

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

景观生态学专辑



第34卷 第12期 Vol.34 No.12 **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 12 期 2014 年 6 月 (半月刊)

目 次

中国景观生态学发展历程与未来研究重点.....	陈利顶,李秀珍,傅伯杰,等 (3129)
城市景观格局演变的水环境效应研究综述.....	黄 硕,郭青海 (3142)
多功能景观研究进展.....	汤 茜,丁圣彦 (3151)
空间形态受限型城市紧凑发展研究——以厦门岛为例	黄 硕,郭青海,等 (3158)
紫金山森林公园降温效应影响因素.....	闫伟姣,孔繁花,尹海伟,等 (3169)
城市公园景观空间结构对其热环境效应的影响	冯悦怡,胡潭高,张力小 (3179)
基于 OWA 的低丘缓坡建设开发适宜性评价——以云南大理白族自治州为例	刘焱序,彭 建,韩忆楠,等 (3188)
生态安全条件下土地利用格局优化——以皇甫川流域为例	喻 锋,李晓兵,王 宏 (3198)
新疆玛纳斯河流域 2000—2010 年土地利用/覆盖变化及影响因素	刘金巍,靳甜甜,刘国华,等 (3211)
基于 GIS 和 RS 的赣江上游流域土地利用动态趋势分析	鲁燕飞,彭 芳,万 韵,等 (3224)
1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力	刘吉平,赵丹丹,田学智,等 (3234)
基于斑块评价的三峡库区腹地坡耕地优化调控方法与案例研究.....	王永艳,李阳兵,邵景安,等 (3245)
贵州省山地-坝地系统土地利用与景观格局时空演变	李阳兵,姚原温,谢 静,等 (3257)
中国西南地区土地覆盖情景的时空模拟	李 婧,范泽孟,岳天祥 (3266)
基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析.....	张玲玲,赵永华,殷 莎,等 (3276)
基于植被覆盖度的藏羚羊栖息地时空变化研究.....	赵海迪,刘世梁,董世魁,等 (3285)
西南峡谷型喀斯特坡地土壤微生物量 C、N、P 空间变异特征	范夫静,黄国勤,宋同清,等 (3293)
峡谷型喀斯特不同生态系统的土壤微生物数量及生物量特征.....	谭秋锦,宋同清,彭晚霞,等 (3302)
长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响	刘桂林,张落成,张 倩 (3311)
基于视觉廊道的青藏铁路沿线旅游动态景观评价.....	张瑞英,席建超,姚予龙,等 (3320)
基于 RS 与 GIS 的农村居民点空间变化特征与景观格局影响研究	任 平,洪步庭,刘 寅,等 (3331)
生态系统保护现状及保护等级评估——以江西省为例.....	樊乃卿,张育新,吕一河,等 (3341)
崇明东滩盐沼植被变化对滩涂湿地促淤消浪功能的影响.....	任璘婧,李秀珍,杨世伦,等 (3350)
基于气候、地貌、生态系统的景观分类体系——以新疆地区为例.....	师庆东,王 智,贺龙梅,等 (3359)
黄土丘陵沟壑区景观格局演变特征——以陕西省延安市为例.....	钟莉娜,赵文武,吕一河,等 (3368)
不同干扰背景下农业景观异质性——以巩义市为例	张晓阳,梁国付,丁圣彦 (3378)
山西高原草地景观的数量分类与排序.....	张先平,李志琴,王孟本,等 (3386)

山区夏季地表温度的影响因素——以泰山为例..... 孙常峰,孔繁花,尹海伟,等 (3396)

典型岩溶洼地土壤水分的空间分布及影响因素..... 张继光,苏以荣,陈洪松,等 (3405)

基于移动窗口法的豫西山丘陵区景观异质性分析..... 李栋科,丁圣彦,梁国付,等 (3414)

桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应..... 童晓伟,王克林,岳跃民,等 (3425)

喀斯特与非喀斯特区域植被覆盖变化景观分析——以广西壮族自治区河池市为例.....
..... 汪明冲,王兮之,梁钊雄,等 (3435)

不同干扰背景下景观指数与物种多样性的多尺度效应——以巩义市为例.....
..... 董翠芳,梁国付,丁圣彦,等 (3444)

石栎-青冈常绿阔叶林土壤有机碳和全氮空间变异特征 杨 丹,项文化,方 晰,等 (3452)

湘中丘陵区南酸枣阔叶林群落特征及群落更新..... 易 好,邓湘雯,项文化,等 (3463)

基于 RBFN 的桂西北喀斯特区植被碳密度空间分布影响因素分析..... 张明阳,王克林,邓振华,等 (3472)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 36 * 2014-06



封面图说: 空间发展受限城市的厦门——在我国城市化进程中,中小城市在城镇体系建设中处于中间环节,起到了联系大城市和小城镇的作用。但是,每个城市由于发展历史、社会经济结构、自然地理形态等因素的不同,都有其发展的特性,这些问题都必须因地制宜地去把握。例如,厦门岛相对隔离,没有多余的发展空间,该城市以居住功能为主,城市功能较为单一,公共服务功能和商业服务功能比例较小。研究这样紧凑型的城市发展必须要考虑该城市结构转换的承受力,周边社会经济环境以及居民的生活习惯等。

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/stxb201310302612

范夫静, 黄国勤, 宋同清, 曾馥平, 彭晚霞, 杜虎, 文丽, 何铁光. 西南峡谷型喀斯特坡地土壤微生物量 C、N、P 空间变异特征. 生态学报, 2014, 34 (12): 3293-3301.

