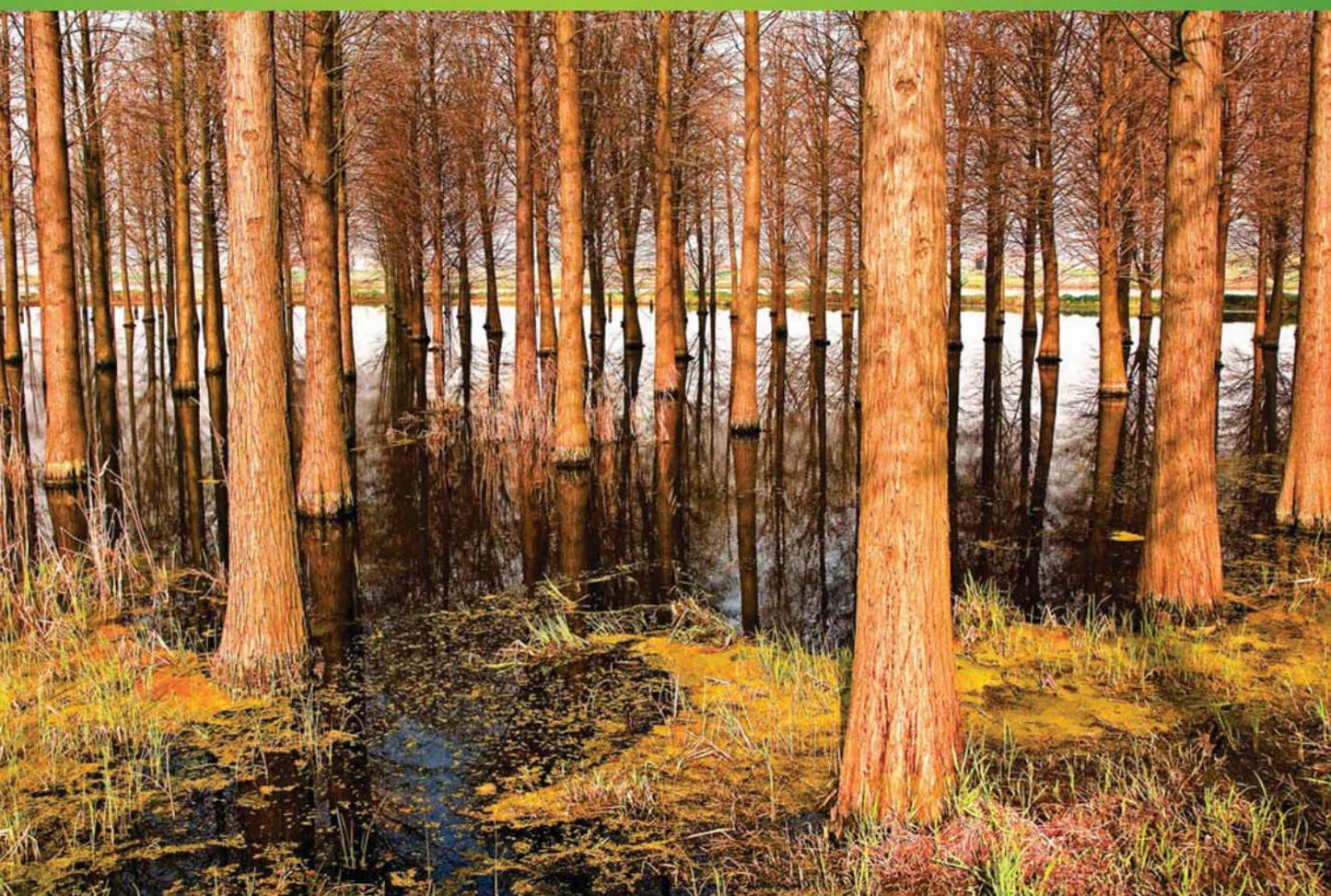


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 3 期

2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张禹, 张衡, 等 (671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘亮, 范航清, 李春千 (690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁琳, 张利权, 等 (706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	栾晓峰, 孙工棋, 曲艺, 等 (715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁 (740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘军, 鲍毅新, 张旭, 等 (758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富 (786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁华, 田昆, 等 (815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等 (833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等 (863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂艳, 于婧 (871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 活力的联合效应	王海贞, 王辉, 强俊, 等 (898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等 (915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波 (955)
专论与综述	
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁菲, 张星耀, 梁军 (964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)
研究简报	
光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占峰, 杨冬梅 (984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁鑫, 王海永, 等 (993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物特性	陈博, 李志华, 何茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02



封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201106180829

卢碧林, 严平川, 田小海, 金卫斌, B. Larry Li. 洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应. 生态学报, 2012, 32(3): 680-689.

Lu B L, Yan P C, Tian X H, Jin W B, B. Larry Li. Characteristics of algal facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 680-689.

洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应

卢碧林^{1,2}, 严平川³, 田小海¹, 金卫斌^{4,*}, B. Larry Li^{1,5}

(1. 长江大学长江中游湿地农业教育部工程研究中心, 荆州 434025; 2. 长江大学地球化学系, 荆州 434023;

3. 湖北省荆州市水文水资源局, 荆州 434000; 4. 黄冈师范学院化学与生命科学学院, 黄冈 438000;

5. University of California Riverside, CA 92521-0124, USA)

摘要:藻类是水生态系统的重要成分, 它的群落结构、细胞密度变化与水环境相适应, 随水环境的变化而改变, 因此藻相变化是评价水体质量的一项重要指标。2009—2010 年在洪湖水面不同方位布点采样, 对水体的浮游藻类藻相(群落结构、密度)和水质状况(水位(water level, H)、水温(water temperature, t_w)、透明度(transparency, SD)、总氮(total nitrogen, TN)、总磷(total phosphorus, TP)、高锰酸盐指数(permanganate index, COD_{Mn})和叶绿素含量(chlorophyll a, Chl-a)等)进行了逐月的调查、监测, 采用湖库营养状态指数法对湖泊富营养化评价, 并运用多元逐步回归方法建立水体藻类与生境因子的回归方程。结果表明:洪湖水体总体上已达到轻度富营养化状态;藻类以蓝藻门、硅藻门和绿藻门为主, 共鉴定出 7 门 65 属, 藻细胞密度为 1.14×10^6 — 3.24×10^7 个/L, 藻相季节变化特征明显。藻类组成以蓝藻门密度最高(52.93%), 硅藻门(25.96%)和绿藻门(16.83%)次之, 隐藻门(1.98%)、金藻门(1.64%)、裸藻门(0.42%)和甲藻门(0.25%)相对较低。藻类藻相及优势种在不同季节有所差异, 冬春季节(12—5 月)以硅藻门的直链藻、小环藻和针杆藻为优势种, 夏秋季节(7—11 月)以蓝藻门的鱼腥藻和微囊藻为优势种;湖泊藻类细胞密度与 t_w 、 COD_{Mn} 呈正显著相关关系, 与 H 、TN、TP、SD 相关关系不显著;藻细胞生长逐步回归方程为 $y = 3.7815 + 0.0794t_w + 0.5670COD_{Mn} - 1.3467SD$, 藻细胞生长主要受水温和有机污染物等的影响, 氮磷不是藻类生长的控制因子;在湖泊不同区域, 环境条件存在差异, 导致藻类生长过程中起主导作用的环境因子存在一定的差异, 蓝藻生长主要受 t_w 、 COD_{Mn} 和 SD 控制, 绿藻生长主要受 H 、 t_w 和 COD_{Mn} 影响, 而硅藻生长决定于水体 COD_{Mn} 。

