

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第6期

Vol.37 No.6

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

双级虚拟撞击采样器应用于固定污染源 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 排放测量	蒋靖坤, 邓建国, 李振, 马子轲, 周伟, 张强, 段雷, 郝吉明 (2003)
黄山夏季气溶胶吸湿性及与化学组分闭合	陈卉, 杨素英, 李艳伟, 银燕, 张泽锋, 于兴娜, 康娜, 严殊祺, 夏航 (2008)
沈阳大气气溶胶中水溶性无机离子的观测研究	苗红妍, 温天雪, 王璐, 徐慧 (2017)
南京夏秋季节大气干沉降水溶性离子特征及来源分析	秦阳, 朱彬, 邹嘉南, 庞博 (2025)
太原市大气颗粒物粒径和水溶性离子分布特征	曹润芳, 闫雨龙, 郭利利, 郭文帝, 何秋生, 王新明 (2034)
2014 年北京市城区臭氧超标日浓度特征及与气象条件的关系	程念亮, 李云婷, 张大伟, 陈添, 王欣, 邹宁, 陈晨, 孟凡 (2041)
机动车尾气烟尘中烷烃和有机酸的组成	袁佳雯, 刘刚, 李久海, 徐慧 (2052)
DOC/CCRT 老化对柴油公交车气态物排放特性的影响	楼狄明, 贺南, 谭丕强, 胡志远 (2059)
紫外辐照改性生物炭对 VOCs 的动态吸附	李桥, 雍毅, 丁文川, 侯江, 高屿涛, 曾晓岚 (2065)
三峡库区内陆腹地典型水库型湖泊中 DOM 吸收光谱特征	江韬, 卢松, 王齐磊, 白薇扬, 张成, 王定勇, 梁俭 (2073)
三峡库区典型农业小流域水体中溶解性有机质的光谱特征	王齐磊, 江韬, 赵铮, 梁俭, 木志坚, 魏世强, 陈雪霜 (2082)
高分辨率降水氧氮同位素变化及洞穴水响应: 以河南鸡冠洞为例	孙喆, 杨琰, 张萍, 刘肖, 梁沙, 张娜, 聂旭东, 梁胜利, 李建仓, 凌新有, 张志钦 (2093)
不同雨强条件下河流水质对流域土地利用类型与格局空间响应	季香, 刘红玉, 李玉凤, 皋鹏飞, 孙一鸣, 李玉玲 (2101)
丹江口水库沉积物重金属背景值的确定及潜在生态风险评估	赵丽, 王雯雯, 姜霞, 王书航, 李佳璐, 陈俊伊 (2113)
滴水湖及其环湖水系沉积物、土壤中多氯联苯的空间分布特征及风险评价	王薛平, 黄星, 毕春娟, 贾晋璞, 郭雪, 陈振楼 (2121)
粤桂水源地有机氯农药的污染特征及生态风险	阳宇翔, 刘昕宇, 詹志薇, 解启来, 汤嘉骏, 欧阳培毓, 陈镇新, 徐晨 (2131)
鄱阳湖浮游植物叶绿素 a 及营养盐浓度对水位波动的响应	刘霞, 刘宝贵, 陈宇炜, 高俊峰 (2141)
周期性的温度扰动对藻类群落结构演替的影响	贡丹丹, 刘德富, 张佳磊, 杨正健, 朱晓明, 谭纤茹 (2149)
溴酸盐对普通小球藻的生长以及生理特性的影响	王执伟, 刘冬梅, 张文娟, 崔福义 (2158)
微囊藻水华对水体中氮转化及微生物的影响	李洁, 张思凡, 肖琳 (2164)
城市污染河道沉积物碳氮赋存对有机质分解的影响	唐千, 刘波, 王文林, 邢鹏, 袁婧雯, 嵇玮, 沈晓宇, 季家乐 (2171)
两亲性共聚物共混 PVDF 超滤膜的界面性质与抗蛋白质污染的研究	孟晓荣, 鲁冰雪, 付东会, 辛晓强, 唐卫婷 (2179)
巯基改性海泡石吸附水中的 Hg(II)	谢婧如, 陈本寿, 张进忠, 刘江 (2187)
改性芦苇生物炭对水中低浓度磷的吸附特征	唐登勇, 黄越, 胥瑞晨, 胡洁丽, 张聪 (2195)
UiO-66 对废水中二氯苯氧乙酸的吸附特性	任天昊, 杨智临, 郭琳, 陈海, 杨琦 (2202)
对硝基苯酚在高炉水淬渣上的吸附机制及表面形研究	王哲, 黄国和, 安春江, 陈莉荣, 张思思 (2211)
高岭石、针铁矿及其二元体对胡敏酸的吸附特性	牛鹏举, 魏世勇, 方敦, 但悠梦 (2220)
硫铁比对再生水深度脱氮除磷的影响	周彦卿, 郝瑞霞, 王珍, 朱晓霞, 万京京 (2229)
单质硫颗粒尺寸及反应器类型对硫自养反硝化反应器启动的影响	马航, 朱强, 朱亮, 李祥, 黄勇, 魏凡凯, 杨朋兵 (2235)
钛盐混凝剂调对活性污泥絮体理化性质的影响作用机制	王彩霞, 张伟军, 王东升, 王庆飞, 喻德忠 (2243)
城市污水管网中产甲烷菌的分布特性规律	孙光溪, 金鹏康, 宋吉娜, 王先宝, 杨柯瑶 (2252)
低 DO 下 AGS-SBR 处理低 COD/N 生活污水长期运行特征及种群分析	信欣, 管蕾, 姚艺朵, 羊依金, 郭俊元, 程庆峰 (2259)
微丝菌 (<i>Microthrix parvicella</i>) 原位荧光杂交 (FISH) 定量过程的条件优化	王润芳, 张红, 王琴, 王娟, 顾剑, 齐嵘, 杨敏 (2266)
基于高通量测序解析碳化温度对麻杆电极微生物群落影响	吴义诚, 贺光华, 郑越, 陈水亮, 王泽杰, 赵峰 (2271)
1 株高效去除氨氮的红假单胞菌的分离鉴定及特性	黄雪娇, 杨冲, 倪九派, 李振刚 (2276)
长期保护性耕作制度下紫色土剖面无机磷变化特征	韩晓飞, 高明, 谢德体, 王子芳 (2284)
有机物料对两种紫色土氮素矿化的影响	张名豪, 卢吉文, 赵秀兰 (2291)
生物质炭和秸秆配合施用对土壤有机碳转化的影响	张婷, 王旭东, 逢萌雯, 刘思新, 白如霞, 黎妮, 王钰莹 (2298)
多元统计与铅同位素示踪解析旱地垂直剖面土壤中重金属来源	孙境蔚, 胡恭任, 于瑞莲, 苏光明, 王晓明 (2304)
苏南某镇土壤重金属污染的景观格局特征	陈昕, 潘剑君, 王文勇, 李炳亚 (2313)
河南洛阳市不同功能区土壤重金属污染特征及评价	刘亚纳, 朱书法, 魏学锋, 苗娟, 周鸣, 关凤杰 (2322)
杭州蔬菜基地重金属污染及风险评价	龚梦丹, 朱维琴, 顾燕青, 李淑英, 加那提·吐尼克 (2329)
土壤溶解性有机质荧光特征及其与铜的络合能力	田雨, 王学东, 陈潇霖, 华珞 (2338)
添加稳定剂对尾矿土中砷形态及转换机制的影响	陈志良, 赵述华, 钟松雄, 桑燕鸿, 蒋晓璐, 戴玉, 王欣 (2345)
应用 SHIME 模型研究肠道微生物对土壤中镉、铬、镍生物可给性的影响	尹乃毅, 都慧丽, 张震南, 蔡晓琳, 李泽蛟, 孙国新, 崔岩山 (2353)
不同基因型杨树的光合特征与臭氧剂量的响应关系	辛月, 高峰, 冯兆忠 (2359)
苾芴胁迫对 5 种羊茅属植物根系分泌的几类低分子量有机物的影响	潘声旺, 袁馨, 刘灿, 李亚阗, 杨婷, 唐海云, 黄方玉 (2368)
维管束植物樟树和马尾松叶组织氮、硫含量指示贵阳地区大气氮、硫沉降的空间变化	徐宇, 肖化云, 郑能建, 张忠义, 瞿玲露, 赵晶晶 (2376)
苏北潮滩温室气体排放的时空变化及影响因素	许鑫王豪, 邹欣庆, 刘晶茹 (2383)
g-C ₃ N ₄ /Bi ₂ S ₃ 复合物的制备及可见光催化降解 MO	张志贝, 李小明, 陈飞, 杨麒, 钟宇, 徐秋翔, 杨伟强, 李志军, 陈寻峰, 谢伟强 (2393)
海南省淘汰落后产能政策的污染物协同减排效应评价	耿静, 任丙南, 吕永龙, 王铁宇 (2401)
《环境科学》征订启事 (2130) 《环境科学》征稿简则 (2251) 信息 (2178, 2344)	

