

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

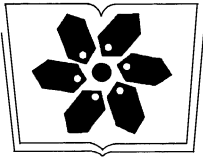
## Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 10 期 Vol.33 No.10 **2013**

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 33 卷 第 10 期      2013 年 5 月    (半月刊)

## 目 次

### 福建长汀水土保持专题

- 福建省长汀县水土流失区的时空变化研究——“福建长汀水土保持”专题序言 ..... 徐涵秋 (2945)
- 福建省长汀县河田盆地区近 35 年来地表裸土变化的遥感时空分析 ..... 徐涵秋 (2946)
- 福建省长汀县河田水土流失区植被覆盖度变化及其热环境效应 ..... 徐涵秋, 何 慧, 黄绍霖 (2954)
- 红壤侵蚀地马尾松林恢复后土壤有机碳库动态 ..... 何圣嘉, 谢锦升, 曾宏达, 等 (2964)
- 基于 RUSLE 的福建省长汀县河田盆地区土壤侵蚀定量研究 ..... 杨冉冉, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2974)
- 南方红壤水土流失区土地利用动态变化——以长汀河田盆地区为例 ..... 林 娜, 徐涵秋, 何 慧 (2983)
- 亚热带地区马尾松林碳储量的遥感估算——以长汀河田盆地为例 ..... 黄绍霖, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2992)
- 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量的突变——以福建省长汀县为例 ..... 陈志强, 陈志彪 (3002)

### 前沿理论与学科综述

- 土壤有机质转化及 CO<sub>2</sub> 释放的温度效应研究进展 ..... 沈征涛, 施 斌, 王宝军, 等 (3011)
- 湖泊蓝藻水华发生机理研究进展 ..... 马健荣, 邓建明, 秦伯强, 等 (3020)

### 个体与基础生态

- 岩溶区不同植被下土壤水溶解无机碳含量及其稳定碳同位素组成特征 .....  
..... 梁 轩, 汪智军, 袁道先, 等 (3031)
- 黄脊雷蓖蝗越冬卵的滞育发育特性 ..... 朱道弘, 陈艳艳, 赵 琴 (3039)
- 香港巨牡蛎与长牡蛎种间配子兼容性 ..... 张跃环, 王昭萍, 闫喜武, 等 (3047)

### 种群、群落和生态系统

- 西藏珠穆朗玛峰国家级自然保护区鸟类群落结构与多样性 ..... 王 斌, 彭波涌, 李晶晶, 等 (3056)
- 采伐对长白山阔叶红松林生态系统碳密度的影响 ..... 齐 麟, 于大炮, 周旺明, 等 (3065)
- 胶州湾近岸浅水区鱼类群落结构及多样性 ..... 徐宾铎, 曾慧慧, 薛 莹, 等 (3074)
- 黄河口盐地碱蓬湿地土壤-植物系统重金属污染评价 ..... 王耀平, 白军红, 肖 蓉, 等 (3083)
- 不同起始状态对草原群落恢复演替的影响 ..... 杨 晨, 王 炜, 汪诗平, 等 (3092)
- 施肥梯度对高寒草甸群落结构、功能和土壤质量的影响 ..... 王长庭, 王根绪, 刘 伟, 等 (3103)
- 高寒退化草地狼毒种群株丛间格局控制机理 ..... 高福元, 赵成章 (3114)
- 藏东南色季拉山西坡土壤有机碳库研究 ..... 马和平, 郭其强, 刘合满, 等 (3122)
- 灵石山不同海拔米槠林优势种叶片 δ<sup>13</sup>C 值与叶属性因子的相关性 ..... 王英姿 (3129)
- 西门岛人工秋茄林恢复对大型底栖生物的影响 ..... 黄 丽, 陈少波, 仇建标, 等 (3138)
- 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 ..... 冯书珍, 苏以荣, 秦新民, 等 (3148)
- 青藏高原高寒草甸植被特征与温度、水分因子关系 ..... 徐满厚, 薛 娴 (3158)

## 景观、区域和全球生态

近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化…………… 赵 亮,刘吉平,田学智 (3169)

基于系统动力学的雏菊世界模型气候控制敏感性分析…………… 陈海滨,唐海萍 (3177)

## 资源与产业生态

主要气候因子对麦棉两熟棉花产量的影响…………… 韩迎春,王国平,范正义,等 (3185)

低覆盖度行带式固沙林对土壤及植被的修复效应…………… 姜丽娜,杨文斌,卢 琦,等 (3192)

不同土地利用方式下岩溶溶蚀速率及影响因素…………… 蓝家程,傅瓦利,彭景涛,等 (3205)

农地保护的外部效益测算——选择实验法在武汉市的应用 …………… 陈 竹,鞠登平,张安录 (3213)

## 研究简报

温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖与螅状体生长的影响 …………… 孙 明,董 婧,柴 雨,等 (3222)

内蒙古达赉湖西岸地区大鸕巢穴特征和巢址选择…………… 张洪海,王 明,陈 磊,等 (3233)

红外相机技术在鼠类密度估算中的应用…………… 章书声,鲍毅新,王艳妮,等 (3241)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 304 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 33 \* 2013-05



**封面图说:** 色季拉山的长苞冷杉和高山杜鹃林——色季拉山高海拔处的植被主要有长苞冷杉、林芝云杉和高山杜鹃等,再高海拔地区则分布有高山灌丛、草甸等。长苞冷杉为我国特有种,属松科常绿乔木,分布于西藏东南部高山地带。树高可达 40m,树皮暗褐色,针叶较短;其球果圆柱形,直立。长苞冷杉的形态独特,与分布区内多种冷杉有密切的亲缘关系,和云杉、杜鹃的分布也彼此交叠。随着色季拉山体海拔的升高,区域气候对于山地土壤从黄壤至棕色森林土、直至高山草甸土的完整发育,以及对森林生态系统类型的形成都产生直接而深刻的影响。

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/stxb201202140198

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.

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.

## 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

冯书珍<sup>1,2,4</sup>, 苏以荣<sup>1,4</sup>, 秦新民<sup>2</sup>, 肖伟<sup>1,2,4</sup>, 葛云辉<sup>1,3,4</sup>, 何寻阳<sup>1,4,\*</sup>

(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. 广西师范大学生命科学学院, 桂林 541004; 3. 湖南农业大学, 长沙 410125;

4. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 环江 547100)

**摘要:** 选取广西环江县喀斯特峰丛洼地; 草丛(T)、灌丛(S)、原生林(PF)(中坡位)不同植被类型, 原生林上、中、下不同坡位, 按土壤发生层采集淋溶层(A层, 0—10 cm)、过渡层(AB层, 20—30 cm, 草丛和灌丛; 30—50 cm, 原生林)、淀积层(B层, 70—100 cm)样品, 研究土壤微生物量碳、氮(Soil microbial biomass carbon (SMBC)、soil microbial biomass nitrogen (SMBN))、微生物碳氮、氮( ratio of SMBC to soil organic carbon ( $qMBC$ )、ratio of SMBN to soil total nitrogen ( $qMBN$ ))、土壤基础呼吸(soil basic respiration (SBR))以及代谢熵(microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ ))的剖面分异特征及其影响因素。结果表明, 植被、土层深度显著影响土壤微生物量及基础呼吸, 随植被恢复, SMBC、SMBN、SBR由草丛、灌丛、原生林依次上升, 并随土壤发生层位的加深逐渐减少,  $qCO_2$ 在3种植被类型间差异显著:  $T > PF > S$ ; 原生林A层SMBC, SMBN在各坡位间均显著高于AB层、B层, SBR在A层由下坡位至上坡位递减, 而在AB和B层的上、下坡位间无显著差异,  $qCO_2$ 坡位间无显著差异( $P > 0.05$ ); SMBC与SMBN之间存在显著正相关( $r = 0.825, P < 0.01, n = 45$ ), 且SMBC、SMBN、SBR分别与有机碳、全氮、碱解氮均呈显著正相关。因此, 随植被恢复, 土壤质量明显改善, 且坡位对A层土壤的影响较AB层和B层更显著, 对于维持土壤微生物调节的土壤养分循环功能, 调控土壤氮素营养与土壤有机质同等重要, 这为合理制订喀斯特生态恢复措施提供了理论依据。

