

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第4期 Vol.34 No.4 **2014**

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 34 卷 第 4 期 2014 年 2 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 富营养化湖泊溶解性有机碳生物可利用性研究进展 叶琳琳,孔繁翔,史小丽,等 (779)
- 黄河下游平原农业景观中非农生境植物多样性 卢训令,梁国付,汤 茜,等 (789)

个体与基础生态

- 锰胁迫对杠板归细胞超微结构的影响 王 钧,邬 卉,薛生国,等 (798)
- 不同渗氧能力水稻品种对砷的耐性和积累 吴 川,莫竞瑜,薛生国,等 (807)
- 弱光下水分胁迫对不同产地披针叶茴香幼苗生理特性的影响 曹永慧,周本智,陈双林 (814)
- 不同分枝数对桑树幼苗生长发育的影响 郇慧慧,胥 晓,刘 刚,等 (823)
- 斑膜合垫盲蝽若虫在国槐上的空间分布型及抽样技术 朱惠英,沈 平,吴建华,等 (832)
- 连作苹果园土壤真菌的 T-RFLP 分析 尹承苗,王功帅,李园园,等 (837)
- 棉隆对苹果连作土壤微生物及平邑甜茶幼苗生长的影响 刘恩太,李园园,胡艳丽,等 (847)
- 两株具有芫降解功能的植物内生细菌的分离筛选及其特性 孙 凯,刘 娟,李 欣,等 (853)

种群、群落和生态系统

- 温度对柑橘始叶螨实验种群生长发育繁殖的影响 李迎洁,王梓英,张国豪,等 (862)
- 高原鼠兔有效洞穴密度对青藏高原高寒草甸群落植物生态位的影响 贾婷婷,毛 亮,郭正刚 (869)
- 三工河流域琵琶柴群落特征与土壤因子的相关分析 赵学春,来利明,朱林海,等 (878)
- 岷江干旱河谷造林对土壤微生物群落结构的影响 王卫霞,罗 达,史作民,等 (890)
- 滩涂围垦和土地利用对土壤微生物群落的影响 林 黎,崔 军,陈学萍,等 (899)
- 福寿螺对稻田水生植物群落结构的影响 赵本良,章家恩,戴晓燕,等 (907)
- 4 种木本植物在潜流人工湿地环境下的适应性与去污效果 陈永华,吴晓芙,郝 君,等 (916)
- 基于静态箱式法和生物量评估海北金露梅灌丛草甸碳收支 李红琴,李英年,张法伟,等 (925)
- 初始 pH 值对碱性和酸性水稻土微生物铁还原过程的影响 吴 超,曲 东,刘 浩 (933)

景观、区域和全球生态

- 库姆塔格柽柳沙包年层稳定碳同位素与气候环境变化 张锦春,姚 拓,刘长仲,等 (943)

资源与产业生态

- 大棚甜瓜蒸腾规律及其影响因子 张大龙,常毅博,李建明,等 (953)
- 盐胁迫下荒漠共生植物红砂与珍珠的根茎叶中离子吸收与分配特征 赵 昕,杨小菊,石 勇,等 (963)
- 普通鹿蹄草品质与根际和非根际土壤的关系 耿增超,孟令军,刘建军 (973)

作物种植前后土壤有机质及养分因子的空间变异分析 方 斌,吴金凤 (983)

城乡与社会生态

城市河流健康评价指标体系构建及其应用 邓晓军,许有鹏,翟禄新,等 (993)

西藏生态足迹与承载力动态分析..... 安宝晟,程国栋 (1002)

研究简报

三峡库区岸坡消落带草地、弃耕地和耕地土壤微生物及酶活性特征 马 朋,李昌晓,雷 明,等 (1010)

盐胁迫对2种栎树苗期生长和根系生长发育的影响..... 王树凤,胡韵雪,孙海菁,等 (1021)

恒温和变温驯化对大蟾蜍蝌蚪热耐受性的影响 王立志 (1030)

学术信息与动态

国际生物土壤结皮研究发展态势文献计量分析..... 贺郝钰,侯春梅,迟秀丽,等 (1035)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 264 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2014-02



封面图说: 大蟾蜍蝌蚪群——大蟾蜍别名癞蛤蟆,体长达 10cm 以上,身体肥胖,四肢短,步态及齐足跳的姿势具特征性。其背部皮肤厚而干燥,通常有疣,呈黑绿色,常有褐色花斑,趾间具蹼。毒腺在背部的疣内,受惊后毒腺分泌或射出毒液。大蟾蜍早春在水中繁殖,可迁移至 1.5km 外或更远的适合繁殖的池塘,产卵量很大,产卵数天后蝌蚪即可孵出,1—3 个月后发育为蟾。大蟾蜍常作为实验动物或药用动物,其耳后腺和皮肤腺的白色分泌物可制成“蟾酥”,可治疗多种疾病。研究表明,大蟾蜍蝌蚪最高逃避温度和最高致死温度比最适温度产生的影响要大。

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/stxb201305271198

林黎, 崔军, 陈学萍, 方长明. 滩涂围垦和土地利用对土壤微生物群落的影响. 生态学报, 2014, 34(4): 899-906.

Lin L, Cui J, Chen X P, Fang C M. Effects of reclamation on tidal flat and land use on soil microbial community. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(4): 899-906.

