

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

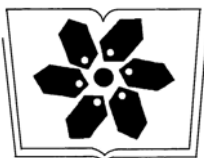
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 22 期 Vol.33 No.22 **2013**

中国生态学会
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 33 卷 第 22 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 利用分布有/无数据预测物种空间分布的研究方法综述 刘芳,李晟,李迪强 (7047)
- 景观服务研究进展 刘文平,宇振荣 (7058)
- 土壤呼吸组分分离技术研究进展 陈敏鹏,夏旭,李银坤,等 (7067)

个体与基础生态

- 平茬高度对四合木生长及生理特性的影响 王震,张利文,虞毅,等 (7078)
- 不同水分梯度下珍稀植物四数木的光合特性及对变化光强的响应 邓云,陈辉,杨小飞,等 (7088)
- 水稻主茎节位分蘖及生产力补偿能力 隗溟,李冬霞 (7098)
- 基于辐热积法模拟烤烟叶面积与烟叶干物质产量 张明达,李蒙,胡雪琼,等 (7108)
- 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响 田慎重,王瑜,李娜,等 (7116)
- 不同光照强度下兴安落叶松对舞毒蛾幼虫生长发育及防御酶的影响 鲁艺芳,严俊鑫,李霜雯,等 (7125)
- 南方小花蝽在不同空间及笼罩条件下对西花蓟马的控制作用 莫利锋,鄧军锐,田甜 (7132)
- 浮游植物对溶解态 AI 的清除作用实验研究 王召伟,任景玲,闫丽,等 (7140)
- 卧龙巴郎山川滇高山栎群落植物叶特性海拔梯度特征 刘兴良,何飞,樊华,等 (7148)
- 春夏季闽江口和兴化湾虾类数量特征 徐兆礼,孙岳 (7157)
- 啃食性端足类强壮藻钩虾对贫营养湖三种大型海藻的摄食选择性 郑新庆,黄凌风,李元超,等 (7166)

种群、群落和生态系统

- 4 种农业措施对三化螟种群动态的控制作用 张振飞,黄炳超,肖汉祥,等 (7173)
- 黄土高原沟壑区森林带不同植物群落土壤氮素含量及其转化 邢肖毅,黄懿梅,安韶山,等 (7181)
- 基于诊断学的生态系统健康评价 蔡霞,徐颂军,陈善浩,等 (7190)
- 稻田生态系统中植硅体的产生与积累——以嘉兴稻田为例 李自民,宋照亮,姜培坤 (7197)
- 自由搜索算法的投影寻踪模型在湿地芦苇调查中的应用 李新虎,赵成义 (7204)
- 贺兰山不同海拔典型植被带土壤微生物多样性 刘秉儒,张秀珍,胡天华,等 (7211)
- 内蒙古典型草原灌丛化对生物量和生物多样性的影响 彭海英,李小雁,童绍玉 (7221)
- 黄土丘陵沟壑区 80 种植物繁殖体形态特征及其物种分布 王东丽,张小彦,焦菊英,等 (7230)
- 基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价 刘振生,高惠,滕丽微,等 (7243)
- 太湖湖岸带浮游植物初级生产力特征及影响因素 蔡琳琳,朱广伟,李向阳 (7250)

景观、区域和全球生态

- 艾比湖地区土壤呼吸对季节性冻土厚度变化的响应…………… 秦 璐,吕光辉,何学敏,等 (7259)
- 田间条件下黑垆土基础呼吸的季节和年际变化特征…………… 张彦军,郭胜利,刘庆芳,等 (7270)

资源与产业生态

- 光核桃遗传资源的经济价值评估与保护 …………… 张丽荣,孟 锐,路国彬 (7277)
- 棉花节水灌溉气象等级指标…………… 肖晶晶,霍治国,姚益平,等 (7288)

研究简报

- 云南红豆杉人工林萌枝特性…………… 苏 磊,苏建荣,刘万德,等 (7300)
- 赣中亚热带森林转换对土壤氮素矿化及有效性的影响…………… 宋庆妮,杨清培,余定坤,等 (7309)

学术信息与动态

- 2013 年 European Geosciences Union 国际会议述评 …………… 钟莉娜,赵文武 (7319)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说: 山坡岩羊图——岩羊属国家二级保护动物,因喜攀登岩峰而得名,又名石羊。贺兰山岩羊主要分布于海拔 1500—2300m 的山势陡峭地带,羊群多以 2—10 只小群为主。生境适宜区主要为贺兰山东坡(宁夏贺兰山国家级自然保护区)的西南部,而贺兰山西坡(内蒙古贺兰山国家级自然保护区)也有少量分布。贺兰山建立国家级自然保护区以来,随着保护区环境的不断改善,这里岩羊的数量也开始急剧增长,每平方公里的分布数量现居世界之首,岩羊的活动范围也相应扩大到低山 900 米处的河谷。贺兰山岩羊生境选择的主要影响因子为海拔、坡度及植被。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201207251059

蔡琳琳, 朱广伟, 李向阳. 太湖湖岸带浮游植物初级生产力特征及影响因素. 生态学报, 2013, 33(22): 7250-7258.

Cai L L, Zhu G W, Li X Y. Characteristic of phytoplankton primary productivity and influencing factors in littoral zone of Lake Taihu. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(22): 7250-7258.

太湖湖岸带浮游植物初级生产力特征及影响因素

蔡琳琳¹, 朱广伟^{2,*}, 李向阳¹

(1. 无锡市太湖湖泊治理有限责任公司, 无锡 214063; 2. 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)

摘要: 利用高频溶解氧监测, 估算了太湖梅梁湾湖岸带浮游植物初级生产力的高频变化特征。结合同步气象监测及浮游植物、浮游动物和营养盐的周年逐周观测数据, 分析了气象和环境条件对富营养化湖泊浮游植物初级生产力的影响。结果发现, 高频溶解氧监测估算的初级生产力变化与浮游藻类生物量的变化一致, 能够反映出浮游植物生产力的昼夜变化、季节变化等规律。统计分析表明, 气温对太湖这一富营养化湖泊初级生产力影响很大; 氮的供给与浮游动物的选择性牧食也是影响浮游植物初级生产力的重要因素。湖岸带的水华堆积过程对初级生产力影响巨大, 气象、水文过程又加剧了蓝藻水华初级生产力的变化幅度, 反映出富营养化湖泊初级生产力可能存在极大的时空不均一性。研究表明, 溶解氧高频监测法估算初级生产力能够捕捉到湖泊初级生产力的快速变化过程, 可以用于富营养化湖泊初级生产力监测、蓝藻水华灾害预警中。