关键词:洪湖;藻相;生境;富营养化

Characteristics of algal facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat

LU Bilin^{1,2}, YAN Pingchuan³, TIAN Xiaohai¹, JIN Weibin^{4,*}, B. Larry Li^{1,5}

1 Engineering Research Center of Wetland Agriculture in the middle Reaches of Yangtze River, Ministry of Education of China, Yangtze University, Jingzhou, 434025, China

2 Department of Geochemistry, Yangtze University, Jingzhou 434023, China

3 Jingzhou Survey Bureau of Hydrology Resources, Jingzhou 434000, China

4 College of Chemistry and Life Science, Huanggang Normal University, Huanggang 438000, China

5 University of California Riverside, CA 92521-0124, USA

Abstract: Lake Honghu, crossing over Honghu county and Jianli county in Hubei Province, China, is situated in the north of the middle reaches of Yangtze River. Because of unreasonable exploitation of wetland resources and discharge of pollutants, it confronted with series problems such as decrease of the lake area and wetland biodiversity, sharp reduction of rare species and its eutrophication of water body. Study for planktonic algae reflecting water ecological environment change

基金项目:国家自然科学基金项目(40971113);湖北省国际合作重点项目(2006CA028);湖北省自然科学基金项目(2011CDA001, 2011CDB004)

收稿日期:2011-06-18; **修订日期:**2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wbjin@yangtzeu.edu.cn

will provide a scientific basis for protection of Lake Honghu. Algae are important composition of aquatic ecosystem; their community structure and function are adaptable to water environment, and vary with changing water environment. The characteristics of community structure can be used as an important index in the assessment of water quality. In order to understand the change of water environment in Lake Honghu, Hubei, China, we measured a set of variables related to water quality, including structure and density of algous community, water level (H), water temperature (t_w), transparency (SD), permanganate index (COD_{Mn}), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and chlorophyll a content (Chl-a). The above experiments were conducted monthly between 2009 and 2010 at the five sections in Lake Honghu. The nutrition state was evaluated with eutrophication index for Lake and Reservoir; the influence of some environmental factors on algous cell density was analyzed by correlation analysis and stepwise multiple regression; and some stepwise multiple regression equations were established. Analytical results showed that the water was in light eutrophication in Lake Honghu. Totally, 7 phylum and 65 genera of planktonic algae were identified in the lake. The algous cell density ranged from 1.14 million cells per litre water to 32.4 million per litre water. *Bacillariophyta* was the most abundant phylum of planktonic algae, the following were *Chlorophyta* and *Cyanophyta*, in view of algous population distribution. Its algous community are 52.93% for *Cyanophyta*, 25.96% for *Bacillariophyta*, 16.83% for *Cyanobacteria*, 1.98% for *Cryptophyta*, 1.64% for *Chrysophyta*, 0.42% for *Euglenophyta*, and 0.25% for *Pyrrophyta*. In light of structure and density of algous community change seasonally, the dominant species are *Melosira* and *Cyclotella* within *Bacillariophyta* in winter and spring, *Anabaena* of *Chlorophyta* in summer and autumn. There is a statistically significant positive relationship between algous cell density, water temperature and permanganate index, whereas there is no obvious relationship between algous cell density, water level, total phosphorus, total nitrogen and transparency. The Stepwise regression equation of growth for planktonic algae was that: $y = 3.7815 + 0.0794t_w + 0.5670COD_{Mn} - 1.3467SD$ ($R^2 = 0.618$, $F = 8.087$, $P < 0.02$). This indicates that algous cell density could be used to reflect the pollution level caused by water temperature and organic pollutants, and the controlling of nitrogen and phosphorus has not been one of the key factors. The characteristics of algous cell density are controlled by the different environmental conditions at the five sections, such as *Bacillariophyta* controlled by water temperature, permanganate index and transparency, *Chlorophyta* controlled by water level (H), water temperature and permanganate index, and *Cyanophyta* controlled by permanganate index. Based on the results, there are great significance for the effective measures on slowdown of water eutrophication and inhibit of the algous growth process in Lake Honghu, by controlling nitrogen, phosphorus and organic pollutants inputs of Sihui Main Cannal, reducing cages culture area, and restoring water connectivity of Yangtze River and Lake Honghu.

Key Words: Lake Honghu; algous facies; habitat; eutrophication

长江中下游平原湖区富营养化典型浅水湖泊——洪湖,位于荆州市洪湖市和监利县之间,属河间洼地湖泊,是长江中游江汉湖群四湖流域内主要调蓄型湖泊,并兼有灌溉、生产生活供水、物种保护、养殖、旅游等多项功能。其湖底平坦,自西北略向东南倾斜,湖泥深厚,水深适中,洪湖的汇水区域约 12000 km²。洪湖是汛期渍水的主要调水设施,四湖流域水系通过四湖总干渠、福田寺闸、小港湖与其相连。其水资源由两部分组成,一是降水形成的地表径流与地下水,二是过境客水^[1]。近年来由于人口急剧膨胀,工业经济的发展,农业种植和农业结构布局的调整以及各种水利工程的建设等诸多因素影响,导致了湖泊萎缩、水体富营养化、生物多样性锐减等一系列环境问题^[2-4],引起众多学者的高度关注,并开展了对洪湖的水生生物数量和组成^[5-6]、水质特征^[7-11]、生态环境演化^[12-18]以及湖泊富营养化^[19]等的相关研究。

藻类是水生态系统的重要成分,在不同环境中,浮游藻类的竞争能力不同,环境因子的变化是浮游植物优势种变化的主要原因^[20]。藻类的群落结构、种群数量等藻相变化与水环境相适应,随水环境的变化而改变,同时环境条件的改变也会影响藻类的种群结构^[21],因此藻类藻相变化可以作为评价水体质量的一项重要

