

# 岩溶区根系地下生境对土壤微生物生物量的影响

符裕红<sup>1,2</sup>, 黄宗胜<sup>1</sup>, 喻理飞<sup>1</sup>, 杨 瑞<sup>1</sup>

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州师范学院, 贵阳 550018)

**摘 要:**选择岩溶区 3 种不同的典型根系地下生境类型土壤作为研究对象(类型 I——白云岩水平产状多层空间类型、类型 II——白云岩倾斜产状多层空间类型及类型 III——白云岩直立产状多层空间类型),分析不同类型及层次对土壤微生物生物量的影响,以及土壤养分、土壤酶活性的变化。结果表明:(1)根系地下生境类型和层次对土壤微生物生物量的影响极显著( $p < 0.01$ );(2)3 种类型的土壤微生物生物量差异极显著( $p < 0.01$ ),均随土壤层次的下降而降低,类型 I 的微生物环境较差,类型 II 较好,类型 III 居中;(3)类型 I 在一定程度上能促进碳循环,类型 II 利于有机碳的循环、氮的供应,类型 III 利于磷的供应及有机物质的氧化。该研究可为探索岩溶地区的根系地下生境及其土壤条件,并为同等条件的土壤肥力评价、植被恢复技术研究提供参考。

**关键词:**土壤微生物生物量;根系地下生境;岩溶石漠化区

中图分类号:S154.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0091-05

## Effect of the Underground Root Habitat on Soil Microbial Biomass in Karst Areas

FU Yu-hong<sup>1,2</sup>, HUANG Zong-sheng<sup>1</sup>, YU Li-fei<sup>1</sup>, YANG Rui<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. Guizhou Normal College, Guiyang 550018, China)

**Abstract:** This research took three different soils in the typical root underground habitats in karst areas as the examples (Type I—dolomite level occurrence multilayer space types, Type II—dolomite tilt occurrence multilayer space types and Type III—dolomite vertical occurrence multilayer space types). The effect of the different types and different level on soil microbial biomass, the changes of the soil nutrient contents and soil enzyme activity were analyzed. The results showed: (1) the effect of the different plant root underground habitats and different spatial soil levels on soil microbial biomass was extremely significant ( $p < 0.01$ ); (2) soil microbial biomasses in three types were extremely significant different ( $p < 0.01$ ), it decreased with the decrease of soil level, the microbial environment of type I was poor, Type II was better, and Type III was between the former two; (3) type I could promote carbon cycle to a certain extent, type II benefit was conducive to organic carbon cycle, Type III was good for phosphorus supply and the oxidation of organic matter. The objectives of this research, are to explore the underground root habitat and its soil conditions, and provide the basis for evaluation of the soil fertility under the same conditions, and the research for vegetation restoration.

**Key words:** soil microbial biomass; underground root habitat; karst rocky desertification area

土壤微生物量(microbial biomass, MB)指土壤中体积小于  $5\ 000\ \mu\text{m}^3$  的生物总量<sup>[1]</sup>,包括微生物生物量碳、微生物生物量氮、微生物生物量磷和微生物生物量硫等。土壤微生物量是土壤养分的存储库和

植物养分的重要源,它是土壤有机质和土壤养分转化和循环的动力,它参与了有机质的分解、腐殖质的形成、养分的转化及循环等各个生化过程,反映了土壤肥力和养分循环的状态<sup>[2]</sup>。其中,土壤微生物量碳与

收稿日期:2012-02-08

修回日期:2012-03-02

资助项目:“211 工程”三期重点学科建设项目;国家十二五科技支撑项目“草海湿地生态系统恢复与重建关键技术与示范”(2011BAC02B02);国家“十二五”科技支撑项目“喀斯特高原峡谷石漠化综合治理与示范”(2011BAC09B01);西南喀斯特演化过程与生态系统调控(Kst200904);贵州省科技计划项目“喀斯特区次生林结构与森林分类经营技术研究”(黔科合 NY 字[2009]3052)

