

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.03.009

徐广平,何成新,张德楠,等. 桂西南岩溶山地不同土地利用方式土壤微生物量及其活性特征[J]. 广西植物, 2013, 33(3): 331—337

Xu GP, He CX, Zhang DN, et al. Soilmicrobial biomass and active characters under different land-use types in karst mountain areas of southwest Guangxi [J]. Guihaia, 2013, 33(3): 331—337

桂西南岩溶山地不同土地利用方式土壤 微生物量及其活性特征

徐广平, 何成新, 张德楠, 赵志国, 陆树华, 姚月锋, 黄玉清*

(广西壮族自治区 广西植物研究所, 广西 桂林 541006)
(中国科学院)

摘要: 以广西平果县石漠化典型岩溶山地为研究区域, 选择海拔接近的稀疏次生林地、灌丛、荒草地、裸地和农田等 5 种主要土地利用方式为研究对象, 研究土壤微生物生物量及其活性的变异特征。结果表明: 在不同土地利用方式下, 随着植被的恢复, 土壤养分含量不断提高, 大小顺序表现为次生林>灌丛>农田>荒草地>裸地。土壤微生物量和呼吸强度变化显著($P<0.05$), 其中微生物量总体呈上升趋势, 次生林和灌丛增幅较大, 荒草地和裸地增幅较小; 土壤基础呼吸强度除荒草地之外均显著增加, 和土壤养分含量的变化趋势相一致。代谢熵($q\text{CO}_2$)变化规律不同, 大小关系表现为: 灌丛>农田>次生林>荒草地>裸地。不同土地利用方式下, 由于相应地上、地下资源输入等环境因素的改变导致了土壤微生物量的差异性。为实现桂西南石漠化地区岩溶山地土壤生态系统的健康发展, 从土壤生物学角度出发, 积极推进植被生态恢复工程, 尽可能减少人为活动对土地的干扰程度更有利于提高土壤质量。

关键词: 岩溶山地; 土地利用方式; 土壤微生物生物量

中图分类号: Q142.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2013)03-0331-07

Soilmicrobial biomass and active characters under different land-use types in karst mountain areas of southwest Guangxi

XU Guang-Ping, HE Cheng-Xin, ZHANG De-Nan, ZHAO Zhi-Guo,
LU Shu-Hua, YAO Yue-Feng, HUANG Yu-Qing*

(Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China)

Abstract: Five kinds of land-use types with the same altitude at typical rocky desertification mountainous region of Pingguo County in Guangxi were chosen to investigate the changes in soil microbial biomass and its differentiation characteristics under different land-use types in karst mountain areas of southwest Guangxi. Five kinds of land uses included secondary forest(SF), bushwood(B), waste grassland(WG), waste land(WL) and cropland(C). The results showed that soil nutrient contents were improved constantly with the vegetation rehabilitation in different land-use types. The rate order of soil nutrient contents was $\text{SF}>\text{B}>\text{C}>\text{WG}>\text{WL}$ relatively. Soil microbial biomass and respiration changed significantly($P<0.05$). There was an increasing trend for soil microbial biomass as a whole, second-

收稿日期: 2013-03-28 **修回日期:** 2013-04-17

基金项目: 广西自然科学基金(2012GXNSFBA053074); 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(科发人教字[2011]180号); 国家科技支撑计划项目(2011BAC09B02); 广西植物研究所基本业务费(桂植业 11004); 岩溶动力学重点实验室基金(KDL2011-09)

作者简介: 徐广平(1977-), 男, 甘肃天水人, 博士, 助理研究员, 主要从事植物生态学的研究, (E-mail) xugpgx@163.com。

***通讯作者:** 黄玉清, 博士, 研究员, 主要从事植物生理生态学的研究, (E-mail) hyqcoco@gxib.cn。

ry forest and bushwood increased more than waste grassland and waste land obviously. Except for waste grassland, soil basic respiration intensity of other land-use types increased significantly and showed the same trend. The rate order of soil nutrient contents metabolic quotient was $B > C > SF > WG > WL$ similarly. Different environmental factors, such as the input of the above-ground and underground resources in different land-use types, which resulted in the difference of quantity of soil microbial biomass. To promote the healthy development of the soil ecosystem in karst mountain areas of southwest Guangxi, more vegetation ecological restoration projects should be implemented from the perspective of soil biology, and more human disturbance activity should be avoided at the same time.

