

中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
中国科协优秀期刊  
中国科学院优秀科技期刊  
新中国 60 年有影响力的期刊  
国家期刊奖

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

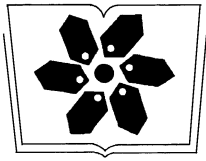
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 1 期  
Vol.31 No.1  
**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 1 期      2011 年 1 月    (半月刊)

## 目 次

|                                                                  |                          |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局 .....                                    | 缪 宁, 刘世荣, 史作民, 等 ( 1 )   |
| 季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较 .....                                  | 李帅锋, 苏建荣, 刘万德, 等 ( 10 )  |
| 越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化 .....                                     | 顾婷婷, 孔繁翔, 谭 啸, 等 ( 21 )  |
| 海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源 .....                                    | 樊敏玲, 黄小平, 张大文, 等 ( 31 )  |
| 广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布 .....                                         | 梁 文, 张春华, 叶祖超, 等 ( 39 )  |
| 宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系 .....                             | 席本野, 王 烨, 贾黎明, 等 ( 47 )  |
| 干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征 .....                                      | 刘 彬, 罗承德, 张 健, 等 ( 58 )  |
| 信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应 .....                              | 易小林, 杨丙贤, 宗学凤, 等 ( 67 )  |
| UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响 .....                                | 于景华, 李德文, 庞海河, 等 ( 75 )  |
| 模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响 .....                                       | 李 凯, 江 洪, 由美娜, 等 ( 82 )  |
| 环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化 .....                                      | 孙海兵, 毛志泉, 朱树华 ( 90 )     |
| 不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响 .....                                   | 王 冉, 李吉跃, 张方秋, 等 ( 98 )  |
| 秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性 .....                                          | 贾中民, 魏 虹, 孙晓灿, 等 ( 107 ) |
| 祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化 .....                                | 赵成章, 石福习, 董小刚, 等 ( 115 ) |
| 中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示 ..... | 刘贤赵, 王国安, 李嘉竹, 等 ( 123 ) |
| 不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化 .....                          | 荣 丽, 李守剑, 李贤伟, 等 ( 137 ) |
| 黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量 .....                                        | 周绍春, 张明海, 孙海义 ( 145 )    |
| 生态保护项目对大熊猫栖息地的影响 .....                                           | 张玉波, 王梦君, 李俊清 ( 154 )    |
| 石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化 .....                                | 高梅香, 张雪萍 ( 164 )         |
| 基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较 .....                              | 苗 进, 武予清, 郁振兴, 等 ( 175 ) |
| 对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应 .....                                | 宁应之, 杜海峰, 王红军 ( 183 )    |
| 红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术 .....                                     | 潘 杰, 王 涛, 宗世祥, 等 ( 195 ) |
| 山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异 .....                                       | 王燕平, 李贵全, 郭数进, 等 ( 203 ) |
| 施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响 .....                                   | 李廷亮, 谢英荷, 任苗苗, 等 ( 212 ) |
| 近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征 .....                                      | 罗永忠, 成自勇, 郭小芹 ( 221 )    |
| 基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例 .....                     | 谢花林, 李秀彬 ( 230 )         |
| 农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例 .....                               | 杨 振 ( 239 )              |
| 河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因 .....                                  | 王 千, 金晓斌, 周寅康, 等 ( 247 ) |
| 土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响 .....                                 | 罗友进, 魏朝富, 李 渝, 等 ( 257 ) |
| <b>专论与综述</b>                                                     |                          |
| 景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性 .....                                  | 刘 宇, 吕一河, 傅伯杰 ( 267 )    |
| 美国煤矿废弃地的生态修复 .....                                               | 张成梁, B. Larry Li ( 276 ) |
| 农田土壤食物网管理的原理与方法 .....                                            | 陈云峰, 胡 诚, 李双来, 等 ( 286 ) |
| <b>学术信息与动态</b>                                                   |                          |
| 旱地、荒漠和荒漠化: 探寻恢复之路 —— 第三届国际荒漠化会议述评 .....                          | 吕一河, 傅伯杰 ( 293 )         |

# 越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化

顾婷婷<sup>1,2</sup>, 孔繁翔<sup>1,\*</sup>, 谭 啸<sup>1</sup>, 于 洋<sup>1</sup>

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

**摘要:** 为研究太湖蓝藻在越冬与复苏时期群落结构的时空变化规律, 于 2008 年 11 月, 2009 年 2 月, 2009 年 4 月, 在太湖富营养化较严重的湖区选取 8 个采样点 (梅梁湾、竺山湾、贡湖湾、大浦、西太湖、南太湖、湖心和湖湾交汇处), 分 3 层采水样, 过滤并提取样品 DNA 经 PCR 扩增蓝藻 16S rDNA 序列, 采用 T-RFLP (末端标记的限制性酶切片长度多样性) 技术分析蓝藻群落结构和多样性变化。共得到 87 个不同的 T-RFs (末端限制性酶切片), 表明太湖蓝藻具有丰富的基因多样性。T-RF 相对丰度和聚类分析结果表明, 太湖蓝藻群落结构在垂直空间上相似性较高, 相似度 > 50%; 在水平空间, 与 *Microcystis* spp. 对应的信号峰在 8 个采样点均为最强峰 (相对丰度为 17.7%—47.5%)。竺山湾蓝藻多样性最低, 西太湖最高, 但其余采样点间蓝藻群落和 Shannon 多样性指数没有显著差异 ( $P > 0.05$ )。 *Microcystis* 相对丰度与 Shannon 多样性指数呈显著负相关 (皮尔逊相关系数为 -0.958)。在时间尺度上, 相似性分析 (Analysis of similarity, ANOSIM) 结果显示太湖蓝藻群落结构存在极显著差异 ( $P < 0.01$ )。春季复苏时蓝藻多样性最高, 秋季衰亡时最低。聚类分析表明样品聚成两大特征类群, 秋季衰亡时样品独自聚为 1 支, 而春季复苏期和冬季越冬期样品彼此混杂。

**关键词:** 太湖; T-RF; 蓝藻群落结构; 微囊藻; 时空变化

## Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake

GU Tingting<sup>1,2</sup>, KONG Fanxiang<sup>1,\*</sup>, TAN Xiao<sup>1</sup>, YU Yang<sup>1</sup>

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

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** In order to explore spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure in the period from pre-overwinter to recruitment in Taihu Lake, water samples of three vertical layers were collected at eight sites (Meiliang Bay, Zhushan Bay, Gonghu Bay, Dapu, Western part of Taihu Lake, Southern part of Taihu Lake, Lake center, and cross area) from autumn 2008 to spring 2009. The total number of T-RFs derived from all those water samples was 87, indicating high genetic diversity of cyanobacteria in Taihu Lake. Based on the relative abundances of T-RFs and cluster analysis, the similarities of different vertical samples were higher than 50%. By comparison, it was found that *Microcystis* spp. dominated in all sampling sites (relative abundance ranged from 17.7% to 47.5%). The number of T-RFs and cyanobacterial diversity was highest at Zhushan Bay but lowest in the western part of Taihu Lake. However, differences were not apparent among other sites ( $P > 0.05$ ). Pearson correlation analysis revealed a significant negative correlation ( $R = -0.958$ ) between relative abundance of *Microcystis* and Shannon-Weiner index. The result of ANOSIM (Analysis of similarity) indicated that the seasonal variation of cyanobacterial community and diversity were extremely significant ( $P < 0.01$ ). As to the Shannon-Weiner diversity index, samples derived from recruitment period reached the highest value, while samples at pre-overwintering stage in autumn showed the lowest. Cluster analysis revealed that the samples could be