关键词: 浮游植物初级生产力; 太湖; 高频自动监测; 蓝藻水华

Characteristic of phytoplankton primary productivity and influencing factors in littoral zone of Lake Taihu

CAI Linlin¹, ZHU Guangwei^{2,*}, LI Xiangyang¹

1 Wuxi Taihu Lake Management Company Limited, Wuxi 214063, China

2 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Abstract: In the lakes lacking higher aquatic plants, phytoplankton is the most important primary producer, and the basis of material circulation and energy flow in the aquatic ecosystems. Knowledge of phytoplankton primary productivity and its influencing factors is fundamental to the understanding of lake ecosystem dynamics and the assessment of lake ecosystem service functions. Although phytoplankton primary productivity in lakes had frequently been monitored and estimated using the black-and-white bottles, carbon isotope, remote sensing and optical data, there has a limited knowledge for phytoplankton primary productivity high-frequency variation and influencing factors. In our study, we analyzed phytoplankton primary productivity characteristics and influencing factors, using the high frequency monitoring data and synchronous anniversary in situ observation data in littoral zone of Meiliang Bay, Lake Taihu in 2010.

Because the high frequency automatic monitoring data was missing from May to July, we used screening high frequency monitoring dissolved oxygen data to estimated phytoplankton daily primary productivity. Weekly results showed that the lowest phytoplankton primary productivity was recorded during the period from February to April with the mean daily gross primary productivity (GPP) less than $0.20 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. During the period from August to October, phytoplankton primary productivity raised, and it reached the highest throughout the year in the second week of September with the maximal mean

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目 (2012ZX07101-010, 2012ZX07101-013); 中国科学院南京地理与湖泊研究所“一三五”资助项目 (NIGLAS2012135002); 工信部科技重大专项资助项目 (2010ZX03006-006)

收稿日期: 2012-07-23; **修订日期:** 2013-06-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gwzhu@niglas.ac.cn

daily GPP of $1.34 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, net ecosystem productivity (NEP) of $0.44 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. During the period from November to December, phytoplankton primary productivity reduced with decreasing water temperature.

Correlation analysis showed that the significant relationships were found between main components of phytoplankton (Cyanophyta, Chlorophyta, and Bacillariophyta) and GPP, NEP, and the trend of phytoplankton primary productivity was similar with the change of phytoplankton biomass. Thus the diurnal and seasonal variations of phytoplankton primary productivity can be reflected by the high frequency monitoring dissolved oxygen, making it is feasible to calculate phytoplankton primary productivity using high frequency algal bloom data. Statistical analysis also showed that water temperature is an important factor influencing the change of phytoplankton primary productivity in Lake Taihu. The supply of nitrogen and the selectivity prey of zooplankton were also important for the variations of phytoplankton primary productivity.

The special topographic of lakeshore played an essential role in progress of algal piled, then impacted primary productivity; and this change was exacerbated by meteorological and hydrological processes, which reflected spatial and temporal heterogeneity of phytoplankton primary productivity of eutrophic lake. Based on the meteorological factors data during two algae accumulating periods in August and December, primary productivity changes are significantly influenced by meteorological factors. If there were large amounts of algae with Cyanobacteria as the dominant species, adequate sunlight to promote phytoplankton proliferating quickly, and steady wind to drive algae accumulating, phytoplankton primary productivity significantly increased in the lakeshore region. The high frequency dissolved oxygen monitoring can capture those algae accumulating processes. Thus the high frequency dissolved oxygen monitoring can be used in the monitoring of phytoplankton primary productivity and the warning of algal bloom disaster.

Key Words: phytoplankton primary production; Lake Taihu; automatic monitoring of high-frequency; *Microcystis* bloom

浮游植物作为湖泊中最主要的初级生产者,是整个水生态系统中物质循环和能量流动的基础。湖泊浮游植物初级生产力的高低决定了整个生态系统的稳定性^[1],了解浮游植物初级生产力的变化规律对认识湖泊生态过程具有重要的意义。浮游植物初级生产力的测定方法有黑白瓶测氧法、碳同位素示踪法^[2-3]。黑白瓶测氧法简便易行,但受天气影响,且受野外观测条件的限制^[4-5]。碳同位素法耗时短,更为精确,但是由于同位素的放射性而受到应有的限制。近年来又发展了利用遥感影像数据、光学数据估测蓝藻水华中浮游植物的初级生产力方法^[6-8],但遥感影像的获取受天气影响较大,数据保证率很低。另外,上述方法均有过程观测不连续、以某一时段数据估算全天的弊端,无法了解生产力的日变化过程。

基于溶解氧(Dissolved Oxygen,简称DO)等参数高频监测技术应用的基础上,Cole等、Bachmann等建立了利用DO高频数据估算湖泊浮游植物初级生产力的方法^[9-10],可以监测湖泊生产力的快速变化过程。基于该方法,Tsai等^[11]通过研究亚热带高山湖泊初级生产力季节变化发现,夏秋季节台风是影响浮游植物初级生产力的主要因素。由于湖泊初级生产力的影响因素复杂,包括浮游动物的选择性捕食^[12],悬浮物浓度的增减^[13],以及温度和光合有效辐射的日变化^[14],因此,通过高频监测水体DO获得多因素影响下的浮游植物初级生产力变化规律,对认识湖泊生态过程具有很大的帮助。

本文以太湖梅梁湾为研究对象,利用高频自动监测系统数据,估测了湖岸带浮游植物初级生产力的周年变化,结合统计分析,探讨了太湖浮游植物初级生产力的影响因子,为大型湖泊蓝藻水华的灾害防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点及监测分析方法

梅梁湾位于太湖北部(图1),是太湖富营养化最严重的水域之一^[15]。湖岸带是蓝藻水华最容易堆积的区域,浮游植物初级生产力变化快速。

2009年12月—2010年12月,在梅梁湾太湖站栈桥桥头(离岸230 m)(图1),布设包括气象、水质在内的

高频监测系统,其中气象系统为芬兰 Vaisala 520 型微气象站,参数包括太阳辐射有效强度(PAR)、降水、风速、风向等,水质仪器为美国 YSI 6600V2 型水质仪,参数包括水温(Water Temperature,简称 WT)、DO 等,气象和水质的监测频率为 15 min/次。另外,用于水质化学分析和浮游生物调查的水样每周采集 1 次,分析水体氮磷等营养盐,以及浮游植物、浮游动物的生物量和种类等。

水样采集时用内径 11 cm、高 120 cm 的有机玻璃采水器采集表层 100 cm 的垂直柱状水样 10 L,混合均匀,部分带回实验室测定悬浮颗粒物浓度(Suspended Solid,简称 SS)、颗粒物有机质(OSS)^[16],以及总氮(TN)、总磷(TP)、溶解性总氮(DTN)和溶解性总磷(DTP)浓度^[17]。氨氮(NH₄-N)采用荷兰 Skalar System