鄱阳湖浮游植物叶绿素 a 及营养盐浓度对水位波动的响应

刘霞¹, 刘宝贵^{1,2}, 陈宇炜^{1*}, 高俊峰¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 鄱阳湖是长江中下游仅存的两个自然通江湖泊之一, 其水情变化独特, 与非通江湖泊显著不同. 为探究水位波动对鄱阳湖水环境的影响及其浮游植物的响应特征, 选取了鄱阳湖星子、都昌水域, 于 2011 年 9 月至 2012 年 11 月对浮游植物叶绿素 a (Chla) 及其它相关水质指标进行每周一次的原位监测. 结果表明, 高 Chla 浓度出现在鄱阳湖高水位和高水温期, 水位波动可加强鄱阳湖浮游植物 Chla 浓度的季节性变化效应, 同时对浮游植物群落结构的改变也有一定的促进作用. 回归趋势分析, Chla 浓度与水温 ($P < 0.0001$) 和透明度值 (SD) ($P < 0.0001$) 显著正相关, 与总氮 (TN, $P < 0.01$)、溶解性氮 ($\text{NO}_x\text{-N}$, $P < 0.01$; $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $P < 0.05$) 显著负相关, 而 SD 值、总氮和溶解性氮浓度与鄱阳湖水位值显著相关 (SD, $P < 0.01$; TN, $P < 0.0001$; $\text{NO}_x\text{-N}$, $P < 0.01$; $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $P < 0.0001$). 主成分分析 (PCA) 显示, 不同水位期, 鄱阳湖所表现出的水环境特征显著不同, 低水位期, 营养盐浓度, 特别是氮营养盐浓度较高; 而高水位期, 鄱阳湖水温较高和 SD 值较高. 总之, 鄱阳湖的水位波动影响了湖区沉积物再悬浮和水体 SD 状况, 加之高水位的稀释效应和人类活动, 均直接影响了鄱阳湖营养盐状况以及 Chla 浓度.

关键词: 长江; 鄱阳湖; 叶绿素 a; 水温; 透明度; 总氮和溶解性氮

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)06-2141-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.06.017

Responses of Nutrients and Chlorophyll a to Water Level Fluctuations in Poyang Lake

LIU Xia¹, LIU Bao-gui^{1,2}, CHEN Yu-wei^{1*}, GAO Jun-feng¹

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: As one of the few remaining lakes that are freely connected with the Yangtze River, Poyang Lake exhibits a unique aquatic ecology which is different from the disconnected lakes. In order to study the mechanism of limnological responses to water level fluctuations (WLFs), samples were collected weekly over 10 months from September 2011 to December 2012 in Xingzi and Duchang, and the effect of fluctuations in water level on nutrients and phytoplankton chlorophyll a (Chla) concentrations was investigated in Poyang Lake. Chla concentrations were strongly related to WLFs, with higher Chla concentrations in the higher water phase. The regression analysis indicated that Chla concentrations were significantly and positively correlated with water temperature ($P < 0.0001$) and secchi depth (SD) ($P < 0.0001$) but negatively correlated with total and inorganic nitrogen concentrations (TN, $P < 0.01$; $\text{NO}_x\text{-N}$, $P < 0.01$; $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $P < 0.05$). SD and total and inorganic nitrogen concentrations were all significantly correlated with WLFs of Poyang Lake (SD, $P < 0.01$; TN, $P < 0.0001$; $\text{NO}_x\text{-N}$, $P < 0.01$; $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $P < 0.0001$). Two different water levels were identified in the lake by principal components analysis: the low water level with high nutrient values and the high water level with high water temperature, SD, and Chla values. These results supported the hypothesis that WLFs clearly exerted an overall impact on the growth of phytoplankton in Poyang Lake of the Yangtze River floodplain. WLFs affected the water transparency (expressed by SD), nutrients, and Chla concentrations of Poyang Lake, likely due to flush flood pulse, re-suspension of suspended matter, dilution effects, and human activities.

Key words: The Yangtze River; Poyang Lake; Chla; water temperature; secchi depth; total and inorganic nutrients

水位是湖泊出水量变化的量度, 适宜水位是维护湖泊生态系统结构和功能稳定以及生物完整性的重要保障^[1]. 水位波动会通过多种方式对生物产生影响, 例如通过改变它们的栖息环境和食物链结构等来影响其生长繁殖^[2~4], 亦或是改变湖泊内营养盐浓度而改变浮游生物群落结构构成^[5]. 不同水位期内, 湖泊水环境特征和生物响应性均不同. Nöges

等^[5]的研究结果表明, 温带浅水湖泊营养盐浓度在低水位期最大. Rybinsk 水体中叶绿素 a (Chla) 含量

收稿日期: 2015-11-19; 修订日期: 2016-01-20

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (41301088); 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2012CB417006)

作者简介: 刘霞 (1983~), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为湖泊湿地生态, E-mail: xliu@niglas.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: ywchen@niglas.ac.cn

最高值也是出现在低水位阶段^[6]。自然状态下的湖泊水位波动是水生生物多样性维持的必要条件,然而由于人为因素的影响,如建闸筑堤,大多数湖泊水位水量稳定,因此关于水位波动的生态效应研究主要集中在河流中(flood pulse, 洪水脉冲),对湖泊的关注较少^[7]。

鄱阳湖是中国仅存的两大通江湖泊之一,它是长江流域最大的天然洪水调蓄区,也是长江和“五河”(赣江、抚河、信江、饶河、修河等)水体物质循环、能量流动和信息传递的天然纽带。受长江和“五河”双重影响,4~6月,湖区水位上涨、漫滩、湖面扩大,洪水一片;7~9月,湖区维持高水位;10月后稳定退水,湖水落槽,滩地显露,湖区水面锐减^[8]。据调查,鄱阳湖周年水位差可达7 m以上。鄱阳湖高变幅水文特征所产生的环境效应及水生生物响应结果也必然与长江中下游非通江湖泊(如太湖、巢湖等)有所区别。且近年来,受长江干流来水及鄱阳湖流域降水减少、三峡水库蓄水等因素影响,鄱阳湖极端水位形势变化更加明显,丰水期高水位持续时间缩短,枯水期时间提前且出现频率增加^[9]。因此,关于鄱阳湖水位波动所带来的生态环境响应性的研究尤为重要。

