

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

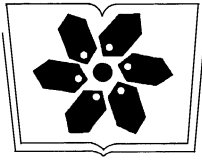
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

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 32 卷 第 7 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架	孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应	李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II) 和 Cd(II) 的生物吸附及其影响因素	姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应	韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法	施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例	 赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价	白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理	 王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究	 何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布	张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响	王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响	金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期	 徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化	王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响	高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响	朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)
丛枝菌根真菌对枳根净离子流及锌污染下枳苗矿质营养的影响	肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响	杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态	刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献	周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局	陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性	郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究	 徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

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

DOI: 10.5846/stxb201107251096

邓培雁, 雷远达, 刘威, 黄少锋, 王旭涛, 赵彦龙. 桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素. 生态学报, 2012, 32(7): 2196-2203.

Deng P Y, Lei Y D, Liu W, Huang S F, Wang X T, Zhao Y L. Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2196-2203.

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素

邓培雁^{1,*}, 雷远达¹, 刘威², 黄少锋², 王旭涛², 赵彦龙²

(1. 华南师范大学化学与环境学院, 广州 510631; 2. 珠江流域水环境监测中心, 广州 510611)

摘要:研究了桂江流域水质、土地利用、地理因素对河流附生硅藻群落的影响。结果显示, 桂江流域电导率 (Conductivity, Cond.) 由下游至源头呈降低趋势, 其它水质参数变化趋势不明显。主成分分析 (Principle Component Analysis, PCA) 显示前两个主成分共解释了 56.2% 的水质特征, 第一轴反映了氨氮 (NH₄-N)、硝氮 (NO₃-N)、总氮 (Total Nitrogen, TN) 的变化梯度, 第二轴反映了水温 (WT)、pH、Cond.、溶解氧 (Dissolve Oxygen, DO) 的变化梯度。桂江流域硅藻特定污染敏感指数 (Specific PolluoSensitivity Index, IPS) 和硅藻生物指数 (Biological Diatom Index, IBD) 下游低于源头, 差异不显著, 与多项水质、土地利用以及地理因子呈线性显著相关。24 个样地共发现 112 种硅藻, 丰富度大于 5% 的 37 种, 丰富度最大的几个种类依次为 *Achnanthes minutissimum*, *A. pusilla*, *A. tropica*, *Cymbella laevis*。对应分析 (Corresponding Analysis, CA) 显示桂江流域存在 3 个差异较大的硅藻群落, 流域下游以 *Nitzschia recta* 为优势种, *A. lanceolata*, *Amphora montana*, *Planorbulina frequentissima* 在中下游丰度较高, 上游区域种类较多。典型相关分析 (Canonical Correspondence Analysis, CCA) 排序前两轴解释了硅藻群落变异程度的 28.60%, CCA 排序轴 1 与水质 (Cond.、WT、NH₄-N、NO₃-N、TN) 和土地利用 (城市面积、农田面积、植被覆盖) 显著负相关, 与地理因素 (流域面积、海拔、坡度) 显著正相关, 第二轴与浊度 (NTU) 显著正相关 ($P < 0.05$)。偏典型相关分析 (Partial CCA Analyses) 显示, 土地利用、地理因子、水质分别解释了桂江流域硅藻群落变异的 7.20%、17.50%、48.50%。结果表明, 桂江流域附生硅藻群落结构是水质、地理因子和土地利用共同作用的结果, 水质起决定性作用, 电导和不同形态的氮是影响附生硅藻群落结构的主要水质因素。

关键词: 桂江流域; 硅藻; 典型对应分析; 主成分分析

Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors

DENG Peiyan^{1,*}, LEI Yuanda¹, LIU Wei², HUANG Shaofeng², WANG Xutao², ZHAO Yanlong²

1 Institute of Environmental Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China

2 Environmental Monitoring Center of Pearl River Basin, Guangzhou, 510611, China

Abstract: The distribution pattern of epilithic diatoms in the Gui River basin in relation to water quality, land use and topography was investigated by principal component analysis (PCA), corresponding analysis (CA), canonical correspondence analysis (CCA) and partial CCA. Twenty-four sites were sampled throughout the basin, ranging from the mainstream to first order streams. The data indicated that electrical conductivity (EC) increased from upstream to downstream, while other water quality parameters varied across wide ranges. A total of 112 diatom taxa were found in the basin, but only 37 taxa or more were observed in more than 5% of the samples. The most abundant species were *Achnanthes minutissimum*, *A. pusilla*, *A. tropica* and *Cymbella laevis*, in order of abundance. Three different groups of

基金项目: 公益性行业科研专项 (201001021); 水利部“948”引进项目 (201007); 国家自然科学基金资助项目 (30700111); 国家重大科技专项 (2009ZX07211-009)