**关键词:** 剖面分异; 微生物量; 土壤基础呼吸; 代谢熵

## Responses of soil microbial properties in soil profile to typical vegetation pattern and slope in karst-cluster depression area

FENG Shuzhen<sup>1,2,4</sup>, SU Yirong<sup>1,4</sup>, QIN Xinmin<sup>2</sup>, XIAO Wei<sup>1,2,4</sup>, GE Yunhui<sup>1,3,4</sup>, HE Xunyang<sup>1,4,\*</sup>

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

2 College of Life Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

3 Agricultural University Of Hunan, Changsha 410125, China

4 Huanjiang Observation and Research Station for Karst Ecosystems, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang 547100, China

**Abstract:** Closed-forest type land coverage is an important measure for the restoration of degraded karst ecosystems, and soil microorganisms are one of the most useful indicators of soil quality; however, little is known about the effects of the vegetation pattern and slope on microbial characteristics within the soil profile. In this study, soil samples derived from three different genetic layers along the profile—leaching layer (A, 0—10 cm); transition layer (AB, 20—30 cm, tussock

**基金项目:** 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX2-XB3-10); 国家科技支撑计划项目课题 (2012BAD05B03-6); 国家自然科学基金 (30970538, 31270551 和 41171246)

收稿日期: 2012-02-14; 修订日期: 2012-11-15

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

(T) and shrub (S); 30—50 cm, primary forest (PF)); and deposited layer (B, 70—100 cm)—were collected from the middle slope position of three ecosystems—tussock (T), shrub (S), and primary forest (PF) and in addition, from the upper and lower slope positions of primary forest (PF). The study determined soil microbial biomass carbon (SMBC), nitrogen (SMBN), ratio of SMBC to soil organic carbon ( $qMBC$ ), ratio of SMBN to soil total nitrogen ( $qMBN$ ), basic respiration (SBR), microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ ) and certain physico-chemical characteristics in order to identify changes in the microbial characteristics along the soil profile in response to the typical vegetation pattern and slope position, and the relationships between the soil microbial- and physico-chemical characteristics. Our results showed that the vegetation pattern and the type of soil genetic layer significantly affected soil microbial biomass and basic respiration, whereas no consistent effect on the slope position was observed. The values of soil microorganism biomass carbon along the soil profile from tussock (T) and shrub (S) ecosystems were 56.7—367 and 161—640 mg/kg, respectively, which were significantly lower than the 532—1217 mg/kg value for the primary forest (PF) ecosystem. The same trend ( $T < S < PF$ ) was observed for soil microbial biomass nitrogen and soil basic respiration, but a different trend ( $T > PF > S$ ) was observed for the microbial metabolic quotient. SMBC, SMBN,  $qMBC$ , and SBR declined for each progressive soil genetic layer, and the effect of slope position on these indicators was more significant within the leaching layer (A) than in the transition (AB) and deposited layers (B). In contrast, for SBR, two-way ANOVA showed that the slope position had no significant influence on  $qCO_2$ . A significant positive correlation was observed between SMBC and SMBN ( $r = 0.825$ ,  $P < 0.01$ ,  $n = 45$ ). Further, there were significant differences in soil nutrients (TN, SOM, AN) along the profile between different vegetation patterns and slope positions; and SMBC, SMBN, and SBR were also correlated with organic carbon, total nitrogen, and available nitrogen. As a result, vegetation restoration had positive effects on the physico-chemical and microbial characteristics, and these changes were more prominent in surface soil than in deep soil. Soil nitrogen nutrition and soil organic matter were equally important for the maintenance of the soil microbial community and its ecological function. These findings should help facilitate preservation and revegetation activities in karst regions.

**Key Words:** profile differentiation; microbial biomass; soil basic respiration (SBR); microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ )

西南喀斯特地区是一种受地质背景制约的脆弱生态环境,巨大的人口压力下,高强度的人为活动导致土地质量的下降与石漠化。该地区的退化土地生态恢复重建,维系着我国长江、珠江中下游地区的生态安全。近二十年来,通过实行退耕还林、封山育林、生态移民等措施,石漠化治理工作取得了一定成效,但石漠化快速扩展的总体趋势并没有得到有效的遏止<sup>[1]</sup>,其原因除了生态恢复与农村脱贫致富结合不够外,更重要的原因是对该区生态恢复的内在机制认识不足:只注重地上植被的种植与培育,忽视了对生态系统功能维持和提升的土壤微生物的重要作用。

土壤微生物在养分循环与平衡、土壤理化性质的改善中起着重要作用<sup>[2-3]</sup>,对环境变化敏感,其中,微生物呼吸强度是衡量土壤微生物总的活性指标<sup>[4]</sup>,而微生物量的任何变化,都会影响土壤养分的循环和有效性<sup>[5]</sup>,能够较早地指示生态系统功能的变化。土壤微生物受土壤理化性状、土壤生态系统内生物因素、不同经营措施等的影响<sup>[6]</sup>。有研究显示地上植被和地下微生物间有正负反馈的互作机制<sup>[7]</sup>;坡位对土壤养分的剖面分布有着重要影响<sup>[8-9]</sup>,进而影响土壤微生物的生长;栖居在深层的土壤微生物群落受深层土壤环境的制约,但对其随深度变化的主要影响因子看法不一。以往对土壤微生物的研究主要集中于表层土壤,人们对退化喀斯特生境恢复过程中土壤剖面微生物随植被恢复、坡位等的变化系统研究缺乏。

因此,本研究通过选取喀斯特峰丛洼地 3 种典型植被类型(草丛、灌丛、原生林:中坡位)、3 种坡位(原生林:上、中和下坡位)的剖面土壤作为研究对象,研究土壤微生物量碳、氮、微生物熵、基础呼吸与代谢熵的剖面分异特征,阐明土壤剖面微生物特性对植被恢复与立地条件的响应规律,揭示影响土壤微生物特性变化的

主要因子,以期深化对喀斯特峰丛洼地土壤剖面微生物及其功能的认识,为区域的可持续发展和生态恢复措施的制订提供理论依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区自然概况

本研究的研究区选为广西环江毛南族自治县下南乡西南部的古周示范区(24°50' N,107°55' E)以及木论国家自然保护区(25°06'—25°12' N,107°53'—108°05' E),同属于典型喀斯特峰丛洼地景观以及亚热带季风气候区。古周示范区最低点海拔为 376 m,与最高点海拔相差 440 m;多年平均气温 16.5—20.5 °C,多年平均降雨量为 1389.1 mm;1a 内日照时数以 2 月份最低,7 月份最高,日照率以 3 月份最低,9 月份最高;研究区的土壤主要为碳酸盐岩发育的石灰岩,自然植被以草丛和灌木群落为主,森林覆盖率仅为 13%。木论国家自然保护区与古周研究区相距 30 km,地形、气候条件与古周研究区大致相同,海拔 400—1000 m,年平均气温 15.0—18.7 °C,极端高温 36 °C,极端低温 -5 °C;年均降雨量 1530—1820 mm,林内相对湿度一般在 80%—90%,夏季可接近饱和;林区土壤类型简单,主要为石灰土和零星分布的硅质土,均属非地带性土壤。样地的基本信息与优势种如表 1。

