

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **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 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征.....	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态.....	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征.....	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布.....	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响.....	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性.....	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态.....	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态.....	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异.....	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响.....	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响.....	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究.....	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究.....	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究.....	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性.....	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化.....	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用.....	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评.....	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态.....	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响.....	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	

封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

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

DOI: 10.5846/stxb201203160353

张地, 张育新, 曲来叶, 马克明, 戴斯迪. 坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响. 生态学报, 2012, 32(20): 6412-6421.

Zhang D, Zhang Y X, Qu L Y, Ma K M, Dai S D. Effects of slope position on soil microbial biomass of *Quercus liaotungensis* forest in Dongling Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6412-6421.

坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响

张 地^{1,2}, 张育新¹, 曲来叶^{1,*}, 马克明¹, 戴斯迪^{1,2}

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 土壤微生物量是陆地生态系统中的重要组成部分, 在森林生态系统养分循环和能量转化中扮演着重要的角色。坡位作为重要的地形因子, 会影响土壤微环境、土壤理化性质、地上植被的生长以及地下碳输入等, 从而影响着土壤微生物量。以北京东灵海拔 1000—1800 m 范围内分布的辽东栎林为研究对象, 分析相同植被群落中坡位对土壤微生物量空间分布的影响。方差分析结果表明, 土壤微生物量碳、氮在各坡位间均无显著差异 ($P > 0.05$), 而土壤理化性质在各坡位间差异显著 ($P < 0.05$), 其中, 下坡位的土壤含水量、土壤有机碳、土壤全氮显著高于中坡位和上坡位。偏相关分析结果表明, 土壤微生物量碳、氮与土壤含水量、土壤有机碳和土壤全氮显著正相关 ($P < 0.05$), 与草本丰富度显著负相关 ($P < 0.05$)。进一步的通径分析结果表明, 在上坡位和中坡位, 土壤含水量和土壤有机碳是主要的影响因素; 而在下坡位, 草本丰富度对土壤微生物量的负作用凸显。不同坡位上影响因素的差异可能是导致土壤微生物量在不同坡位间无显著差异的原因。

关键词: 坡位; 辽东栎林; 土壤微生物量; 通径分析

Effects of slope position on soil microbial biomass of *Quercus liaotungensis* forest in Dongling Mountain

ZHANG Di^{1,2}, ZHANG Yuxin¹, QU Laiye^{1,*}, MA Keming¹, DAI Sidi^{1,2}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Soil microbial biomass is an important component of terrestrial ecosystem and plays an important role in the nutrient cycle and energy transformation in forest ecosystem. With its great sensitivity to the environmental conditions, the size of soil microbial biomass can be affected by a number of factors. As an important geographic factor, slope position can affect the soil microbial biomass by influencing soil microclimate, soil physical and chemical properties, vegetation growth and below-ground carbon input. Soil microbial biomass at slope scale has not been well studied as far as we know, and most of the previous studies of this topic chose a single mountain slope as study area, lacking of comparison among different slope positions in the entire distribution of one plant species. To address this question, we selected 10 west slopes along the altitudinal gradient of *Quercus liaotungensis* forest, with altitude ranging from 1000m to 1800m in Dongling Mountain of Beijing as our study area. A total of 357 soil samples were collected to compare the differences of soil microbial biomass on different slope positions, in which, 120 samples belonged to top slope, 138 samples belonged to middle slope and 99 belonged to bottom slope. Soil microbial biomass was measured using chloroform fumigation-extraction method. Soil and

基金项目: 国家自然科学基金 (30900185); 城市与区域国家重点实验室自主项目“区域生态系统服务的尺度效应与评价方法” (SKLURE2008-1-02)

收稿日期: 2012-03-16; 修订日期: 2012-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lyqu@rcees.ac.cn

vegetation factors were also tested. Analysis of variance (ANOVA), partial correlation analysis and path analysis were used to investigate the difference in soil microbial biomass on different slope positions and their influencing factors. ANOVA analysis showed that microbial biomass carbon and nitrogen from different slope positions were not significantly different (with $P>0.05$), while the soil properties showed significant differences ($P<0.05$): soil moisture, soil organic carbon and total soil nitrogen was significantly higher on bottom slopes than that on middle slopes and top slopes. Soil pH and herbal richness had no significant difference among slope positions (with $P>0.05$). Partial correlation analysis showed that the microbial biomass had significant positive correlations with soil moisture, soil organic carbon and total soil nitrogen (with $P<0.05$), and a significant negative correlation with herbal richness (with $P<0.05$). Further path analysis showed that on top and middle slope positions, soil moisture and soil organic carbon were important factors, while the negative effect of herbal richness was significant on bottom slopes. This study showed that the change of slope position significantly affected the differences in soil properties, therefore affecting the spatial distribution of soil microbial biomass. However soil microbial biomass was also affected by herbal richness with a negative effect, with which the combined effects led to no significant difference of soil microbial biomass among slope positions.

