

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **2011**

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 31 卷 第 11 期 2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啶虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对蓼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对蓼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”

贾晓会^{1,2}, 施定基^{2,3,*}, 史绵红⁴, 李仁辉⁵, 宋立荣⁵, 方昊²,
虞功亮⁵, 李轩², 杜桂森¹

(1. 首都师范大学生命科学学院, 北京 100048; 2. 天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457;

3. 中国科学院植物研究所, 北京 100093; 4. 安徽省环境监测中心, 合肥 230061;

5. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要:为探索蓝藻水华的形成原因,从2007年以来对巢湖西区浮游藻类种类、优势种季节变化、初级生产力、水质参数及优势种的光合生理生态学特性作了观测。关于蓝藻水华形成过程中迅猛发展的原因,近80a已提出了10种假说,但对解释巢湖形成的蓝藻水华,尚显不足。基于对蓝藻水华的了解,提出了如下“优势种光合假说”:(1)蓝藻水华包含各种藻类,蓝藻水华发生不仅与藻细胞浓度有关,还与水体初级生产力直接有关。巢湖中这两者在夏季最大,在冬季最小。但无定量关系。(2)水华藻类中生长最快、细胞密度最大的是优势种,含有多个优势种时可能随季节更替。巢湖几乎整年发生蓝藻水华,已检测出4种优势种都是蓝藻,从早春起先是水华鱼腥藻,以后有绿色微囊藻、惠氏微囊藻和铜绿微囊藻。(3)各种环境因子都影响优势种生长,其中少数主导因子影响较大。在巢湖富营养条件下,光强、温度和pH值是主导因子。(4)主导因子对优势种光合活性的影响,可决定其能否处于优势。巢湖的温度和pH值变化可能促进了惠氏微囊藻取代绿色微囊藻,铜绿微囊藻取代惠氏微囊藻,而光强变化可能调节冬季时水华鱼腥藻取代了绿色微囊藻,春季时正好是相反的取代。

关键词:蓝藻水华; 优势种; 光合生理生态学; 优势种光合假说; 巢湖

Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis

JIA Xiaohui^{1,2}, SHI Dingji^{2,3,*}, SHI Mianhong⁴, LI Renhui⁵, SONG Lirong⁵, FANG Hao², YU Gongliang⁵, LI Xuan², DU Guisen¹

1 College of Life Sciences, Capital Normal University, Beijing 100048, China

2 College of Marine Sources & Engineering, Tianjin University of Sciences & Technology, Tianjin 300457, China

3 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

4 Anhui Center of Environment Detection, Hefei 230061, China

5 Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China

Abstract: Elucidation of the causes of cyanobacterial harmful algal blooms (CHABs) may be a precondition for their control. We have investigated Lake Chaohu since 2007; identifying phytoplankton species, observing seasonal variation in dominant species, measuring primary productivity, detecting changes in limnological characteristics, identifying “leading factors”, and then assaying the ecophysiology of photosynthesis in the dominant cyanobacteria. We also analyzed the historical events relating to CHABs in this lake. Our studies showed that phytoplankton diversity varied seasonally, and dominant cyanobacteria represented more than 74% of the total phytoplankton cells. Dominant species in 2008 to 2009 included *Microcystis viridis* (in April, May, June, October, November and December); *M. wesenbergii* (in July and August); *M. aeruginosa* (in September); and *Anabaena flos-aquae* (in January, February and March). Blooms were recorded over 100 years ago in this lake, and no appropriate explanations have been advanced for their causes. Since the

基金项目:国家环保部全国重点湖泊水库生态安全调查及评估专项、巢湖生态安全调查与评估项目(巢湖-04)资助

收稿日期:2010-12-16; **修订日期:**2011-04-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cyano.shi@yahoo.com.cn

1930s, researchers have presented the following ten hypotheses on bloom formation: (A) the TN/TP hypothesis; (B) the inorganic nitrogen hypothesis; (C) the buoyancy hypothesis; (D) the storage strategy hypothesis; (E) the low light hypothesis; (F) the high pH/low CO₂ hypothesis; (G) the elevated water temperature hypothesis; (H) the trace element hypothesis; (I) the zooplankton grazing hypothesis; and (J) the evolutionary adaptation hypothesis. Although these hypotheses explain why cyanobacteria successfully compete over eukaryotic algae in most lakes and reservoirs, they cannot clarify why different dominant cyanobacterial species appear in seasonal succession in Lake Chaohu. A new hypothesis is needed. Based on our understanding, we have constructed “the photosynthesis of dominant species hypothesis”, as follows: (1) Blooms include various species of cyanobacteria and algae. Bloom initiation is related to cell density, and also to primary productivity. We collected and measured phytoplankton monthly in different water depths at six points in the western part of Lake Chaohu. In 2008 to 2009, collected phytoplankton consisted of 85 species (in 5 phyla). Both cell density and primary productivity were highest during the summer, and lowest during winter. (2) During blooms, dominant species grew more quickly and had the greatest biomass of the phytoplankton. There were four dominant species and these constituted over 74% of the total phytoplankton cells in different seasons. (3) The growth of dominant species was affected by environmental factors; we termed some “leading factors” as these had the greatest effects. When Lake Chaohu became eutrophic, light, temperature and pH were the leading factors. (4) Although leading factors affect the growth of dominant species, photosynthesis is the most essential variable. The study of the ecophysiology of photosynthesis may reveal the relationship between leading factors and dominant cyanobacteria, and also clarify why a few species of cyanobacteria are able to be dominant during particular seasons. When temperature and pH increased between spring and summer, the photosynthetic rate of *M. wesenbergii* was greater than that of *M. viridis*. When temperature and pH decreased between summer and autumn, this was favorable to *M. aeruginosa* photosynthesis. Similar changes occurred between autumn and winter, and *M. viridis* replaced *M. aeruginosa*. Although *A. flos-aquae* was able to grow at higher temperatures and pH than *M. viridis*, this filamentous cyanobacterium was not able to adapt to higher light intensity. Light intensity appears to be crucial for these cyanobacteria. Our hypothesis is formulated from common understanding within the natural sciences; questions arising at a higher level of integration (such as ecology or agronomy), often require mechanistic answering at a lower integrative level (such as the ecophysiology of photosynthesis).