作者简介:符裕红(1982—),女,云南宣武人,博士研究生,研究方向为退化森林生态系统恢复。E-mail:fuyuhong0851@163.com

通信作者:喻理飞(1963—),男,贵州贵阳人,教授,博士生导师,主要从事喀斯特退化生态系统恢复研究。E-mail:gdylifei@163.com

土壤有机碳密切相关,土壤微生物量碳活性的强弱代表了土壤中有机碳分解的快慢,它是土壤肥力变化的重要指标之一<sup>[3]</sup>;土壤微生物量氮的基础含量反映了土壤供氮能力的大小,它是土壤氮素转化的重要环节,是土壤有效氮活性库的主要部分,也是土壤肥力评价的重要指标<sup>[4]</sup>;土壤微生物量磷是植物有效磷的重要来源,在一定程度上反映了土壤的供磷水平,对土壤肥力和土壤养分的有效性有重要的指示意义<sup>[5]</sup>。

岩溶地区地貌类型复杂多样、环境异质性较强,存在不同的地表生境类型<sup>[1,6]</sup>;而由于岩溶区基岩的溶蚀作用,植物根系不仅生长于地表土壤,同时也生长于地下岩石的裂缝中,形成了植物的地下根系生长空间;这种空间在一定程度上受到了岩石产状倾角的影响,导致土壤水分分布的差异<sup>[7]</sup>,使土壤环境条件发生了变化。这种类型空间对土壤微生物生物量的影响,对土壤养分的转化促进作用,对土壤酶的活性增强作用,均未见报道。这些前人对岩溶石漠化区的土壤研究主要集中于地表小生境<sup>[6,8-11]</sup>,对岩溶区土壤微生物生物量的研究,主要是以不同恢复/退化阶段和不同植被类型/不同土地利用方式为背景的研究,且主要以微生物生物量碳为主<sup>[1,12-17]</sup>。本文同时对各典型地下根系生长空间类型的微生物生物量碳、氮、磷进行了研究,探索不同典型根系地下生境类型对土壤微生物量状况的影响,以期对岩溶区的土壤肥力评价和养分循环状态理解提供依据,促进岩溶石漠化区的植被恢复技术的研究。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于贵州省贵阳市境内,地处北纬 26°

11′—27°27′,东经 106°07′—107°17′,属亚热带湿润温和型气候;境内山峦重叠,峡谷深幽,地势起伏较大,海拔 506.5~1 762.7 m,相对高差 1 256.2 m。年平均气温为 15.3℃,年降水量 1 300 mm 左右,年平均相对湿度 77%,日照时数为 1 354 h,无霜期 270 d。境内碳酸盐岩分布广泛,主要岩石类型有石灰岩和白云岩;土壤类型多样,有黄壤、石灰土、紫色土、沼泽土和水稻土等,土壤呈条带状镶嵌分布,组合多样<sup>[18]</sup>。根据野外剖面调查,将植物地下根系生长空间划分为 18 个根系生境类型;本研究选择了其中的白云岩水平产状多层空间类型(类型Ⅰ)、白云岩倾斜产状多层空间类型(类型Ⅱ)、白云岩直立产状多层空间类型(类型Ⅲ)3 个典型类型进行土壤微生物生物量研究。

三种典型类型所属样地的基岩均为白云岩、样地面积 900 m<sup>2</sup>、海拔平均 1 278 m、坡度平均 42°、坡向 NE;各样地的岩层倾角依次为 5°,55°,87°;其中,类型Ⅰ的样地位于安迁,其优势植物种为:白栎(*Quercus fabri*)、鼠刺(*Itea chinensis*)、铁仔(*Myrsine africana*)、苔草(*Carex tristachya*)、大头艾纳香(*Blumea riparia* var. *megacephala*);类型Ⅱ的样地位于蔡家关,其优势植物种为:白栎(*Quercus fabri*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、十字苔草(*Carex cruciata*)、苔草、蕨(*Pteridium aquilinum*);类型Ⅲ的样地也位于蔡家关,其优势植物种为:白栎(*Quercus fabri*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、知风草(*Eragrostis ferruginea*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)。各典型类型的基本特征见表 1。