Fan F J, Huang G Q, Song T Q, Zeng F P, Peng W X, Du H, Wen L, He T G. Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping field in a grove Karst region, Southwest China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34 (12): 3293-3301.

西南峡谷型喀斯特坡地土壤 微生物量 C、N、P 空间变异特征

范夫静^{1,2,3}, 黄国勤^{1,*}, 宋同清^{2,3}, 曾馥平^{2,3}, 彭晚霞^{2,3}, 杜虎^{2,3}, 文丽^{2,3}, 何铁光⁴

(1. 江西农业大学, 南昌 330045; 2. 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;

3. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 环江 547100; 4. 广西农业科学研究院农业资源与环境研究所, 南宁 530004)

摘要: 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。以西南峡谷型喀斯特坡地为研究对象, 基于网格法取样, 结合经典统计学和地统计学方法, 揭示了土壤微生物生物量的空间分布与格局及其主要影响因子。结果表明, 西南峡谷型喀斯特坡地土壤微生物生物量碳 (MBC)、氮 (MBN)、磷 (MBP)、碳氮比 (MBC/MBN)、碳磷比 (MBC/MBP) 适宜, MBC、MBN、MBP 变异均很大; 空间自相关性明显, 除 MBP 最佳拟合模型为球状模型外, 其他指标均为指数模型。C₀/(C₀+C) 均 < 25% (4.9%—6.2%), 呈强烈的空间相关, 这主要由结构性变异引起。Kriging 等值线图表明, MBC、MBN 的高值区集中在坡中上部; MBP 的格局明显不同, 高值区集中在坡脚; MBC/MBN 斑块较大, 变化缓和; MBC/MBP 的空间分布规律不明显, 斑块多而破碎。西南峡谷型喀斯特坡地土壤微生物量空间分布的影响因子很多, 其中, 影响土壤微生物量碳和氮的主要因子有土层厚度、pH、碱解氮。西南峡谷型喀斯特坡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。因此, 应采取适宜措施, 激活土壤微生物活性。

关键词: 土壤微生物量; 空间变异; 峡谷型喀斯特; 坡地; 地统计学

Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping field in a grove Karst region, Southwest China

FAN Fujing^{1,2,3}, HUANG Guoqin^{1,*}, SONG Tongqing^{2,3}, ZENG Fuping^{2,3}, PENG Wanxia^{2,3}, DU Hu^{2,3}, WEN Li^{2,3}, HE Tieguang⁴

1 Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China

2 Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

3 Karst Station for Ecosystem in Huanjiang, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang 547100, China

4 Guangxi Agricultural Science Research Institute of Agricultural Resources And Environment Research Institute, Nanning 530004, China

Abstract: Soil microorganisms are among the most active components of terrestrial ecosystems, as promoters of energy and nutrient recycling of ecosystems. They are also recognized as early warning and sensitive indicators of soil ecosystems. Here, we conducted a field study to analyze the soil microbial biomass in the Karst gorge region in Southwestern China. The study was conducted over a typical area of sloping farmland in the Karst gorge region. The total study area of (300 × 200) m² was divided into (20 × 20) m² grids using an Electronic Total Station, yielding 212 sample points. We examined the spatial

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); 国家自然科学基金项目 (31070425, 31000224, 30970508, U1033004); 广西科技项目 (桂科攻 1123001-9C); 广西特聘专家项目资助

收稿日期: 2013-10-30; 修订日期: 2014-04-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hqjxnc@sina.com

patterns of soil microbial biomass using geo-statistical and statistical methods. The spatial patterns of soil microbial biomass and their main influencing factors were revealed by grid sampling methods, combining classical statistics and geostatistics methods. The soil microbial biomasses of carbon (C_{mic}) and phosphorus (P_{mic}) and their ratio (C_{mic}/N_{mic}) were moderately high in this Karst region of Southwestern China. The average soil microbial biomasses of carbon (MBC), nitrogen (MBN), and phosphorus (MBP) were 75.62 mg/kg, 25.23 mg/kg and 24.06 mg/kg, respectively. The ratios of MBC to MBN (MBC/MBN) and MBC to MBP (MBC/MBP) were 3.87 and 5.61, respectively. The variation coefficients of the biomasses ranged from 14.193 to 182.756%, while those of the ratios ranged from 14.192% to 114.512%. The values of all five variables were moderately high and widely varying. The smallest Moran's I result for MBC, MBN, MBP, MBC/MBN and MBC/MBP was -0.0965, -0.0556, -0.0913, -0.0682 and -0.0654, respectively, suggesting strong spatial heterogeneity of the soil microbial biomass. The MBC, MBN, MBP, and MBC/MBN were best fitted to an exponential model, while the MBC/MBP was consistent with a spherical model. The RSS values were very small, indicating good model fitting. The nugget (C_0) was low (0.0245—13.4) and all $C_0/(C_0+C)$ values were less than 25%, indicating that the soil microbial biomasses are strongly autocorrelated over the study region, and that their spatial patterns are influenced by structural factors. These spatial patterns varied over a small range (30.9—60.6 m). The ranges of the MBN and MBP patterns were similar (40.5 m and 30.9 m, respectively), and were smaller than that of MBC (60.6 m). On Kriging contour maps, the regions of high MBC occupied the middle and upper parts of the slope, while high MBN was found on the upper parts and foot of the slope. The MBP displayed a clear spatial distribution pattern with high values at the foot of the slope. The MBC/MBN pattern was characterized by larger patches with an alleviate variation, while that of MBC/MBP was unobvious and was fragmented into many patches. Numerous factors influence the spatial patterns of soil microbial biomasses in the sloped Karst gorge region. Soil depth, pH, and available nitrogen are the main influencers of carbon and nitrogen biomass. In addition to the small-scale spatial distributional patterns of microbial biomass in the study region, different spatial patterns were observed in the soil microbial variables. Therefore, by adopting appropriate statistical and analytical techniques, we can elucidate the extent and distribution of microbial activity in soils.

