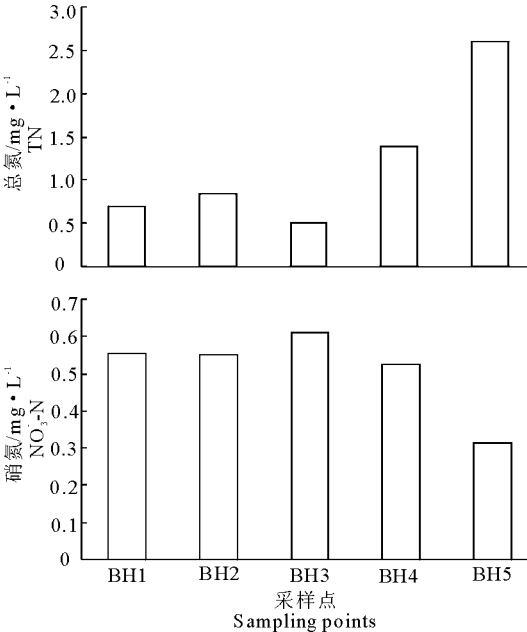


图3 丰水期蚌湖水体的氮磷含量

Fig.3 Content of N and P of Banghu Lake in wet season

各项指标相对重要性为 Chl. a > SD > TP > TN > COD, 相应权重为 0.455、0.251、0.154、0.086、0.054。评价标准为: $TSI_M < 37$ 为贫营养, $37 < TSI_M < 53$ 为中营养, $TSI_M > 53$ 为富营养, 丰水期蚌湖的营养状态评价结果见图2。蚌湖的 TSI_M 的指数范围为 35.42 ~ 45.23, 除湖中心为贫营养外, 其它都为程度不深的中营养, 总体上修正的卡尔森营养状态指数营养评价结果表明蚌湖丰水期营养程度不高。

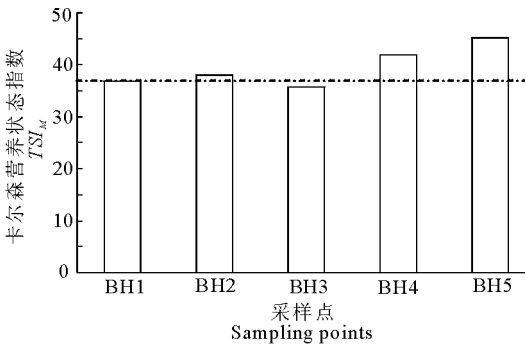
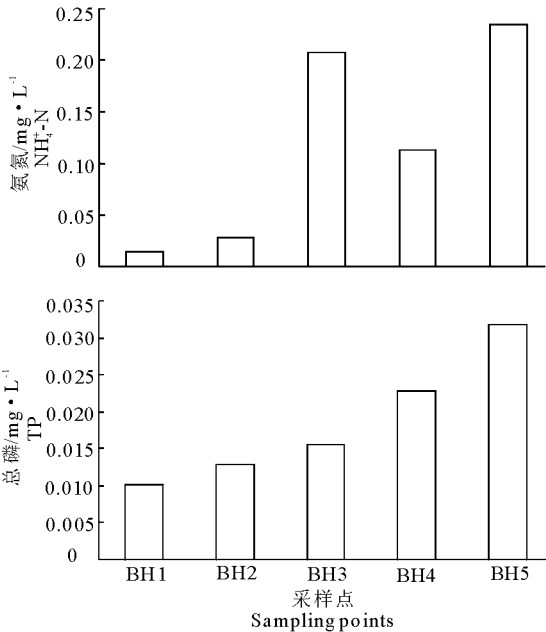