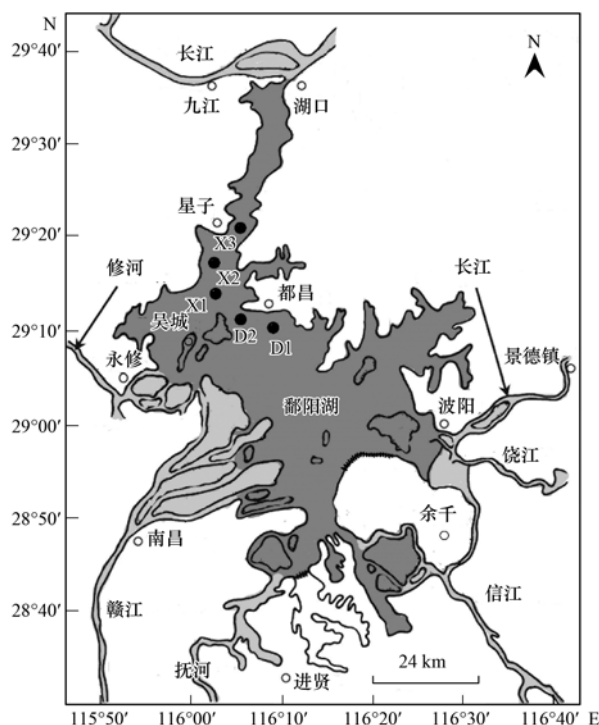
目前,水位波动尚无明确的定义^[10]。许多研究通常将一段时间内的水位落差定义为水位波动^[11, 12],即此段时间内的最高最低水位差,但是,水位上升也属于水位波动的范畴。本研究中的水位波动是指一段时间内的水位落差。选取水位波动相对频繁的春夏秋冬季节,鄱阳湖水域中受水位影响较大的湖区(星子、都昌),分析鄱阳湖水环境和浮游植物对水位波动的响应。本研究结果是揭示鄱阳湖与长江关系变化在水环境与水文过程等方面影响机制的重要基础,对全面、准确地认知此类大型通江湖泊的生态效应具有重要理论意义。

1 材料与方法

1.1 采样点及采样时间设置

于2011年9月至2012年12月水位上升期、高水位期、水位下降期及低水位期进行每周一次的生物水质原位监测,因鄱阳湖极低水位期(12月和1~4月)浮游生物量极少,故此水位期不在研究范围内。采样点布设是选取连接鄱阳湖北部通江湖区和南部大湖面区的星子(X1、X2、X3)和都昌(D1、D2)水域(图1),此水域受鄱阳湖水位波动的影响较大,且人为采砂活动频繁。鄱阳湖星子和都昌水

位数据从江西水文网站(<http://www.jxsw.cn/Category275/Index.aspx>和<http://www.jxsw.cn/Category55/Index.aspx>)获得。



引自文献[12]并进行修改

图1 鄱阳湖采样点示意

Fig. 1 Location of Poyang Lake, China, and the sampling sites

1.2 样品采集和分析

现场使用 Hydrolab Datasond 5 型多参数水质监测仪(哈希公司,美国),定点测定水温、pH、电导率(Cond)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)和浊度(Turb)。采用塞氏盘法测定水体透明度(SD)。同时用5 L有机玻璃采水器(UWITEC-WSC)采集上(水面以下0.5 m)、中、下(离湖底0.5 m)水层等量水样,混匀后,用10 L经酸泡处理的塑料桶储藏,置于阴暗处冷冻保存,带回实验室进行理化指标分析。悬浮颗粒物(SS)浓度和营养盐(亚硝态氮(NO_2^- -N)、硝态氮(NO_3^- -N)、氨氮(NH_4^+ -N)、正磷酸盐(PO_4^{3-} -P)、总氮(TN)、总磷(TP)的测定方法参照[13],Chla浓度测定参照热乙醇法^[14]。定义 NO_2^- -N与 NO_3^- -N浓度之和为 NO_x -N浓度。

1.3 数据统计分析

采用 SPSS 11.0 和 PAST 2.17b 软件进行统计分析, Sigma-Plot 10.0 制作绘图。统计分析中,首先进行数据正态分布检验,如未通过正态分布检验,需进行数据 log 转化。采用回归方法分析各环境因子

与鄱阳湖水位值和 Chla 浓度的关系,主成分分析 (PCA) 不同水位期环境因子特征.

2 结果与分析

2.1 水位

2011 年 9 月 ~ 2012 年 12 月,鄱阳湖星子、都昌水域水位值介于 9.4 ~ 19.2 m 之间(平均值为 14.6 m)(图 2). 2011 年 9 ~ 11 月,鄱阳湖水位下降,水位较低,变化范围为 9.4 ~ 13.2 m; 2012 年 5

~ 9 月,水位上升,水位处于高值,变化范围为 15.5 ~ 19.2 m; 2012 年 10 ~ 11 月,鄱阳湖水位重新回落,处于低水位期,变化范围为 10.5 ~ 14.8 m. 当鄱阳湖水位大于 15 m 时,水面呈水平状,流速较小,为 0.10 ~ 0.80 m·s⁻¹; 当水位小于 15 m 时,水面呈南高北低的趋势,湖面比降增加,湖泊流速相对较大,可达到 1.48 ~ 2.85 m·s⁻¹[15],由此文中定义鄱阳湖水位低于 15 m 时,为低水位期;水位高于 15 m 时,为高水位期.

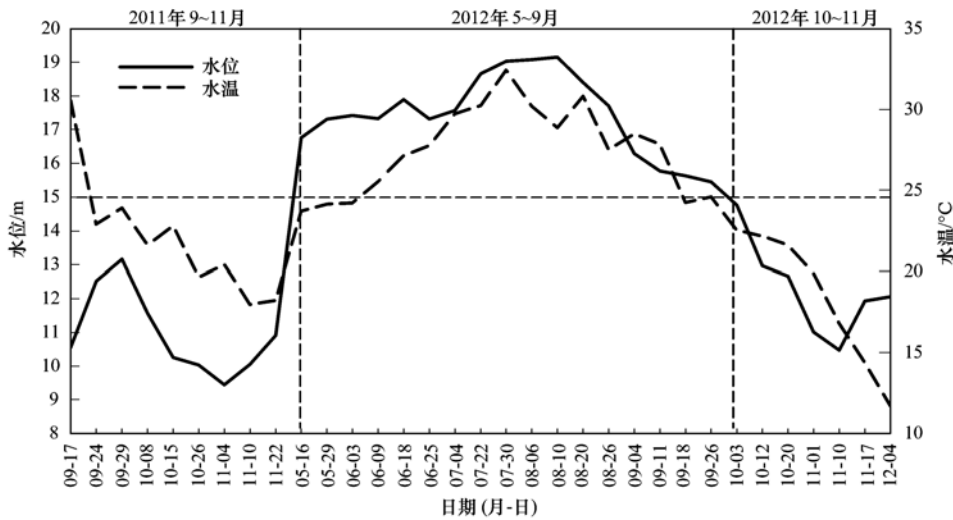


图 2 鄱阳湖水位和水温变化趋势

Fig. 2 Seasonal changes in mean values for water levels and water temperature in Poyang Lake

2.2 理化变量

鄱阳湖高、低水位期理化因子水温、SD、Cond 和 pH 值以及 DO、COD、NO_x-N、NH₄⁺-N、TN 和 Chla 浓度极显著差异 ($P < 0.01$), TN/TP 质量比显著差异 ($P < 0.05$) (表 1、图 3). 高水位期,鄱阳湖水温 and SD 较高,氮形态营养盐 (NO_x-N、NH₄⁺-N、

TN) 浓度较低, TN/TP 质量比较低, Chla 浓度较高; 反之, 低水位期, 水体水温和 SD 较低, 氮形态营养盐 (NO_x-N、NH₄⁺-N、TN) 浓度较高, TN/TP 质量比较高, Chla 浓度较低. 高水位期 PO₄³⁻-P 和 TP 浓度略低于低水位期 PO₄³⁻-P 和 TP 浓度, 但是两时期浓度差异不显著 (图 3).