Key words: karst mountain areas; land-use types; soil microbial biomass

土壤微生物量是土壤生命活体的主要组成部分(姚槐应等, 2006), 在有机质分解、土壤养分循环和转化各个过程中起着关键作用。土壤微生物对其生存环境十分敏感, 是土壤生态系统变化的预警及敏感指标, 对维持土壤健康具有至关重要的作用(周丽霞等, 2007)。土地利用/土地覆被变化是“国际地圈与生物圈计划(IGBP)”和“全球变化对人类影响和响应计划(HDP)”的一个重要项目, 不同土地利用变化对生物地球化学过程有重要的影响。研究微生物生物量在土壤中的变化, 对于了解不同土地利用方式对土壤生态系统的影响有重要的意义。

岩溶生境成土过程缓慢、土层薄, 极易受到不可逆转的破坏。桂西南广西平果县果化镇因其石漠化严重、生态环境恶劣而成为我国西南(广西)广泛分布的岩溶峰丛洼地的典型地段(蒋忠诚等, 2011)。近年来在广西平果县, 随着大力实施生态恢复与重建工程措施, 部分区域植被逐渐得到恢复。目前已有学者对该地区土壤立地划分与生态恢复(吕仕洪等, 2005)、农村能源结构调整(何成新等, 2007)、土壤改良(罗为群等, 2008)等进行了相关研究, 而作为土壤敏感指标之一的土壤微生物生物量及活性特征, 缺少后续的研究报道。不同土地利用方式下, 喀斯特植被恢复中, 以微生物作为土壤质量的指标必须考虑其时空变异, 在不同气候或区域植被下, 微生物量活性特征可能迥异(龙健等, 2003; 魏媛等, 2008; 梁月明等, 2010)。本文以广西平果县果化镇龙何屯典型岩溶山地不同土地利用方式为例, 探讨不同土地利用方式是否改变了土壤微生物量及活性特征的格局, 为岩溶地区生态恢复与重建提供科学依据以及该地区农业生产可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广西平果县果化镇龙何屯($107^{\circ}22'$

$40'' \sim 107^{\circ}25'30''$ E, $23^{\circ}22'30'' \sim 23^{\circ}24'00''$ N), 该区属于典型的岩溶峰丛洼地地貌, 海拔 110~570 m。该区年均温度为 $19.1 \sim 22.0$ $^{\circ}\text{C}$, 年降水量约 1 500 mm, 季节分配不均, 5~8 月约占年降水量的 70%, 而 9 月至翌年 4 月仅占 30%。土壤主要为棕色石灰土, 生态环境的突出特点是岩石裸露、土壤浅薄、植被覆盖率低, 区域石漠化十分严重。绝大多数植物是原生植被遭受彻底破坏后残留下来的次生林地、灌木和草本种类等。乔木种类仅有任豆树(*Zenia insignis*)、苦楝(*Melia azedarach*)、柴龙树(*Apodytes dimidiata*)和南酸枣(*Choerospondias axillaris*)等; 灌木主要有红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、灰毛浆果楝(*Cipadessa cinerascens*)和黄荆条(*Vitex negundo*)等(吕仕洪等, 2005)。

1.2 试验方法

2012 年 6 月, 根据研究区域土地格局现状, 采用空间代替时间的方法选择了稀疏次生林(Secondary forest, SF)、灌丛(Bushwood, B)、荒草地(Waste grassland, WG)、撂荒地(裸地)(Waste land, WL)和农田(Cropland, C)5 个主要的不同土地利用方式, 农田作为对照。每种土地利用方式下, 各选择 5 块约 $20\text{ m} \times 25\text{ m}$ 的地块采集土壤样品, 每块样地根据“S”采样路线采集 5 个 0~15 cm 层土壤混合成一个土壤样品, 共计 125 个样。将每个样地采集的土壤样品, 装在与菌自封袋中, 迅速置于密封冰袋容器中冷藏后带回实验室于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存, 然后备 2 份处理, (1 份鲜样, 1 份风干样)。鲜样用于土壤微生物指标的分析; 其余样品常规处理, 用于土壤理化性质的分析。

