

严嘉慧, 邱江梅, 李强. 岩溶断陷盆不同深度土壤微生物量碳氮对植被演替的响应[J]. 中国岩溶, 2023, 42(5): 1098-1105.

DOI: 10.11932/karst20230519

岩溶断陷盆不同深度土壤微生物量碳氮对 植被演替的响应

严嘉慧^{1,2}, 邱江梅^{1,2}, 李强^{1,2}

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室/联合国教科文组织国际岩溶研究中心, 广西 桂林 541004; 2. 广西平果喀斯特生态系统国家野外科学观测研究站, 广西 平果 531406)

摘要: 为了解岩溶断陷盆地底部不同植被类型土壤微生物量碳氮(MBC、MBN)含量的变化, 以中国西南典型生态脆弱区云南省岩溶断陷盆地底部原始森林、草地、人工林、灌丛和玉米地土壤为研究对象, 探究土壤微生物量碳氮对植被类型的响应。结果表明: 灌丛类型土壤微生物量碳氮含量最高, 微生物量碳氮含量随植被正向演替呈现先增大后减小的趋势; 各植被类型土壤微生物量碳含量随土层深度增加而降低。多因素方差分析出土层深度和植被类型是土壤微生物量碳含量的显著影响因素($P < 0.05$), 其中土层深度是土壤微生物量碳含量的极显著影响因素($P < 0.01$)。

关键词: 岩溶; 断陷盆地; 微生物量碳; 微生物量氮; 植被类型

中图分类号: S154.2 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2023)05-1098-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

土壤微生物作为岩溶断陷盆地土壤—植被的枢纽, 不仅推动着土壤中营养元素的循环^[1], 促进植物的生长发育和对营养物质的吸收利用^[2], 还能够迅速反馈土壤质量的变化, 对于土壤微环境的变化具有指示作用^[3]。土壤微生物量反映土壤中微生物的功能及活性^[4], 且有周转快、对环境变化敏感等特点^[5], 其中微生物生物量碳(microbial biomass carbon, MBC)作为土壤有机碳中最活跃部分, 常用来表征土壤活性有机碳库的变化^[6]; 微生物生物量氮(microbial biomass nitrogen, MBN)则是土壤氮素循环的重要指标^[7]。因此, 研究土壤微生物量对土壤中碳氮的影响将有助于及时了解土壤肥力的变化, 为综合评估土

壤质量提供重要判断依据。

作为西南岩溶地区四种主要地貌类型之一的岩溶断陷盆地, 主要发育于滇东、滇西、攀西和黔西岩溶高原^[8-9], 由于断陷盆地盆山共存、地形变化剧烈, 季节性干旱缺水且地下河深埋等特征, 使其地表易受破坏, 水土流失严重^[10]。云南省是中国除贵州省之外的第二大石漠化分布地区^[11-12], 是中国西南岩溶地区典型的生态脆弱区^[13]。前人研究了云南岩溶断陷盆地的理化性质^[14-15]、水循环系统^[16]、土地利用方式与土壤微生物及酶活性的关系^[17-18], 但有关岩溶断陷盆地底部植被演替中土壤微生物量对土壤碳氮变化响应的报道甚少。本文以云南岩溶断陷盆地底部原始森林、草地、人工林、灌丛和玉米地土壤作为研究对象, 探究土壤微生物量碳氮对植被演替的响应,

资助项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0502501)

第一作者简介: 严嘉慧(1996—), 女, 硕士研究生, 主要从事岩溶土壤微生物研究。E-mail: mauoko_es@yeah.net。

通信作者: 李强(1978—), 男, 研究员, 博士, 主要从事岩溶生物地球化学研究。E-mail: glqiangli@163.com。

收稿日期: 2022-11-10

以为水土流失的防治和石漠化治理工作的开展提供科学依据。

1 研究区概况

云南省红河州泸西县三塘乡, 位于东经 103°46'13"~103°57'20", 北纬 24°21'03"~24°31'00" 之间, 地势西北高东南低, 境内存在峡谷、陷塘和山梁相间的复杂地貌, 属典型的高寒、干热、河谷和岩溶地带; 大部分地区气温较低, 年平均气温 13~14 ℃, 年降雨量 1 000 mm 左右, 日照时数 2 000 余个, 最高海拔 2 459 m, 最低海拔 820 m, 高差 1 639 m。

2 研究方法

2.1 样品采集和预处理

土壤样品采样时间为 2018 年 1 月, 选择该区域原始森林、草地、人工林、灌丛和玉米地 5 个植被演替阶段类型区域进行采样, 各采样地的详细信息见表 1。每类样地设置 3 个 10 m×10 m 的样方, 每个样方选取 5 点混合成一个土样, 于上层(0~10 cm)和下层(10~20 cm)各采集三个重复样品, 共 30 个样品。所有样品装入无菌取样袋后低温保存, 并立即运回实验室, 去除植物根系和杂质后, 过 2 mm 筛, 于 4 ℃ 冰箱内保存, 以用于测定土壤微生物量碳氮。