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2008CB418002); 国家自然科学基金项目 (40471045); 中国科学院院长奖获得者科研启动专项资金; 中国科学院南京地理与湖泊研究所所长基金 (07SL021001)

**收稿日期:** 2009-11-10; **修订日期:** 2010-10-09

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

divided into two representative groups: Group I consists of samples collected in autumn, while group II contains the samples collected in spring and winter which were intermingled.

**Key Words:** Taihu Lake; T-RF; cyanobacteria community and diversity; *Microcystis* spp.; spatio-temporal variation

蓝藻水华是多年来困扰太湖水环境的热点问题。蓝藻的生长与水华形成经历了越冬休眠、春季复苏、生物量增加(生长)、上浮及聚集 4 个阶段<sup>[1]</sup>。太湖的蓝藻水华主要由微囊藻组成,已往的研究对太湖中蓝藻、绿藻、硅藻的演替过程<sup>[2]</sup>,以及微囊藻属内的演替过程<sup>[3]</sup>已有一些报道,而对蓝藻群落结构的演替过程鲜有报道。在晚春,温度和气象条件适宜时,微囊藻在特定湖区首先形成水华并逐渐蔓延,这一过程伴随着较为明显的细胞形态及群落结构变化。同时,越冬和复苏这一时期蓝藻群落结构演替对微囊藻优势确立、进而形成水华有重要影响。因此,大范围长尺度地研究越冬和复苏时期蓝藻群落结构变化对大型湖泊水华形成机理研究至关重要。

近年来,一些分子生物学技术已经应用于水环境蓝藻群落分析的研究上<sup>[4-5]</sup>。其中,T-RFLP 技术可以高通量地分析微生物多样性中等或更低的环境样品<sup>[6]</sup>,分辨率高<sup>[7]</sup>,重复性好<sup>[8]</sup>,可以定量分析<sup>[9]</sup>,还可以确定一些特征酶切片段的微生物来源。在越冬和复苏期间,蓝藻生物量较低,且其群体大小及细胞形态与夏季明显不同,因此 T-RFLP 方法是分析这一时期蓝藻群落结构的有力工具<sup>[10]</sup>。

本研究在太湖富营养化较严重的湖区选取 8 个点分层采样,采样时间选在水华逐渐衰亡的秋季、越冬休眠的冬季以及开始复苏的春季 3 个时间点,研究水华“从多到少(秋季逐渐衰亡)、越冬、从少到多(复苏)”的一系列关键过程中蓝藻群落结构的时空变化,为深入研究太湖蓝藻水华形成机制提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集和处理

实验设置 8 个采样点: N2, N4, N5, S2, S4, S5, W2, W4(图 1),每个点分表层、中层(水深 1m 处),下层(底泥表面 30cm)。分别于 2008 年 11 月(开始衰亡时)、2009 年 2 月(越冬时)和 2009 年 4 月(复苏时)进行采样。用 5L Patalas 采水器分层采样,将采好的水样于采样当天带回实验室后立即取 150 mL 水样通过 GF/C(Whatman)滤膜过滤,将过滤好的滤膜在 -20 °C 冷冻保存。

### 1.2 样品 DNA 的提取

参考并改进文献<sup>[11]</sup>的方法,提取滤膜上的藻类 DNA。向 2mL 无菌离心管中加入 0.3 g 已灭菌的玻璃珠(直径 0.1mm),再加入 0.8 mL 裂解液(100 mmol/L Tris-HCl, 100 mmol/L Na<sub>2</sub>EDTA, 100 mmol/L Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 1.5 mol/L NaCl, 10 g/kg CTAB, pH 8.0)和 20 μL 蛋白酶 K(10 mg/mL)。用无菌剪刀剪下半张滤膜分别夹入各个离心管中,漩涡振荡 30 s 后 37 °C 水浴 30 min。接着向离心管中加入 480 μL 质量分数 20% 的 SDS 溶液,50 °C 金属浴震荡 2 h,转速 300r/min。将在 6000 r/min 下离心 5 min 后的上清液转移到新的离心管中,加入与上清液等体积的酚、氯仿、异戊醇混合液酚:氯仿:异戊醇 = 25:24:1,颠倒数次后 6 000 r/min 离心 5 min,取上清液转移到新的离心管中。加入与上清液等体积的氯仿、异戊醇混合液氯仿:异戊醇 = 24:1,混匀后 6 000r/min 离心 5 min 后去除残留的酚,再取上清液转移到新的离心管中,加入上清液 0.6 倍体积的异丙醇,室温静置过夜(为防止高浓度盐溶液在低温时析出晶体,特选择室温静置),12 000 r/min 离心 10 min 后弃上清

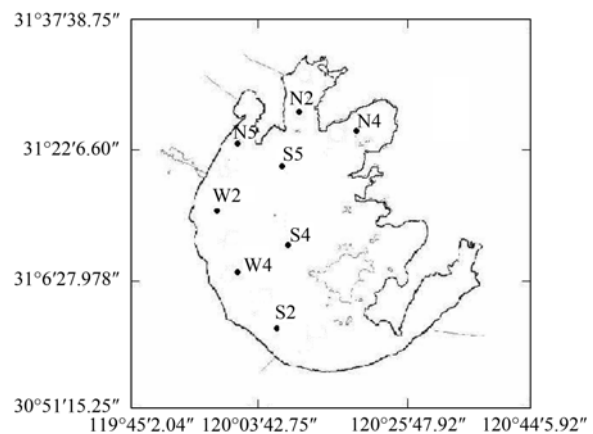


图 1 采样点的分布图

Fig. 1 Location of sampling sites

液。离心管用体积分数 70% 乙醇洗涤所得 DNA 冷冻干燥,随后加入 100 $\mu$ L TE (pH8. 0)溶解 DNA,保存于 -20  $^{\circ}$ C。

### 1.3 PCR 扩增

参考蓝藻多样性分析文献<sup>[12]</sup>,选择细菌 16SrDNA 通用引物 27F<sup>[13]</sup>,在其 5' 端用 Cy5 染料标记,以及蓝藻特异性引物 783R 扩增样品 DNA(表 1),PCR 产物长度约为 800bp,适合 T-RFs 片段分析。