Key Words: cyanobacterial blooms; dominant species; ecophysiology of photosynthesis; the photosynthesis of dominant species hypothesis; Lake Chaohu

防治蓝藻水华的依据是对其形成原因的理解。蓝藻水华是指这样一种不受欢迎的生态现象:聚生或丝状体蓝藻在淡水体系一定条件下,产生过多的生物量,有时凝聚成片状、块状漂浮在水面上;这些水华蓝藻中许多种类产生藻毒素,威胁人类健康、破坏生态系统可持续发展^[1]。蓝藻水华形成的过程可以分为起始和发展两个时期。孔繁翔和高光提出的四阶段理论假说对于水华蓝藻冬季休眠和春季复苏作了独到的分析^[2]。主要涉及的是起始时期。虽然他们也提到生物量增加和上浮、积聚这两阶段。它们属于蓝藻水华形成的发展时期。这时期水华蓝藻生物量迅猛增长,造成严重的生态不平衡和环境问题已成为国内外研究者的主要关注点。近 80a 来国外学者提出过 10 个假说:(1)总氮/总磷比假说^[3], (2)无机氮种类假说^[4], (3)细胞浮力假说^[5], (4)贮存策略假说^[6], (5)低光照假说^[7], (6)高 pH 值/低 CO₂假说^[8], (7)高水温假说^[9], (8)微量元素假说^[10], (9)动物食藻假说^[11], (10)进化适应假说^[1]。这些假说的提出者用化学、物理学、生态学、生理学、生物化学和分子生物学等多种技术,分析了物理因素、化学因素和生物因素的影响。它们主要探讨为什么水华蓝藻在淡水藻类群体中会异军突起生长占优势^[12];近 10a 左右越来越多地注意水华蓝藻中优势种的季节变化。这 10 个假说中 6 个偏重于非生物因素,抓住了一些重要的环境因子;另外 4 个假说更多地关注蓝藻本身的特性。这些研究蓝藻水华的发展趋势启示人们^[1]:阐明蓝藻水华发生原因,需要鉴定优势种,需要分析

环境中的主导因素,需要探索优势种蓝藻与环境中的主导因素的关系。

位于安徽省的巢湖是我国第五大淡水湖。100 多年前就有发生蓝藻水华的记录^[13]。这可能是我国最早的。这为探索蓝藻水华发生原因提供了较典型的水体。巢湖流域的农民把蓝藻水华称为“湖靛”,按它们出现的季节不同分为(1)春靛(早春水华),(2)霉靛(晚春水华),(3)伏靛(夏季水华),(4)秋靛(秋季水华)^[14]。这表明巢湖的蓝藻水华在一年中持续时间较长。这些湖靛可用作稻、麦、棉等农作物的肥料。但也使动物和老百姓中毒^[15]。虽然这些湖靛的颜色,肥效不同,但至今尚不清楚组成这些湖靛的藻类。更不清楚这些湖靛产生的原因。从 2007 年起调查和评估了巢湖蓝藻水华。为此在近 3a 对巢湖西区作了现场观察和取样,鉴定优势种后,分离、纯化并分析了它们的光合生理生态特性。在此基础上本文提出了“优势种光合假说”,着重探索不同水华蓝藻之间是如何竞争,为何不同季节有不同的优势种,从而形成了不同水体在不同季节中有特色的蓝藻水华。

1 材料与方法

1.1 监测断面的设置

由全球定位系统 GPS 导航,在巢湖西区设 6 个采样点(图 1):1 号(N 31°39′15.93″,E 117°18′3.43″)、2 号(N 31°42′15.25″,E 117°20′18.98″)、3 号(N 31°42′28.08″,E 117°21′44.96″)、4 号(N 31°41′29.09″,E 117°23′50.68″)、5 号(N 31°39′33.35″,E 117°21′40.85″)和 6 号(N 31°35′39.03″,E 117°20′11.62″)。于 2008 年 4 月到 2009 年 3 月每月进行采样分析。

1.2 实验方法

1.2.1 初级生产力测定^[16-17]

采用黑白瓶溶氧法测定。初级生产力曝光时段都是 10:00—14:00。将巢湖西区 1 号、3 号、4 号、5 号和 6 号水样装瓶后在 2 号点,进行曝光。黑白瓶体积为 250 mL,挂瓶深度分别为 0,0.5 m,1 m,1.5 m 和 2 m 每层 1 个黑瓶、2 个白瓶,采样时固定初始溶氧。用碘量法算出黑白瓶中的溶解氧,进而推算出初级生产力。

同时测定水温、透明度、pH 值、总氮(TN)、总磷(TP)。透明度用赛氏圆盘测定,其他营养盐指标的测定参见“湖泊生态调查观测与分析”^[18]。

1.2.2 浮游藻类样品采集及分析^[16,19]

浮游藻类定性样品采用 25#浮游生物网(网孔直径为 64 μm)在水面表层呈“∞”字形缓慢捞取浮游植物样品,并将网内浓缩液置于 100 mL 塑料水样瓶中,现场用鲁哥氏液固定,带回实验室镜检分类。藻种鉴定主要依据《中国淡水藻类——系统、分类及生态》^[20]以及最近关于微囊藻分类的研究进展^[21]。

浮游藻类定量样品用有机玻璃采水器采集不同水层的水样混合,取 1 L 置于广口塑料瓶(1 L)中,现场用 15 mL 鲁哥氏液固定。样品带回实验室后静置沉降 24 h 以上,沉淀浓缩至 30 mL。采用显微镜视野计数法计数样品中不同藻类的细胞数。

1.2.3 优势种的确定^[22-23]

水华蓝藻的优势种根据每个种的优势度值(Y)来确定: $Y = (ni/N) \times fi$,式中, ni 为 i 种的个体数, N 为所有种类总个体数, fi 为第 i 种出现的频率。 Y 值大于 0.02 的种类为全年调查的优势种。