Key Words: slope position; *Quercus liaotungensis* forest; soil microbial biomass; path analysis

土壤微生物是土壤碳循环中最为活跃的部分,参与土壤碳、氮等元素的循环过程和土壤有机营养物质的矿化过程,对有机物质的分解转化、养分的转化和供应起着重要的主导作用^[1]。与微生物个体数量指标相比,土壤微生物量更能反映微生物在土壤中的实际含量和作用潜力^[2]。由于土壤微生物量对环境变化具有较高的敏感性和响应性,使其被认为是比土壤有机质更灵敏的环境变化指示因子^[3]。因此,研究土壤微生物量的变化规律及影响因素对了解土壤肥力状况、土壤环境变化、土壤养分对植物有效性以及土壤养分转化与循环等方面都具有重要意义^[2]。

地形因素可以通过影响土壤的微气候、土壤的理化性质、植被的生长以及地下碳输入等途径影响土壤微生物的生长及生物量^[4-5],即使很小的地形变化也会造成短距离内土壤条件的剧烈变化^[6]。坡位作为一个重要的地形因子,经常运用在土壤侵蚀过程的研究中^[7-9],不同坡位上土壤性质的差异大小可以估计土壤侵蚀程度^[10],也可以用来评价不同坡位上土壤对于外界干扰的响应能力^[11-12]。对于土壤微生物来说,不同坡位上土壤水分、养分、植被等的差异均会影响到土壤微生物对资源利用策略,从而影响土壤微生物量的大小。但是目前对于土壤微生物量在坡面尺度上的研究不多,而且这些工作大多选择在山体的某一个坡面进行研究,而沿海拔梯度的变化研究不同坡位对土壤微生物特征影响的工作还很匮乏。

北京东灵山地区的辽东栎种群处于稳定状态,本文选取海拔 1000—1800 m 的辽东栎 (*Quercus liaotungensis* Koidz.) 分布范围内的 10 个坡面的土壤微生物作为研究对象,通过分析土壤微生物量沿坡位的变化,探讨它们在不同坡位上的差异及其影响因素,进一步认识在辽东栎林海拔分布范围内不同坡位上土壤微生物的适应特征,为东灵山土壤养分转化与循环,及土壤微生物对环境变化的响应提供科学的依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

北京东灵山(40°00′—40°03′N, 115°26′—15°30′E)位于北京市西郊的门头沟区,与河北省毗邻,距市区约 100 km。东灵山为小五台山余脉,属太行山系。海拔高度多在 1000 m 以上,最高峰为 2303 m。地带性土壤类型为肥沃褐色土和棕色森林土。该区域属于暖温带半湿润大陆季风气候,年降雨量 500—650 mm。植被为暖温带落叶阔叶林区,辽东栎林为该地区的地带性植被^[13]。

1.2 样地设置及样品采集

本研究选取位于北京市西郊的东灵山作为研究地点,选择 10 个山体的西坡向长势较好的辽东栎林作为研究地点,海拔范围为 1000—1800 m,是东灵山地区辽东栎林的主要海拔分布范围。10 个坡面共设置了 10

条样线,海拔范围分别为:1020—1055 m、1060—1160 m、1170—1240 m、1250—1320 m、1330—1395 m、1400—1480 m、1490—1540 m、1546—1600 m、1610—1670 m、1676—1770 m,每条样带宽度为 10 m,长度 80—180 m 不等。调查单元为 10 m×10 m,共 119 个大样方,各样地均为以辽东栎为优势种群的森林群落。土壤样本的采集均尽量选择远离高大乔木及灌木的空草地进行。本实验于 2010 年 7 月进行,在每块大样方随机选取 3 个 1 m×1 m 的小样方作为 3 个重复,在每个小样方中随机选取五点采集表层土壤(0—10 cm)混为一个样品,共采集 357 份样品。直接过 2 mm 筛后放入冰箱带回实验室。将每个土样分为两份,一份放入 4 ℃ 冰箱,用于微生物生物量测定。另一半置于室内自然风干,过不同孔径筛用于土壤理化性质分析。同时,记录每个大样方的地形数据(如海拔、坡位、坡度等),并对每个小样方内的草本层植被进行调查,记录草本植物物种名称及数量。

1.3 实验方法

土壤微生物量生物量的测定:微生物生物量的提取采用氯仿熏蒸浸提法^[14]。称取相当于 10 g 干土的新鲜土样,置于表面皿中,将表面皿放入真空干燥器内,用去乙醇氯仿在 -0.07 MPa、25℃ 的黑暗条件下熏蒸 24 h。之后,将熏蒸及未熏蒸的土壤转移至 250 mL 的三角瓶中,加入 40 mL 0.5 mol/L 的 K₂SO₄ 溶液浸提(200 r/min)30 min,用滤纸过滤,收集浸提液。土液比 1:4 的浸提溶液中,土壤微生物量碳含量采用总有机碳分析仪(TOC)测定,计算公式为土壤微生物量碳=(熏蒸的有机碳-未熏蒸的有机碳)/0.45;土壤微生物量氮采用碱性过硫酸钾消煮比色法测定^[15],计算公式为:土壤微生物量氮=(熏蒸的全氮-未熏蒸的全氮)/0.54。

土壤含水量采用 105 ℃ 连续烘干 24 h 后计算得出;pH 值用风干后过 2 mm 筛的土样采用酸度计进行测定(土:水=1:2.5);土壤有机碳用风干后过 100 目筛的土样采用重铬酸钾外加热氧化法测定;土壤全氮用风干后过 100 目筛的土样采用元素分析仪测定。草本层植被数据采用物种丰富度作为研究指标,丰富度即为单位面积上的物种数。

1.4 数据处理

文中数据均为 3 次重复的平均值。将所有大样方按照地形记录情况划分为上、中、下 3 个坡位,用来比较各指标在不同坡位间的差异,其中,上坡位样方 40 个,中坡位样方 46 个,下坡位样方 33 个。不同坡位间土壤因子、草本丰富度及土壤微生物量的差异评价采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(Least Significant Difference, LSD),数据的变异用标准差(Standard Deviation, SD)表示,各指标间的相关性分析采用偏相关分析(Partial correlation)的方法,去除海拔因素的影响,显著性水平为 $\alpha=0.05$,以上均由 SPSS 13.0 完成。文中图表用 Origin 7.5 和 Excel 2007 完成。