每个样品的 PCR 反应体积为 50 $\mu$ L,体系组成为 10  $\times$  PCR 缓冲液 (200mmol/L Tris-HCl pH 8. 4, 200mmol/L KCl, 15mmol/L MgCl<sub>2</sub>) 5 $\mu$ L, dNTP (2. 5mmol/L) 4 $\mu$ L, 模板 50ng, 双向引物 (20pmol/L) 各 1 $\mu$ L, Taq DNA 聚合酶 2U, BSA 终浓度 0. 5 $\mu$ g/ $\mu$ L, 无菌去离子水补足至 50 $\mu$ L。采用 Touchdown PCR 增加反应的特异性,共 35 个循环,反应条件如下:95 $^{\circ}$ C 变性 5min, 94 $^{\circ}$ C 变性 1min, 65  $^{\circ}$ C—56  $^{\circ}$ C (每循环下降 1 $^{\circ}$ C, 至 56  $^{\circ}$ C, 共 10 个循环) 退火 30s, 72 $^{\circ}$ C 延伸 1min, 采用 55 $^{\circ}$ C 退火循环 25 次。最后 72 $^{\circ}$ C 延伸 10min<sup>[14]</sup> 补齐末端。PCR 产物经过 1. 5% 琼脂糖凝胶电泳后进行 EB 染色,在凝胶成像系统中检测扩增效果。通过 QUANTITY ONE 4. 62 软件 (Bio-rad) 分析条带的灰度值,与 DL2000 DNA Marker (Tiangen) 对比后确定 PCR 产物中 800bp 条带的 DNA 含量,此即为蓝藻 16SrDNA 扩增产物,作为下一步酶切底物。若 PCR 产物有非特异性扩增,则用割胶纯化试剂盒 (Axygen) 纯化 800bp 处条带。

表 1 16S rDNA 扩增引物  
Table 1 Primers of 16S rDNA sequences

| 引物<br>Primer | 序列(5'—3')<br>Sequence(5'—3')       | 在 E. coli 中对应的位置<br>Target position in E. coli | 文献<br>Reference |
|--------------|------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------|
| CY5—27F      | AGAGTTTGATCCTGGCTCAG               | 8—27                                           | [13]            |
| 783R         | GACTAC (A/T) GGGGTATCTAATCCC (A/T) | 783—805                                        | [12]            |

### 1.4 样品的 T-RFLP 分析

PCR 产物用绿豆核酸酶 (Mung bean nuclease) (TaKaRa) 水解单链 DNA 和 RNA,以消除 T-RFLP 过程中可能出现的假峰 (pseudo-T-RFs)<sup>[15]</sup>。反应体系参照产品说明书:50 $\mu$ L 体系中加入 5 $\mu$ L 10  $\times$  Mung bean buffer, 44. 5 $\mu$ L PCR 产物以及 0. 5 $\mu$ L Mung bean enzyme。反应条件为 37 $^{\circ}$ C 水浴 30min。绿豆核酸酶酶切后产物用 PCR 产物纯化试剂盒 (Axygen) 纯化。

纯化后的产物,以限制性核酸内切酶 *Hae*III (GG  $\downarrow$  CC) (TaKaRa) 酶切消化<sup>[12]</sup>。20 $\mu$ L 反应体系中加入 2 $\mu$ L 10mol/L buffer, 1 $\mu$ L *Hae*III, 15 $\mu$ L 1 纯化后产物,加水至 20 $\mu$ L。37 $^{\circ}$ C 酶切 2h。取一定体积酶切后的产物与上样缓冲液 (SLS, Beckman-Coulter Inc., USA), 混合后加入内标 DNA Size Standard-600 混匀后,加入 CEQ 上样板,用 1 滴石蜡油覆盖后在 CEQ<sup>TM</sup>8000 遗传分析系统 (Beckman Coulter Inc., USA) 经毛细管电泳分离荧光标记的 T-RFs。

电泳结束后,用 CEQ<sup>TM</sup>8000 片段分析软件 v9. 0,检测峰面积 > 100 个荧光单位且片段大小在 60—640bp 间的 T-RFs。再经过标准化、手工校正等步骤确定的每 1 个 T-RF 的大小。不同样品的 T-RFs 用 CEQ<sup>TM</sup>8000 遗传分析系统自带的 AFLP 分析程序进行比对。为减少不同样品出峰时间的差异,将大小相差 1bp 的 T-RFs 归为 1 个 T-RF。最后将得到的峰面积数据导出为 Excel 文件。为减少上样量的差异,计算每个样品中 T-RFs 的相对峰面积百分比<sup>[16]</sup>作为每个 T-RF 的相对丰度 (Relative abundance,  $R_a$ ),保留  $R_a \geq 1\%$  的 T-RFs<sup>[10]</sup>,以此  $R_a$  数据矩阵进行后续蓝藻群落结构分析。

### 1.5 基于 T-RFLP 图谱的蓝藻多样性分析

每个样品中蓝藻种群丰度 (Richness):  $S$  = T-RFs 的个数。这里粗略认为每个峰代表 1 个 OTU,大致地对应一个物种。

根据图谱中 T-RFs 的数目及其相对丰度进行多样性指数计算,本研究中使用 Shannon-Weiner ( $H'$ ) 指数,

计算公式:  $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$  (式中,  $P_i$  表示某个峰的峰面积占总峰面积的比例)。

不同湖区,不同深度以及不同时期多样性比较采用单因素方差分析,分析过程由统计软件 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 17.0 进行。

T-RFs 相对丰度数据经  $\log_{10}(x+1)$  转化后<sup>[17]</sup>,由多元统计软件 PAST(Paleontological Statistics v1.81)<sup>[18]</sup> 进行分析,以揭示蓝藻群落结构的时空变化规律。群落结构相似性分析以 Bray-Curtis 指数为度量参数进行聚类分析。不同湖区、不同深度、不同时期蓝藻群落结构差异的显著性由相似性分析(ANOSIM)模块完成。ANOSIM 是一种比较不同群落差异显著性的非参数检验方法<sup>[19]</sup>。本研究中以 Bray-Curtis 指数为群落相似性度量参数,显著性以 10000 次重复取样的排列群组算法进行计算。最后 ANOSIM 产生一个检测的统计值  $R$ ,其大小表示不同群落的分离程度。

## 2 结果

### 2.1 基于 T-RFLP 图谱的太湖蓝藻群落结构垂直空间比较

本研究 8 个采样点一共检测到 87 个独特的 T-RFs,其中上、中、下 3 层中出现的 T-RFs 的种类分别为 70 个、75 个、76 个,且在 3 个层中都出现的 T-RFs 有 53 个,在每层样品中都占多数。图 2 显示 T-RFs 数量最少的 N5 点(竺山湾)和最多的 W4 点(西太湖)在 3 个季节的分层样品中蓝藻 16S rDNA 序列 *Hae*III 酶切得到的 T-RFs 相对丰度。其结果表明同一时间同一采样点采集的分层样品检测得到 T-RFs 的个数及其相对丰度差异不明显。