2.2 测定方法

微生物量碳采用氯仿熏蒸浸提—碳分析仪器法, 微生物量氮采用氯仿熏蒸浸提—全氮测定法测定,

详见《土壤农业化学分析方法》^[19]。

2.3 数据处理

使用软件 SPSS 25.0 进行单因素方差 (One-way ANOVA) 统计分析, 并用 LSD 法检验不同植被类型、不同土层土壤间微生物量碳、氮含量的差异性 ($\alpha = 0.05$), 使用多因素方差分析植被演替、土层对土壤 MBC、MBN 的影响程度; 运用 Excel 2010 进行数据处理和制图。

3 结果与分析

3.1 岩溶断陷盆地植被演替下不同土层土壤MBC的变化

在上层(0~10 cm)土壤, 灌丛阶段的 MBC 最高, 为 24.67 mg·kg⁻¹, 玉米地阶段 MBC 最低, 为 13.76 mg·kg⁻¹, 且灌丛阶段与玉米地阶段的 MBC 含量差异显著 ($P < 0.05$) (图 1)。该土层 MBC 含量在不同植被演替阶段中依次为: 灌丛>人工林>原始森林>草地>玉米地。在下层(10~20 cm)土壤, MBC 同样在灌丛阶段最高, 为 17.51 mg·kg⁻¹, 最低值 6.95 mg·kg⁻¹ 为原始森林阶段, 且原始森林与草地、灌丛和玉米地之间差异显著 ($P < 0.05$), 与上层不同, MBC 含量在不同植被演替阶段中依次为: 灌丛>草地>玉米地>人工林>原始森林。

玉米地 MBC 含量在不同土层间差异不显著, 原始森林、草地、人工林和灌丛 MBC 含量在不同土层间差异显著, 均表现为上层显著高于下层 MBC 含量。

表 1 采样点基本情况表
Table 1 Basic information of sampling points

植被类型	土层深度/cm	经度(E)	纬度(N)	海拔/m	优势物种
草地	上层(0~10)	103°51'0"	24°30'32"	2 332.8	火棘(<i>Pyracantha fortuneana</i>)、针茅(<i>Stipa capillata</i> Linn)、狗牙根(<i>Cynodondactylon</i> (Linn.) Pers)、蕨类(Fern)
	下层(10~20)				
灌丛	上层(0~10)	103°51'10"	24°30'29"	2 292.2	灌草丛(<i>Shrubbery</i>)、欆木(<i>Loropetalum chinense</i> (R. Br.) Oliver)、小果蔷薇(<i>Rosa cymosa</i> Tratt)、火棘(<i>Pyracantha fortuneana</i>)
	下层(10~20)				
人工林	上层(0~10)	103°51'0"	24°30'29"	2 314.6	川东桤木(<i>Alnus cremastogyne</i> Burk)
	下层(10~20)				
原始森林	上层(0~10)	103°53'38"	24°30'32"	2 341.5	云南松(<i>Pinus yunnanensis</i>)、小果蔷薇(<i>Rosa cymosa</i> Tratt)、火棘(<i>Pyracantha fortuneana</i>)
	下层(10~20)				
玉米地	上层(0~10)	103°51'3"	24°30'29"	2 291.0	玉米(<i>Zea mays</i>)
	下层(10~20)				

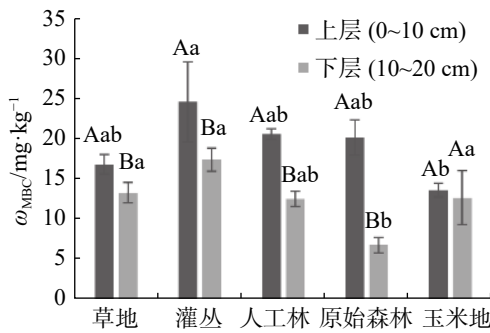


图 1 MBC 在不同土层、不同植被演替阶段的差异变化 ($P<0.05$)

注: 小写字母表示同一土层不同植被类型间差异显著 ($P<0.05$), 大写字母表示同一植被类型不同土层间差异显著 ($P<0.05$), 下同。

Fig. 1 Variation of MBC in different soil layers and different vegetation succession stages ($P<0.05$)

Note: Lowercase letters represent significant difference of different vegetation types in the same soil layer; capital letters represent significant difference of different soil layers in the same vegetation type (the same hereinafter).