指标^[22]。有关研究资料表明,洪湖浮游植物种类在 92—280 种^[15-16,23],硅藻门是常见门类;磷被认为是藻类生长的限制性因子并开始减弱^[19],也有学者认为群落结构与水温(water temperature, t_w)、溶解氧(dissolved oxygen, DO)和悬浮物浓度有关^[23]。为了系统研究洪湖浮游植物的藻相变化特征以及与生态环境因子之间的关系,本研究于 2009 年 3 月至 2010 年 12 月对其环境因子、生物因子等指标进行连续检测,研究了不同季节湖泊中的浮游藻类藻相、水质特征及其变化规律,并运用多元逐步回归统计方法建立水体藻类与生境回归方程,以期对平原湖区湖泊的富营养化控制、保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置与采样时间

根据洪湖湖泊的特点,2009—2010 年在洪湖的入口、湖心和出口等不同区域共设置 5 个采样点(图 1)。于 2009 年 3 月—2010 年 12 月逐月在上述采样点采样。

1.2 采样与分析方法

样品采集和分析鉴定根据《湖泊富营养化调查规范》^[24]进行,现场测定水温(t_w),用透明度盘测定透明度(transparency, SD),对浮游植物进行定性定量分析^[25-26],并采用 SL88—1994 方法测定叶绿素 a(chlorophyll a, Chl-a)含量。浮游藻类定性采用用 25# 浮游生物网在水面及水深 0.5 m 处作“∞”字形来回捞取,所获样品加鲁哥氏液固定。浮游植物定量分析采样在表层 0.5 m 深处采水 1 L,加鲁哥氏液固定,沉淀浓缩后计数。自水面 0.5 m 深处采集水样后冷冻带回实验室分别按 GB11894-89、GB11893-89、GB11892-89 测定总氮(total nitrogen, TN)、总磷(total phosphorus, TP)、高锰酸盐指数(permanganate index, COD_{Mn})等化学指标,采用 GB7479-87、GB7493-87 和 HJ-T 346—2007 方法分别测定水样氨氮(ammonia nitrogen, NH_4^+-N)、亚硝酸盐氮(nitrite nitrogen, $NO_2^- -N$)和硝酸盐氮(nitrate nitrogen, $NO_3^- -N$)。

1.3 数据处理方法

2009—2010 年湖泊的降水(P)采用湖泊周围的福田寺、新堤和峰口观测站的降水值的算术平均值作为洪湖的面雨量值。

湖泊富营养化评价采用《地表水资源质量评价技术规程》(SL395—2007)^[27]。该法计算公式为:

$$EI = \sum_{n=1}^N E_n / N \quad (1)$$

式中, EI 为营养状态指数; E_n 为评价项目赋分值; N 为评价项目个数。

采用 0—100 的一系列连续数字对水库营养状态进行分级: $0 \leq EI \leq 20$, 贫营养(Oligotrophication, O); $20 < EI \leq 50$, 中营养(Mesotrophication, M); $50 < EI \leq 60$, 轻度富营养(Light Eutrophication, LE); $60 < EI \leq 80$, 中度富营养(Middle Eutrophication, ME); $EI > 80$, 重度富营养(High Eutrophication, HE)。在同一营养状态下,指数越高,其营养程度越重。

回归分析先按时间顺序建立该水源不同门类藻细胞密度、各采样点环境因子数据库。将藻细胞密度(algae cell density, ACD)做 $\ln(ACD+1)$ 变量转换,得标准化值 y ,使其符合正态分布。以标准化值 y 为因变量,以水位(water level, H)、 t_w 、 COD_{Mn} 、TN、TP、SD 为自变量进行相关分析,在此基础上进一步进行多元逐步回归,得到回归方程。利用回归方程研究藻类对生境的响应程度。

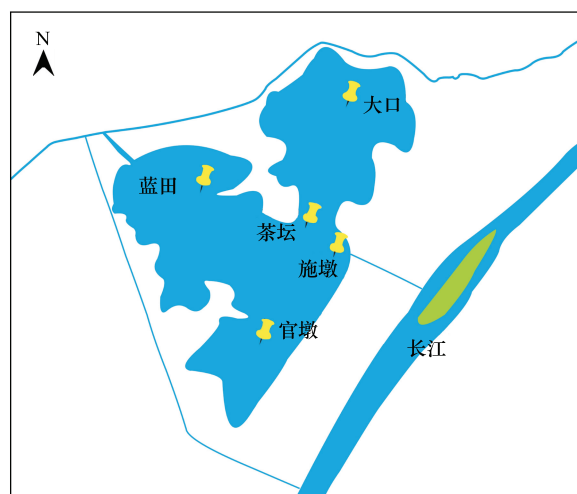


图 1 洪湖采样点分布图

Fig. 1 Sketch map of Lake Honghu, showing the location of sampling stations

数据处理分析采用 Excel 和 DPS9.5 统计分析软件完成。

2 结果与分析

2.1 湖泊水文特征

2.1.1 降水、蒸发及水位水量特征

2009 年和 2010 年洪湖的月面雨量分布见图 2。2a 年面雨量分别为 1257.9mm 和 1562.3mm,相对多年平均降水量 900—1100mm,属雨水偏多年份。其中 2010 年面雨量明显高于 2009 年,2010 年雨量主要集中在夏季 7 月份,占全年总雨量的 1/3。丰水期 5—7 月的面雨量差异明显,枯水期的面雨量较接近。湖泊的月蒸发量在 22.0—124.0mm 之间,平均为 63.5mm,夏季高,冬季低,呈单峰变化特征。

洪湖 2a 水量在 3.68—11.44 亿 m³之间,丰水期和枯水期差异大,表现为夏季多,冬季少;与之相应,水位维持在 24.11—26.32m 之间,夏季高,冬季低。水位水量与降水关系密切,但相对降水量表现出滞后性。

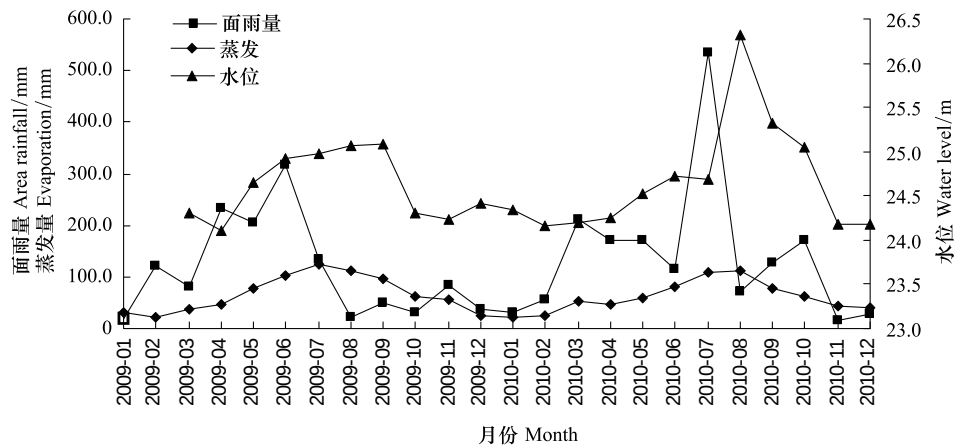


图 2 2009—2010 年洪湖降水蒸发水位在不同月份的变化

Fig. 2 The monthly variations of area rainfall, evaporation and water level in Lake Honghu

