

# 茂兰保护区小生境土壤微生物活性研究

刘玉杰<sup>1,2</sup>, 王世杰<sup>1\*</sup>, 刘秀明<sup>1</sup>, 刘方<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 贵州大学环境与资源研究所, 贵阳 550025)

**摘要:**以茂兰国家级自然保护区内三种植被(原生林、次生林、灌木林)下的土壤为研究对象,探讨了小生境土壤微生物数量、微生物量碳( $B_C$ )、微生物量氮( $B_N$ )、微生物熵( $qSMBC$ )、基础呼吸及代谢熵( $qCO_2$ )的变化特征。结果表明:微生物数量、 $B_C$ 、 $B_N$ 、基础呼吸、 $qSMBC$ 基本呈现石沟>土面的趋势, $qCO_2$ 则表现为土面>石沟,即石沟土壤的各项微生物活性指标基本都优于土面,因而在喀斯特生态系统的自然恢复过程中,应优先利用石沟小生境;土壤微生物量碳氮、 $qSMBC$ 、基础呼吸、真菌数量均随植被逆行演替(原生林→次生林→灌木林)大致呈现下降趋势,指示研究区土壤质量随植被退化而下降,土壤碳丢失;细菌和放线菌数量在退化过程中却有不同程度的增加,这与细菌和真菌之间的养分竞争、凋落物中的木质化纤维成分增多有关。

**关键词:**小生境;微生物量碳氮;微生物数量;微生物熵;代谢熵

中图分类号:S154.3 文献标识码:A 文章编号:1672-9250(2011)03-0285-07

茂兰喀斯特原始森林区是目前世界上喀斯特原生性森林分布面积最大的地区<sup>[1]</sup>,但由于喀斯特本身脆弱的地质背景和频繁的人为活动,保护区部分地段已经出现了不同程度的森林退化和水土流失等生态问题,危害农业生产环境,因而退化喀斯特森林的恢复与重建对改善当地农业生产环境具有重要意义,其自然恢复的实质是群落进展演替<sup>[2, 3]</sup>。在群落演替过程中,植被恢复能修复退化土壤的性质<sup>[4]</sup>,是解决喀斯特环境问题的重要前提和关键<sup>[5]</sup>。喀斯特地区由于基岩出露面积较大且起伏多变,地貌十分复杂,有石缝、石沟、土面、石面、石槽、石洞等6种小生境,因各小生境的结构和构成形态不同,其凋落物以及营养元素的积累也存在差异、土壤异质性强,进而影响植物分布格局、土壤养分水分循环<sup>[6, 7]</sup>。

土壤微生物是土壤生物中最活跃的部分,对土壤演化过程、性质变化、土壤肥力和生物质(biomass)的生产有深刻的影响,在植物养分元素的转化与循环过程中发挥着关键作用<sup>[8-10]</sup>。植被演替

以及小生境的异质性都会导致土壤微生物活性和群落组成的差异。目前人们对土壤微生物以及小生境的研究日益增多,包括微生物多样性<sup>[11, 12]</sup>,小生境的类型划分<sup>[7]</sup>、土壤水分<sup>[13]</sup>、大型土壤动物<sup>[14]</sup>、小气候<sup>[15]</sup>、土壤样品采集方法<sup>[1]</sup>等方面,但对不同小生境土壤微生物活性的研究较少,对茂兰自然保护区小生境土壤微生物活性更是缺乏相应的研究。因此,以茂兰自然保护区内不同演替群落作为研究对象,探讨小生境土壤微生物活性特征,对于进一步认识喀斯特生态系统自然恢复的内在机理和过程、构建恢复技术体系有重要的理论和实践意义。

## 1 研究区概况

茂兰自然保护区位于贵州省南部荔波县境内,地理位置 $107^{\circ}52'10''\sim 108^{\circ}05'40''E$ , $25^{\circ}09'20''\sim 25^{\circ}20'50''N$ ,森林覆盖率达87.3%。地貌上,研究区位于贵州高原向广西丘陵平原过渡的斜坡地带,地势西北高东南低,最高海拔1078.6 m,最低为430 m,