表 1 各典型类型基本特征

类型	名称	特征
类型Ⅰ	白云岩水平产状多层空间类型	白云岩,整体产状明显,岩层倾角范围 0~30°,剖面多为水平层状结构,地表层可能存在土壤,岩层有裂缝且层间存在破碎带夹层空间,有土壤分布,植物根系分布主要沿上述组合空间水平延伸,根系分布范围内的岩石斑块数≥2,破碎度指数较高
类型Ⅱ	白云岩倾斜产状多层空间类型	白云岩,整体产状明显,岩层倾角范围 31°~60°,剖面为层状结构,地表层可能存在土壤,岩层有裂缝且层间存在破碎带夹层空间,有土壤分布,植物根系主要分布于上述组合空间,且空间组合较其它类型丰富,根系分布范围内的岩石斑块数≥2,破碎度指数较高
类型Ⅲ	白云岩直立产状多层空间类型	白云岩,整体产状明显,岩层倾角范围 61°~90°,剖面为层状结构,地表层可能存在土壤,岩层有裂缝且层间存在破碎带夹层空间,有土壤分布,且裂缝中的土壤深度较其它类型大,植物根系分布主要沿上述组合空间向下延伸,根系分布范围内的岩石斑块数≥2,破碎度指数较高

### 1.2 土样采集

土壤采集范围为典型根系生境类型所属的样地,各样地分别设置 3 个 20 m×15 m 的样方。在各样方内根据所选择的 3 个典型类型的基本特征,分别在样方内选取 6 个有代表性的样点,同时具备样点处生境

相似和大小一致的岩石产状倾角;3 个样地共计 54 个样点。具体采样时,根据其空间特征,均选择“表层空间+下层空间”的组合形式;表层空间土壤采样深度均为 0—30 cm;下层空间由于岩石裂缝关系一般土层较深,故均以除去表层空间土壤的 100 cm 为限,

以 50 cm 分层,进行中、下层的分层采样;每层空间范围选择 4~6 个土样混合为一个土壤样品;共采集土壤样品 162 个。土壤样品采集完毕后,装入无菌袋放于带冰块的泡沫箱内,在实验室无菌台上除去杂物,过 2 mm 筛后分两份,一份存于 4℃ 冰箱,用于土壤微生物生物量及土壤酶的测试,另一份风干后用作土壤养分分析。

1.3 测定方法

土壤全氮采用蒸馏法测定;碱解氮采用扩散法;全磷、速效磷采用钼锑抗比色法;土壤有机碳采用重铬酸钾—硫酸—外加加热法<sup>[19-20]</sup>。蔗糖酶、淀粉酶的测定采用 3,5—二硝基水杨酸比色法;脲酶采用苯酚钠—次氯酸钠比色法;蛋白酶采用茚三酮比色法、磷酸酶磷酸苯二钠比色法、过氧化氢酶采用容量法;多酚氧化酶采用碘量滴定法,过氧化物酶采用容量法<sup>[21]</sup>。土壤微生物生物量碳采用熏蒸提取—容量分析法;微生物生物量氮采用熏蒸提取—茚三酮比色法;微生物生物量磷采用熏蒸提取—全磷测定法<sup>[22]</sup>。

1.4 数据处理

采用 Excel 和 SPSS 软件,对数据进行方差分析。计算各个指标的平均值、标准差和变异系数;对各类型的指标值进行加权平均值的计算,具体为  $\sqrt{(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \cdots + x_n^2)/n}$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤样品代表性检验

为检验各平行土样的相似性和代表性,利用王世杰<sup>[23]</sup>的采集原理,对土壤有机碳的原始数据进行统计分析(表 2),各类型层次土壤有机碳数值间的变异系数较小,说明各类型层次上所采集的平行土样差异较小,表明本研究所采集的土壤样品具有代表性、数据合理。

2.2 土壤微生物生物量差异检验

根据原始数据,以土壤微生物生物量对主体间双

因子:植物根系地下生长空间典型类型(类型Ⅰ、类型Ⅱ、类型Ⅲ)、空间土壤层次(表层、中层、下层)进行双因素方差分析(表 3)。针对各因变量,类型  $p < 0.01$ ;层次  $p < 0.01$ ;类型  $\times$  层次  $p < 0.01$ ,说明类型和层次及其相互作用对土壤微生物生物量均有极显著的影响,其中,  $R^2 > 0.900$  (调整的  $R^2 > 0.900$ ),说明所选择的方差分析模型具有较好的解释能力和拟合效果,表明类型和层次是影响土壤微生物生物量变化的主要因子,证明不同类型及层次间的土壤微生物生物量存在极显著差异( $p < 0.01$ )。