滩涂围垦和土地利用对土壤微生物群落的影响

林 黎, 崔 军, 陈学萍, 方长明*

(复旦大学生命科学学院生态与进化生物学系, 上海 200433)

摘要: 土壤微生物在生态系统营养物质循环过程, 特别是碳、氮循环过程中扮演着重要的角色。上海市崇明岛位于长江入海口, 因其土壤发育时间较短、土地利用历史背景清晰、土壤本底均一, 不同土壤围垦年代的土壤, 代表了土壤发育年代的不同时期。以空间变化代替时间变化, 对崇明岛稻田和旱地 6 个不同围垦年代土壤的磷酸脂肪酸 (PLFA) 指纹图谱研究表明, 湿地滩涂围垦 16a 后土壤微生物总 PLFA、细菌 PLFA、革兰氏阳性菌 (G^+) PLFA 和革兰氏阴性菌 (G^-) PLFA 含量显著降低。随着围垦时间的逐步增加, PLFA 含量逐步上升。经过长时间的农业种植, G^+ PLFA 在围垦 120a 和 300a 稻田和旱地土壤中没有显著性差异; 而总 PLFA、细菌和 G^- PLFA 在围垦 75、120a 和 300a 的土壤中含有量趋于稳定且没有显著性差异。围垦 16a 和 40a 稻田土壤中总 PLFA 和 G^+ PLFA 显著高于旱地土壤; 围垦 40a 稻田土壤中细菌和 G^- PLFA 显著高于旱地土壤。不同围垦年代土壤总 PLFA、细菌 PLFA 与土壤总氮、粘土含量成显著的正相关关系。河口湿地围垦后微生物数量的变化与土壤营养含量存在强烈相关关系, 提示土壤围垦及演替过程中微生物与土壤肥力之间的紧密关系, 对探讨土壤演替过程中微生物群落的变化具有重要意义。

关键词: 崇明湿地; 围垦; 土地利用; 微生物群落; 磷酸脂肪酸

Effects of reclamation on tidal flat and land use on soil microbial community

LIN Li, CUI Jun, CHEN Xueping, FANG Changming*

Coastal Ecosystems Research Station of Yangtze River Estuary, Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity and Ecological Engineering, The Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: Soil microbes play a vital role in nutrient cycling, especially in carbon and nitrogen cycling. Microbes are influenced and regulated by many factors, such as anthropogenic disturbances, environmental conditions and soil properties. Little has been reported on soil microbial response to long term cultivation after reclamation of estuary wetland. One of possible reasons may be the heterogeneity of soil background and complicated land use history. The Chongming Island, located in the estuary of Yangtze River, was originated mainly from periodical reclamation on tidal flat. Because of an excellent homogeneous soil background and a relatively short and clear land use history on the island, the chronosequence of soils reflects mainly microbial response to soil development and cultivation. Phospholipid Fatty Acids (PLFA) are principle components of microbial cell membranes. Its pattern can be used as a fingerprint of soil microbes to provide insight information of soil bacterial and fungal communities because different microbes show different PLFA profile patterns.

This research focused on a chronosequence of 6 soil ages under two different cultivation (paddy rice and upland cropping) systems, including 0 (unclaimed wetland soil), 16, 40, 75, 120 and 300 years old soils. PLFA analysis results showed that after reclamation of coastal wetland, soil total PLFA, bacterial PLFA, Gram-positive (G^+) PLFA and Gram-negative (G^-) PLFA all reduced significantly in both paddy rice and upland cropping soils. Microbial PLFA abundance

基金项目: 科技部气候变化专项资助项目 (2010CB950600); 上海市科委资助项目 (09DZ1900106)

收稿日期: 2013-05-27; 修订日期: 2013-10-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cmfang@fudan.edu.cn

then increased gradually over several decades in both paddy rice and upland cropping soils. After a long-term human cultivation, no significant difference in G^+ PLFA was observed in 120 or 300 years old soils, either in paddy rice or upland cropping soils. No significant difference in total PLFA, bacterial PLFA or G^- PLFA was observed among 75, 120 or 300 years old soils. Principle component analysis (PCA) showed that two principle components, PC1 and PC2, could explain 51.12% and 18.57% of the total PLFA variation, respectively. PCA also revealed that PLFA profiles of 75, 120 and 300 years old soil were clearly different from those of 0, 16 and 40 years old soil. Cultivations of paddy rice and upland crops have significantly affected soil microbial structure. Total PLFA and G^+ PLFA were significantly higher in 16 and 40 years old paddy soils than those of upland cropping soils. Bacterial and G^- PLFA were significantly higher in 40 years old paddy rice soils than those of upland cropping soils. Soil total PLFA and bacterial PLFA were significantly correlated to soil total nitrogen and clay content, suggesting strong relations between soil microbes and soil nutrient status. The PLFA results indicated that human cultivations have led to environmental stress on soil microbes and this stress was gradually relieved along with long-term cultivations, because of improved soil nutrient conditions due to inputs of carbon, nitrogen and phosphorus fertilizers.

This study provided deep insights into soil microbial structures of different soil ages based on PLFA analysis under paddy and upland cultivation systems, which are two major cropping systems in China. It was helpful for us to better understand the development of soil microbial communities along with soil succession in arable soils.

Key Words: Chongming Island; reclamation; land use; soil microbial structure; Phospholipid Fatty Acid

微生物是土壤生态系统中的重要组成部分,在有机物分解、养分循环、氮的固定、土壤结构等方面有着举足轻重的作用。同时,土壤中微生物受到耕作方式、土壤质地、土壤层次、植被和土壤自然环境等因素的影响,土壤微生物群落结构及其多样性又在一定程度上反映了土壤生态系统的结构、功能及过程。

崇明岛位于长江入海口,占地面积 1267 km²,属于亚热带季风气候区,四季分明,年平均气温约为 16 ℃,年平均降水量为 1144 mm。崇明岛东滩是中国长江口规模最大、发育最完善的河口型滩涂湿地,长江入海径流携带的泥沙在河口附近沉积,塑造了广阔的潮滩湿地,而崇明岛东滩则以每年 100 多米的推进速度向东海推进,使东滩滩涂面积不断淤涨^[1]。围垦区的土壤来自于滩涂淤积的泥沙,因土壤发育时间相对较短,其土壤本底较为均一。不同土壤围垦年代的土壤,代表了土壤发育的不同时期,在自然条件下,土壤发育的空间变化可以代替时间尺度上的变化^[2]。崇明岛长江河口湿地滩涂围垦后自然条件的相对稳定、土壤本底条件的相对一致性、以及相对单一和清晰的土地利用背景为人们提供了一个研究人类长期的干扰活动对土壤微生物群落影响的机会。