SAN++ 型流动分析仪测定。叶绿素 a(Chlorophyll a,简称 Chl a)测定采用热乙醇提取法^[18]。分取水样通过鲁哥试剂固定法获得浮游植物标本。另外同样方法获得表层 100 cm 水体水样 10 L,25 号浮游生物网过滤、浓缩,福尔马林固定获得浮游动物标本。

浮游植物鉴定及生物量估算采用 0.1 mL 浮游植物计数框显微镜观察获得,浮游动物的鉴定及估算则用 5 mL 计数框获得。藻类生物^[19]、轮虫^[20]、桡足类^[21]生物量估算根据其自身相近几何形状的体积公式计算,然后按照 1 g/mm³ 的密度换算为生物量。枝角类的生物量根据体长-体重回归方程换算^[22]。文中的生物量皆为湿重。采用 Mcnaughton 优势度指数(Y)确定浮游植物优势种^[23]。

1.2 初级生产力计算

初级生产力包括总初级生产力(Gross Primary Productivity,简称 GPP)和净初级生产力(NEP)。依据文献^[9-10],夜间 DO 变化($\Delta O_{2夜}$)仅由呼吸作用($R_{夜}$)和气-液交换引起,由气-液平衡矫正后的溶解氧变化 $\Delta O_{2夜}$ 估算,白天 DO 变化($\Delta O_{2日}$)由 NEP 与气-液交换共同作用形成, $\Delta O_{2日}$ 是 NEP 的度量指标,假定日夜呼吸作用相同,估算出 GPP。鉴于光合作用只能在有光时发生,设定 $PAR > 10 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 为日间,其余为夜间。所涉及的换算公式如下:

$$R_{夜} = \Delta O_{2夜} + D_{夜} \quad (1)$$

$$NEP = \Delta O_{2日} - D_{日} \quad (2)$$

$$GPP = NEP + R_{夜} + R_{夜} = NEP + 2 \times R_{夜} \quad (3)$$

式中, $D_{夜}$ 、 $D_{日}$ 分别为夜间、白天气-液平衡时大气补给到水体中的 O_2 量,正值表示水体从大气中吸收 O_2 ,负值表示水体向大气中释放 O_2 。气-液平衡时大气补给到水体中的 O_2 量可以由以下公式估算:

$$D_{atm} = k(O_{2sat} - D_2)/Z (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (4)$$

所得数据需经单位换算为 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 后参与计算。式中 Z 是水体混合层深度(m),当温差大于 1 °C 时可以认为该层以上为混合层。 O_2 为测定浓度, O_{2sat} 是一个与监测点海拔、水体温度相关的理论值,由下面式子计算所得:

$$L_n(O_{2sat}(t)) = 2.692 - 1.27alt - 6.15 \times 10^{-10}alt^2 - 0.0286t + 2.72 \times 10^{-4}t^2 - 2.09 \times 10^{-6}t^3 \quad (5)$$

式中,alt 为海拔,监测点取 3.3 m; t 为即时水温 WT; k 为扩散系数,是气-液表面 O_2 交换速率(m/h):

$$k = k_{600} \times (SC_{oxy}/600)^{-2/3} \text{ 或者 } k = k_{600} \times (SC_{oxy}/600)^{-1/2} \quad (6)$$

当界面为光滑表面(风速 $V < 3 \text{ m/s}$)时, k 与 $SC_{oxy-2/3}$ 成正比;粗糙表面(风速 $> 3 \text{ m/s}$)时, k 与 $SC_{oxy-1/2}$ 成正比。 k_{600} 为 Schmidt 数在 600 时的系数值, k_{600} 可以用风速来估算,风速过大时,DO 受外界影响较大,不宜于用

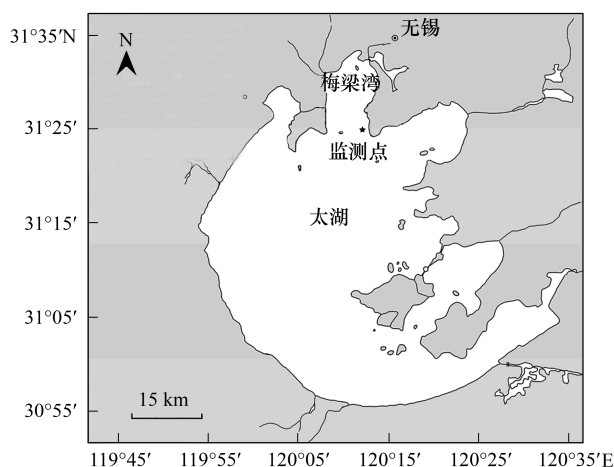


图1 采样点位图

Fig.1 Location of sampling site

来估算初级生产力的变化,剔除风速 $>10\text{m/s}$ 的数据^[13]。按照 Wanninkhof^[24]研究海洋上风速与气-液交换关系的结果, k_{600} 与风速呈正比,这里取 $k_{600}=0.31V^2$ 。

SC_{oxy} 为 O_2 的气-液交换系数,与水体温度有关:

$$SC_{\text{oxy}} = 1800.6 - 120.1t + 3.78t^2 - 0.05t^3 \quad (7)$$

综合上面 7 个式子,得到 GPP 、 R 和 NEP 。

由蔡后建等^[14]、张运林等^[5,25]利用黑白瓶法测定太湖梅梁湾初级生产力分层结果可知,太湖最大初级生产力在水下 0.2 m,所以选取 0.2 m 深处的 DO 来估算梅梁湾湖岸带初级生产力。太湖为典型浅水湖泊,湖岸带水深多小于 2.5 m,长期混合比较均匀^[26],为简化计算文中将 Z 设为 1.5 m。

1.3 数据统计

利用 SAS 统计软件分别对初级生产力与各项理化、生物因素进行相关性分析。为去除随机因素的影响,首先利用统计方法删除异常值,对数据进行正态分布检验,通过检验的因素参与相关性分析。为消除量纲的影响且使数据更符合正态性分布,对数据进行 $\ln(x+1)$ 标准化后再进行 Pearson 相关分析,得到相关系数矩阵。

2 结果与分析

2.1 浮游植物生物量周年变化

由浮游植物生物量的逐周变化趋势可以看出,浮游植物生物量全年平均值为 11.63 mg/L ,最高达 184.61 mg/L ,最小值为 0.15 mg/L 。4 月下旬—6 月初,其生物量很小,浮游植物生物量小于 1.00 mg/L ;6 月中旬温度增长至 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 以上,蓝藻开始迅速增长并很快形成绝对优势^[27];8 月 12 日出现大规模蓝藻水华堆积,浮游植物生物量高达 184.61 mg/L 。9 月、10 月浮游植物生物量逐步下降,12 月份再次出现高值(图 2)。