1.2.4 水华蓝藻优势种的分离培养^[24-25]

在倒置显微镜下,用消毒过的巴斯德吸管将水华蓝藻优势种的单藻落挑出后,接种于 BG-11 或 CT 培养基中,培养在温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光强为 $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的条件下。细胞长起来后,再将纯化的藻细胞扩大培养至三角瓶中,准备测定。

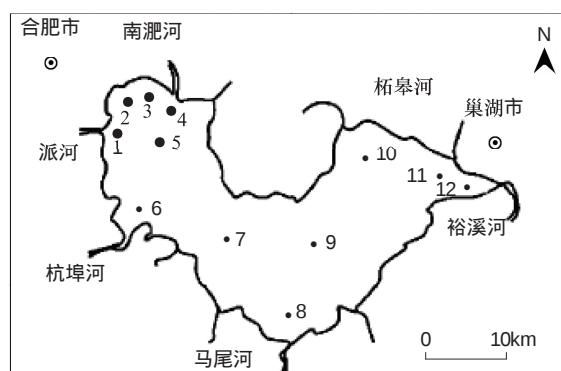


图 1 巢湖西区采样点图

Fig. 1 The map of sampling in Western Area of Lake Chaohu

1.2.5 光合放氧测定^[26]

水华蓝藻优势种的光合放氧是用 Clark 型氧电极 (Hansatech Ltd., U. K.) 测定。电极的反应室为 2 mL 的密闭系统,其温度由 DC21015 低温恒温槽(宁波海曙天恒仪器厂)通过循环水控制。光源为红色发光二极管,光强由电极自带的专用软件控制,通过 ORT1 型光量子计标定。

1.2.6 叶绿素 a 浓度测定^[27]

为了计算优势种光合放氧活性,需测定蓝藻的叶绿素 a。离心收集藻细胞,加入 3 mL 甲醇,混匀后 4 ℃ 浸泡 6—14h,4000 r/min,离心 10 min,取上清,测定 A_{665} 值。根据公式: $\text{Chla} (\mu\text{g}/\text{mL}) = 13.9 \times A_{665}$, 计算样品中叶绿素 a 的含量。

1.3 统计分析

本研究数据分析和图表绘制使用 Excel 和 Origin Version 7.5 (OriginLab 公司, 美国) 和 SPSS 11.5 软件中进行。

2 结果

2.1 巢湖西区初级生产力季节变化

浮游藻类是水生态系统中最重要初级生产者,初级生产力即是初级生产者的光合产物,是生物量增加的基础。在生态调查中,测定水体初级生产力通常为评估在发展水产养殖的潜力,同时也作为水体富营养化的主要指标之一^[28]。淡水水体的富营养化促进蓝藻水华发生。蓝藻水华的泛滥既是初级生产力组分改变的结果,又进一步改变了初级生产力。

巢湖西区浮游藻类初级生产力的季节变化如图 2。从 4 月到 5 月,巢湖西区 6 个取样点的初级生产力只有少量提高,而到 6 月初级生产力每个取样点都成倍增加达到最高。7 月初级生产力明显下降,8 月又有提高,到 9 月份达到小高峰,后一直降低,到冬季(12 月、翌年 1 月份)初级生产力几乎为 0。6 月通常是巢湖历年蓝藻水华暴发的主要季节,初级生产力测定结果与此一致。

2.2 巢湖西区浮游藻类群落组成及细胞密度的月变化

2.2.1 群落组成

表 1 显示巢湖西区在 2008—2009 年的浮游藻类包括 5 个门、48 属、85 种。其中,绿藻占总种数的 52.9%;其次是蓝藻门,占 30.6%;硅藻的种类位居第三,占 11.7%;三者共占 95.2%。

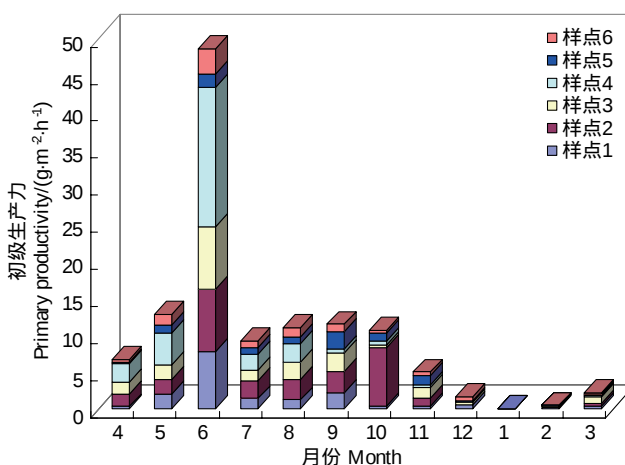


图 2 2008 年 4 月—2009 年 3 月巢湖西区浮游藻类的初级生产力月变化

Fig.2 Monthly changes of primary productivity of phytoplankton in Western Area of Lake Chaohu from April of 2008 to March of 2009

表 1 巢湖西区浮游藻类种数和密度的季节变化

Table 1 Seasonal variations of species number and density of phytoplankton in Western Area of Lake Chaohu

门类 Phylum	种数 No. of species	种数比例/% Percentage	藻细胞密度 Cell density ($\times 10^4$ 个/L) 季节变化 Seasonal variations				年平均密度 Average density ($\times 10^4$ 个/L)
			春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	
蓝藻 Cyanophyta	26	30.6	4415.8	17381.8	6115.35	1953.86	2488.90 (95.38%)
绿藻 Chlorophyta	45	52.94	435.5	127.3	68.51	199.47	69.23 (2.65%)
硅藻 Bacillariophyta	10	11.76	189.42	23	49	150.19	34.28 (1.31%)
隐藻 Cryptophyta	3	3.52	20.43	73.63	91.55	15.6	18.29 (0.70%)
裸藻 Euglenophyta	1	1.18	1.29	0.64	1.29	0	0.27 (0.01%)
总计 Total	85	100	5062.44	17606.07	6325.7	2319.12	2609.45