收稿日期: 2011-07-25; 修订日期: 2012-02-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dpy213@126.com

taxa were identified, located in the headwater, middle and lowland zones of basin. *Nitzschia recta* was the dominant species in the lowland zone, *A. lanceolata*, *Amphora montan*, and *Planothidium frequentissimum* were more abundant in the middle zone, while high species diversity was typical of the headwaters. Biological Diatom Index (IBD) and specific PolluoSensitivity Index (IPS) were significantly related to many parameters including Chl. a, $\text{NH}_4\text{-N}$, altitude, sub-basin catchment area and land use. The first two Principal component analysis axes explained 56.20% of the water quality variance, with the first axis significantly related to $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and TN, and the second axis significantly related to water temperature, pH, EC and dissolved oxygen (DO). The first two Canonical correspondence analysis (CCA) axes collectively explained 28.60% of the species-environment variation. The first CCA axis was significantly positively related to water quality (EC, temperature, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, and TN), significantly negatively related to land use (areas of urban, agriculture and forest), and significantly positively related to topography (basin areas, altitude and slope). The second two CCA axes were significantly positively related to turbidity. Partial CCA analyses showed that water quality explained a high proportion (48.50%) of the variance, while land use and topographic factors explained 7.20% and 17.50% of the variance respectively. The results indicated that the distribution of diatom assemblages in the Gui River basin was strongly related to water quality parameters, as expected, but was also sensitive to land use and topography.

Key Words: Gui River basin; epilithic diatom; canonical correspondence analysis; principal component analysis

由于河流附生硅藻对富营养化、酸碱度、重金属等环境因子反应灵敏,能够综合体现各种环境因素所产生的联合生态效应^[1-3],20世纪70年代至今,世界各国形成了10余种河流附生硅藻评价指数,包括硅藻生物指数(Biological Diatom Index,IBD),硅藻营养化指数(Trophic Diatom Index,TDI),斯雷德切克指数(Sládeček's Index,SLA),特定污染敏感指数(Specific Polluosensitivity Index,IPS),硅藻属指数(Generic Diatom Index,IDG),戴斯指数(Descy Index,DESCY)和欧盟硅藻指数(European Economic Community Index,CEE)^[4-6]。欧盟广泛应用了IPS和IBD^[6],用来监测和评价一个水域的生物质量及时空变化等。同时,欧盟水框架还将硅藻群落相对于参考点的变异程度作为维持或恢复良好水生态系统的标准以及水生态系统评价的重要组成部分^[7],这种方法在美国也得到广泛应用^[8]。

目前,我国河流水质监测仍然限于物化监测,发展河流硅藻生物监测与评价技术对于我国水资源管理、水生态保护与恢复具有重要的借鉴意义。但是,无论是硅藻指数,或者硅藻群落除受水质影响外,还与海拔、地质、土地利用等环境因素密切相关^[9],使用附生硅藻评价河流生态质量也就具有一定的局限性,需要澄清各种因素对河流附生硅藻影响的特征。

典型相关分析(Canonical Correspondence Analysis,CCA)是研究硅藻群落影响因素的常用手段,它能够区分多种因素对硅藻群落影响的大小。CCA是基于对应分析(Corresponding Analysis,CA)发展而来的一种独特的排序方法,将对应分析与多元回归分析相结合,每一步计算均与环境因子进行回归,其排序结果能同时显示采样点、生物种类和环境因子三者之间的关系。

桂江流域孕育了美丽的桂林山水,形成了百里漓江“水绕青山山绕水,山浮绿水水浮山”的世间美景。但由于人为干扰等多方面因素,桂江面临水质恶化,断流等一系列的水生态环境问题。本文以桂江流域为示范区,研究了水质、土地利用、地理因素对河流附生硅藻群落变异以及硅藻IBD、IPS指数的影响,以期为我国发展河流硅藻生物监测技术提供理论与实践参考。

1 材料与方法

1.1 桂江流域概况及采样点

桂江流域面积18790 km²,桂江为其干流,发源于广西兴安县猫儿山北,经漓江、桂江,在梧州汇入西江干流浔江段,全长438km,右岸支流有甘棠江、相思江、金宝河、荔浦河,左岸支流有恭城河、思勤河、富群江。恭城河较大,河长170km,其次为荔浦河,河长92km。

共设置 25 个样地(图 1),由于样地 No. 23 超出了流域范围,实际数据有效点 24 个, No. 24、No. 25 位于桂江源头, No. 1 为桂江的最下游,梧州市境内。No. 1、No. 2、No. 5、No. 8、No. 13、No. 15、No. 18 为桂江干流,其余采样分别位于一、二级支流。