2.2 初级生产力周年变化

利用筛选之后的自动观测数据换算得到的 8—10 月份 GPP 最高,11—12 月份次之,2—4 月份最低, R 、 NEP 与 GPP 的季节变化同步。蔡后建等^[14]利用黑白瓶法测定结果显示,7 月的 GPP 最高,12 月最低。而张运林等^[25]测的年内 4 次初级生产力由 5 月到 12 月依次降低。

对比高频 DO 数据估算的初级生产力与浮游植物生物量的逐周变化可以看出(图 2,图 3),二者变化趋势类似。2—4 月水体中浮游植物丰度、生物量均较低,且活性较弱,初级生产力水平很低, GPP 均低于 $0.20(\text{mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$, R 基本上维持在 $0.10(\text{mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$ 左右, NEP 多为负值,此阶段水体中的 O_2 来源主要为外界大气补给。8 月份浮游植物生物量有极高值出现,显著高于前后阶段,而 8 月份初级生产力与 9、10 月份差别不显著。9 月第 2 周 GPP 、 R 与 NEP 达全年最高值,分别为 1.34 、 0.44 、 $0.46(\text{mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$ 。11—12 月初级生产力下降。

利用高频自动观测数据估测初级生产力表现为:8—10 月份最高,11—12 月份次之,2—4 月份最低;蓝藻生物量的变化趋势与之类似,而绿藻、硅藻的变化趋势则相反。相应的蓝藻与 GPP 、 R 呈显著正相关,绿藻、硅藻与 GPP 、 NEP 均呈显著负相关(表 1)。由此可见,利用高频 DO 数据估算的初级生产力能够反映太湖水华的实际状况。

2.3 环境因子与初级生产力相关性

对 GPP 、 R 、 NEP 与物理因子(WT、风速、PAR、OSS)、营养盐(TN、DTN、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TP、DTP)及生物因子(Chla、浮游动物生物量)等环境因子进行相关性分析,相关系数矩阵如表 2 所示。物理因子中以 WT 的影响

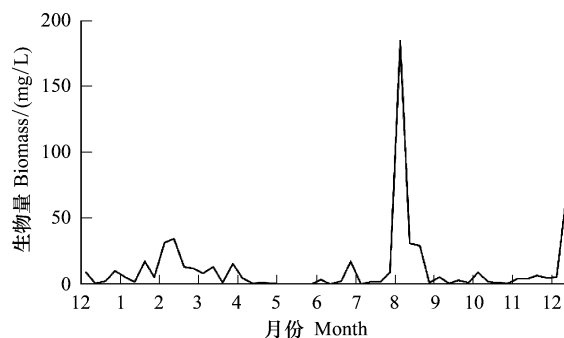


图 2 2009-12—2010-12 太湖梅梁湾浮游植物生物量逐周变化
Fig.2 Weekly variation of phytoplankton biomass in Meiliang Bay, Lake Taihu during 2009-12 and 2010-12

最大,化学因子中以 TN、DTN 浓度的影响较大;生物因子中以枝角类的摄食对 *GPP* 影响最大,以枝角类、桡足类对 *R* 的影响最大。

2.4 蓝藻水华堆积对初级生产力的影响

监测结果显示,出现 8 月 12 日、12 月 8 日两次浮游植物异常堆积,且绝对优势种均为蓝藻。期间监测点出现大量的水华,浮游植物生物量(分别为 184.61、70.51 mg/L)、Chla 也都出现了极高值(分别为 390.75、1534.04 μg/L),12 月的 Chla 显著高于 8 月,但 12 月的浮游植物生物量、初级生产力明显低于 8 月。选取 8 月 7—15 日和 12 月 3—11 日两个时段内实测的数据对初级生产力进行逐日分析。

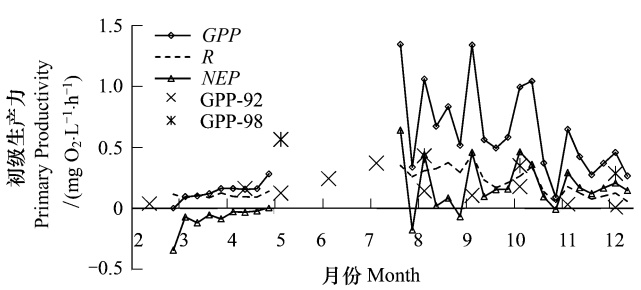


图 3 太湖梅梁湾浮游植物初级生产力周年变化趋势
Fig. 3 Annual trends of phytoplankton PP in Meiliang Bay, Lake Taihu
GPP-92 为 1991—1993 年 *GPP*,引自文献^[14];GPP-98 为 1998 年 *GPP*,引自文献^[25]

表 1 估算的初级生产力与同期环境因子之间的相关系数

	总初级生产力(<i>GPP</i>) Gross primary productivity	呼吸作用 <i>R</i> Respiration	净初级生产力(<i>NEP</i>) Net ecosystem productivity	数据量 Data number
水温 Water Temperature WT	0.77 **	0.81 **	0.49 **	29
风速 Wind Speed	-0.20	-0.15	-0.16	27
太阳辐射有效强度 Photosynthetically Active Radiation PAR	0.33	0.46 *	0.11	27
颗粒物有机质 Suspended Organic Solid OSS	0.32	0.35	0.21	29
总氮 Total Nitrogen TN	-0.40 *	-0.16	-0.49 **	28
溶解性总氮 Dissolved Total Nitrogen DTN	-0.61 **	-0.45 *	-0.55 **	28
氨氮 NH ₄ -N	-0.00	-0.17	0.15	28
总磷 Total Phosphorus TP	0.32	0.44 *	0.09	28
溶解性总磷 Dissolved Total Phosphorus DTP	0.15	0.37 *	-0.11	28
叶绿素 a Chlorophyll a	0.25	0.08	0.32	28
轮虫 Rotifers	-0.25	-0.20	-0.24	28
枝角类 Cladocerans	0.55 **	0.67 **	0.28	28
桡足类 Copepods	0.37	0.49 **	0.14	28

* $P < 0.05$, 相关显著; ** $P < 0.01$, 相关极显著(双尾检验)

表 2 浮游植物优势种生物量与估算的初级生产力相关系数

	总初级生产力 <i>GPP</i>	呼吸作用 <i>R</i>	净初级生产力 <i>NEP</i>	数据量 Data number
蓝藻门 Cyanophyta	0.48 **	0.44 *	0.36	28
绿藻门 Chlorophyta	-0.66 **	-0.46 **	-0.62 **	28
硅藻门 Bacillariophyta	-0.55 **	-0.32	-0.57 **	28