表 1 还指出浮游藻类细胞年平均密度有季节变化:蓝藻门在夏、秋季细胞密度较高;绿藻门和硅藻门以冬、春季细胞密度最多;隐藻门同蓝藻门相似;裸藻门四季变化不大。但是,按全年平均细胞密度蓝藻占绝对优势,为 95.38%。

2.2.2 细胞密度

图 3 显示,相对于绿藻、硅藻、隐藻和裸藻,蓝藻在春、夏、秋、冬四季都占有优势,其细胞密度在 6 月达到高峰值(图 3A),此时蓝藻占浮游藻类总细胞密度的 98.69%。绿藻和硅藻在 1—3 月温度稍低时细胞较多,随温度升高到 8 月份最少,秋季时又有慢慢回升(图 3B)。不同的是绿藻细胞密度在 4 月达到最大 189×10^4 个/L,而硅藻是在 3 月达最高 103.42×10^4 个/L。隐藻周年变化是 1—6 月细胞数量较少,而 7—11 月细胞数量有所增加(图 3B),以后又减少。

这些结果与 1980—1981 年^[29]、1984 年^[30]和 1999 年^[31]的报导相似,只是浮游藻种类越来越少,蓝藻数量越来越多,这表明巢湖已属蓝藻型的富营养性的湖泊^[30]。

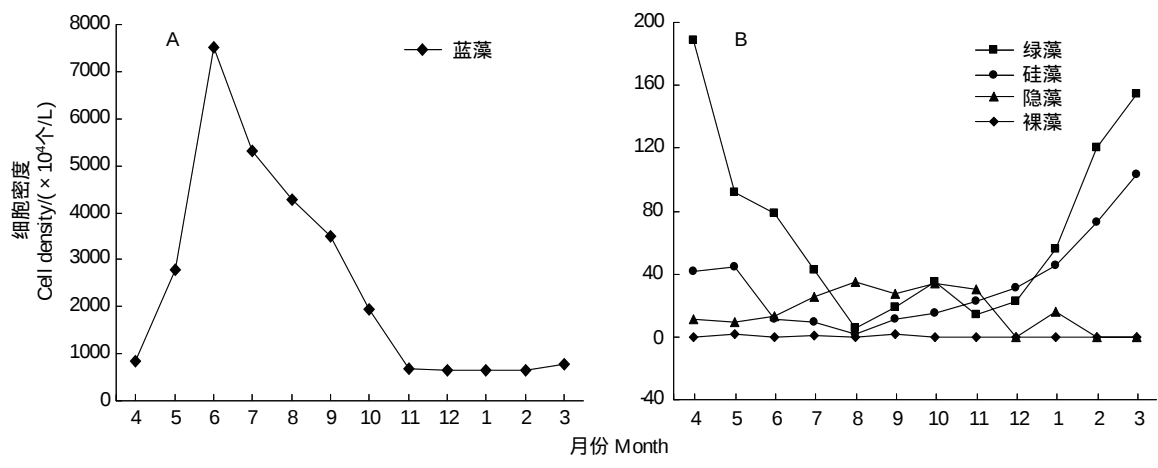


图 3 巢湖西区各浮游藻类类群的密度的月变化

Fig. 3 Monthly changes of cell density in the major communities of the phytoplankton in Western Aera of Lake Chaohu

A. Cyanophyta; B. Chlorophyta, Bacillariophyta, Cryptophyta and Euglenophyta

2.3 巢湖西区水华蓝藻优势种的季节变化

2.3.1 水华蓝藻优势种的鉴定

巢湖西区水体中蓝藻优势种出现的频率及相对密度见表 2。经统计学分析巢湖西区蓝藻门的优势种为绿色微囊藻、惠氏微囊藻、铜绿微囊藻和水华鱼腥藻。绿色微囊藻出现频率较高,细胞密度最高 L;惠氏微囊藻和铜绿微囊藻出现频率相对较低,但其细胞密度较高;水华鱼腥藻出现率最高达 86.09%,但细胞密度最低。此外,虽然有些蓝藻的优势度 <0.02 ,细胞密度在个别月份较多,但其出现频率很低,如水华束丝藻等。这些优势种藻细胞在不同季节占浮游藻类总细胞数的 74.4%—95.6%。

表 2 巢湖西区蓝藻门优势种出现频率、相对密度及优势度

Table 2 Occurrence frequency, relative density and dominance of the dominant species cyanobacteria in Western Aera of Lake Chaohu				
种类 Species	出现频率/% Occurrence frequency	平均密度 /($\times 10^4$ 个/L) Average density	相对密度/% Relative density	优势度 Y 值 Dominancy
绿色微囊藻 <i>Microcystis viridis</i>	61	815.192	31.2	0.190
惠氏微囊藻 <i>Microcystis wesenbergii</i>	37.08	700.967	26.69	0.099
铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	23.96	567.935	21.7	0.052
水华鱼腥藻 <i>Anabanea flos-aquae</i>	86.09	164.718	6.3	0.054

2.3.2 巢湖西区水华蓝藻优势种的季节变化

4 种优势种的定量分析(图 4)表明,绿色微囊藻在 4、5、6、10、11、12 月份是优势藻种;在 7、8 月份惠氏微囊藻占优势;而在 9 月份铜绿微囊藻占优势。1、2、3 月份水华鱼腥藻数量稍多于绿色微囊藻,这证明巢湖整年都有蓝藻水华存在,只是每个季节的优势种不同。

2.4 巢湖西区水体水质参数及其与优势种的关系

2.4.1 水体水质参数的变化

巢湖西区 2008 年 4 月到 2009 年 3 月各项理化指标实测平均值呈现明显的季节变化(表 3)。关于湖泊富营养化程度的评价指标,采用屠清瑛等在 1990 年提出的巢湖水质营养状态的评价标准^[32]。根据 TN、TP、SD 平均值和浮游藻类优势种的监测结果:TN 为 2.53 mg/L>2 mg/L,TP 平均为 0.211 mg/L<0.11 mg/L,SD 为 0.25 m<0.73 m,浮游藻类优势种为蓝藻门;据这些数据评判巢湖西区为重富营养化。