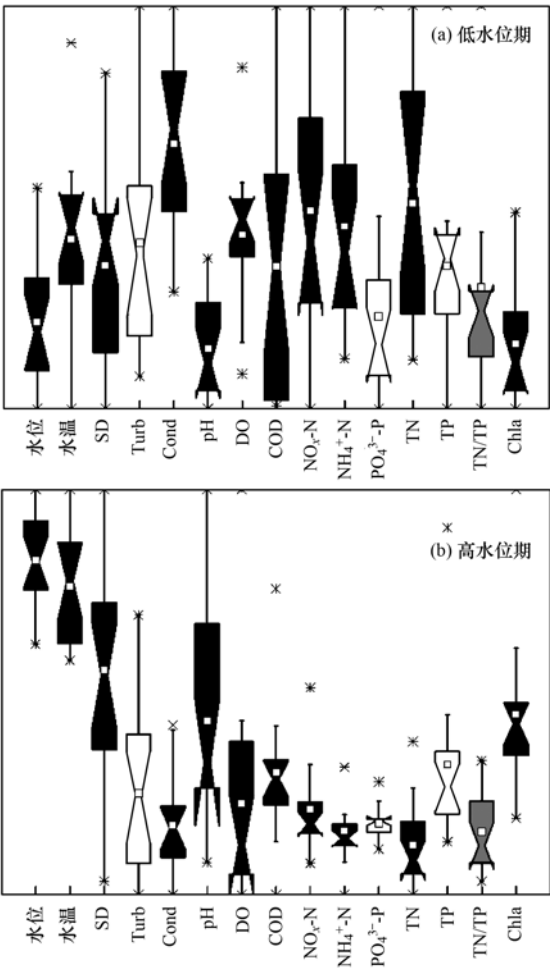
表 1 鄱阳湖各水位期理化因子变化范围、平均值及标准偏差

Table 1 Environmental variables summarized as the ranges, mean values and standard deviations during different water level periods in Poyang Lake						
项目	2011 年 9 ~ 11 月 (低水位期)		2012 年 5 ~ 9 月 (高水位期)		2012 年 10 ~ 11 月 (低水位期)	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
水位/m	9.4 ~ 13.2	11.0 ± 1.1	15.5 ~ 19.2	17.5 ± 1.2	10.5 ~ 14.8	12.3 ± 1.3
水温/℃	17.4 ~ 30.9	21.7 ± 3.3	22.8 ~ 33.0	27.6 ± 2.6	11.5 ~ 23.4	18.7 ± 3.8
SD/m	0.70 ~ 0.10	0.23 ± 0.16	0.90 ~ 0.10	0.30 ± 0.21	0.60 ~ 0.12	0.28 ± 0.12
TN/mg·L ⁻¹	1.16 ~ 3.08	2.07 ± 0.48	0.87 ~ 2.40	1.27 ± 0.25	1.13 ~ 2.22	1.58 ± 0.33
NO _x -N/mg·L ⁻¹	0.22 ~ 2.24	0.66 ± 0.44	0.16 ~ 1.52	0.92 ± 0.19	0.58 ~ 1.44	1.08 ± 0.24
NH ₄ ⁺ -N/mg·L ⁻¹	0.10 ~ 1.12	0.40 ± 0.27	0.01 ~ 0.46	0.12 ± 0.09	0.01 ~ 0.71	0.23 ± 0.15
TP/mg·L ⁻¹	0.018 ~ 0.271	0.110 ± 0.053	0.035 ~ 0.478	0.115 ± 0.071	0.039 ~ 0.404	0.140 ± 0.076
PO ₄ ³⁻ -P/mg·L ⁻¹	0.000 ~ 0.067	0.017 ± 0.018	0.018 ~ 0.046	0.027 ± 0.005	0.005 ~ 0.062	0.031 ± 0.016
Chla/μg·L ⁻¹	1.41 ~ 9.04	3.95 ± 2.00	2.01 ~ 52.70	8.88 ± 5.74	1.23 ~ 14.00	5.10 ± 3.60

图 4 展示了鄱阳湖 SD 及水体浊度状况,结果显示,SD 测量值均低于 1.00 m,其中 85% 的 SD 测量值在 0.50 m 以下.

2.3 水位、营养盐和 Chla 回归分析

图 5、图 6 和表 2 展示了鄱阳湖水位、氮磷营养盐浓度及 Chla 浓度回归趋势,鄱阳湖水位值与



黑色表示高水位和低水位期各环境因子间差异极显著(K-W 检验, $P < 0.01$),灰色表示高水位和低水位期各环境因子间差异显著(K-W 检验, $0.01 < P < 0.05$),白色表示高水位和低水位期各环境因子间差异不显著(K-W 检验, $P > 0.05$)

图3 鄱阳湖不同水位期各理化变量箱线图

Fig. 3 Box plots of various limnological parameters in Poyang Lake during periods of low and high water levels

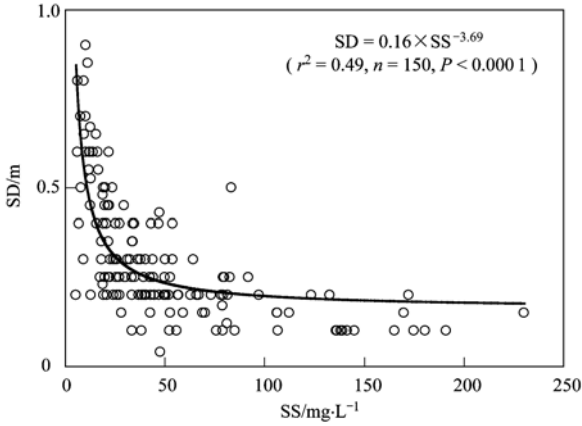


图4 鄱阳湖悬浮颗粒物(SS)浓度与透明度(SD)的相关关系
Fig. 4 Correlation between suspended solids and secchi depth in Poyang Lake

Chla 浓度 ($r^2 = 0.41$, $P < 0.0001$)、SD 值 ($r^2 = 0.17$, $P = 0.0039$) 显著正相关,与氮形态营养盐浓度 ($\text{NO}_x\text{-N}$: $r^2 = 0.15$, $P = 0.0098$; $\text{NH}_4^+\text{-N}$: $r^2 = 0.37$, $P < 0.0001$; TN : $r^2 = 0.59$, $P < 0.0001$) 显著负相关,与磷形态营养盐浓度 ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 TP) 不相关. Chla 浓度与水温值 ($r^2 = 0.30$, $P < 0.0001$) 和 SD 值 ($r^2 = 0.29$, $P < 0.0001$) 显著正相关,与氮形态营养盐浓度 ($\text{NO}_x\text{-N}$: $r^2 = 0.25$, $P = 0.003$; $\text{NH}_4^+\text{-N}$: $r^2 = 0.17$, $P = 0.0176$; TN : $r^2 = 0.22$, $P = 0.0007$) 和 TN/TP 质量比 ($r^2 = 0.18$, $P = 0.011$) 显著负相关,与磷形态营养盐浓度 ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 TP) 不相关.