崇明岛滩涂围垦后的土壤具备相当完善的年代发育序列,以空间代替时间,进行土壤微生物群落研究,对讨论自然环境状态下土壤发育过程有重要意义,对土壤微生物群的讨论有助于阐明土壤生态系统动态过程,对于合理开展滩涂围垦有理论指导意义。

1 材料与方法

1.1 取样

研究地点位于上海市崇明岛(东经 121°09′—121°54′,北纬 31°27′—31°51′)。崇明岛滩涂围垦后土壤空间尺度上的变化,代表了土壤发育年代的变化;根据崇明岛滩涂土壤围垦的时间、土地利用历史记载及当地常住居民提供的信息,本研究共选取了 6 个不同年代的土壤^[2-4]。实验涉及 2 种不同的土地利用方式:稻田和旱地,以未围垦的东滩湿地滩涂土壤为 0 年代土壤,涉及了 5 个滩涂围垦后不同年代序列的土壤,包括 16, 40, 75, 120, 300a。

滩涂围垦后 16a 和 40a 的实验样点根据 Gao 等的文献报告选取^[3]; 300a 的实验样点根据崇明岛当地官方文献记录选取^[4]; 75a 和 120a 的实验样点根据当地 5 位以上常住居民提供的信息选取,因此 75a 和 120a 的土壤可能有 10—20a 的误差^[2]。

为了使实验结果能更准确反映不同的土地发育年限对土壤微生物群落的影响,实验选择耕作方式相对稳定的实验样点,每一个样点设有 3 个平行样地,每个平行样地间隔距离在 500—1000 m;为了尽量减少环境因素造成的实验误差,在每块样地中以 S 形设置 6 个采样点,各采样点间距约为 5—8 m,用土

钻钻取表层 0—20 cm 鲜土,并将该 6 个采样点采取的土壤均匀混合为 1 个混合样本,于保温盒加冰袋保存运回实验室冷冻保存备用。Cui 等对不同年代土壤的理化性质进行了详细测量,本实验研究涉及土壤样品的部分理化性质如表 1 所示^[2]。

表 1 不同围垦年代土壤的部分理化性质^[2]Table 1 Some basic characteristics of soils along the chronosequence^[2]

土壤年代 Soil age/a	土地利用 Land use	粘土 Clay/%	沙土 Silt/%	pH	含水量 Water content/%	NO ₂ ⁻ /(mg/kg)	NO ₃ ⁻ /(mg/kg)	NH ₄ ⁺ /(mg/kg)	总氮 Total N /(g/kg)	钛锆比 Ti/Zr ratio
0	滩涂土壤	13.25	76.25	8.17	0.23	0.94	22.69	17.89	1.11	61.99
16	稻田	8.79	69.90	8.24	0.23	0.55	46.02	8.79	0.59	53.86
	旱地	6.49	54.50	8.28	0.21	0.43	26.70	8.77	0.67	67.51
40	稻田	10.83	66.60	8.01	0.21	0.55	57.33	3.20	2.12	75.44
	旱地	8.95	69.70	8.41	0.21	1.45	61.43	8.56	1.63	68.41
75	稻田	11.17	67.83	8.11	0.24	0.54	37.90	3.05	1.24	63.54
	旱地	8.75	66.80	8.31	0.22	0.64	49.24	4.14	1.20	70.46
120	稻田	9.92	62.83	7.96	0.22	0.73	40.31	3.10	1.48	70.17
	旱地	10.89	75.07	8.02	0.22	0.29	45.89	3.85	1.31	57.88
300	稻田	11.67	72.40	7.96	0.23	0.93	42.38	2.66	1.56	58.55
	旱地	11.00	76.13	7.87	0.21	0.79	68.07	3.55	1.37	60.86

1.2 磷酸脂肪酸(PLFA)的提取和检测方法

1.2.1 PLFA 的提取和检测

PLFA 的提取方法改良自 Zelles 的传统提取方法^[5-6],PLFA 的提取流程如下:称取 4 g 冻干土于 25 mL 比色管中,加 3 mL 柠檬酸缓冲液和 12 mL 甲醇:氯仿(2:1)混合液,充分震荡萃取 2 次;加 4 mL 氯仿和 4 mL 柠檬酸缓冲液混合液,放置过夜分层后,取下层溶液,用氯仿萃取 3 次;旋转蒸发萃取液至少量后,将萃取液过层析柱层析;将层析柱淋出液于三角瓶中 40 °C 蒸干,并加 0.5 mL 二氯甲烷和 1 mL 甲醇钠溶液,在 50 °C 下加热 10 min 甲酯化磷脂;加 6 mL 分析纯正己烷振荡萃取,上清液经无水硫酸钠过滤后,在 10 mL KD 浓缩器中经氮气吹干,最后用色谱纯正己烷定容至 100 μ L,即可上机检测。

柠檬酸缓冲液的配比为 9.38 g 柠檬酸和 11.03 g 柠檬酸钠溶于 250 mL 重蒸水。甲醇钠溶液配比为 1 g NaOH 溶于 50 mL 分析纯甲醇。甲酯化磷脂(FAME)标准品购自英国 Supelco 公司(Supelco, Supelco UK, Poole, Dorset, UK),包括共 25 种 FAMES。

实验中使用的仪器包括:数控恒温水浴仪(北京帅恩科技有限责任公司,型号 SE812J),氮吹仪,旋

转蒸发仪(上海申生科技有限公司,R 系列),循环水式样真空泵,Agilent 6820 气象色谱仪。色谱分析采用 FID 检测器检测,检测器温度 280 °C,进样口温度 250 °C,柱箱初始温度 120 °C,最高温度 300 °C,吹扫气体 N₂,吹扫时间 0.75 min,色谱柱采用长 30.0 m、直径为 320.00 μ m 的 HP-5MS 毛细管柱,数据采集频率为 20 Hz。