* $P < 0.05$, 相关显著; ** $P < 0.01$, 相关极显著(双尾检验)

8 月 7—13 日 *GPP*、*R*、*NEP* 均呈上升趋势,于 13 日达到最高值,分别为 1.85、0.53、0.79mg O₂·L⁻¹·h⁻¹。14—15 日 *GPP*、*NEP* 显著下降。12 月初级生产力明显低于 8 月。12 月 3—5 日, *GPP*、*R*、*NEP* 较高分别为 0.51、0.13、0.26 mg O₂·L⁻¹·h⁻¹,且基本稳定,6—7 日迅速下降,8 日有小幅升高(图 4)。这表明蓝藻水华堆积对初级生产力影响甚大,且堆积后期又有下降过程。

同期的气象和环境因子变化如图 5。由图 5 可知,8 月藻类堆积前期(8 月 7 日 0:00—9 日 12:00)各气象

因素均很稳定,平均风速为 5 m/s,风向多接近于 115°,平均气温 29.6 °C,WT 略高于气温(30.8 °C)。8 月 9 日 12:00—10 日 22:00 风速略有下降,风向大幅度改变,气温、WT 均有不同程度的下降,昼夜温差减小。藻类堆积中期(8 月 11—13 日)风速降低(<4 m/s),风向较为稳定,昼夜温差显著减小,DO 达到最高值且昼夜差异增大。藻类堆积后期风速有所提高,主导风向转为西风(离岸风),DO 昼夜差异减小。

相比较,12 月藻类堆积前后温度持续在 15 °C 以下。藻类堆积前期(12 月 3—5 日)温度升高,风速小于 5 m/s,主导风向为东风(向岸风),随后(5 日 12:00—6 日 12:00)温度下降,风速先降后升,主导风向为由东风转为西风。

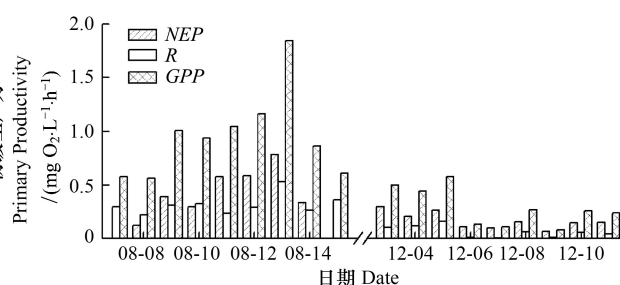


图 4 藻类异常堆积前后初级生产力逐日变化

Fig.4 Diel distribution of PP during phytoplankton accumulated period

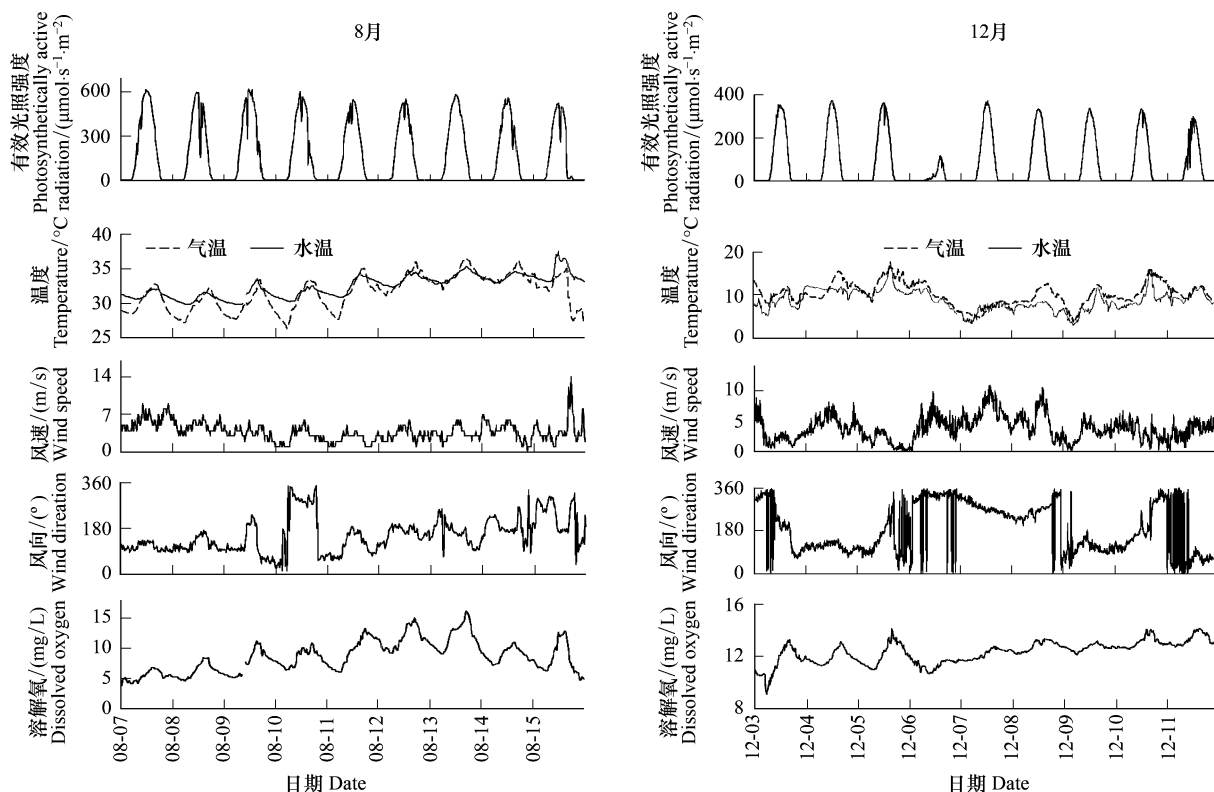


图 5 藻类堆积前后气象、水文因子变化

Fig.5 Mean value of meteorological and hydrological variables during phytoplankton accumulated period in August and December

3 讨论

本研究表明,太湖梅梁湾滨岸带 8—10 月份初级生产力最高,11—12 月份次之,2—4 月份最低(5—7 月高频自动监测数据缺失)(图 3),这与观测到的太湖蓝藻水华的年变化趋势、以及每周监测的浮游植物生物量数据吻合,这说明本方法获得的初级生产力结果比较可靠,且能够反映全年的初级生产力的快速变化过程。与蔡后建等^[14]、张运林等^[25]研究相比,他们观测时认为 12 月份太湖梅梁湾浮游植物初级生产力为全年最低,与本研究 2010 年 12 月初级生产力高于 3—4 月不一致,这是因为观测期间 3—4 月 WT 比 1995—2009 年平均值低 4 °C 左右、降雨量偏多(约为 6 mm,1995—2009 年平均值仅为 2 mm 左右)^[27],二者共同作用使得 3—4 月浮游植物生物量很低,初级生产力偏低(图 2,图 3)。本观测期间,12 月初天气晴朗(PAR 为