2.4 PCA 分析

鄱阳湖不同水位期的环境因子显著不同(图7),高水位阶段(2012 年 5 ~ 9 月)具有高水温值和高 Chla 浓度,而低水位阶段(2011 年 9 ~ 11 月、

表2 回归趋势方程 $y = ax + y_0$ 的各参数¹⁾

Table 2 Parameters of regression equation for the models $y = ax + y_0$

x	y	r^2	P	y_0	a
水位	SD	0.17	0.0039	0.129	0.012 ± 0.003
水位	TN	0.59	< 0.0001	2.956	-0.010 ± 0.012
水位	$\text{NO}_x\text{-N}$	0.15	0.0098	1.464	-0.033 ± 0.012
水位	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.37	< 0.0001	0.780	-0.037 ± 0.007
水位	Chla	0.41	< 0.0001	-1.340	0.542 ± 0.095
水温	Chla	0.30	< 0.0001	0.397	0.264 ± 0.058
SD	Chla	0.29	< 0.0001	1.745	14.212 ± 3.270
TN	Chla	0.22	0.0007	11.656	-3.390 ± 0.937
$\text{NO}_x\text{-N}$	Chla	0.25	0.0030	13.455	-6.153 ± 1.909
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	Chla	0.17	0.0176	8.908	-8.478 ± 3.382
TN/TP	Chla	0.18	0.0110	8.570	-0.151 ± 0.056
Turb	TN	0.19	< 0.0001	-19.549	79.744 ± 12.517

1) y 表示因变量, x 是因变量, a 是斜率, y_0 是截距, r^2 和 P 值均为统计变量

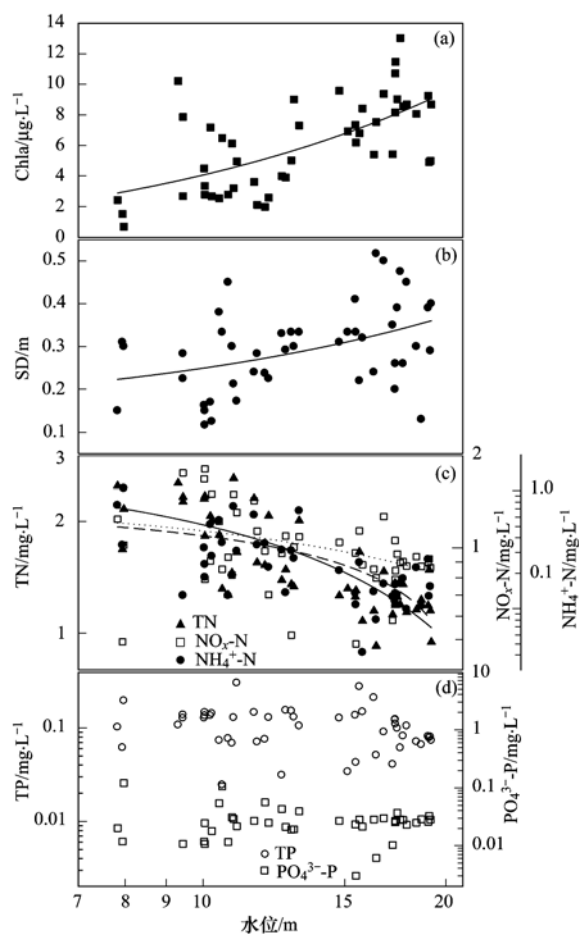


图 5(c) 中灰色曲线表示 TN, 点-线曲线表示 $\text{NO}_3^- \text{-N}$, 虚线曲线表示 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$; 详细的回归方程参数见表 2

图 5 鄱阳湖 Chla、TN、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、TP、 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 浓度及 SD 与水位回归趋势

Fig. 5 Chla, TN, $\text{NO}_3^- \text{-N}$, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, TP, $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ concentrations and SD as function of water level in Poyang Lake

2012 年 10 ~ 11 月) 的显著特征是营养盐浓度较高。SD 和 Turb 值数据轴介于高、低水位之间。

3 讨论

3.1 水位波动

长江与其沿岸的鄱阳湖构成了较复杂的江湖复合生态系统。因流域河流来水和长江来水季节性顶托和拉空作用的影响, 鄱阳湖水位和水面有着十分显著的季节变化规律, 丰水期水面可达 3 000 km^2 , 而枯水期则不足 1 000 km^2 , 呈现“洪水一片, 枯水一线”的独特景观。国外类似复合生态系统有: 亚马孙河流域^[16~18]、巴拉那河流域^[19, 20]及多瑙河流域^[21, 22]等。

3.2 SD 和营养盐响应特征

结合 SD 和 Turb 值数据得出, 鄱阳湖是典型的

混浊湖泊, SD 值低, 造成这种高混浊度的原因有二。其一, 鄱阳湖的砂资源丰富, 采砂频率为全世界之最^[23], 采砂活动在星子水域极为普遍; 其二, 鄱阳湖与长江相通, 水体流速较快, 特别是低水位期, 水流流速高达 $1.48 \sim 2.85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[15], 极易形成水体沉积物再悬浮, 进而影响湖泊水体 SD。在浑浊的水体环境中, 悬浮颗粒物会改变光的水下传递, 导致水下光照不足从而影响浮游植物生长^[24, 25]。然而, 随着鄱阳湖水位的增加, 水体 SD 值较低水位期增加[图 5(b)], 因此, 高水位期鄱阳湖水下光照条件提高, 有利于浮游植物的生长。其它洪泛平原水体中也发现, 随着湖泊水位上升, 水体透明度增加的类似结果^[26, 27]。

低水位期或水位下降期, 鄱阳湖氮形态营养盐浓度明显增加, 而高水位期, 氮形态营养盐浓度明显减少, 这种现象在长江中下游湖泊中广泛存在。Wu 等^[28]曾对长江中下游 33 个浅水湖泊(含鄱阳湖)进行了营养盐浓度分析, 结果表明 33 个湖泊处于低水位阶段时, 总氮、硝氮以及氨氮平均浓度均是高水位阶段的 2 ~ 3 倍。该研究结果在国外洪泛湖泊中也得到了印证, 如 Paraguay 和 Paraná 流域洪泛湖泊低水位期的氮营养盐浓度也较高水位期增加^[19, 26]。鄱阳湖水位上升期是流域营养盐汇集到湖泊内的过程。首先, 春季鄱阳湖周边县市农业生产活动频繁, 如灌溉施肥; 其次, 随着水位上升, 洪水脉冲对周边土壤的冲刷, 土壤及沉积物中营养盐的释放。这些因素可使高水位期鄱阳湖氮营养盐浓度升高, 但由于鄱阳湖高、低水位落差极其显著, 高水位阶段水位对氮营养盐的稀释作用大大抵消了水位上升期所带来的氮营养盐增加的效应, 使得鄱阳湖高水位期氮营养盐浓度反而降低。与氮营养盐相比, 磷营养盐受水位波动的影响较小, 低水位期磷营养盐浓度略有提高, 该结果与 Wu 等^[28]的结果相似。

3.3 浮游植物 Chla 响应特征

鄱阳湖浮游植物 Chla 浓度受水温、SD 和氮营养盐等多种环境因素的协同影响。首先鄱阳湖水位波动与水温变化具有一致性, 高水位对应高水温, 反之, 低水位对应低水温, 高水温湖泊环境促进了浮游植物的生长繁殖。其次, 鄱阳湖水位波动加强了高水温促进浮游植物生长的这种效应。主要原因是, 高水位期, 鄱阳湖水流流速变缓, 且水体 SD 提高, 平静的水环境加之充足的水下光照均有利于浮游植物, 特别是蓝藻的繁殖聚集。另外, 鄱阳湖 Chla 浓度与氮营养盐指标显著负相关, 与磷营养盐指标不