1.2.2 PLFA 作为生物标记

本研究用到的 PLFA 生物标记分组如表 2 所示。生物标记物可分为通用生物标记物和特定生物标记物两类。通用生物标记物可反映总生物量,如 PLFA、酯链磷脂脂肪酸(EL-PLFA)的总量可用于了解土壤微生物总生物量^[7-8];单不饱和脂肪酸(MUFA)可用作革兰氏阴性细菌的通用生物标记^[9];双不饱和脂肪酸 18:2 ω 6,9 可用作真菌的特定生物标记^[6]。

本研究 PLFA 命名规则采取通用的 ω 系统。前缀 a, i, 和 cy 分别表示反式,顺式和环状支链构型。以 18:2 ω 6,9 为例,18 表示主链 C 原子数目,冒号“:”后紧跟的数字代表不饱和度, ω 后的数字代表双键所在的位置。

表 2 PLFA 分析生物标记分组
Table 2 PLFA analysis Biomarkers

分类单元生物标记 Biomarkers	对应的 PLFA Related PLFA
细菌 ^[6-7, 10-12]	14:0, i15:0, a15:0, 15:0, i16:0, 16:1 ω 7, 16:0, 17:0, cy17:0, 17:0, 18:1 ω 7, 18:0, cy19:0
革兰氏阳性菌 ^[9, 11]	i15:0, a15:0, i16:0, i17:0
革兰氏阴性菌 ^[9, 11]	16:1 ω 7, cy17:0, 18:1 ω 7, cy19:0
真菌 ^[6, 13]	18:2 ω 6,9
cy/pre 比 ^[6, 9, 11]	(cy17:0+cy19:0)/(16:1 ω 7+18:1 ω 7)

前缀 a, i, 和 cy 分别表示反式, 顺式和环状支链构型

1.3 数据处理

实验采用 Microsoft Excel 2007 进行一般数据处理, 采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析。不同围垦年代土壤 PLFA 方差分析 Post hoc 采用 Duncan's test 方法, PLFA 与土壤基本性质相关性分析采用 Spearman 方法。

2 结果

2.1 PLFA 作为生物标记

PLFA 总量反应了土壤微生物总生物量^[7]。如图 1 中 A 所示为旱地和稻田不同围垦年代土壤总

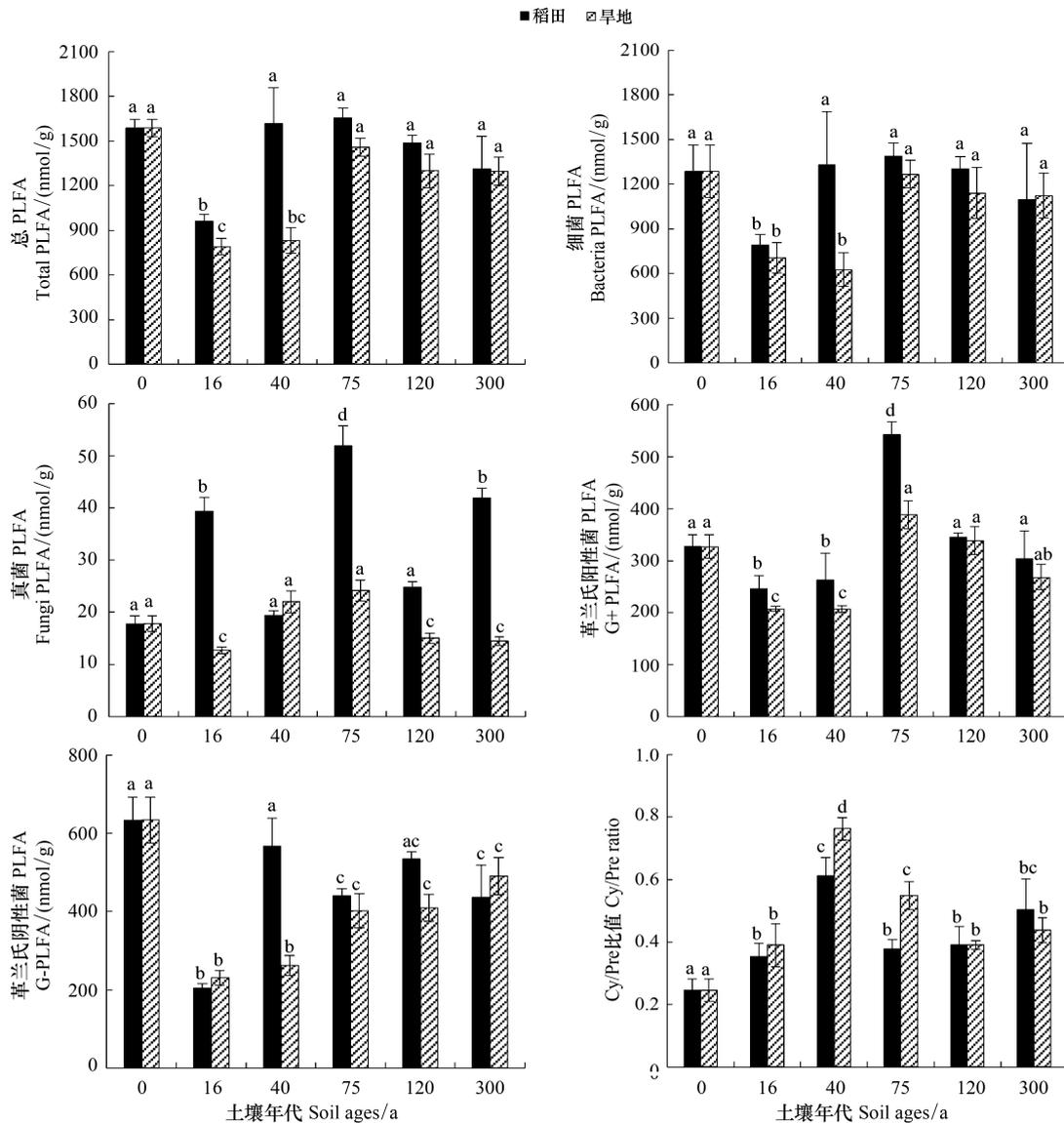


图 1 稻田和旱地不同围垦年代土壤的总 PLFA, 细菌, 真菌, 革兰氏阳性菌, 革兰氏阴性菌和 Cy/Pre 比值

Fig.1 Total PLFA, bacteria, Fungi, G⁺, G⁻, and Cy/Pre ratio of paddy and upland soils corresponding to soil ages 每个土壤围垦年代相同小写字母表示差异不显著 (P>0.05)

