

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/stxb201108171204

张利青, 彭晚霞, 宋同清, 邹冬生, 曾馥平, 宋敏, 俞孜, 刘艳. 云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布. 生态学报, 2012, 32(7): 2056-2065.

Zhang L Q, Peng W X, Song T Q, Zou D S, Zeng F P, Song M, Yu Z, Liu Y. Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2056-2065.

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^{1,2,3}, 彭晚霞^{1,3}, 宋同清^{1,3,*}, 邹冬生², 曾馥平^{1,3},
宋 敏^{1,2,3}, 俞 孜⁴, 刘 艳⁴

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125;

2. 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128; 3. 中国科学院环江喀斯特生态试验站, 环江 547200;

4. 广西水土保持监测总站, 南宁 530023)

摘要: 土壤微生物是地球生物演化进程中的先锋种类, 具有重要的生态修复功能, 但空间分布格局是否存在的争议很大。以云贵高原典型喀斯特坡耕地为对象, 基于网格法取样, 用经典统计学和地统计学综合分析了土壤微生物生物量的空间变异特征。结果表明, 云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物生物量碳 (C_{mic})、磷 (P_{mic}) 以及碳氮比 (C_{mic}/N_{mic}) 适宜, 氮 (N_{mic}) 的含量较低, 变异均很大, 空间自相关性明显, 最佳拟合模型均为指数模型。块金值 C_0 较小 (0.0016—0.0087), $C_0/(C_0+C)$ 均 < 25% (2.6%—10.2%), 变程 a 较短 (22.2—51.0 m), 其强烈的空间变异主要由结构性变异引起。Kriging 等值线图表明, C_{mic} 、 N_{mic} 和 C_{mic}/N_{mic} 的高值区分布在坡的中上部, P_{mic} 的高值区则在坡的中下部和坡脚。云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物不仅存在着小尺度的空间分布格局, 而且不同土壤微生物属性的空间分布不同。

关键词: 土壤微生物量 C、N、P; 空间变异; 喀斯特; 坡耕地; 云贵高原

Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau

ZHANG Liqing^{1,2,3}, PENG Wanxia^{1,3}, SONG Tongqing^{1,3,*}, ZOU Dongsheng², ZENG Fuping^{1,3}, SONG Min^{1,2,3}, YU Zi⁴, LIU Yan⁴

1 Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

2 College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410125, China

3 Huanjiang Experimental Station of Karst Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanniang 547200 China

4 Monitoring Main Station of Soil and Water Conservation of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530023, China

Abstract: Soil microorganisms have played a vital role in the evolution of organisms, and have an important function in ecological restoration. However, there is much controversy about whether soil microorganisms show spatial distribution patterns. Many forest types have been destroyed in karst regions around the world, and because of the fragile ecological conditions in such regions, it is difficult to restore their vegetation and ecosystems. Here, we conducted a field study to

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2-XB3-10); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05050205, XDA05070404); 国家科技支撑计划 (2010BAE00739, 2011BAC09B02); 国家自然科学基金项目 (31070425, 31000224, 30970508 和 U1033004)

收稿日期: 2011-08-17; 修订日期: 2012-03-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: songtongq@isa.ac.cn

analyze the soil microbial biomass in typical sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou plateau. We selected a typical area of sloping farmland for the field study. The total area was 340×320 m, and it was divided into a 20×20 m grid using an Electronic Total Station, giving 294 sample points. We examined the spatial patterns of soil microbial biomass using geo-statistical and statistical methods. The soil microbial biomass carbon (C_{mic}), soil microbial biomass phosphorus (P_{mic}), and the ratio of soil microbial biomass carbon to nitrogen (C_{mic}/N_{mic}) showed moderate values in this karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau. The average values for C_{mic} , P_{mic} , C_{mic}/N_{mic} were 383.80, 15.41, and 5.61 mg/kg, respectively. There was a low soil microbial biomass nitrogen (N_{mic}) content (71.50 mg/kg). There was a strong correlation between C_{mic} and N_{mic} , but not between C_{mic} and P_{mic} , or between N_{mic} and P_{mic} . All of these factors showed wide variations in magnitude and differences in their spatial distribution patterns. The variation coefficients for these factors ranged from 39.96 to 87.50%, and the smallest Moran's I result for C_{mic} , N_{mic} , P_{mic} , and C_{mic}/N_{mic} was -0.088, -0.0539, -0.060, and -0.093, respectively, indicating that the soil microbial biomass showed a high degree of spatial heterogeneity. The best model for all the four variables in the sloping farmland was an exponential model. The RSS values were very small, indicating the good fit of the model. The nugget (C_0) was low (0.0016—0.0087) and all $C_0/(C_0+C)$ values were less than 25%, indicating that the soil microbial biomass showed strong spatial autocorrelation, and that the spatial patterns of microbial biomass were less influenced by random factors. The spatial patterns in microbial biomass showed a small range (22.2—51.0 m). The ranges of the patterns in C_{mic} and P_{mic} were similar (51.0 and 50.1 m), and were greater than that of N_{mic} (22.2 m). This indicated that the four variables showed strong spatial variability, which was caused by structural variability. The Kriging contour maps showed high values for C_{mic} , N_{mic} , and C_{mic}/N_{mic} on the middle and upper parts of the slope. On these parts of the slope, C_{mic} showed a clear spatial distribution pattern but N_{mic} did not. The plaque was thicker and broken and showed higher heterogeneity on the while slope. The spatial distribution pattern of P_{mic} was more evident on the middle and lower parts of the slope and the slope foot. Therefore, there is not only a small-scale spatial distributional pattern of the microbial biomass on sloping farmland in the karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau, but there are also different spatial patterns in soil microbial variables.