2.1.2 湖泊表水水温特征

2009 年和 2010 年洪湖采样时期的表水水温见表 1,均呈单峰分布,最高水温都出现在 7 月,分别为 30.2℃ 和 31.6℃,最低温度为 1 月,年平均温度分别为 21.3℃。与气温的季节变化较大一样,2a 湖泊水体水温表现出明显的单峰型季节性变化特征,变幅为 25℃ 左右;2a 水温在冬、春季节气温也存在一定的差异。

表 1 采样时期的表水水温/℃

Table 1 Integrated temperature of the water in Lake Honghu

	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009			5.0	14.0	18.0	24.4	30.2	29.8	26.0	20.0	16.2	9.7
2010	0.8	7.0	7.2	14.2	23.0	25.0	31.6	30.5	27.7	21.8	14.8	16.5

2.2 湖泊水环境状况及主要污染物特征

2.2.1 湖泊富营养化状况评价

根据各个营养状态指数及其相关项目赋分值的计算,得到洪湖各监测点的富营养化状况(表 2)。其综合评分变化范围在 36.6—68.9 之间,平均综合评分 50.8,结果表明洪湖各监测点营养状态在中营养—中度富营养水平之间,整体上看洪湖全湖营养状况已达到轻度富营养化水平。

从时间上看,湖泊水体在 5 月,6 月和 9 月处于中营养化状态,营养水平相对较轻;10—12 月湖泊处于轻—中度富营养化状态,营养水平较高。分析其可能原因为秋、冬季为枯水期,湖泊含水量低(图 2),湖泊稀释能力和水体自净功能变弱,引起水体富营养化程度加重。

从空间上看,洪湖入口蓝田区域水体营养水平较高,官墩区域较低,其富营养水平顺序为:蓝田>大口>茶坛岛>施墩河>官墩。由于四湖总干渠水体主要通过蓝田区域进入洪湖,该区域接纳了来自上游片区的城市工业、生活废水以及农业生产的面源污染污水,其水体富营养化程度最高;官墩区域的湖滨存在大面积湿地,同时湖区水草丰富,水体污染相对最轻,处于中营养状态;施墩河口为洪湖水体进入长江的出口,经过湖泊的水体混合稀释和自净,该区域水体富营养化程度相对较轻。

表 2 洪湖富营养化状况评价
Table 2 Integrated nutrition type in Lake Honghu

		月份 Month											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009	茶坛 Chatan			49.0/M	53.7/LE	51.4/LE	48.6/M	54.7/LE	53.6/LE	46.2/M	60.5/ME	59.9/LE	59.2/LE
	大口 Dakou			53.4/LE	52.1/LE	53.1/LE	44.6/M	55.9/LE	52.7/LE	46.0/M	62.8/ME	68.9/ME	55.7/LE
	官墩 Guandun			50.8/LE	50.8/LE	51.2/LE	46.2/M	41.0/M	43.0/M	49.7/M	50.0/M	50.6/LE	45.1/M
	蓝田 Lantian			63.3/ME	55.4/LE	55.3/LE	56.9/LE	53.6/LE	60.5/ME	47.6/M	60.9/ME	57.7/LE	51.0/LE
	施墩 Shidun			56.1/LE	47.3/M	48.4/M	48.8/M	39.4/M	44.8/M	50.2/LE	59.0/LE	61.8/ME	62.0/ME
2010	茶坛 Chatan	46.6/M	49.0/M	47.1/M	44.1/M	47.4/M	44.0/M	49.1/M	—	46.6/M	52.3/LE	53.5/LE	50.3/LE
	大口 Dakou	52.4/LE	52.7/LE	50.4/LE	52.4/LE	49.0/M	47.1/M	47.4/M	54.5/LE	45.3/M	50.5/LE	58.5/LE	49.0/M
	官墩 Guandun	36.6/M	38.2/M	46.4/M	40.3/M	40.5/M	45.4/M	47.5/M	—	44.0/M	46.3/M	46.9/M	44.5/M
	蓝田 Lantian	51.1/LE	43.8/M	45.6/M	48.0/M	48.6/M	54.3/LE	55.7/LE	—	52.2/LE	54.7/LE	58.1/LE	50.1/LE
	施墩 Shidun	48.6/M	39.2/M	60.4/ME	54.6/LE	46.9/M	44.2/M	50.2/LE	47.9/M	41.5/M	53.7/LE	63.4/ME	56.1/LE

* 2010 年 8 月份因洪湖水位较高,部分点位采样缺失;M、LE 和 ME 分别代表湖泊的富营养化级别为中营养 (Mesotrophication)、轻度富营养 (Light Eutrophication) 和中度富营养 (Middle Eutrophication)

2.2.2 湖泊主要污染物特征

2009 年 3 月至 2010 年 12 月湖泊主要污染物结果见图 3。

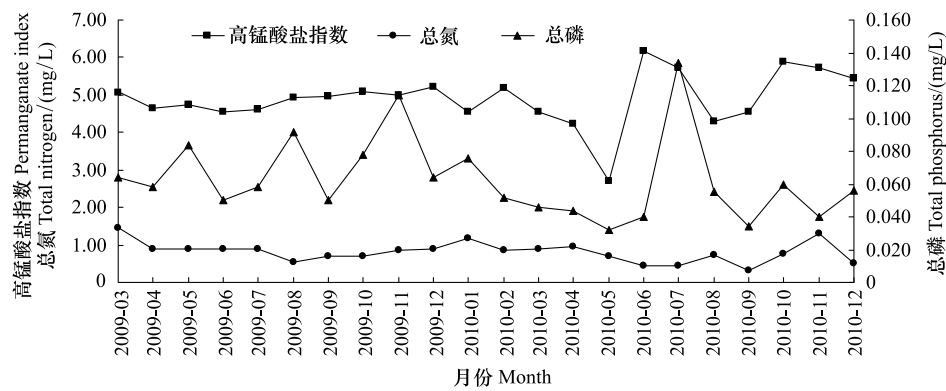


图 3 洪湖主要污染物在不同月份的变化

Fig. 3 The monthly variations of primary pollutants in Lake Honghu

2a 检测结果表明,除个别月份外,主要污染物总氮(TN)、总磷(TP)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})均超过地表水环境质量标准(GB3838—2002)的湖库Ⅱ类水质标准。其中 2009 年全部检测月份、2010 年的 1、2、7、8、10、12 月水体总磷含量(TP)超过地表水环境质量标准(GB3838—2002)的湖库Ⅲ类水质标准。2010 年 7 月总磷含量(TP)为最大值,而本月降水量大,表明不断有携带大量磷的地表径流进入湖泊水体,同时底泥在 7 月底层水含氧量低而处于还原状态时释放磷酸盐;2009 年 11 月总磷含量为次高,应与本年度 8—10 月降水偏少,11 月降水偏多,以及四湖总干渠等外源水体异常输入有关。总氮含量(TN)除 2009 年 3 月、2010 年 1 月、11 月超过 GB3838—2002 的Ⅲ类水质标准外,其余检测月份水体水质均在Ⅲ类标准以内,且变幅相对平缓,这与洪湖控制网箱养殖面积,在一定程度上减轻了水体氮负荷有关。COD_{Mn}除 2010 年 6 月外,其余月份检测结果