3.2 岩溶断陷盆地植被演替下不同土层土壤MBN的变化

MBN 含量分别在上、下两层的不同植被类型间无显著差异, 灌丛 MBN 在两土层中均最高, 分别为 $17.41\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $27.90\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图 2)。上层 MBN 含量在不同植被类型中依次为: 灌丛>人工林>原始森林>草地>玉米地, 下层 MBN 含量在不同植被类型中依次为: 灌丛>原始森林>玉米地>人工林>草地。

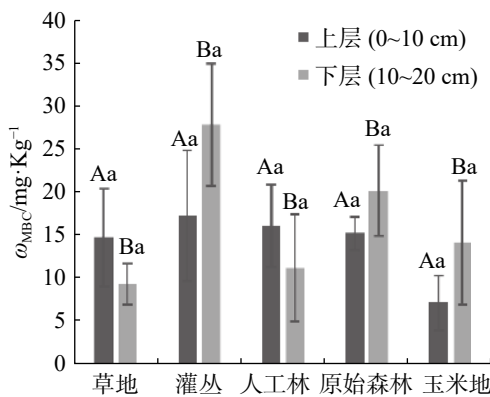


图 2 MBN 在不同土层、不同植被演替阶段的差异变化 ($P<0.05$)

Fig. 2 Variation of MBN in different soil layers and different vegetation succession stages ($P<0.05$)

对比同一植被类型下不同土层 MBN 含量情况, 发现各植被类型在不同土层间 MBN 含量均表现出显著差异, 其中原始森林、灌丛和玉米地下层 MBN 显著高于上层, 差值分别为: $4.92\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $10.49\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

和 $6.94\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 人工林和草地 MBN 含量则表现为上层显著高于下层。

3.3 植被演替和土层对土壤MBC、MBN 的影响

利用多因素方差分析得到植被类型、土层深度及二者交互作用对土壤 MBC、MBN 含量的影响分布(表 2, 表 3), 结果表明: 土层深度对土壤 MBC 含量具有极显著影响 ($P<0.01$), 植被类型对土壤 MBC 具有显著影响 ($P<0.05$), 二者交互作用时对 MBC 含量影响效应小且不显著 ($P=0.096$)。而对于土壤 MBN 含量, 植被类型 ($P=0.225$)、土层深度 ($P=0.491$) 和二者交互作用 ($P=0.499$) 对其影响不显著。

表 2 植被类型和土层深度对土壤 MBC 含量的影响
Table 2 Effects of vegetation types and soil depths on soil MBC content

影响因子	自由度(df)	方差(F)	显著性(P)
植被类型	4	4.139	0.013
土层深度	1	22.431	<0.001
植被类型×土层深度	4	2.282	0.096

注: $P<0.05$ 表示显著, $P<0.01$ 表示极显著。
Note: $P<0.05$ represents significance; $P<0.01$ represents extremely significance.

表 3 植被类型和土层深度对土壤 MBN 含量的影响
Table 3 Effects of vegetation types and soil depths on soil MBN content

影响因子	自由度(df)	方差(F)	显著性(P)
植被类型	4	1.556	0.225
土层深度	1	0.491	0.491
植被类型×土层深度	4	0.871	0.499

注: $P<0.05$ 表示显著, $P<0.01$ 表示极显著。
Note: $P<0.05$ represents significance; $P<0.01$ represents extremely significance.

4 讨 论

土壤微生物量是土壤的重要组成部分, 影响所有进入土壤的有机质的转化, 是整个生态系统养分和能源循环的“关键”和“动力”^[20], 同时也是土壤养分转化过程中一个重要的源和库^[21]。徐华勤等^[22]研究表示土壤微生物量碳氮是可以表征土壤肥力的敏感因子, 研究土壤微生物生物量对了解土壤肥力、土壤养分的转化和循环以及环境变化具有重要意义。不同植被类型对土壤微生物量产生不同程度的积极

影响,主要是由不同植被类型的凋落物、根系分泌物等差异导致^[23]。本研究结果得出不同深度土层中植被类型均为灌丛的土壤微生物量碳氮含量最高,而非原始森林,表层玉米地 MBC、MBN 最低,说明在该研究区灌木类型更有利于土壤微生物量碳氮的积累,微生物量碳氮含量总体呈现出随植被正向演替先升高后降低的趋势。

与从怀军等^[24]、刘玉杰等^[25]和叶莹莹等^[26]研究结果相同,原始森林土壤微生物量碳氮均低于灌丛,这可能是由于原始森林的退化,土壤可供植被生长的有效营养元素含量减少^[27],或是原始森林植物生长与微生物竞争养分激烈且植被生长需求能力大于土壤微生物转化能力的结果,植物根系对土壤中碳、氮的需求越大,土壤微生物量碳、氮的值则越小^[28]。而玉米地一是由于长期受到人类耕作活动的影响,表土受侵蚀严重,有机物质损耗严重且还原至土壤的枯枝落叶减少,进而减少了微生物的可利用能源,最终导致玉米地土壤中微生物量碳氮含量降低^[29];二是因为该地长期施用化肥使微生物生长环境恶化,如土壤 pH 下降^[30],生物区系减少,从而导致土壤微生物量的下降^[31]。