表 1 样地基本信息及植物优势物种

Table 1 Site descriptions and dominant floral species in the studied communities

植被类型 Vegetation type	干扰状态 Disturbance condition	海拔 Elevation/m	坡位 Slope	样地优势物种 Dominant species
草丛 Tussock (T)	常割草	510	中	五节芒、类芦、蔓生莠竹等 <sup>1)</sup>
灌丛 Shrub (S)	偶有砍伐	497	中	红背山麻杆、广西密花树、粉苹婆、肾蕨、五节芒、蔓生莠竹等 <sup>2)</sup>
原生林 Primary forest (PF)	几无干扰	416	下	平阳厚壳桂、野独活、九里香、茜树 <sup>3)</sup> 、卵果海桐、山小桔等 <sup>4)</sup>
		509	中	平阳厚壳桂、野独活、九里香、茜树 <sup>3)</sup> 、珠子木、棕竹等 <sup>5)</sup>
		615	上	平阳厚壳桂、野独活、九里香、茜树 <sup>3)</sup> 、楠木、灰岩棒柄花等 <sup>6)</sup>

1) *Miscanthus floridulus*, *Neyraudia reynaudiana*, *Microstegium vegans*, etc; 2) *Alchornea trewioides*, *Rapanea kwangsiensis*, *Sterculia euosma*, *Nephrolepis auriculata*, *Miscanthus floridulus*, *Microstegium vegans*, etc; 3) *Cryptocarya chingii* Cheng, *Miliusa chunii*, *Murrava exotica*, *Aidia cochinchinensis*, etc; 4) *Pittosporum ovoideum* Gowda, *Glycosmis citrifolia*, etc; 5) *Phyllanthodendron anthopotamicum*, *Rhapis excelsa*, etc; 6) *phoebe ahenre* H, *Cleidion bracteosum*, etc

### 1.2 土壤样品采集与处理

2008 年 12 月至 2009 年 1 月,选取草丛、灌丛(古周示范区)、原生林(木论自然保护区)从山顶到山脚各 3 条样带(1 条主样带和 2 条辅助样带)。选取中坡位各 3 个大样方,分析土壤剖面微生物对不同植被类型的响应;同时,为考虑坡位的影响,在几无人干扰的原生林 3 条样带上选取上、下坡位各 3 个大样方。样方面积为 20 m×30 m,土样按土壤发生层采集淋溶层(A 层,0—10 cm)、过渡层(AB 层,20—30 cm,草丛和灌丛;30—50 cm,原生林)、淀积层(B 层,70—100 cm)样品,共 45 个样品。环刀法测定各层土壤容重。

四分法取约 500 g 新鲜土壤置于灭菌后的自封袋中,封口后于随身携带的冰盒带回,在实验室去除土壤中可见的动植物残体,过 2 mm 筛,一份保存在 4 °C 冰箱中供土壤微生物指标分析;另一份自然风干保存用于土壤理化性质分析。供试土壤的基本理化性质如表 2。

### 1.3 样品分析方法

土壤微生物量碳(SMBC)采用氯仿熏蒸浸提-有机碳自动分析仪器法(Phoenix 8000),土壤微生物量氮(SMBN)采用氯仿熏蒸浸提-氮素流动注射分析仪器法(Fiastar 5000)测定<sup>[10]</sup>。

土壤基础呼吸(SBR)采用碱液吸收-TOC 仪(Phoenix 8000)测定法,对龙健等的方法<sup>[11]</sup>稍作改进:将供试土壤 20 g 置于密闭 1 L 广口瓶中(内置一盛有 1 mol/L NaOH 溶液 20 mL 小广口瓶),广口瓶底部有 10 mL 的

表 2 典型植被类型及坡位下剖面土壤的基本理化性质\*  
Table 2 The basic physicochemical properties of the soil profile under typical vegetation types and slope positions\*

理化性质 Physicochemical properties	pH	有机质 SOM (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	碱解氮 Available N (mg/kg)	容重 Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
A 层 A horizon							
草丛 T	6.37 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	25.31 <sub>c1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.562 <sub>b1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.75 <sub>c1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.38 <sub>b1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	83.89 <sub>b1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.27 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>
灌丛 S	6.40 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	48.21 <sub>b1</sub> c <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.03 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	4.81 <sub>b1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.82 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	168.68 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.16 <sub>b1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>
原生林中坡位 PF-Middle slope	7 <sub>a1</sub> c <sub>2</sub> a <sub>3</sub>	77.79 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	1.14 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> a <sub>3</sub>	7.90 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	0.63 <sub>c1</sub> b <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	159.28 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	0.76 <sub>c1</sub> c <sub>2</sub> a <sub>3</sub>
原生林下坡位 PF-Lower slope	7.40 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> a <sub>3</sub>	106.83 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> a <sub>3</sub>	2.08 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> a <sub>3</sub>	10.97 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> a <sub>3</sub>	0.76 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> a <sub>3</sub>	312.45 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> a <sub>3</sub>	0.54 <sup>-</sup> <sub>c2</sub> c <sub>3</sub>
原生林上坡位 PF-Upper slope	6.41 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> a <sub>3</sub>	54.78 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> c <sub>3</sub>	0.86 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> b <sub>3</sub>	4.91 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> c <sub>3</sub>	0.79 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> a <sub>3</sub>	182.28 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> b <sub>3</sub>	0.68 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> b <sub>3</sub>
AB 层							
草丛 T	6.65 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	15.70 <sub>b1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.495 <sub>c1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.66 <sub>b1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.48 <sub>b1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	54.69 <sub>c1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.25 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>
灌丛 S	6.62 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	26.92 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.79 <sub>b1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	2.97 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.85 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	101.74 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.98 <sub>c1</sub> c <sub>2</sub> <sup>-</sup>
原生林中坡位 PF-Middle slope	7.26 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> a <sub>3</sub>	25.83 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	0.91 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	2.94 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	0.76 <sub>c1</sub> a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	89.21 <sub>b1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>3</sub>	1.09 <sub>b1</sub> b <sub>2</sub> b <sub>3</sub>
原生林下坡位 PF-Lower slope	7.23 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> a <sub>3</sub>	91.73 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> a <sub>3</sub>	2.05 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> a <sub>3</sub>	5.52 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> a <sub>3</sub>	1.10 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> a <sub>3</sub>	168.75 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> a <sub>3</sub>	0.89 <sub>d1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>3</sub>
原生林上坡位 PF-Upper slope	6.13 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> a <sub>3</sub>	24.62 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> b <sub>3</sub>	0.73 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> c <sub>3</sub>	2.69 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> b <sub>3</sub>	0.81 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> b <sub>3</sub>	110.54 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> b <sub>3</sub>	1.17 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> a <sub>3</sub>
B 层							
草丛 T	6.67 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	9.02 <sub>c1</sub> c <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.381 <sub>c1</sub> c <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.1 <sub>c1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.69 <sub>b1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	28.61 <sub>c1</sub> c <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.34 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>
灌丛 S	6.65 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	14.65 <sub>a1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.58 <sub>a1</sub> c <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.71 <sub>a1</sub> c <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.99 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> <sup>-</sup>	54.41 <sub>a1</sub> c <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1.01 <sub>b1</sub> b <sub>2</sub> <sup>-</sup>
原生林中坡位 PF-Middle slope	7.53 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> a <sub>3</sub>	13.13 <sub>a1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>3</sub>	0.42 <sub>b1</sub> b <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	1.51 <sub>b1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>3</sub>	0.67 <sub>c1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>3</sub>	44.01 <sub>b1</sub> c <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	1.35 <sub>a1</sub> a <sub>2</sub> a <sub>3</sub>
原生林下坡位 PF-Lower slope	7.23 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> a <sub>3</sub>	17.83 <sup>-</sup> <sub>c2</sub> a <sub>3</sub>	1.10 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> a <sub>3</sub>	2.15 <sup>-</sup> <sub>c2</sub> a <sub>3</sub>	1.10 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> a <sub>3</sub>	73.46 <sup>-</sup> <sub>c2</sub> a <sub>3</sub>	1.10 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> b <sub>3</sub>
原生林上坡位 PF-Upper slope	6.27 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> a <sub>3</sub>	15.17 <sup>-</sup> <sub>c2</sub> b <sub>3</sub>	0.59 <sup>-</sup> <sub>c2</sub> b <sub>3</sub>	1.81 <sup>-</sup> <sub>b2</sub> b <sub>3</sub>	0.88 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> b <sub>3</sub>	71.10 <sup>-</sup> <sub>c2</sub> a <sub>3</sub>	1.15 <sup>-</sup> <sub>a2</sub> b <sub>3</sub>