土壤容重采用环刀法; 土壤粒径用激光粒度分析仪测定(MasterSizer 2000, 英国); 土壤有机碳(SOC)采用 TOC 仪测定(岛津 5000A, 日本)测定; 土壤全氮用元素分析仪 VARIO EL III 型(德国, ELEMENTAR)测定; 全磷用硫酸—高氯酸消煮, 钼锑抗分光光度法(Agilent 8453 紫外—可见分光光

度计,美国);全钾用硫酸-高氯酸消煮,火焰光度法(BWB XP 多元素火焰光度计,英国)。速效磷用钼锑抗比色法,速效氮用碱解-扩散法,速效钾用火焰光度法(鲍士旦,2000)。

土壤微生物生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)和微生物量磷(MBP)由氯仿熏蒸法测定(姚槐应等,2006),熏蒸后提取液分别由 TOC 仪、FIA-6100 型流动注射仪和紫外-可见分光光度计测定。土壤基础呼吸的测定:在 50 mL 的烧杯中放置调整为 50%田间持水量的土样 30 g(烘干基),把烧杯和盛有 10 mL 1 mol/L NaOH 溶液的容器一并放入密闭的广口瓶,在 25 ℃ 的黑暗条件下放置 10 d。在第 2 天、第 5 天和第 10 天用滴定法测定所产生的 CO₂,基础呼吸以 10 d 累计产生的 CO₂量度量。代谢熵用每毫克微生物量碳的基础呼吸率表示,微生物熵用微生物量碳占总有机碳(TOC)的百分比表示。

表 1 不同土地利用方式下土壤主要物理性质
Table 1 Main soil physical properties in different land-use types

土地利用类型 Land-use type	砂粒 Sand (%) (0.05~2 mm)	粉粒 Silt (%) (0.002~0.05 mm)	粘粒 Clay (%) (<0.002 mm)	容重 Bulk density (g·cm ⁻³)	总孔隙度 (%) Total soil porosity	含水量 (%) Soil water content
SF	2.88±0.35d	46.25±5.09a	50.87±1.09a	1.01±0.16d	60.22±1.32a	30.04±0.59a
B	10.85±0.66b	43.22±4.67b	44.79±0.86b	1.12±0.22c	56.38±1.64b	25.24±1.06b
WG	12.08±0.63b	42.21±6.11c	45.71±1.12b	1.39±0.28b	47.77±1.51c	22.17±1.55c
WL	20.15±0.58a	41.05±4.72c	38.80±1.35c	1.52±0.35a	41.01±1.19d	18.56±2.01d
C	7.22±0.54c	44.36±3.85b	49.56±1.23a	1.25±0.31b	52.09±1.24b	22.02±1.33c

注：土地利用方式为：次生林(SF)、灌丛(B)、荒草地(WG)、裸地(WL)和农田(C)(表 2、3 同)。表中数值为平均值±标准差,同列字母不同表示差异显著($P<0.05$),字母相同表示差异不显著($P>0.05$)。下同。
Note: Five different land use types are Secondary Forest(SF), Bushwood(B), Waste Grassland(WG), Waste Land(WL) and Cropland(C). Data followed by different small letters in the same columns mean significant differences($P>0.05$). The same below.