采样点海拔高度、坡度、降雨、子流域面积,农田面积、城市面积、植被覆盖面积(Vegetation area, VA)通过地理信息系统分析得到。

1.2 采样方法

硅藻采样基质为能抵抗水流、地势开阔处无树荫遮挡的大石,牙刷刷取,每个采集点至少采集 5 块石头,混合样甲醛固定。现场测得水体 pH 值(pH)、电导率、溶解氧、水温、浊度等。水体叶绿素(Chl. a)、亚硝酸盐氮($\text{NO}_2\text{-N}$)、氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸盐氮($\text{NO}_3\text{-N}$)、总氮(Total nitrogen, TN)、总磷(Total phosphorus, TP)、铜、镉、铅、铬、锌、砷依据《水与废水监测分析方法》^[10]采集、保存及测定。

1.3 硅藻镜检与计数

硅藻样品 H_2O_2 消解, Naphrax (RI = 1.74) 封片, 100×油镜下检出,视野内破损面积不超过 1/4 的硅藻都要鉴定和计数,计数总数大于 400。硅藻种类鉴定根据 Krammer 和 Lange-Bertalot 鉴定体系(1986—1991 年)^[11]。

1.4 数据处理

CCA 排序中,剔除丰度小于 5% 的种类以减少偶见种的影响,物种数据进行 $\log(x+1)$ 的处理,环境数据进行均值为 0,方差为 1 的标准化处理,应用 Canoco 4.5 软件分析,做出物种与环境因子的双序图。硅藻指数 IPS、IBD 使用 OMNIDIA(3.2)软件计算,显著性相关分析采用简单的 Pearson 线形相关因子表示,SPSS(Vision 11)软件包计算。

2 结果

2.1 流域采样点水质特征

桂江流域电导率由下游至源头降低趋势明显(图 2),其它水质参数变化范围广泛,变化趋势不明显。水质主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)显示,前两主成分共解释了 56.20% 的方差,第一轴(PC1, 31.89% 变量因子载荷)反映了不同形态氮($\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TN)的变化梯度,第二轴(PC2, 24.32% 变量因子载荷)反映了水温、pH、电导率、溶解氧的变化情况。

2.2 硅藻种类

24 个样地共发现 112 种硅藻,丰富度大于 5% 的 37 种。*Achnantheidium minutissimum* 丰富度最高,其次为 *A. pusilla*, *A. tropica*, *Cymbella laevis*。下游至源头硅藻指数 IPS、IBD 变化趋势不明显(图 3)。硅藻指数 IPS、IBD 与多项水质、土地利用以及地理因子呈线性显著相关(表 1)。

对应分析(Correspondence Analysis, CA)显示出 3 个差异较大的硅藻群落(图 4),种 33(*Nitzschia recta*) 在采样点 No. 1(望村)中相对丰度较高,该点位于桂江流域的最下游。种 2(*Achnanthes lanceolata*)、3(*Amphora montana*)、36(*Planothidium frequentissimum*)在中下游的样地中相对丰度较高。分布在原点附近的几个样地,

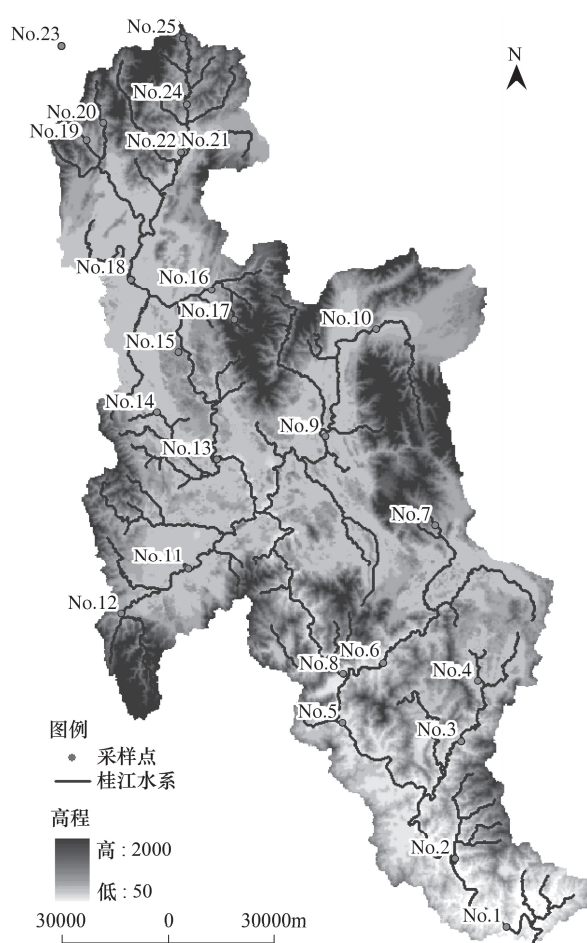


图 1 桂江流域采样位置图

Fig. 1 The sampling sites located in Gui river Basin

它们大多位于上游区域,承受来自城市或农业生产的污染都相对比较少,硅藻群落的物种丰富度比较高。CA 第 1 轴、第 2 轴共解释了硅藻种类累积变化率的 24.80%。