均在 GB3838—2002 的Ⅲ类标准以内。

2.3 湖泊浮游藻类组成与藻相特征

本调查共分析鉴定出 121 种浮游藻类,其中绿藻门(*Chlorophyta*)28 属 51 种、硅藻门(*Bacillariophyta*)19 属 39 种、蓝藻门(*Cyanophyta*)11 属 19 种、裸藻门(*Euglenophyta*)2 属 3 种、甲藻门(*Pyrrophyta*)3 属 5 种、隐藻门(*Cryptophyta*)1 属 2 种和金藻门(*Chrysophyta*)1 属 2 种。洪湖水体浮游藻类藻相结构见图 4。

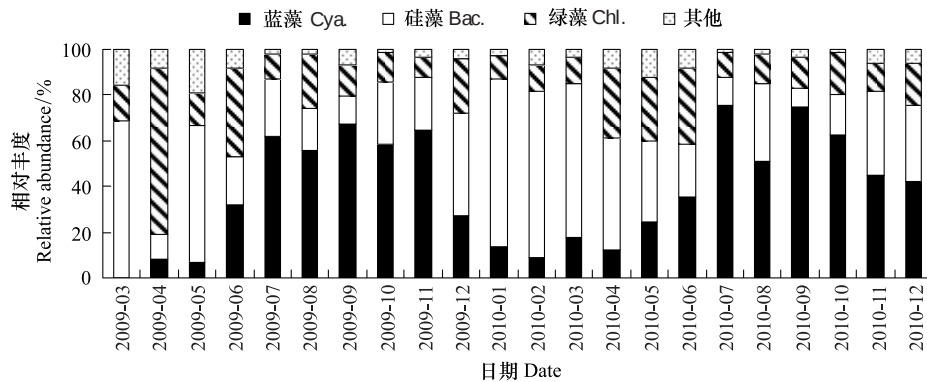


图 4 洪湖藻类组成比例在不同月份的变化

Fig. 4 The monthly variations of percentage for algal community structure in Lake Honghu

其细胞相对丰度以蓝藻门最高(52.93%),硅藻门(25.96%)和绿藻门(16.83%)次之,隐藻门(1.98%)、金藻门(1.64%)、裸藻门(0.42%)和甲藻门(0.25%)相对较低。种类组成及优势种在不同季节有所差异,冬春季节(12—5月)以硅藻门的直链藻(*Melosira*)、小环藻(*Cyclotella*)和针杆藻(*Synedra*)为优势种,夏秋季节(7—11月)以蓝藻门的鱼腥藻(*Anabaena*)、微囊藻(*Microcystis*)为优势种,与 Dokulil 等人研究富营养化浅水湖泊夏季藻类优势种类结果基本一致^[28-30]。

洪湖水体藻相的时间变化特征见图 5。湖泊水体藻细胞密度在冬春季的 12—5 月份较低,夏秋季的 7—11 月份较高,在 10—11 月达到年内最大值,然后在 12 月快速下降,可能与冬春季节水温较低、光照较弱,藻类生长受到抑制有关。图 5 中 2010 年 8 月藻细胞密度较低,应与 7 月份降水较多(图 2),8 月份湖区水量大,藻细胞被稀释,密度下降有关。总体上浮游藻类密度在丰水期和枯水期一般都大于 10^7 个/L,达到富营养化湖泊中藻细胞密度所具有的密度水平。

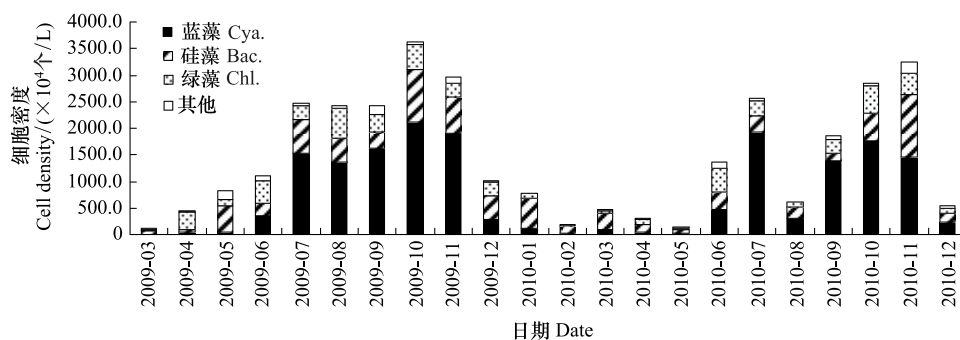


图 5 洪湖藻类藻密度在不同月份的变化

Fig. 5 The monthly variations of algal cell density in Lake Honghu

从空间上看(图 6),洪湖水体不同湖区浮游藻类的细胞相对丰度和细胞密度均存在一定差异。其藻密度与富营养化水平具有相似的特征。蓝田区域水体富营养化程度最高,藻细胞密度也最大;官墩区域水体污染相对较轻,藻细胞密度最小。其中藻细胞密度大小其顺序为:蓝田>茶坛岛>大口>施墩河>官墩。

2.4 湖泊藻类对生境的响应

湖泊藻类与6项环境生态因子之间的相关性分析结果见表3。结果显示,湖泊标准化藻细胞密度 y 与 t_w 、 COD_{Mn} 呈正显著相关关系,而与 H 、 TN 、 TP 、 SD 相关关系不显著。

采用逐步回归统计,得到洪湖以及各观测点标准化藻细胞密度 y 与6个环境因子间的回归方程(表4)。回归方程表明,洪湖藻类的生长主要受控于 t_w 、 COD_{Mn} 和 SD 。

由于不同采样点的环境条件存在差异,因此藻类生长过程中起主导作用的环境因子在这些区域存在一定的差异。蓝田位于径流入湖区域,营养物质浓度高而成为非限制性影响因子,藻类生长主要受水温和光照影响;藻类生长在出口区域施墩河口则主要受水位、有机污染物和光照影响,在下区官墩受主要水温和有机污染物影响,而在茶坛和大口区域影响因素相对复杂。