图2 蚌湖丰水期的 TSI_M 值

Fig.2 TSI_M values of Banghu Lake in wet season

2.4 营养盐含量的分布

2.4.1 氮磷的分布特征 鄱阳湖区的 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 营养盐含量较低(万金保和闫伟伟,2007);因此,选取TN、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、TP 4种主要营养因子来分析蚌湖水体营养盐的分布特征,结果见图3。水体中营养盐含量表现为: $\text{TN} > \text{TP} > \text{NO}_3^- \text{-N} > \text{NH}_4^+ \text{-N}$ 。TN 含量为 0.699 ~ 2.596 mg/L, TP 含量为 0.010 ~



0.0318 mg/L,TN 含量严重超过水体富营养的最低阈值(TN:0.2 mg/L;TP:0.02 mg/L),而 TP 值只有湖尾区微高于富营养标准。 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量范围分别为 0.015 ~ 0.235 mg/L 和 0.314 ~ 0.611 mg/L。

2.4.2 氮磷营养盐结构 研究表明,TN 和 TP 的比值对浮游植物的生长具有重要影响,同时也是考查湖泊营养盐结构的重要指标,可以用来鉴别水体的营养限制因子(姚英姿,2003;王圣瑞等,2012)。当水体中氮和磷浓度比 $\text{N/P} < 7$,N 是浮游植物生长的限制因子; N/P 在 8 ~ 30 为浮游植物适宜的生长范围; $\text{N/P} > 30$,P 可能是浮游植物生长的限制因子

表 4 叶绿素 a 与环境因子的相关系数

Tab.4 Correlation coefficients between Chl. a and environmental factors

因子	WT	DO	pH	γ	TN	TP	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	COD	SD	N/P
Chl. a	0.308	-0.403	-0.896 *	-0.369	0.971 **	0.981 **	0.616	-0.900 *	0.924 *	-0.148	0.558

注: * 表示 $P < 0.05$ 水平显著相关; ** 表示 $P < 0.01$ 水平极显著相关。
Notes: * Correlation is significant at the 0.05 level. ** Correlation is extremely significant at the 0.01 level.

叶绿素与环境因子的关系复杂,Chl. a 与 TN、TP、 NH_4^+ -N、N/P、COD 呈正相关性,其中与 COD 存在显著的正相关性($P < 0.05, n = 5$),相关系数为 0.924,与 TN、TP 存在极其显著的正相关性($P < 0.01, n = 5$),相关系数分别为 0.971 和 0.981。Chl. a 与 DO、 NO_3^- -N、pH、SD、 γ 呈负相关;其中,与 NO_3^- -N 和 pH 存在显著负相关($P < 0.05, n = 5$),相关系数分别 -0.900 和 -0.896。

3 讨论

3.1 叶绿素 a 的分布特征

叶绿素(Chl. a)可作为直接反应浮游植物或藻类等生物量大小的指标(Lorenzen, 1967; 张晟等, 2010);同时,在一定程度上也可以反应水体富营养化程度。蚌湖湖尾区叶绿素 a 含量较高,主要原因为湖尾区水文特征常年稳定,水流速相对缓慢(曾辉,2006)。从湖口进入的水体携带了大量的氮、磷等营养物质,在湖尾区因水文特征常年稳定,利于营养物质的沉淀积累,导致其含量高于其它地区,更适合浮游植物的生长;而湖口 BH1 处流速较大,且氮、磷营养盐浓度均不高,不适合浮游植物生长;湖中心 BH3 水温较高,溶解氧较低,也不适合浮游植物的生长繁殖(罗固源等,2009)。

3.2 营养状态特征

利用 OECD 富营养化单因子(Chl. a)评价标准,表明丰水期蚌湖区域均处于贫营养水平,由于修

(彭近新和陈慧君,1988;张晟等,2010)。由表 3 可知,丰水期蚌湖 N/P 比在 32.46 ~ 81.61,均大于 30,其中 BH5 的 N/P 值最大,表明磷可能是丰水期蚌湖藻类生长的限制因子。