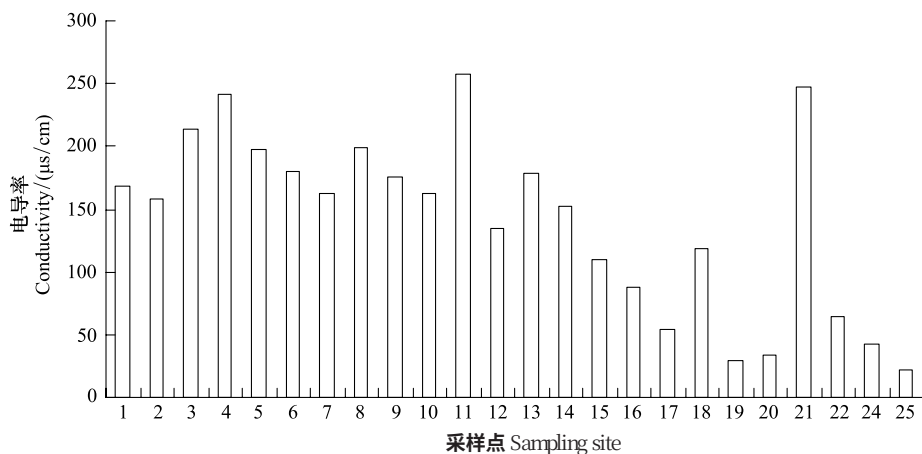


图 2 采样点电导率变化趋势

Fig. 2 The water conductivity trend of sampling sites

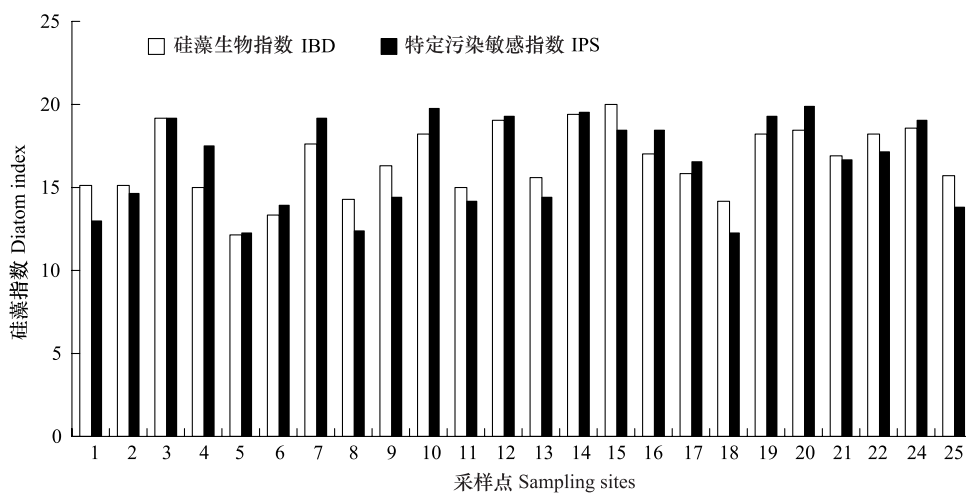


图 3 采样点硅藻指数变化趋势

Fig. 3 The diatom index trends of sampling sites

2.3 硅藻种类与环境因子对应关系的 CCA 分析

DCA 显示硅藻群落梯度长度为 2.29, 大于 2, 表明桂江流域硅藻群落对生态梯度的响应是非线性的, 因此利用非线性响应模型 (CCA) 来分析环境因子对硅藻群落的影响是比较适宜的。CCA 分析的前两轴特征值分别为 0.37 和 0.32, 种类与环境因子排序轴的相关系数达到 0.99 和 0.98, 说明排序图很好地反映了硅藻与环境因子之间的关系 (表 2)。CCA 排序的前两轴解释了硅藻群落变异程度的 28.60%, 轴 1 与水质 (电导率、水温、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TN) 和土地利用 (UA、AA、VA) 显著负相关, 与地理因素 (DA、Alt、Slo) 显著正相关, 而第二轴只与浊度 (NTU) 显著正相关 (表 3, 图 5)。

2.4 偏 CCA 分析

偏 CCA 显示 17 个变量的总特征值为 2.60, 共同解释的方差为 93.00% (2.41/2.60), 土地利用单独解释了 7.20% (0.19/2.60), 地理因子 17.50% (0.46/2.60), 水质因子 48.50% (1.26/2.60)。