进一步对主要优势藻类群蓝藻、绿藻和硅藻进行回归分析,回归方程也显示出不同藻类生长对环境因子的反应存在较大差异。蓝藻生长主要受 t_w 、 COD_{Mn} 和 SD 控制,绿藻生长主要受 H 、 t_w 和 COD_{Mn} 影响,而硅藻生长主要决定于水体 COD_{Mn} 。

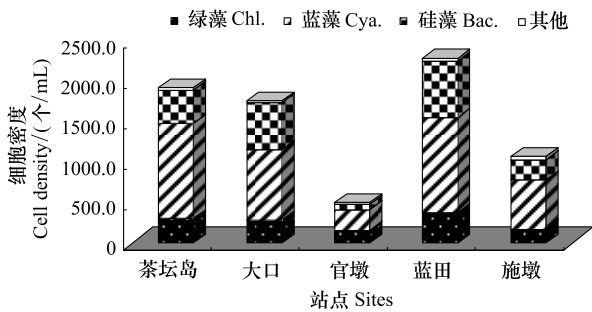


图6 洪湖藻细胞密度在不同湖区的变化

Fig.6 The variations of algous cell density in different districts of Lake Honghu

表3 藻类细胞密度与生境因子的线性相关性分析

Table 3 The correlation analysis of algous cell density with ecological factors in Lake Honghu

偏相关 correlation	水位 H	水温 t_w	高锰酸盐指数 COD_{Mn}	总氮 TN	总磷 TP	透明度 SD	标准化细胞密度 y
水位 H	1.0000						
水温 t_w	0.7163 **	1.0000					
高锰酸盐指数 COD_{Mn}	-0.1657	-0.0757	1.0000				
总氮 TN	-0.3454	-0.6562 *	-0.0221	1.0000			
总磷 TP	-0.1193	0.1350	0.2915	-0.1086	1.0000		
透明度 SD	0.3564	0.3625	-0.4501 *	-0.1079	-0.1952	1.0000	
标准化细胞密度 y	0.1639	0.4637 *	0.5253 *	-0.3102	0.3470	-0.3151	1.0000

* $P<0.05$, ** $P<0.01$

表4 藻类细胞密度与生境因子的逐步回归统计分析

Table 4 The stepwise regression analysis of algous cell density with ecological factors in Lake Honghu

	逐步回归方程 Stepwise regression equation	决定系数 Coefficient of determination	F	P
洪湖	$y=3.7815+0.0794t_w+0.5670COD_{Mn}-1.3467SD$	0.618	8.087	0.002
茶坛	$y=12.176+0.110t_w+0.559COD_{Mn}+0.946TN-1.401SD$	0.543	3.859	0.028
大口	$y=14.045+0.112t_w+1.219TN+1.224TP-1.543SD$	0.696	7.437	0.002
官墩	$y=11.141+0.101t_w+0.407COD_{Mn}$	0.596	11.081	0.001
蓝田	$y=15.381+0.093t_w-1.135SD$	0.343	3.916	0.043
施墩	$y=-43.894+2.344H+0.658COD_{Mn}-1.778SD$	0.766	15.273	0.000
绿藻 Chl.	$y=15.116-0.5926H+0.086t_w+0.615COD_{Mn}$	0.521	5.443	0.010
蓝藻 Cya.	$y=2.666+0.200t_w+0.479COD_{Mn}-3.731SD$	0.532	11.802	0.000
硅藻 Bac.	$y=2.594+0.622COD_{Mn}$	0.272	6.350	0.022

3 结论与讨论

(1)洪湖水体富营养状态在中营养—中度富营养水平,春季相对较轻,秋冬季相对较重,入湖区域水体富

营养化较重,湖心相对较轻,总体上已达到轻度富营养化状态。湖泊主要污染物为 TN、TP、 COD_{Mn} 。一般认为 COD_{Mn} 是有机污染物的指标,当其超过 4 mg/L 时,表示水体已受到有机物污染^[31]。除 2010 年 6 月外,其余月份检测结果均在 GB3838—2002 的Ⅲ类标准以内,但均在 4mg/L 以上,表明洪湖水体已经受到有机物轻度污染。一般认为湖泊水体总磷浓度为 0.02 mg/L、总氮浓度为 0.2 mg/L 是湖泊富营养化发生的临界浓度^[32],洪湖水体各监测点的总磷含量(TP)和总氮含量(TN)远远超过这一范围而均表现出富营养化特征。洪湖水源除降水外,主要入湖水来源于四湖总干渠,因此外部氮磷和有机污染物主要来自于四湖总干渠带来的点源和非点源途径,如城镇生活污水、工业废水和农业施肥,内源污染则主要为渔业养殖和底泥释放。

(2) 洪湖藻类共鉴定出 7 门 65 属,相对于 20 世纪 80 年代的调查结果^[16],藻类种类增多,而与卢山等^[17]的调查结果基本一致。洪湖藻类以蓝藻门、硅藻门和绿藻门为优势种群,藻相季节变化特征明显。种类结构及优势种在不同季节有所差异,冬春季节(12—5 月)以硅藻门的直链藻、小环藻和针杆藻为优势种,夏秋季节(7—11 月)以蓝藻门的鱼腥藻和微囊藻为优势种。

(3) 影响藻类生长的主要因子有营养盐、物理因子(光照、温度、pH、光辐射)和生态因子^[33]。通过相关分析,洪湖藻类细胞密度与 t_w 、 COD_{Mn} 呈正显著相关关系,与 H 、TN、TP、SD 相关关系不显著。氮、磷是影响水体浮游藻类生长最主要的营养元素,当浮游藻类生长受到营养盐限制时体内碳水化合物的积累、光合作用产物的产量均受到影响。Oliver 等对欧洲的 18 个水体进行分析过程中设定,浮游植物生长在可溶性活性磷浓度超过 10 $\mu\text{g/L}$ 的水体中将不受 P 限制,无机氮浓度超过 100 $\mu\text{g/L}$ 将不受 N 限制^[34];刘永梅等对水华蓝藻的培养实验也认为过高的氮磷浓度并不能被藻类吸收利用^[35]。对于大型湖泊中的藻类而言,由于湖泊内部的营养盐的循环等地球化学过程,使得他们生长所需的营养盐可以得到有效补充而不必完全依赖外界的输入^[36],较少的受到营养盐的限制^[37-38]。就洪湖水体的无机氮来看,本研究采样时期无机氮浓度(氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮之和)变幅为 0.23—1.34mg/L,按上述标准,各次采样时期浮游植物生长不受氮限制,磷也不是藻类生长的限制因子。藻细胞密度主要受水温的影响,在一定温度范围内,水体温度升高会促进藻类生长,同时随着水温的升高和下降,水体藻相不断更替,数量发生变化,这一结果与文献报道一致^[39]。藻类细胞密度在水温最高的 7—8 月为非最大值,应与 7—8 月洪湖处于丰水期,环境气温较高,藻细胞密度被稀释、生长受环境抑制^[33]有关,而在 10—11 月处于平水期,藻细胞密度为年内最大值,该时期大多数门类藻类处于较适宜生长期。藻细胞密度同时还受水体 COD_{Mn} 的影响, COD_{Mn} 表征水体有机污染物含量。随水体有机物含量增加,洪湖藻类增殖加大。