Key Words: soil microbial biomass; spatial variability; karst region; sloping farmland; Yunnan-Guizhou Plateau

喀斯特区域受地球内动力、强烈的地质运动、高温多雨且分布不均、碳酸盐岩溶蚀性强、水文二维结构明显以及其适生植物具有嗜钙性、耐旱性和石生性等限制特点的综合影响,生态系统的稳定性和抗干扰能力差,退化容易恢复难^[1-2]。我国是世界上喀斯特面积最大的国家^[3],而贵州高原地处我国西南喀斯特地区的中心地带,其区位之重要、环境之复杂,对我国西南甚至是全国喀斯特退化生态系统的恢复重建具有非常重要的指导意义。

土壤微生物几乎参与土壤中一切生物和生物化学反应,是维持土壤品质的重要组成部分,对土壤中的动植物残体和土壤有机质及其有害物质的分解、生物化学循环和土壤结构的形成过程起着重要的调节作用。长期以来,不同学者提出了许多解释大型生物(动物和植物)空间分布格局形成和维持机制的假说和理论,推动了生物地理学的发展^[4-5],但微生物生物地理学的研究十分薄弱^[6],甚至对微生物是否存在一定的地理分布格局都存在广泛争议^[7-8]。喀斯特独特的地质生态环境决定了土壤微生物的特异性,何寻阳等^[9]、李新爱等^[10]初步研究了喀斯特峰丛洼地的土壤微生物特征,但关于土壤微生物空间分布的报道甚少。本文选取贵州高原典型喀斯特坡耕地为研究对象,采用网格法采样,用经典统计学和地统计学方法揭示土壤微生物生物量 C、N、P 的空间变异特征,为指导喀斯特退化生态系统植被的迅速恢复和生态重建、推动微生物生物地理学发展提供理论和实践支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区地处贵州省西北部毕节市大方县双山镇木格村,属高海拔低纬度地区,亚热带湿润季风气候特点

较为明显。年均气温 12.5 ℃, 年均降雨量 843.4 mm, 无霜期 271 d, 海拔 1700 m。土层较厚, 达 60—100 cm, 土体持水能力很弱, 土壤经常处于干旱状态, 冬季干旱非常明显。土壤为黄色石灰土, 生境复杂多样。有石面、石沟、石洞、土面等多种小生境类型, 为典型的高原喀斯特地貌, 2006 年实施退耕还林, 种植有白桦 (*Betula platyphylla*)、板栗 (*Castanea mollissima*)、核桃 (*Juglans regia*), 零星散种少量的玉米 (*Zea mays*)、黑麦草 (*Lolium perenne*)、三叶草 (*Trifolium repens*) 等植物。

1.2 样品采集

在研究区内选择一块面积为 340 m × 320 m 的典型喀斯特坡耕地, 用全站仪将其划分为 20 m × 20 m 的方格, 共获得 294 个样点。2010 年 1 月进行网格法采样, 采样时先去除地表凋落物, 在每个样点周围 2 m 范围内随机采取 5 个 0—20 cm 表层土样, 充分混匀后分成两部分, 一部分带回实验室风干研磨成粉测土壤养分, 另一部分保存于 4 ℃ 的冰箱中测定土壤微生物性状。同时详细记录该样点的坡度、坡向、土层厚度、土地利用方式、植被类型、耕作制度等环境信息, 用手持 GPS (GPSmap 60) 定位。

1.3 样品分析

土壤微生物生物量 C、N、P 采用氯仿熏蒸提取法测定^[11]。微生物量碳 (C_{mic}) 采用氯仿熏蒸- K_2SO_4 提取-碳自动分析法, 提取液中 C 采用总有机碳自动分析仪 (TOC2500) 测定, $B_C = E_C/k_{EC}$, E_C = 熏蒸土壤浸提的有机碳-不熏蒸土壤浸提的有机碳, k_{EC} 为转换系数, 取值 0.45; 微生物量氮 (N_{mic}) 采用氯仿熏蒸- K_2SO_4 提取-氮自动分析法, 提取液中 N 采用流动注射仪 (FIAstar 5000) 测定, $B_N = E_N/k_{EN}$, E_N = 熏蒸土壤浸提的全氮-不熏蒸土壤浸提的全氮, k_{EN} 为转换系数, 取值 0.45; 微生物量磷 (P_{mic}) 采用氯仿熏蒸- $NaHCO_3$ 提取-紫外分光光度计法, 提取液中 P 采用紫外分光光度计 (UV8500) 测定, $P_{mic} = E_{P_i}/(k_{P_i} \cdot R_{P_i})$, E_{P_i} = 熏蒸土壤提取的 P_i -不熏蒸土壤提取的 P_i , $R_{P_i} = [(加 P_i \text{ 的土壤提取的 } P_i - \text{未熏蒸土壤提取的 } P_i)/25] \times 100\%$, k_{P_i} 为转换系数, 取值 0.4。

1.4 数据处理与统计分析

描述性统计分析在 SPSS13.0 中完成。文中数据采用样本均值加减 3 倍标准差识别特异值, 在此区间外的数据均定为特异值, 分别用正常的最大和最小值代替^[12], 后续计算均采用处理后的原始数据。半方差分析在 GS+ 中完成。Kriging 等值线图在 ArcGIS10.0 中完成。地统计学有关方法及原理见文献^[13]。

1.4.1 空间自相关分析

空间自相关分析是生态学上常用的空间分析方法, 主要用于度量某一变量是否存在空间依赖关系以及变量自身在较近的空间中是否有较强的关联^[14]。常用的空间自相关系数有 Moran's I 系数和 Geary's C 系数, 本文用 Moran's I 系数进行空间自相关分析, 计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中, x_i 和 x_j 分别是变量 x 在相邻配对空间点 i 和 j 上取值; w_{ij} 是相邻权重; n 是空间单元总数; I 系数取值从 -1 到 1; 当 $I=0$ 时代表空间不相关, 取正值时为正相关, 取负值为负相关。