PLFA 的对照图。围垦 16a 土壤的总 PLFA 相对于未围垦的湿地滩涂土壤显著降低 ($P < 0.05$)。随着围垦时间的逐步增加,稻田和旱地土壤总 PLFA 含量逐步上升。围垦 75、120a 和 300a 的土壤总 PLFA 逐渐趋于稳定且没有显著差异 ($P > 0.05$)。

类似的变化趋势在细菌、革兰氏阳性 (G^+) 和革兰氏阴性菌 (G^-) PLFA 中也有发现。如图 1 所示,围垦 16a 的土壤中细菌、 G^+ 和 G^- PLFA 相对于湿地滩涂土壤均显著性降低 ($P < 0.05$)。随着围垦后时间的逐步增加,PLFA 含量逐步上升。 G^+ PLFA 在围垦 120a 和 300a 土壤中没有显著性差异 ($P > 0.05$); 而细菌和 G^- PLFA 在围垦 75、120a 和 300a 土壤中没有显著性差异 ($P > 0.05$)。

在两种土地利用方式下,如图 1,围垦 16a 和 40a 稻田土壤微生物总量、 G^+ PLFA 显著高于旱地土壤 ($P < 0.05$); 如图 1 所示,围垦 40a 稻田土壤中细菌 PLFA 和 G^- PLFA 显著高于旱地土壤 ($P < 0.05$)。而围垦 75、120a 和 300a 稻田土壤微生物 PLFA 与旱地土壤无明显差异 ($P > 0.05$)。

土壤微生物环状支链的磷脂酸 (Cy) 及其前体 (Pre, 一般是单不饱和磷脂酸) 之间的比值 Cy/Pre 往往随着环境胁迫作用的影响而发生改变^[6,9-10]。如图 1 所示,随着围垦后时间的逐步增加,稻田和旱地土壤 Cy/Pre 比值均逐步升高,并在围垦 40 年代的土壤中达到最大值;围垦 40a 和 75a 土壤 Cy/Pre 比值均显著高于湿地滩涂土壤 ($P < 0.05$)。围垦 120a 和 300a 土壤 Cy/Pre 比值没有显著性差异 ($P > 0.05$),但总是显著高于湿地滩涂土壤 ($P < 0.05$)。

2.2 PLFA 指纹图谱主成份分析

对 PLFA 指纹图谱做主成份分析的前提是各磷酸酯之间不相关。相关性检验表明磷脂酸 12:0 和 13:0 具有显著的相关关系 ($P < 0.05$)。因此排除了磷脂酸 12:0 后,对不同年代土壤的磷酸酯做主成份分析 (PCA), 结果如图 2 所示。

PCA 分析得到两个主要成份因子 PC1 和 PC2, 分别解释了不同年代土壤 PLFA 指纹图谱差异的 51.12% 和 18.57%。从图 2 中可以进一步看出,围垦 75a 后的土壤 (包括 75a) 与 75a 前的土壤清晰地区别开来。围垦 75a 后土壤微生物生物量的恢复和 Cy/Pre 比值的降低,以及围垦后 120a 和 300a 土壤微生物生物量和 Cy/Pre 比值的相对稳定,提示土壤

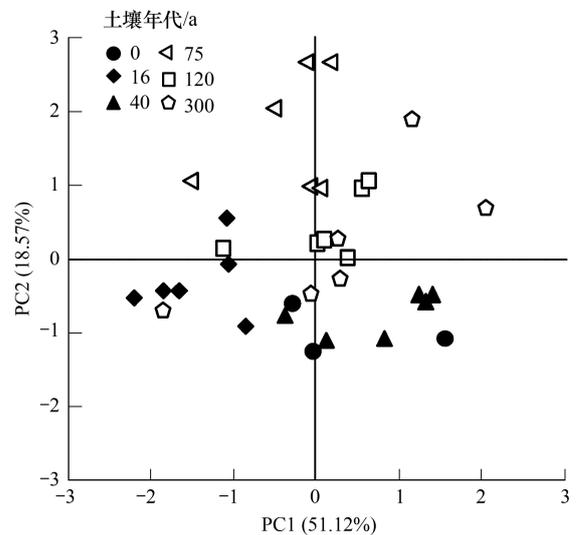


图 2 PCA 分析主成份 PC1 和 PC2 散点图

Fig.2 PC1 and PC2 scatter diagram of PCA analysis

微生物可能需要相当长的时间适应和克服环境压力。PCA 分析中,围垦 75a 后的土壤 (包括 75a) 与之前的土壤明显区别开来,也从另一方面证明了这一假设。

2.3 PLFA 与土壤基本性质相关性

Cui 等对不同围垦年代土壤理化性质进行了全面的分析^[2]。将部分土壤基本性质与各群落 PLFA 进行了相关性分析,结果如表 3 所示。不同围垦年代土壤总 PLFA、细菌 PLFA 与总氮成极显著的正相关关系 ($P < 0.01$); 同时总 PLFA、细菌 PLFA 与粘土含量成显著的正相关关系 ($P < 0.05$)。另外, Cy/Pre 比值与总氮含量显著相关 ($P < 0.05$), 真菌 PLFA 与含水量显著相关 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 河口湿地滩涂围垦对土壤微生物各群落 PLFA 含量的影响