收稿日期:2011-03-23; 改回日期:2011-05-17

基金项目:贵州省科技基金资助项目(黔科合J字[2008]2014)、国家自然科学基金创新群体项目(40721002)和中国科学院知识创新工程方向性项目(KZCX2-YW-306)。

第一作者简介:刘玉杰(1982-),女,博士研究生,研究方向为环境地球化学。E-mail:liuyujie895@126.com。

\*通讯作者:王世杰,男,研究员。E-mail:wangshijie@vip.skleg.cn。

大部分地处海拔 550~850 m, 山峰与洼地相对高差为 150~300 m。该区年均温 15.3℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  活动积温 5768℃; 全年降水量 1750~1950 mm; 年均相对湿度约 83%; 全年日照时数 1272.8 h, 日照百分率 29%, 属中亚热带季风湿润气候。研究区主要出露岩石为纯质石灰岩和白云岩, 基岩裸露率在 70%~80% 以上, 属裸露型喀斯特地貌类型。区内土壤以黑色石灰土为主, 土层浅薄且不连续。

本研究针对该区内植被演替的不同阶段选取小生境发育的 3 个植被类型进行调查: 一是原生林, 以乔木为主, 植被保护完好, 树种有丝栗栲 (*Castanopsis fargesii* Franch)、青檀 (*Pteroceltis tatarinowii* Maxim)、圆果化香 (*Platycarya longipes* Wu) 等; 二是次生林, 乔灌混合, 植被保护良好, 树种有香叶树 (*Lindera communis* Hemsl)、火棘 (*Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li) 等; 三是灌木林, 以灌木为主, 植被保护较好, 树种有齿叶黄皮 (*Clausena dunniana* Lévl)、菝葜 (*Smilax china* L) 等。

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集

本研究采用野外调查的方法, 在地形地貌的典型地段进行调查, 原生林设置 20 m×30 m 样方 3 个, 次生林设置 20 m×20 m 样方 3 个, 灌木林设置 10 m×10 m 样方 3 个。在样方内按石面、石沟、石缝、石洞、土面、石槽 6 种小生境进行土壤厚度、面积等调查, 在此基础上, 选取占样方内土壤面积 95% 以上的石沟和土面两类小生境, 于 2008 年 8 月 4 日至 8 日进行 0~15 cm 表层土壤样品的采集。小生境土样由多点混合样组成, 一般每个小生境土样为 3~5 点的混合样<sup>[1]</sup>。本研究中, 小生境的划分参考朱守谦对小生境的分类和界定方法, 并根据本研究

区的实际情况, 将土被覆盖尚均匀、面积相对较大的小型台地状小生境划作土面, 将深宽比通常等于 1、开口较宽、横断面多为 U 型的小生境划作石沟<sup>[7]</sup>。供试土壤的基本情况见表 1。

### 2.2 样品处理与分析测定

采集的土壤样品低温储运至实验室, 置于 4℃ 冰箱保存。用于测定土壤微生物量碳氮的样品, 去除其中可见的植物残体、土壤动物及碎石, 过 2 mm 筛并充分混匀, 四分法取适量土样, 调节土壤湿度至 40%~50% 的田间持水量, 在 25℃、100% 空气湿度条件下预培养 7 d。土壤微生物量碳 ( $B_C$ ) 采用氯仿熏蒸提取-仪器分析法测定、土壤微生物量氮 ( $B_N$ ) 采用氯仿熏蒸提取-茚三酮比色法测定<sup>[9]</sup>; 土壤 pH 值用酸度计法测定、有机碳 (OC) 用重铬酸钾容量法测定、全氮 (TN) 用开式定氮法测定<sup>[6]</sup>; 微生物数量用稀释平板法测定, 土壤基础呼吸用碱液吸收盐酸滴定法测定<sup>[16, 17]</sup>。