1.4.2 半方差函数分析

半方差函数是应用最广泛的空间格局描述工具, 半方差函数公式为:

$$I = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

式中, $I(h)$ 为半方差函数值; $N(h)$ 是间距为向量 h 的点对总数; $Z(x_i)$ 是区域化变量 Z 在 x_i 处的实测值; $Z(x_i + h)$ 是与 x_i 距离为向量 h 处样点的值。一般认为半方差函数只有在最大间隔的 1/2 内才有意义, 在本研究中没有特殊说明半方差函数的有效滞后距都设为其最大采样间隔的 1/2。本文对半变异函数的拟合主要采用指数模型, 其公式为:

$$\gamma(h) = C_0 + C(1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}}) \quad (3)$$

式中, C_0 为块金值 (Nugget); C_0+C 为基台值 (Sill); a 是变程 (Range); h 为滞后距离。指数模型的变程为 $3a$ 而不是 a 。半方差函数的块金值表示随机变异的大小, 主要来源于最小取样间隔内的自然过程造成的变异和实验误差, 基台值通常表示系统内的总变异包括结构性变异和随机性变异, 块金值和基台值受自身因素和测量单位的影响较大, 不能用于比较不同变量间的随机变异, 但块金值和基台值之比反映了块金方差占总空间异质性变异的大小, 它反映了土壤属性的空间依赖性, 一般认为 $<25\%$ 时, 空间变量为强烈的空间自相关, 在 $25\%—75\%$ 之间时, 为中等空间自相关, $>75\%$ 为弱空间自相关^[15]。变程表明属性因子空间自相关范围的大小, 它与观测尺度以及在取样尺度上影响土壤微生物的各种生态过程和相互作用有关, 在变程之内, 变量具有空间自相关性, 反之则不存在, 即变程提供了研究某种属性相似范围的一种测度^[16]。

2 结果与分析

2.1 经典统计描述

由表 1 可看出, 云贵高原坡耕地的土壤微生物生物量 C_{mic} 、 P_{mic} 和 C_{mic}/N_{mic} 比较适中, 其均值分别为 383.80、15.41 mg/kg 和 5.61 mg/kg, N_{mic} 的含量较低, 仅为 71.50 mg/kg。 C_{mic} 、 N_{mic} 之间存在着较强的相关性, 而 C_{mic} 、 N_{mic} 与 P_{mic} 之间不存在着明显的相关关系 (图 1)。各指标的变异系数均很大, 在 39.96%—87.50% 之间, 反映了喀斯特生境的高度异质性, 内部存在较大的变异性, 但对于其空间结构特征及其相互关系还需用地统计学方法进一步研究。通过对偏度、峰度的观察和 K-S 法进行非参数检验, 在 5% 的检验水平下, P_{mic} 服从正态分布, C_{mic} 、 N_{mic} 、 C_{mic}/N_{mic} 经过对数转换后服从正态分布。

表 1 土壤微生物生物量的描述性统计分析 & 正态分布检验结果

Table 1 Results of soil microbial biomass for descriptive statistics and K-S test

微生物量 Microbial biomass	最小值 Min. /(mg/kg)	最大值 Max. /(mg/kg)	均值 Mean /(mg/kg)	标准差 Standard variance	变异系数 Variance /%	偏度 Skew	峰度 Kurtosis	K-S Value of K-S test	分布类型 Distribution type
C_{mic}	50.45	1653.10	383.80	335.81	87.50	2.37	5.72	0.000	*
$C_{mic}\#$	1.70	3.22	2.47	0.31	12.53	0.26	0.25	0.092	N
N_{mic}	18.14	160.98	71.50	28.57	39.96	0.78	0.67	0.026	*
$N_{mic}\#$	1.26	2.21	1.82	0.18	9.95	-0.42	0.27	0.411	N
P_{mic}	0.72	38.64	15.41	7.62	49.46	0.61	0.15	0.248	N
C_{mic}/N_{mic}	0.95	21.79	5.61	4.39	78.32	2.10	4.40	0.000	*
$C_{mic}/N_{mic}\#$	-0.02	1.34	0.65	0.29	44.53	0.21	0.18	0.207	N

* 表示 $\alpha < 0.05$, 非正态分布; # 对数转换后的结果, N 表示正态分布

2.2 空间自相关分析

土壤微生物量在研究区域呈现一定的空间结构性, C_{mic} 、 N_{mic} 、 P_{mic} 三者的空间结构差别很大 (图 2)。随着滞后距离的增大, C_{mic} 呈直线下降, 90 m 之后呈负相关且继续下降至 110 m, 在将至坡脚时又有增大的趋势, 且到 180 m 之后表现为正相关, Moran's I 最小时为 -0.088; 而 N_{mic} 随着滞后距的增大开始表现为增大的趋势, 在 70 m 之后呈直线下降且在 120 m 之后表现为负相关, 然后继续下降至 200 m 时有了增大的趋势, Moran's I 最小时为 -0.0539; P_{mic} 的空间结构也显著不同于 C_{mic} 、 N_{mic} , 随着滞后距的增大逐渐下降, 至 60 m 时自相关函数逐渐向负方向增长, 而到 80 m 之后又开始增大且在 100 m 之后达到显著的正相关并继续增大, 在 150 m 之后又开始下降且在 170 m 之后达到负相关并趋于平缓, Moran's I 最小时为 -0.060; 而 C_{mic}/N_{mic} 的空间结构与 C_{mic} 具有相似的空间结构, 随着滞后距的增大开始时持续下降并达到负相关, 到了一定位置之后又开始逐渐增大并达到显著的正相关, Moran's I 最小时为 -0.093 (图 2)。