3 讨论

CCA 显示桂江流域硅藻群落是水质、地理因子和土地利用共同作用的结果, 在西班牙 Guadiana 和 Catalan

等河流研究中也与有相同的结论^[12-16]。桂江流域河流电导率从源头至河口有增大趋势, Urrea 和 Sabater^[12]发现硝氮随着水体电导率从河流源头至河口依次增加。Leand 和 Porter^[14], Sabater 和 Sabater^[15]发现河流中铁离子浓度的增加伴随有营养盐的升高。Sabater 和 Roca^[16]发现硅藻群落随着铁离子浓度的变化而变化。Potapova 和 Charles^[17]在大量数据分析的基础上认为硅藻群落的变化是水体电导率和营养盐综合效应的结果。本研究中,CCA 排序轴 1 与电导、NH₄-N、NO₃-N、TN 显著相关,可能也反映了该区域硅藻群落是水体电导率和营养盐综合作用的结果。

海拔是影响桂江流域硅藻群落的重要地理因素之一。目前的研究认为海拔通过栖息环境的分异(包括植被、土壤类型、河流形态和水文特征等)^[18],以及水质的差异^[13,19]而导致硅藻群落的变化。*G. olivaceum* 在河流下游丰富度较高^[20],也被认为是海拔影响的指示^[13]。本文中,*G. olivaceum* 是样地 1 的优势种,可能也显示了海拔的影响。

城市和农业面积大小是作用于桂江流域附生硅藻的重要土地利用因素。桂江流域 3 个差异较大的硅藻群落,依次位于桂江上游以及流域的东西两侧,中下游以及下游。上游以及流域的东西两侧,人迹罕至,水生生态保护良好,中下游地区农业发达、下游位于梧州市区,河流干扰强度最大,3 个差异较大的硅藻群落依次体现了土地利用方式的不同。在美国爱达荷州^[21]、西班牙的亚纳河^[12]的研究中也显示城市和农业面积对河流附生硅藻群落影响显著,Karr^[22]等认为城市和农业发展会改变原有河流自然环境、水流方向、能量流动以及水体化学物质,从而作用于硅藻群落。

偏 CCA 显示河流水质相对于地理因子和土地利用对桂江附生硅藻影响更大^[13], Urrea 和 Sabater^[12] 及 Leira 和 Sabater^[13] 也得出过相同的论断。Stevenson^[23]认为在大流域尺度上,地理因子、土地利用方式都以水质为介质对硅藻群落起决定作用。

根据 van^[24]对硅藻生态类群的划分,*A. pusilla*、*A. tropica*、*Cocconeis placentula*、*G. minutum*、*G. parvulum* 这几个优势种类,它们更喜好生活在溶解氧高,有机污染负荷程度低,营养水平较低的环境中。*A. lanceolata*、*Amphora montana*、*Planothidium frequentissimum* 属于 α -中污染性与强污染性种类,能够忍受较高的有机污染物。本文 CA 显示以上种类的分布符合实际情况,因此,这些种类体现了水质电导和不同形态的氮作用的结果。*A. minutissimum* 多认为是污染水体的指示种^[24], ZsmPELLA^[25]则认为该种对水体环境并不敏感,无论是否受到农业污染都有可能成为研究区域的优势种。本文水体浑浊度也是影响硅藻群落的重要水质因素,可能是影响了硅藻的光合作用而对硅藻空间分布产生影响。

表 1 桂江流域硅藻指数与水质、土地利用及地理因素的 Pearson 相关系数($n=24$)

Table 1 The Pearson Correlative coefficients among diatom index and water quality, land use and geology factors of the sampling sites in Gui river Basin ($n=24$)

参数 Parameters	IPS	IBD
叶绿素 CHL. a	-0.432 *	-0.440 *
铵氮 NH ₄ -N	-0.441 *	-0.480 *
海拔 Altitude	-0.635 **	-0.628 **
子流域面积 Subbasine area	-0.615 **	-0.621 **
植被覆盖面积 Vegetation area	-0.611 **	-0.666 **
湿地面积 Wetland area	-0.555 **	-0.617 **
农田面积 Agrarian area	-0.610 **	-0.652 **
城市面积 Urban area	-0.667 **	-0.732 **

* 和 * * 表示相关性达显著和极显著水平 $P=0.05$, $P=0.01$;
IPS: 硅藻特定污染敏感指数 Specific PolluoSensitivity Index; IBD: 硅藻生物指数 Biological Diatom Index