### 2.3 数据处理

采用 Excel 软件进行数据整理, SPSS 15 软件完成统计分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 小生境土壤微生物数量特征

喀斯特生境是由多种小生境类型镶嵌构成的复合体, 具有高度异质性, 不同小生境有不同的生态有效性, 土壤微生物的数量分布也会受到影响。图 1、图 2、图 3 统计了研究区不同植被覆盖下土壤三大类群微生物数量在小生境间的分布特征。分析可知, 土壤三大类群微生物数量的分布表现出细菌 > 放线菌 > 真菌的特点, 细菌在 3 个植被类型中均为优势类群, 其在微生物总数中的比例为 70.18%~87.74%, 说明细菌在凋落物分解过程、腐殖质合成、

表 1 供试土壤的基本情况

Table 1 Basic properties of the test soils

植被类型 Vegetation type	小生境类型 Microhabitat type	pH	有机碳 Organic carbon (g/kg)	全氮 Total nitrogen (g/kg)
原生林	石沟	7.24±0.06	72.00±3.43	7.05±0.87
	土面	6.74±0.33	55.37±21.06	5.02±1.35
次生林	石沟	7.34±0.21	77.65±18.91	6.33±1.91
	土面	6.98±0.69	53.66±4.72	4.45±0.66
灌木林	石沟	7.20±0.03	58.28±10.31	5.01±0.78
	土面	6.45±0.17	42.11±4.56	3.75±0.34

养分循环、物质和能量的转化流动过程中起着重要作用。真菌的绝对数量虽然较少, 仅占微生物总数的 0.01%~0.44%, 但其对木质化纤维成分的分解作用同样不可低估, 并且因为真菌菌体以及生物量较大<sup>[18]</sup>, 它对土壤质量、植被生长的促进作用仍不可忽视。不同植被类型下细菌数量在原生林、次生林阶段的规律为石沟>土面, 在灌木林阶段为土面>石沟; 放线菌数量在原生林阶段表现为土面>石沟, 在次生林、灌木林阶段则为石沟>土面; 真菌数量在植被演替 3 个阶段均体现为石沟>土面。方差分析和多重比较结果表明, 植被类型、小生境类型、植被与小生境的交互作用均对细菌、真菌、放线菌数量有明显影响( $p < 0.05$ ), 细菌、放线菌数量在不同植被类型间、不同小生境类型间均有显著差异( $p < 0.05$ ), 但放线菌数量仅在灌木林与原生林、灌木林与次生林间差异显著( $p < 0.05$ ), 各小生境间的差异尚未达到显著水平( $p > 0.05$ )。随着喀斯特森林的退化, 土壤真菌数量呈急剧下降趋势, 但细菌数量、放线菌数量都有不同程度的增加。细菌数量在植被退化过程中有所增加, 可能由于细菌和真菌对养分的竞争所造成; 放线菌的变化, 可能因为次生林、灌木林凋落物含有较多木质化纤维成分, 土壤中易分解的养分物质减少, 从而刺激了参与难分解物质转化的放线菌数量增加。