同一时间同一位点的分层样品蓝藻群落的多样性指数相似(图 3)。聚类分析表明大部分采样点(图 4 只列 N2 和 S4 点,其余没有列出)在各个季节都是上中下 3 层聚为一类,且相似性比较高,均大于 50%。这与多样性指数比较结果一致,表明太湖中各个湖区蓝藻群落结构及多样性在水体垂直水平上相似度较高。

### 2.2 基于 T-RFLP 图谱的太湖蓝藻群落结构的水平空间比较

本研究 8 个采样点中 W4 点产生的 T-RFs 个数最多,共 60 个,N5 点最少,只有 35 个(表 2)。每个采样点占优势的 T-RFs 只有 2—5 个,且存在时间上的演替,这些优势 T-RFs 主要有:64bp, 139bp, 183bp, 223bp, 295bp 等,其中 183bp 所代表的微囊藻(*Microcystis* spp.)<sup>[12]</sup>的 T-RF 在所有位点(其余 6 个点数据没有列出)都出现,且都占有优势(表 2)。皮尔逊相关分析显示不同湖区样品中 *Microcystis* spp. 相对丰度和香农多样性指数之间呈显著负相关(图 5),相关系数为  $-0.958$ 。

表 2 *Hae*III 酶切 T-RF 图谱分析微囊藻在不同湖区的相对丰度和香农多样性指数

Table 2 Relative abundances of *Microcystis* and Shannon-Weiner index calculated from *Hae*III T-RFs profiles at eight sampling sites

| 采样点<br>Sampling sites | 总 T-RFs 数量<br>Total number of T-RFs | <i>Microcystis</i> 相对丰度/% *<br>Relative abundance of<br><i>Microcystis</i> * | 香农多样性指数<br>Shannon-Weiner index |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| N2                    | 39                                  | 38.0                                                                         | 1.878                           |
| N4                    | 46                                  | 30.1                                                                         | 2.207                           |
| N5                    | 35                                  | 47.5                                                                         | 1.623                           |
| S2                    | 56                                  | 20.2                                                                         | 2.347                           |
| S4                    | 41                                  | 27.5                                                                         | 2.206                           |
| S5                    | 59                                  | 20.5                                                                         | 2.215                           |
| W2                    | 53                                  | 32.1                                                                         | 2.094                           |
| W4                    | 60                                  | 17.7                                                                         | 2.512                           |

\* 根据 183bp T-RF 特征峰计算 *Microcystis* 相对丰度<sup>[12]</sup>

不同湖区的 8 个采样点间 T-RFs 的数量和多样性均值比较见图 6。T-RFs 的种类粗略代表 T-RFLP 检测到蓝藻的种类数,从图中可以看出,西太湖(W4 点)的平均 T-RFs 数量最多,平均为 17.8 个,竺山湾(N5 点) T-RFs 数量最少,平均为 12.8 个。香农多样性指数结果与 T-RFs 数量结果一致,也是西太湖(W4 点)蓝藻多样性最高,达到 2.51,而竺山湾(N5 点)最低,为 1.62。除 N5 和 W4 这两个位点的 T-RFs 数量和香农多样性指数有显著性差异外,其余各湖区的采样点差异不显著。

ANOSIM 分析(表 3)表明,太湖不同湖区之间蓝藻群落结构没有显著差异( $P > 0.05$ )。N5 点和 W4

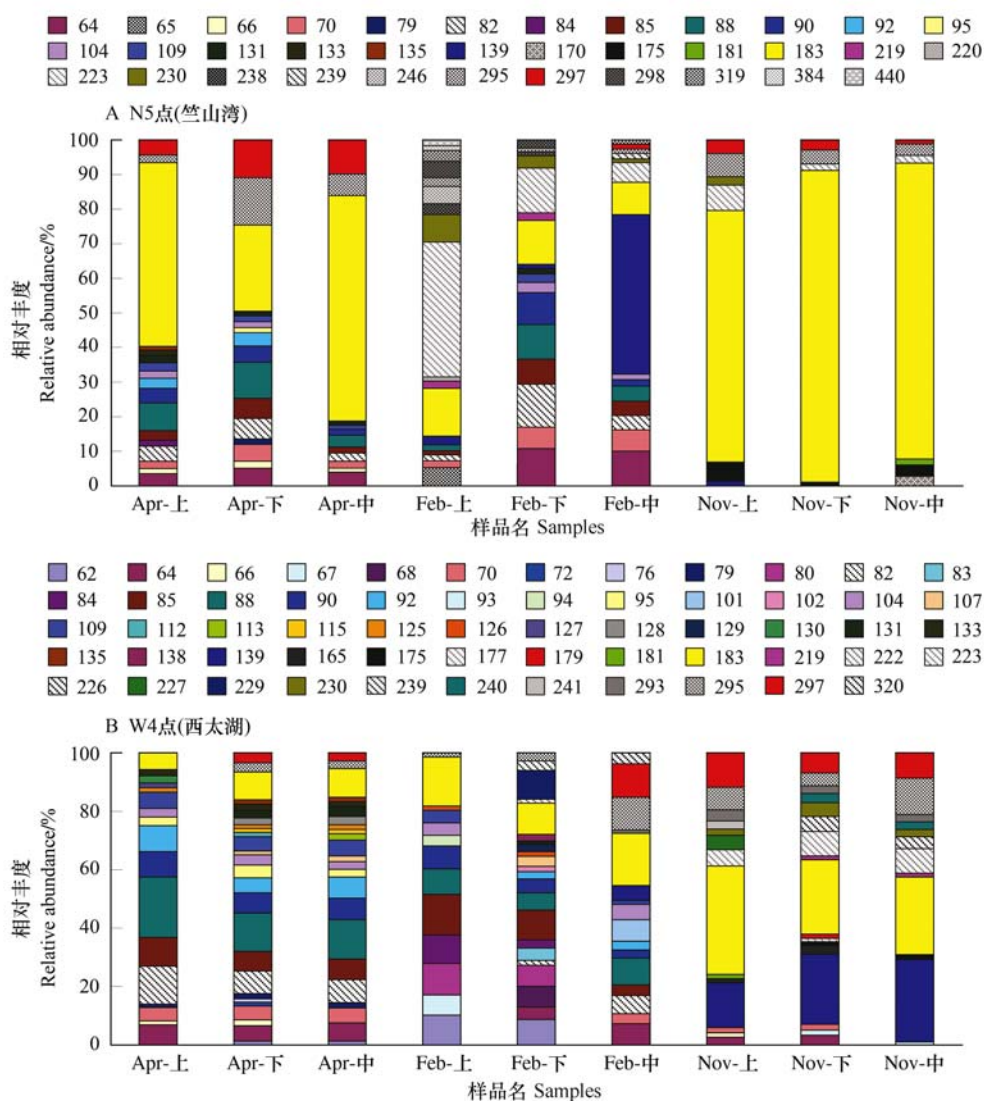


图2 竺山湾(A)和西太湖(B)两点在秋(2008-11)、冬(2009-02)、春(2009-04)3个季节表层、中层(1m)、下层(底泥表面30cm)3层样品中蓝藻16S rDNA序列 *Hae*III 酶切 T-RFs 相对丰度比较