\* 小写字母代表不同处理(相同层位与坡位下的不同植被和坡位下的不同层位(x<sub>1</sub>);相同植被和层位下的不同坡位(x<sub>2</sub>);相同植被和层位下的不同坡位(x<sub>3</sub>))间差异显著(P < 0.05);“-”表示数据缺失

去离子水,以维持瓶内的空气饱和湿度,于 28 ℃ 的恒温箱中培养 24 h,于 TOC 仪上检测并计算土壤呼吸放出 CO<sub>2</sub> 的量,同时设空白处理作为对照。

#### 1.4 数据处理与统计分析

土壤微生物量碳:

$$SMBC = E_c / k_{EC}$$

式中,  $E_c$  = 熏蒸土壤提取的有机碳-未熏蒸土壤提取的有机碳;  $k_{EC}$  为转换系数,取值 0.45。

土壤微生物量氮:

$$SMBN = E_N / k_{EN}$$

式中,  $E_N$  = 熏蒸土壤提取的全氮-未熏蒸土壤提取的全氮;  $k_{EN}$  为转换系数,取值 0.45。

微生物碳熵(氮熵):

$$qMBC(qMBN) = \text{土壤微生物量碳(或氮)} / \text{土壤有机碳(全氮)} \times 100\%$$

代谢熵:

$$qCO_2 = CO_2 \text{ 释放速率} / SMBC$$

用 SPSS 16.0 和 Excel 2007 做统计分析和制图。以植被类型(草丛、灌丛和原生林)和土层深度以及坡位(上、中、下坡位)和土层深度作为处理因子分别对土壤微生物特性进行双因素方差分析,处理间的多重比较用 S-N-K 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被类型和坡位对土壤剖面微生物特性的影响

#### 2.1.1 土壤微生物量碳及碳熵的剖面分异特征

喀斯特峰丛洼地同一植被类型,SMBC 随土层深度的增加而减少;同一坡位,原生林 SMBC 均在 A 层、AB 层、B 层((1216.57±859.05) mg/kg、(1098.59±48.81) mg/kg、(531.60±19.67) mg/kg) 表现最高,依次为: PF>S>T,灌丛 SMBC 在 B 层(160.62±16.65) mg/kg—A 层(639.76±54.01) mg/kg 之间;草丛 SMBC 的 3 个剖面均为最低,依次为 A 层((367.12±59.05) mg/kg) > AB 层((134.41±48.81) mg/kg) > B 层((56.66±15.00) mg/kg)。原生林 3 种坡位(上、中、下坡位),A 层 SMBC 在下坡位表现最高,均与中、上坡位呈现显著差异;AB 层 SMBC 则在下坡位最低,中、上坡位间无显著差异;B 层上、下坡位无显著差异,中坡位最高(图 1)。

草丛  $qMBC$  在 0.96%—2.50% 之间;灌丛  $qMBC$  在 0.99%—2.77% 之间;原生林  $qMBC$  在 1.40%—4.67% 之间。 $qMBC$  在 3 种植被类型间差异不同,整体表现为原生林最高,并随土层深度的增加而减小;原生林 A 层下坡位/中坡位>上坡位,AB 层无显著差异,B 层则呈现中坡位>下坡位/上坡位的趋势(图 1 右)。

#### 2.1.2 土壤微生物量氮及氮熵的剖面分异特征

喀斯特峰丛洼地不同植被类型下 SMBN 与 SMBC 变化趋势类似,由草丛、灌丛、原生林呈现上升趋势( $P < 0.05$ );同一植被类型,SMBN 均随土层深度的增加而降低;草丛 SMBN 含量介于 B 层(18.06±0.52) mg/kg—A 层(48.60±3.16) mg/kg;灌丛 SMBN 含量介于 B 层(18.60±0.82) mg/kg—A 层(65.23±3.73) mg/kg 之间;原生林均在 A 层、AB 层、B 层表现最高,依次为(194.42±2.31) mg/kg、(54.43±3.67) mg/kg、(31.81±5.87) mg/kg。A 层 B 层 SMBN 在不同坡位间呈现下坡位>中坡位/上坡位的变化,AB 层 SMBN 则在 3 种坡位间差异显著(图 2)。

在草、灌丛阶段  $qMBN$  随土层深度的增加无显著变化;A 层  $qMBN$  随植被恢复依次增加,AB 层、B 层表现为 PF>T/S;原生林 3 种土层深度下,下坡位的  $qMBN$  均显著低于中坡位/上坡位(图 2)。

#### 2.1.3 土壤基础呼吸与代谢熵的剖面分异特征

3 种植被类型,SBR 均表现为:PF>S>T,并随土层深度的加深而逐渐减小;原生林 3 种坡位(上、中、下坡位)均表现为 A 层>AB 层>B 层,其中,A 层土壤受坡位影响显著,表现为下坡位>中坡位>上坡位;AB 层、B



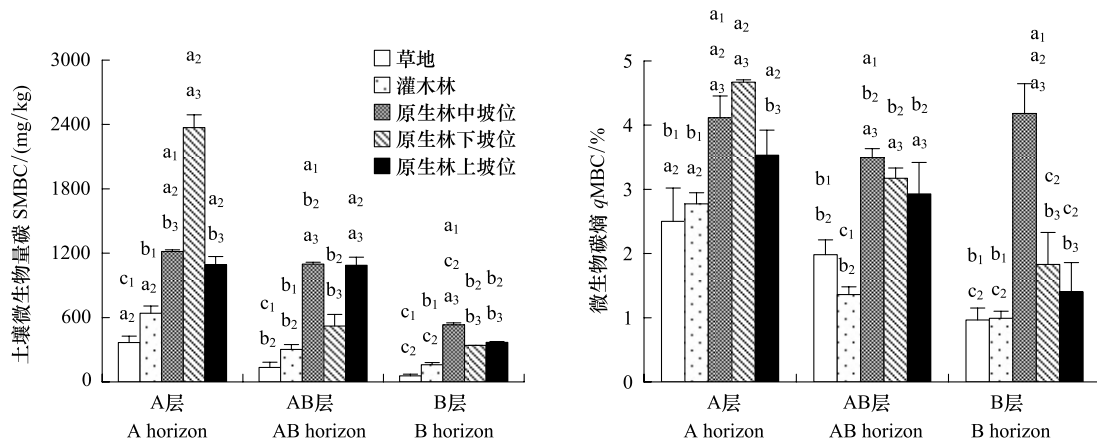


图1 土壤微生物量碳及微生物碳熵的剖面分异特征\*

Fig.1 The profile distribution on soil MBC and the ratio of MBC to SOC\*

\* 小写字母代表不同处理 (相同层位与坡位下的不同植被类型 ( $x_1$ ); 相同植被和坡位下的不同层位 ( $x_2$ ); 相同植被和层位下的不同坡位 ( $x_3$ )) 间差异显著 ( $P < 0.05$ )