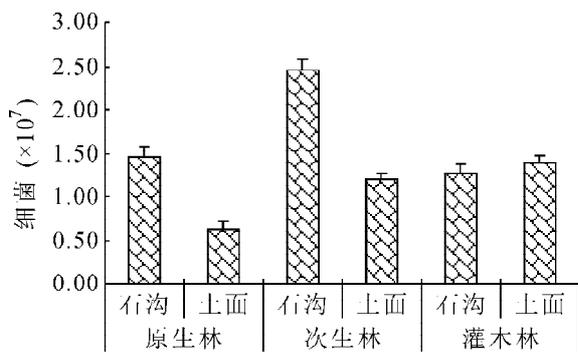


图 1 小生境土壤细菌数量

### 3.2 小生境土壤微生物量碳氮及微生物熵的变化特征

土壤微生物量因周转速率快, 在有机质分解、土壤养分循环和转化的各个过程中起着关键作用, 被广泛用于指示土壤质量的变化<sup>[19]</sup>。土壤微生物量碳氮是反映土壤微生物量大小的重要指标。微生物熵( $qSMBC$ )是土壤微生物量碳与土壤有机碳的比值。 $qSMBC$ 可以指示碳的菌群有效性<sup>[20]</sup>, 是土壤

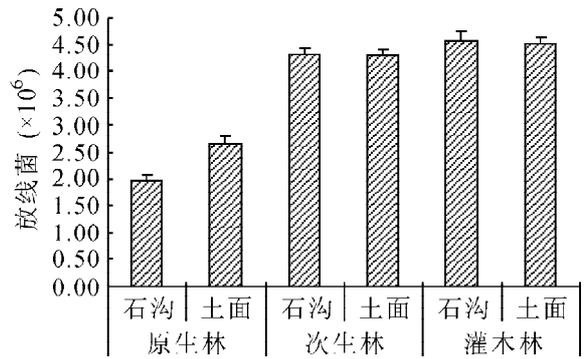


图 2 小生境土壤放线菌数量

Fig. 2 The number of actinomycetes in different microhabitats

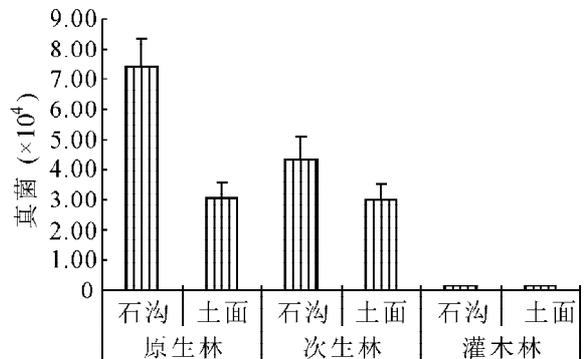


图 3 小生境土壤真菌数量

Fig. 3 The number of fungi in different microhabitats

生物稳定性的有效指标<sup>[21]</sup>, 还可以指示土壤质量变化和土壤健康状况, 是土壤质量退化的早期预警指示<sup>[22, 23]</sup>。

图 4 和图 5 分别统计了研究区不同植被覆盖下土壤微生物量碳氮及  $qSMBC$  在小生境间的分布特征。其中, 石沟  $B_C$  比土面  $B_C$  高 37.86%~56.28%, 石沟  $B_N$  比土面  $B_N$  高 24.89%~60.50%, 整体上  $B_C$ 、 $B_N$  与  $OC$ 、 $TN$  的变化趋势一致(表 1), 并且  $B_C$ 、 $B_N$  之间显著正相关( $p < 0.05$ )。石沟、土面  $B_C/B_N$  均值分别为 3.04 和 3.00,  $qSMBC$  均值分别为 1.55% 和 1.46%。小生境、植被类型分别都对  $B_C$ 、 $B_N$  产生较显著影响( $p < 0.05$ ), 但植被与小生境的交互作用对  $B_C$ 、 $B_N$  影响不显著( $p > 0.05$ )。这可能与小生境的构成形态和结构有关, 石沟内部相对封闭, 凋落物在石沟内以堆积为主, 不易迁移, 腐烂过程中为生物提供了丰富的碳源, 并且排水性能较好, 有利于微生物、植物根系等活生物体生长; 而土面是一个相对开放的空间, 凋落物不易累积, 营养元素又易随降水流失, 物质迁移较明显, 且易遭受人为活动的干扰, 不利于微生物等