2.3 空间结构分析

云贵高原喀斯特坡耕地 C_{mic} 、 N_{mic} 、 P_{mic} 和 C_{mic}/N_{mic} 的最佳拟合模型均为指数模型, RSS 值均很小, 拟合程度均很高 (表 2 和图 3)。由表 2 可看出, 云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量的块金方差 C_0 均很小, 接近 0,

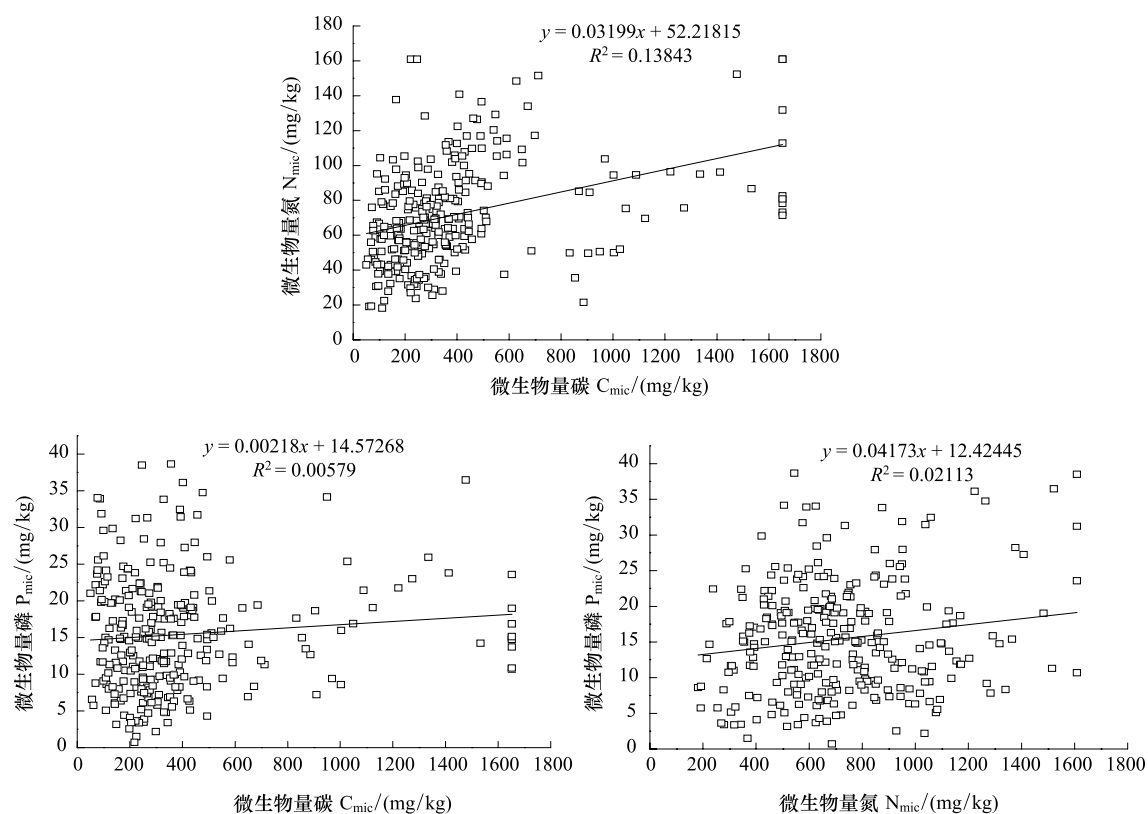


图1 土壤微生物量的相关分析

Fig. 1 Correlation of soil microbial biomass

$C_0/(C_0+C)$ 均 $<25\%$,说明土壤微生物量均表现为强烈的空间相关,其空间变异受随机因素的影响较小,主要由土壤母质、地形、气候等自然因素(结构性变异)引起。 C_{mic} 和 P_{mic} 的变程相近,分别为51.0 m和50.1 m。 N_{mic} 的变程较小,为21.6 m。

表2 土壤微生物量的半方差函数的模型类型及参数

Table 2 Semivariogram theoretical models and parameters for soil microbial biomass								
微生物量 Microbial biomass	样本数 Samples	模型 Theory models	C_0	C_0+C	$C_0/(C_0+C)$	a/m	R^2	RSS
$C_{mic}/(mg/kg)$	294	Exponential	0.0087	0.0964	0.090	51.0	0.498	3.310×10^{-4}
$N_{mic}/(mg/kg)$	294	Exponential	0.0034	0.0331	0.102	22.2	0.540	1.737×10^{-5}
$P_{mic}/(mg/kg)$	294	Exponential	0.0016	0.0611	0.026	50.1	0.414	2.597×10^{-4}
C_{mic}/N_{mic}	294	Exponential	0.0065	0.0824	0.079	38.4	0.244	3.065×10^{-4}

2.4 土壤微生物量的空间格局

利用 Kriging 方法制作的等值线更深刻、全面和直观地揭示了贵州高原喀斯特坡耕地土壤微生物的空间分布格局(图4)。与空间自相关和半方差函数分析的结果相似, C_{mic} 和 C_{mic}/N_{mic} 的空间分布特征相似,均表现为中上部、坡脚的含量较高,最高值区均分布在坡中上部; N_{mic} 的高值区集中在坡中上部,与 C_{mic} 的分布比较均匀不同, N_{mic} 的空间分布规律不明显,斑块多而破碎,表现为极高的空间异质性; P_{mic} 的格局明显不同, P_{mic} 在坡的中下部与坡脚的含量较高。