表 2 土壤有机碳

类型	表层		中层		下层	
	$\bar{x}$	$C_V/\%$	$\bar{x}$	$C_V/\%$	$\bar{x}$	$C_V/\%$
类型Ⅰ	2.523	10.8	1.595	2.8	1.305	3.1
类型Ⅱ	3.724	2.6	3.242	1.1	2.645	1.7
类型Ⅲ	2.581	4.2	1.468	17.8	1.056	3.3

注: $\bar{x}$  为测定的平均值,  $C_V$  为变异系数,下表同。

2.3 不同类型及层次的土壤微生物生物量变化

3 种类型的土壤微生物生物量指标中,从类型而言,土壤微生物生物量碳、微生物生物量氮表现为:类型Ⅱ > 类型Ⅲ > 类型Ⅰ;微生物生物量磷表现为:类型Ⅲ > 类型Ⅱ > 类型Ⅰ。从层次而言,所有类型中的土壤微生物生物量指标均随土壤层次的下降而降低,呈现出:表层 > 中层 > 下层的特点(表 4)。

2.4 不同类型及层次的土壤养分变化

在所有类型层次的土壤养分指标中,土壤养分元素除类型Ⅲ的全磷、速效磷,类型Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的全钾、类型Ⅰ的速效钾外,其余类型的土壤养分指标数值均随着土壤层次的下降而减小。从指标数值来看,类型Ⅱ各层次的全氮、碱解氮、速效磷、全钾、速效钾、有机质均显示出了最大值;而类型Ⅰ除全磷外,在其余土壤养分指标中显示出了最低值(表 5)。这预示了土壤养分条件的好坏,在一定程度上说明了类型Ⅱ的土壤养分条件较好,而类型Ⅰ较差。

表 3 土壤指标的方差分析

因变量	源	Ⅲ型平方和	df	均方	F	Sig.
微生物 生物量碳	类型	581625.346	2	290812.673	4716421.312	0.000
	层次	1438749.365	2	719374.682	11670000	0.000
	类型 $\times$ 层次	83510.536	4	20877.634	338595.003	0.000
微生物 生物量氮	类型	6607950.279	2	3303975.140	221400000	0.000
	层次	753714.174	2	376857.087	25250000	0.000
	类型 $\times$ 层次	277728.677	4	69432.169	4651635.035	0.000
微生物 生物量磷	类型	4.906	2	2.453	150060.830	0.000
	层次	5.337	2	2.668	163243.915	0.000
	类型 $\times$ 层次	0.908	4	0.227	13894.406	0.000

注:各土壤微生物生物量指标的  $R^2 > 0.900$  (调整的  $R^2 > 0.900$ );  $n = 162$ 。

表 4 不同类型及层次的土壤微生物生物量

名称		微生物生物量碳/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	微生物生物量氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	微生物生物量磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
类型 I	表层	468.421±0.570	242.769±0.289	0.874±0.005
	中层	312.486±0.006	201.662±0.008	0.365±0.002
	下层	269.673±0.005	180.528±0.003	0.298±0.004
	加权平均	360.458	209.917	0.573
类型 II	表层	563.158±0.379	792.066±0.032	1.033±0.003
	中层	472.618±0.036	678.945±0.005	0.826±0.003
	下层	369.525±0.029	506.517±0.003	0.735±0.006
	加权平均	475.066	669.551	0.873
类型 III	表层	497.368±0.258	353.470±0.223	1.136±0.003
	中层	296.162±0.136	216.349±0.003	0.689±0.003
	下层	248.425±0.003	202.364±0.005	0.865±0.006
	加权平均	363.686	266.270	0.915