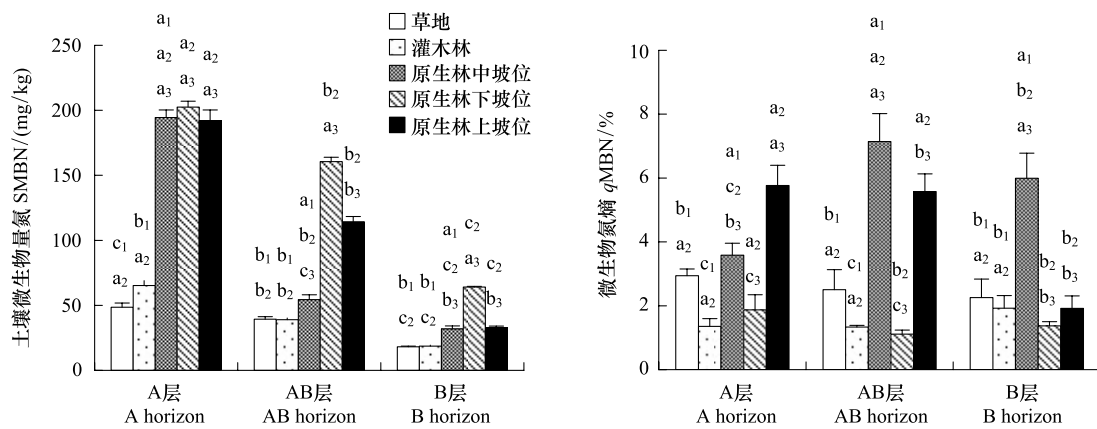


图2 土壤微生物量氮及微生物氮熵的剖面分异特征

Fig.2 The profile distribution on soil MBN and the ratio of MBN to soil total nitrogen

层土壤上、下坡位间无显著差异 (图3)。

$qCO_2$  在3种植被类型间差异显著:  $T > PF > S$ , 在灌丛最低, 草丛最高, 表明土壤微生物对土壤碳的利用效率灌丛较高, 其次为原生林, 草丛较低。同一植被类型随土层深度的增加而减少, 坡位则对  $qCO_2$  无显著影响 (图3)。

### 2.1.4 植被类型、坡位和土层深度对土壤微生物特性的影响

在喀斯特峰丛洼地, 植被类型、土层深度对 SMBC、SMBN 与 SBR 的影响都达到了极显著水平 ( $P < 0.01$ ); 坡位对土壤微生物指标影响不一, 对  $qCO_2$  无显著影响 ( $P > 0.05$ ); 除坡位和土层深度的交互作用对 SMBC 和 SMBN 有极显著影响外, 其余两两交互作用对土壤微生物指标影响不显著 (表3)。

### 2.2 土壤微生物特性之间及与土壤养分的相关性

土壤养分与土壤微生物特性的相关性分析结果表明 (表4), SMBC、SMBN、 $qMBC$  和 SBR 均与有机碳、全氮、碱解氮呈显著正相关 ( $P < 0.01$ ), SMBC、SMBN 和 SBR 与全磷也呈现正相关关系 ( $P < 0.01$ ), 而  $qCO_2$  则与土壤基本养分无明显的相关性; 土壤微生物特性之间, SMBC 和 SMBN,  $qMBC$  和  $qMBN$ , SBR 分别与 SMBC、SMBN 呈显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ); 土壤微生物特性均与 pH 无显著相关关系。

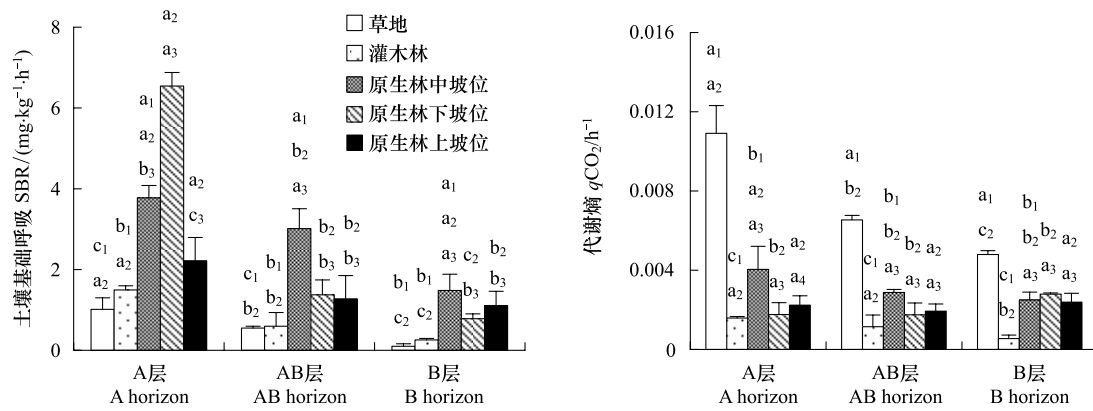


图3 土壤基础呼吸与代谢熵的剖面分异特征

Fig. 3 The profile distribution on soil basic respiration and microbial metabolic quotient

表3 不同因素对土壤微生物特性的方差分析结果

Table 3 Results of different factors and their interactions on soil microbial properties by Two-way ANOVA

项目 Item	SMBC		SMBN		qMBC		qMBN		SBR		qCO <sub>2</sub>	
	df	F	df	F	df	F	df	F	df	F	df	F
中坡位 植被类型 Vegetation types	2	9.642 **	2	8.023 **	2	8.190 **	2	2.337	2	24.991 **	2	5.262 *
Middle slope 土层深度 Soil depth	2	8.449 **	2	7.611 **	2	0.855	2	3.165	2	8.371 **	2	5.144 *
植被类型×土层深度 Vegetation types×Soil depth	4	0.484	4	1.561	4	0.268	4	0.785	4	0.939	4	0.328
原生林 PF 坡位 Slopes	2	5.911 *	2	6.592 **	2	8.758 **	2	5.372 *	2	4.449 *	2	0.961
土层深度 Soil depth	2	30.498 **	2	23.450 **	2	8.288 **	2	4.809 *	2	4.925 *	2	4.802 *
坡位×土层深度 Slopes×Soil depth	4	7.483 **	4	4.114 *	4	0.877	4	1.132	4	0.714	4	0.212

显著性水平: \*\*,  $P < 0.01$ ; \*,  $P < 0.05$ ; SMBC: soil microbial biomass carbon, 土壤微生物量碳; SMBN: soil microbial biomass nitrogen, 土壤微生物量氮; qMBC: ratio of SMBC to soil organic carbon, 碳熵; qMBN: ratio of SMBN to soil total nitrogen, 氮熵; SBR: soil basic respiration, 土壤基础呼吸; qCO<sub>2</sub>: microbial metabolic quotient, 代谢熵

表4 土壤微生物特性之间及其与土壤基本理化性质的相关系数 (n=45)

Table 4 Correlation coefficients among soil microbial and basic physicochemical properties (n=45)