此外,Liu 等^[32]研究表明,人工植被的恢复有利于水土保持和微生物的生长,本研究结果显示人工林微生物量碳氮含量较高,其中人工林表层土壤 MBC 和 MBN 均高于原始森林和草地(图 1,图 2),表明退耕还林还草对土壤微生物生物量有明显促进作用。该研究区人工林主要种植川东桉木,桉木根系发达,具有根瘤或菌根,能固土增肥,耐瘠薄,生长迅速,是理想的绿化树种。喻国军等^[33]研究表明桉木林大团聚体含量远高于刺槐林、滇柏林等类型林地,团聚体能够有效固定有机碳成分,促进土壤有机碳含量提升,进而改善微生物生存环境,并为微生物生长繁殖和提供充足能源^[34]。因此,在种植桉木后,该地区土壤性质得到改善,供微生物利用的碳源氮源增多,进而促进微生物活性及增加微生物量。

土壤微生物量还与地表土层干扰频次、土壤结构有关,良好的土壤结构显著提高土壤微生物活性,土壤翻耕等剧烈改变土壤理化状况的农作措施常导致土壤微生物区系的改变和微生物量的下降^[35]。本研究结果显示,土壤 MBC 含量随土壤深度增加而降低,其中原始森林下层土壤 MBC 降低幅度较大(图 1),这与赵彤等^[36]研究结果一致。Idol 等^[37]研究

表明,表层土壤 MBC、MBN 含量高于深层土壤,与有机质含量和氧气的可利用性有关;同时,表层土壤结构较深层土壤结构更适合微生物的生长和繁殖,如表层土壤水热、孔隙大通气状况较好以及植被凋落物在表层土壤的累积周转等^[38],随着土层的加深微生物生存条件变差,微生物生物量的分布受到影响^[39],因而表层土壤微生物量碳含量高于深层土壤。

Ravindran 等^[40]研究表明植被类型是造成土壤 MBC 和 MBN 值差异的主要原因,植被类型对土壤 MBC、MBN 含量的影响主要是由于各演替阶段的植被组成和丰度不同,其凋落物质量和数量的差异会引起输入土壤的养分不同,进而影响土壤微生物活性。凋落物分解速率快,为土壤微生物提供的养分多,土壤微生物生物量则较大^[41]。一项通过对 106 篇文献进行全球性 Meta 分析的研究表明,森林植物丰富度下降 10% 将会导致微生物量下降 5%^[42]。同时,同树种根系的相互作用使根系在土壤中镶嵌分布广,根系密度增加,改善了土壤水分、养分的供应状况,从而促进土壤微生物的大量活动,加快土壤碳、氮等元素的循环过程和土壤矿物质的矿化过程^[43];另外,不同林型的根际环境对细菌、真菌、放线菌也有一定影响^[44],不同林型的凋落物分解速度影响土壤微生物的数量。此外,土壤土层深度也是又一影响微生物量的因素,秦华军等^[45]研究表明,在岩溶地区各坡位的表层土壤微生物量碳氮含量均大于底层,土壤微生物量对土层深度的响应比坡位更为强烈,通过多因素方差分析发现土层深度、植被类型是影响微生物量碳的显著因素(表 2),同时各植被类型下不同深度土层微生物量碳含量均存在显著差异(图 1),与上述分析结果吻合;而该二影响因素并非影响微生物量氮含量的显著因素(表 3),但各植被类型下不同深度土层微生物量氮含量差异显著(图 2),与多因素方差分析结果不完全相符,一是表明土层深度只是在一定程度上影响土壤微生物量氮含量,二是说明该研究区土壤微生物量氮含量的变化可能主要受其他土壤理化因子的影响或是受多种因素综合作用:Pietri 等^[46]研究表明 pH 是影响土壤微生物生物量的重要因素,杨文航等^[47]研究发现土壤微生物生物量碳氮与土壤有机碳和全氮之间具有显著正相关性;同时,微生物量还具有季节性的变化,Chantal 等^[48]在一个长达 37 a 的试验田上的研究结果表明降雨是影响土壤微生物量的主要生态因素。

5 结 论

(1)不同植被类型下土壤微生物量碳氮含量不同,总体趋势为:随植被正向演替先升高后降低,其中灌丛类型土壤微生物量碳氮含量最高;

(2)各植被类型土壤微生物量碳含量随土层深度增加而降低,土壤表层与深层微生物量碳含量差异显著($P<0.05$);