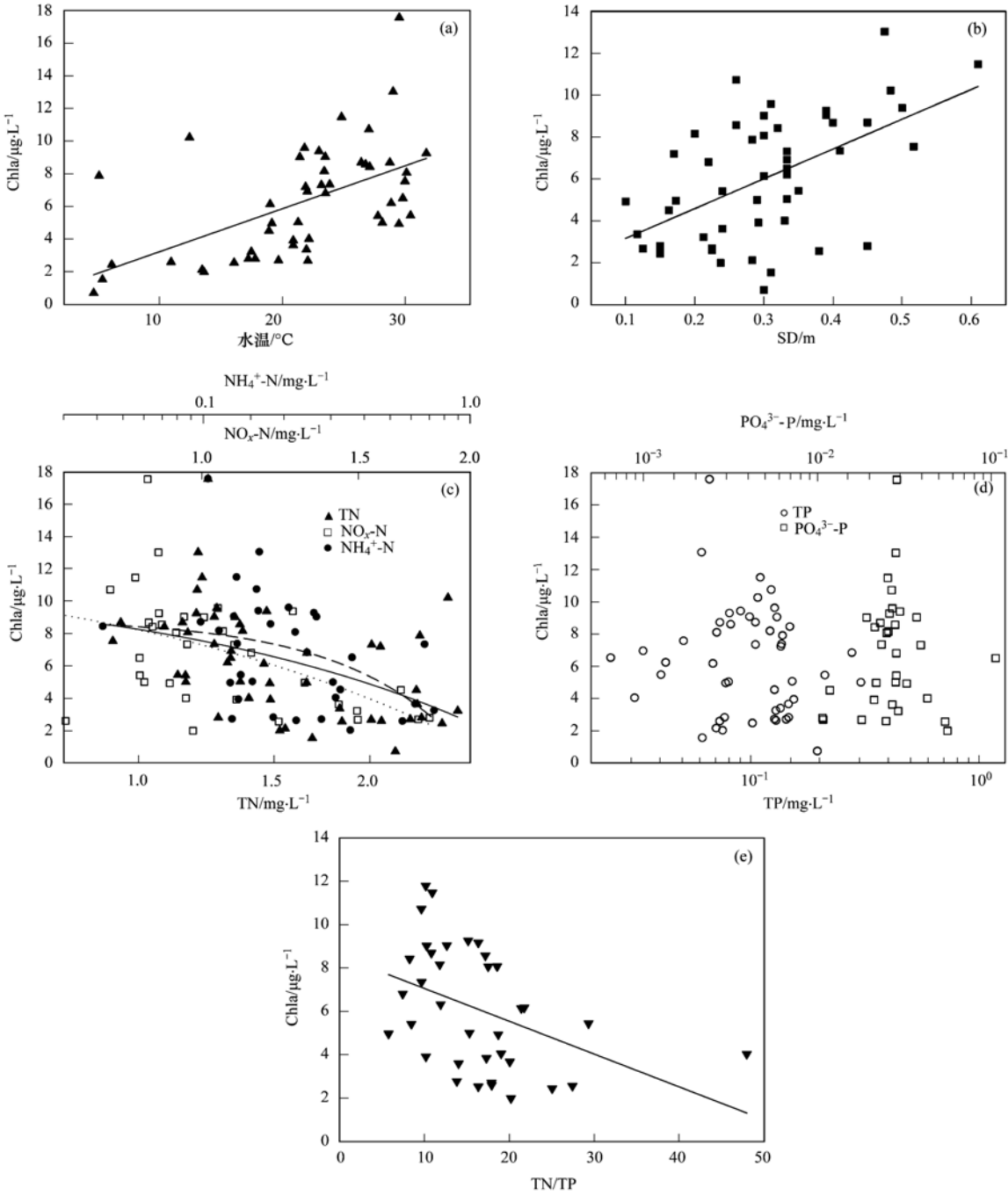


图 6(c) 中灰色曲线表示 TN, 点-线曲线表示 NO_x-N, 虚线曲线表示 NH₄⁺-N; 详细的回归方程参数见表 2

图 6 鄱阳湖 Chla 浓度与水温、SD、TN、NO_x-N、NH₄⁺-N、TP、PO₄³⁻-P 浓度及 TN/TP 质量比回归趋势

Fig. 6 Chla concentrations as function of water temperature, SD, TN, NO_x-N, NH₄⁺-N, TP, PO₄³⁻-P concentrations and TN/TP mass ratios in Poyang Lake

相关,说明鄱阳湖水位波动和高水位的稀释作用会掩盖营养盐浓度对浮游植物生长的影响。

鄱阳湖水位波动和高水位效应也可促进浮游植物群落结构的改变。回归分析显示,随着鄱阳湖 Chla 浓度增加,NO_x-N、NH₄⁺-N 和 TN 浓度较少,且 TN/TP 质量比减少。根据以往研究,氮营养盐浓度

的下降,可能会引起蓝藻,特别是固氮类蓝藻在鄱阳湖的大量生长^[29]。从 2011 年 9 月~2012 年 12 月鄱阳湖藻类生物量时间变化趋势来看,高水位期蓝藻生物量显著增加,从低水位期的 0.005 mg·L⁻¹ 增加至 0.385 mg·L⁻¹。Wu 等^[30] 研究了 2009~2011 年鄱阳湖藻类时空变化趋势,结果也显示夏秋季节

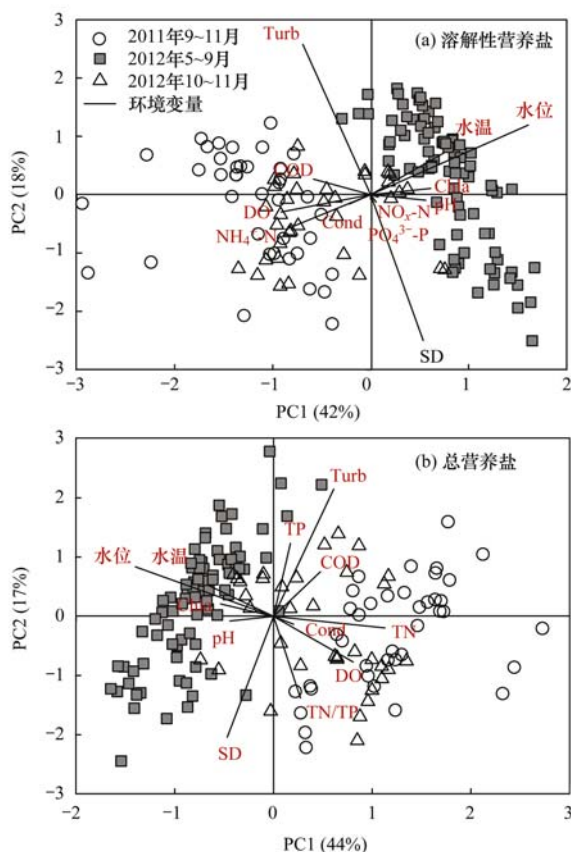


图7 鄱阳湖高水位和低水位期主成分分析 (PCA)

Fig. 7 Results of principal component analysis (PCA) during the periods of high and low water levels of Poyang Lake

(高水位) 蓝藻生物量占总浮游植物生物量百分比值可超过 15%。因此, 高水位期氮营养盐的减少可能会促进鄱阳湖固氮蓝藻的生长, 引起 Chla 浓度的增加。

4 结论

2011 年 9 月 ~ 2012 年 12 月, 鄱阳湖水位波动介于 9.4 ~ 19.2 m 之间, 最高水位与最低水位落差可达 9.8 m。鄱阳湖低水位期的水环境特征以水温低、浊度高、营养盐高和 Chla 浓度低为主, 而高水位期的水环境特征以水温高、SD 高、营养盐低和 Chla 浓度高为主。水位波动驱动了鄱阳湖水体 SD 和营养盐浓度的改变, 从而加强了高水温促进浮游植物生长的这种效应, 同时 Chla 浓度在高水位期的季节性增加也是对氮营养盐浓度减少的生物响应。

致谢: 本研究在采样过程中得到了中国科学院鄱阳湖湖泊湿地观测研究站——鄱阳湖团队的全力帮助, 在此表示感谢!

参考文献:

[1] Evtimova V V, Donohue I. Water-level fluctuations regulate the

structure and functioning of natural lakes [J]. *Freshwater Biology*, 2016, **61**(2): 251-264.

[2] Bakker E S, Hilt S. Impact of water-level fluctuations on cyanobacterial blooms: options for management [J]. *Aquatic Ecology*, 2015, doi: 10.1007/s10452-015-9556-x.

[3] Valeriano-Riveros M E, Vilaclara G, Castillo-Sandoval F S, *et al.* Phytoplankton composition changes during water level fluctuations in a high-altitude, tropical reservoir [J]. *Inland Waters*, 2014, **4**(3): 337-348.