注:表中数据为平均值±标准差。

表 5 不同类型及层次的土壤养分

名称		全氮/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	碱解氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全磷/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全钾/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有机质/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
类型 I	表层	0.32/0.087	138.74/0.024	0.07/0.090	11.47/0.020	0.46/0.056	113.45/0.030	4.35/0.108
	中层	0.11/0.042	92.14/0.004	0.07/0.047	5.98/0.013	0.75/0.019	80.80/0.013	2.75/0.028
	下层	0.03/0.095	65.96/0.032	0.06/0.094	5.50/0.038	1.06/0.037	83.11/0.017	2.25/0.031
	加权平均	0.15	98.95	0.07	7.65	0.76	92.45	3.12
类型 II	表层	1.62/0.075	263.34/0.036	0.07/0.080	13.89/0.028	1.42/0.023	289.16/0.018	6.42/0.026
	中层	0.74/0.034	173.50/0.009	0.04/0.104	10.20/0.010	1.40/0.008	182.43/0.008	5.59/0.011
	下层	0.54/0.059	137.10/0.014	0.04/0.115	9.64/0.012	1.48/0.055	153.93/0.017	4.56/0.017
	加权平均	0.97	191.32	0.05	11.24	1.43	208.51	5.53
类型 III	表层	0.36/0.087	163.87/0.029	0.05/0.126	14.57/0.025	1.25/0.059	216.89/0.064	4.45/0.042
	中层	0.24/0.079	103.90/0.003	0.06/0.071	7.53/0.009	1.21/0.033	144.86/0.014	2.53/0.178
	下层	0.10/0.117	75.93/0.010	0.03/0.106	9.56/0.008	1.27/0.011	105.22/0.024	1.82/0.033
	加权平均	0.24	114.57	0.04	10.55	1.24	155.65	2.94

2.5 不同类型及层次的土壤酶活性变化

3 种根系地下生境类型中蔗糖酶、过氧化氢酶活性为类型 I>类型 III>类型 II;淀粉酶、脲酶、蛋白酶活性为类型 II>类型 III>类型 I;多酚氧化酶活性为

类型 III>类型 I>类型 II;磷酸酶、过氧化物酶活性为类型 III>类型 II>类型 I(表 6)。所有类型中的土壤酶活性均随土壤层次的下降而降低,即表层>中层>下层。

表 6 不同类型及层次的土壤酶活性

类型	蔗糖酶/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	淀粉酶/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	脲酶/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	蛋白酶/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	磷酸酶/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	过氧化氢酶/ ( $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$ )	多酚氧化酶/ ( $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$ )	过氧化物酶/ ( $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$ )
类型 I	表层	1.94/0.018	0.23/0.095	6.15/0.008	18.43/0.003	11.31/0.006	0.07/0.039	0.16/0.017
	中层	1.06/0.022	0.19/0.021	4.27/0.009	13.82/0.001	8.65/0.001	0.42/0.014	0.11/0.054
	下层	0.82/0.007	0.16/0.022	3.89/0.003	11.38/0.003	7.4/0.002	0.38/0.006	0.08/0.036
	加权平均	1.27	0.20	4.77	14.54	9.12	0.29	0.12
类型 II	表层	1.37/0.017	0.35/0.162	9.15/0.004	19.11/0.002	11.68/0.005	0.06/0.046	0.10/0.114
	中层	0.83/0.004	0.26/0.022	7.68/0.005	16.39/0.001	9.58/0.001	0.04/0.017	0.07/0.023
	下层	0.61/0.010	0.22/0.028	5.96/0.001	14.99/0.002	8.10/0.001	0.03/0.076	0.05/0.046
	加权平均	0.94	0.28	7.60/0.173	16.83	9.79	0.04	0.08
类型 III	表层	1.27/0.023	0.35/0.066	7.31/0.005	16.56/0.003	13.79/0.007	0.11/0.050	0.21/0.029
	中层	0.99/0.038	0.11/0.033	6.14/0.008	14.31/0.003	10.98/0.001	0.07/0.065	0.14/0.020
	下层	0.83/0.006	0.08/0.040	5.99/0.006	13.67/0.001	9.65/0.001	0.06/0.038	0.11/0.023
	加权平均	1.03	0.18	6.48/0.092	14.84	11.47	0.08	0.15

根据研究结果,结合土壤微生物生物量的功能特征,发现类型Ⅰ(白云岩水平产状多层空间类型)的土壤微生物生物量碳、微生物生物量氮、微生物生物量磷含量为3个类型中最低;其土壤养分状况最差;蔗糖酶、过氧化氢酶活性表现为最高;说明在这种类型条件下的土壤微生物环境较差,对土壤有机碳分解较慢、土壤养分的转化能力较差、对氮和磷的供应水平较低。而类型Ⅱ(白云岩倾斜产状多层空间类型)的土壤微生物生物量碳、微生物生物量氮在3种类型中含量最高;土壤养分状况最好;淀粉酶、脲酶、蛋白酶活性表现为最高;说明类型Ⅱ(白云岩倾斜产状多层空间类型)的环境条件更加适于有机碳的分解循环及氮素的供应和转化。类型Ⅲ(白云岩直立产状多层空间类型)的土壤微生物生物量磷为3种类型之首;多酚氧化酶、磷酸酶、过氧化物酶活性最高,说明该类型对于磷素的供应和转化最为有利。在3种类型中,土壤微生物生物量具有明显的层次性,有机碳的分解、有效养分转化能力均逐层降低,逐层失去其生物化学转化的能力和有效养分供应的优势。

