

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第1期 Vol.32 No.1 **2012**

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 32 卷 第 1 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

局域种群的 Allee 效应和集合种群的同步性	刘志广, 赵 雪, 张丰盘, 等 (1)
叶片毛尖对齿肋赤藓结皮凝结水形成及蒸发的影响	陶 冶, 张元明 (7)
长江口锋面附近咸淡水混合对浮游植物生长影响的现场培养	王 奎, 陈建芳, 李宏亮, 等 (17)
河流流量对流域下垫面特性的响应	田 迪, 李叙勇, Donald E. Weller (27)
中国中东部平原亚热带湿润区湖泊营养物生态分区	柯新利, 刘 曼, 邓祥征 (38)
基于氮磷比解析太湖苕溪水体营养现状及应对策略	聂泽宇, 梁新强, 邢 波, 等 (48)
滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨	盛 虎, 郭怀成, 刘 慧, 等 (56)
采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响	杨秀云, 韩有志, 张芸香, 等 (64)
松嫩草原榆树疏林对不同干扰的响应	刘 利, 王 赫, 林长存, 等 (74)
天山北坡不同海拔梯度山地草原生态系统地上净初级生产力对气候变化及放牧的响应	周德成, 罗格平, 韩其飞, 等 (81)
草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应	苏洁琼, 李新荣, 冯 丽, 等 (93)
自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异	张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (101)
晋、陕、宁、蒙柠条锦鸡儿群落物种多样性对放牧干扰和气象因子的响应	周 伶, 上官铁梁, 郭东罡, 等 (111)
华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化	薛 立, 张 柔, 奚如春, 等 (123)
河西走廊不同红砂天然群体种子活性相关性	苏世平, 李 毅, 种培芳 (135)
江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算	吴 丹, 邵全琴, 李 佳, 等 (142)
酸雨和采食模拟胁迫下克隆整合对空心莲子草生长的影响	郭 伟, 李钧敏, 胡正华 (151)
棉铃虫在 4 个辣椒品种上的寄主适合度	贾月丽, 程晓东, 蔡永萍, 等 (159)
烟草叶面积指数的高光谱估算模型	张正杨, 马新明, 贾方方, 等 (168)
不同作物田烟粉虱发生的时空动态	崔洪莹, 戈 峰 (176)
长期施肥对稻田土壤固碳功能菌群落结构和数量的影响	袁红朝, 秦红灵, 刘守龙, 等 (183)
新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用	郭 甜, 何丙辉, 蒋先军, 等 (190)
一株产漆酶土壤真菌 F-5 的分离及土壤修复潜力	茆 婷, 潘 澄, 徐婷婷, 等 (198)
木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局	刘 璐, 宋同清, 彭晚霞, 等 (207)
岷江干旱河谷 25 种植物一年生植株根系功能性状及相互关系	徐 琨, 李芳兰, 苟水燕, 等 (215)
黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征	程积民, 程 杰, 杨晓梅, 等 (226)
棉铃发育期棉花源库活性对棉铃对位叶氮浓度的响应	高相彬, 王友华, 陈兵林, 等 (238)
耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响	李 辉, 张军科, 江长胜, 等 (247)
外源钙对黑藻抗镉胁迫能力的影响	闵海丽, 蔡三娟, 徐勤松, 等 (256)
强筋与弱筋小麦籽粒蛋白质组分与加工品质对灌浆期弱光的响应	李文阳, 闫素辉, 王振林 (265)
专论与综述	
蛋白质组学研究揭示的植物根盐胁迫响应机制	赵 琪, 戴绍军 (274)
流域生态风险评估研究进展	许 妍, 高俊峰, 赵家虎, 等 (284)
土壤和沉积物中黑碳的环境行为及效应研究进展	汪 青 (293)
研究简报	
青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析	梁坤伦, 姜文清, 周志宇, 等 (311)
菊属与蒿属植物苗期抗蚜虫性鉴定	孙 娅, 管志勇, 陈素梅, 等 (319)
滨海泥质盐碱地衬膜造林技术	景 峰, 朱金兆, 张学培, 等 (326)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 332 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-01



封面图说: 白鹭展翅为梳妆, 玉树临风巧打扮——这是大白鹭繁殖期时的美丽体态。大白鹭体羽全白, 身长 94—104cm, 寿命 20 多年。是白鹭中体型最大的。繁殖期的大白鹭常常在湿地附近的大树上筑巢, 翩翩飞舞吸引异性, 其繁殖期背部披有蓑羽, 脸颊皮肤从黄色变成兰绿色, 嘴由黄色变成绿黑色。大白鹭是一个全世界都有它踪迹的广布种, 一般单独或成小群, 在湿地觅食, 以小鱼、虾、软体动物、甲壳动物、水生昆虫为主, 也食蛙、蝌蚪等。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201011101618

刘璐, 宋同清, 彭晚霞, 王克林, 杜虎, 鹿士杨, 曾馥平. 木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局. 生态学报, 2012, 32(1): 0207-0214.

Liu L, Song T Q, Peng W X, Wang K L, Du H, Lu S Y, Zeng F P. Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 0207-0214.