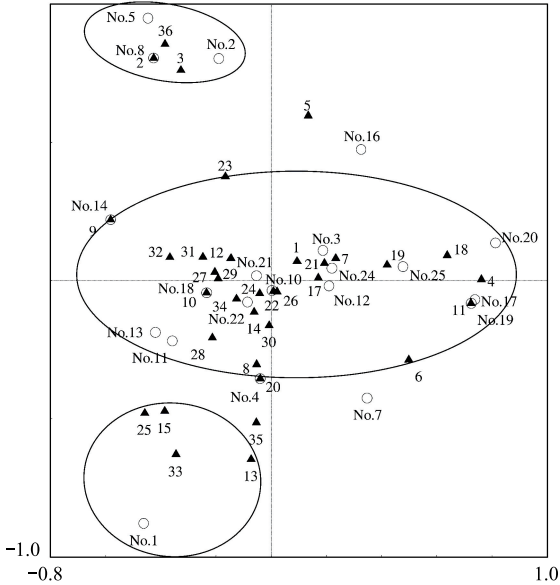


图 4 样地与硅藻种类的对对应分析(圆圈为样地,三角为硅藻种类)

Fig. 4 The Locations in ordination space (correspondence analysis, CA) of the first and second axis of samples and diatom taxa (circle and triangle represent the sampling sites and diatom taxa, respectively)

表 2 排序轴特征值、种类与环境因子排序轴的相关系数

轴 Axes	1	2	3	4
特征值 Eigenvalues	0.37	0.32	0.25	0.24
种类-环境相关性 Species-environment correlations	0.99	0.98	0.99	0.97
物种数据累积变化百分率 Cumulative percentage variance of species data/%	12.60	23.30	31.90	40.00
物种-环境关系累积变化百分率 Cumulative percentage variance species-environment relation/%	15.40	28.60	39.10	49.00

表 3 各环境因子与两排序轴的相关性

Table 3 Correlation coefficients of environmental factors with the first two axes of CCA					
参数 Parameters	轴 Axis		参数 Parameters	轴 Axis	
	1	2		1	2
水温 Water Temperature	-0.46 *	0.02	子流域面积 Drainage area	-0.61 *	0.29
电导率 Conductivity	-0.65 *	0.06	植被面积 Vegetation area	-0.60 *	0.29
浑浊度 NTU	-0.29	0.56 *	农田面积 Agrarian area	-0.61 *	0.26
氨氮 NH ₄ -N	-0.48 *	0.12	城市面积 Urban area	-0.67 *	0.34
硝氮 NO ₃ -N	-0.46 *	0.18	海拔 Altitude	0.75 *	0.04
总氮 TN	-0.52 *	0.19	坡度 Slope	0.58 *	0.22

* 表示相关性达显著水平 $P<0.05$, 自由度 24, $n=24$

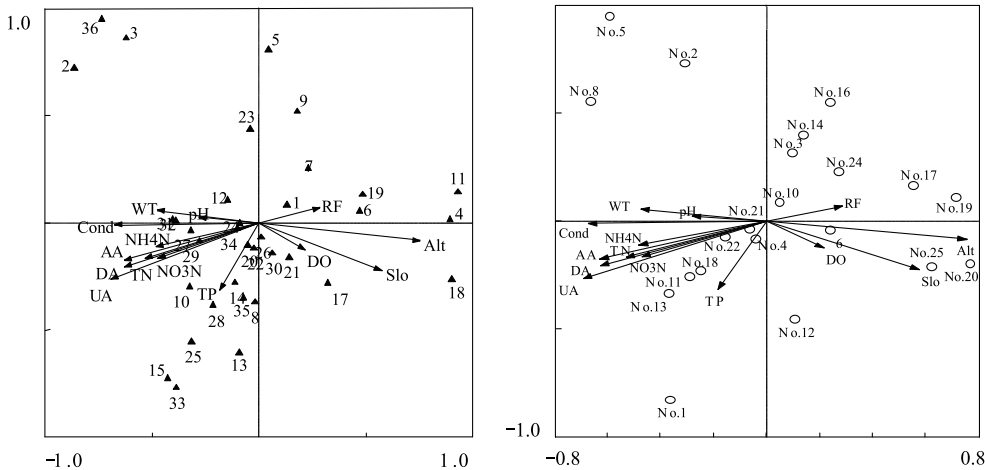


图 5 样地与硅藻种类的对对应分析图(圆圈为样地,三角为硅藻种类)

Fig 5 Canonical correspondence analysis (CCA) of diatom assemblages in stream of Gui River basin in the ordination space of first and second axis (circle and triangle represent the sampling sites and diatom taxa, respectively)