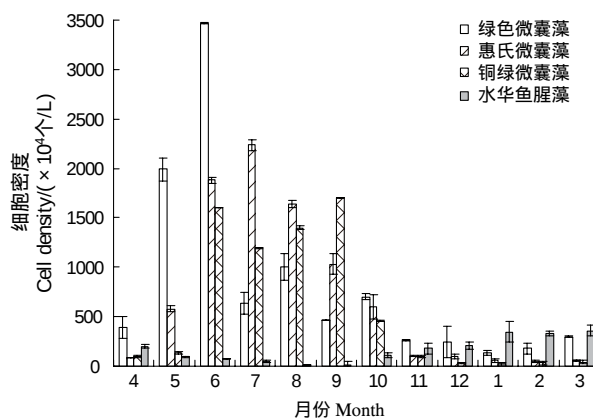


图 4 2008 年 4 月—2009 年 3 月巢湖西区水华蓝藻优势种的月变化

Fig. 4 Monthly variations in dominant species of blooms-forming cyanobacteria in Western Area of Lake Chaohu

表 3 2008 年 4 月—2009 年 3 月巢湖西区主要水质参数

Table 3 Changes of limnological parameters in Western Area of Lake Chaohu from April of 2008 to March of 2009

时间 Time	pH 值	温度 Temperature /℃	透明度 SD / cm	总氮 TN / (mg/L)	总磷 TP / (mg/L)
2008-04	7.48	17.91	31.67	3.8	0.243
2008-05	7.55	21.17	22.83	2.89	0.15
2008-06	7.73	24.83	11.83	1.35	0.27
2008-07	8.53	30.42	24.5	2.67	0.28
2008-08	8.63	27.50	26.83	2.48	0.36
2008-09	8.46	27.18	22.17	1.13	0.27
2008-10	7.45	21.42	30.33	1.38	0.22
2008-11	7.57	13.08	25.17	2.67	0.2
2008-12	7.48	8.01	22.00	3.67	0.189
2009-01	7.13	4.73	28.33	2.25	0.11
2009-02	7.35	7.53	23.78	3.18	0.158
2009-03	6.92	12.14	30.33	2.89	0.083

2.4.2 水体水质参数和水华蓝藻优势种的相关性

用 SPSS11.5 软件分析绿色微囊藻、惠氏微囊藻、铜绿微囊藻和水华鱼腥藻的细胞密度与 pH 值、温度、TN 和 TP 和透明度之间的相关性。表 4 指出,绿色微囊藻细胞密度与 pH 值显著地正相关;惠氏微囊藻细胞密度与温度和 TP 之间均存在显著和极显著的正相关;铜绿微囊藻细胞密度与温度和 TP 之间均存在显著和极显著的正相关,而与 TN 之间存在极显著的负相关,水华鱼腥藻细胞密度与 pH 值间存在极显著正相关,而与温度和 TP 之间存在极显著的负相关。

这些相关性说明温度和 pH 值在水华蓝藻优势种的演替中都起正相关作用。上述分析中没有提到光因子。这是由于光因子在现场不易测准,经常受到各种气象条件变化影响。实际上光应是比温度、pH 值更重要的因素。

表4 巢湖西区水质参数及绿色微囊藻、惠氏微囊藻、铜绿微囊藻和水华鱼腥藻的相关性

Table 4 Correlations between limnological parameters and cell densities of *Microcystis viridis*, *Microcystis wesenbergii*, *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena flos-aquae* in Western Area of Lake Chaohu

水质参数 Limnological parameters	绿色微囊藻 <i>Microcystis viridis</i>	惠氏微囊藻 <i>Microcystis wesenbergii</i>	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	水华鱼腥 <i>Anabaena flos-aquae</i>
温度 Temperature/℃	0.463	0.8179 **	0.783 **	-0.889 **
pH 值	0.804 **	0.3924	0.498	0.759 **
透明度 SD /cm	-0.736 *	-0.346	-0.538	0.176
总氮 TN/ (mg/L)	-0.373	-0.3607	-0.7168 **	0.586
总磷 TP/ (mg/L)	0.389	0.673 *	0.765 **	-0.761 **

* 表示显著性水平在 0.05 下的相关系数; ** 表示显著性水平在 0.01 下的相关系数

2.5 巢湖水华蓝藻优势种的光合对光强、温度和 pH 的响应

蓝藻水华的生物量主要来自优势种。优势种的发展和更替既取决于本身的特性又与环境有关^[33-34]。蓝藻是一类光自养生物,其生长取决于光合合成的有机物超过呼吸消耗(净光合)。

图 5 表明 4 种优势水华蓝藻的净光合对不同光强、温度和 pH 值的响应。3 种微囊藻的最适温度顺序为:绿色微囊藻 (23 ℃ 左右) < 铜绿微囊藻 (27 ℃ 左右) < 惠氏微囊藻 (30 ℃ 左右)。这顺序同自然界中的季节变化一致,然而,在冬天占优势的水华鱼腥藻,其最适温度为 25 ℃,高于春天占优势的绿色微囊藻。显示 4 种优势蓝藻的光合对不同 pH 值的响应。其中 3 种微囊藻的最适 pH 值的顺序是绿色微囊藻 (pH 值 7.5) < 惠氏微囊藻 (pH 值 8.5) < 铜绿微囊藻 (pH 值 9.0)。巢湖水体的 pH 值从春天到秋天其变化趋势是逐渐升高的,而到冬天时,pH 值有所下降。然而,水华鱼腥藻又是个例外。这些矛盾可能由光合光强曲线得到解释。数据表明水华鱼腥藻的光饱和点 ($34.59 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 要低于铜绿微囊藻 ($82.19 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、绿色微囊藻 *M. viridis* ($104.69 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 和惠氏微囊藻 ($135.71 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 的光饱和点。并且,水华鱼腥藻开始进入光抑制的光强 ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 也低于铜绿微囊藻 ($200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、绿色微囊藻 ($300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 和惠氏微囊藻 ($450 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 的光强。尚未见到有关水华蓝藻光合对不同光强、温度和 pH 值响应的研究。Pearl 和他的同事们注意到,固氮蓝藻占优势主要取决于利用氮磷的能力^[1]。水华鱼腥藻属于固氮蓝藻,然而在 2007 至 2009 年工作期间,没有发现,生物可利用氮磷的变化同水华鱼腥藻占优势有密切的关系,因此光可能起着更重要的作用(图 5)。