木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局

刘璐^{1,2,3}, 宋同清^{1,2}, 彭晚霞^{1,2}, 王克林^{1,2}, 杜虎^{1,2,3},
鹿士杨^{1,2,3}, 曾馥平^{1,2,*}

(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. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 广西环江 547200; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:土壤微生物是森林生态系统中的重要分解者,在森林生态系统物质循环和能量转换中占有特别重要的地位。以典型喀斯特峰丛洼地为试验对象,利用经典统计学和地统计方法分析了土壤微生物量的空间变异特征。结果表明:土壤微生物量的变异程度均很大,土壤微生物量碳(C_{mic})、土壤微生物量氮(N_{mic})、土壤微生物量磷(P_{mic})的变化范围依次为:44.29—5209.63, 20.91—1894.37, 0.34—77.06 mg/kg。 C_{mic} 、 N_{mic} 呈极显著的相关关系, C_{mic}/N_{mic} 为 4.78,明显低于其它生态系统。半变异函数分析表明, C_{mic} 和 N_{mic} 的最佳拟合模型为高斯模型, P_{mic} 的最佳拟合模型为球状模型, C_{mic}/N_{mic} 的最佳拟合模型为指数模型。土壤微生物量的块金值/基台值均介于 25%—75% 之间,表现为中等空间相关性,说明其受随机因素和结构因素的综合影响。 C_{mic} 、 N_{mic} 的自相关距离约为 50 m,随着滞后距离的增大,自相关函数逐渐向负方向增长,达到显著的负相关。 P_{mic} 的 Moran's I 在滞后距大于 70 m 后反而增大,表现为正相关。 C_{mic}/N_{mic} 的 Moran's I 较小,在-0.2—0.2 之间波动。 C_{mic} 、 N_{mic} 的空间分布具有很高的相似性,呈凸型片状分布,坡中含量高且向两边递减。 P_{mic} 表现为明显不同的分布格局,其在坡中上位和洼地含量较高。 C_{mic}/N_{mic} 呈相反的凹形零星斑块状分布。土壤微生物存在着一定的空间格局,受干扰后其含量急剧降低,因此应加强喀斯特原生生态系统的保护。

关键词:喀斯特;土壤微生物量;空间变异;地统计学

Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area

LIU Lu^{1,2,3}, SONG Tongqing^{1,2}, PENG Wanxia^{1,2}, WANG Kelin^{1,2}, DU Hu^{1,2,3}, LU Shiyang^{1,2,3},
ZENG Fuping^{1,2,*}

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

2 Huanjiang Observation and Research Station of Karst Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang 547200, Guangxi, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: Soil microbe is the most important decomposer in forest ecosystems, and plays a key role in material recycling and energy conversion. In this study, the spatial patterns of soil microbial biomass in typical Karst peak-cluster depressions were analyzed through both geo-statistical and traditional statistical methods. The results showed that large variation existed in soil microbial biomass. Soil microbial biomass carbon(C_{mic}), soil microbial biomass nitrogen(N_{mic}), and soil microbial

基金项目:国家科技支撑计划(2009BAD6B008, 2010BAE00739);中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050205);国家自然科学基金项目(31000224, 31070425, 30970508, U1033004);中国科学院“西部之光”人才培养计划

收稿日期:2010-11-10; 修订日期:2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fpzeng@163.com

biomass phosphorus(P_{mic}) varied from 44.29—5209.63, 20.91—1894.37, 0.34—77.06 mg/kg, respectively. The C_{mic} was significantly positively correlated with N_{mic} . The value of C_{mic}/N_{mic} is 4.78, which obviously lower than that in other ecosystems. Semivariance analysis revealed that the Gaussian model fitted best for C_{mic} and N_{mic} , the Spherical model fitted best for P_{mic} , and the Exponential model fitted best for C_{mic}/N_{mic} . The SH% ($C/(C+C_0) \times 100\%$) of soil microbial biomass exhibited moderate spatial autocorrelation, ranging from 25% to 75%. Therefore, the spatial patterns were affected by both random and structure factors. The autocorrelation distance of C_{mic} and N_{mic} were about 50 m. Moran's I decreased gradually with the increase of separation distance, and showed a statistically negative correlation. Moran's I of P_{mic} increased when the separation distance was larger than 70 m, which indicated positive correlation. Moran's I of C_{mic}/N_{mic} was lower than others, ranging from -0.2 to 0.2 m. The spatial distribution of C_{mic} and N_{mic} were similar, and showed a convex-type distribution in which the contents were high in the middle and low on the two sides. In contrast, The P_{mic} was distributed with a pattern of high in the upper slope and depressions. The content of C_{mic}/N_{mic} showed a concave-type distribution with many small patches. We conclude that soil microbes exist in a certain spatial pattern, and that its contents sharply reduced after disturbing. As a result, the protection of Karst primary ecosystems against human disturbing should be strengthened.

Key Words: Karst; soil microbial biomass; spatial heterogeneity; geo-statistics

土壤微生物是陆地生态系统中最活跃的成分,它推动着生态系统的能量和物质循环,被公认为土壤生态系统变化的预警及敏感指标^[1-2]。土壤微生物生物量是指除了植物根系和体积大于 $5 \times 10^3 \mu m^3$ 的土壤动物以外的土壤中所有活有机体的量,其受气候、土壤、植被、人为干扰等因子的显著影响^[3]。西南喀斯特地区环境脆弱、退化容易恢复难、人地矛盾突出,导致十分严重的石漠化现象^[4]。土壤微生物作为退化生态系统恢复的“先锋者”,研究其空间格局对喀斯特生态系统的恢复及重建具有重要的意义。国内外关于土壤微生物生物量的研究主要集中在垂直变异、季节动态及影响因子等方面^[5-8]。已有的研究表明,土壤微生物量一般为上层高于下层,随着土壤深度的增加呈下降趋势,在同一生态系统中不同植被条件下土壤微生物量差异显著。另外,多数研究显示,水分和有机碳是影响土壤微生物量的重要因素,退化生态系统在撂荒后,土壤微生物量会有所增加,但很难恢复到干扰前的水平。这些研究为进一步认识土壤微生物量的空间变异提供了基础。