表 3 蚌湖各采样点的氮磷比

Tab.3 Ratio of nitrogen and phosphate of each samplings in Banghu Lake

采样点	BH1	BH2	BH3	BH4	BH5
N/P	68.81	65.95	32.46	60.79	81.61

2.5 叶绿素浓度与影响因子的相关分析

运用 SPSS 17.0 软件对叶绿素 a 与环境因子进行 Pearson 相关性分析,相关系数见表 4。

正的卡尔森营养状态指数营养评价方法还加入 TN、TP、SD、COD 4 项影响因子,更综合和全面一些,但 2 种评价方法所得结论并不冲突,均表明了丰水期蚌湖的营养程度不高。余进祥等(2009)对鄱阳湖的营养状态研究结果表明,鄱阳湖丰水期时呈现中营养-中-富营养-中营养的变化趋势。本研究中,蚌湖丰水期营养状态的研究结果与鄱阳湖基本一致。鄱阳湖是具有过水性湖泊的水文特征,丰水期蚌湖和鄱阳湖存在水体交换,水混合较均匀,总体营养状态较统一。神农溪位于三峡水库支流回水区,与蚌湖水文特征有一定的相似性,为湖泊型水体,处于边缘区域,水体流速缓慢,滞留时间较长,营养稀释扩散速率减缓,周边生活污水为污染物来源之一(朱孔贤等,2012)。对比神农溪和蚌湖,蚌湖水质相对较好,营养程度稍低些,神农溪受人类干扰相对较大(三峡水库水环境质量评价技术规范,2011)。因此,在削减环湖高风险区污染负荷的同时,应减少流域范围内进入受纳水体的污染负荷,进行源头控制。

3.3 营养盐的分布特征

赣江、抚河、信江、饶河、修河(俗称“五河”)是入湖污染负荷的主要来源,占污染负荷总量的 80% 左右(王圣瑞等,2012);位于赣江北支和修水两河交汇三角洲地带的蚌湖,污染物来源相对较多。丰水期时,蚌湖 TN 含量均严重超过水质标准,而氮的主要来源是农业非点源污染,尤其是化肥施用量的

增加(章茹和周文斌,2008)。丰水期正值水稻种植化肥施用期,受雨水冲刷携带污染物影响,农业面源污染输入导致水体极易富营养化。湖尾区 BH5 的 TN、TP 含量均最高,已达到发生富营养化的条件;丰水期时,受大量地表径流输入影响,沉积物的扰动增加,加速了沉积物中有机质氮、磷营养盐的释放;蚌湖边上杨柳津河携带的部分周边城镇生活污水可以从地表流至湖尾区,导致氮、磷高于其他区域。BH5 点 TN 含量远大于 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 二者之和,表明蚌湖湖尾区的氮存在形式主要为有机态,且 BH5 的高锰酸盐指数最高,达 2.778 mg/L,而高锰酸盐指数可以用来作为指示有机污染的指标(张守诚等,2005)。虽然没有达到水质有机污染的标准 4.0 mg/L,但仍不排除丰水期蚌湖湖尾区有受有机物污染和周边农业施肥影响的可能。

丰水期时,蚌湖 N/P 均大于 30,与国内大多数湖泊相同,均为磷限制性湖泊(OECD,1989)。当温度、pH、溶解氧等环境条件适宜时,丰水期时随着水位上涨和鄱阳湖水输入,蚌湖边上杨柳津河接纳的周边城镇生活污水和雨水,携带的磷可能会引发蚌湖的藻类爆发,继而导致大面积的富营养化,对湖内渔业造成重大损失,因此有必要加大对蚌湖磷污染源的输入控制力度。