Fig. 2 Relative abundances of cyanobacteria 16S rDNA fragments derived from the surface, middle layer (1m), and bottom layer (30cm to sediment surface) at Zhushan Bay (N5) and Western part of Taihu Lake (W4) in November 2008 (Autumn), February 2009 (Winter) and April 2009 (Spring) based on T-RFLP analysis after restriction with *Hae*III. Numbers in the legend indicate the number of T-RF base pairs (bp)

图例中的数字表示 T-RFs 的片段大小(bp), 相对丰度 < 1% 的 T-RFs 不予考虑

表3 太湖不同湖区蓝藻群落差异性的 *R* 值比较 (ANOSIM)

Table 3 ANOSIM (analysis of similarity) comparisons of spatial differences in cyanobacteria communities in Taihu Lake

|    | N2     | N4     | N5     | S2     | S4     | S5     | W2     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N4 | 0.0075 |        |        |        |        |        |        |
| N5 | 0.0518 | 0.0432 |        |        |        |        |        |
| S2 | 0.0041 | 0.0158 | 0.0631 |        |        |        |        |
| S4 | 0.0178 | 0.0247 | 0.0538 | 0.0545 |        |        |        |
| S5 | 0.0165 | 0.0281 | 0.0634 | 0.0717 | 0.0379 |        |        |
| W2 | 0.0316 | 0.0439 | 0.0196 | 0.0600 | 0.0679 | 0.0415 |        |
| W4 | 0.0176 | 0.0189 | 0.1094 | 0.0706 | 0.0075 | 0.0662 | 0.0281 |

*R* 值的大小表示不同群落的分离程度, 1 表示完全分离, 即两个群落没有任何相似性, 0 表示两个群落完全相同; 显著性以 10000 次重复取样的排列群组算法进行计算

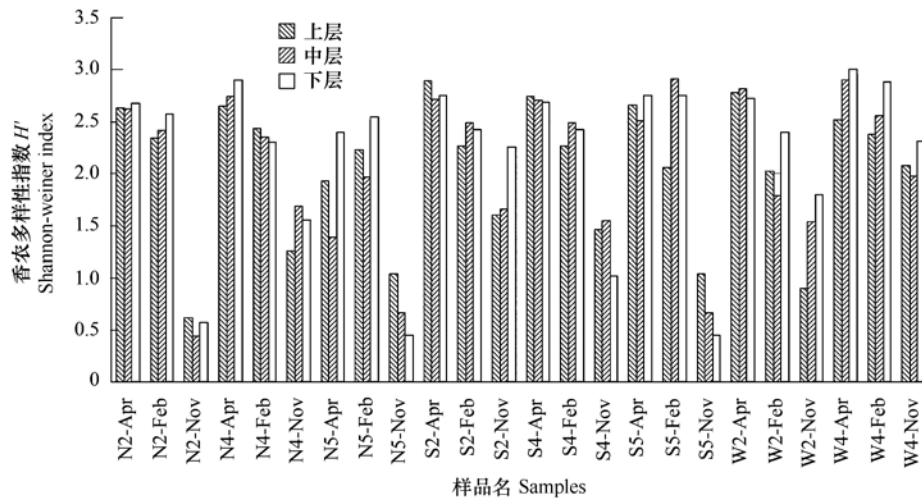


图3 不同位点在3个季节上、中、下三层的香农多样性指数比较

Fig. 3 Stratified comparison on Shannon's diversity index of different seasons and sites

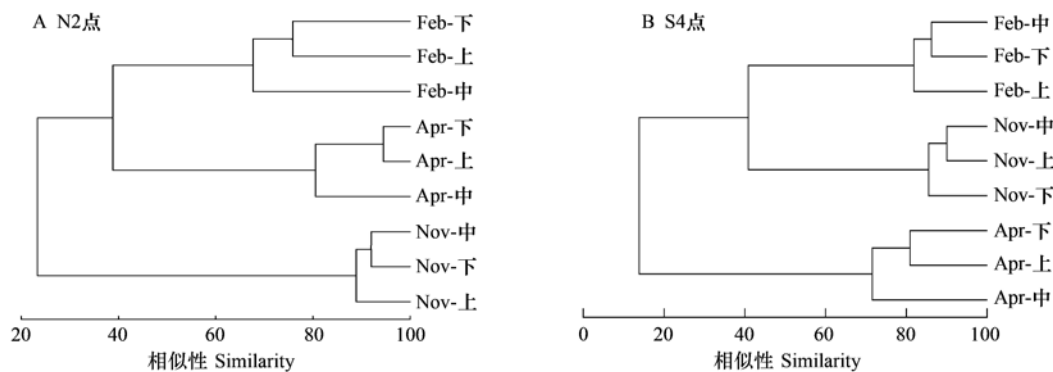


图4 N2点和S4点蓝藻群落结构聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of cyanobacteria communities at sites N2 (A) and S4 (B)

点  $R$  值最大 ( $R=0.1094$ ),  $R$  值得大小表示不同群落的分离程度, 1 表示完全分离, 即两个群落没有任何相似性, 0 表示两个群落完全相同。N5 点和 W4 点  $R$  值最大说明这两个点在所有采样点之间差异最大, 但是它们之间的相似度还是比较高, 其差异没有达到显著水平 ( $P>0.05$ )。

### 2.3 太湖蓝藻群落结构的时间变化

在时间尺度上 (图 6B), T-RFs 数量在春季复苏时期最高, 达到 20.1, 秋季开始衰亡时最低, 仅为 9.46。3 个时期之间的差异达到极显著水平 ( $P<0.01$ )。香农多样性指数均值比较结果表明太湖蓝藻群落多样性春季复苏时期最高, 秋季衰亡时最低, 且复苏期显著高于越冬期 ( $P<0.05$ ), 极显著高于衰亡期 ( $P<0.01$ )。在衰亡、越冬和复苏这 3 个时期, 微囊藻 (183bp) 都占有优势, 尤其是在蓝藻水华开始衰亡的秋季, 微囊藻在蓝藻群落中占有绝对优势, 相对丰度达到 54.7%。而颤藻、聚球藻 (223bp、226bp) 和鱼腥藻 (293bp) 只在微囊藻水华秋季衰亡期出现<sup>[12]</sup>。

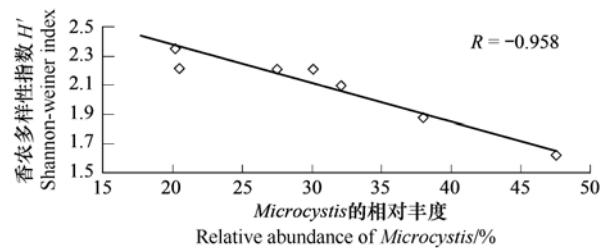


图5 不同湖区8个采样点中 *Microcystis* 相对丰度和香农多样性指数关系

Fig. 5 Relation between relative abundance of *Microcystis* and Shannon-Weiner index ( $H'$ ) at different sampling sites