(3)多因素方差分析出土层深度和植被类型对土壤微生物碳含量的影响显著($P<0.05$),其中土层深度是影响土壤微生物量碳含量的极显著影响因素($P<0.01$)。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 康林玉, 刘周斌, 欧立军, 袁祖华. 土壤微生物促进作物生长发育研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2017(3): 113-116.
KANG Linyu, LIU Zhoubin, OU Lijun, YUAN Zuhua. Research progress on effects of soil microbial on the growth and development of crops[J]. *Hunan Agricultural Science*, 2017(3): 113-116.
- [3] Song D L, Xi X Y, Zheng Q, Liang G, Zhou W, Wang X. Soil nutrient and microbial activity responses to two years after maize straw biochar application in a calcareous soil[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, 180: 348-356.
- [4] 王理德, 姚拓, 王方琳, 魏林源, 郭春秀, 吴春荣, 李发明. 石羊河下游退耕地土壤微生物变化及土壤酶活性[J]. *生态学报*, 2016, 36(15): 4769-4779.
WANG Lide, YAO Tuo, WANG Fanglin, WEI Linyuan, GUO Chunxiu, WU Chunrong, LI Faming. Soil microbial and soil enzyme activity in a discontinued farmland by the lower Shiyang river[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(15): 4769-4779.
- [5] 张成霞, 南志标. 土壤微生物生物量的研究进展[J]. *草业科学*, 2010, 27(6): 50-57.
ZHANG Chengxia, NAN Zhibiao. Research progress of soil microbial biomass in China[J]. *Pratacultural Science*, 2010, 27(6): 50-57.
- [6] Jawson M D, Elliott L F, Papendick R I, Campbell G S. The decomposition of ^{14}C -labeled wheat straw and ^{15}N -labeled microbial material[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1989, 21(3): 417-422.
- [7] Gupta V, Roper M M, Kirkegaard J A, Angus J F. Changes in microbial biomass and organic matter levels during the first year of modified tillage and stubble management practices on a red earth[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1994, 32(6): 1339-1354.
- [8] 王宇, 李燕, 谭继中. 断陷盆地岩溶水赋存规律[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2003: 1-2.
WANG Yu, LI Yan, TAN Jizhong. Occurrence law of karst water in fault basin[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2003: 1-2.
- [9] 张鹏, 胡晓农, 杨慧, 任梦梦, 周孟霞, 陈梁茵. 云南蒙自断陷盆地石漠化区土壤钙形态特征[J]. *中国岩溶*, 2020, 39(3): 368-374.
ZHANG Peng, HU Xiaonong, YANG Hui, REN Mengmeng, ZHOU Mengxia, CHEN Liangyin. Characteristics of soil calcium forms of rocky desertification areas in the Mengzi fault-depression basin, Yunnan[J]. *Carsologica Sinica*, 2020, 39(3): 368-374.
- [10] 李成芳, 王忠诚, 李振炜, 徐宪立. 西南喀斯特区土壤侵蚀研究进展[J]. *中国岩溶*, 2022, 41(6): 962-974.
LI Chengfang, WANG Zhongcheng, LI Zhenwei, XU Xianli. Research progress of soil erosion in karst areas of Southwest China[J]. *Carsologica Sinica*, 2022, 41(6): 962-974.
- [11] 王宇, 张华, 张贵, 王波, 彭淑惠, 何绕生, 周翠琼. 喀斯特断陷盆地环境地质分区及功能[J]. *中国岩溶*, 2017, 36(3): 283-295.
WANG Yu, ZHANG Hua, ZHANG Gui, WANG Bo, PENG Shuhui, HE Raosheng, ZHOU Cuiqiong. Zoning of environmental geology and functions in karst fault-depression basins[J]. *Carsologica Sinica*, 2017, 36(3): 283-295.
- [12] 陈柯豪, 杜红梅, 刘春江. 云南喀斯特断陷盆地典型群落植物生态化学计量学特征[J]. *中国岩溶*, 2020, 39(6): 883-893.
CHEN Kehao, DU Hongmei, LIU Chunjiang. Characteristics of leaf ecological stoichiometry in typical plant communities in karst fault-depression basins of Yunnan Province[J]. *Carsologica Sinica*, 2020, 39(6): 883-893.
- [13] Qiu J M, Cao J H, Lan G Y, Liang Y M, Wang H, Li Q. The influence of land use patterns on soil bacterial community structure in the karst graben basin of Yunnan Province, China[J]. *Forests*, 2019, 11(1): 51.
- [14] 刘方, 王世杰, 刘元生, 何腾兵, 罗海波, 龙健. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. *生态学报*, 2005, 25(3): 639-644.
LIU Fang, WANG Shijie, LIU Yuansheng, HE Tengbing, LUO Haibo, LONG Jian. Changes of soil quality in the process of karst rocky desertification and evaluation of impact on ecological environment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (3): 639-644.
- [15] 盛茂银, 刘洋, 熊康宁. 中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应[J]. *生态学报*, 2013, 33(19): 6303-6313.
SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning. Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China karst[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(19): 6303-6313.
- [16] 张华, 王波, 王宇, 张贵, 何绕生, 代旭升, 康晓波, 蓝美宁. 云南泸西岩溶断陷盆地水循环系统及水资源循环利用方案[J]. 地