3.4 叶绿素 a 与营养盐的关系

藻类繁殖需要从水体中摄取碳元素,在 COD 较低的情况下,为藻类生长繁殖的限制因子,一定浓度范围内 COD 的增大,会促进藻类生长繁殖。当氮、磷含量升高时,极大地促进了浮游藻类的生长,其水体营养主要限制因子为 TN、TP,与余进祥等(2009)对于鄱阳湖富营养化主导因子研究一致;同时,生物量的增加,使氮、磷富集,进而使 TN、TP 增加(朱孔贤等,2012)。湖尾区 BH5 的 TN 值为全湖最大,其 Chl. a 含量也最高,湖中心 BH3 的 TN 值为全湖最小,其 Chl. a 含量也最低。Chl. a 与 NH_4^+ -N 成正相关,在李培培等(2011)对千岛湖相关分析也得到验证, NH_4^+ -N 浓度增高时,有利于浮游植物的繁殖,浮游植物优先利用氨氮作为氮营养盐(孙晓庆,2008)。Chl. a 和 NO_3^- -N 的关系表明,浮游植物生物量的增多会消耗硝酸盐,使得浮游植物生物量越大的区域, NO_3^- -N 浓度相对越低。

3.5 叶绿素 a 与溶解氧和透明度的关系

Chl. a 与 DO 成负相关,当浮游藻类生物量增大时,COD 上升,水体中 DO 下降。Chl. a 和 SD 的关系表明,蚌湖透明度受水体中浮游藻类和悬浮物双

重影响,与该区域复杂的水环境条件有关(张晟等,2010)。透明度主要受水体中悬浮物和浮游植物含量的影响(胡春华,2010)。湖口处水体交换扰动频繁,产生了较多的悬浮物,向湖中心流动时,水的流速减缓,再经过水体自净、沉降及生物作用,悬浮物浓度下降,透明度增加,而 BH4、BH5 处透明度较低,主要原因是该几处水流稳定,营养盐含量相对较高,适合浮游植物生长。

3.6 叶绿素 a 与 pH 的关系

研究表明,巢湖、太湖梅梁湾、千岛湖和苏州平原河网区浅水湖泊中,叶绿素 a 浓度与 pH 呈显著正相关(陈宇炜等,2001;阮晓红等,2008;李培培等,2011;缪灿等,2011)。藻类生长需要适宜的 pH 值范围,而相比起其它淡水湖泊,丰水期蚌湖水体 pH 值较高,大部分区域均在 9.5 以上,超过了藻类生长的最适 pH 值范围(刘春光等,2006);因此对蚌湖而言,pH 值相对越小,越能促进藻类生长;水体碱性大时,易于捕获大气中的 CO_2 ,从而利于藻类的光合作用(Imhoff et al,1979);同时浮游植物生物量越大时,使得呼吸作用释放的 CO_2 也相应增多,导致水体 pH 减小。因此,对蚌湖而言,pH 相对越小时,浮游藻类生物量越大,Chl. a 与 pH 呈显著负相关;此外,pH 值对 Ca^{2+} 浓度有很大的影响, Ca^{2+} 为蚌湖最主要的阳离子,影响水体的化学稳定性。

3.7 不同水体富营养化的主要影响因素

陈宇炜等(2001)通过逐步回归分析了太湖梅梁湾藻类 Chl. a,发现 TN、TP、pH、COD 和 SD 均为 Chl. a 的显著性影响因子;张晟等(2010)对三峡水库典型支流上游区和回水区的研究表明,只有 COD 为影响 Chl. a 的显著性影响因子;余进祥等(2009)分析鄱阳湖水体富营养化时,了解到 COD、TN、TP、TN/TP 均为主要影响因子。总体上,丰水期蚌湖 Chl. a 与营养因子的关系和鄱阳湖水体富营养化影响因素的关系一致,COD、TN、TP 均为主要影响因子;所不同的是,在蚌湖中 Chl. a 与 TN 呈极其显著的正相关性,而在鄱阳湖水体中为负相关,可能与二者水体流速及营养输入的差异有关,蚌湖水体中 TN 含量远超过富营养化标准(0.02 mg/L)。鄱阳湖中 Chl. a 与 N/P 呈极显著负相关,而蚌湖中其相关性不显著,可能的原因是丰水期蚌湖 TP 含量相对较低,N/P 不是主要限制因子。对比蚌湖和三峡水库典型支流上游区和回水区,虽然二者都有水体倒灌及其顶托作用而引起水体的流速减缓、水质污染等显著变化,Chl. a 与 COD 关系都为显著正相关,但蚌