项目 Items	SMBC	SMBN	qMBC	qMBN	SBR	qCO <sub>2</sub>
全磷 Total P	0.532 **	0.616 **			0.572 **	
全氮 Total N	0.723 **	0.731 **	0.541 **	0.654 **	0.619 **	
碱解氮 AN	0.769 **	0.672 **	0.534 **	0.432 *	0.701 **	
有机碳 SOC	0.769 **	0.725 **	0.515 **	0.790 **	0.712 **	
SMBC		0.825 **			0.730 **	
SMBN					0.570 **	
qMBC				0.825 **		0.349 *
qMBN					0.475 *	

显著性水平: \*\*,  $P < 0.01$ ; \*,  $P < 0.05$ ; 仅显示显著相关系数

### 3 讨论

#### 3.1 土壤剖面微生物量碳氮及微生物熵对植被类型及坡位的响应

不同植被类型,微生物量碳(SMBC)和微生物氮(SMBN)均随着土层深度的加深而减少,这与微生物利用底物的量直接相关(表4),研究表明 SMBC 的高低主要受土壤中有有机碳源的制约<sup>[12]</sup>,并与随土壤剖面的加深土壤活性碳库的减少有关<sup>[13]</sup>。随植被恢复,3种土层深度下,SMBC由草丛、灌丛、原生林依次上升,SMBN也

表现出类似的趋势(A层:PF>S>T;AB/B层:PF>S/T),这主要归因于其地上部分生物量的差异使输入到土壤中的有机碳量明显不同<sup>[14]</sup>,植被的种类不同其枯落物的质量也不同,造成进入土壤的微生物可利用底物的质和量的变化,从而影响土壤微生物量的变化<sup>[15-16]</sup>。一般认为,小尺度的坡位因子能在一定程度上引起坡面土壤理化性质的变化(表1),从而导致不同坡位的土壤微生物量分异和微生物区系的改变<sup>[7,17]</sup>。在喀斯特地区,土壤微生物量对土层深度的响应比坡位更为强烈(表3),人类干扰较少的林地坡地土壤侵蚀沿中上坡向坡脚逐渐加剧,下坡位较中/上坡位其侵蚀程度较为严重<sup>[18]</sup>,而土壤养分在各土地利用类型剖面中遵循表聚特征<sup>[19]</sup>,致使原生林A层SMBC表现为由下坡位到上坡位递减的趋势,而AB层、B层SMBC则表现为下坡位<中坡位/上坡位。

土壤微生物碳熵( $qMBC$ )的变化可以反映土壤有机碳的变化<sup>[20]</sup>,在指示土壤过程或者健康状况时,被用作土壤性质以及健康的指标<sup>[21]</sup>。研究发现,植被类型、坡位均对 $qMBC$ 有显著影响(表3), $qMBC$ 在3种植被类型下原生林表现为最高,表明土壤中的有机碳在植被恢复过程中得以累积;在3种坡位下(原生林:上、中、下坡位),下坡位显著高于上坡位,表明下坡位表层土壤沉淀富集,结构性好,土壤肥力水平较中、上坡位高。土壤微生物氮熵( $qMBN$ )反映微生物对全氮的利用效率,3种土层深度下, $qMBN$ 均表现为下坡位<中/上坡位,这可能是由于下坡位是坡面养分的汇集处<sup>[7]</sup>,其中碱解氮显著高于中、上坡位(表1),反映近期内维持土壤微生物生长利用所需氮素供应丰富,下坡位土壤微生物对全氮的利用效率较中/上坡位低,这和 $qMBN$ 与土壤全氮含量显著正相关(表4)相悖,推测其可能的原因是土壤 $qMBN$ 不仅与土壤氮素水平相关,而且与土壤微生物群落结构利用氮素能力和微生物可利用的氮素形态<sup>[22]</sup>等土壤微环境相关。

### 3.2 土壤基础呼吸及代谢熵对植被类型及坡位的响应

土壤基础呼吸(SBR)是表征土壤质量和肥力的重要生物学指标,尤其是反映了土壤的生物活性和土壤物质代谢的强度<sup>[23-24]</sup>,是非常敏感的指标,对于土壤环境甚至微环境都有敏感的反应<sup>[25]</sup>。植被恢复过程中SBR均随着土层的加深而减少,这可能是由于A层土壤接收较多的植物凋落物和有相对较多的根系分布,有机质含量高,有较充分的营养促进微生物的生长<sup>[26]</sup>,而随着土壤剖面的加深,有机质等条件变差(表1),不利于土壤微生物的生长与活动,基础呼吸减弱。本研究表明,不管是A层土壤还是B层土壤,SBR均随植被的恢复而增大,差异达到显著水平( $P<0.05$ ),与土壤微生物量的变化一致,说明土壤有机残体的分解速度和强度:PF>S>T,这是由于植物较高的多样性会产生较高的植物生物量<sup>[27]</sup>,从而导致其进入土壤系统的有机质成分较多,同时,较高的植物物种丰度及多样性也增加了微生物利用资源的异质性,有利于有机质的分解及转化,使得土壤保肥、供肥能力增加(表1)。SBR对坡位的响应,A层土壤较AB层、B层更为敏感,呈现由下坡位至上坡位依次递减的趋势,这种变化的主要原因可能是降雨侵蚀过程中的再分配造成不同坡位土壤养分含量的差异<sup>[6-7]</sup>。

代谢熵( $qCO_2$ )是土壤基础呼吸与土壤微生物量的比值,是衡量土壤微生物对土壤碳的利用效率高低的指标<sup>[28]</sup>,也代表了微生物群落维持力大小和对有机质的利用效率<sup>[29]</sup>。研究结果表明, $qCO_2$ 表现为灌丛最低,草丛最高,在植被恢复后期表现出增加的趋势,说明灌丛的碳利用率最高,草丛的碳利用率最低,这与杨刚研究结果一致<sup>[31]</sup>。这可能是由于在草丛、灌丛阶段土壤微生物的 $qCO_2$ 与土壤的熟化程度呈负相关<sup>[30]</sup>,到原生林阶段,土壤微生物群落及功能发生改变,从而引起了 $qCO_2$ 值的增大<sup>[31]</sup>,其内在的机制可能是原生林阶段受到更为明显的矿质养分P的胁迫,在这种条件下,微生物必须从维持生长和繁殖的能量中分流出一部分去补偿由于胁迫所需要付出的额外能量<sup>[13,32]</sup>。本研究发现 $qCO_2$ 与坡位、土壤基本理化性质无明显相关性(表3,表4),但坡位对SBR、SMBC、SMBN的变化均有显著影响,说明在反映喀斯特峰丛洼地坡位对土壤质量变化时, $qCO_2$ 比SBR、SMBC、SMBN更加稳定,指示 $qCO_2$ 在评价土壤质量变化随坡位的改变存在局限性。

## 4 结论

(1) 土壤微生物量碳、基础呼吸随植被的恢复而增大,同样适用于深层土壤,坡位则对土壤剖面微生物特性影响不一致:代谢熵受坡位影响不显著。

(2) 深层土壤微生物受深层土壤环境的制约, A 层各微生物特性对植被类型及坡位的响应比 AB 层 B 层的更为敏感。

(3) 喀斯特峰丛洼地中, 土壤有机碳、全氮、碱解氮与土壤微生物量碳、氮、微生物熵及代谢熵关系密切, 因此, 调控土壤氮素营养与土壤有机质对于维持土壤微生物功能同等重要。

本研究并没有涉及土壤微生物多样性的剖面分异特性对植被类型及坡位的响应, 而这对于土壤碳氮周转及土壤肥力维持同样重要, 因此未来将纳入土壤微生物多样性的研究, 为进一步寻求反映土壤退化或土壤肥力保持的土壤生物学指标提供证据, 并为指导喀斯特石漠化治理提供科学依据。