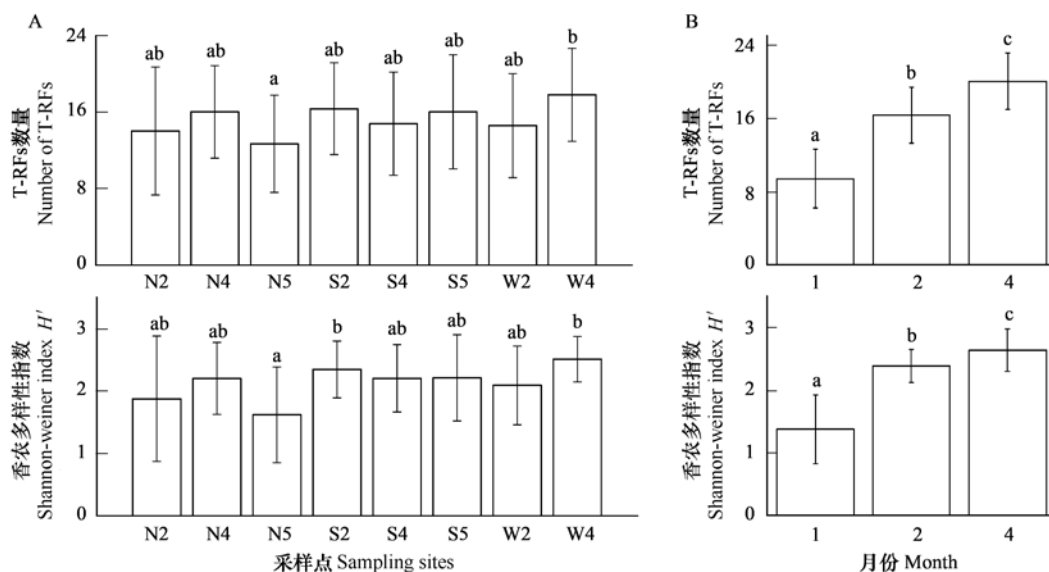


图6 不同湖区(A) 和不同时期(B) T-RFs 数量与香农多样性指数的均值比较

Fig. 6 Comparison of the T-RFs numbers and Shannon's diversity index in different regions(A) or periods(B)

数据为平均值  $\pm$  标准误。柱状图上标有相同字母差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 相邻字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 相隔字母代表差异极显著 ( $P < 0.01$ )

从表4可以看出,3个时期太湖蓝藻群落结构差异都达到极显著的水平( $P < 0.001$ )。春季复苏时期与秋季衰亡时期之间的差异最大( $R = 0.90, P < 0.001$ )。

聚类分析(图6)结果显示,本实验的所有样品可以聚为2支,秋季衰亡时期(11月份)样品单独聚为一支,样品间的相似系数高达0.49,而与其他时期样品间的相似系数仅为0.19。同时,春季复苏期(4月份)和冬季越冬期(2月份)的样品相互混杂。

表4 不同时期太湖蓝藻群落结构差异性的R值比较(ANOSIM)

Table 4 ANOSIM (analysis of similarity) comparisons of temporal differences in cyanobacteria communities in Taihu Lake

|                    | 秋季衰亡 Pre-overwintering | 冬季越冬 Overwintering |
|--------------------|------------------------|--------------------|
| 冬季越冬 Overwintering | 0.68 ***               |                    |
| 春季复苏 Recruitment   | 0.90 ***               | 0.26 ***           |

\*\*\*  $P < 0.001$

### 3 讨论

本研究采用 T-RFLP 方法分析了太湖蓝藻群落多样性的时空差异。空间差异从垂直方向和水平方向两个维度进行研究。采样地的布设主要是富营养化程度比较严重的湖区,同时也是2007年和2008年水华发生严重的湖区<sup>[20]</sup>。其中,北部的梅梁湾、竺山湾是太湖富营养化程度最为严重的区域<sup>[21]</sup>。时间上,考虑到夏季水华暴发时的研究已经很多,而选择蓝藻从多到少的秋季衰亡时期,蓝藻水华由无到有的越冬休眠期和春季复苏期。为减少风浪扰动对分层采样的影响,本实验均选取静风天气采样。

垂直空间差异研究结果显示,太湖不同湖区8个采样点在秋、冬、春季3个时期不同深度样品相似度均大于50%,聚类分析结果均是上中下3层样品聚为1支。这些结果显示太湖不同深度的水体中蓝藻的种类和相对丰度差异不明显,这可能与太湖的气象水文状况有关。太湖平均水深1.9m<sup>[22]</sup>,是一个典型的碟型浅水湖泊,湖面开阔,风浪较大。在一般天气条件下,太湖风浪在0.5m左右,当5—6级风时,波高可达1m<sup>[23]</sup>。并且在太湖地区每年出现风速大于8 m/s且保持1 h以上的天数多达125 d,对湖水的扰动剧烈<sup>[24]</sup>。吕晋等<sup>[25]</sup>在对武汉市15个浅水湖泊蓝藻分布影响因子分析中指出,由于在浅型湖泊中风场和湖流作用下,各种颗粒物



长,多样性迅速增加,出现了很多秋季衰亡期没有的种类。这些结果表明蓝藻群落在时间上存在快速的演替。

本研究结果还显示太湖蓝藻群落多样性在季节上的差异大于空间上的差异,这也在一定程度上说明了,在太湖这个富营养化湖泊中,温度、光照等气候因子对蓝藻群落多样性的影响大于营养盐对其的影响。这与 Grover J P<sup>[30]</sup> 和陈宇炜<sup>[31]</sup> 等人的结果一致,即温度是驱动温带和亚热带湖泊藻类群落更替的主要因子。

T-RFLP 技术可以用于研究太湖蓝藻群落的基因组成和动态变化。本研究共得到 87 个 T-RFs,每一种 T-RF 均出现在两个以上样品中,没有发现仅存在一个样品中的特殊峰。运用毛细管电泳装置对 T-RF 的检测灵敏度可达 1.25bp<sup>[32]</sup>,相比 DGGE 等其他分子生物学技术,具有更高的分辨率。而且,毛细管电泳装置一次可以点 96 个样,对于大范围长时间尺度的微生物群落结构研究具有很好的应用性。

此外,值得指出的是,本研究所用的引物的局限性和 PCR 扩增的非特异性,扩增的产物中可能夹杂少量细菌和叶绿体 DNA<sup>[12]</sup>。另外,由于检测手段的局限性,以及由于 DNA 提取、PCR 扩增等实验过程中产生的偏倚性<sup>[33-34]</sup>,T-RFLP 可能无法完全揭示环境样品中蓝藻的多样性。同时,有研究表明,不同物种的 16S rDNA 序列进行限制性酶切有可能得到相同的 T-RF,所以为了了解每个 T-RF 所代表的物种,还需要结合克隆文库<sup>[35-36]</sup>或者核酸杂交<sup>[37]</sup>等方法进一步分析。