湖营养因子间的关系更为复杂,可能与其生态系统更复杂、地理位置较特殊有关,表明其污染来源更多(胡春华,2010)。

综上所述,蚌湖中 TN、TP、pH、COD 和 NO_3^- -N 为营养状态的主要影响因子。Chl. a 含量与 COD 呈显著正相关,COD 值较小,因此一定浓度范围内的 COD 增长会促进藻类的生长繁殖。Chl. a 含量与 pH 的关系为显著负相关,不同于国内大多数湖泊,主要原因是蚌湖水体碱度偏高,大部分区域 pH 值超过了藻类生长的最适范围。

参考文献

陈宇炜,秦伯强,高锡云. 2001. 太湖梅梁湾藻类及相关环境因子逐步回归统计和蓝藻水华的初步预测[J]. 湖泊科学, 13(1):63-71.

胡春华. 2010. 鄱阳湖水环境特征及演化趋势研究[D]. 南昌:南昌大学.

金相灿,刘鸿亮. 1990. 中国湖泊富营养化[M]. 北京:中国环境科学出版社.

世界经济合作与发展组织. 1989. 水体富营养化监测评价与防治[M]. 北京:中国环境科学出版社:92-95.

李培培,史文,刘其根,等. 2011. 千岛湖叶绿素 a 的时空分布及其与影响因子的相关分析[J]. 湖泊科学,23(4):568-574.

李秋华,林秋奇,韩博平. 2005. 广东大中型水库电导率分布特征及其受 N、P 营养盐的影响[J]. 生态环境,14(1):16-20.

刘春光,金相灿,孙凌,等. 2006. 水体 pH 和曝气方式对藻类生长的影响[J]. 环境污染与防治,28(3):161-163.

罗固源,郑剑锋,许晓毅,等. 2009. 次级河流回水区叶绿素 a 与影响因子的多元性分析——以临江河为例[J]. 长江流域资源与环境, 18(10):964-968.

缪灿,李堃,余冠军. 2011. 巢湖夏、秋季浮游植物叶绿素 a 及蓝藻水华影响因素分析[J]. 生物学杂志,28(2):54-57.

彭近新,陈慧君. 1988. 水质富营养化与防治[M]. 北京:中国环境出版社:15-47.

阮晓红,石晓丹,赵振华,等. 2008. 苏州平原河网区浅水湖泊叶绿素 a 与环境因子的相关关系[J]. 湖泊科学,20(5):556-562.

三峡水库水环境质量评价技术规范. 2011. 三峡水库水环境质量评价技术规范征求意见稿编制说明[R].

孙晓庆,董树刚,汤志宏,等. 2008. 营养盐和光照对浮游植物群落结构的影响[J]. 南方水产,4(1):1-9.

万金保,闫伟伟. 2007. 鄱阳湖水水质富营养化评价方法应用及探讨[J]. 江西师范大学学报:自然科学版,31(2):210-214.

王飞儿,吕唤春,陈英旭,等. 2004. 千岛湖叶绿素 a 浓度动态变化及其影响因素分析[J]. 浙江大学学报:自然科学版,30(1):22-26.

王毛兰,胡春华,周文斌. 2006. 碱性过硫酸钾法测定水质总氮的影响因素[J]. 光谱实验室, 23(5):1046-1049.

王圣瑞,倪栋,焦立新,等. 2012. 鄱阳湖表层沉积物有机质和营养盐分布特征[J]. 环境工程技术学报, 2(1):23-28.

邢可霞,郭怀成,孙延枫,等. 2005. 滇池富营养化时空特征评价[J]. 地理学报:英文版, 15(1):37-43.