- 球学报, 2021, 42(3): 313-323.
- ZHANG Hua, WANG Bo, WANG Yu, ZHANG Gui, HE Raosheng, DAI Xusheng, KANG Xiaobo, LAN Funing. The water circulation system and water resources recycling plan of the Luxi karst fault-depression basin in Yunnan[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2021, 42(3): 313-323.
- [17] 李强. 土地利用方式对岩溶断陷盆地土壤细菌和真核生物群落结构的影响[J]. *地球学报*, 2021, 42(3): 417-425.
- LI Qiang. Land-use types leading to distinct ecological patterns of soil bacterial and eukaryota communities in karst graben basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2021, 42(3): 417-425.
- [18] 邱江梅, 曹建华, 李强. 云南岩溶断陷盆地土地利用方式对丛枝菌根真菌群落结构的影响[J]. *微生物学通报*, 2020, 47(9): 2771-2788.
- QIU Jiangmei, CAO Jianhua, LI Qiang. Influence of land use patterns on arbuscular mycorrhiza fungi community structure in the karst graben basin of Yunnan Province, China[J]. *Microbiology China*, 2020, 47(9): 2771-2788.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- LU Rukun. Soil agrochemical analysis method[M]. Beijing: Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [20] 李延茂, 胡江春, 汪思龙, 王书锦. 森林生态系统中土壤微生物的作用与应用[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1943-1946.
- LI Yanmao, HU Jiangchun, WANG Silong, WANG Shujin. Function and application of soil microorganisms in forest ecosystem[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1943-1946.
- [21] 周建斌, 陈竹君, 李生秀. 土壤微生物量氮含量、矿化特性及其供氮作用[J]. *生态学报*, 2001, 21(10): 1718-1725.
- ZHOU Jianbin, CHEN Zhujun, LI Shengxiu. Contents of soil microbial biomass nitrogen and its mineralized characteristics and relationships with nitrogen supplying ability of soils[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1718-1725.
- [22] 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[J]. *生态学报*, 2009, 29(8): 4112-4118.
- XU Huaqin, ZHANG Jiaen, FENG Lifang, QUAN Guoming, MAO Danjuan, QIN Zhong. Effects of different land use patterns on microbial biomass carbon and nitrogen in Guangdong Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4112-4118.
- [23] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. *土壤*, 1997, 29(2): 61-69.
- HE Zhenli. Soil microbial biomass and its significance in nutrient cycling and environmental quality assessment[J]. *Soils*, 1997, 29(2): 61-69.
- [24] 从怀军, 成毅, 安韶山, 李第红. 黄土丘陵区不同植被恢复措施对土壤养分和微生物量C、N、P的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(4): 217-221.
- CONG Huaijun, CHENG Yi, AN Shaoshan, LI Dihong. Changes of soil nutrient and soil microbial biomass C, N and P in different plant rehabilitation on the loess hilly area of Ningxia[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(4): 217-221.
- [25] 刘玉杰, 王世杰, 刘秀明, 刘方. 茂兰喀斯特植被演替中土壤微生物量碳氮研究[J]. *地球与环境*, 2011, 39(2): 188-195.
- LIU Yujie, WANG Shijie, LIU Xiuming, LIU Fang. Research on soil microbial biomass carbon and nitrogen at the different stages of vegetation succession in the Maolan karst area[J]. *Earth and Environment*, 2011, 39(2): 188-195.
- [26] 叶莹莹, 刘淑娟, 张伟, 舒世燕, 杨珊, 王克林. 喀斯特峰丛洼地植被演替对土壤微生物生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(21): 6974-6982.
- YE Yingying, LIU Shujuan, ZHANG Wei, SHU Shiyan, YANG Shan, WANG Kelin. Dynamics of soil microbial biomass and soil enzyme activity along a vegetation restoration gradient in a karst peak-cluster depression area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(21): 6974-6982.
- [27] 杨刚, 何寻阳, 王克林, 黄继山, 陈志辉, 李有志, 艾关荣. 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.
- YANG Gang, HE Xunyang, WANG Kelin, HUANG Jishan, CHEN Zhihui, LI Youzhi, AI Guanrong. Effects of vegetation types on soil micro-biomass carbon, nitrogen and soil respiration[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(1): 189-191.
- [28] 黄靖宇, 宋长春, 宋艳宇, 刘德燕, 万忠梅, 廖玉静. 湿地垦殖对土壤微生物量及土壤溶解有机碳、氮的影响[J]. *环境科学*, 2008, 29(5): 1380-1387.
- HUANG Jingyu, SONG Changchun, SONG Yanyu, LIU Deyan, WAN Zhongmei, LIAO Yujing. Influence of freshwater marsh tillage on microbial biomass and dissolved organic carbon and nitrogen[J]. *Environmental Science*, 2008, 29(5): 1380-1387.
- [29] 蒋跃利, 赵彤, 闫浩, 黄懿梅, 安韶山. 黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(6): 62-68.
- JIANG Yueli, ZHAO Tong, YAN Hao, HUANG Yimei, AN Shaoshan. Effect of different land uses on soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in three vegetation zones on loess hilly area[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33(6): 62-68.
- [30] 严嘉慧, 周岐海, 蒋云伟, 陈济宇, 李强, 李忠义. 长期不同施肥措施下岩溶水稻土可培养细菌群落变化及其主要影响因素[J]. *微生物学通报*, 2020, 47(9): 2833-2847.
- YAN Jiahui, ZHOU Qihai, JIANG Yunwei, CHEN Jiyu, LI Qiang, LI Zhongyi. Variation of cultivable bacterial community structure and the main influencing factors in karst paddy soil under different fertilization regimes[J]. *Microbiology China*, 2020, 47(9): 2833-2847.
- [31] 徐阳春, 沈其荣, 雷宝坤, 储国良, 王全洪. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 549-552.
- XU Yangchun, SHEN Qirong, LEI Baokun, CHU Guoliang, WANG Quanhong. Effect of long-term no-tillage and applica-