湿地滩涂土壤围垦后,显著降低了土壤微生物总 PLFA、细菌 PLFA、 G^+ PLFA 和 G^- PLFA 含量 ($P < 0.05$), 同时显著提高了土壤 Cy/Pre 比值 ($P < 0.05$)。Schutz 等利用 PLFA 的方法,对人工地下水再生系统中水淹部分和未被水淹部分的森林土壤进行了微生物群落的研究,发现水分胁迫会诱导 Cy/Pre 比值的增加^[14]。Cordova-Kreylos 等对加里福利亚滨海盐碱湿地进行了土壤微生物群落结构的研究,发现重金属污染物和有机污染与环状磷脂酸成显著的正相关

关系^[15]。Dickens 等采用氯仿熏蒸的方法,对沼泽和森林两种土壤进行了微生物群落结构的 PLFA 分析,发现熏蒸培养后的土壤,诱发生产了大量的环状磷脂酸 Cyclic 19:0,而 Cyclic 19:0 是 Cy/Pre 比值分

子的重要组成部分之一^[16]。本研究中,围垦后稻田和旱地土壤微生物生物量均有显著性降低,提示长江河口湿地滩涂土壤围垦后,土地利用对土壤微生物产生了长期的胁迫压力。

表 3 PLFA 与土壤基本性质相关性分析

Table 3 Correlation between soil PLFAs and some soil properties

	总氮 Total N	粘土 Clay	沙土 Silt	pH 值	含水量 Water content	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	钛锆比 Ti/Zr
总 PLFA Total PLFA	0.90 **	0.65 *	0.25	-0.53	0.10	0.38	0.20	-0.36	0.49
细菌 PLFA Bacteria PLFA	0.86 **	0.65 *	0.25	-0.52	0.18	0.40	0.18	-0.36	0.47
真菌 PLFA Fungi PLFA	-0.06	0.17	0.05	-0.02	0.805 *	0.02	-0.12	-0.27	-0.32
G ⁺ PLFA	-0.57	-0.34	-0.24	0.41	0.47	-0.16	-0.29	-0.11	-0.26
G ⁻ PLFA	0.55	0.58	0.32	-0.50	-0.32	0.33	0.03	0.20	0.28
Cy/Pre	0.64 *	-0.28	-0.10	0.29	-0.54	0.51	0.69 *	-0.36	0.52

** 表示 $P < 0.01$ 水平显著相关; * 表示 $P < 0.05$ 水平显著相关

围垦 16a 和围垦 40a 土壤微生物总 PLFA、细菌 PLFA、G⁺ PLFA 和 G⁻ PLFA 逐步增加,而总 PLFA、细菌和 G⁻ PLFA 在围垦 75、120a 和 300a 土壤中含量趋于稳定且没有显著性差异 ($P > 0.05$)。Cui 等对崇明岛东滩不同围垦年代土壤的理化性质进行了详细的分析,发现围垦 16a 土壤有机碳相对于湿地滩涂土壤迅速降低,但是在围垦 40a 后土壤有机碳、氮、磷等营养元素逐渐积累并得到恢复^[2]。经过长时间的农业种植,土壤营养环境逐渐改善,可能是围垦 75、120a 和 300a 土壤微生物群落 PLFA 含量差异减少并趋于稳定的主要原因。

不同围垦年代土壤真菌 PLFA 含量没有明显的变化趋势。Kasel 等曾经对澳大利亚不同地区 4 种不同的土地利用方式进行了真菌群落结构的研究,发现真菌群落结构具有很高的可变性^[17]。土壤中的真菌相对于细菌,其菌丝更容易受到环境干扰因素的影响,使其在不同土地利用方式和土壤围垦年代下含量的变化波动较大。

3.2 土地利用对土壤微生物各类群 PLFA 含量的影响

围垦 16a 和 40a 稻田土壤微生物总 PLFA、G⁺ PLFA 显著高于旱地土壤 ($P < 0.05$),围垦 40a 稻田土壤细菌 PLFA 和 G⁻ PLFA 显著高于旱地土壤 ($P < 0.05$)。而围垦 75、120a 和 300a 稻田土壤微生物总 PLFA 与旱地土壤无显著性差异 ($P > 0.05$)。Drenovsky 等对美国跨洲际的 8 种不同土地利用方式土壤进行了研究,得出土地利用方式是驱动微生物

群落结构变异主要因子的结论^[18]。Bossio 等采用了 DGGE 的实验方法,对肯尼亚热带林地和农业土壤微生物群落结构进行了探讨,结果也表明不同的土地利用方式是影响土壤微生物群落结构最重要的影响因素^[19]。不同的土地利用方式,可能通过改变土壤盐碱度、pH 值、含水量、有机物含量等,影响土壤微生物群落结构。稻田和旱地不同的灌溉方式及土壤营养元素的投入,可能导致土壤营养物质、pH 值及盐碱度等存在差异,从而造成微生物含量的差异。

3.3 土壤微生物群落 PLFA 含量与土壤基本性质的相关性

土壤微生物 PLFA 含量与土壤碳、氮等元素的含量密切相关。Hamer 等研究了休耕后自然演替的土壤与高强度耕作的土壤微生物群落结构以及有机 C、N 的矿化速率,发现经过 6a 的高强度耕作活动,表层土壤有机 C、有机 N 显著降低,同时硝态氮 NO₃⁻ 显著升高;土壤微生物生物量的变化与有机 C、有机 N 的变化密切相关^[20]。Yao 等对中国 8 种不同土地利用历史的土壤进行了微生物群落结构的研究,发现微生物生物量和土壤有机 C、N 含量密切相关^[21]。本研究中不同围垦年代土壤总 PLFA、细菌 PLFA 与总 N 含量成极显著的正相关关系 ($P < 0.01$),提示不同围垦年代和不同土地利用方式下,总 N 或总有机 C 等营养元素的投入可能是造成微生物群落 PLFA 产生差异的主要原因之一。同时,本研究中总 PLFA、细菌 PLFA 与粘土含量成显著的正相关关系