[4] Wantzen K M, Rothhaupt K O, M?rtl M, *et al.* Ecological effects of water-level fluctuations in lakes: an urgent issue [J]. *Hydrobiologia*, 2008, **613**(1): 1-4.

[5] N?ges T, N?ges P, Laugaste R. Water level as the mediator between climate change and phytoplankton composition in a large shallow temperate lake [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **506-509**(1-3): 257-263.

[6] Mineeva N M, Litvinov A S. Long-term variation of chlorophyll content in Rybinsk Reservoir (Russia) in relation to its hydrological regime [J]. *Management of Lakes and Reservoirs During Global Climate Change*, 1998, **42**: 159-184.

[7] Coops H, Beklioglu M, Crisman T L. The role of water-level fluctuations in shallow lake ecosystems-workshop conclusions [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **506-509**(1-3): 23-27.

[8] Zhang L L, Yin J X, Jiang Y Z, *et al.* Relationship between the hydrological conditions and the distribution of vegetation communities within the Poyang Lake National Nature Reserve, China [J]. *Ecological Informatics*, 2012, **11**: 65-75.

[9] 闵骞, 时建国, 闵聃. 1956 ~ 2005 年鄱阳湖入出湖悬移泥沙特征及其变化初析 [J]. *水文*, 2011, **31**(1): 54-58.

[10] Baumg?rtner D, M?rtl M, Rothhaupt K O. Effects of water-depth and water-level fluctuations on the macroinvertebrate community structure in the littoral zone of Lake Constance [J]. *Hydrobiologia*, 2008, **613**(1): 97-107.

[11] Beckmann M C, Sch?ll F, Matthaei C D. Effects of increased flow in the main stem of the River Rhine on the invertebrate communities of its tributaries [J]. *Freshwater Biology*, 2005, **50**(1): 10-26.

[12] Wang H Z, Xu Q Q, Cui Y D, *et al.* Macrozoobenthic community of Poyang Lake, the largest freshwater lake of China, in the Yangtze floodplain [J]. *Limnology*, 2007, **8**(1): 65-71.

[13] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

[14] Lorenzen C J. Determination of chlorophyll ll and pheo-pigments: spectrophotometric equations [J]. *Limnology and Oceanography*, 1967, **12**(2): 343-346.

[15] 顾平, 王金保. 鄱阳湖水文特征及其对水质的影响研究 [J]. *环境污染与防治*, 2011, **33**(3): 15-19.

[16] Iba?ez M D S R. Phytoplankton composition and abundance of a central Amazonian floodplain lake [J]. *Hydrobiologia*, 1997, **362**(1-3): 79-83.

[17] de Melo S, Huszar V L M. Phytoplankton in an Amazonian floodplain lake (Lago Batata, Brasil): diel variation and species

- strategies[J]. *Journal of Plankton Research*, 2000, **22**(1): 63-76.
- [18] Philips E J, Havens K E, Lopes M R M. Seasonal dynamics of phytoplankton in two Amazon flood plain lakes of varying hydrologic connectivity to the main river channel [J]. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, 2008, **172**(2): 99-109.
- [19] Train S, Rodrigues L C. Temporal fluctuations of the phytoplankton community of the Baía River, in the upper Paraná River floodplain, Mato Grosso do Sul, Brazil[J]. *Hydrobiologia*, 1997, **361**(1-3): 125-134.
- [20] Bovo-Scomparin V M, Train S. Long-term variability of the phytoplankton community in an isolated floodplain lake of the Ivinhema River State Park, Brazil [J]. *Hydrobiologia*, 2008, **610**(1): 331-344.
- [21] Riedler P, Baranyi C, Hein T, *et al.* Abiotic and biotic control of phytoplankton development in dynamic side-arms of the River Danube[J]. *Archiv für Hydrobiologie. Supplementband. Large Rivers*, 2006, **16**(4): 577-594.
- [22] Mihaljević M, Stević F, Horvatić J, *et al.* Dual impact of the flood pulses on the phytoplankton assemblages in a Danubian floodplain lake (Kopački Rit Nature Park, Croatia) [J]. *Hydrobiologia*, 2008, **618**(1): 77-88.
- [23] de Leeuw J, Shankman D, Wu G F, *et al.* Strategic assessment of the magnitude and impacts of sand mining in Poyang Lake, China[J]. *Regional Environmental Change*, 2010, **10**(2): 95-102.
- [24] Carlson R E. A trophic state index for lakes[J]. *Limnology and Oceanography*, 1977, **22**(2): 361-369.
- [25] Forsberg C, Ryding S O. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes[J]. *Archiv für Hydrobiologie*, 1980, **89**: 189-207.
- [26] de Oliveira M D, Calheiros D F. Flood pulse influence on phytoplankton communities of the south Pantanal floodplain, Brazil[J]. *Hydrobiologia*, 2000, **427**(1): 101-112.
- [27] Izaguirre I, O'Farrell I, Tell G. Variation in phytoplankton composition and limnological features in a water-water ecotone of the Lower Paraná Basin (Argentina) [J]. *Freshwater Biology*, 2001, **46**(1): 63-74.
- [28] Wu S K, Xie P, Wang S B, *et al.* Changes in the patterns of inorganic nitrogen and TN/TP ratio and the associated mechanism of biological regulation in the shallow lakes of the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. *Science in China Series D*, 2006, **49**(1S): 126-134.
- [29] Dokulil M T, Teubner K. Cyanobacterial dominance in lakes [J]. *Hydrobiologia*, 2000, **438**(1-3): 1-12.
- [30] Wu Z S, Cai Y J, Liu X, *et al.* Temporal and spatial variability of phytoplankton in Lake Poyang: the largest freshwater lake in China[J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2013, **39**(3): 476-483.