(4) 回归方程表明,洪湖藻类的生长主要受控于 t_w 、 COD_{Mn} 和 SD。藻类生长与 SD 呈负相关关系,一般较低的 SD 导致湖泊水体水下光照不足,进而可能影响藻类的生长和藻相的变化,同时当水体中藻类大量生长繁殖,会导致水体 SD 下降,使 SD 成为影响藻类生长的关键环境因子之一。在湖泊不同区域,环境条件存在差异,导致藻类生长过程中起主导作用的环境因子存在一定的差异。同时,主要优势藻类群蓝藻、绿藻和硅藻的生长受控于不同的环境因子。蓝藻生长主要受 t_w 、 COD_{Mn} 和 SD 控制,绿藻生长主要受 H 、 t_w 和 COD_{Mn} 影响,与蓝绿藻的最佳生长温度高于其他藻类^[40],夏季生长旺盛^[34]有关,同时蓝藻具有比其他藻类更宽的光吸收波段^[41],光照的变化对其生长更为敏感;而硅藻生长决定于水体 COD_{Mn} 的变化,可能与硅藻对有机物的敏感性更强有关。

(5) 根据洪湖水质检测和本研究结果,通过藻类藻相的变化特征可开展水体的水富营养化预测。对影响藻类生长的主要环境因子中,除 t_w 外,TN、TP 和 COD_{Mn} 是可以做到人为控制,因此在减缓洪湖水体水质富营养化和抑制藻类生长过程中,通过控制由四湖总干渠带来的入湖外源氮、磷和有机污染物,控制围网养殖面积,恢复河湖连通,对消减和控制洪湖水体富营养化意义重大。

References:

- [1] Wang S M, Du H S. Records of Lakes in China. Beijing: Science Press, 1998: 191-192.

- [2] Li J F, Li R R, Li R D. On the reduction of lacustrine water and the flood disasters in the Sihua area. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2000, 9(2): 265-268.
- [3] Yan P C. Research on Comprehensive Treatment of Water Pollution in the Sihua Basin//The 3rd Science and Technology Forum. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2005: 166-168.
- [4] Xiang G R. Research on Sustainable Development of Agriculture in the Sihua Basin. Beijing: Science Press, 1997: 1-40.
- [5] Lu S, Jiang J H. The wetland resources of Honghu Lake and countermeasures of its protection. *Journal of Lake Sciences*, 2003, 15(3): 281-284.
- [6] Fang W Z, He D F, Wang X Y, Yang Q R. Studies on overwintering water bird in Honghu Lakeland. *Journal of Central China Normal University: Natural Sciences*, 1997, 31(4): 464-467.
- [7] Wei W W, Jin W B. Principal component analysis of some water quality index in Honghu Lake and periphery water area. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition): Agricultural Science Volume*, 2007, 4(1): 92-95.
- [8] Du Y, Chen P, Kieko S, Hajime A, He B Y. Current water environmental status and dominant factor analysis in Honghu Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(4): 481-485.
- [9] Lu B L, Ling W L, Tian X H, Liu S, Gao X F. The evolutionary trend of water environments in the Sihua Lake Drainage Basin//International Conference on Water Resource and Environmental Protection. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011: 404-407.
- [10] Wang X L, Liu X T, Wu Y J. Analysis of water environment characteristics and purification ability of Honghu Lake wetland in Jiangnan Plain. *Journal of Wuhan University: Natural Science Edition*, 2003, 49(2): 217-220.
- [11] Hu X Y, Chen D L, Ai T C. Changes of water environment of Honghu Lake from 1990 to 2003. *Wetland Science*, 2006, 4(2): 115-120.
- [12] Gui F, Yu G. Numerical simulation of transport for nutritional substance in Jiangnan Plain. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(14): 1709-1718.
- [13] Yin F N. Research on natural environment evolution of the Honghu lake. *Yangtze River*, 2008, 39(5): 19-22.
- [14] Qin M, Lu J. Problems with wetland ecosystem of the Honghu Lake and harness measures. *China Water Resources*, 2005, (7): 64-66.
- [15] Li C F, Gao J F, Zhang H H. Effect of human activities on river-lake environment of Si-hu area during the past 50 years. *Areal Research and Development*, 2004, 23(5): 120-124.
- [16] Lu S, Li S J, Wang X L. Study on the environmental evolution and ecological protection of Honghu Lake. *Wetland Science*, 2004, 2(3): 234-237.
- [17] Chen S J. Environmental problems and ecological countermeasures for the Honghu lake in Hubei province. *Journal of Central China Normal University: Natural Sciences*, 2001, 35(1): 107-110.
- [18] Huang Y S, Chen S J, Wu H J, Zhu M Y. Analysis of evolution factors and ecological protection strategies for Honghu lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(4): 504-508.
- [19] Ma Y, Zheng X M, Endo K, Sato K. Study on the change of nitrogen and phosphorus and the eutrophication process in Honghu Lake. *Guangzhou Environmental Sciences*, 2005, 20(2): 5-7, 15-15.
- [20] Reynolds C S, Oliver R L, Walsby A E. Cyanobacterial dominance: the role of buoyancy regulation in dynamic lake environments. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1987, 21(3): 379-390.
- [21] Barnes R S K, Mann K H. *Fundamentals of Aquatic Ecosystems*. London: Blackwell Scientific Publications, 1980: 208-212.
- [22] Alabastin J S. *Biological Monitoring of Inland Fisheries*. London: Applied Science Publishers, 1976: 51-194.
- [23] Deng J M, Cai Y J, Chen Y W, Zhang L. Structure of phytoplankton community and its relationship with environment factors in Lake Honghu. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(1): 70-78.
- [24] Jin X C, Tu Q Y. *Investigation Model of Eutrophication in Lake*. 2nd ed. Beijing: Environmental Science Press, 1990: 286-300.
- [25] Hu H J, Wei Y X. *Systematics, Classification and Ecosystem of Chinese Freshwater Algae*. Beijing: Science Press, 2006.
- [26] The Editorial Board of Handbook of Monitoring for Aquatic Organisms. *Handbook of Monitoring for Aquatic Organisms*. Nanning: Southeast China University Press, 1993.
- [27] The Ministry of Water Resources the People's Republic of China. SL 395—2007 Technological Regulations for Surface Water Resources Quality Assessment. Beijing: China Water Conservancy and Hydroelectric College Press, 2008.
- [28] Dokulil M T, Teubner K. Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia*, 2000, 438(1/3): 1-12.
- [29] Reynolds C S, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores, Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 2002, 24(5): 417-428.
- [30] Nixdorf B, Mischke U, Rucker J. Phytoplankton assemblages and steady state in deep and shallow eutrophic lakes-an approach to differentiate the habitat properties of Oscillatoriales. *Hydrobiologia*, 2003, 502(1/3): 111-121.
- [31] Wang Z H, Gui H R, Luo Z X. Seasonal characteristics of algae composition and responses to its habitat in shallow subsidence pool as new wetland. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(4): 197-200.
- [32] Birch S, McCaskie J. Shallow urban lakes: a challenge for lake management. *Hydrobiologia*, 1999, 395-396(0): 365-378.
- [33] Kong F X, Gao G. Hypothesis on Cyanobacteria bloom-forming mechanism in large shallow eutrophic lakes. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 589-595.