$60 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$),无可测降水,浮游植物延续了秋季的群落结构(以微囊藻为主要优势种)^[27],在强光照、低水位等适宜的环境条件及湖岸带特殊的地理位置,促成了 12 月份湖岸带出现大量浮游植物堆积,也证明了本估算结果的可靠性。另外,本观测点为滨岸带,属于水华堆积区,才出现 12 月份仍出现水华堆积现象。这也反映了太湖蓝藻水华、初级生产力空间上的不均一。

本研究也证明了浮游动物对初级生产力的影响。浮游动物生物量对浮游植物密度有显著影响,其中枝角类、桡足类对初级生产力有显著影响(表 2)。浮游动物中枝角类与 GPP、 R 显著相关,桡足类与 R 显著相关,轮虫对浮游植物初级生产力影响不大,这与计算的初级生产力时段(主要为 3—4 月、8—12 月)、浮游动物群落结构演替及其食性有关^[28]。冬、春季绿藻、硅藻占优势,浮游动物(萼花臂尾轮虫、角突臂尾轮虫)则以捕食单细胞微型藻类为主。轮虫是以真核藻类、细菌和原生动物为主要食物^[29-32],8—12 月梅梁湾湖岸带的浮游植物主要以微囊藻群体形式存在,该大群体很难被轮虫所摄食,所以轮虫对浮游植物影响不大。夏、秋季梅梁湾水体中浮游植物数量多,为浮游动物提供了较充足的食物,而蓝藻门种类占绝对优势,蓝藻不仅营养低,而且阻碍了大型个体的滤食器官^[33],促使小型枝角类、桡足类的种类、数量增加^[34],浮游动物(如简弧象鼻溞、角突网纹溞)以捕食细菌和有机碎屑为主的种类为主,故枝角类、桡足类与 R 均显著相关。

特定的气象因素与湖岸带地理环境有利于浮游植物的大量堆积,形成严重的水体污染,但浮游植物的大量堆积并不等同于初级生产力大幅度升高,水华长期堆积后光合作用能力明显下降。研究表明,高温、强光照有利于蓝藻生长^[35-36],小风浪有利于蓝藻生长或漂浮^[37]。上述 8 月藻类堆积前后气象、水文变化情况与之相符:堆积前期,气温持续较高、持续强光照、风速较小、风向基本一致。高温、充足的营养盐条件下,适中的风浪过后,藻类的生长速度将明显增加,如果随后转为轻风、温度适当降低,则很容易引起藻类在迎风岸边大量聚集,形成明显水华^[38],风场、温度的改变为形成明显水华提供良好的条件^[39]。8 月藻类堆积前期以向岸风为主导风向,根据动力学与补偿原理,持续的向岸风将会促使湖岸带出现较强的离岸流于补偿流,把水底的藻体再次送至水表,加剧了藻体堆积程度。浮游植物光合作用产生大量的 O_2 ,利用 DO 计算得到的初级生产力同步增大。藻类堆积后期风速增大,风向以离岸风为主,水体中浮游植物丰度下降,初级生产力同步降低。

12 月温度持续在 15°C 以下,远低于蓝藻占绝对优势时的温度^[40],仍然形成了异常的藻类堆积,12 月 8 日的 Chla 含量明显高于 8 月 12 日。可能是 12 月 3—5 日均为晴朗天气(图 5),存在较稳定的风场,且延续了之前蓝藻水华所形成的浮游植物生物量及其群落结构,在合适的气象条件(强光照、低风速、向岸风)、地理条件(湖岸带特殊地理环境)下,偏低的 WT 依然可以形成蓝藻短期异常增殖现象。5 日 12:00—6 日 12:00 为风速先降后升,风向由向岸风转变为离岸风,6—11 日湖岸带水体中已经有大量的蓝藻堆积,限制了气-液交换,加上随温度降低生物活性的下降,其生物活性下降(释放的 O_2 减少),其生物量、初级生产力均显著低于 8 月份。

两次藻类堆积从发生到消失约为 1 周,周期较短。高频自动监测获得了全过程数据,发挥了本方法的优越性。鉴于本方法容易实现实时、高频、在线监测的特点与优势,可以为开展水华灾害预警工作提供有力的技术支撑。

References:

- [1] Sidik M J, Rashed-Un-Nabi M, Hopue M A. Distribution of phytoplankton community in relation to environmental parameters in cage culture area of Sepanggar Bay, Sabah, Malaysia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 80(2): 251-260.
- [2] Nielse E S, Hansen V K. Measurements with the carbon-14 technique of the respiration rates in natural populations of phytoplankton. *Deep Sea Research*, 1953, 5(2/4): 222-233.
- [3] Davison I R. Environmental effects on algal photosynthesis: temperature. *Journal of Phycology*, 1991, 27(1): 2-8.
- [4] Macedo M F, Duarte P, Ferreira J G. The influence of incubation periods on photosynthesis-irradiance curves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 274(2): 101-120.
- [5] Zhang Y L, Qin B Q, Chen W M, Chen Y W, Gao G. Phytoplankton primary production in spring Meiliang Bay, Lake Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 2005, 17(1): 81-86.