3 讨论

探索蓝藻水华形成过程中迅猛发展的原因的关键是,回答少数几个优势种蓝藻为什么长得比其他藻种快? 80a 来对于这个问题的回答分成了三步走:第一步探索蓝藻为什么长得比真核藻快;第二步探索固氮蓝藻和非固氮蓝藻之间的变换。序言中列出的 10 个假说,已为回答这两个问题提供了大量的论证和分析。然而尚难以回答第三步问题,即蓝藻水华持续期中,为什么占优势非固氮蓝藻(如微囊藻)之间有季节的变化? 要阐明这问题既要了解不同季节中水体的环境因子变化,又要了解这些优势种的生物学特性,尤其是它们对主要环境因子的响应。本研究试图在第三步回答中提供一些信息。为此,以对巢湖 3a 来的观测为依据,提出“优势种光合假说”,其具体内容如下:

(1) 蓝藻水华包含许多藻种,每个藻种都是水体的初级生产者。蓝藻水华的发生不仅与藻细胞密度有关,还与水体的初级生产力直接有关。巢湖 2008—2009 年存在 5 门 85 种浮游微藻。初级生产力和藻细胞密度都是夏季最高,冬季最低;但这两者之间增加或减少无定量关系。

(2) 水体藻类中生长最快、细胞密度最大的是少数优势种。含有几个优势种的水体中,可能随环境因子发生季节更替,使蓝藻水华持续存在。巢湖在 2008—2009 年鉴定到 4 个优势种,其生物量占浮游藻类细胞的 74.4%—95.6%。在冬季和早春水面上漂浮的是水华鱼腥藻,以后占优势的有绿色微囊藻、惠氏微囊藻和铜绿微囊藻。

(3) 许多环境因子影响这些优势种的生长,其中少数几个主导因子影响更大。本研究在 2008—2009 年

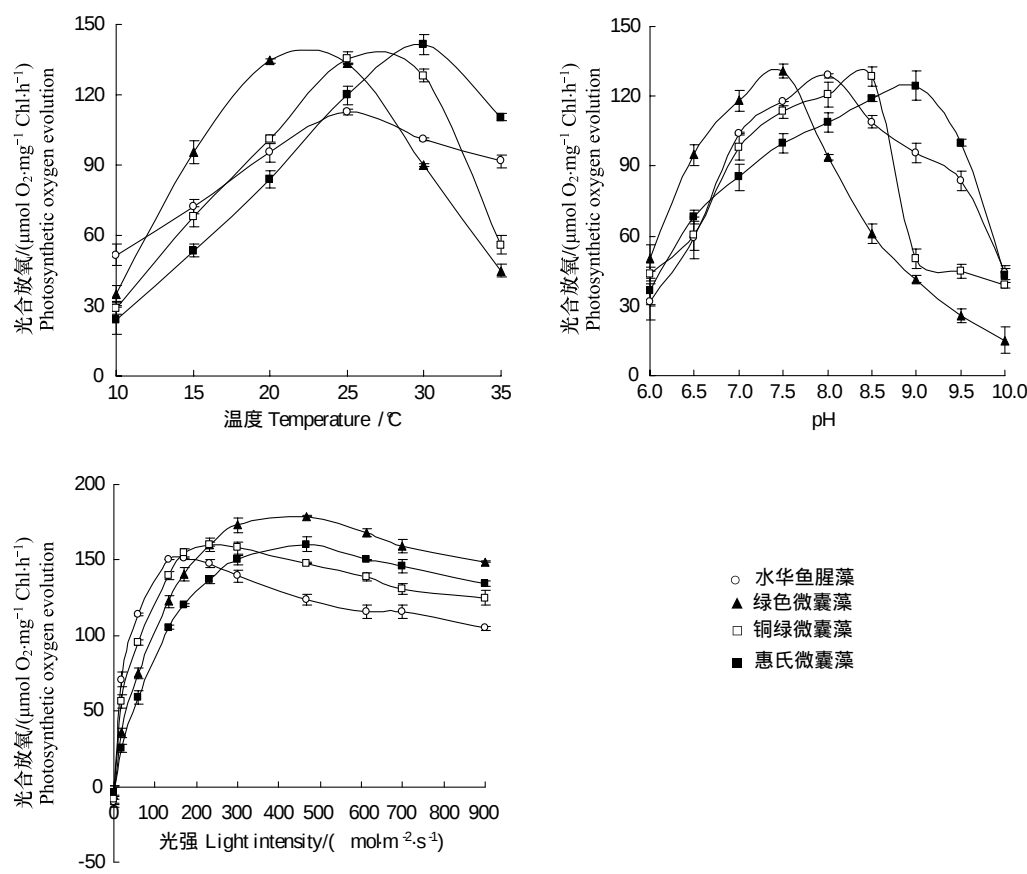


图5 巢湖水华蓝藻优势种的净光合对温度、pH值和光强的响应

Fig. 5 The responses of net photosynthesis in the dominant species of bloom-forming cyanobacteria to environmental factors temperature, pH value, light intensity

从巢湖测定的环境因子中分析到,在营养条件变化较小时,光照、温度和 pH 值是上述 4 种藻占优势的主导因子。

(4) 主导环境因子可影响优势种藻细胞多种生理过程,造成生长的快慢;由于藻类是光合自养生物,其中对光合作用的影响最重要。本研究对关于巢湖中分离纯化的 4 种优势种对不同光强、温度和 pH 值响应的光合生理生态学研究,可解释为什么这 4 种蓝藻在不同季节占优势,希望有助于巢湖蓝藻水华发生原因的理解。