地统计学是在传统统计学基础上发展起来的空間分析方法,不仅能有效地揭示属性变量在空間上的分布、变异和相关特征,而且可以将空間格局与生态过程联系起来,有效地解释空間格局对生态过程与功能的影响^[9-12]。地统计学方法已广泛应用于土壤各种属性的空間变异研究,但由于土壤微生物取样、运输、贮藏和分析的难度大,多数学者仍沿用传统方法进行土壤微生物的研究。目前,微生物空間分析方法已经成为微生物生态学领域重要的研究方向之一,我国空間方法在微生物生态研究中的应用还没得到普遍的重视。本文以喀斯特木论国家级自然保护区的典型景观单元——峰丛洼地为尺度,应用半方差函数和 Kriging 插值方法分析了土壤微生物生物量的空間异质性和分布格局,初步探讨了其生态学过程,以期对喀斯特脆弱生态系统植被的迅速恢复和生态重建提供科学指导。

1 研究方法

1.1 研究地概况

木论自然保护区(107°54'01"—108°05'51" E, 25°07'01"—25°12'22" N)位于广西环江毛南族自治县西北部,东西 19.80 km、南北长 10.75 km,林区总面积 89.69 km²,属于中亚热带石灰岩区常绿阔叶混交林生态系统,是世界上喀斯特地貌区幸存的连片面积最大、完好性保存最佳、原生性最强的喀斯特森林。森林覆盖率达 94.8%,其典型景观单元为峰丛洼地,属中亚热带季风气候,年均日照 1451.1 h,占全年可照时数(4422 h)的 32.8%,月平均日照以 7 月最多(190.7 h)、2 月最少(61.5 h);平均气温 19.3 °C,极端最低气温 -5.0 °C,极端最高气温 36 °C,≥10 °C 年活动积温 6260 °C,无霜期 310 d;年均降水量为 1529.2 mm(海拔 420 m),降雨集中在 4—8 月,占全年的 73.7%,年均相对湿度 79%,干燥度 0.69,湿润度 1.46($K > 1.0$)。本研究区域为一典型

的峰丛洼地,面积 190.2 hm²,其中洼地面积 11.8 hm²,海拔最高处 637.8 m,最低处为 413.6 m。山坡裸岩率高达 90%,只有零星分布的土壤,平均坡度约为 35°,凹凸不平。

1.2 采样方法与样品分析

2008 年 11 月,在保护区内选择一个较规则的坡面(整体坡度均为 35°—40°),从洼地向坡顶设置一块投影面积为 200 m × 40 m 的样地,划分成 80 个 10 m × 10 m 网格,采样时在每个样点周围 2 m 范围内随机采取 5 个样本,混合后代表该样点土样,共计 105 个样。每个样本采取 0—15 cm 的表层土壤,同时记录立地因子、植被、人为干扰等信息,并用手持 GPS 定位。采集的土样迅速带回实验室,除去土壤中可见的动植物残体,过 2 mm 筛,混匀,分为两部分。一份置于 4 ℃ 的冷库中,用于微生物量碳、氮、磷的测定。测定前将土样预培养 7—15 d,消除土壤水分限制对微生物的影响。另一份风干用于土壤理化性质的测定。

微生物量碳(C_{mic})采用氯仿熏蒸-K₂SO₄提取-碳自动分析法,参照 Wu^[13] 等的步骤,提取液中 C 采用总有机碳自动分析仪(TOC2500)测定, C_{mic} 的计算: $B_C = E_C/K_{EC}$ 。式中, 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-K₂SO₄提取-氮自动分析法,提取液中 N 采用流动注射仪(FIAstar 5000)测定, N_{mic} 的计算: $B_N = E_N/K_{EN}$ 。式中, 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-NaHCO₃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} 的计算: $P_{mic} = E_{Pi}/(k_p \cdot R_{Pi})$ 。式中, E_{Pi} = 熏蒸土壤提取的 P_i -不熏蒸土壤提取的 P_i ; $R_{Pi} = [(加 P_i 的土壤提取的 P_i - 未熏蒸土壤提取的 P_i)/25] \times 100\%$; k_p 为转换系数,取值 0.4。

1.3 数据处理

描述性统计分析在 SPSS 16.0 中完成。半方差分析在 GS⁺ 中完成。Kriging 等值线图在 ArcGIS 9.2 中完成。地统计学有关方法及原理^[14-16] 简介如下:

(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,主要用于检验某一空间变量是否存在空间依赖关系。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。

(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, $\gamma(h)$ 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。对半变异函数的拟合主要采用 Gaussian 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; $C_0 + C$ 为基台值; a 是变程; h 为滞后距离。一般用 R^2 来衡量模型的好坏。

2 结果与分析

2.1 描述性统计分析

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^[17]。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,只有 P_{mic} 服从正态分布。 C_{mic} 、 N_{mic} 和 C_{mic}/N_{mic} 经过对数转换后服从正态分布,后续的地统计学分析采用转化后的数据。从表 1 中看出,土壤微生物量呈强度变异,变异系数均大于 60%。 C_{mic} 、 N_{mic} 、 P_{mic} 含量的变化范围依次为 44.29—5209.63,20.91—1894.37,0.34—77.06 mg/kg。由图 1 的相关分析可看出, C_{mic} 、 N_{mic} 的相关系数达到了 0.813,存在着极强的相关性,而 C_{mic} 与 P_{mic} 、 N_{mic} 与 P_{mic} 之间不存在着明显的相关关系。