本文水质、地理因子和土地利用对硅藻指数和群落的影响结果不完全一致,比如 CCA 显示电导率和不同形态的氮对硅藻群落影响较大,但 Pearson 相关指数显示叶绿素和氨氮与 IPS 显著相关,这主要是 CCA 基于非线性的分析,Pearson 基于直线相关,但二者都显示出水质、地理因子和土地利用都对硅藻指数和硅藻群落有影响。欧盟使用硅藻指数或者群落变异来评价水体生物质量均以水生态分区为基础,相同的水生态分区内具有地理、水文、地质、以及植被等自然因素的高度一致性,依此才能辨识出人类干扰(例如土地利用)对水生生态系统的影响。孟伟^[24]强调了水生态分区对于我国开展水生态监测的重要性。

使用附生硅藻群落变异以及硅藻 IBD、IPS 指数来评价河流生物质量还存在许多不确定因素。比如,Leland^[14]观察到在磷浓度非常低的情况下才能使用硅藻群落来预测水体磷负荷,而高浓度磷引起的硅藻群落变异并不显著。Sabater^[27]的研究显示硅藻指数能够很好的指示重金属污染,但是对水体的恢复却并不敏

感。当人类对水体的干扰相对较小时,流速、温度、水质物化特征、河滨带等都会对硅藻群落以及指数产生综合的、复杂的生态效应^[13]。从湖泊和河流的研究结果看,由于水质、地理等环境因素大多只能解释 20%—30% 的硅藻群落变异,Soininen^[28]认为硅藻群落结构分布特征还很难予以澄清。以上不确定因素均增大了硅藻监测与评价技术应用的难度,这就需要加强对河流附生硅藻生理、生态学的基础研究。

References:

- [1] Battarbee R, Flower R J, Juggins S, Patrick S T, Stevenson A C. The relationship between diatoms and surface water quality in the Hoylandet area of Nord Trondelag, Norway. *Hydrobiologia*, 1997, 348: 69-80.
- [2] Kelly M G. Use of the trophic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Water Research*, 1998, 32: 236-242.
- [3] Van D H. Partial recovery of moorland pools from acidification: indications by chemistry and diatoms. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 1997, 30: 203-218.
- [4] Stevenson R J, Hashim S. Variation in diatom community structure among habitats in sandy streams. *Journal of phycology*, 1989, 25: 678-686.
- [5] Kelly M G, Penny C J, Whitton B A. Comparative performance of benthic indices used to assess river water quality. *Hydrobiologia*, 1995, 302: 179-188.
- [6] Prygiel J, Coste M. The assessment of water quality in the Artois-Picardie water basin (France) by the use of diatom indices. *Hydrobiologia*, 1993, 269/270: 343-349.
- [7] European Commission. Directive 2000/60/EC of The European Parliament and of the Council-Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. Belgium, Brussels, 2000, October, 23.
- [8] Hill B H, Herlihy A T, Kaufmann P R, Stevenson R J, McCormick F H, Johnson C B. Use of periphyton assemblage data as an index of biotic integrity. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19: 50-67.
- [9] Potapova M G, Charles D F. Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography*, 2002, 29: 167-187.
- [10] Ministry of Environment Protection of China. *Water and Waster Water analysis methods*. Beijing: China Environment Science Press, 2009. 200-415.
- [11] Krammer K, Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, 2000.
- [12] Urrea G, Sabater S. Epilithic diatom assemblages and their relationship to environmental characteristics in an agricultural watershed (Guadiana River, SW Spain). *Ecological Indicators*, 2009, 9: 693-703.
- [13] Leiraa M, Sabater S. Diatom assemblages distribution in catalan rivers, NE Spain, in relation to chemical and physiographical factors. *Water Research*, 2005, 39: 73-82.
- [14] Leland H V, Porter S D. Distribution of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use. *Freshwater Biology*, 2000, 44: 279-301.
- [15] Sabater S, Sabater F. Diatom assemblages in the River Ter. *Archiv für Hydrobiologie*, 1988, 111: 397-408.
- [16] Sabater S, Roca J R. Ecological and biogeographical aspects of diatom distribution in Pyrenean springs. *British Journal of Pharmacology*, 1992, 27: 203-213.
- [17] Potapova M G, Charles D F. Distribution of benthic diatoms in US rivers in relation to conductivity and ionic composition. *Freshwater Biology*, 2003, 48: 1311-1328.
- [18] Leland H V. Distribution of phytobenthos in the Yakima River basin, Washington, in relation to geology, land use, and other environmental factors. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1995, 52: 1108-1129.
- [19] Margalef R. 1960. Ideas for a synthetic approach to the ecology of running waters. *Internale Revue der Gesamten Hydrobiologie*, 1960, 45: 133-153.
- [20] Patrick R. Ecology of freshwater diatoms-diatom communities//Werner D, ed. *The Biology of Diatoms*. Blackwell, Oxford, 1977, pp. 284-322.
- [21] Fore L S, Grafe C. Using diatoms to assess the biological condition of large rivers in Idaho (U. S. A). *Freshwater Biology*, 2002, 47: 2015-2037.
- [22] Karr J R, Allan J D, Benke A C. River conservation in the United States and Canada. *Global Perspectives on River Conservation: Science, Policy, Practice*//P. J. Boon, B. R. Davies & G. E. Pett, eds. John Wiley, Chichester, UK. 2000: 3-39.
- [23] Stevenson R J. Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *Journal of the North American Benthological Society*, 1997, 16: 248-262.
- [24] Van D H, Mertens A, Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 1994, 28(1): 117-133.