- [34] Oliver R L, Ganf G G. Freshwater blooms // Whitton B A, Potts M, eds. The Ecology of Cyanobacteria. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000: 149-194.
- [35] Liu Y M, Liu Y D, Li D H, Shen Y W. Effects of nitrate and phosphorus on growth and physiological characteristics of aphanizomenon flos-aquae from Dianchi. Acta Hydrobiologica Sinica, 2007, 31(6): 774-779.
- [36] Hudson J J, Taylor W D, Schindler D W. Planktonic nutrient regeneration and cycling efficiency in temperate lakes. Nature, 1999, 400(6745): 659-661.
- [37] Reynolds C S, Reynolds S N, Munawar I F, Munawar M. The regulation of phytoplankton population dynamics in the world's largest lakes. Aquatic Ecosystem Health and Management, 2000, 3(1): 1-21.
- [38] Guildford S J, Hendzel L L, Kling H J, Fee E J, Robinson G G C, Hecky R E, Kasian S E M. Effects of lake size on phytoplankton nutrient status. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1994, 51(12): 2769-2783.
- [39] Briand J F, Robillot C, Quiblier-Llobéras C, Humbert J F, Couté A, Bernard C. Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. Water Research, 2002, 36(13): 3183-3192.
- [40] Chen Y H, Gao X Y. Study on spatial and temporal distribution of *Microcystis* and its responsible to environmental factors such as light and temperature in the northern of West Lake Taihu // Cai Q M, ed. Study on Environment and Ecological in the Lake Taihu (1). Beijing: meteorological press, 1998: 142-148.
- [41] Paerl H W, Tucker J, Bland P T. Carotenoid enhancement and its role in maintaining blue-green algal (*Microcystis aeruginosa*) surface blooms. Limnology and Oceanography, 1983, 28(5): 847-857.

参考文献:

- [1] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998: 191-192.
- [2] 李劲峰, 李蓉蓉, 李仁东. 四湖地区湖泊水域萎缩及其洪涝灾害研究. 长江流域资源与环境, 2000, 9(2): 265-268.
- [3] 严平川. 四湖流域水污染综合治理措施探讨 // 第三届湖北科技论坛优秀论文集. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2005: 166-168.
- [4] 项国荣. 四湖地区湿地农业持续发展研究. 北京: 科学出版社, 1997: 1-40.
- [5] 卢山, 姜加虎. 洪湖湿地资源及其保护对策. 湖泊科学, 2003, 15(3): 281-284.
- [6] 方文珍, 何定富, 王兴媛, 杨其仁. 洪湖越冬水禽的研究. 华中师范大学学报: 自然科学版, 1997, 31(4): 464-467.
- [7] 卫雯雯, 金卫斌. 洪湖及其周边水域若干水质指标的主成分分析. 长江大学学报(自科版): 农学卷, 2007, 4(1): 92-94.
- [8] 杜耘, 陈萍, Kieko S, Hajime A, 何报寅. 洪湖水环境现状及主导因子分析. 长江流域资源与环境, 2005, 14(4): 481-485.
- [10] 王学雷, 刘兴土, 吴宜进. 洪湖水环境特征与湖泊湿地净化能力研究. 武汉大学学报: 理学版, 2003, 49(2): 217-220.
- [11] 胡学玉, 陈德林, 艾天成. 1990—2003 年洪湖水体环境质量演变分析. 湿地科学, 2006, 4(2): 115-120.
- [12] 桂峰, 于革. 江汉平原洪湖流域营养物质输移演变数值模拟. 科学通报, 2008, 53(14): 1709-1718.
- [13] 尹发能. 洪湖自然环境演变研究. 人民长江, 2008, 39(5): 19-22.
- [14] 覃明, 陆剑. 洪湖湿地生态系统面临的问题与治理对策. 中国水利, 2005, (7): 64-66.
- [15] 李昌峰, 高俊峰, 张鸿辉. 近 50 年来人类活动对四湖地区河湖环境演变的影响. 地域研究与开发, 2004, 23(5): 120-124.
- [16] 卢山, 李世杰, 王学雷. 洪湖的环境变迁与生态保护. 湿地科学, 2004, 2(3): 234-237.
- [17] 陈世俭. 洪湖的环境变迁及其生态对策. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2001, 35(1): 107-110.
- [18] 黄应生, 陈世俭, 吴后建, 朱明勇. 洪湖演变的驱动力及其生态保护对策分析. 长江流域资源与环境, 2007, 16(4): 504-508.
- [19] 马燕, 郑祥民, 远藤邦彦, 佐藤孝子. 洪湖水体氮、磷营养元素变化规律及富营养化进程研究. 广州环境科学, 2005, 20(2): 5-7, 15-15.
- [23] 邓建明, 蔡永久, 陈宇炜, 张路. 洪湖浮游植物群落结构及其与环境因子的关系. 湖泊科学, 2010, 22(1): 70-78.
- [24] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范(第二版). 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 286-300.
- [25] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态. 北京: 科学出版社, 2006.
- [26] 《水生生物监测手册》编委会. 水生生物监测手册. 南京: 东南大学出版社, 1993.
- [27] 中华人民共和国水利部. SL 395—2007 地表水资源质量评价技术规程. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [31] 王振红, 桂和荣, 罗专溪. 浅水塌陷塘新型湿地藻类群落季节特征及其对生境的响应. 水土保持学报, 2007, 21(4): 197-200.
- [33] 孔繁翔, 高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考. 生态学报, 2005, 25(3): 589-595.
- [35] 刘永梅, 刘永定, 李敦海, 沈银武. 氮磷对水华束丝藻生长及生理特性的影响. 水生生物学报, 2007, 31(6): 774-779.
- [40] 陈宇炜, 高锡云. 西太湖北部微囊藻时空分布及其与光温等环境因子关系的研究 // 蔡启铭. 太湖环境生态研究(一). 北京: 气象出版社, 1998: 142-148.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in different landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 3 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元