表 1 土壤微生物生物量的描述性统计分析及正态分布检验结果

Table 1 Results of soil microbial biomass for descriptive statistics and K-S test									
微生物量 Microbial biomass	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	标准差 Standard variance	变异系数 CV /%	偏度 Skew	峰度 Kurtosis	K-S	分布类型 Distribution type
C_{mic}	44.29	5209.63	1452.40	1151.40	79.28	1.45	1.88	0.011	*
$C_{mic} \#$	1.65	3.69	3.02	0.40	13.11	-0.96	1.80	0.179	N
N_{mic}	20.91	1894.37	383.15	365.27	95.33	2.17	5.13	0.006	*
$N_{mic} \#$	1.32	3.17	2.42	0.37	15.24	-0.03	-0.24	0.902	N
P_{mic}	0.34	77.06	29.48	19.64	66.64	0.20	-1.15	0.075	N
C_{mic}/N_{mic}	0.52	46.47	4.78	4.79	100.24	6.91	57.37	0.013	*
$C_{mic}/N_{mic} \#$	0.18	1.30	0.70	0.19	26.43	-0.18	2.17	0.089	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

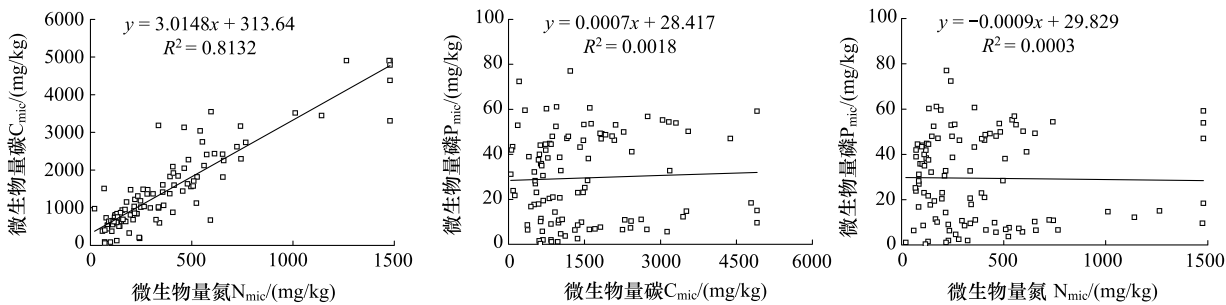


图 1 土壤微生物量的相关分析
Fig. 1 Correlation of soil microbial biomass

2.2 土壤微生物量的空间自相关分析

空间自相关性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^[18]。如图 2 所示,土壤微生物量在研究区域呈现一定的结构性, C_{mic} 、 N_{mic} 具有相似的空间结构,随着滞后距离的增大,自相关函数逐渐向负方向增长,达到显著的负相关。正空间自相关的距离大致反映了性质相似斑块的平均半径, C_{mic} 、 N_{mic} 的自相关距离约为 50 m, C_{mic} 在 50 m 之后,趋于平缓,而 N_{mic} 继续直线下降, Moran's I 最小时为 -0.4。 P_{mic} 具有明显不同的变化趋势,其自相关距离约为 40 m,随着滞后距的增大 Moran's I 呈直线

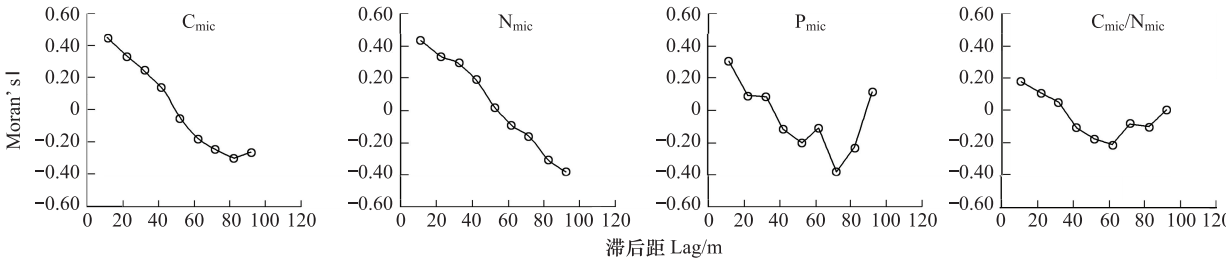


图 2 土壤微生物量的空间相关图
Fig. 2 Spatial correlograms of soil microbial biomass

下降,在 70 m 时 Moran's I 达到最小值。在滞后距大于 70 m 后, Moran's I 随着滞后距的增大而增大。 C_{mic}/N_{mic} 的 Moran's I 较小,在 $-0.2 \sim 0.2$ 之间波动,先是随滞后距的增大而减小,在 60 m 之后随滞后距的增大而增大。

2.3 土壤微生物量的空间结构分析

在 GS⁺ 用理论模型对各指标半方差函数进行拟合,其最佳拟合模型的决定系数均高于 0.4,说明能较好的反映土壤微生物量的空间结构特征。 C_{mic} 、 N_{mic} 的最佳拟合模型为高斯模型, P_{mic} 的最佳拟合模型为球状模型, C_{mic}/N_{mic} 的最佳拟合模型为指数模型。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 $25\% \sim 75\%$ 之间时,为中等空间自相关, $>75\%$ 为弱空间自相关^[19]。

由图 3 可看出, C_{mic}/N_{mic} 的块金值接近于 0, 表现为纯块金效应。 C_{mic} 、 N_{mic} 的块金值均小于 0.1, 远小于各自的基台值。 P_{mic} 的块金值较大, 可能是试验误差造成的。由表 2 可看出, 土壤微生物量均表现为中等空间自相关, 说明其空间变异受自然因素(母质、地形、气候等)和随机因素(干扰、试验误差等)的共同影响。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^[20]。 C_{mic} 和 P_{mic} 的变程相近, 分别为 78.12 m 和 66.8 m, 说明其空间连续性差, 空间异质性高。 N_{mic} 的变程较大, 为 141.33 m, 说明其空间连续性很好。 C_{mic}/N_{mic} 的变程最小, 为 30 m。