的生活,致使其土壤微生物量相对石沟较低。

$qSMBC$  是衡量生态系统土壤有机碳积累或损失的重要指标,该比值越高,其土壤碳的积累越显著<sup>[24]</sup>,本研究区 3 种生态系统中,石沟土壤碳的积累略高于土面。从灌木林到次生林阶段,可能由于此阶段林木快速生长的养分需求大于土壤微生物转化能力的结果,使土壤出现了一定程度的碳损失,从次生林到原生林阶段,生态系统结构趋于稳定,土壤碳得到积累。

$B_C/B_N$  受气候条件、土壤类型等因素影响,可以作为评价土壤氮素供应能力和有效性的指示参数,当  $B_C/B_N$  值高,且  $qSMBC$  也高时,表明土壤有机质的有效性高而氮素的生物有效性低,可能会受氮素供应不足的制约<sup>[25]</sup>;相反, $B_C/B_N$  值低,土壤氮素的生物有效性则较高。依据第二次全国土壤普查有机质分级标准<sup>[26]</sup>,研究区内  $OC$  含量处于 1 级极高水平,说明土壤碳素都很充足,但土面氮素的生物有效性略高于石沟。此外,供试土壤的  $B_C/B_N$  值为 2.33~3.42,低于前人的研究结果<sup>[27, 28]</sup>,可能受研究区特有微生物区系和氮形态的影响。

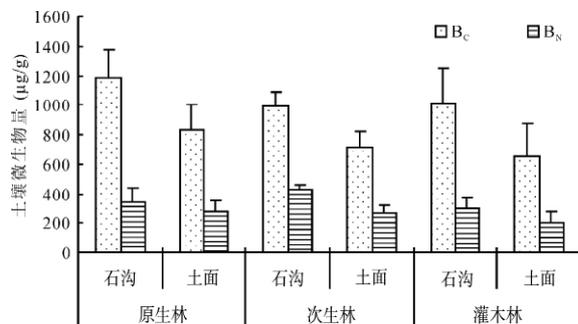


图 4 小生境土壤微生物量碳氮

Fig. 4 Soil microbial biomass carbon and nitrogen in different microhabitats

### 3.3 小生境土壤基础呼吸及代谢熵的变化特征

野外采集的土壤样品,在室内测定的呼吸强度主要是土壤微生物呼吸,在测定过程中,不加基质直接测定的就是土壤基础呼吸<sup>[29]</sup>。代谢熵 ( $qCO_2$ ) 是土壤基础呼吸与微生物量碳的比率。 $qCO_2$  将微生物量大小和微生物活性以及功能有机地联系起来,是对二者的一种有效调和。 $qCO_2$  值大,意味着微生物呼吸消耗的基质 C 比例相对较大,构造微生物细胞的 C 比例相对较小;反之理解亦成立。 $qCO_2$  是反映植被演替、土地耕作措施、pH 等环境因素变化对微生物碳库影响的一个敏感指标,可将其看作是

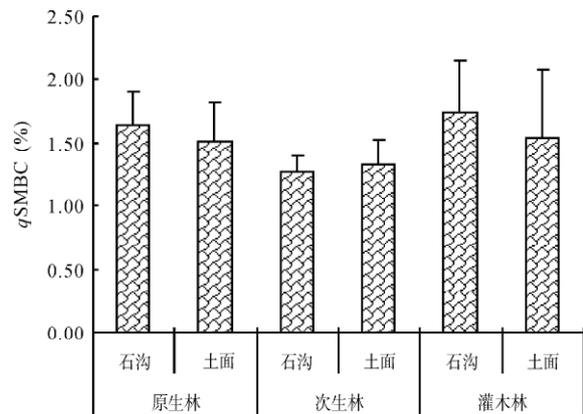


图 5 小生境土壤微生物熵 ( $qSMBC$ ) 的变化

Fig. 5 Variation of soil microbial quotient ( $qSMBC$ ) in different microhabitats