- tion of organic manure on some properties of soil fertility in rice/wheat rotation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 549-552.
- [32] Liu B X, Shao M A. Modeling soil-water dynamics and soil-water carrying capacity for vegetation on the Loess Plateau, China[J]. *Agricultural Water Management*, 2015, 159: 176-184.
- [33] 喻国军, 谢晓尧. 喀斯特地区造林对土壤团聚体稳定性及微生物碳代谢活性的影响[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(6): 21-27, 36.
YU Guojun, XIE Xiaoyao. Effects of afforestation on soil aggregate stability and microbial carbon metabolism activity in karst area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2020, 27(6): 21-27, 36.
- [34] 刘晶, 张跃伟, 张巧明, 徐少君. 土地利用方式对豫西黄土丘陵区土壤团聚体微生物生物量及群落组成的影响[J]. *草业科学*, 2018, 35(4): 771-780.
LIU Jing, ZHANG Yuewei, ZHANG Qiaoming, XU Shaojun. Effect of different land use types on soil aggregates microbial biomass and community composition in the loess hilly region of west Henan[J]. *Pratacultural Science*, 2018, 35(4): 771-780.
- [35] 张成娥, 梁银丽, 贺秀斌. 地膜覆盖玉米对土壤微生物量的影响[J]. *生态学报*, 2002, 22(4): 508-512.
ZHANG Cheng'e, LIANG Yinli, HE Xiubin. Effects of plastic cover cultivation on soil microbial biomass[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 508-512.
- [36] 赵彤, 闫浩, 蒋跃利, 黄懿梅, 安韶山. 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. *生态学报*, 2013, 33(18): 5615-5622.
ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, HUANG Yimei, AN Shaoshan. Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the loess hilly area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(18): 5615-5622.
- [37] Idol T W, Pope P E, Ponder J F. Changes in microbial nitrogen across a 100-year chronosequence of upland hardwood forests[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(5): 1662-1668.
- [38] 于秀丽. 莫莫格湿地土壤微生物量碳动态及与酶活性的关系[J]. *东北林业大学学报*, 2020, 48(4): 59-63.
YU Xiuli. Interactions between soil microbial biomass carbon and soil enzyme activities in Momoge National Nature Reserve[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2020, 48(4): 59-63.
- [39] 张成娥, 陈小莉, 郑粉莉. 子午岭林区不同环境土壤微生物生物量与肥力关系研究[J]. *生态学报*, 1998, 18(2): 3-5.
ZHANG Cheng'e, CHEN Xiaoli, ZHENG Fenli. Study on relationship between soil microbial biomass and fertility in different environments of Ziwwuling forest area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(2): 3-5.
- [40] Ravindran A, Yang S S. Effects of vegetation type on microbial biomass carbon and nitrogen in subalpine mountain forest soils[J]. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 2015, 48(4): 362-369.
- [41] 涂志华, 尉永键, 范志平, 秦依婷, 王善祥, 韩青, 邹艺华, 杨兆明. 太子河流域不同类型水源涵养林土壤微生物生物量碳、氮的季节动态[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(7): 2139-2147.
TU Zhihua, WEI Yongjian, FAN Zhiping, QIN Yiting, WANG Shanxiang, HAN Qing, ZOU Yihua, YANG Zhaoming. Seasonal variations of soil microbial biomass C and N in different types of water conservation forest in the headstream of Taizi river watershed[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37 (7): 2139-2147.
- [42] Chen C, Chen H Y H, Chen X L, Huang Z Q. Meta-analysis shows positive effects of plant diversity on microbial biomass and respiration[J]. *Nature Communications*, 2019, 10(1): 1332.
- [43] 郑华, 欧阳志云, 王效科, 方治国, 赵同谦, 苗鸿. 不同森林恢复类型对土壤微生物群落的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2019-2024.
ZHENG Hua, OUYANG Zhiyun, WANG Xiaoke, FANG Zhiguo, ZHAO Tongqian, MIAO Hong. Effects of forest restoration patterns on soil microbial communities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 2019-2024.
- [44] 章家恩, 刘文高, 王伟胜. 南亚热带不同植被根际微生物数量与根际土壤养分状况[J]. *土壤与环境*, 2002, 11(3): 279-282.
ZHANG Jiaen, LIU Wengao, WANG Weisheng. Effect of rhizosphere microbes and status of rhizosphere soil nutrients under different vegetations in south subtropical region[J]. *Soil and Environment*, 2002, 11(3): 279-282.
- [45] 秦华军, 何丙辉, 赵旋池, 李源, 毛文韬, 曾清平. 西南喀斯特山区寿竹林地土壤微生物量与酶活性在不同坡位和剖面层次的分布特征[J]. *环境科学*, 2014, 35(9): 3580-3586.
QIN Huajun, HE Binghui, ZHAO Xuanchi, LI Yuan, MAO Wentao, ZENG Qingping. Influence of different slope position and profile in disporopsis pernyi forest land on soil microbial biomass and enzyme activity in southwest karst mountain of China[J]. *Environmental Science*, 2014, 35(9): 3580-3586.
- [46] Pietri J C A, Brookes P C. Substrate inputs and pH as factors controlling microbial biomass, activity and community structure in an arable soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(7): 1396-1405.
- [47] 杨文航, 秦红, 任庆水, 贺燕燕, 李晓雪, 李昌晓. 三峡库区消落带重建植被下土壤微生物生物量碳氮含量特征[J]. *生态学报*, 2017, 37(23): 7947-7955.
YANG Wenhong, QIN Hong, REN Qingshui, HE Yanyan, LI Xiaoxue, LI Changxiao. Characteristics of soil microbial biomass C and N under revegetation in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges Reservoir Region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(23): 7947-7955.
- [48] Hamel C, Hanson K, Selles F, Cruz A F, Lemke R, McConkey B, Zentner R. Seasonal and long-term resource-related variations in soil microbial communities in wheat-based rotations of the Canadian Prairie[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(8): 2104-2116.