3 讨论

土壤微生物是土壤有机质和养分转化、循环的驱动力,参与有机质的分解、腐殖质的形成等各个生化过

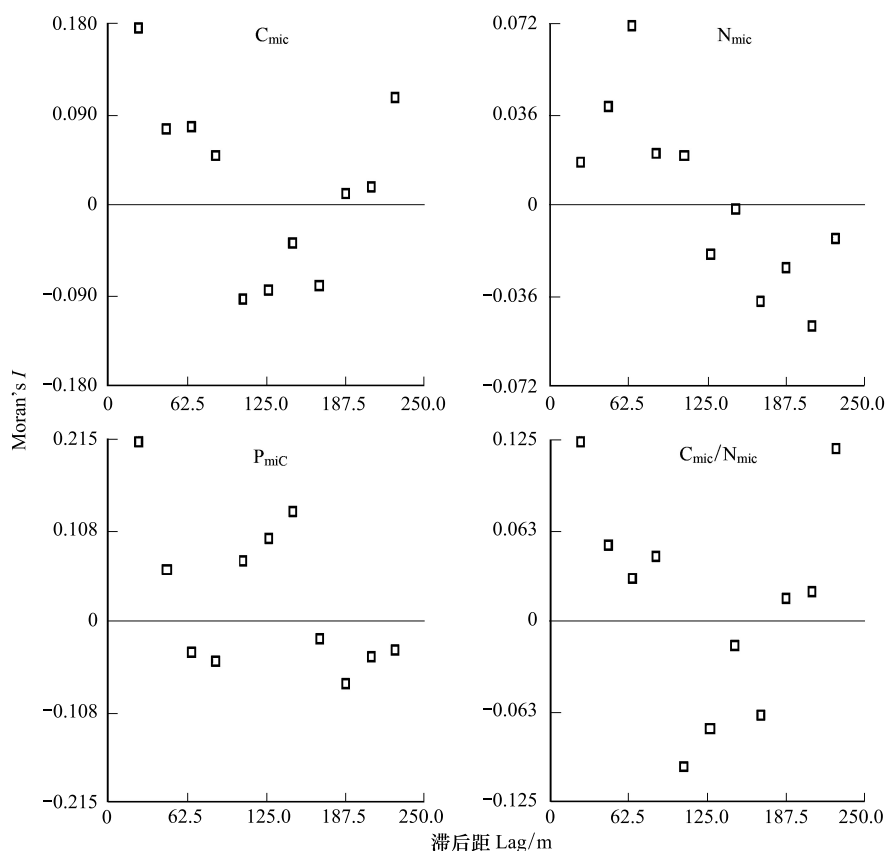


图2 土壤微生物量的空间相关图

Fig 2 Spatial correlograms of soil microbial biomass

程,与土壤肥力密切相关。以往的研究表明,不同生态系统土壤微生物生物量含量的变化较大,农田(主要是旱地)土壤表层微生物生物量碳含量一般为 100—500 mg/kg,占土壤有机 C 总量的 0.5%—4%,土壤微生物生物量 N 占土壤全 N 的 2%—6%,土壤微生物生物量 P 占土壤全 P 的 1%—3%^[17]。土壤微生物生物量碳与微生物量氮(C_{mic}/N_{mic})的比值是否恒定,不同学者其观点不同,Anderson 等^[18]认为 C_{mic}/N_{mic} 平均值为 6.7,陈国潮等^[19]认为红壤土壤 C_{mic}/N_{mic} 平均值为 6.2。李新爱等^[10]研究表明,喀斯特区域稻田、林地、旱地土壤 C_{mic} 含量主要分布区间分别为 550—2550、50—550 和 50—1050 mg/kg,土壤 N_{mic} 分布区间分别为 50—205、50—205 和 50—105 mg/kg, C_{mic}/N_{mic} 分别为 14.9、5.2 和 6.9。金发会等^[20]发现黄土高原石灰性土壤微生物 C_{mic} 、 N_{mic} 的含量分布区间分别为 24.8—442.4 和 8.4—61.9 mg/kg, C_{mic}/N_{mic} 在 0.8—8.6 之间。本研究结果显示,云贵高原喀斯特坡耕地表层土壤 C_{mic} 、 N_{mic} 和 P_{mic} 的含量分布区间分别为 50.45—1653.10、18.14—160.98 和 0.72—38.64 mg/kg,其均值低于喀斯特峰丛洼地稻田和林地土壤,高于同类型的喀斯特峰丛洼地旱地土壤和黄土高原石灰土, C_{mic} 与 N_{mic} 之间存在极强的相关性, C_{mic} 、 N_{mic} 和 P_{mic} 相关性不明显, C_{mic}/N_{mic} 为 5.61,与前人研究的结果相似。喀斯特不同生态系统中的土壤微生物特征及形成机制不同,有待进一步的研究。

空间异质性反映了生态格局和生态过程的内在特性,生态因子在空间上的分布受多种作用的影响,土壤性质在空间上的变异产生了其结构功能上的差异^[21]。前期研究已发现喀斯特峰丛洼地景观单元内不同生态系统的植被、土壤养分、水分的空间变异和分布不同,植被、土壤和地形的耦合关系也不同^[22-25],土壤微生物与土壤性质和植被存在着“共演替”效应^[9-10]。由于土壤微生物土壤取样、运输、贮藏和分析的难度大,多数学者仍沿用传统的生物地理学中简单的数学模型(种-面积关系、距离-衰减关系)描述微生物的非随机分