一个微生物胁迫指标<sup>[30-34]</sup>。

研究区不同植被覆盖下小生境土壤基础呼吸及代谢熵的分布特征如图 6 和图 7 所示。从图中可以看出,土壤基础呼吸强度表现出石沟>土面的特征,而  $qCO_2$  则是土面>石沟;随着植被的逆行演替(原生林→次生林→灌木林),土壤基础呼吸强度、 $qCO_2$  都呈现原生林>次生林>灌木林的下降趋势。小生境类型对土壤基础呼吸强度有明显影响作用 ( $p < 0.05$ ),而植被类型、小生境与植被的交互作用均对土壤基础呼吸强度没有明显影响 ( $p > 0.05$ )。

土壤基础呼吸强度的变化特征表明石沟中土壤有机残体的分解速度快且强度大,并且随着植被退化,微生物的活动强度相应减弱,因而它们对有机残体的分解能力降低。

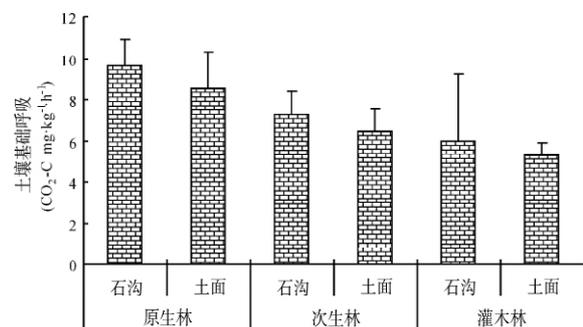


图 6 小生境土壤基础呼吸的变化

Fig. 6 Variation of soil basal respiration in different microhabitats

土面  $qCO_2$  高于石沟,表明土面生境中微生物呼吸消耗的基质 C 比例大而用于构造微生物细胞的 C 比例相对较小,这也是土面  $B_C$  比石沟  $B_C$  低的原因之一。此外,植被逆行演替中, $qCO_2$  出现递减趋势,说明土壤碳的利用效率在植被逆行演替过程

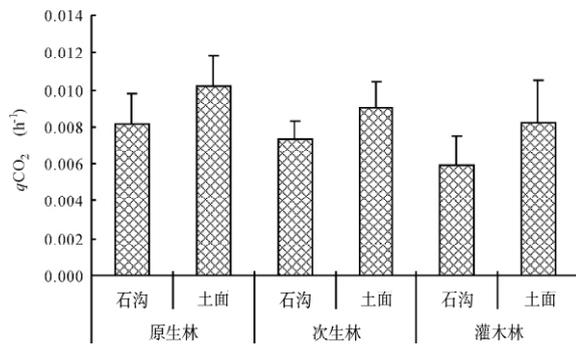


图 7 小生境土壤代谢熵( $q\text{CO}_2$ )的变化

Fig. 7 Variation of soil metabolic quotient ( $q\text{CO}_2$ ) in different microhabitats

中逐渐降低,这与 Insam 等人<sup>[32]</sup>和黄懿梅等人<sup>[34]</sup>的研究结果相反,但与杨刚等人<sup>[35]</sup>发现的  $q\text{CO}_2$  在成熟林最高的结果类似。本研究中  $q\text{CO}_2$  的变化趋势似乎与 Odum 的生态系统演替论相悖<sup>[36]</sup>,可能由于  $q\text{CO}_2$  对生态系统演替的响应有时会不够灵敏<sup>[37]</sup>,其它诸如土壤粘粒含量、pH 值、枯落物分解的难易程度等因素都会对  $q\text{CO}_2$  产生一定的影响,从而造成  $q\text{CO}_2$  的变化有时不能准确指示生态系统的演替,这也进一步说明仅用  $q\text{CO}_2$  作为生态系统演替的生物指标具有局限性。