- [25] Zampella R A, Laidig K J, Lowe R L. Distribution of diatoms in relation to land use and pH in blackwater coastal plain streams. *Environmental Management*, 2007, 39: 369-384.
- [26] Meng W, Zhang Y, Zheng B H. Aquatic ecological region approach and its application in China. *Advances in Water Science*, 2007, 18(2): 293-300.
- [27] Sabater S. Diatom communities as indicators of environmental stress in the Guadamar River, S-W Spain, following a major mine tailing spill. *Journal of Applied Phycology*, 2000, 12:113-124.
- [28] Soininen J. Environmental and spatial control of freshwater diatoms — a review. *Diatom Research*, 2007, 22: 473-490.

参考文献:

- [10] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法. 北京:中国环境科学出版社, 2009. 200-415.
- [24] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 水生态区划方法及其在中国的应用前景. *水科学进展*, 2007, 18(2): 293-300.

附表 1 硅藻种类及缩写

Appendix 1 Diatom species and abbreviation

编号 Number	缩写 abbreviation	拉丁文 Latin name	编号 Number	缩写 abbreviation	拉丁文 Latin name
1	ADMI	<i>Achnantheidium minutissimum</i>	20	EPER	<i>Eunotia pectinalis</i>
2	ALAR	<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>rostrata</i>	21	FBID	<i>Fragilaria bidens</i>
3	AMMO	<i>Amphora montana</i>	22	FCAP	<i>Fragilaria capucina</i>
4	APUS	<i>Achnanthes pusilla</i>	23	GCLE	<i>Gomphonema clevei</i>
5	ASAC	<i>Amphora subacutiuscula</i>	24	GMIN	<i>Gomphonema minutum</i>
6	ASCL	<i>Achnanthes saccula</i>	25	GOLI	<i>Gomphonema olivaceum</i>
7	ATRO	<i>Achnanthes tropica</i>	26	GPAP	<i>Gomphonema parvulum</i>
8	CAFF	<i>Cymbella affinis</i>	27	NAMP	<i>Nitzschia amphibia</i>
9	CLAE	<i>Cymbella laevis</i>			
10	CMEN	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	28	NCPR	<i>Navicula capitatoradiata</i>
11	CMES	<i>Cymbella mesiana</i>	29	NCRY	<i>Navicula cryptocephala</i>
12	CPLE	<i>Cocconeis placentula</i>	30	NCTE	<i>Navicula cryptotenella</i>
13	CTGL	<i>Cymbella turgidula</i>	31	NPAL	<i>Nitzschia palea</i>
14	CTRO	<i>Cymbella tropica</i>	32	NRCH	<i>Navicula reichardtiana</i>
15	DVUL	<i>Diatoma vulgaris</i>	33	NREC	<i>Nitzschia recta</i>
16	EBIL	<i>Eunotia bilunaris</i>	34	NSIT	<i>Nitzschia sinuata</i> var. <i>tabellaria</i>
17	EMIN	<i>Eunotia minor</i>	35	PBOR	<i>Pinnularia borealis</i>
18	ENGR	<i>Encyonema gracile</i>	36	PLFR	<i>Planothidium frequentissimum</i>
19	ENMI	<i>Encyonema minutum</i>	37	SLCO	<i>Surirella linearis</i>

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research	SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)
Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation	LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)
Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors	JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)
Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels	HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)
An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems	SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)
Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province	ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)
Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province	BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)
Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i>	WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)
Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China	HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau	ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)
Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification	LI Yilin (2066)
Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars	WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)
Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community	JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)
Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China	XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)
Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province	WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)
The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China	GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)
Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin	ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)
Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange (<i>Poncirus trifoliata</i>) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination	XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)
The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves	YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)
Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China	LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)
Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau	ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)
Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China	CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)
The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy	ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)
Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS	XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)
Early nitrogen deposition effects on CO ₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil	WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)
Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)
Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (<i>Cyprinus carpio</i>) in Xiaolangdi Reservoir	SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)
Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method	TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)
Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...	ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)
The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems	YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)
Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...	WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)
Review and Monograph	
Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change	WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)
Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i>	PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)
Discussion	
Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors	YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)
Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species	YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)
Scientific Note	
Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China	LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)
Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...	LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《生态学报》2012 年征订启事

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

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

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

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元