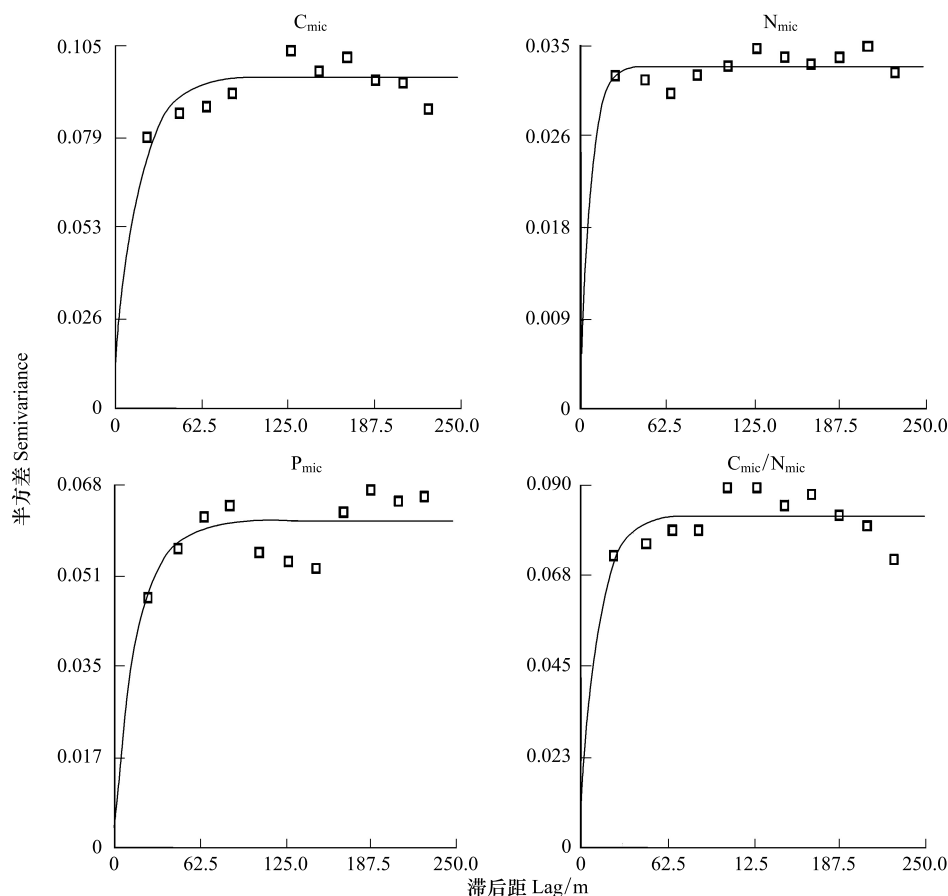


图3 土壤微生物量的半方差函数图

Fig. 3 Semivariograms of soil microbial biomass

布^[4,26],但由于样品数量少,不仅不能正确评估某一面积内微生物物种数,而且无法勾绘出土壤微生物属性的空间分布图。又因为土壤微生物个体小、数量巨大、可形成休眠体、世代周期短、繁殖力强,其成活率高、恢复迅速、扩展能力强、物种划分的标准过粗过宽^[27],从而导致传统观念认为土壤微生物的分布格局是一种全球性的随机分布^[7,28]。

本研究采用网格法取样和地统计学分析发现,云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物生物量 C 、 N 、 P 和 C_{mic}/N_{mic} 均具有较强的空间自相关性,半方差函数最佳拟合模型均为指数模型, RSS 均较小,拟合程度较高(半方差函数模型的确定主要依据拟合参数 R^2 和 RSS 值,这两个参数均是反映模型拟合程度的,但 RSS 较 R^2 更灵敏,模型拟合 RSS 值越小,说明拟合程度越高^[12]);块金值 C_0 较小(0.0016—0.0087), $C_0/(C_0+C)$ 均 < 25% (2.6%—10.2%),变程 a 较短(22.2—51.0 m),强烈的空间相关性受随机因素的影响较小,主要由结构性变异引起;不同土壤微生物属性的空间分布格局不同, C_{mic} 、 N_{mic} 和 C_{mic}/N_{mic} 的高值区分布在坡的中上部, P_{mic} 的高值区则在坡的中下部和坡脚。由此可见,云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物生物量在小尺度范围内存在着明显的空间变异和分布,其形成机制与动植物等大型生物一样,是历史进化事件(距离分隔、物理屏障、扩散历史和过去的环境异质性等)和当代环境因子(如植被、气候、地形、土壤和人为干扰等)共同作用的结果^[5,7],且这种影响具有明显的尺度依赖性,即在较大空间尺度的历史及进化过程的主导作用下,当代环境因子在小空间尺度下不断对土壤微生物空间分布格局进行细部改造^[29-31]。这为指导喀斯特退化生态系统植被的迅速恢复和生态重建、推动微生物生物地理学发展提供了科学的理论和实践依据。