## 4 结论

1) 研究区植被演替的 3 个阶段,不同小生境中细菌均为优势种群,说明其在研究区凋落物分解过程、腐殖质合成、养分循环、物质和能量的转化流动过程中起着重要作用。石沟土壤的各项微生物活性指标基本都优于土面,这提示我们在喀斯特地区植被恢复过程中,应该注意利用石沟小生境。

2) 土壤微生物量碳氮、 $q\text{SMBC}$ 、土壤基础呼吸强度、真菌数量均随植被逆行演替大致呈现下降趋势,指示研究区土壤质量随植被退化而下降,土壤碳丢失;但植被退化过程中细菌和放线菌数量却有不同程度的增加,这与细菌和真菌之间的养分竞争、凋落物中的木质化纤维成分增多等因素有关。

3) 研究区土壤微生物活性(微生物数量、微生物量碳氮、微生物熵、代谢熵)受上覆植被、小生境等因素的影响,且由于土壤异质性高,其变化规律较常态地貌更加复杂,不能单独用某一个指标(如  $q\text{CO}_2$ )来反映土壤环境生态因子的变化情况,应该将多个指标结合起来。

致谢:感谢茂兰国家级自然保护区工作人员在野外工作中给予的支持,感谢环境地球化学国家重点实验室工作人员在室内实验中给予的帮助。

## 参 考 文 献

- [1] 王世杰, 卢红梅, 周运超, 等. 茂兰喀斯特原始森林土壤有机碳的空间变异性与代表性土样采集方法[J]. 土壤学报, 2007, 44(3): 475-483.
- [2] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 等. 退化喀斯特森林自然恢复评价研究[J]. 林业科学, 2000, 36(6): 12-19.
- [3] Zeng F, Peng W, Song T, *et al.* Changes in vegetation after 22 years' natural restoration in the Karst disturbed area in northwestern Guangxi, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5110-5119.
- [4] Jia G, Cao J, Wang C, *et al.* Microbial biomass and nutrients in soil at the different stages of secondary forest succession in Ziulin, northwest China[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 217(1): 117-125.
- [5] 侯满福, 蒋忠诚. 茂兰喀斯特原生林不同地球化学环境的植物物种多样性[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 572-576.
- [6] 刘方, 王世杰, 罗海波, 等. 喀斯特森林生态系统的小生境及其土壤异质性[J]. 土壤学报, 2008, 45(6): 1055-1062.
- [7] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(I)[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1993: 52-62.
- [8] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [9] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [10] 刘志恒. 现代微生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [11] 肖凯, 曹理想, 陆勇军, 等. 广东金山温泉沉积物中原核与真核微生物多样性初步分析[J]. 微生物学报, 2008, 48(6): 717-724.
- [12] 姚晓华, 闵航, 袁海平. 啮虫脲污染下土壤微生物多样性[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 3074-3080.
- [13] 李安定, 卢永飞, 韦小丽, 等. 花江喀斯特峡谷地区不同小生境土壤水分的动态研究[J]. 中国岩溶, 2008, 27(1): 56-62.