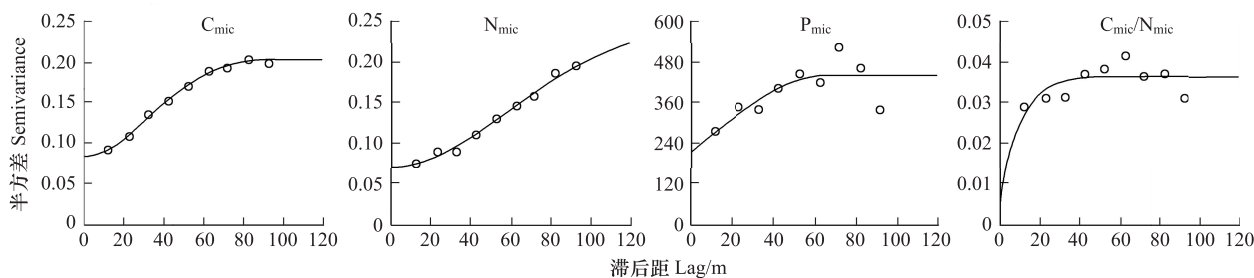


图 3 土壤微生物量的半方差函数图

Fig. 3 Semivariograms of soil microbial biomass

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	模型 Theory model	块金值 Nugget C_0	基台值 Sill $C_0 + C$	块金值/基台值 $C_0 / (C_0 + C)$	变程 a / m	R^2
$C_{mic}/(\text{mg} / \text{kg})$	高斯模型 Gaussian	0.083	0.203	0.411	78.1	0.997
$N_{mic}/(\text{mg} / \text{kg})$	高斯模型 Gaussian	0.070	0.242	0.291	141.3	0.991
$P_{mic}/(\text{mg} / \text{kg})$	球状模型 Spherical	216.5	438.3	0.494	66.8	0.588
C_{mic}/N_{mic}	指数模型 Exponential	0.005	0.036	0.136	30	0.413

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木论自然保护区峰丛洼地土壤微生物的空间分布格局(图 4)。 C_{mic} 、 N_{mic} 具有相似的空间分布特征, P_{mic} 的格局明显不同。 C_{mic} 、 N_{mic} 均在坡的中上部含量最高, 随着坡度的增大呈片状递减, 洼地含量较低。 P_{mic} 在洼地的含量比坡的中下部高, 随着坡度的变化也呈现为片状递减。 C_{mic}/N_{mic} 的空间分布规律性不明显, 斑块多而破碎, 表现为极高的空间异质性。

3 讨论

不同土壤类型及生态环境条件下土壤微生物量的变异很大。以往的研究表明, 森林土壤 C_{mic} 、 N_{mic} 的变化

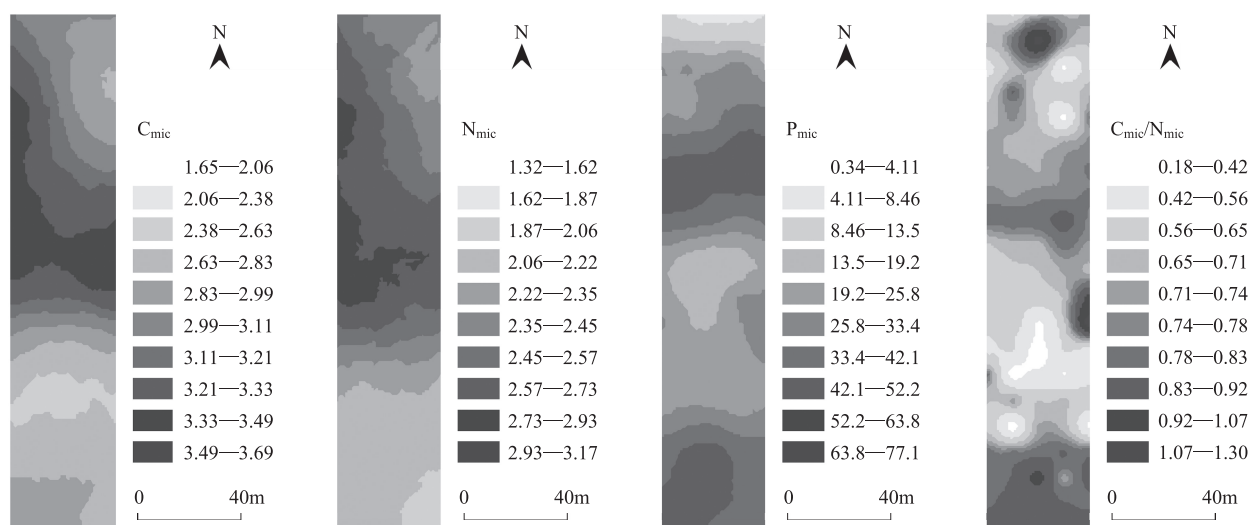


图4 土壤微生物量的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of soil microbial biomass

范围依次为 42—2064, 130—216 mg/kg^[3]。本研究 C_{mic} 、 N_{mic} 、 P_{mic} 的均值分别为 1452.40、383.15、29.48 mg/kg, C_{mic} 均值位于该范围内, 而 N_{mic} 均值明显高出该范围, 可见喀斯特原生林土壤 N_{mic} 非常丰富。喀斯特峰丛洼地植被、生境的高异质性导致土壤微生物量的变化范围非常广。 C_{mic}/N_{mic} 可反映土壤受胁迫的状况, 同时反映土壤中真菌和细菌的比例, 其显著变化喻示着微生物群落结构变化^[21]。前人研究中的 C_{mic}/N_{mic} 均接近于 10^[22], 本研究中 C_{mic}/N_{mic} 为 4.78, 明显低于该值, 表明喀斯特生态系统中土壤微生物量氮是植物有效氮的重要储备库和源。有研究结果表明^[23-24], C_{mic} 、 N_{mic} 和 P_{mic} 三者之间均呈显著相关, 本研究中 C_{mic} 、 N_{mic} 呈显著的线性相关关系, 与以往的研究结果一致, 而 P_{mic} 与 C_{mic} 、 N_{mic} 之间不存在明显的相关关系, 这可能与研究区域岩石裸露率高导致的采样误差有关。结合魏亚伟等的研究结果发现^[25], 喀斯特峰丛洼地原生林土壤微生物量含量显著高于其它生态系统。原生林地由于长期以来极少受人为干扰, 保存比较完整, 具有稳定且适宜的土壤结构和微生物生存环境, 可维持较高的土壤肥力和微生物活性, 有利于有机碳的积累, 是一个潜在的巨大的土壤碳汇。因而在进行生态恢复时, 应加强原生生态系统的保护, 减少人为干扰, 充分发挥其巨大的碳汇潜力。