($P < 0.05$),提示土壤结构可能会对微生物群落产生直接或间接影响。

4 结论

河口湿地滩涂围垦和土地利用,增大了土壤微生物的生存压力,显著降低了土壤微生物总 PLFA、细菌 PLFA、 G^+ PLFA 和 G^- PLFA 含量。随着围垦时间的逐步增加,PLFA 含量逐步上升。经过长时间的农业种植,土壤营养环境逐渐改善, G^+ PLFA 在围垦 120a 和 300a 稻田和旱地土壤中没有显著性差异;而总 PLFA、细菌和 G^- PLFA 在围垦 75、120a 和 300a 土壤中含量趋于稳定且没有显著性差异。围垦 16a 和 40a 稻田土壤微生物总 PLFA、 G^+ PLFA 显著高于旱地土壤;围垦 40a 稻田土壤中细菌 PLFA 和 G^- PLFA 显著高于旱地土壤。不同围垦年代土壤总 PLFA、细菌 PLFA 与土壤总氮、土壤粘土含量成显著的正相关关系,总 N 或总有机 C 等营养元素的投入和土壤结构的变化可能是造成微生物群落结构产生变化的原因之一。真菌因其更易受到轻微改变的环境因子的影响,使其在不同土地利用方式和土壤围垦年代下含量的变化波动较大。河口湿地围垦后微生物数量的变化与土壤营养含量存在强烈相关,提示土壤围垦及演替过程中微生物与土壤肥力之间的紧密关系,对探讨土壤演替过程中微生物群落的变化具有重要意义。

References:

- [1] He X Q. Modern Geomorphic Processes of Eastern Chongming Island, the Yangtze Estuary [D]. Shanghai: East China Normal University, 2004.
- [2] Cui J, Liu C, Li Z L, Chen X F, Ye Z Z, Fang C M. Long-term changes in topsoil chemical properties under centuries of cultivation after reclamation of coastal wetlands in the Yangtze Estuary, China. *Soil and Tillage Research*, 2012, 123: 50-60.
- [3] Gao Y, Zhao B. The effect of reclamation on mud flat development in Chongming Island, Shanghai. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(8): 475-479.
- [4] Zhou Z, Ji J. Chongming County Annals. Shanghai: Shanghai People's Press, 1989: 42-42.
- [5] Deng H, Li X F, Cheng W D, Zhu Y G. Resistance and resilience of Cu-polluted soil after Cu perturbation, tested by a wide range of soil microbial parameters. *FEMS Microbiology Ecology*, 2009, 70(2): 293-304.
- [6] Zelles L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterisation of microbial communities in soil: a review. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29(2): 111-129.
- [7] Frostegård A, Bååth E. The use of phospholipid fatty acid analysis to estimate bacterial and fungal biomass in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 22(1/2): 59-65.
- [8] Han X M, Wang R Q, Liu R, Wang M C, Zhou J, Guo W H. Effects of vegetation type on soil microbial community structure and catabolic diversity assessed by polyphasic methods in North China. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(10): 1228-1234.
- [9] Kieft T L, Wilch E, O'Connor K, Ringelberg D B, White D C. Survival and phospholipid fatty acid profiles of surface and subsurface bacteria in natural sediment microcosms. *Applied and Environmental Microbiology*, 1997, 63(4): 1531-1542.
- [10] Frostegård A, Bååth E, Tunlid A. Shifts in the structure of soil microbial communities in limed forests as revealed by phospholipid fatty acid analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25(6): 723-730.
- [11] Moore-Kucera J, Dick R P. PLFA profiling of microbial community structure and seasonal shifts in soils of a Douglas-fir chronosequence. *Microbial Ecology*, 2008, 55(3): 500-511.
- [12] Zhu Y, Li J X, Meng C, Wu T, Zhang T. Land use change in the eastern part of Chongming Island in Shanghai in recent two decades. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 2040-2044.
- [13] De Forest J L, Zak D R, Pregitzer K S, Burton A J. Atmospheric nitrate deposition, microbial community composition, and enzyme activity in northern hardwood forests. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(1): 132-138.
- [14] Schütz K, Nagel P, Better E, Kandeler E, Ruess L. Flooding forested groundwater recharge areas modifies microbial communities from top soil to groundwater table. *FEMS Microbiology Ecology*, 2009, 67(1): 171-182.
- [15] Cordova-Kreylos A L, Cao Y P, Green P G, Hwang H M, Kuivila K M, LaMontagne M G, Van De Werfhorst L C, Holden P A, Scow K M. Diversity, composition, and geographical distribution of microbial communities in California salt marsh Sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, 72(5): 3357-3366.
- [16] Dickens H E, Anderson J M. Manipulation of soil microbial community structure in bog and forest soils using chloroform fumigation. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(14): 2049-2058.
- [17] Kasel S, Bennett L T, Tibbits J. Land use influences soil fungal

- community composition across central Victoria, south-eastern Australia. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40 (7): 1724-1732.
- [18] Drenovsky R E, Steenwerth K L, Jackson L E, Scow K M. Land use and climatic factors structure regional patterns in soil microbial communities. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19 (1): 27-39.
- [19] Bossio D A, Girvan M S, Verchot L, Bullimore J, Borelli T, Albrecht A, Scow K M, Ball A S, Pretty J N, Osborn A M. Soil microbial community response to land use change in an agricultural landscape of Western Kenya. *Microbial Ecology*, 2005, 49 (1): 50-62.
- [20] Hamer U, Makeschin F, Stadler J, Klotz S. Soil organic matter and microbial community structure in set-aside and intensively managed arable soils in NE-Saxony, Germany. *Applied Soil Ecology*, 2008, 40 (3): 465-475.
- [21] Yao H, He Z, Wilson M J, Campbell C D. Microbial biomass and community structure in a sequence of soils with increasing fertility and changing land use. *Microbial Ecology*, 2000, 40 (3): 223-237.