致谢:阳振、季健、李大命、余涛帮助采集野外样品,宋立荣研究员对文章写作给予帮助,特此致谢。

## References:

- [ 1 ] Kong F X, Gao G. Hypothesis on cyanobacteria bloom-forming mechanism in large shallow eutrophic lakes. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 589-595.
- [ 2 ] Song X L, Liu Z W, Pan H K, Yang G J, Chen Y W. Phytoplankton community structure in Meiliang Bay and Lake Wuli of Lake Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(6): 643-651.
- [ 3 ] Tan X, Kong F X, Zeng Q F, Qian S Q, Zhang M. Seasonal variation of *Microcystis* community in Taihu Lake. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25 (1): 47-52.
- [ 4 ] Zwart G, Kamst-van Agterveld M P, van der Werff-Staverman I, Hagen F, Hoogveld H L, Gons H J. Molecular characterization of cyanobacterial diversity in a shallow eutrophic lake. *Environmental Microbiology*, 2005, 7(3): 365-377.
- [ 5 ] Taton A, Grubisic S, Brambilla E, de Wit R, Wilmette A. Cyanobacterial diversity in natural and artificial microbial mats of Lake Fryxell (McMurdo dry valleys, antarctica): a morphological and molecular approach. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69 (9): 5157-5169.
- [ 6 ] Engebretson J J, Moyer C L. Fidelity of select restriction endonucleases in determining microbial diversity by terminal-restriction fragment length polymorphism. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69 (8): 4823-4829.
- [ 7 ] Moeseneder M M, Arrieta J M, Muyzer G, Winter C, Herndl G J. Optimization of terminal-restriction fragment length polymorphism analysis for complex marine bacterioplankton communities and comparison with denaturing gradient gel electrophoresis. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, 65 (8): 3518-3525.
- [ 8 ] Osborn A M, Moore E, Timmis K N. An evaluation of terminal-restriction fragment length polymorphism (T-RFLP) analysis for the study of microbial community structure and dynamics. *Environmental Microbiology*, 2000, 2 (1): 39-50.
- [ 9 ] Lueders T, Friedrich M W. Evaluation of PCR amplification bias by terminal restriction fragment length polymorphism analysis of small-subunit rRNA and mcrA genes by using defined template mixtures of methanogenic pure cultures and soil DNA extracts. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69 (1): 320-326.
- [ 10 ] Lukow T, Dunfield P F, Liesack W. Use of the T-RFLP technique to assess spatial and temporal changes in the bacterial community structure within an agricultural soil planted with transgenic and non-transgenic potato plants. *FEMS Microbiology Ecology*, 2000, 32 (3): 241-247.
- [ 11 ] Zhou J Z, Brunsm A, Tiedje J M. DNA Recovery from soils of diverse composition. *Applied and Environmental Microbiology*, 1996, 62 (2): 316-322.
- [ 12 ] Kim J B, Moon M S, Lee D H, Lee S T, Bazzicalupo M, Kim C K. Comparative analysis of Cyanobacterial communities from polluted reservoirs in Korea. *The Journal of Microbiology*, 2004, 42 (3): 181-187.
- [ 13 ] Martin-Laurent F, Philippot L, Hallet S, Chaussod R, Germon J C, Soulas G, Catroux G. DNA extraction from soils: old bias for new microbial diversity analysis methods. *Applied and Environmental Microbiology*, 2001, 67 (5): 2354-2359.
- [ 14 ] Kousuke I, Manabu F. Optimization of annealing temperature to reduce bias caused by a primer mismatch in multitemplate PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, 2004, 67 (8): 3753-3755.
- [ 15 ] Egert M, Friedrich M W. Formation of pseudo-terminal restriction fragments, a PCR-related bias affecting terminal restriction fragment length polymorphism analysis of microbial community structure. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69 (5): 2555-2562.
- [ 16 ] Boucher D, Jardillier L, Debroas D. Succession of bacterial community composition over two consecutive years in two aquatic systems; a natural lake and a lake-reservoir. *FEMS Microbiology Ecology*, 2006, 55 (1): 79-97.

- [17] Muylaert K, van der Gucht K, Vloemans N, Meester L D, Gillis M, Vyverman W. Relationship between bacterial community composition and bottom-up versus top-down variables in four eutrophic shallow lakes. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, 68(10): 4740-4750.
- [18] Hammer, Harper D A T, Ryan D P. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 2001, 4(1): 1-9. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).
- [19] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 1993, 18(1): 117-143.
- [20] Ji J. The spatio-temporal variations of the over-winter cyanobacterial in Taihu Lake. Dissertation Submitted to the Graduate School of Chinese Academy of Sciences for the Master Degree, 2009.
- [21] Qin B Q, Hu W P, Chen W M, eds. *Process and Mechanism of Environmental Changes of the Taihu Lake*. Beijing: Science Press, 2004. 248-313.
- [22] Hu W P, J rgensen S E, Zhang F B. A vertical-compressed three-dimensional ecological model in Lake Taihu, China. *Ecological Modeling*, 2006, 190(4): 367-398.
- [23] Wu X D. Studies on the critical process of cyanobacteria bloom fromation and forecast of bloom of Taihu Lake. Dissertation Submitted to the Graduate School of Chinese Academy of Sciences for the Doctor Degree, 2008.
- [24] Zhu G W, Qin B Q, Gao G. Direct evidence of phosphorus outbreak release from sediment to overlying water in a large shallow lake caused by strong wind wave disturbance. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(1): 66-71.
- [25] Lü J, Wu H J, Ma X L, Cheng L F. Canonical correspondence analysis between Cyanophyta and environmental factors for lakes in Wuhan. *Ecology and Environment*, 2008, 17(2): 515-519.
- [26] Zhu Y C, Cai Q M. Study on a three-dimensional model for the migration of algae in Meiliang bay, Taihu Lake//Cai Q M. *Ecology of Taihu Lake*. Beijing: China Meteorological Press, 1998: 169-178.
- [27] Chen Y W, Qin B Q, Teubner K, Dokulil M T. Long-term dynamics of phytoplankton assembles: *Microcystis*-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China. *Journal of Plankton Research*, 2003, 25(4): 445-453.
- [28] Yan Q Y, Yu Y H, Zhang W J. The DNA polymorphism of plankton community and eutrophication in Lake Donghu, Wuhan. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 461-465.
- [29] Li Q X, Tao J H. Evaluation of eutrophication in sea area using phytoplankton community structure index. *China Environmental Science*, 1999, 19(6): 548-551.
- [30] Grover J P, Chrzanowski T. Seasonal dynamics of phytoplankton in two warm temperate reservoir; association of taxonomic composition with temperature. *Journal of Plankton Research*, 2005, 27(10): 1-17.
- [31] Chen Y W, Qin B Q, Gao X Y. Prediction of blue-green algae bloom using stepwise multiple regression between algae & related environmental factors in Meiliang bay, Lake Taihu. *Lake Science*, 2001, 13(1): 63-71.
- [32] Engebretson J J, Moyer C L. Fidelity of select restriction endonucleases in determining microbial diversity by terminal restriction fragment length polymorphism. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(8): 4823-4829.
- [33] Head M, Saunders J R, Pickup R W. Microbial evolution, diversity, and ecology: A decade of ribosomal RNA analysis of uncultivated microorganisms. *Microbial Ecology*, 1998, 35(1): 1-21.
- [34] Nocker A, Burr M, Camper A K. Genotypic microbial community profiling: a critical technical review. *Microbial Ecology*, 2007, 54(2): 276-289.
- [35] Gonzalez J M, Simo R, Massana R, Covert J S, Casamayor E O, Pedros-Alio C, Moran M A. Bacterial community structure associated with a dimethylsulfoniopropionate-producing north Atlantic algal bloom. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000, 66(10): 4237-4246.
- [36] Derakshani M, Lukow T, Liesack W. Novel bacterial lineages at the (sub) division level as detected by signature nucleotide-targeted recovery of 16S rRNA genes from bulk soil and rice roots of flooded rice microcosms. *Applied and Environmental Microbiology*, 2001, 67(2): 623-631.
- [37] Horz H P, Rothauwe J H, Lukow T, Liesack W. Identification of major subgroups of ammonia-oxidizing bacteria in environmental samples by T-RFLP analysis of *amoA* PCR products. *Journal of Microbiological Methods*, 2000, 39(3): 197-204.