通径分析是多元统计分析方法的一种,根据用户的研究需要构建模型,定义外生变量和内生变量以及它们之间的因果关系(以单向箭头表示的通径系数和双向箭头表示的相关系数来描述),通过联立方程组求解通径系数,从而检验各变量之间的作用方向、作用强度和解释能力。通径系数实际上是标准化的偏回归系数,变量之间的作用强度可通过线性可加的通径系数的代数和来描述^[16],通径分析采用 SAS 9.2 完成。数据采用偏相关系数矩阵作为输入数据进行运算,同样是为了去除海拔的影响。

2 研究结果

2.1 不同坡位土壤理化因子差异比较

土壤含水量在不同坡位之间有显著差异,表现为上坡位<中坡位<下坡位,其中,下坡位显著高于中坡位和上坡位,上坡位与中坡位之间的差异不显著;土壤有机碳在不同坡位之间有显著差异,表现为上坡位<中坡位<下坡位,其中上坡位显著高于下坡位,中坡位与上、下坡位之间的差异不显著;土壤全氮在不同坡位之间有显著差异,表现为中坡位<上坡位<下坡位,其中下坡位显著高于中坡位和上坡位,上坡位与中坡位间差异不显著;土壤 pH 值在不同坡位间无显著差异,但表现为上坡位>中坡位>下坡位的趋势,且土壤 pH 值的变异程度较小,说明东灵山地区土壤的 pH 值比较稳定(图 1)。

2.2 不同坡位草本丰富度差异比较

草本丰富度(图 2)在不同坡位间无显著差异,但表现为上坡位>下坡位>中坡位。

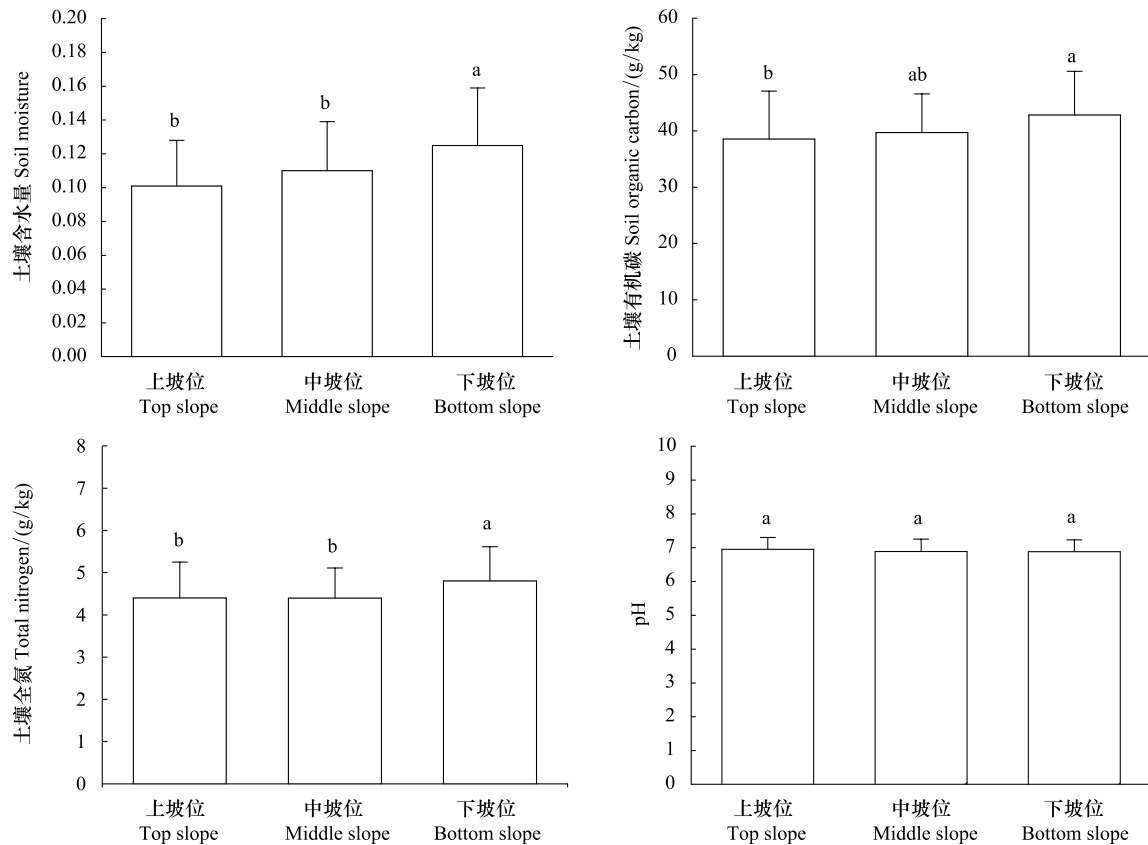


图1 各土壤因子在不同坡位间的比较

Fig. 1 Comparisons of soil factors on different slope positions

图中字母不相同表示有显著性差异 ($P < 0.05$)

2.3 不同坡位土壤微生物量差异比较

土壤微生物量碳氮在不同坡位之间均无显著差异,但变异(标准差)较大。其中,土壤微生物量碳表现为上坡位>下坡位>中坡位,土壤微生物量氮(图3)表现为上坡位<中坡位<下坡位。

2.4 土壤微生物量与土壤理化因子及草本丰富度的偏相关分析

偏相关分析结果如表1所示,结果表明:土壤含水量、土壤有机碳、土壤全氮与土壤微生物量碳、氮间有显著正相关关系,而与草本丰富度有显著负相关关系,草本丰富度与土壤微生物量之间有显著负相关关系,土壤含水量、土壤有机碳、土壤全氮之间也有显著的正相关关系。土壤pH值与各指标间的相关性不显著。