- [14] 叶岳, 周运超. 喀斯特石漠化小生境对大型土壤动物群落结构的影响[J]. 中国岩溶, 2009, 28(4): 413—418.
- [15] 张邦琨, 韦小丽. 喀斯特地貌森林不同小生境的小气候特征研究[J]. 贵州气象, 1995, 19(4): 16—19.
- [16] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [17] 胡开辉. 微生物学实验技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [18] Anderson J P E, Domsch K H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils[J]. Soil Science, 1980, 130(4): 211—216.
- [19] Kaschuk G, Alberton O, Hungria M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(1): 1—13.
- [20] Wolters V, Joergensen R G. Microbial carbon turnover in beech forest soils at different stages of acidification[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1991, 23(9): 897—902.
- [21] Hart P B S, August J A, West A W. Long-term consequences of topsoil mining on select biological and physical characteristics of two New Zealand loessial soils under grazed pasture[J]. Land Degradation and Development, 1989, 1(2): 77—88.
- [22] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil [J]. Biological Reviews, 1992, 67(3): 321—358.
- [23] Powlson D S, Prookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(2): 159—164.
- [24] 易志刚, 蚁伟民, 周丽霞, 等. 鼎湖山主要植被类型土壤微生物生物量研究[J]. 生态环境, 2005, 14(5): 727—729.
- [25] Salamanca E F, Raubuch M, Joergensen R G. Relationships between soil microbial indices in secondary tropical forest soils[J]. Applied Soil Ecology, 2002, 21(3): 211—219.
- [26] 王小利, 苏以荣, 黄道友, 等. 土地利用对亚热带红壤低山区土壤有机碳和微生物碳的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(4): 750—757.
- [27] Raubuch M, Joergensen R G. C and net N mineralisation in a coniferous forest soil: the contribution of the temporal variability of microbial biomass C and N[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(6): 841—849.
- [28] Silva A P, Babujia L C, Franchini J C, *et al.* Microbial biomass under various soil-and crop-management systems in short-and long-term experiments in Brazil[J]. Field Crops Research, 2010, 119(1): 20—26.
- [29] 黄懿梅, 安韶山, 刘连杰, 等. 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[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 862—869.
- [30] Anderson T H, Domsch K H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1993, 25(3): 393—395.
- [31] Anderson T H, Domsch K H. Application of eco-physiological quotients ( $qCO_2$  and  $qD$ ) on microbial biomasses from soils of different cropping histories[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1990, 22(2): 251—255.
- [32] Insam H, Haselwandter K. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession[J]. Oecologia, 1989, 79(2): 174—178.
- [33] Killham K. A physiological determination of the impact of environmental stress on the activity of microbial biomass[J]. Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological, 1985, 38(3): 283—294.
- [34] 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[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2811—2818.
- [35] 杨刚, 何寻阳, 王克林, 等. 不同植被类型对土壤微生物量碳氮及土壤呼吸的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(1): 189—191.
- [36] Odum E P. The strategy of ecosystem development[J]. Science, 1969, 164: 262—270.
- [37] Wardle D A, Ghani A. A critique of the microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27(12): 1601—1610.

## Soil Microbial Activities in Different Microhabitats of the Maolan National Nature Reserve

LIU Yu-jie<sup>1, 2</sup>, WANG Shi-jie<sup>1\*</sup>, LIU Xiu-ming<sup>1</sup>, LIU Fang<sup>3</sup>

- (1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Environment and Resource, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Characteristics of soil microbial amount, microbial biomass carbon ( $B_C$ ), microbial biomass nitrogen ( $B_N$ ), microbial quotient ( $qSMBC$ ), basal respiration and metabolic quotient ( $qCO_2$ ) in different microhabitats were studied in three sites (virgin forest, secondary forest and shrubbery) of the Maolan National Nature Reserve. The results showed that the microbial amount,  $B_C$ ,  $B_N$ , basal respiration and  $qSMBC$  were all higher in stone gully than those on soil surface, while the  $qCO_2$  was higher on soil surface than that in stone gully, in other words, microbial activity indicators in stone gully were basically better than those on soil surface, therefore, the stone gully should be given priority to its utilization in the process of natural restoration of karst ecosystems. With negative succession (from virgin forest to secondary forest, then to shrubbery),  $B_C$ ,  $B_N$ ,  $qSMBC$ , basal respiration and the amount of fungi approximately showed a downward trend, indicating that the soil quality declined during negative succession. Meanwhile, soil carbon was lost. Whereas, due to the nutrients competition between fungi and bacteria, moreover, lignocellulose contents of litter increased. The result was that the number of bacteria and the number of actinomycetes increased during the process of vegetation degradation.

**Key words:** microhabitat; microbial biomass carbon and nitrogen; microbial amount; microbial quotient ( $qSMBC$ ); metabolic quotient ( $qCO_2$ )