Key Words: soil microbial biomass; spatial variability; gorge Karst; sloping farmland; geostatistics

土壤微生物是维持土壤品质的重要组成部分,几乎参与土壤中一切生物和生物化学反应,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、元素的地球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。土壤微生物对养分循环与平衡、土壤理化性质的改善也起着重要调控作用^[1-2]。它对环境变化敏感,其呼吸强度是衡量土壤微生物总的活性指标^[3-4],而微生物量的任何变化,都会影响土壤养分循环和有效性^[5-6],能够较早地指示生态系统功能的变化。国内外关于土壤微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,获得了土壤微生物量上层一般高于下层、随着土壤深度的增加呈下降趋势、同一生态系统中不同植被土壤微生物量差异显著^[7]等重要认识。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坡地生态系统的恢复及重建具有

重要的意义。

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,但微生物生物地理学的研究十分薄弱,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^[8-9]。喀斯特独特的地质生态环境决定了喀斯特土壤微生物的特异性,何寻阳等^[10]、李新爱等^[11]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^[12]。因此,本文选取西南峡谷型喀斯特坡地为研究对象,采用网格法采样,用经典统计学和地统计学方法分析土壤微生物生物量碳(MBC)、氮(MBN)、磷(MBP)的空间变异特征,揭示影响其空间格局的主要因子,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科学理论支持和参考。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区地处贵州省晴隆县孟寨河小流域,位于 25°33′—26°11′N、105°01′—105°25′E 之间,最高海拔 2025 m,因受北盘江及其支流的强烈切割,切深长达 500—700 m,属深切切割岩溶侵蚀高原峡谷区。亚热带湿润季风气候特点较为明显,气候温和湿润,年平均气温 14.0—15.9 °C,年极端高温为 33.4 °C,最低气温为-6.2°C,日照时数 1453 h,无霜期 280 d 左右。年降水量 1 500—1 650 mm,集中在 6—9 月份,年蒸发量 1800 mm,空气相对湿度在 50% 以下。森林覆盖率为 25.1%,林草植被覆盖度为 27.8%,森林植被以阔叶林为主,针叶林次之。原生植被基本上被破坏,现为次生林。该地区地质结构复杂,地形起伏大,具有山高、谷深、坡陡的特点,属二迭纪岩层风化而成的石灰土。

1.2 样品采集与分析

1.2.1 样品采集

根据典型性、代表性原则,经反复勘查,在研究区内选取面积为 300 m × 200 m 的典型峡谷型喀斯特坡地,该坡地 2008 年退耕种草放羊,由于存在地表地下双层空间结构,小生境类型多样,生态环境比较脆弱。2011 年 1 月用森林罗盘仪将其划分为 20 m × 20 m 的方格,进行规则网格法采样,共获得 176 个样点。样点 1 m 半径范围内用土钻测定土壤深度 3 次,取平均值作为土壤厚度;样点 3 m 半径范围内,采用 1 m × 1 m 样框测定框内植被所占比例,测定 3 次,平均值作为植被覆盖度;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,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,分为两份。一份置于 4 °C 的冷库中,用于土壤 MBC、MBN、MBP 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。

1.2.2 样品分析

土壤微生物量 C、N、P 采用氯仿熏蒸提取法测定^[13]。MBC 采用氯仿熏蒸-K₂SO₄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,MBC = EC/*k*_{EC},EC = 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;MBN 采用氯仿熏蒸-K₂SO₄提取-氮自动分析仪法,提取液中 N 采用流动注射仪(FIAstar 5000)测定,MBN = EN/*k*_{EN},EN = 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;MBP 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,MNP = EP_i / (*k*_{Pi} · RP_i),EP_i = 熏蒸土壤提取的 P_i-不熏蒸土壤提取的 P_i,RP_i = [(加 P_i 的土壤提取的 P_i-未熏蒸土壤提取的 P_i)/25] × 100%,*k*_{Pi}为转换系数,取值 0.4。

1.3 数据处理与统计分析

描述性统计分析、典型相关分析在 SPSS 13.0 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^[14],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^[15]。

1.3.1 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^[16]。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。

1.3.2 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(Exponential), 其公式为:

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

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。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

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 MBP 服从正态分布。MBC、MBN、MBC/MBN、MBC/MBP 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。由表 1 可看出, 西南峡谷型喀斯特典型坡地的土壤 MBC、MBN 和 MBP 比较适中, 其均值分别为 75.60、25.23 和 24.06 mg/kg。MBC、MBN、MBP 变异系数均远大于 75%, 呈强度变异, 反映了喀斯特生境的高度异质性, 内部存在较大变异, 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。