2.5 通径分析模型建立及各坡位比较分析

在相关性分析的基础上,通过通径分析建立合理的路径图可以更加明确土壤微生物量与草本丰富度、土壤水分、养分之间的关系。相关分析中,土壤pH值不仅与土壤微生物量之间无显著的相关关系,与土壤因子之间也无显著的相关关系,因此在建立通径分析路径之

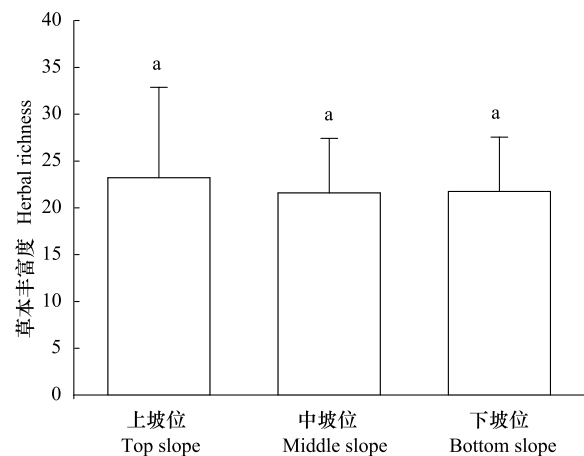


图2 草本丰富度在不同坡位间的比较

Fig. 2 Comparisons of herbal richness on different slope positions

图中字母不相同表示有显著性差异 ($P < 0.05$)

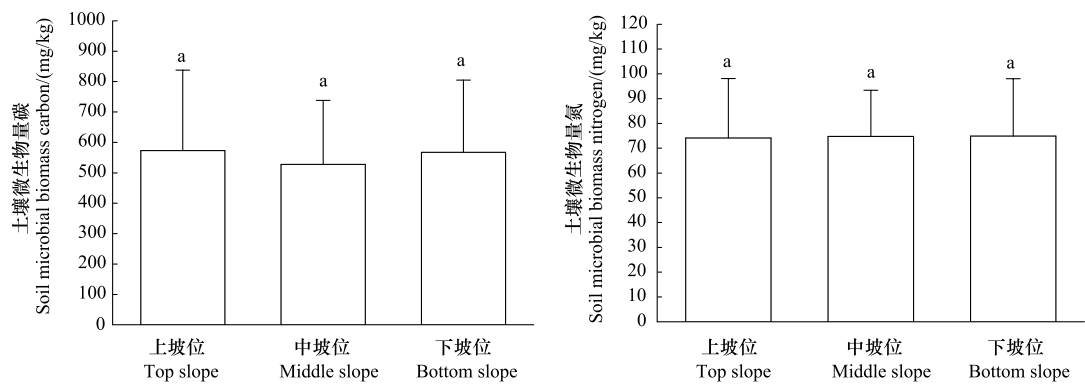


图3 土壤微生物量在不同坡位间的比较

Fig.3 Comparisons of soil microbial biomass on different slope positions

图中字母不相同表示有显著性差异 ($P < 0.05$)

前,首先将土壤 pH 值这一指标剔除,不纳入考虑^[17]。路径图的建立基于许多文献^[16]的研究结果,考虑到各指标与微生物生物量之间的可能的影响路径,探讨土壤环境因子和草本丰富度对于微生物生物量的影响。土壤含水量属于土壤的物理因子,直接影响土壤微生物、土壤养分的转化、积累以及地上植被组成;土壤有机碳与土壤全氮是土壤养分的指标,其作为植被和土壤微生物利用的能源物质,直接影响着土壤微生物和地上植被;而植被可以通过地上凋落物以及地下根系的分泌物输入等来影响土壤微生物量。已知文献中,土壤碳、氮之间以及微生物碳、氮之间均有很好的协同作用,而基于文献与模型的调试,最终选择碳到氮的方向^[16]。相对于饱和模型,本文中的默认模型省略了很多途径,现有途径的保留和方向是在多次调试后最终确定的,并通过了适合度检验。最终路径图如图 4 所示:

表 1 土壤微生物量与土壤理化性质及草本丰富度的偏相关系数表

Table 1 Partial correlation among soil microbial biomass, soil Physicochemical Properties and herbal species richness

	pH	SM	SOC	TN	MBC	MBN	HR
pH	1.000						
SM	-0.041	1.000					
SOC	0.026	0.552 **	1.000				
TN	0.119	0.528 **	0.881 **	1.000			
MBC	0.158	0.307 **	0.406 **	0.375 **	1.000		
MBN	0.135	0.428 **	0.443 **	0.392 **	0.528 **	1.000	
HR	-0.056	-0.238 *	-0.320 **	-0.283 **	-0.260 **	-0.389 **	1.000

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; SM 土壤含水量 soil moisture; SOC 土壤有机碳 soil organic carbon; TN 土壤全氮 total nitrogen; HR 草本丰富度 herbal richness; MBC 土壤微生物量碳 soil microbial biomass carbon; MBN 土壤微生物量氮 soil microbial biomass nitrogen

路径图确定后,将各个坡位的数据放入模型进行检验与计算,得出各影响因素对于土壤微生物量影响的通径系数。各坡位的通径分析路径图均通过了模型检验。

2.5.1 上坡位通径分析路径图及通径系数表

如图 5 所示,上坡位上,显著的路径($P < 0.05$)共有 5 条:土壤含水量对土壤有机碳和土壤微生物量氮,土壤有机碳对土壤微生物量碳和土壤全氮,土壤微生物量碳对土壤微生物量氮,其他路径均不显著($P > 0.05$)。