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程, 与土壤肥力密切相关。何寻阳, 李新爱等的研究认为, 土壤微生物与土壤性质和植被存在着“共演替”效应^[26-27]。在本研究中, 土壤微生物量在喀斯特峰丛洼地的植被状况、地形地貌、土壤性质等因子的相互作用下形成了独特的空间格局。 C_{mic} 、 N_{mic} 的分布格局均呈凸型片状分布, 坡中含量较高, 坡下和坡上位含量较低。研究区坡中部植被生长茂盛, 林下土壤肥沃, 有机质和养分含量十分丰富, 适宜土壤微生物的生长、繁殖。吴海勇^[28]等分析了本研究区域 SOC、TN 的空间格局, 对比发现 C_{mic} 、 N_{mic} 与 SOC、TN 的空间格局非常相似, 由此可推断, C_{mic} 、 N_{mic} 与 SOC、TN 之间存在着极强的相关性, 土壤微生物量碳、氮能很好地反映峰丛洼地土壤碳、氮水平。 P_{mic} 呈特殊的空间格局, 其在坡中上部和洼地的含量高, 这表明影响 P_{mic} 与 C_{mic} 、 N_{mic} 空间格局的因素存在明显差异。 P_{mic} 受植被的影响较小^[29], 在喀斯特原生林生态系统中 P_{mic} 分布可能受土壤水分含量、pH、矿质养分等其它因素的综合影响, 其空间格局的形成机制还需进一步的探讨。

土壤微生物是否存在一定的地理分布格局存在广泛争议, 有学者认为土壤微生物是全球随机分布的^[30-31]。本研究借助于空间分析方法, 初步分析了土壤微生物的空间结构。自相关分析和半方差分析均表明, 土壤微生物的分布表现出一定的结构性特征, 其分布具有规律性, 不是随机分布的。由自相关距离和变程可看出, 土壤微生物量的空间变异尺度较小, 这与喀斯特生态系统高异质性相符, 其分布受多种因素的共同影

响。因而,在单一尺度上进行空间分析并不能很好的解释分布格局,今后应将空间分析与环境要素相结合,从多尺度揭示不同的生态机制和过程。

致谢:陈彩艳、Pedro Rocha 研究员润色英文摘要,特此致谢。

References:

- [1] Ding L L, Qi B, Shang Z H, Long R J, Zhou Q X. The characteristics of soil microorganism quantity under different alpine grasslands in Eastern Qilian Mountain. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(6): 2104-2111.
- [2] Wang S K, Zhao X Y, Zuo X A, Guo Y R, Li Y Q, Qu H. Vertical distribution and seasonal dynamics of soil microbial number in sandy grassland of Horqin. *Arid and Geography*, 2009, 32(4): 610-615.
- [3] Liu S, Wang C K. Spatial-temporal patterns of soil microbial biomass carbon and nitrogen in five temperate forest ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3135-3143.
- [4] 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.
- [5] He R, Wang G B, Wang J S, Xu B F, Wang J K, Fang Y H, Shi Z, Ruan H H. Seasonal variation and its main affecting factors of soil microbial biomass under different vegetations along an elevation gradient in Wuyi Mountains of China. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(3): 394-399.
- [6] Peng Y, Li X Q, Cheng J Z, Xing Y, Yan H. Influence of vegetation types and seasonal variation on soil microbial biomass and microbial respiration in Karst region of Guiyang, Southwest China. *Geochimica*, 2010, 39(3): 266-273.
- [7] Barbhuiya A R, Arunachalam A, Pandey H N, Arunachalam K, Khan M L, Nath P C. Dynamics of soil microbial biomass C, N and P in disturbed and undisturbed stands of a tropical wet-evergreen forest. *European Journal of Soil Biology*, 2004, 40(3/4): 113-121.
- [8] Cho S T, Tsai S H, Ravindran A, Selvam A, Yang S S. Seasonal variation of microbial populations and biomass in Tatachia grassland soils of Taiwan. *Environmental Geochemistry and Health*, 2008, 30(3): 255-272.
- [9] Guo X D, Fu B J, Ma K M, Chen L D, Yang F L. Spatial variability of soil nutrients based on geostatistics combined with GIS—A case study in Zunhua City of Hebei Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 557-563.
- [10] Li B H, Zhang J, Yao X L, Ye J, Wang X G, Hao Z Q. Seasonal dynamics and spatial distribution patterns of herbs diversity in broadleaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 467-473.
- [11] Ma F Y, Li X R, Zhang J G, Li A X. Spatial heterogeneity of soil moisture in Shapotou sand-fixing artificial vegetation area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(5): 789-795.
- [12] Wu J G. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [13] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, Xiao H A. *Soil Microbial Biomass-Methods and Application*. Beijing: China Meteorological Press, 2006: 6-6.
- [14] Yuan D X, Dai A D, Cai W T, Liu Z H, He S Y, Mo X P, Zhou S Y, Lao W K. *Study on Water System and Its Mathematics Model in Exposed Karst Region in South of China*. Guilin: Guangxi Normal College Press, 1996.
- [15] Goovaerts P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, 27(4): 315-334.
- [16] Wang Z Q. *Geostatistics and Its Application in Ecology*. Beijing: Science Press, 1999.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Zhang W, Chen H S, Wang K L, Zhang J G. Spatial variability of surface soil water in typical depressions between hills in Karst region in dry season. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(4): 554-562.
- [20] Xiong H F, Wang Y H. Spatial variability of soil nutrients in wetland of Liangzi Lake. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(5): 584-589.
- [21] He X Y, Wang K L, Chen Z H, Yang G, Chen H S. Responses of soil microbial characters to farm land-use types in peak-cluster depression of Karst region. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(3): 509-513.
- [22] Wu J G, Ai L. Soil microbial activity and biomass C and N content in three typical ecosystems in Qilian Mountains, China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(2): 465-476.
- [23] Xue S, Liu G B, Dai Q H, Li X L, Wu R J. Dynamic changes of soil microbial biomass in the restoration process of shrub plantations in loess hilly area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 517-523.
- [24] Jin Z Z, Lei J Q, Xu X W, Li S Y, Fan J L, Zhao S F, Zhou H W, Gu F. Relationships of soil microbial biomass with soil environmental factors in Tarim Desert highway shelter-forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(1): 51-57.
- [25] Wei Y W, Su Y R, Chen X B, He X Y. Effects of human disturbance on profile distribution of soil organic C, total N, total P and microbial biomass in Karst region of Northwest Guangxi. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(3): 164-169.
- [26] 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.
- [27] 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.