生林。土壤总孔隙度大小关系表现为次生林>灌丛>农田>荒草地>裸地。土壤含水量大小关系表现为次生林>灌丛>荒草地>农田>裸地。

2.2 土壤养分含量的变化

从表 2 看出,不同土地利用方式下,土壤养分含量发生了较大的变化。除了土壤全氮大小呈现为次

1.3 数据分析
所有数据在 Excel 2003 中整理,用 SPSS 13.0 软件分析。

2 结果与分析

2.1 土壤主要物理性质的变化

土地利用方式的不同会改变土壤环境状况,进而导致土壤性质的变化。从表 1 可见,土壤主要物理性质变化趋势不尽相同,在不同土地利用方式下存在显著差异($P<0.05$)。相对于农田对照,土壤砂粒含量,大小关系表现为裸地>荒草地>灌丛>农田>次生林,土壤粉粒含量则相反,次生林>农田>灌丛>荒草地>裸地。土壤粘粒含量大小关系表现为次生林>农田>荒草地>灌丛>裸地。土壤容重大小关系表现为裸地>荒草地>农田>灌丛>次

生林>农田>灌丛>荒草地>裸地的趋势外,土壤有机碳、全磷、全钾、速效氮、速效磷和速效钾均一致表现为次生林>灌丛>农田>荒草地>裸地。土壤全氮较高的原因,主要与耕作土壤大量施氮肥有关。通过适当增加退耕还林还草的比例,调整耕地面积,会更有利于土壤质量的提高和改善。

表 2 不同土地利用方式下土壤养分含量
Table 2 Soil nutrition contents in different land-use types

土地利用类型 Land-use type	有机碳 (g·kg ⁻¹) Organic carbon	全氮 (g·kg ⁻¹) Total nitrogen	全磷 (g·kg ⁻¹) Total phosphorus	全钾 (g·kg ⁻¹) Total potassium	速效氮 (mg·kg ⁻¹) Available nitrogen	速效磷 (mg·kg ⁻¹) Available phosphorus	速效钾 (mg·kg ⁻¹) Available kalium
SF	42.01±3.26a	4.13±0.55a	1.46±0.47a	4.44±0.28a	411.25±20.14a	5.22±0.55a	88.35±5.21a
B	31.11±2.54b	2.21±0.24b	1.35±0.45a	4.13±0.31a	288.37±18.36b	4.13±0.48a	80.12±4.22a
WG	10.32±1.78d	2.06±0.32c	1.15±0.29c	2.04±0.22c	196.32±15.55d	2.67±0.39c	32.26±2.36c
WL	4.01±1.45e	1.34±0.11d	0.67±0.30d	1.06±0.27d	101.21±14.98e	1.26±0.40d	10.44±3.22d
C	18.36±2.44c	2.55±0.26b	1.24±0.34b	3.19±0.19b	226.67±20.01c	3.01±0.33b	40.88±2.34b

2.3 土壤微生物量及活性

土壤微生物量反映了土壤同化和矿化能力的大小,是土壤活性大小的标志,也是土壤肥力的一项重要参数。表 3 反映了不同土地利用方式下土壤微生物量及活性指标的变化,可以看出,土壤微生物量碳、土壤微生物量氮、土壤微生物量磷和土壤基础呼吸,大小关系一致表现为次生林>灌丛>农田>荒草地>裸地,和土壤养分的变化趋势基本一致。代谢熵大小关系则表现为灌丛>农田>次生林>荒草地>裸地。微生物碳熵大小关系表现为次生林>农

田>灌丛>荒草地>裸地。以上不同变化表明随着植被的恢复,次生林土壤有机碳在不断累积,反映出土壤质量在逐渐恢复,土壤生态环境得到改善。稀疏次生林由于恢复较好的群落层次结构、较少的人为干扰活动,水土流失相对较低,林下水分等环境因素较好,随着枯枝落叶等物质的回归和分解,使其土壤养分和微生物含量增加,微生物活性较强,表现为较强的基础呼吸强度。现有的农田利用方式不利于土壤有机碳的积累,而农田长期单施化肥,使土壤团聚体受到破坏,微生物的生存环境变得恶劣,可能也

表 3 不同土地利用方式下土壤微生物学指标
Table 3 Soil microbial properties in different land-use types