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 tests

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 值 Value of K-S test	分布类型 Distribution type
C _{mic}	13.911	161.259	75.62	33.840	114.512	0.756	0.276	0.020	*
C _{mic} #	2.633	5.08	4.22	0.483	0.233	-0.604	0.693	0.169	N
N _{mic}	3.201	61.011	25.23	13.519	182.756	0.940	0.286	0.007	*
N _{mic} #	1.163	4.11	3.08	0.556	0.309	-0.335	0.212	0.970	N
P _{mic}	1.365	54.598	24.06	11.720	137.354	0.381	-0.715	0.126	N
C _{mic} /N _{mic}	0.61	43.45	3.87	3.776	14.193	6.525	60.861	0.000	*
C _{mic} /N _{mic} #	-0.493	3.77	1.14	0.618	0.382	0.415	1.388	0.892	N
C _{mic} /P _{mic}	0.44	34.59	4.31	3.816	14.564	3.334	19.512	0.000	*
C _{mic} /P _{mic} #	-0.82	3.54	1.18	0.745	0.555	0.088	-0.045	0.952	N

C_{mic}: 微生物量碳 Soil microbial biomass carbon; C_{mic} #: 对数转换后的微生物量碳 The Soil microbial biomass carbon after logarithmic; N_{mic}: 微生物量氮 Soil microbial biomass nitrogen; N_{mic} #: 对数转换后的微生物量氮 The Soil microbial biomass nitrogen after logarithmic; P_{mic}: 微生物量磷 Soil microbial biomass phosphorus; C_{mic}/N_{mic}: 微生物量碳氮比 Soil microbial biomass carbon and nitrogen ratio; C_{mic}/N_{mic} #: 对数转化后的微生物量碳磷比 The Soil microbial biomass carbon and nitrogen ratio after logarithmic; C_{mic}/P_{mic}: 对数转化后的微生物量碳磷比 Soil microbial biomass carbon and phosphorus ratio; C_{mic}/P_{mic} #: 对数转化后的微生物量碳磷比 The Soil microbial biomass carbon and phosphorus ratio after logarithmic; # 对数转换后的结果; * 表示 $\alpha < 0.05$, 非正态分布; N 表示正态分布

2.2 土壤微生物生物量的空间异质性

2.2.1 空间自相关分析

西南峡谷型喀斯特坡地土壤 MBC、MBN、MBP 均呈现一定的空间结构分布, 三者的差别很大(图 1)。随着滞后距离的增大, MBC 呈直线下降, 100 m 之后呈负相关且继续下降至 150 m, 在将至坡脚时又有增大的趋势, Moran's I 最小时为 -0.0965。MBN 随着滞后距的增大呈现下降趋势, 在下降至 80 m 处呈负相关, 之后在 110 m 之后表现为正相关, 然后继续下降至 180 m, Moran's I 最小为 -0.0556。MBP 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, 在 100 m 处向负方向增长, 之后达到显著的正相关并缓慢增长, 在 150 m 之后又开始急剧下降且在 170 m 之后达到负相关, Moran's I 最小时为 -0.0913; 而 MBC/MBN 的空间结构显著不同于 MBC、MBN、MBP 的空间结构, 随着滞后距的增大开始持续下降并在 80 m 处下降到最大值, 达到最大负相关, 之后持续上升, 在 140 处达到显著的正相关并持续上升, Moran's I 最小时为 -0.0682; MBC/MBP 的空间结构总体趋势是先急剧下降到某一位置再缓慢增大到正相关, 然后直线下降, 在 40 m 处急剧下降到负相关, 之后 60