以上结果说明,土壤微生物生物量反映了土壤同化和矿化能力的大小,土壤微生物量碳直接促进了土壤有机碳的转化<sup>[3,22]</sup>,土壤微生物量氮提高了土壤的供氮能力<sup>[4,22]</sup>,土壤微生物量磷加速了土壤有效磷的周转<sup>[5,22]</sup>。土壤微生物量是土壤酶的创造者,土壤微生物量越高,其土壤酶活性就越强;土壤酶是土壤活性蛋白质,来源于土壤微生物的分泌和植物根系的分泌,表征了土壤养分转化和运移能力的强弱<sup>[24]</sup>,它催化土壤中一切生物化学反应;从某种意义上而言,土壤微生物生物量的高低反映了土壤养分的转化和供应能力。

### 3 结论与讨论

(1) 经过分析,表明所采集的土壤样品代表性强;类型和层次对土壤微生物生物量指标的影响显著;不同类型和不同层次的土壤微生物生物量指标之间的差异极显著( $p < 0.01, n = 162$ )。

(2) 3种典型类型下的土壤微生物生物量差异极显著( $p < 0.01, n = 162$ ),且随土壤层次的下降而降低;类型Ⅱ(白云岩倾斜产状多层空间类型)的微生物环境较好,类型Ⅰ(白云岩水平产状多层空间类型)微生物环境较差,类型Ⅲ居中。上述3种不同的典型类型,由于岩石产状倾角的差异的影响,导致土壤水分的分布状况发生变异<sup>[9]</sup>,造成了土壤水热条件的重新分配,从而使土壤微生物环境发生变化,导致土壤微生物生物量出现差异。

(3) 在不同典型类型条件下,土壤养分和土壤酶活性均随层次的下降而减小;土壤养分状况表现为:类型Ⅱ > 类型Ⅲ > 类型Ⅰ;蔗糖酶、过氧化氢酶活性表现为类型Ⅰ最高,淀粉酶、脲酶、蛋白酶活性表现为类型Ⅱ最高,多酚氧化酶、磷酸酶、过氧化物酶活性表现为类型Ⅲ最高。类型Ⅰ在一定程度上能促进碳素的循环和转化,类型Ⅱ利于有机碳的循环转化、氮素的转化及供应;类型Ⅲ利于磷素的转化及供应,同时对有机物质的氧化较为有效。因此,土壤微生物环境的改善,可以增加土壤微生物生物量,增强土壤碳素循环能力、提高土壤养分的转化和供应能力、增强污染物的转化能力。土壤养分、土壤酶、土壤微生物是森林生态系统的重要组成部分;土壤养分影响了植物的生长、土壤酶参与了许多重要的生物化学及物质循环、土壤微生物加速了物质循环及能量流动。

本研究结合了土壤养分、土壤酶和土壤微生物生物量,探讨了不同类型根系地下生境对其的影响,总结了各典型类型环境条件下的土壤状况及差异,对指导岩溶地区的植被恢复技术和生态修复具有一定价值,同时也是对根系地下生境的一种有益探索。

#### 参考文献:

- [1] 魏媛,张金池,喻理飞.退化喀斯特植被恢复过程中土壤微生物生物量碳的变化[J].南京林业大学学报:自然科学版,2008,32(5):71-75.
- [2] 赵先丽,程海涛,吕国红,等.土壤微生物生物量研究进展[J].气象与环境学报,2006,22(4):68-72.
- [3] 黎荣彬.土壤微生物生物量碳研究进展[J].广东林业科技,2008,24(6):65-69.
- [4] 唐玉霞,贾树龙,孟春香,等.土壤微生物生物量氮研究综述[J].中国生态农业学报,2002,10(2):76-78.
- [5] 崔纪超,毛艳玲,杨智杰,等.土壤微生物生物量磷研究进展[J].亚热带资源与环境学报,2008,3(4):80-89.
- [6] 朱守谦.喀斯特森林生态研究(Ⅲ)[M].贵阳:贵州科技出版社,2003.
- [7] 张志才,陈喜,石朋,等.岩石对喀斯特峰丛山体土壤水分分布特征的影响[J].水土保持通报,2008,28(6):41-44.
- [8] 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.
- [9] 朱守谦.喀斯特森林生态研究(Ⅱ)[M].贵阳:贵州科技出版社,1997.
- [10] 杨瑞,喻理飞,安明态.岩溶区小生境特征现状分析:以茂兰自然保护区为例[J].贵州农业科学,2008,36(6):168-169,192.
- [11] 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):1056-1062.