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 宋晓兰, 刘正文, 潘宏凯, 杨桂军, 陈宇伟. 太湖梅梁湾与五里湖浮游植物群落的比较. *湖泊科学*, 2007, 19(6): 643-651.
- [3] 谭啸, 孔繁翔, 曾庆飞, 钱善勤, 张民. 太湖中微囊藻群落的季节变化分析. *生态与农村环境学报*, 2009, 25(1): 47-52.
- [20] 李健. 太湖越冬蓝藻时空分布研究. 中国科学院硕士论文, 2009.
- [21] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民编著. *太湖水环境演化过程与机理*. 北京: 科学出版社, 2004: 248-313.
- [23] 吴晓东. 蓝藻水华形成的关键过程研究及太湖蓝藻水华的预报. 中国科学院博士论文, 2008.
- [24] 朱广伟, 秦伯强, 高光. 风浪扰动引起大型浅水湖泊内源磷暴发性释放的直接证据. *科学通报*, 2005, 50(1): 66-71.
- [25] 吕晋, 郭红娟, 马学礼, 程来峰. 武汉市湖泊蓝藻分布影响因素分析. *生态环境*, 2008, 17(2): 515-519.
- [26] 朱永春, 蔡启铭. 太湖梅梁湾三维藻类迁移模型研究//蔡启铭主编. *太湖环境生态研究(一)*. 北京: 气象出版社, 1998: 169-178.
- [28] 颜庆云, 余育和, 张文静. 武汉东湖浮游生物群落 DNA 多态性与富营养化. *生态学报*, 2005, 25(3): 461-465.
- [29] 李清雪, 陶建华. 应用浮游植物群落结构指数评价海域富营养化. *中国环境科学*, 1999, 19(6): 548-551.
- [31] 陈宇伟, 秦伯强, 高锡云. 太湖梅梁湾藻类及相关环境因子逐步回归统计和蓝藻水华的初步预测. *湖泊科学*, 2001, 13(1): 63-71.

CONTENTS

|                                                                                                                                                                                     |                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Spatial pattern analysis of a <i>Rhododendron-Abies</i> virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China                                       | MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al ( 1 )         |
| Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest                                                                       | LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wande, et al ( 10 )      |
| Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake                                     | GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al ( 21 )      |
| Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China                                                                               | FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al ( 31 )  |
| Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi                                                                                      | LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al ( 39 )       |
| Property of root distribution of triploid <i>Populus tomentosa</i> and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme                               | XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al ( 47 )             |
| Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River                                                        | LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al ( 58 )          |
| Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty                                        | YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al ( 67 )   |
| Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>                                            | YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al ( 75 )          |
| Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of <i>Lithocarpus glabra</i> and <i>Castanopsis sclerophylla</i>                                                    | LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al ( 82 )             |
| Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf                                                                                            | SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua ( 90 )             |
| Growing dynamic root system of <i>Aquilaria malaccensis</i> and <i>Aquilaria sinensis</i> seedlings in response to different fertilizing methods                                    | WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al ( 98 )         |
| Accumulation and tolerance of <i>Salix variegata</i> and <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to cadmium                                                                          | JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al ( 107 )      |
| Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China          | ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al ( 115 ) |
| Relationship between temperature and $\delta^{13}\text{C}$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China                       | LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al ( 123 )      |
| Carbon dynamics of fine root ( grass root ) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands         | RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al ( 137 )         |
| Prey biomass of the Amur tiger ( <i>Panthera tigris altaica</i> ) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China                                                    | ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi ( 145 )         |
| The impact of conservation projects on giant Panda Habitat                                                                                                                          | ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing ( 154 )            |
| Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment                                                                                    | GAO Meixiang, ZHANG Xueping ( 164 )                     |
| Comparative of feeding behaviors of <i>Sitobion avenae</i> , <i>Sitobion graminum</i> and <i>Rhopalosiphum padi</i> (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG) | MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al ( 175 )         |
| Toxic effects of <i>ent</i> -kaurane diterpenoids on soil ciliate communities                                                                                                       | NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun ( 183 )          |
| Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of <i>Dendroctonus valens</i> population                                                             | PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al ( 195 )         |
| Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi                                                                                       | WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al ( 203 )     |
| Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland                                   | LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al ( 212 )   |
| The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years                                                                             | LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin ( 221 )        |
| Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county                                               | XIE Hualin, LI Xiubin ( 230 )                           |
| Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China                                          | YANG Zhen ( 239 )                                       |
| Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province                                                              | WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al ( 247 )     |
| Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area                                                         | LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al ( 257 )            |
| <b>Review and Monograph</b>                                                                                                                                                         |                                                         |
| Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion                                                              | LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie ( 267 )                       |
| Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States                                                                                                  | ZHANG Chengliang, B. Larry Li ( 276 )                   |
| Managing farmland soil food web: principles and methods                                                                                                                             | CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al ( 286 )     |

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<br>Order | 期刊 Journal                              | 总被引频次<br>Total citation | 排序<br>Order | 期刊 Journal    | 影响因子<br>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<br>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 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 1 2011

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>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<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                         | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                 |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717                                                                       | Published by    | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                        |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail:journal@cspg.net                          | Distributed by  | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel:(010)64034563<br>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<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China                                                                                      |
| 广告经营<br>许 可 证 | 京海工商广字第 8013 号                                                                                                     |                 |                                                                                                                                                                                 |