m 处缓慢增长,在 120 m 处表现为直线下降趋势, Moran's I 最小为-0.0654。

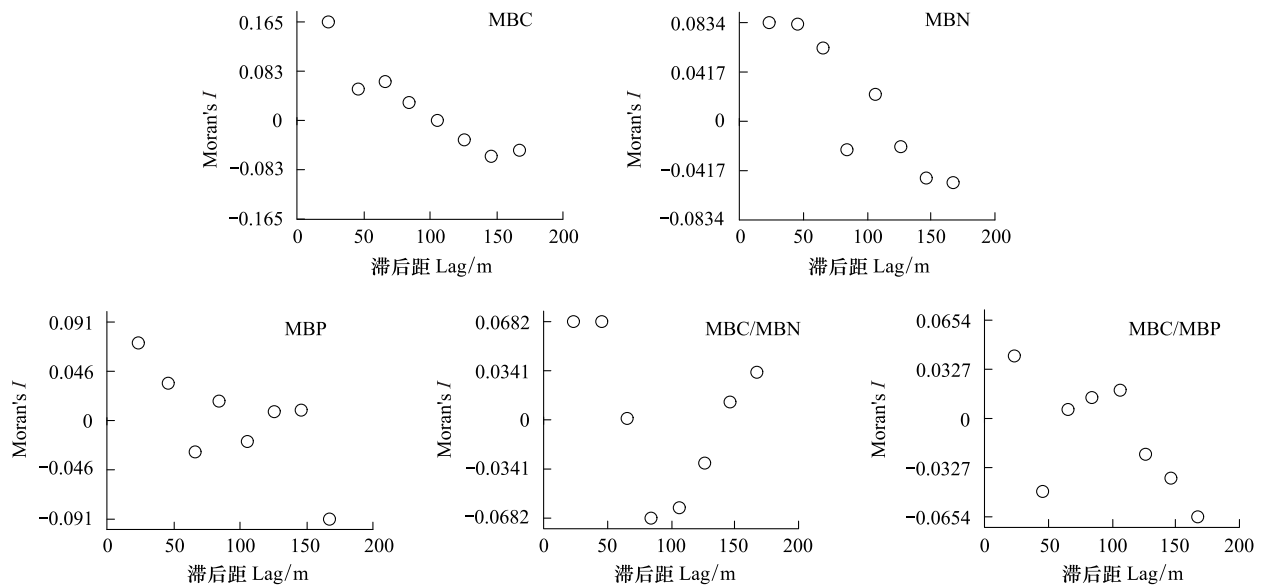


图 1 土壤微生物量的空间相关图
Fig.1 Spatial correlograms of soil microbial biomass

2.2.2 空间结构分析

由表 2 可看出,西南峡谷型喀斯特坡地 MBC、MBN、MBP 和 MBC/MBN 的最佳拟合模型均为指数模型,MBC/MBP 的最佳拟合模型为球状模型。除 MBP 外,RSS 均很小,表明拟合程度均很高。土壤微生物量的块金方差 C_0 均很小,接近 0, $C_0/(C_0+C)$ 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。由图 2 可看出,MBC/MBN 的 C_0 接近于 0,表现为纯块

金效应。MBC、MBN 的 C_0 均小于 0.1,远小于各自的 C_0+C 。MBP 的 C_0 较大,可能是试验误差造成的。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^[17-18]。MBN 和 MBP 的变程相近,分别为 40.5 m 和 30.9 m,说明其空间连续性差,空间异质性高。MBC 的变程较大,为 60.6 m,说明其空间连续性相对较好。

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	块金值 C_0	基台值 C_0+C	块金值/ 基台值 $C_0/$ (C_0+C)	变程 A/m	拟合优度 R^2	最小残差值 RSS	分维数 D
$C_{mic}/(mg/kg)$	176	Exponential	0.0359	0.2418	0.149	60.6	0.839	5.465×10^{-4}	1.928
$N_{mic}/(mg/kg)$	176	Exponential	0.0245	0.305	0.080	40.5	0.221	4.595×10^{-3}	1.939
$P_{mic}/(mg/kg)$	176	Exponential	13.4	135.7	0.099	30.9	0.510	112	1.977
C_{mic}/N_{mic}	176	Exponential	0.045	0.378	0.119	43.8	0.519	2.391×10^{-3}	1.951
C_{mic}/P_{mic}	176	Spherical	0.038	0.610	0.062	33.0	0.435	3.879×10^{-3}	1.971