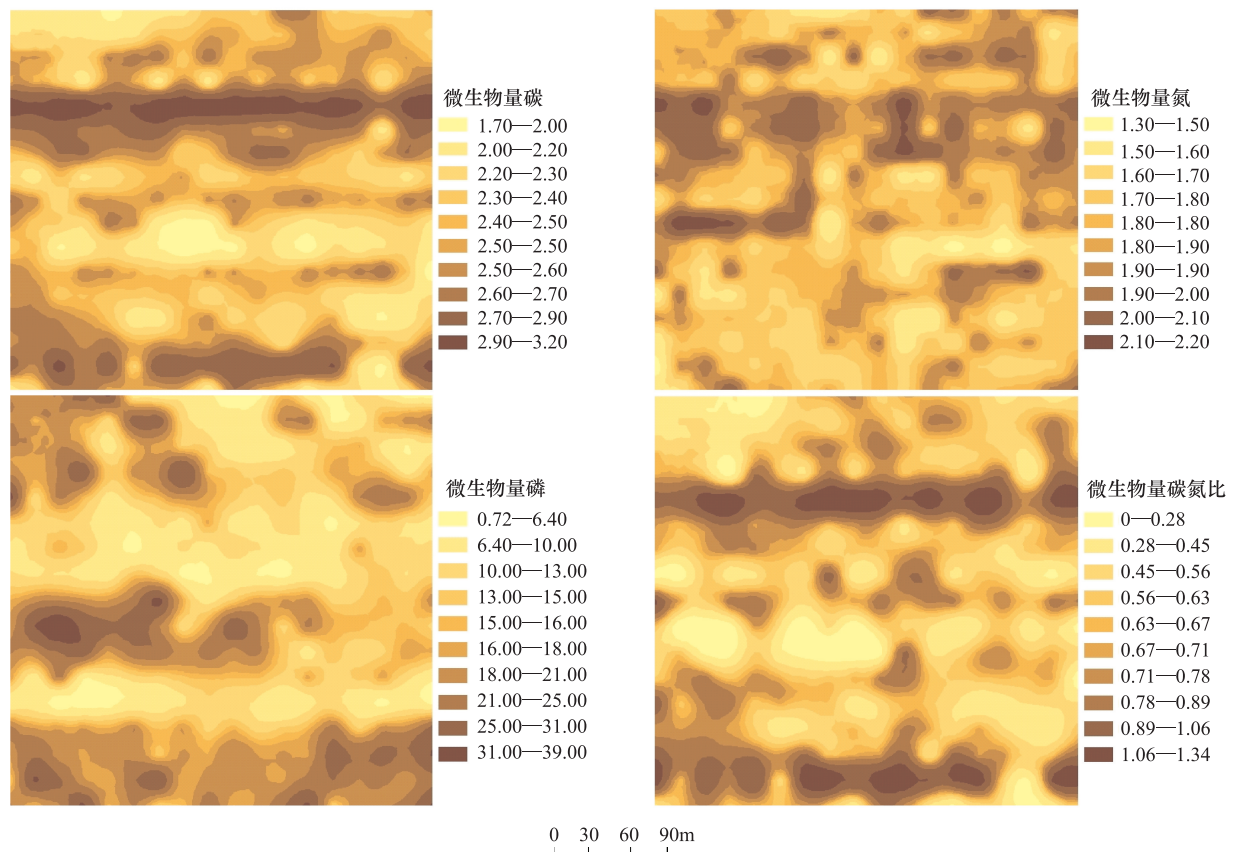


图 4 土壤微生物量的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of soil microbial biomass

References:

- [1] Peng W X, Wang K L, Song T Q, Zeng F P, Wang J R. Controlling and restoration models of complex degradation of vulnerable Karst ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 811-820.
- [2] Zeng F P, Peng W X, Song T Q, Wang K L, Wu H Y, Song X J, Zeng Z X. Changes in vegetation after 22 years' natural restoration in the karst disturbed area in Northwest Guangxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5110-5119.
- [3] Zhou Z X. Scientific Investigation Report of Maolan Karst Forest. Guiyang: Guizhou People Press, 1987: 1-23.
- [4] Drakare S, Lennon J J, Hillebrand H. The imprint of the geographical, evolutionary and ecological context on species-area relationships. *Ecology Letters*, 2006, 9(2): 215-227.
- [5] Mittelbach G G, Schemske D W, Cornell H V, Allen A P, Brown J M, Bush M B, Harrison S P, Hurlbert A H, Knowlton N, Lessios H A, McCain C M, McCune A R, McDade L A, McPeck M A, Near T J, Price T D, Ricklefs R E, Roy K, Sax D F, Schluter D, Sobel J M, Turelli M. Evolution and the latitudinal diversity gradient: speciation, extinction and biogeography. *Ecology Letters*, 2007, 10(4): 315-331.
- [6] Martiny J B H, Bohannan B J M, Brown J H, Colwell R K, Fuhrman J A, Green J L, Horner-Devine M C, Kane M, Krumins J A, Kuske C R, Morin P J, Naeem S, Øvreås L, Reysenbach A L, Smith V H, Staley J T. Microbial biogeography: putting microorganisms on the map. *Nature Reviews Microbiology*, 2006, 4(2): 102-112.
- [7] Finlay B J. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science*, 2002, 296(5570): 1061-1063.
- [8] Dolan J R. Microbial biogeography. *Journal of Biogeography*, 2006, 33(2): 199-200.
- [9] He X Y, Wang K L, Yu Y Z, Zhang W, Chen Z H. The responses of soil microbial taxonomic diversity on vegetation communities and seasons in karst area. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 1763-1769.
- [10] Li X A, Xiao H A, Wu J S, Su Y R, Huang D Y, Huang M, Liu S L, Peng H C. Effects of land use type on soil organic carbon, total nitrogen, and microbial biomass carbon and nitrogen contents in Karst region of South China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10): 1827-1831.