如表 2 所示,上坡位上,各影响因子对于土壤微生物量碳的解释度为 0.30,对于土壤微生物量氮的解释度为 0.46。各土壤因子中,土壤水分和土壤有机碳对于土壤微生物量碳的总影响的通径系数最大,分别为 0.44 和 0.45;对于土壤微生物量氮的总影响的通径系数中,土壤水分和土壤微生物量碳的影响最大,分别为 0.51 和 0.46。其他因子对于土壤微生物量的影响均不显著($P > 0.05$)。

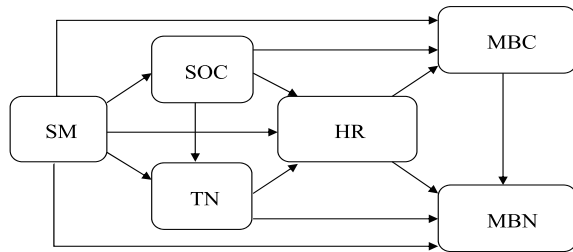
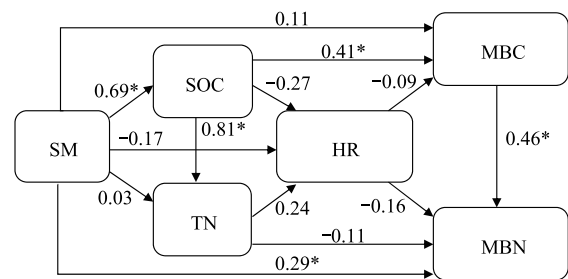


图4 最终确定通径分析路径图
Fig. 4 Ultimate path analysis model



Chi-Square = 2.34, DF = 2, $P=0.31$, GFI=0.98, RMSEA = 0.07

图5 上坡位通径路径图

Fig. 5 Path analysis model of top slopes

表2 上坡位通径系数表

Table 2 Path coefficient of top slopes

应变变量 Dependent variable	途径 Path	影响因素 Independent variable					R^2
		SM	SOC	TN	HR	MBC	
MBC	直接影响	0.11	0.41 *	—	-0.09	—	0.30
	间接影响	0.33 *	0.04	0.04	—	—	
	总影响	0.44 *	0.45 *	0.04	-0.09	—	
MBN	直接影响	0.29 *	—	-0.11	-0.16	0.46 *	0.46
	间接影响	0.22	0.20	0.05	-0.04	—	
	总影响	0.51 *	0.20	-0.06	-0.20	0.46 *	

2.5.2 中坡位通径分析路径图及通径系数表

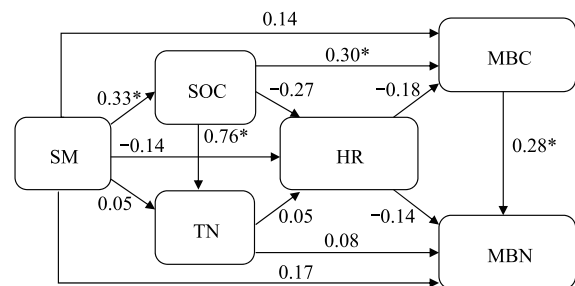
如图6所示,中坡位上,显著的路径($P<0.05$)共有4条:土壤含水量对土壤有机碳,土壤有机碳对土壤微生物量碳和土壤全氮,土壤微生物量碳对土壤微生物量氮,其他路径均不显著($P>0.05$)。

如表3所示,中坡位上,各影响因子对于土壤微生物量的解释度较低,其中,对于土壤微生物量碳的解释度为0.17,对于土壤微生物量氮的解释度为0.21,说明许多未考虑的因子对于土壤微生物量有很大的影响。各土壤因子中,土壤有机碳对于土壤微生物量碳总影响的通径系数最大,为0.32;而土壤含水量和土壤微生物量碳对于土壤微生物量氮的影响最大,分别为0.30和0.28。其他因子对于土壤微生物量的影响均不显著($P>0.05$)。

表3 中坡位通径系数表

Table 3 Path coefficient of middle slopes

应变变量 Dependent variable	途径 Path	影响因素 Independent variable					R^2
		SM	SOC	TN	HR	MBC	
MBC	直接影响	0.14	0.30 *	—	-0.176	—	0.17
	间接影响	0.12	0.02	0.01	—	—	
	总影响	0.26	0.32 *	0.01	-0.176	—	
MBN	直接影响	0.17	—	0.08	-0.14	0.28 *	0.21
	间接影响	0.13	0.18	-0.01	-0.02	—	
	总影响	0.30 *	0.18	0.07	-0.16	0.28 *	



Chi-Square = 0.67, DF = 2, $P=0.72$, GFI = 0.99, RMSEA=0

图6 中坡位通径路径图

Fig. 6 Path analysis model of middle slopes

2.5.3 下坡位通径分析路径图及通径系数表

如图 7 所示,下坡位上,显著的路径($P<0.05$) 共有 6 条:土壤含水量对土壤有机碳、草本丰富度和土壤微生物量氮,草本丰富度对土壤微生物量碳和土壤微生物量氮,土壤有机碳对土壤全氮,土壤微生物量碳对土壤微生物量氮,其他路径均不显著($P>0.05$)。

如表 4 所示,下坡位上,各影响因子对于土壤微生物量碳的解释度为 0.33,对于土壤微生物量氮的解释度为 0.62。各土壤因子中,土壤含水量对于土壤微生物量碳和氮的总影响远大于其他因素,分别为 0.54 和 0.68。而草本层丰富度对于土壤微生物量碳和氮的总影响也很大,仅次于土壤含水量,且对于土壤微生物量产生负作用,分别为-0.34 和-0.32。而土壤有机碳和全氮对于土壤微生物量的影响不显著($P>0.05$)。