2.2.3 土壤微生物生物量的空间格局

利用 Kriging 方法制作的等值线更深刻、全面和直观地揭示了西南峡谷型喀斯特坡地土壤微生物的

空间分布格局(图 3)。与空间自相关和半方差函数分析的结果相似,MBC、MBN、MBP 三者的空间分布格局特征差异很大,表现为极高的空间异质性。

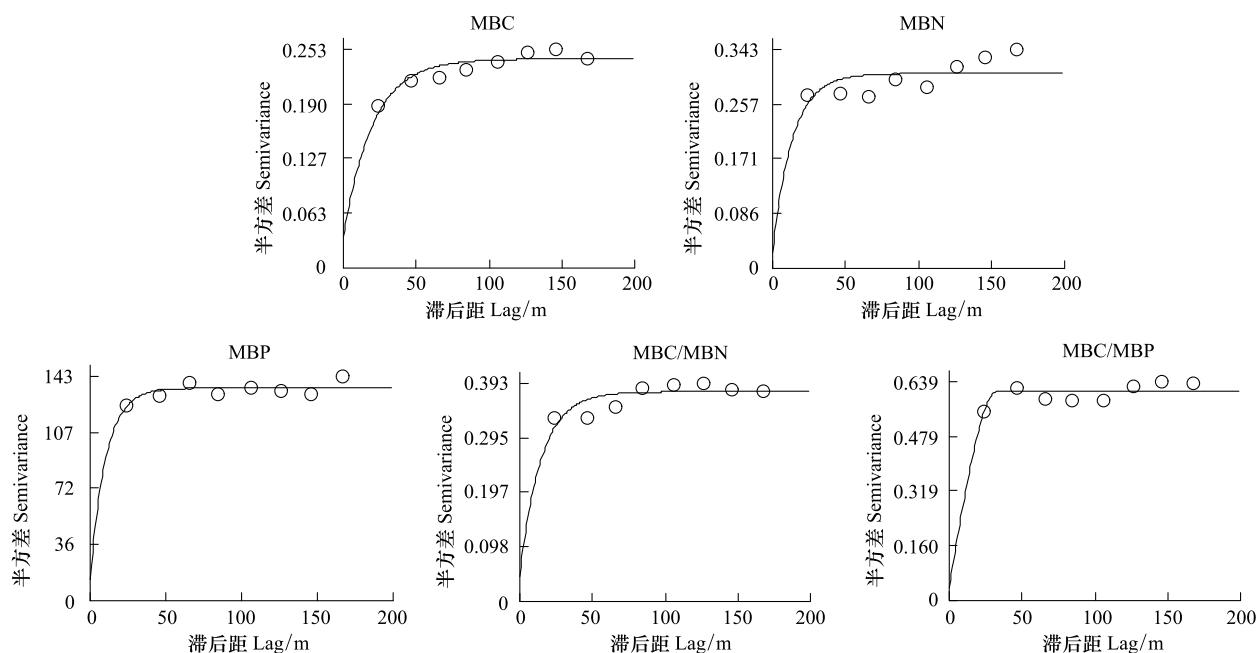


图2 土壤微生物量的半方差函数图

Fig.2 Semivariograms of soil microbial biomass

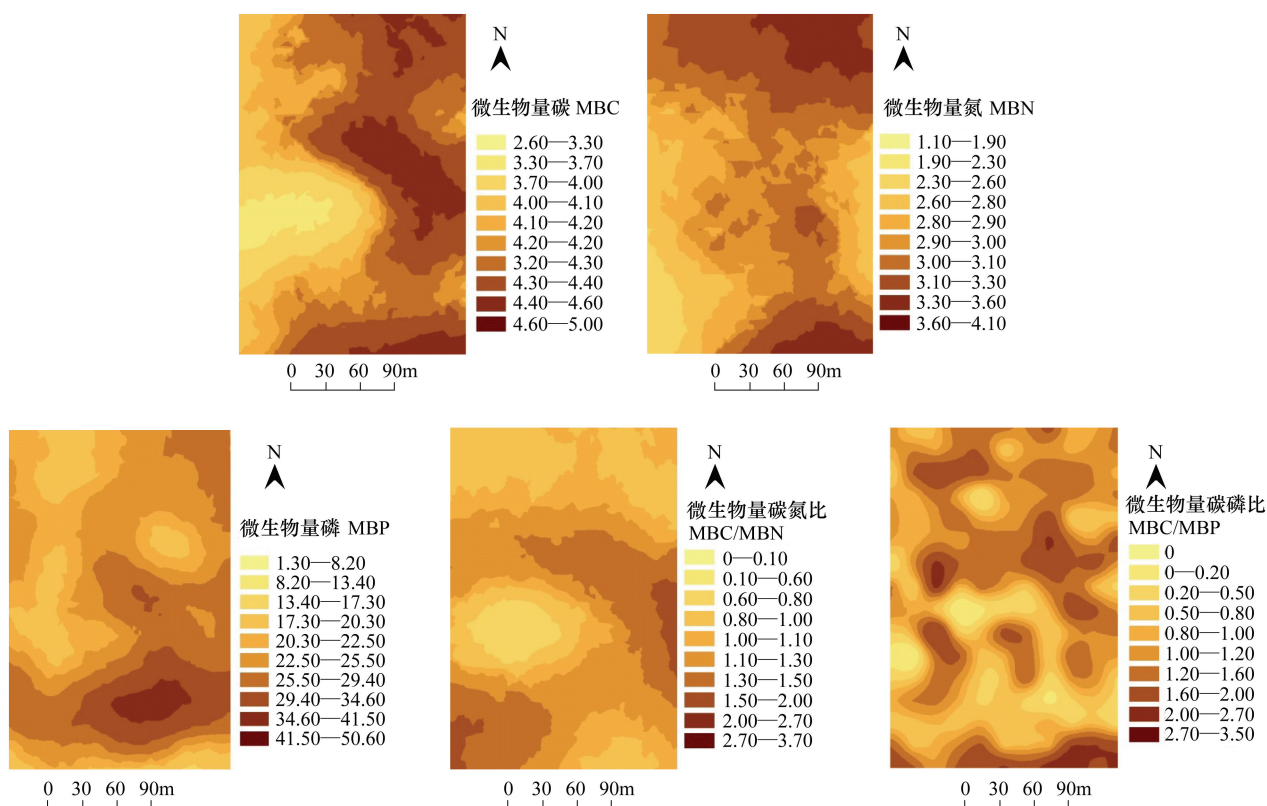


图3 土壤微生物量的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of soil microbial biomass

MBC 的高值区集中在坡中上部;MBN 表现为上部、坡脚的含量较高,最高值区均分布在坡上部;MBP 的

格局明显不同,高值区集中在坡脚;MBC/MBN 斑块较大,变化缓和;MBC/MBP 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。这可能与研究区生境复杂多样、施肥管理及放牧有关。

2.3 土壤微生物量与环境因子的耦合关系

典型相关分析研究两组变量(两个集团)之间整体的线性相关关系。把 5 个土壤微生物量(X_1-X_5)构成第 1 组变量,把土层厚度、植被覆盖度及土壤理化性状等环境因子(Y_1-Y_{10})构成第 2 组变量。用典范相关分析来研究土壤微生物与环境因子之间的关系(表 3),并建立典型变量构成(表 4)。前 4 个特征值的方差累积贡献率达 78.00%,基本能反映出大

部分变量的信息,由此而建立了土壤微生物量与环境因子之间的 4 对典型变量构成,由于 3、4 对典型变量的影响较小,表 4 只列出第 1、2 对典范变量构成进行分析。

土壤微生物量与环境因子的关系较密切,第 1、2 对的典型相关系数为 0.9419、0.9966,第 1 对达到了显著水平(<0.05)。土壤微生物量与环境因子的关系中,以 MBC、MBN 和土层厚度、pH、碱解氮的载荷量较大,说明土层厚度、pH、碱解氮是影响土壤微生物量碳和氮的主要因子。

表 3 土壤微生物量与环境因子之间的典范相关分析

Table 3 Chi-square tests of canonical correlation coefficients between soil microbial biomass and environmental factors in the studied areas

典型向量 Typical vector	典型相关系数 Canonical correlation coefficient	特征值 Eigenvalue	卡方值 Chi-square value	自由度 Freedom degree	显著水平 Significant level	累积贡献率 Cumulative contribution/%
1	0.9966	4.3148	66.8044	50	0.0462	28.77
2	0.9419	3.2135	31.8931	36	0.6643	50.19
3	0.8456	2.7672	16.6151	24	0.8646	68.64
4	0.6937	1.4044	7.8267	14	0.8982	78.00

表 4 土壤微生物量与环境因子之间的典型变量构成

Table 4 The composition of canonical variables between soil microbial biomass and environmental factors in the studied areas