- [11] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y. Soil Microbial Biomass-Methods and Application. Beijing: China Meteorological Press, 2006: 6.
- [12] Liu F C, Shi X Z, Yu D S, Pan X Z. Characteristics of spatial variability of total soil nitrogen in the typical area of Taihu Lake basin. *Geographical Research*, 2004, 23(1): 63-70.
- [13] Wang Z Q. Geostatistics and Its Application in Ecology. Beijing: Science press, 1999: 43-195.
- [14] Wang Q, Dai J L, Fu H C, Shen T L, Wu D Q, Wang R Q. The application of spatial analysis methods to microbial ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 439-446.
- [15] Cambardella C A, Moorman T B, Parkin T B, Karlen D L, Novak J M, Turco R F, Konopka A E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58(5): 1501-1511.
- [16] Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, 1986, 38: 45-94.
- [17] Liu S L, Xiao H A, Tong C L, Wu J S. Microbial biomass C, N and P and their responses to application of inorganic and organic fertilizers in subtropical paddy soils. *Research of Agricultural Modernization*, 2003, 24(4): 278-283.
- [18] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1989, 21(4): 471-479.
- [19] Chen G C, He Z L. The research of microbial under different methods of using on red soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 1998, 29(6): 276-278.
- [20] Jin F H, Li S Q, Lu H L, Li S X. Relationships of microbial biomass carbon and nitrogen with particle composition and nitrogen mineralization potential in calcareous soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2739-2746.
- [21] Zhang W, Chen H S, Wang K L, Hou Y, Zhang J G. Spatial variability of soil organic carbon and available phosphorus in a typical Karst depression, northwest of Guangxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5168-5175.
- [22] Song T Q, Peng W X, Zeng F P, Ouyang Z W, Wu H Y. Spatial heterogeneity of surface soil moisture content in dry season in Mulun National Natural Reserve in Karst area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(1): 98-104.
- [23] Peng W X, Song T Q, Zeng F P, Wang K L, Fu W, Liu L, Du H, Lu S Y, Yin Q C. The coupling relationships between vegetation, soil, and topography factors in Karst mixed evergreen and deciduous broadleaf forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(13): 3472-3481.
- [24] Liu L, Zeng F P, Song T Q, Peng W X, Wang K L, Qin W G, Tan W N. Spatial heterogeneity of soil nutrients in Karst area's Mulun National Nature Reserve. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(7): 1667-1673.
- [25] Du H, Song T Q, Peng W X, Wang K L, Liu L, Lu S Y, Zeng F P. Spatial heterogeneity of mineral compositions in surface soil in Mulun National Nature Reserve Karst areas. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(6): 79-84.
- [26] Whitaker R J, Grogan D W, Taylor J W. Geographic barriers isolate endemic populations of Hyperthermophilic Archaea. *Science*, 2003, 301(5635): 976-978.
- [27] He J Z, Ge Y. Recent advances in soil microbial biogeography. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5571-5582.
- [28] O'Malley M A. The nineteenth century roots of 'everything is everywhere'. *Nature Reviews Microbiology*, 2007, 5(8): 647-651.
- [29] Vyverman W, Verleyen E, Sabbe K, Vanhoutte K, Sterken M, Hodgson D A, Mann D G, Juggins S, van de Vijver B, Jones V, Flower R, Roberts D, Chepuronov V A, Kilroy C, Vanormelingen P, de Wever A. Historical processes constrain patterns in global diatom diversity. *Ecology*, 2007, 88(8): 1924-1931.
- [30] Ramette A, Tiedje J M. Multiscale responses of microbial life to spatial distance and environmental heterogeneity in a patchy ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(8): 2761-2766.
- [31] Ge Y, He J Z, Zhu Y G, Zhang J B, Xu Z H, Zhang L M, Zheng Y M. Differences in soil bacterial diversity: driven by contemporary disturbances or historical contingencies. *International Society for Microbial Ecology*, 2008, 2(3): 254-264.

参考文献:

- [1] 彭晚霞, 王克林, 宋同清, 曾馥平, 王久荣. 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式. *生态学报*, 2008, 28(2): 811-820.
- [2] 曾馥平, 彭晚霞, 宋同清, 王克林, 吴海勇, 宋希娟, 曾昭霞. 桂西北喀斯特人为干扰区植被自然恢复 22 年后群落特征. *生态学报*, 2007, 27(12): 5110-5119.
- [3] 周政贤. 茂兰喀斯特森林科学考察集. 贵阳: 贵州人民出版社, 1987: 1-23.
- [9] 何寻阳, 王克林, 于一尊, 张伟, 陈志辉. 岩溶区植被和季节对土壤微生物遗传多样性的影响. *生态学报*, 2009, 29(4): 1763-1769.
- [10] 李新爱, 肖和艾, 吴金水, 苏以荣, 黄道友, 黄敏, 刘守龙, 彭洪翠. 喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮以及微生物生物量碳和氮的影响. *应用生态学报*, 2006, 17(10): 1827-1831.
- [11] 吴金水, 林启美, 黄巧云. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社, 2006: 6.
- [12] 刘付程, 史学正, 于东升, 潘贤章. 太湖流域典型地区土壤全氮的空间变异特征. *地理研究*, 2004, 23(1): 63-70.

- [13] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999: 43-195.
- [14] 王强, 戴九兰, 付合才, 申天琳, 吴大千, 王仁卿. 空间分析方法在微生物生态学研究中的应用. 生态学报, 2010, 30(2): 439-446.
- [17] 刘守龙, 肖和艾, 童成立, 吴金水. 亚热带稻田土壤微生物生物量碳、氮、磷状况及其对施肥的反应特点. 农业现代化研究, 2003, 24(4): 278-283.
- [19] 陈国潮, 何振立. 红壤不同利用方式下的微生物量研究. 土壤通报, 1998, 29(6): 276-278.
- [20] 金发会, 李世清, 卢红玲, 李生秀. 石灰性土壤微生物量碳、氮与土壤颗粒组成和氮矿化势的关系. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2739-2746.
- [21] 张伟, 陈洪松, 王克林, 侯娅, 张继光. 桂西北喀斯特洼地土壤有机碳和速效磷的空间变异. 生态学报, 2007, 27(12): 5168-5175.
- [22] 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 欧阳资文, 吴海勇. 喀斯特木论自然保护区旱季土壤水分的空间异质性. 应用生态学报, 2009, 20(1): 98-104.
- [23] 彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 王克林, 傅伟, 刘璐, 杜虎, 鹿士杨, 殷庆仓. 喀斯特常绿落叶阔叶混交林植物与土壤地形因子的耦合关系. 生态学报, 2010, 30(13): 3472-3481.
- [24] 刘璐, 曾馥平, 宋同清, 彭晚霞, 王克林, 覃文更, 谭卫宁. 喀斯特木论自然保护区土壤养分的空间变异特征. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1667-1673.
- [25] 杜虎, 宋同清, 彭晚霞, 王克林, 刘璐, 鹿士杨, 曾馥平. 木论喀斯特自然保护区表层土壤矿物质的空间异质性. 农业工程学报, 2011, 27(6): 79-84.
- [27] 贺纪正, 葛源. 土壤微生物生物地理学研究进展. 生态学报, 2008, 28(11): 5571-5582.

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