**致谢:**感谢中国科学院亚热带农业生态研究所陈彩艳研究员对写作的帮助。

#### References:

- [ 1 ] Yuan D X. Global view on Karst rock desertification and integrating control measures and experiences of China. *Pratacultural Science*, 2008, 25 (9): 19-25.
- [ 2 ] 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.
- [ 3 ] Wei Y, Zhang J C, Yu Y C, Yu L F. Changes of soil basal respiration and  $qCO_2$  along successional processes of degraded Karst vegetation. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(4): 797-801.
- [ 4 ] Huang Y M, An S S, Xue H. Responses of soil microbial biomass C and N and respiratory quotient ( $qCO_2$ ) to revegetation on the Loess Hilly-Gully region. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2811-2818.
- [ 5 ] Kuzyakov Y, Subbotina I, Chen H Q, Bogomolova I, Xu X L. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by  $^{14}C$  labeling. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(2): 210-219.
- [ 6 ] 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.
- [ 7 ] Wsrldle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, Setälä H, van der Putten W H, Wall D H. Ecological linkages between aboveground and Belowground biota. *Science*, 2004, 304(5677): 1629-1633.
- [ 8 ] Gao X S, Deng L J, Zhang S R. Soil physical properties and nutrient properties under different utilization styles and slope position. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(2): 53-56, 60-60, 79-79.
- [ 9 ] Harris R F, Chesters G, Allen O N. Dynamics of soil aggregation. *Advance in Agronomy*, 1996, 18: 107-169.
- [ 10 ] Wu J, Jogensen R G, Pommerening B, Chaussod R, Brookes P C. Measurement of soil microbial C by fumigation; An automated procedure. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, 22(8): 1167-1169.
- [ 11 ] Long J, Deng Q Q, Jiang X R, Liu F. Effects of different de-farming and reforestation patterns on changes of soil fertility quality in karst region of southwestern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1279-1284.
- [ 12 ] Witter E, Mårtensson A M, Garcia F V. Size of the soil microbial biomass in a long-term field experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25(6): 659-669.
- [ 13 ] Agnelli A, Ascher J, Corti G, Ceccherini M T, Nannipieri P, Pietramellara G. Distribution of microbial communities in a forest soil profile investigated by microbial biomass, soil respiration and DGGE of total and extracellular DNA. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(5): 859-868.
- [ 14 ] Pan F J, Zhang W, Wang K L, He X Y, Liang S C, Wei G F. Litter C: N: P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(2): 335-343.
- [ 15 ] Xu H Q, Zhang J E, Feng L F, Quan G M, Mao D J, Qin Z. Effects of different land use patterns on microbial biomass carbon and nitrogen in Guangdong Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4112-4119.
- [ 16 ] Jobbágy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Application*, 2000, 10(2): 423-436.
- [ 17 ] Huang Y M, An S S, Liu L J, Xue H. Soil basal respiration response to grass vegetation restoration and it's affecting factors in the Loess Hilly-Gully Region. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(5): 862-869.
- [ 18 ] Feng T, Chen H S, Zhang W, Nie Y P, Wang K L.  $^{137}Cs$  profile distribution character and its implication for soil erosion on Karst slopes of Northwest Guangxi. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(3): 593-599.
- [ 19 ] Wei X P, Yuan D X, Xie X Y. Study on soil erosion and loss on slope in karst mountain valley area of Chongqing valley with  $^{137}Cs$  and soil nutrient elements. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(6): 16-23.
- [ 20 ] Liu S L, Su Y R, Huang D Y, Xiao H A, Wu J S. Response of  $C_{mic}$ -to- $C_{org}$  to land use and fertilization in subtropical region of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(7): 1411-1418.
- [ 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): 409-513.
- [22] Qiu S J, Peng P Q, Liu Q, Rong X M. Soil microbial biomass nitrogen and its role in nitrogen cycling. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(4): 443-448.
- [23] Cookson W R, Abaye D A, Marschner P, Murphy D V, Stockdale E A, Goulding K W T. The contribution of soil organic matter fractions to carbon and nitrogen mineralization and microbial community size and structure. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(9): 1726-1737.
- [24] Ming X, Ye Q. Soil-surface CO<sub>2</sub> efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. *Global Change Biology*, 2001, 7(6): 667-677.
- [25] Fang C, Moncrieff J B, Gholz H L, Clark K L. Soil CO<sub>2</sub> efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. *Plant and Soil*, 1998, 205(2): 135-146.
- [26] Zhou Y, Xu X G, Wang F, Ruan H H, Wang J S, Fang Y H, Wu Y Y, Xu Z K. Soil microbial biomass, respiration, and metabolic quotient along an altitudinal gradient in Wuyi Mountain of southeastern China. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(2): 265-269.
- [27] Cardinale B J, Wright J P, Cadotte M W, Carroll I T, Hector A, Srivastava D S, Loreau M, Weis J J. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(46): 18123-18128.
- [28] Silvana A P F, Wagner B, Cerri C C. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Applied Soil Ecology*, 2005, 30(1): 65-77.
- [29] Grayston S J, Griffith G S, Mawdsley J L, Campbell C D, Bardgett R D. Accounting for variability in soil microbial communities of temperate upland grassland ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(4/5): 533-551.
- [30] Anderson T H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 98(1/3): 285-293.
- [31] Yang G, He X Y, Wang K L, Huang J S, Chen Z H, Li Y Z, Ai M R. Effects of vegetation types on soil micro-biomass carbon, nitrogen and soil respiration. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(1): 189-191.
- [32] Odum E P. Trends expected in stressed ecosystems. *Bioscience*, 1985, 35(7): 419-422.

#### 参考文献:

- [1] 袁道先. 岩溶石漠化问题的全球视野和我国的治理对策与经验. *草业科学*, 2008, 25(9): 19-25.
- [3] 魏媛, 张金池, 余元春, 喻理飞. 退化喀斯特植被恢复过程中土壤基础呼吸及代谢熵的变化. *土壤通报*, 2010, 41(4): 797-801.
- [4] 黄懿梅, 安韶山, 薛虹. 黄土丘陵区草地土壤微生物 C、N 及呼吸熵对植被恢复的响应. *生态学报*, 2009, 29(6): 2811-2818.
- [6] 胡亚林, 汪思龙, 颜绍榘. 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.
- [8] 高雪松, 邓良基, 张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 53-56, 60-60, 79-79.
- [11] 龙健, 邓启琼, 江新荣, 刘方. 西南喀斯特地区退耕还林(草)模式对土壤肥力质量演变的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(7): 1279-1284.
- [14] 潘复静, 张伟, 王克林, 何寻阳, 梁士楚, 韦国富. 典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C: N: P 生态化学计量特征. *生态学报*, 2011, 31(2): 335-343.
- [15] 徐华勤, 章家恩, 冯丽芳, 全国明, 毛丹娟, 秦钟. 广东省不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响. *生态学报*, 2009, 29(8): 4112-4119.
- [17] 黄懿梅, 安韶山, 刘连杰, 薛虹. 黄土丘陵区土壤基础呼吸对草地植被恢复的响应及其影响因素. *中国生态农业学报*. 2009, 17(5): 862-869.
- [18] 冯腾, 陈洪松, 张伟, 聂云鹏, 王克林. 桂西北喀斯特坡地土壤<sup>137</sup>Cs 的剖面分布特征及其指示意义. *应用生态学报*, 2011, 22(3): 593-599.
- [19] 魏兴平, 袁道先, 谢世友. 运用<sup>137</sup>Cs 与土壤营养元素探讨重庆岩溶槽谷区山坡土壤的流失和漏失. *水土保持学报*, 2010, 24(6): 16-23
- [20] 刘守龙, 苏以荣, 黄道友, 肖和艾, 吴金水. 微生物商对亚热带地区土地利用及施肥制度的响应. *中国农业科学*, 2006, 39(7): 1411-1418.
- [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): 409-513.
- [22] 仇少君, 彭佩钦, 刘强, 荣湘民. 土壤微生物生物量氮及其在氮素循环中作用. *生态学杂志*, 2006, 25(4): 443-448.
- [26] 周焱, 徐宪根, 王丰, 阮宏华, 汪家社, 方燕鸿, 吴焰玉, 徐自坤. 武夷山不同海拔梯度土壤微生物生物量、微生物呼吸及其商值 (qMB, qCO<sub>2</sub>). *生态学杂志*, 2009, 28(2): 265-269.
- [31] 杨刚, 何寻阳, 王克林, 黄继山, 陈志辉, 李有志, 艾美荣. 不同植被类型对土壤微生物量碳氮及土壤呼吸的影响. *土壤通报*, 2008, 39(1): 189-191.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 10 May, 2013 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Special Topics in Soil and Water Conservation of County Changting, Fujian Province**