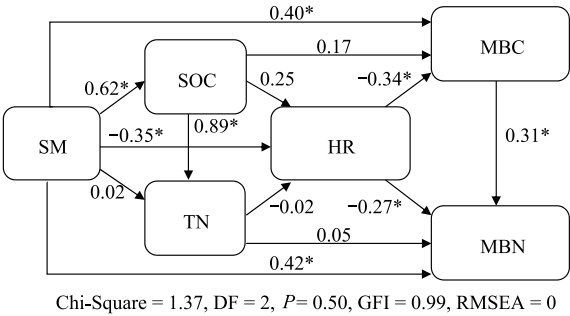


图 7 下坡位通径路径图
Fig. 7 Path analysis model of bottom slopes

表 4 下坡位通径系数表
Table 4 Path coefficient of bottom slopes

应变量 Dependent variable	途径 Path	影响因素 Independent variable					
		SM	SOC	TN	HR	MBC	R ²
MBC	直接影响	0.40 *	0.17	—	-0.34 *	—	0.33
	间接影响	0.14	-0.03	0.02	—	—	
	总影响	0.54 *	0.14	0.02	-0.34 *	—	
MBN	直接影响	0.42 *	—	0.05	-0.27 *	0.31 *	0.62
	间接影响	0.26 *	0.03	0.01	-0.05	—	
	总影响	0.68 *	0.03	0.06	-0.32 *	0.31 *	

3 讨论

3.1 不同坡位土壤理化因子和草本丰富度的差异比较

在山地坡面上,地形与土地利用方式是决定土壤理化及生物性质变化的重要因素,沿坡面不同的土壤成土过程导致了其特征的不同^[18],不同坡位土壤理化及微生物分布的差异主要是由坡面土壤性质和坡面养分在降雨侵蚀过程中的再分配所造成的^[8]。

一般认为,侵蚀过程将土壤细粒搬运到下坡,并在地势较低的地方沉积,因此坡底和山谷的沉积区土壤较厚,有机质含量较高。沉积区为植物根系和微生物提供了更多的土壤养分,物质稳定性好于上坡,土壤水分条件也更好。基于以上原因,不同坡位上土壤微生物量也会有很大差异^[9-10, 19]。

在本研究中,不同坡位间土壤状况有显著的差异,其中,下坡位的土壤含水量、土壤有机碳含量、土壤全氮量更高,与一些文献研究结果相同^[10-11],但虽然各坡位间土壤水分、养分条件有显著性差异,但各坡位间在量上的差距并不大,而土壤 pH 值在各坡位间无显著差异。

随着坡位的变化,地上植被也会表现出一定的变化趋势,但对于不同地域的研究也有着不同的结果^[20-22],这可能主要与不同研究地的土壤状况及微地形等因素有关,也可能与草本植物的适应特征有关。本研究中,草本层丰富度在各坡位间无显著差异,说明本研究区内坡位并未对草本层的物种丰富度产生显著影响,有文献表明坡位对物种丰富度无显著影响^[20],但也有一些文献的研究结果与此不同^[21-22],具体的原因有待于进一步的研究。

3.2 不同坡位土壤微生物量的差异及原因分析

在稳定的土壤条件下,土壤微生物除受长期向土壤投入的有机碳影响外,还受到气候条件、土壤质地等许

多因素的影响,且由于坡位的不同,其植被也会呈现规律性的递变,从而会影响到土壤微生物量的变化^[8]。本文中,土壤微生物量的变化幅度很大,可能与样点的空间异质性较大有关。但是各坡位间土壤微生物量的差异不显著,这与一些结果不同^[7, 9],这表明土壤微生物量是不同坡位上多重影响因素多方面综合作用的结果。

土壤微生物对于环境的变化十分敏感,本研究中,对于土壤微生物的影响主要考虑了土壤含水量、有机碳、全氮、pH 值等土壤因子以及草本丰富度。偏相关分析结果表明,土壤含水量、土壤有机碳、土壤全氮、草本丰富度均与土壤微生物量有显著相关关系。其中,土壤 pH 值在本研究中对于土壤微生物量的影响不大,可能主要与研究区内该指标的变化不大有关;土壤含水量、土壤全氮、土壤有机碳与土壤微生物量有显著正相关关系,与大多数研究结论相同^[23-24];而草本丰富度与土壤微生物量显著负相关,与一些文献的结论不同,通常认为随着草本丰富度升高,土壤微生物量也会有升高趋势^[25-26]。本研究是在植被生长旺盛的夏季进行采样实验,此阶段植被间以及植被与土壤微生物间对于养分的需求很大,因此此结果可能与其他植被层与草本层的竞争以及草本与土壤微生物之间对于养分的竞争有关。对于此结论还有待于开展土壤微生物量季节动态变化规律的研究进一步探讨。