杨桂山. 2012. 长江水问题基本态势及其形成原因与防控策略[J]. 长江流域资源与环境, 21(7):821-830.

姚英姿. 2003. 岳阳南湖水体环境参数相关性及其富营养化特征分析[J]. 岳阳师范学院学报, 16(1):91-94.

余进祥,刘娅菲,钟晓兰,等. 2009. 鄱阳湖水体富营养化评价方法及主导因子研究[J]. 江西农业学报, 21(4):125-128.

曾辉. 2006. 长江和三峡库区浮游植物季节变动及其与营养盐和水文条件关系研究[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所.

张晟,宋丹,张可,等. 2010. 三峡水库典型支流上游区和回水区营养盐状态分析[J]. 湖泊科学, 22(2):201-207.

张守诚,武凤霞,敖春,等. 2005. 对水体中有机污染综合指标及其相互间的关系探研[J]. 环境科学与技术, 28(5):45-46,89.

章茹,周文斌. 2008. 基于 GIS 的鄱阳湖地区农业非点源污染现状分析及控制对策[J]. 江西农业大学学报, 30(6):1142-1146.

周贝贝,王国祥,徐瑶,等. 2012. 南京秦淮河叶绿素 a 空间分布及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学, 24(2):267-272.

朱孔贤,毕永红,胡建林,等. 2012. 三峡水库神农溪 2008 年夏季铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 水华暴发特征[J]. 湖泊科学, 24(2):220-226.

Imhoff J F, Sahl H G, Soliman G S H, et al. 1979. The Wadi Natrun: chemical composition and microbial mass developments in alkalinebrines of Eutrophic Desert Lakes [J]. Geomicrobiology Journal, 1(3):219-234.

Lorenzen C J. 1967. Determination of chlorophyll - a and phaeopigments: Spectrophotometric equations [J]. Limnology and Oceanography, 12:343-346.

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 1982. Eutrophication of waters monitoring, assessment and control OECD[R]. Paris.

Reynolds C S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton [M]. London: Cambridge University Press.

Study on Trophic Status and Influencing Factors of Typical Lake Fringe Area in Wet Season——A Case Study of Banghu Lake

HU Chun-hua^{1,2}, HUANG Dan^{1,2}, ZHOU Wen-bin^{1,2}, JIN Fei^{1,2}, ZHENG Bing^{1,2}

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330029, P. R. China;

2. School of Environmental and Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, P. R. China)

Abstract: In order to discuss the main water quality factors that can influence the algae growth in typical lake fringe area, this paper had determined the content of chlorophyll a, and analyzed its distribution characteristics and correlation in July, 2011. The results showed that the Chl. a concentration varied from 0.55 to 1.56 mg/m³ and appeared obvious spatial difference from estuary to lake tail, of which the concentration was least in the estuary and maximum in the lake tail. Concentration of TN ranged from 0.699 to 2.596 mg/L, of which the maximum occurred in the lake tail. Concentrations of TP in the whole lake area were low, with the highest value of 0.0318 mg/L. Furthermore, all the N/P concentration ratios exceeded 30, indicating that phosphorus was the limiting factor in Banghu Lake. According to the modified Carlson Trophic State Index, the Banghu Lake was in oligotrophic to mesotrophic status in wet season, and the conditions in lake tail would be appropriate for algae breeding. By the correlation analysis result, TN, TP, pH, COD and NO₃⁻-N were the major influencing factors for algae growth. The correlation between COD and Chl. a content was positive, and the COD concentration, increasing in certain range, would promote algae growth. Being different from most fresh water lakes in domestic, the correlation between Chl. a and pH was significantly negative, of which main reason was the higher water alkalinity in Banghu Lake, and the pH value in most area exceeded the optimum range for algae growth.

Key words: Banghu Lake; trophic status; fringe area; chlorophyll a