CONTENTS

Application of a Two-stage Virtual Impactor in Measuring of PM ₁₀ and PM _{2.5} Emissions from Stationary Sources	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, LI Zhen, <i>et al.</i> (2003)
Hygroscopic Properties and Closure of Aerosol Chemical Composition in Mt. Huang in Summer	CHEN Hui, YANG Su-ying, LI Yan-wei, <i>et al.</i> (2008)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Shenyang	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Lu, <i>et al.</i> (2017)
Characteristics and Source Apportionment of Water-soluble Ions in Dry Deposition in the Summer and Autumn of Nanjing	QIN Yang, ZHU Bin, ZOU Jia-nan, <i>et al.</i> (2025)
Distribution Characteristics of Water-soluble Ions in Size-segregated Particulate Matters in Taiyuan	CAO Run-fang, YAN Yu-long, GUO Li-li, <i>et al.</i> (2034)
Characteristics of Ozone over Standard and Its Relationships with Meteorological Conditions in Beijing City in 2014	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (2041)
Chemical Composition of Alkanes and Organic Acids in Vehicle Exhaust	YUAN Jia-wen, LIU Gang, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (2052)
Effect of DOC/CCRT Aging on Gaseous Emission Characteristics of an In-used Diesel Engine Bus	LOU Di-ming, HE Nan, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (2059)
Studies of Dynamic Adsorption Behavior of VOCs on Biochar Modified by Ultraviolet Irradiation	LI Qiao, YONG Yi, DING Wen-chuan, <i>et al.</i> (2065)
Absorption Spectral Characteristic Dynamics of Dissolved Organic Matter (DOM) from a Typical Reservoir Lake in Inland of Three Gorges Reservoir Areas: Implications for Hg Species in Waters	JIANG Tao, LU Song, WANG Qi-lei, <i>et al.</i> (2073)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Waters of Typical Agricultural Watershed of Three Gorges Reservoir Areas	WANG Qi-lei, JIANG Tao, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (2082)
High-resolution Variations of Oxygen and Hydrogen Isotopes of Precipitation and Feedback from Cave Water: An Example of Jiguan Cave, Henan	SUN Zhe, YANG Yan, ZHANG Ping, <i>et al.</i> (2093)
Spatial Response of River Water Quality to Watershed Land Use Type and Pattern Under Different Rainfall Intensities	JI Xiang, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2101)
Determination of Background Value and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Danjiangkou Reservoir	ZHAO Li, WANG Wen-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (2113)
Spatial Distribution Characteristics and Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Sediments and Soils from the Dishui Lake and Its River System	WANG Xue-ping, HUANG Xing, BI Chun-juan, <i>et al.</i> (2121)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Water Source Areas of Guangdong and Guangxi	YANG Yu-xiang, LIU Xin-yu, ZHAN Zhi-wei, <i>et al.</i> (2131)
Responses of Nutrients and Chlorophyll a to Water Level Fluctuations in Poyang Lake	LIU Xia, LIU Bao-gui, CHEN Yu-wei, <i>et al.</i> (2141)
Influence of Periodic Temperature Disturbance on the Succession of Algal Community Structure	GONG Dan-dan, LIU De-fu, ZHANG Jia-lei, <i>et al.</i> (2149)
Effects of Bromate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella vulgaris</i>	WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> (2158)
Effect of Water Bloom on the Nitrogen Transformation and the Relevant Bacteria	LI Jie, ZHANG Si-fan, XIAO Lin (2164)
Effect of Carbon and Nitrogen Forms on Decomposition of Organic Matter in Sediments from Urban Polluted River	TANG Qian, LIU Bo, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (2171)
Interfacial Property of Amphiphilic Copolymer Blending PVDF UF Membrane and Protein Anti-fouling	MENG Xiao-rong, LU Bing-xue, FU Dong-hui, <i>et al.</i> (2179)
Adsorption of Hg(II) in Water by Sulfhydryl-Modified Sepiolite	XIE Jing-ru, CHEN Ben-shou, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2187)
Adsorption Behavior of Low Concentration Phosphorus from Water onto Modified Reed Biochar	TANG Deng-yong, HUANG Yue, XU Rui-chen, HU Jie-li, <i>et al.</i> (2195)
Adsorption Characteristics of 2,4-D on UiO-66 from Wastewater	REN Tian-hao, YANG Zhi-lin, GUO Lin, <i>et al.</i> (2202)
Mechanism and Surface Fractal Characteristics for the Adsorption of <i>p</i> -nitrophenol on Water-quenched Blast Furnace Slag	WANG Zhe, HUANG Guo-he, AN Chun-jiang, <i>et al.</i> (2211)
Adsorption Characteristics for Humic Acid by Binary Systems Containing Kaolinite and Goethite	NIU Peng-ju, WEI Shi-yong, FANG Dun, <i>et al.</i> (2220)
Effects of Sulfur/sponge Iron Ratio for Deep Denitrification and Phosphorus Removal of Reclaimed Water	ZHOU Yan-qing, HAO Rui-xia, WANG Zhen, <i>et al.</i> (2229)
Effect of Element Sulfur Particle Size and Type of the Reactor on Start-up of Sulfur-based Autotrophic Denitrification Reactor	MA Hang, ZHU Qiang, ZHU Liang, <i>et al.</i> (2235)
Influencing Mechanism of Titanium Salt Coagulant Chemical Conditioning on the Physical and Chemical Properties of Activated Sludge Flocs	WANG Cai-xia, ZHANG Wei-jun, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (2243)
Distribution Characteristics of Methanogens in Urban Sewer System	SUN Guang-xi, JIN Peng-kang, SONG Ji-na, <i>et al.</i> (2252)
Long-term Performance and Bacterial Community Composition Analysis of AGS-SBR Treating the Low COD/N Sewage at Low DO Concentration Condition	XIN Xin, GUAN Lei, YAO Yi-duo, <i>et al.</i> (2259)
Optimization for <i>Microthrix parvicella</i> Quantitative Processing of Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization (FISH)	WANG Run-fang, ZHANG Hong, WANG Qin, <i>et al.</i> (2266)
Influence of Carbonization Temperature on Bacterial Community of the Biological Carbon Electrode Based on High-throughput Sequencing Technology	WU Yi-cheng, HE Guang-hua, ZHENG Yue, <i>et al.</i> (2271)
Isolation, Identification and Characteristics of a <i>Rhodospseudomonas</i> with High Ammonia-nitrogen Removal Efficiency	HUANG Xue-jiao, YANG Chong, NI Jiu-pai, <i>et al.</i> (2276)
Variation Characteristics of Inorganic Phosphorus in Purple Soil Profile Under Different Conservation Tillage Treatments	HAN Xiao-fei, GAO Ming, XIE De-ti, <i>et al.</i> (2284)
Effect of Different Organic Materials on Nitrogen Mineralization in Two Purple Soils	ZHANG Ming-hao, LU Ji-wen, ZHAO Xiu-lan (2291)
Impacts of Biochar and Straw Application on Soil Organic Carbon Transformation	ZHANG Ting, WANG Xu-dong, PANG Meng-wen, <i>et al.</i> (2298)
Tracing Sources of Heavy Metals in the Soil Profiles of Drylands by Multivariate Statistical Analysis and Lead Isotope	SUN Jing-wei, HU Gong-ren, YU Rui-lian, <i>et al.</i> (2304)
Landscape Patterns Characteristics of Soil Heavy Metal Pollution in a Town of Southern Jiangsu	CHEN Xin, PAN Jian-jun, WANG Wen-yong, <i>et al.</i> (2313)
Assessment and Pollution Characteristics of Heavy Metals in Soil of Different Functional Areas in Luoyang	LIU Ya-na, ZHU Shu-fa, WEI Xue-feng, <i>et al.</i> (2322)
Evaluation on Heavy Metal Pollution and Its Risk in Soils from Vegetable Bases of Hangzhou	GONG Meng-dan, ZHU Wei-qin, GU Yan-qing, <i>et al.</i> (2329)
Fluorescence Spectroscopic Characteristics and Cu ²⁺ -complexing Ability of Soil Dissolved Organic Matter	TIAN Yu, WANG Xue-dong, CHEN Xiao-lin, <i>et al.</i> (2338)
Effect of Stabilizer Addition on Soil Arsenic Speciation and Investigation of Its Mechanism	CHEN Zhi-liang, ZHAO Shu-hua, ZHONG Song-xiong, <i>et al.</i> (2345)
Effects of Human Gut Microbiota on Bioaccessibility of Soil Cd, Cr and Ni Using SHIME Model	YIN Nai-yi, DU Hui-li, ZHANG Zhen-nan, <i>et al.</i> (2353)
Photosynthetic Characteristics and Ozone Dose-response Relationships for Different Genotypes of Poplar	XIN Yue, GAO Feng, FENG Zhao-zhong (2359)
Effects of Pyrene on Low Molecule Weight Organic Compounds in the Root Exudates of Five Species of <i>Festuca</i>	PAN Sheng-wang, YUAN Xin, LIU Can, <i>et al.</i> (2368)
N% and S% in Leaves of Vascular Plants <i>Cinnamomum camphora</i> and <i>Pinus massoniana</i> Lamb. for Indicating the Spatial Variation of Atmospheric Nitrogen and Sulfur Deposition	XU Yu, XIAO Hua-yun, ZHENG Neng-jian, <i>et al.</i> (2376)
Temporal and Spatial Dynamics of Greenhouse Gas Emissions and Its Controlling Factors in a Coastal Saline Wetland in North Jiangsu	XU Xin-wanghao, ZOU Xin-qing, LIU Jing-ru (2383)
Preparation of Visible-light-induced g-C ₃ N ₄ /Bi ₂ S ₃ Photocatalysts for the Efficient Degradation of Methyl Orange	ZHANG Zhi-bei, LI Xiao-ming, CHEN Fei, <i>et al.</i> (2393)
Estimation of Co-benefits from Pollution Emission Reduction by Eliminating Backward Production Capacities in Hainan Province	GENG Jing, REN Bing-nan, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (2401)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2016年6月15日 第37卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 6 Jun. 15, 2016

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行