土壤含水量作为土壤的物理环境因子对于土壤微生物有着直接的影响,很多研究报道了水分变化对于土壤微生物的影响^[1-2];在森林立地条件中,土壤湿度是土壤微生物和土壤动物的一个重要控制因素^[27],土壤含水量会影响土壤微生物的活动,因此在水分的干湿交替下会造成土壤微生物量的剧烈变化^[28-29]。土壤水分不仅对微生物产生直接的影响,还可以通过影响土壤有机碳、全氮含量等理化性质,对土壤微生物产生影响^[30]。由于微生物大多数是异养型的,新鲜而易分解的生物有机质的含量往往是决定它们活性和分布的主要因素^[31]。土壤中的微生物除了受土壤物理环境的影响外,更主要的是受到土壤中微生物可利用营养物质的影响^[32]。大量研究表明,土壤微生物量与土壤有机碳和全氮之间密切相关^[1, 23-24],因此土壤中碳、氮元素的含量及可利用性会直接影响土壤微生物的正常生长和活性,从而限制土壤微生物量的大小。草本植物对于地表土壤中土壤微生物量的变化有最直接的影响,草本植物的根系发达,其可以通过根系分泌物等为土壤微生物提供良好的养分供给,从而影响土壤微生物量^[1]。

在偏相关性分析的基础上,本研究运用了通径分析的方法,试图研究各个坡位上,土壤和植被是如何影响土壤微生物最终导致其在各坡位间无显著差异。上坡位,由于土壤条件相对中、下坡位稍差,使得各因子间的相互制约更强,因此水分养分均为土壤微生物生长的限制因素。通径分析的结果证实,土壤微生物量碳主要受到土壤含水量和土壤有机碳的影响,总通径系数很大,而土壤微生物量氮主要受到土壤含水量的影响。中坡位,可能是由于其处于土壤搬运的过度地带,环境不稳定,变化复杂,除已测的因素外还会受到其他许多因素的影响,因此通径分析结果中,模型的解释度也相对较小,各土壤因子与土壤微生物量的总通径系数也不如上坡位大,同样说明中坡位环境比较复杂,但土壤含水量和土壤有机碳仍然是最主要的影响因素。下坡位,虽然水分、养分条件比上坡位好,但是土壤微生物量并未显著升高。通径分析结果表明,土壤含水量的总影响通径系数远大于其他影响因素,说明土壤含水量是下坡位上土壤微生物量的主要影响因素,而草本丰富度对于土壤微生物量的影响也凸显出来,其对于土壤微生物量产生显著的负作用。

综合以上研究结果表明,不同坡位上影响土壤微生物量的因素和作用程度均有不同,且作用的关系有正有负,土壤微生物量在各坡位间无显著的差异的原因是不同因素综合作用的结果。

References:

- [1] He R, Wang J S, Shi Z, Fang H Y. Variations of soil microbial biomass across four different plant communities along an elevation gradient in Wuyi Mountains, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 5138-5144.
- [2] Liu B R. Changes in soil microbial biomass carbon and nitrogen under typical plant communities along an altitudinal gradient in east side of Helan Mountain. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(4): 883-888.
- [3] Zhao X, Wang Q, Kakubari Y. Stand-scale spatial patterns of soil microbial biomass in natural cold-temperate beech forests along an elevation

- gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(7): 1466-1474.
- [4] Groffman P M, Zak D R, Christensen S, Mosier A, Tiedje J M. Early spring nitrogen dynamics in a temperate Forest landscape. *Ecology*, 1993, 74(5): 1579-1585.
- [5] Burke I C, Lauenroth W K, Riggle R, Brannen P, Madigan B, Beard S. Spatial variability of soil properties in the shortgrass steppe; the relative importance of topography, grazing, microsite, and plant species in controlling spatial patterns. *Ecosystems*, 1999, 2(5): 422-438.
- [6] Zak D R, Hairston A, Grigal D F. Topographic influences on nitrogen cycling within an upland Pin Oak Ecosystem. *Forest Science*, 1991, 37(1): 45-53.
- [7] Zhao R D, Fan J B, He Y Q, Song C L, Tu R F, Tan B C. Effect of slope position on soil physicochemical properties, enzyme activities and microbial properties in *Pinus massoniana* plantation. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(12): 2857-2862.
- [8] Cheng Y, An S S, Ma Y F. Soil microbial biomass and enzymatic activities in the loess hilly area of Ningxia under different slope positions. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(5): 148-153.
- [9] Khalili-Rad M, Nourbakhsh F, Jalalian A, Eghbal M K. The effects of slope position on soil biological properties in an eroded toposequence. *Arid Land Research and Management*, 2011, 25(3): 308-312.
- [10] Hu C J, Fu B J, Liu G H, Jin T T, Guo L. Distribution of soil microbe on hill slope scale on the hilly area of the Loess Plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(3): 148-152.
- [11] Liu W, Xu W, Han Y, Wang C, Wan S. Responses of microbial biomass and respiration of soil to topography, burning, and nitrogen fertilization in a temperate steppe. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 44(2): 259-268.
- [12] Mabuhay J A, Isagi Y, Nakagoshi N. Wildfire effects on microbial biomass and diversity in pine forests at three topographic positions. *Ecological Research*, 2005, 21(1): 54-63.
- [13] Zhang Y X, Ma K M, Qi J, Feng Y, Zhang J Y. Size structure and spatial pattern of *Quercus liaotungensis* population along elevation gradient in Dongling Mountain, Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2789-2796.
- [14] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, Chaussod R, Brookes P C. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation extraction-an automated procedure. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, 22(8): 1167-1169.
- [15] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 42-48.
- [16] Zhang Y Y, Qu L Y, Chen L D, Wei W. Soil microbial properties under different vegetation types in Loess hilly region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(1): 165-173.
- [17] Grace J B, Kelley J E. A structural equation model analysis of postfire plant diversity in California shrublands. *Ecological Applications*, 2006, 16(2): 503-514.
- [18] Brubaker S C, Jones A J, Lewis D T, Frank K. Soil Properties associated with landscape position. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57(1): 235-239.
- [19] Wang X L, H F, Li H X, Qin J T, Zhang B. Effects of different land used Patterns on soil microbial biomass carbon and nitrogen in small red soil watershed. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(1): 143-147.
- [20] Ou Y R, Su Z Y, Li Z K, Lin Y H. Effects of topographic factors on the distribution patterns of ground plants with different growth forms in montane forests in North Guangdong, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(5): 1107-1113.
- [21] Shen Z H, Zhao J. Prediction of the spatial patterns of species richness based on the plant topography relationship; an application of GAMs approach. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 23(7): 953-963.
- [22] Hu X M, Cheng J M, Wan H E, Zhao Y Y. Reciprocal relationships between topography, soil moisture, and native vegetation patterns in the loess hilly region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3276-3285.
- [23] Arunachalam A, Pandey H N. Ecosystem restoration of jhum fallows in Northeast India microbial C and N Along altitudinal and successional gradients. *Restoration Ecology*, 2003, 11(2): 168-173.
- [24] Yao H, He Z, Wilson M J, Campbell C D. Microbial biomass and community structure in a sequence of soils with increasing fertility and Changing Land use. *Microbial Ecology*, 2000, 40(3): 223-237.
- [25] Liu Z F, Liu G H, Fu B J, Zheng X X. Relationship between plant species diversity and soil microbial functional diversity along a longitudinal gradient in temperate grasslands of Hulunbeir, Inner Mongolia, China. *Ecological Research*, 2008, 23(3): 511-518.
- [26] Chung H, Zak D R, Reich P B, Ellsworth D S. Plant species richness, elevated CO₂, and atmospheric nitrogen deposition alter soil microbial community composition and function. *Global Change Biology*, 2007, 13(5): 980-989.
- [27] Mackie A E, Wheatley R E. Effects and incidence of volatile organic compound interactions between soil bacterial and fungal isolates. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(3): 375-385.
- [28] Bottner P. Response of microbial biomass to alternate moist and dry conditions in a soil incubated with ¹⁴C-Labeled and ¹⁵N-Labelled Plant-