- [6] Platt T, Sathyendranath S. Oceanic primary production: estimation by remote sensing at local and regional scales. *Science*, 1988, 241(4873): 1613-1620.
- [7] Duan H T, Ma R H, Xu X F, Kong F X, Zhang S X, Kong W J, Hao J Y, Shang L L. Two decade reconstruction of algal blooms in China's Lake Taihu. *Environmental Science and Technology*, 2009, 43(10): 3522-3528.
- [8] Paerl H W, Huisman J. Blooms like it hot. *Science*, 2008, 320(5872): 57-58.
- [9] Cole J, Fisher S G. Annual metabolism of a temporary pond ecosystem. *American Midland Naturalist*, 1978, 100(1): 15-22.
- [10] Bachmann R W, Hoyer M V, Canfield D E. Internal heterotrophy following the switch from macrophytes to algae in Lake Apopka, Florida. *Hydrobiologia*, 2000, 418(1): 217-227.
- [11] Tsai J W, Kratz T K, Hanson P C, Wu J T, Chang W Y B, Arzberger P W, Lin B S, Lin F P, Chou H M, Chiu C Y. Seasonal dynamics, typhoons and the regulation of lake metabolism in a subtropical humic lake. *Freshwater Biology*, 2008, 53(10): 1929-1941.
- [12] Odate T, Imai K. Seasonal variation in chlorophyll-specific growth and microzooplankton grazing of phytoplankton in Japanese coastal water. *Journal of Plankton Research*, 2003, 25(12): 1497-1505.
- [13] Yin Y, Zhang Y L, Shi Z Q, Liu X H, Feng Longqing. Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(11): 3528-3537.
- [14] Cai H J, Chen Y W, Cai Q M, Gao X Y. Relations between primary production of phytoplankton and relative factors at mouth of Meiliang Bay in Taihu Lake. *Journal of Lake Science*, 1994, 6(4): 340-347.
- [15] Chen Y W, Fan C X, Teubner K, Dokulil M. Changes of nutrients and phytoplankton chlorophyll-a in a large shallow lake, Taihu, China: an 8-year investigation. *Hydrobiologia*, 2003, 506-509: 273-279.
- [16] Jin X C, Tu Q Y. Investigation Standard for Lake Eutrophication. Beijing: China Environmental Science Press, 1990.
- [17] Qian J L, Zhang L D, Le M L. Simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in soils by persulfate digestion pretreatment. *Soils*, 1990, 22(5): 258-262.
- [18] Chen Y W, Gao X Y. Comparison of two methods for phytoplankton Chlorophyll-a concentration measurement. *Journal of Lake Sciences*, 2000, 12(2): 185-188.
- [19] Zhang Z S, Huang X F. Study Methods of Freshwater Plankton. Beijing: Science Press, 1991.
- [20] Hillebrand H, Dürselen C D, Klrscitel D, Pollingher U, Zohary T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 1999, 35(2): 403-424.
- [21] Chen X M. Biomass calculation of freshwater copepoda. *Collected Papers for Hydrobiology*, 1981, 7(3): 398-408.
- [22] Huang X F, Hu C Y. Length-weight regression equation for common species of freshwater cladocerans//Papers of Crustacean Animal Science (Series I). Beijing: Science Press, 1986: 147-157.
- [23] McNaughton S J. Relationships among functional prosperities of Californian grassland. *Nature*, 1967, 216(5111): 168-169.
- [24] Wanninkhof R. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean. *Journal of Geophysical Research*, 1992, 97(C5): 7373-7382.
- [25] 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.
- [26] Scheffer M. Ecology of Shallow Lakes. London: Kluwer Academic Publishers, 2001: 33-41.
- [27] Cai L L, Zhu G W, Zhu M Y, Yang G J, Zhao L L. Succession of phytoplankton structure and its relationship with algae bloom in littoral zone of Meiliang Bay, Taihu Lake. *Journal of Ecological Science*, 2012, 31(4): 345-351.
- [28] Yang Z, Kong F X, Shi X L, Shi X L, Cao H S. Morphological response of *Microcystis aeruginosa* to grazing by different sorts of zooplankton. *Hydrobiologia*, 2006, 563(1): 225-230.
- [29] Flores B J, Sarma S S S, Nandini S. Effect of Single Species or Mixed Algal (*Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus*) Diets on the life Table Demography of *Brachionus calycifloru* and *Brachionus patulus* (Rotifera: Brachionidae). *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 2005, 33(6): 614-621.
- [30] Kim H W, Hwang S J, Joo G J. Zooplankton grazing on bacteria and phytoplankton in a regulated large river (Nakdong River, Korea). *Journal of Plankton Research*, 2000, 22(8): 1559-1577.
- [31] Jürgens K, Wickham S A, Rothhaupt K O, Santer B. Feeding rates of macro- and microzooplankton on heterotrophic nanoflagellates. *Limnology and Oceanography*, 1996, 41(8): 1833-1839.
- [32] Modenutti B, Queimalinos C, Balseiro E, Reissig M. Impact of different zooplankton structures on the microbial food web of a South Andean oligotrophic lake. *Acta Oecologica*, 2003, 24(Supplement 1): 289-298.
- [33] Potter K G, Gerritsen G, Orcutt J D. The effect of food concentration on swimming patterns, feeding behavior, ingestion, assimilation, and respiration by *Daphnia*. *Limnology and Oceanography*, 1982, 27(5): 935-949.

- [34] Fulton R S III, Pearl H W. Toxic and inhibitory effects of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* on herbivorous zooplankton. *Journal of Plankton Research*, 1987, 9(5): 837-855.
- [35] Kong F X, Ma R H, Gao J F, Wu X D. The theory and practice of prevention, forecast and warning on cyanobacteria bloom in Lake Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(3): 314-328.
- [36] Wu X D, Kong F X. The determination of *in situ* growth rates of the bloomed *Microcystis* in Meiliang Bay, Lake Taihu. *China Environmental Science*, 2008, 28(6): 552-555.
- [37] Sun X J, Qin B Q, Zhu G W, Zhang Z P. Effect of wind-induced wave on concentration of colloidal nutrient and phytoplankton in Lake Taihu. *Environmental Science*, 2007, 28(3): 506-511.
- [38] Zhu Y C, Cai Q M. The dynamic research of the influence of wind field on the migration of algae in Taihu Lake. *Journal of Lake Science*, 1997, 9(2): 152-158.
- [39] Wang C L, Zhang Y, Zhang N H, Qian X, Kong F X. Analysis of meteorological factors of forming feculent and anaerobic water aggregation induced by algal bloom in Taihu Lake. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2011, 32(2): 401-408.
- [40] Gamier J, Billen G, Coste M. Seasonal succession of diatoms and Chlorophyceae in the drainage network of the Seine River: observation and modeling. *Limnology and Oceanography*, 1995, 40(4): 750-765.

参考文献:

- [5] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 陈宇炜, 高光. 太湖梅梁湾春季浮游植物初级生产力. *湖泊科学*, 2005, 17(1): 81-86.
- [13] 殷燕, 张运林, 时志强, 刘笑菡, 冯龙庆. 基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力. *生态学报*, 2012, 32(11): 3528-3537.
- [14] 蔡后建, 陈宇炜, 蔡启铭, 高锡芸. 太湖梅梁湾口浮游植物初级生产力及其相关因素关系的研究. *湖泊科学*, 1994, 6(4): 340-347.
- [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.
- [17] 钱君龙, 张连弟, 乐美麟. 过硫酸盐消化法测定土壤全氮全磷. *土壤*, 1990, 22(5): 258-262.
- [18] 陈宇炜, 高锡芸. 浮游植物叶绿素 a 含量测定方法的比较测定. *湖泊科学*, 2000, 12(2): 185-188.
- [19] 章宗涉, 黄样飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991.
- [21] 陈雪梅. 淡水桡足类生物量的测算. *水生生物学集刊*, 1981, 7(3): 398-408.
- [22] 黄祥飞, 胡春英. 淡水常见枝角类体长——体重回归方程式 // 甲壳动物学论文 (第一辑). 北京: 科学出版社, 1986: 147-157.
- [25] 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.
- [27] 蔡琳琳, 朱广伟, 朱梦圆, 杨桂军, 赵林林. 太湖梅梁湾湖岸带浮游植物群落演替及其与水华形成的关系. *生态科学*, 2012, 31(4): 345-351.
- [35] 孔繁翔, 马荣华, 高俊峰, 吴晓东. 太湖蓝藻水华的预防、预测和预警的理论与实践. *湖泊科学*, 2009, 21(3): 314-328.
- [36] 吴晓东, 孔繁翔. 水华期间太湖梅梁湾微囊藻原位生长速率的测定. *中国环境科学*, 2008, 28(6): 552-555.
- [37] 孙小静, 秦伯强, 朱广伟, 张占平. 风浪对太湖水体中胶体态营养盐和浮游植物的影响. *环境科学*, 2007, 28(3): 506-511.
- [38] 朱永春, 蔡启铭. 风场对藻类在太湖中迁移影响的动力学研究. *湖泊科学*, 1997, 9(2): 152-158.
- [39] 王成林, 张咏, 张宁红, 钱新, 孔繁翔. 太湖藻源性“湖泛”形成机制的气象因素分析. *环境科学*, 2011, 32(2): 401-408.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.22 Nov., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The review of methods for mapping species spatial distribution using presence/absence data LIU Fang, LI Sheng, LI Diqiang (7047)
- A research review of landscape service LIU Wenping, YU Zhenrong (7058)
- Progress on techniques for partitioning soil respiration components and their application in cropland ecosystem CHEN Minpeng, XIA Xu, LI Yinkun, MEI Xurong (7067)

Autecology & Fundamentals

- Effect of different stubble height treatments on the annual growth index and physiological characteristics of *Tetraena mongolica* in two growing seasons WANG Zhen, ZHANG Liwen, YU Yi, et al (7078)
- Photosynthetic characteristics of an endangered species *Tetrameles nudiflora* under different light and water conditions DENG Yun, CHEN Hui, YANG Xiaofei, et al (7088)
- The compensation capacity of tillering and production of main stem nodes in rice WEI Ming, LI Dongxia (7098)
- Simulation of leaf area and dry matter production of tobacco leaves based on product of thermal effectiveness and photosynthetically active radiation ZHANG Mingda, LI Meng, HU Xueqiong, et al (7108)
- Effects of different tillage and straw systems on soil water-stable aggregate distribution and stability in the North China Plain TIAN Shenzhong, WANG Yu, LI Na, et al (7116)
- Effects of the *Larix gmelinii* grown under different light intensities on the development and defensive enzyme activities of *Lymantria dispar* larvae LU Yifang, YAN Junxin, LI Shuangwen, et al (7125)
- Biological control efficiency of *Orius similis* Zheng (Hemiptera: Anthocoridae) on *Frankliniella occidentalis* (Pergande) under different spatial and caged conditions MO Lifeng, ZHI Junrui, TIAN Tian (7132)
- Preliminary study on scavenging mechanism of dissolved aluminum by phytoplankton WANG Zhaowei, REN Jingling, YAN Li, et al (7140)
- Leaf-form characteristics of plants in *Quercus aquifolioides* community along an elevational gradient on the Balang Mountain in Wolong Nature Reserve, Sichuan, China LIU Xingliang, HE Fei, FAN Hua, et al (7148)
- Comparison of shrimp density between the Minjiang estuary and Xinhua bay during spring and summer XU Zhaoli, SUN Yue (7157)
- The feeding selectivity of an herbivorous amphipod *Ampithoe valida* on three dominant macroalgal species of Yundang Lagoon ZHENG Xinqing, HUANG Lingfeng, LI Yuanchao, et al (7166)

Population, Community and Ecosystem

- Effects of four different agricultural prevention and control measures on rice yellow stem borer *Tryporyza incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) ZHANG Zhenfei, HUANG Bingchao, XIAO Hanxiang, et al (7173)
- Soil nitrogen concentrations and transformations under different vegetation types in forested zones of the Loess Gully Region XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (7181)
- Ecosystem health assessment based on diagnosis CAI Xia, XU Songjun, CHEN Shanhao, et al (7190)
- The production and accumulation of phytoliths in rice ecosystems: a case study to Jiaxing Paddy Field LI Zimin, SONG Zhaoliang, JIANG Peikun (7197)
- Application of a free search-based projection pursuit model in investigating reed in wetlands LI Xinhua, ZHAO Chengyi (7204)

- Soil microbial diversity under typical vegetation zones along an elevation gradient in Helan Mountains
..... LIU Bingru, ZHANG Xiuzhen, HU Tianhua, et al (7211)
- Effects of shrub encroachment on biomass and biodiversity in the typical steppe of Inner Mongolia
..... PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (7221)
- Research on diaspore morphology and species distribution of 80 plants in the hill-gully Loess Plateau
..... WANG Dongli, ZHANG Xiaoyan, JIAO Juying, et al (7230)
- Habitat suitability assessment of blue sheep in Helan Mountain based on MAXENT modeling
..... LIU Zhensheng, GAO Hui, TENG Liwei, et al (7243)
- Characteristic of phytoplankton primary productivity and influencing factors in littoral zone of Lake Taihu
..... CAI Linlin, ZHU Guangwei, LI Xiangyang (7250)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Responses of soil respiration to changes in depth of seasonal frozen soil in Ebinur Lake area, arid area of Northwest China
..... QIN Lu, LV Guanghui, HE Xuemin, et al (7259)
- Seasonal and annual variation characteristic in basal soil respiration of black loam under the condition of farmland field
..... ZHANG Yanjun, GUO Shengli, LIU Qingfang, et al (7270)
- Resource and Industrial Ecology**
- Economic evaluation and protection of *Amygdalus mira* genetic resource ZHANG Lirong, MENG Rui, LU Guobin (7277)
- Meteorological grading indexes of water-saving irrigation for cotton XIAO Jingjing, HUO Zhiguo, YAO Yiping, et al (7288)
- Research Notes**
- Sprouts characteristic structure of *Taxus yunnanensis* plantation SU Lei, SU Jianrong, LIU Wande, et al (7300)
- The effects of forest conversion on soil N mineralization and its availability in central jiangxi subtropical region
..... SONG Qingni, YANG Qingpei, YU Dingkun, et al (7309)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 杨志峰

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 33 卷 第 22 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 22 (November, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元