这个假说是基于 100 多年来已有的研究,尤其是借鉴了 10 种假说后提出的。首先,随研究发展趋势,不仅研究浮游藻类总体,更要鉴定优势种。其次,在环境因子分析方面不是所有因子都考虑,抓不出头绪。而通过测定和统计,找出主导因子。第三,在生物因子分析方面,承认藻类各种结构和生理过程都影响生长,但与其生长关系最密切的是光合,需要着重观测光合对主导环境因子的响应。

蓝藻水华是一种复杂的生态现象,这个生态系统是大量生物和非生物因素在高水平整合^[1]。已有研究蓝藻水华的进展证明,直接、简单地处理这个复杂系统,难有成效。在自然科学领域中为了解析一个复杂的高水平整合系统中的过程,通常是抓出一些重要的因子,简化这个系统成为低水平的整合。例如,为了解析农作物的光合作用,从群体-个体-细胞-叶绿体-类囊体膜到 2 个光系统组分,抓出了色素、蛋白等关键因子,测试快速变化,理解了光合过程中光能转化机制,理解了叶绿素荧光如何反映了光化学转化效率^[28]。这为用卫星遥感扫描作物群体生长态势,或者用叶绿素荧光仪测定农作物对环境胁迫的响应提供了理论和技术基础。

本文把巢湖蓝藻水华的高水平整合系统,简化为优势种对单一环境因子响应的光合生理生态研究系统,希望探索水华蓝藻与环境的关系,寻找水华蓝藻快速生长的条件,从而为理解蓝藻水华暴发原因提供依据。曾经用光合生理生态研究了水稻田绿肥植物满江红的生长规律^[35-36];还弄清了荒漠地区的陆生蓝藻发菜

最适生长条件^[37]。本研究阐明了优势种蓝藻的光合特性在形成水华中起决定性作用。这启示人们在探索防治蓝藻水华时,可直接从抑制优势种光合能力入手。然而抑制光合作用的化合物大多对人和其他生物有毒,如果选用不产毒、其生长最适条件相似于水华蓝藻优势种的藻类进行共培养,可能值得探索。经过几年努力已经找到了一种真核藻分泌的化感物质可有效抑制铜绿微囊藻的光合和生长,可能为防治蓝藻水华提供一条新途径^[38]。

致谢:中国科学院武汉植物园胡鸿钧研究员帮助鉴定藻种;安徽省环境科学研究院李堃博士和赵纯真硕士帮助现场调查和取样,在此一并致谢。

References:

- [1] Hudnell H K, Dortch Q. A synopsis of research needs identified at the interagency, international symposium on cyanobacterial harmful algal blooms//Hudnell H K, eds. *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs*. New York: Springer, 2008, 17-43.
- [2] Kong F X, Gao G. Hypothesis on cyanobacteria bloom-forming mechanism in large shallow eutrophic lakes. *Acta Ecologica Sinica*, 2005(3): 589-595.
- [3] Pearsall W H. Phytoplankton in the English Lakes II. The composition of the phytoplankton in relation to dissolved substance. *Journal of Ecology*, 1932, 20(2): 241-262.
- [4] Blomqvist P, Pettersson A, Hyenstrand P. Ammonium-nitrogen: a key regulatory factor causing dominance of non-nitrogen-fixing cyanobacteria in aquatic systems. *Archiv für Hydrobiologie*, 1994, 132(2): 141-164.
- [5] 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 Freshwater Research*, 1987, 21(3): 379-390.
- [6] Pettersson K, Herlitz E, Istvánovics V. The role of *Gloeotrichia echinulata* in the transfer of phosphorus from sediments to water in Lake Erken. *Hydrobiologia*, 1993, 253(1/3): 123-129.
- [7] Mur L R, Gons H J, van Liere L. Competition of the green alga *Scenedesmus* and the blue-green alga *Oscillatoria*. *Mitt International Verein Limnology*, 1978, 21: 473-479.
- [8] King D L. The role of carbon in eutrophication. *Journal Water Pollution Control Federation*, 1970, 42(12): 447-455.
- [9] Roberts R D, Zohary T. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. *New Zealand Journal Marine and Freshwater Research*, 1987, 21(3): 391-399.
- [10] Reuter J G, Petersen R R. Micronutrient effects on cyanobacterial growth and physiology. *New Zealand Journal Marine and Freshwater Research*, 1987, 21(3): 435-445.
- [11] Haney J F. Field studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal Marine and Freshwater Research*, 1987, 21(3): 467-475.
- [12] Hyenstrand P, Blomqvist P, Pettersson A. Factors determining cyanobacterial success in aquatic systems—a literature review. *Archive Für Hydrobiologie: Special Issues Advances in Limnology*, 1998, 51: 41-62.
- [13] Xie P. Reading About the Histories of Cyanobacteria — Eutrophication and Geological Evolution in Lake Chaohu. Beijing: Science Press, 2009: 1-206.
- [14] Lu A W. Report of investigation on hadians (Cyanobacterial blooms) in the Lake Chaohu. *Journal of Anhui Agricultural University*, 1959, (2): 91-99.
- [15] Zhai W C, Su C W. Studies on animal toxicity of hadians and their extracts from the Lakes Chaohu and Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 1996, 8(2): 156-160.
- [16] Jin X C, Tu Q Y. Investigation Standard of Lake Eutrophication. 2nd ed. Beijing: Environmental Science Press, 1990: 1-400.
- [17] Zhang Y L, Qin B Q, Chen W M, Gao G, Chen Y W. Chlorophyll a content and primary productivity of phytoplankton in Meiliang Bay of Taihu Lake. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 2127-2131.
- [18] Huang X F. Observation and Analysis of Lake Ecological Investigation. Beijing: China Standards Press. 1999.
- [19] Jia X H, Du G S, Liu X D. Analysis of plankton community and nutritive state on Miyun Reservoir, Beijing. *Chenia*, 2007, 9: 293-302.
- [20] Hu H J, Wei Y X. Algae identification//Hu H J, Wei Y X, eds. *The Freshwater Algae of China-Systematics, Taxonomy and Ecology*. Beijing: Science Press, 2006: 23-915.
- [21] Yu G L, Song L R, Li R H. Taxonomic notes on water bloom forming *Microcystis* species (Cyanophyta) from China—an example from samples of the Dianchi Lake. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2007, 45(5): 727-741.
- [22] Xu Z L, Wang Y L, Chen Y Q, Shen H T. An ecological study on zooplankton in Maximum turbid zone of estuarine area of Changjiang (Yangtze) River. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(1): 39-48.
- [23] Sun C C, Wang Y S, Sun S, Zhang F Q. Analysis dynamics of phytoplankton community characteristics in Daya Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 3948-3958.