Material. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 17(3): 329-337.

- [29] Xiang S R, Doyle A, Holden P A, Schimel J P. Drying and rewetting effects on C and N mineralization and microbial activity in surface and subsurface California grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(9): 2281-2289.
- [30] Niu J, Zhou X Q, Jiang N, Wang Y F. Characteristics of soil microbial communities under dry and wet condition in Zoige alpine wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(2): 474-482.
- [31] Huang H, Chen G S, Xie J S, Huang C F. Advances on soil microbial biomass carbon and its effect factor. *Hubei Forestry Science and Technology*, 2008, (4): 34-41.
- [32] Hu Y L, Wang S L, Yan S K. Research advances on the factors influencing the activity and community structure of soil microorganism. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(1): 170-176.

参考文献:

- [1] 何容, 汪家社, 施政, 方燕鸿, 徐自坤, 权伟, 张增信, 阮宏华. 武夷山植被带土壤微生物量沿海拔梯度的变化. *生态学报*, 2009, 29(9): 5138-5144.
- [2] 刘秉儒. 贺兰山东坡典型植物群落土壤微生物量碳、氮沿海拔梯度的变化特征. *生态环境学报*, 2010, 19(4): 883-888.
- [7] 赵汝东, 樊剑波, 何园球, 宋春丽, 屠人凤, 谭炳昌. 坡位对马尾松林下土壤理化性质、酶活性及微生物特性影响. *生态环境学报*, 2010, 19(12): 2857-2862.
- [8] 成毅, 安韶山, 马云飞. 宁南山区不同坡位土壤微生物生物量和酶活性的分布特征. *水土保持研究*, 2010, 17(5): 148-153.
- [10] 胡婵娟, 傅伯杰, 刘国华, 靳甜甜, 郭雷. 黄土丘陵沟壑区坡面尺度上微生物的空间分布规律. *水土保持学报*, 2009, 23(3): 148-152.
- [13] 张育新, 马克明, 祁建, 冯云, 张洁瑜. 北京东灵山海拔梯度上辽东栎种群结构和空间分布. *生态学报*, 2009, 29(6): 2789-2796.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000:42-48.
- [16] 张燕燕, 曲来叶, 陈利顶, 卫伟. 黄土丘陵沟壑区不同植被类型土壤微生物特性. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 165-173.
- [19] 王晓龙, 胡锋, 李辉信, 秦江涛, 张斌. 红壤小流域不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响. *农业环境科学学报*, 2006, 25(1): 143-147.
- [20] 区余端, 苏志尧, 李镇魁, 林义辉. 地形因子对粤北山地森林不同生长型地表植物分布格局的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(5): 1107-1113.
- [21] 沈泽昊, 赵俊. 基于植物-地形关系的物种丰富度空间格局预测——GAMs 途径的一种应用. *生态学报*, 2007, 27(3): 953-963.
- [22] 胡相明, 程积民, 万惠娥, 赵艳云. 黄土丘陵区地形、土壤水分与草地的景观格局. *生态学报*, 2006, 26(10): 3276-3285.
- [30] 牛佳, 周小奇, 蒋娜, 王艳芬. 若尔盖高寒湿地干湿土壤条件下微生物群落结构特征. *生态学报*, 2011, 31(2): 474-482.
- [31] 黄辉, 陈光水, 谢锦升, 黄朝法. 土壤微生物生物量碳及其影响因子研究进展. *湖北林业科技*, 2008, (4): 34-41.
- [32] 胡亚林, 汪思龙, 颜绍馥. 影响土壤微生物活性与群落结构因素研究进展. *土壤通报*, 2006, 37(1): 170-176.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 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 32 卷 第 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 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