$M_1 = -1.3442X_1 + 1.4578X_2 + 0.4926X_3 + 0.1919X_4 + 0.4326X_5$
$M_2 = 0.219X_1 - 0.0482X_2 + 0.0463X_3 - 0.3058X_4 - 1.0539X_5$
$E_1 = 1.0489Y_1 + 0.0065Y_2 + 0.7956Y_3 - 0.1154Y_4 + 0.3483Y_5 - 0.4119Y_6 + 0.3886Y_7 + 0.9401Y_8 + 0.6774Y_9 + 0.0976Y_{10}$
$E_2 = -2.0248Y_1 + 0.3859Y_2 + 0.2736Y_3 - 0.3354Y_4 - 0.8925Y_5 + 0.0316Y_6 - 0.2416Y_7 - 1.0547Y_8 - 0.3834Y_9 + 0.009Y_{10}$
X_1 : 土壤微生物量碳(MBC); X_2 : 土壤微生物量氮(MBN); X_3 : 土壤微生物量磷(MBP); X_4 : MBC/MBN; X_5 : MBC/MBP; Y_1 : 土壤厚度; Y_2 : 植被覆盖度; Y_3 : pH; Y_4 : 有机碳; Y_5 : 全氮; Y_6 : 全磷; Y_7 : 全钾; Y_8 : 碱解氮; Y_9 : 速效磷; Y_{10} : 速效钾

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程,与土壤肥力密切相关。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^[19-21],土壤微生物与土壤性质和植被存在着“共演替”效应^[10-11]。本研究,土壤微生物量在峡谷型喀斯特坡地的植被状况、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。

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,喀斯特峰丛洼地土

壤 MBC、MBN、MBP 的变化范围分别为 42—2064、130—216 和 10—50 mg/kg^[22]。李新爱等^[11]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,魏亚伟等人的研究结果表明^[23],喀斯特土壤微生物量含量显著高于其它生态系统。本研究中 MBC、MBN、MBP 的均值分别为 75.62、25.23、24.06 mg/kg^[24]。MBC 与 MBP 位于该范围内,MBN 均值明显低出该范围。峡谷型喀斯特坡地植被、生境的高异质性导致土壤微生物量的变化范围非常广。前人研究中的 MBC/MBN 均接近于 10^[25],本研究为 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。有研究结果表明^[26],MBC、MBN、MBP 三者之间均呈显著相关,本研究中 MBC、MBN 呈显著的线性相关关系,与已

有的研究结果一致,这可能与研究区域岩石裸露率高导致的采样误差有关。

本研究发现西南喀斯特坡地土壤 MBC、MBN、MBP、MBC/MBN 和均具有较强的空间自相关性,除 MBC/MBP 半方差函数的最佳拟合模型为球状模型外,其他指标均为指数模型, 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^[14];块金值 C_0 较小, $C_0/(C_0+C)$ 均 $<25\%$,变程 A 较短,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;由此可见,西南喀斯特坡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^[27],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^[28-29]。

土壤微生物与植物、土壤理化环境之间相互作用、共同演替发展。典范相关分析结果表明,土壤微生物量与环境因子之间存在着较高的相关性,第一、二对典型相关系数在 0.9419—0.9966 之间,第一对达到了显著水平(<0.05)。西南峡谷型喀斯特坡地土壤微生物量空间分布的影响因子很多,其中土层厚度、pH、碱解氮对土壤微生物量碳(MBC)、氮(MBN)的影响最大,且与 MBC 呈负相关、与 MBN 呈正相关。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理论基础和实践依据。

References:

- [1] Doran J W, Zeiss M R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 2000, 15(1): 3-11.
- [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*, 2000, 27(12): 5110-5119.
- [3] Zhou Z X. Scientific Investigation Report of Maolan Karst Forest. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1987: 1-23.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Feng S Z, Su Y R, Qin X M, Xiao W, Ge Y H, He X Y. Responses of soil microbial properties in soil profile to typical vegetation pattern and slope in karst-cluster depression area. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(10): 3148-3157.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y. *Soil Microbial Biomass-Methods and Application*. Beijing: China Meteorological Press, 2006.
- [14] 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): 163-170.
- [15] Wang Z Q. *Geostatistics and Its Application in Ecology*. Beijing: Science press, 1999.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, 1986, 38: 45-94.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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): 163-170.
- [15] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [16] 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] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 薛筵, 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.
- [27] 靳正忠, 雷加强, 徐新文, 李生宇, 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.
- [28] 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.
- [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.

参考文献:

- [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: 贵州科学技术出版社, 1987: 1-23.
- [4] 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.
- [6] 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.
- [7] 冯书珍, 苏以荣, 秦新民, 肖伟, 葛云辉, 何寻阳. 喀斯特峰丛洼地土壤剖面微生物特性对植被和坡位的响应. *生态学报*, 2013, 33(10): 3148-3157.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.12 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Development history and future research priorities of landscape ecology in China	CHEN Liding, LI Xiuzhen, FU Bojie, et al (3129)
Research review on effects of urban landscape pattern changes on water environment	HUANG Shuo, GUO Qinghai (3142)
A review of multifunctional landscape	TANG Qian, DING Shengyan (3151)
Compact development of space-limited city: a case study of Xiamen Island	HUANG Shuo, GUO Qinghai, TANG Lina (3158)
Analysis of factors contributing to the cooling effects of Purple Mountain Forest Park	YAN Weijiao, KONG Fanhua, YIN Haiwei, et al (3169)
Impacts of structure characteristics on the thermal environment effect of city parks	FENG Yueyi, HU Tangao, ZHANG Lixiao (3179)
Suitability assessment for building land consolidation on gentle hillside based on OWA operator: a case in Dali Bai Nationality Borough in Yunnan, China	LIU Yanxu, PENG Jian, HAN Yinan, et al (3188)
Optimization of land use pattern based on eco-security: a case study in the Huangfuchuan watershed	YU Feng, LI Xiaobing, WANG Hong (3198)
Analysis of land use/cover change from 2000 to 2010 and its driving forces in Manas River Basin, Xinjiang	LIU Jinwei, JIN Tiantian, LIU Guohua, et al (3211)
Dynamic trend analysis of land use change in the Ganjiang upstream watershed by using RS and GIS techniques	LU Yanfei, PENG Fang, WAN Yun, et al (3224)
Landscape pattern dynamics and driving forces analysis in the Sanjiang Plain from 1954 to 2010	LIU Jiping, ZHAO Dandan, TIAN Xuezhi, et al (3234)
Optimizing theory and case studies of cultivated slope land in the center of three gorges reservoir area based on patch-scale land evaluation	WANG Yongyan, LI Yangbing, SHAO Jingan, et al (3245)
Spatial-temporal evolution of land use and landscape pattern of the mountain-basin system in Guizhou Province	LI Yangbing, YAO Yuanwen, XIE Jing, et al (3257)
Spatio-temporal simulation of land cover scenarios in southwestern of China	LI Jing, FAN Zemeng, YUE Tianxiang (3266)
Gradient analysis of dry valley of Minjiang River landscape pattern, based on moving window method	ZHANG Lingling, ZHAO Yonghua, YIN Sha, et al (3276)
Study on spatio-temporal change of Tibetan Antelope's habitat based on vegetation coverage	ZHAO Haidi, LIU Shiliang, DONG Shikui, et al (3285)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping field in a grove Karst region, Southwest China	FAN Fujing, HUANG Guoqin, SONG Tongqing, et al (3293)
Characteristics of soil microbial populations and biomass under different ecosystems in a canyon karst region	TAN Qiujin, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (3302)
Spatial and temporal dynamics of land use and its influence on ecosystem service value in Yangtze River Delta	LIU Guilin, ZHANG Luocheng, ZHANG Qian (3311)
Evaluation of tourism dynamic landscape along Qinghai-Tibet railway based on the visual corridor	ZHANG Ruiying, XI Jianchao, YAO Yulong, et al (3320)
A study of spatial evolution characteristics of rural settlements and influences of landscape patterns on their distribution using GIS and RS	REN Ping, HONG Buting, LIU Yin, et al (3331)

- Assessing the ecosystem conservation status and priority: a case study from Jiangxi Province, China FAN Naiqing, ZHANG Yuxin, LÜ Yihe, et al (3341)
- The impact of salt marsh change on sediment accumulation and wave attenuation at the East Chongming Island REN Linjing, LI Xiuzhen, YANG Shilun, et al (3350)
- Landscape classification system based on climate, landform, ecosystem: a case study of Xinjiang area SHI Qingdong, WANG Zhi, HE Longmei, et al (3359)
- Analysis of landscape pattern evolution characteristic in the hilly and gully area of loess plateau: a case study in Yan'an City, Shaanxi Province ZHONG Lina, ZHAO Wenwu, LV Yihe, et al (3368)
- Analysis of the characteristics of agro-landscape heterogeneity under the different disturbances: a case study of Gongyi City ZHANG Xiaoyang, LIANG Guofu, DING Shengyan (3378)
- Classification and ordination of grassland landscape in the Shanxi Plateau ZHANG Xianping, LI Zhiqin, WANG Mengben, et al (3386)
- Analysis of factors affecting mountainous land surface temperature in the summer: a case study over Mount Tai SUN Changfeng, KONG Fanhua, YIN Haiwei, et al (3396)
- Research on spatial distribution and influencing factor of soil moisture in typical depression area of karst region ZHANG Jiguang, SU Yirong, CHEN Hongsong, et al (3405)
- Landscape heterogeneity of mountainous and hilly area in the western Henan Province based on moving window method LI Dongke, DING Shengyan, LIANG Guofu, et al (3414)
- Trends in vegetation and their responses to climate and topography in northwest Guangxi TONG Xiaowei, WANG Kelin, YUE Yuemin, et al (3425)
- Landscape pattern analysis on change of fractional vegetation cover between karst and no-karst areas: a case study in Hechi District, Guangxi Zhuang Autonomous Region WANG Mingchong, WANG Xizhi, LIANG Zhaoxiong, et al (3435)
- Multi-scale effects for landscape metrics and species diversity under the different disturbance: a case study of Gongyi City DONG Cuifang, LIANG Guofu, DING Shengyan, et al (3444)
- Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen concentrations in a *Lithocarpus glaber-Cyclobalanopsis glauca* evergreen broadleaved forest YANG Dan, XIANG Wenhua, FANG Xi, et al (3452)
- The characteristics and regeneration of the *Choerospondias axillaries* broad-leaved community in the hilly region of central Hunan Province, China YI Hao, DENG Xiangwen, XIANG Wenhua, et al (3463)
- Factors influencing the spatial distribution of vegetation carbon density in karst landscapes of Northwest Guangxi: a case study based on radial basis function network model ZHANG Mingyang, WANG Kelin, DENG Zhenhua, et al (3472)

《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

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 12 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 12 (June, 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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元