- [28] Wu H Y, Zeng F P, Song T Q, Peng W X, Li X H, Ouyang Z W. Spatial variations of soil organic carbon and nitrogen in peak-cluster depression areas of Karst region. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(5): 1029-1036.
- [29] Cheng Y, An S S, Li G H, Li D H. Soil nutrient and microbial biomass in the Loess hilly area of Ningxia under different plant rehabilitation patterns. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(2): 261-266.
- [30] Finlay B J. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science*, 2002, 296(5570): 1061-1063.
- [31] O'Malley M A. The nineteenth century roots of 'everything is everywhere'. *Nature Reviews Microbiology*, 2007, 5(8): 647-651.

参考文献:

- [1] 丁玲玲, 祁彪, 尚占环, 龙瑞军, 周启星. 东祁连山不同高寒草地型土壤微生物数量分布特征研究. *农业环境科学学报*, 2007, 26(6): 2104-2111.
- [2] 王少昆, 赵学勇, 左小安, 郭铁瑞, 李玉强, 曲浩. 科尔沁沙质草甸土壤微生物数量的垂直分布及季节动态. *干旱区地理*, 2009, 32(4): 610-615.
- [3] 刘爽, 王传宽. 五种温带森林土壤微生物生物量碳氮的时空格局. *生态学报*, 2010, 30(12): 3135-3143.
- [4] 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.
- [5] 何容, 王国兵, 汪家社, 许波峰, 汪科继, 方燕鸿, 施政, 阮宏华. 武夷山不同海拔植被土壤微生物量的季节动态及主要影响因子. *生态学杂志*, 2009, 28(3): 394-399.
- [6] 彭艳, 李心清, 程建中, 邢英, 闫慧. 贵阳喀斯特地区植被类型与季节变化对土壤微生物生物量和微生物呼吸的影响. *地球化学*, 2010, 39(3): 266-273.
- [9] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 陈利顶, 杨福林. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以河北省遵化市为例. *应用生态学报*, 2008, 11(4): 557-563.
- [10] 李步杭, 张健, 姚晓琳, 叶吉, 王绪高, 郝占庆. 长白山阔叶红松林草本植物多样性季节动态及空间分布格局. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 467-473.
- [11] 马风云, 李新荣, 张景光, 李爱霞. 沙坡头人工固沙植被土壤水分空间异质性. *应用生态学报*, 2006, 17(5): 789-795.
- [12] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [13] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 肖和艾. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社, 2006: 6-6.
- [14] 袁道先, 戴爱德, 蔡五田, 刘再华, 何师意, 莫小平, 周世英, 劳文科. 中国南方裸露型岩溶峰丛山区岩溶水系统及其数学模型的研究. 桂林: 广西师范大学出版社, 1996.
- [16] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 张伟, 陈洪松, 王克林, 张继光. 喀斯特地区典型峰丛洼地旱季表层土壤水分空间变异性初探. *土壤学报*, 2006, 43(4): 554-562.
- [20] 熊汉锋, 王运华. 梁子湖湿地土壤养分的空间异质性. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(5): 584-589.
- [21] 何寻阳, 王克林, 陈志辉, 杨刚, 陈洪松. 岩溶洼地土壤微生物指标对不同土地利用方式的响应. *土壤通报*, 2008, 39(3): 509-513.
- [22] 吴建国, 艾丽. 祁连山 3 种典型生态系统土壤微生物活性和生物量碳氮含量. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 465-476.
- [23] 薛箴, 刘国彬, 戴全厚, 李小利, 吴瑞俊. 黄土丘陵区人工灌木林恢复过程中的土壤微生物生物量演变. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 517-523.
- [24] 靳正忠, 雷加强, 徐新文, 李生字, 范敬龙, 赵思峰, 周宏伟, 谷峰. 塔里木沙漠公路防护林土壤微生物生物量与土壤环境因子的关系. *应用生态学报*, 2009, 20(1): 51-57.
- [25] 魏亚伟, 苏以荣, 陈香碧, 何寻阳. 人为干扰对桂西北喀斯特生态系统土壤有机碳、氮、磷和微生物量剖面分布的影响. *水土保持学报*, 2010, 24(3): 164-169.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 吴海勇, 曾馥平, 宋同清, 彭晚霞, 黎星辉, 欧阳资文. 喀斯特峰丛洼地土壤有机碳和氮素空间变异特征. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(5): 1029-1036.
- [29] 成毅, 安韶山, 李国辉, 李第红. 宁夏黄土丘陵区植被恢复对土壤养分和微生物生物量的影响. *中国生态农业学报*, 2010, 18(2): 261-266.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.1 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Allee effects of local populations and the synchrony of metapopulation	LIU Zhiguang, ZHAO Xue, ZHANG Fengpan, et al (1)
Effects of leaf hair points on dew deposition and rainfall evaporation rates in moss crusts dominated by <i>Syntrichia caninervis</i> , Gurbantunggut Desert, northwestern China	TAO Ye, ZHANG Yuanming (7)
The influence of freshwater-saline water mixing on phytoplankton growth in Changjiang Estuary	WANG Kui, CHEN Jianfang, LI Hongliang, et al (17)
The responses of hydrological indicators to watershed characteristics	TIAN Di, LI Xuyong, Donald E. Weller (27)
Lake nutrient ecosystems in the east-central moist subtropical plain of China	KE Xinli, LIU Man, DENG Xiangzheng (38)
The current water trophic status in Tiaoxi River of Taihu Lake watershed and corresponding coping strategy based on N/P ratio analysis	NIE Zeyu, LIANG Xinqiang, XING Bo, et al (48)
Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi	SHENG Hu, GUO Huaicheng, LIU Hui, et al (56)
Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of <i>Larix principis-rupprechtii</i>	YANG Xiuyun, HAN Youzhi, ZHANG Yunxiang, et al (64)
Responses of elm (<i>Ulmus pumila</i>) woodland to different disturbances in northeastern China	LIU Li, WANG He, LIN Changcun, et al (74)