(下转第100页)

57.23%,总体上呈现由南向北逐渐降低的趋势,从南部的 90%以上逐渐降低到北部的 40%以下。

(4)  $B$  因子平均值为 0.345,按值域范围可分为 3 个区域,低  $B$  值区主要包括基岩山地区和陕西省黄龙县、宜川县、宝塔区南部,平均  $B$  值低于 0.01;高  $B$  值区主要为草原风沙区,平均  $B$  值接近于 1;剩余区域为中  $B$  值区, $B$  值大致为 0.01~0.61。

(5)  $B$  因子与年均降雨量、植被覆盖度关系密切。年均降雨量与植被覆盖度成正比关系,与  $B$  因子成反比关系。

#### 参考文献:

- [1] Liu Bao-yuan, Zhang Ke-li, Xie Yun. An empirical Soil Loss Equation. Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference, Vol. II: Process of Soil Erosion and Its Environment Effect[M]. Beijing: China: Qinghua University Press, 2002.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning[M]. Agriculture Handbook, No. 537. USDA, 1978.
- [3] 张岩,袁建平,刘宝元. 土壤侵蚀预报模型中的植被覆盖与管理因子研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1033-1036.
- [4] Renard K G, Foster G R, Weeies G A. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)[M]. Agriculture Handbook, No. 703. USDA, 1997.
- [5] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(1): 1-9.
- [6] 于东升,史学正,吕喜玺. 低丘红壤区不同土地利用方式的  $C$  值及可持续性评价[J]. 水土保持学报, 1998, 12(1): 71-76.
- [7] 张岩,刘宝元,史培军,等. 黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子计算[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1050-1056.
- [8] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. 应用 USLE 和地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 19-24.
- [9] 全国土地利用数据库 2010 年更新规范修订组. 全国土地利用数据库 2010 年更新实施方案与技术标准[S]. 北京, 2007.
- [10] 谢云,刘宝元. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6-11.
- [11] 王占礼. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 32-36.
- [12] 江忠善,王志强,刘志. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 10(1): 1-9.
- [13] 全国耕地资源动态遥感监测验收报告[R]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2011.
- [14] 韩鹏,倪晋仁. 水土保持对黄河中泥泥沙粒径影响的统计分析[J]. 水利学报, 2001(8): 69-74.
- [15] 吴小玲. 喀斯特地区土壤微生物量效应研究[J]. 湖南农业科学, 2011(15): 79-82.
- [16] 崔晓晓,王圳,王纪杰,等. 喀斯特峡谷区植被恢复过程中土壤性质变化[J]. 福建林学院学报, 2011, 31(2): 165-170.
- [17] 朴河春,洪业汤,袁芷云,等. 贵州喀斯特地区土壤中微生物量碳的季节性变化[J]. 环境科学学报, 2000, 20(1): 106-110.
- [18] 申宏岗,曹建华,潘根兴. 岩溶生态系统中土壤微生物量氮含量及其变化规律[J]. 生态环境, 2007, 16(6): 1728-1732.
- [19] 王新洲,胡忠良,杜有新. 喀斯特生态系统中乔木和灌木林根际土壤微生物生物量及其多样性的比较[J]. 土壤, 2010, 42(2): 224-229.
- [20] 魏媛,张金池,俞元春. 贵州高原退化喀斯特森林恢复过程中土壤微生物生物量碳、微生物熵的变化[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(4): 487-490.
- [21] 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1982: 404-440.
- [22] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 229-291.
- [24] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274-339.
- [25] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物生物量测定方法及应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 65-84.
- [26] 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.
- [27] Paz Jimenez M D, Horra A M, Peuzzo L, et al. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(4): 302-306.

(上接第 95 页)