- [24] Shi D J. Cultivation of microalgae//Sun J S, Zhu Z C, eds. Experiment Techniques of Plant Cell Engineering, Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 253-263.
- [25] Xu Y, Wu Z X, Yu B S, Peng X, Yu G L, Wei Z H, Wang G X, Li R H. Non-microcystin producing *Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek (Cyanobacteria) representing a main waterbloom-forming species in Chinese waters. Environmental Pollution, 2008, 156(1): 162-167.
- [26] Shi D J. Energy Metabolism and Structure of Immobilized Cyanobacterium *Anabaena azollae*. London: King's College London, 1987.
- [27] Talling J F, Driver D. Some problems in the estimation of chlorophyll a in phytoplankton // Primary Productivity Measurement, Marine and Freshwater. Proceedings of the 10th Pacific Science Congress. New York: Division of Technical Information, U. S. Atomic Energy Commission, 1961: 142-146.
- [28] Falkowski P G, Raven J A. Aquatic Photosynthesis. 2nd ed. Princeton, Oxford: Princeton University Press, 2007: 1-484.
- [29] Ye S M, Lan J Y. Studies on phytoplankton regional community and their variations in the Lake Chaohu // Research Files on Fishery Source Increments in the Lake Chaohu. 1981, 1: 3-12.
- [30] Meng R X, Liu Z Q. An evaluation of water pollution and eutrophication of the Chaohu Lake by means of phytoplankton. Acta Hydrobiologica Sinica, 1988, 12(1): 13-26.
- [31] Zhao Y, Wang Z Q, Yang Z P, et al. Qualitative study of phytoplankton in the Lake Chaohu. Journal of Anhui Preventive Medicine, 2002, 8(1): 3-5.
- [32] Tu Q Y, Gu D X, Yin C Q, Xu Z R, Han J Z. Study on Eutrophication in the Lake Chaohu. Hefei: Chinese University of Science and Technology Press, 1990.
- [33] Scheffer M, Rinaldi S, Gagnani A, Mur L R, van Nes E H. On the dominance of filamentous cyanobacteria in shallow, turbid lakes. Ecology, 1997, 78(1): 272-282.
- [34] Imai H, Chang K H, Kusaba M, Nakano S I. Temperature-dependent dominance of *Microcystis* (Cyanophyceae) species: *M. aeruginosa* and *M. wesenbergii*. Journal of Plankton Research, 2009, 31(2): 171-178.
- [35] Shi D J. Studies on photosynthetic characters of *Azolla*. Acta Phytophysiology Sinica, 1981, 7(2): 113-120.
- [36] Shi D J, Hall D O. The *Azolla-Anabaena* association: Historical perspective symbiosis and energy metabolism. The Botanical Review, 1988, 54(4): 353-386.
- [37] Shi D J, Zhou G F, Fang Z X, Qiu Y Y, Zhong Z P, Cui Z Y. Studies on photosynthesis, respiration and morphology of *Nostoc flagelliforme*. Acta Botanica Sinica, 1992, 34(7): 507-514.
- [38] Jia X H, Shi D J, Kang R J, Li H M, Liu Y, An Z Z, Wang S S, Song D H, Du G S. Allelopathic inhibition by *Scenedesmus obliquus* of photosynthesis and growth of *Microcystis aeruginosa* // Allen J F, Gantt E, Golbeck J, Osmond B, eds. Photosynthesis, Energy from the Sun. The Netherlands: Springer, 2008: 1339-1342.

参考文献:

- [2] 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(3): 589-595.
- [13] 谢平. 翻阅巢湖的历史——蓝藻、富营养化及地质演化. 北京: 科学出版社, 2009: 1-206.
- [14] 陆艾五. 巢湖湖底的调查研究初报. 安徽农业大学学报, 1959, (2): 91-99.
- [15] 翟文川, 苏晨伟. 巢湖、太湖蓝藻湖底及其提取物的动物毒性初步研究. 湖泊科学, 1996, 8(2): 156-160.
- [16] 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: 1-400.
- [17] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 高光, 陈宇炜. 太湖梅梁湾浮游植物叶绿素 a 和初级生产力. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2127-2131.
- [18] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [20] 胡鸿钧, 魏印心. 藻类鉴定//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: 23-915.
- [21] 虞功亮, 宋立荣, 李仁辉. 中国淡水微囊藻属常见种类的分类学讨论——以滇池为例. 植物分类学报, 2007, 45(5): 727-741.
- [22] 徐兆礼, 王云龙, 陈亚翟, 沈焕庭. 长江口最大浑浊带区浮游动物的生态研究. 中国水产科学, 1995, 2(1): 39-48.
- [23] 孙翠慈, 王友绍, 孙松, 张凤琴. 大亚湾浮游植物群落特征. 生态学报, 2006, 26(12): 3948-3958.
- [24] 施定基. 微藻细胞培养//孙敬三, 朱至清. 植物细胞工程实验技术. 北京: 化学工业出版社, 2006: 253-263.
- [29] 叶诗鸣, 兰俊英. 巢湖浮游植物区系及其变动规律的研究. 巢湖渔业资料增值研究资料(第一集). 1981, 1: 3-12.
- [30] 蒙仁宪, 刘贞秋. 以浮游植物评价巢湖水质污染及富营养化. 水生生物学报, 1988, 12(1): 13-26.
- [31] 赵影, 王志强, 杨志平, 黄晓沐. 巢湖浮游藻类定性定量研究分析. 安徽预防医学杂志, 2002, 8(1): 3-5.
- [32] 屠清瑛, 顾丁锡, 尹澄清, 徐卓然, 韩久智. 巢湖——富营养化研究. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 2011

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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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