Impacts of grazing and climate change on the aboveground net primary productivity of mountainous grassland ecosystems along altitudinal gradients over the Northern Tianshan Mountains, China	ZHOU Decheng, LUO Geping, HAN Qifei, et al (81)
Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert	SU Jieqiong, LI Xinrong, FENG Li, et al (93)
Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities	ZHANG Huabing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (101)
Response of species diversity in <i>Caragana Korshinskii</i> communities to climate factors and grazing disturbance in Shanxi, Shaanxi, Ningxia and Inner Mongolia	ZHOU Ling, SHANGGUAN Tieliang, GUO Donggang, et al (111)
Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China	XUE Li, ZHANG Rou, XI Ruchun, GUO Shuhong, et al (123)
Correlation analysis on <i>Reaumuria soongorica</i> seed traits of different natural populations in Gansu Corridor	SU Shiping, LI Yi, CHONG Peifang (135)
Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China	WU Dan, SHAO Quanqin, LI Jia, et al (142)
Effects of clonal integration on growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i> under simulated acid rain and herbivory	GUO Wei, LI Junmin, HU Zhenghua (151)
Difference of the fitness of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) fed with different pepper varieties	JIA Yueli, CHENG Xiaodong, CAI Yongping, et al (159)
Hyperspectral estimating models of tobacco leaf area index	ZHANG Zhengyang, MA Xinming, JIA Fangfang, et al (168)
Temporal and spatial distribution of <i>Bemisia tabaci</i> on different host plants	CUI Hongying, GE Feng (176)
Abundance and composition of CO ₂ fixating bacteria in relation to long-term fertilization of paddy soils	YUAN Hongzhao, QIN Hongling, LIU Shoulong, et al (183)
Effect of <i>Leucaena leucocephala</i> on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area	GUO Tian, HE Binghui, JIANG Xianjun, et al (190)
Isolation and the remediation potential of a Laccase-producing Soil Fungus F-5	MAO Ting, PAN Cheng, XU Tingting, et al (198)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area	LIU Lu, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (207)
Root functional traits and trade-offs in one-year-old plants of 25 species from the arid valley of Minjiang River	XU Kun, LI Fanglan, GOU Shuiyan, et al (215)
Spatial distribution of carbon density in grassland vegetation of the Loess Plateau of China	CHENG Jimin, CHENG Jie, YANG Xiaomei, et al (226)
Effect of nitrogen concentration in the subtending leaves of cotton bolls on the strength of source and sink during boll development	GAO Xiangbin, WANG Youhua, CHEN Binglin, et al (238)
Long-term tillage effects on soil organic carbon and microbial biomass carbon in a purple paddy soil	LI Hui, ZHANG Junke, JIANG Changsheng, et al (247)
Effects of exogenous calcium on resistance of <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle to cadmium stress	MIN Haili, CAI Sanjuan, XU Qinsong, et al (256)
Comparison of grain protein components and processing quality in responses to dim light during grain filling between strong and weak gluten wheat cultivars	LI Wenyang, YAN Suhui, WANG Zhenlin (265)
Review and Monograph	
Salt-responsive mechanisms in the plant root revealed by proteomic analyses	ZHAO Qi, DAI Shaojun (274)
The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment	XU Yan, GAO Junfeng, ZHAO Jiahu, et al (284)
A review of the environmental behavior and effects of black carbon in soils and sediments	WANG Qing (293)
Scientific Note	
Variation in main morphological characteristics of <i>Amorpha fruticosa</i> plants in the Qinghai-Tibet Plateau	LIANG Kunlun, JIANG Wenqing, ZHOU Zhiyu, et al (311)
Identification of aphid resistance in eleven species from <i>Dendranthema</i> and <i>Artemisia</i> at seedling stage	SUN Ya, GUAN Zhiyong, CHEN Sumei, et al (319)
Research of padded film for afforestation in coastal argillaceous saline-alkali land	JING Feng, ZHU Jinzhao, ZHANG Xuepei, et al (326)

《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 1 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 1 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: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 70.00 元