- Spatiotemporal dynamics of the bare soil cover in the Hetian basinal area of County Changting, China, during the past 35 years ..... XU Hanqiu (2946)
- Analysis of fractional vegetation cover change and its impact on thermal environment in the Hetian basinal area of County Changting, Fujian Province, China ..... XU Hanqiu, HE Hui, HUANG Shaolin (2954)
- Dynamic of soil organic carbon pool after restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area ..... HE Shengjia, XIE Jinsheng, ZENG Hongda, et al (2964)
- RUSLE-based quantitative study on the soil erosion of the Hetian basin area in County Changting, Fujian Province, China ..... YANG Ranran, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2974)
- Land use changes in a reddish soil erosion region of Southern China: Hetian Basin, County Changting ..... LIN Na, XU Hanqiu, HE Hui (2983)
- Remote-sensing estimate of the carbon storage of subtropical *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin of County Changting, China ..... HUANG Shaolin, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2992)
- Mutation of soil fertility quality in the red eroded area of southern China: A case study in Changting County, Fujian Province ..... CHEN Zhiqiang, CHEN Zhibiao (3002)

**Frontiers and Comprehensive Review**

- The temperature dependence of soil organic matter decomposition and CO<sub>2</sub> efflux: a review ..... SHEN Zhengtao, SHI Bin, WANG Baojun, et al (3011)
- Progress and prospects on cyanobacteria bloom-forming mechanism in lakes ..... MA Jianrong, DENG Jianming, QIN Boqiang, et al (3020)

**Autecology & Fundamentals**

- Characteristics of concentrations and carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon in soil water under varying vegetations in karst watershed ..... LIANG Xuan, WANG Zhijun, YUAN Daoxian, et al (3031)
- The traits of diapause development of overwinter eggs in *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae) ..... ZHU Daohong, CHEN Yanyan, ZHAO Qin (3039)
- Analysis of gamete compatibility between *Crassostrea hongkongensis* and *C. gigas* ..... ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (3047)

**Population, Community and Ecosystem**

- Avifaunal community structure and species diversity in the Mt. Qomolangma National Nature Reserve, Tibet, China ..... WANG Bin, PENG Boyong, LI Jingjing, et al (3056)
- Impact of logging on carbon density of broadleaved-Korean pine mixed forests on Changbai Mountains ..... QI Lin, YU Dapao, ZHOU Wangming, et al (3065)
- Community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay ..... XU Binduo, ZENG Huihui, XUE Ying, et al (3074)
- Assessment of heavy metal contamination in the soil-plant system of the *Suaeda salsa* wetland in the Yellow River Estuary ..... WANG Yaoping, BAI Junhong, XIAO Rong, et al (3083)
- The effects of different original state on grassland community restoration succession ..... YANG Chen, WANG Wei, WANG Shiping, et al (3092)
- Effects of fertilization gradients on plant community structure and soil characteristics in alpine meadow ..... WANG Changting, WANG Genxu, LIU Wei, et al (3103)
- Pattern-controlling mechanics of different age classes of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland ..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (3114)

- Soil organic carbon pool at the western side of the sygera mountains, southeast Tibet, China ..... MA Heping, GUO Qiqiang, LIU Heman, et al (3122)
- Correlation between foliar  $\delta^{13}\text{C}$  and foliar trait factors of dominant species in *Castanopsis carlessii* forests in Lingshishan National Forest Park ..... WANG Yingzi (3129)
- Influences of artificial *Kandelia obovata* mangrove forest rehabilitation on the macrobenthos in Ximen Island ..... HUANG Li, CHEN Shaobo, CHOU Jianbiao, et al (3138)
- Responses of soil microbial properties in soil profile to typical vegetation pattern and slope in karst-cluster depression area ..... FENG Shuzhen, SU Yirong, QIN Xinmin, et al (3148)
- Correlation among vegetation characteristics, temperature and moisture of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau ..... XU Manhou, XUE Xian (3158)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The temporal and spatial variation of the value of ecosystem services of the Naoli River Basin ecosystem during the last 60 years ..... ZHAO Liang, LIU Jiping, TIAN Xuezhi (3169)
- Sensitivity analysis of climate control in the Daisyworld model based on system dynamics ..... CHEN Haibin, TANG Haiping (3177)
- Resource and Industrial Ecology**
- Analysis of key climatic factors influencing on seed cotton yield in cotton-wheat double cropping ..... HAN Yingchun, WAN Guoping, FAN Zhengyi, et al (3185)
- The effect of low-covered sand-fixing forest belts on restoration of the soil and vegetation ..... JIANG Lina, YANG Wenbin, LU Qi, et al (3192)
- Dissolution rate under soil in karst areas and the influencing factors of different land use patterns ..... LAN Jiacheng, FU Wali, PENG Jingtao, et al (3205)
- Measuring external benefits of agricultural land preservation: an application of choice experiment in Wuhan, China ..... CHEN Zhu, JU Dengping, ZHANG Anlu (3213)
- Research Notes**
- Effect of temperature and feeding frequency on asexual reproduction and polyp growth of the scyphozoan *Cyanea nozakii* Kishinouye ..... SUN Ming, DONG Jing, CHAI Yu, LI Yulong (3222)
- The research on *Buteo hemilasius* nest-site selection on the west bank of Dalai Lake in Dalai Lake Natural Reserve ..... ZHANG Honghai, WANG Ming, CHEN Lei, et al (3233)
- Estimating rodent density using infrared-triggered camera technology ..... ZHANG Shusheng, BAO Yixin, WANG Yanni, et al (3241)

# 《生态学报》2013 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,探索自然奥秘,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,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

本期责任副主编 高玉葆 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33卷 第10期 (2013年5月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 10 (May, 2013)

<b>编 辑</b>	《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	<b>Edited by</b>	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
<b>主 编</b>	王如松	<b>Editor-in-chief</b>	WANG Rusong
<b>主 管</b>	中国科学技术协会	<b>Supervised by</b>	China Association for Science and Technology
<b>主 办</b>	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	<b>Sponsored by</b>	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
<b>出 版</b>	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	<b>Published by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
<b>印 刷</b>	北京北林印刷厂	<b>Printed by</b>	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
<b>发 行</b>	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@espg.net	<b>Distributed by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
<b>订 购</b>	全国各地邮局	<b>Domestic</b>	All Local Post Offices in China
<b>国外发行</b>	中国国际图书贸易总公司 地址:北京399信箱 邮政编码:100044	<b>Foreign</b>	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
<b>广告经营 许 可 证</b>	京海工商广字第8013号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元