参考文献:

- [1] 何小勤. 长江口崇明东滩现代地貌过程研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2004.
- [3] 高宇, 赵斌. 人类围垦活动对上海崇明东滩滩涂发育的影响. *中国农学通报*, 2006, 22 (8): 475-479.
- [4] 周之珂. 崇明县志. 上海: 上海人民出版社, 1989: 42-42.
- [12] 朱颖, 李俊祥, 孟陈, 吴彤, 张挺. 上海崇明岛东部近 20 年土地利用变化. *应用生态学报*, 2007, 18 (9): 2040-2044.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.4 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

The bioavailability of dissolved organic carbon in the eutrophic lakes YE Linlin, KONG Fanxiang, SHI Xiaoli, et al (779)

Plant species of the non-agricultural habitats in the lower reaches of the Yellow River plain agro-landscape
..... LU Xunling, LIANG Guofu, TANG Qian, et al (789)

Autecology & Fundamentals

Manganese stress on the ultrastructures of a manganese tolerant plant, *Polygonum perfoliatum* L.
..... WANG Jun, WU Hui, XUE Shengguo, et al (798)

Characteristics of arsenic (As) tolerance and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with different radial oxygen loss
..... WU Chuan, MO Jingyu, XUE Shengguo, et al (807)

Effects of water stress on physiological characteristics of different *Illicium lanceolatum* ecotypes under low light intensity
..... CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin (814)

Effect of branch number on the growth and development of *Morus alba* saplings ... HUAN Huihui, XU Xiao, LIU Gang, et al (823)

Spatial distribution pattern and sampling technique for *Orthotylus (O.) sophorae* nymphs on *Sophora japonica*
..... ZHU Huiying, SHEN Ping, WU Jianhua, et al (832)

Assessment of fungal diversity in apple replanted orchard soils by T-RFLP analysis
..... YIN Chengmiao, WANG Gongshuai, LI Yuanyuan, et al (837)

Effects of dazomet on edaphon and growth of *Malus hupehensis* rehd. under continuous apple cropping
..... LIU Entai, LI Yuanyuan, HU Yanli, et al (847)

Isolation, identification, and performance of two pyrene-degrading endophytic bacteria SUN Kai, LIU Juan, LI Xin, et al (853)

Population, Community and Ecosystem

Effects of different temperatures on the growth and development of *Eotetranychus Kankitus* (Ehara)
..... LI Yingjie, WANG Ziyang, ZHANG Guohao, et al (862)

Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on plant niche of alpine meadow communities in the
Qinghai-Tibet Plateau JIA Tingting, MAO Liang, GUO Zhenggang (869)

Correlation between characteristics of *Reaumuria soongarica* communities and soil factors in the Sangong River basin
..... ZHAO Xuechun, LAI Liming, ZHU Linhai, et al (878)

Effects of afforestation on soil microbial community structure in the arid valley of Minjiang River
..... WANG Weixia, LUO Da, SHI Zuomin, et al (890)

Effects of reclamation on tidal flat and land use on soil microbial community
..... LIN Li, CUI Jun, CHEN Xueping, FANG Changming (899)

Effects of *Pomacea canaliculata* on aquatic macrophyte community structure in paddy fields
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jiaen, DAI Xiaoyan, et al (907)

The adaptability and decontamination effect of four kinds of woody plants in constructed wetland environment
..... CHEN Yonghua, WU Xiaofu, HAO Jun, et al (916)

Carbon budget of alpine *Potentilla fruticosa* shrubland based on comprehensive techniques of static chamber and biomass harvesting ...
..... LI Hongqin, LI Yingnian, ZHANG Fawei, et al (925)

Effect of initial pH value on microbial Fe (III) reduction in alkaline and acidic paddy soils ... WU Chao, QU Dong, LIU Hao (933)

Landscape, Regional and Global Ecology

Climate environmental change and stable carbon isotopes in age layers of *Tamarix* sand-hillocks in Kumtag desert
..... ZHANG Jinchun, YAO Tuo, LIU Changzhong, et al (943)

Resource and Industrial Ecology

The critical factors of transpiration on muskmelon in plastic greenhouse ZHANG Dalong, CHANG Yibo, LI Jianming, et al (953)

Ion absorption and distribution of symbiotic *Reaumuria soongorica* and *Salsola passerina* seedlings under NaCl stress
 ZHAO Xin, YANG Xiaojun, SHI Yong, et al (963)

The relationship between selected rhizosphere and non-rhizosphere soil properties and the quality of *Pyrola decorata*
 GENG Zengchao, MENG Lingjun, LIU Jianjun (973)

Spatial variation analysis of soil organic matter and nutrient factor for before and after planting crops
 FANG Bin, WU Jinfeng (983)

Urban, Rural and Social Ecology

Establishment and application of the index system for urban river health assessment
 DENG Xiaojun, XU Youpeng, ZHAI Luxin, et al (993)

Dynamic analysis of the ecological footprint and carrying capacity of tibet AN Baosheng, CHENG Guodong (1002)

Research Notes

Responses of soil microorganisms and soil enzyme activities to different land use patterns in the water-level-fluctuating zone of
 the Three Gorges Reservoir region MA Peng, LI Changxiao, LEI Ming, et al (1010)

Effects of salt stress on growth and root development of two oak seedlings
 WANG Shufeng, HU Yunxue, SUN Haijing, et al (1021)

The effects of constant and variable thermal acclimation on thermal tolerance of the common giant toad tadpoles (*Bufo gargarizans*) ...
 WANG Lizhi (1030)

《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 董 鸣 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 34 卷 第 4 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 4 (February, 2014)

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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元