Response of soil microbial biomass carbon and nitrogen to vegetation succession in different soil depths of karst fault basin

YAN Jiahui^{1,2}, QIU Jiangmei^{1,2}, LI Qiang^{1,2}

(1. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR & GZAR/ International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China; 2. Pingguo Guangxi, Karst Ecosystem, National Observation and Research Station, Pingguo, Guangxi 531406, China)

Abstract The karst fault basin in Yunnan Province is a typical ecological fragile area in Southwest China, and it is characterized by dramatic topographic changes, coexistence of faulted basins, basins and mountains, and seasonal drought and water shortage, so surface water erosion likely occurs. Soil microorganism promotes the circulation of nutrient elements in soil, among which microbial biomass carbon (MBC) and microbial biomass nitrogen (MBN)—the indicators of soil quality—are of great research significance. In this study, primitive forests, grasslands, artificial forests, shrubs and corn fields in the karst fault basin of Yunnan were selected as the study objects. The changes of MBC and MBN in soil were measured, and then their response to vegetation types was analyzed.

The results showed that the contents of soil MBC and MBN in shrubs were the highest, indicating that the shrubs in this study area are more conducive to the accumulation of soil MBC and MBN. In contrast, the contents of soil MBC and MBN in primary forests were lower than those in shrubs, which was considered to be the result of the decrease of effective nutrients available for vegetation growth due to the degradation of primary forests, or the intense competition between plant growth and microorganisms for nutrients in primary forests and the fact that the demand capacity of vegetation growth was greater than the conversion capacity of soil microorganisms. The study also found that the contents of MBC and MBN increased at first and then decreased with vegetation succession, which may be related to the organic matter content and oxygen availability as well as the surface layer that conforms to microbial growth conditions. The content of soil MBC decreased with the increase of soil depth. Moreover, the soil depth and vegetation type are the significant influencing factors of the content of soil MBC ($P<0.05$), and the soil depth was the most significant factor ($P<0.01$). These findings provide a theoretical basis for the control of soil erosion and rocky desertification in karst fault basin of Yunnan Province.

Key words karst, fault basin, microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen, vegetation types

(编辑 黄晨晖)