土地利用类型 Land-use type	微生物量碳 Microbial biomass carbon (mg · kg ⁻¹)	微生物量氮 Microbial biomass nitrogen (mg · kg ⁻¹)	微生物量磷 Microbial biomass phosphate (mg · kg ⁻¹)	土壤基础呼吸 Basal soil respiration (μgC · g ⁻¹ soil · h ⁻¹)	代谢熵 Metabolic quotient (μgC · mg ⁻¹ MBC · h ⁻¹)	微生物碳熵 Microbial biomass C (% of SOC)
SF	780.01±32.62a	50.26±2.20a	80.01±4.23a	4.11±1.05a	5.27±0.03ab	2.90±0.12a
B	521.29±25.66b	42.69±2.37b	55.74±3.79b	2.94±1.11b	5.64±0.04a	1.72±0.12b
WG	298.78±20.42d	30.01±1.98c	11.05±3.11d	1.26±1.24c	4.22±0.06b	1.86±0.08b
WL	101.02±22.58e	22.35±1.34d	7.33±1.05e	0.18±0.07d	1.78±0.01c	1.61±0.11c
C	316.29±20.88c	36.77±3.01c	22.05±2.56c	1.75±0.89c	5.53±0.04a	2.52±0.14a

是土壤微生物生物量碳较低的原因之一。

2.4 土壤微生物量及活性与土壤养分之间的相关分析

由表 4 可得,MBC 与土壤有机碳、全氮、全钾、速效氮、速效磷、速效钾和土壤含水量呈极显著正相关,与全磷呈显著正相关,与土壤容重呈负相关。MBN 与土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾和土壤含水量呈极显著正相关,与土壤孔隙度呈显著正相关,与土壤容重呈负相关。MBP 与土壤有机碳、速效磷和土壤含水量呈极显著正相关,与全氮、

全磷、全钾、速效氮和速效钾呈显著正相关,与土壤容重呈负相关。土壤基础呼吸与土壤有机碳、全氮、全钾、速效氮、速效磷、速效钾和土壤含水量呈极显著正相关,与全磷和土壤孔隙度呈显著正相关,与土壤容重呈显著负相关。代谢熵与土壤有机碳、全磷、全钾、速效氮、速效磷和土壤孔隙度呈显著正相关,与土壤容重呈显著负相关。而微生物 C 熵与各指标之间均呈现负相关关系,与土壤有机碳、全钾、速效钾和土壤容重呈显著负相关。相对而言,代谢熵和微生物 C 熵

表 4 土壤微生物特征与土壤养分含量的相关性分析
Table 4 Correlation coefficient among microbial properties and soil nutrition contents

	有机碳 SOC	全氮 TN	全磷 TP	全钾 TK	速效氮 AN	速效磷 AP	速效钾 AK	容重 BD	孔隙度 SP	含水量 SWC
微生物碳 MBC	0.98 * *	0.98 * *	0.81 *	0.92 * *	0.99 * *	0.99 * *	0.96 * *	-0.59	0.84	0.99 * *
微生物氮 MBN	0.99 * *	0.94 * *	0.88 * *	0.98 * *	0.98 * *	0.99 * *	0.97 * *	-0.74	0.92 *	0.96 * *
微生物磷 MBP	0.99 * *	0.93 *	0.69 *	0.91 *	0.95 *	0.95 * *	0.96 *	-0.53	0.77	0.96 * *
土壤呼吸 BSR	0.99 * *	0.96 * *	0.84 *	0.96 * *	0.99 * *	0.99 * *	0.98 * *	-0.65 *	0.87 *	0.98 * *
代谢熵 MQ	0.74 *	0.64	0.94 *	0.89 *	0.76 *	0.81 *	0.79	-0.85 *	0.85 *	0.69
微生物 C 熵 MBCQ	-0.71 *	-0.50	-0.59	-0.80 *	-0.60	-0.63	-0.69 *	-0.78 *	-0.71	-0.52

注: * 表示差异显著($P<0.05$), * * 表示差异极显著($P<0.01$)。表 5 中同。
Note: * and * * indicate significant differences at $P<0.05$ and $P<0.01$ respectively. The same as Table 5.

与各生物指标相关性较弱。

表 5 土壤微生物特征指标之间的相关性表明,MBC、MBN、MBP 和土壤基础呼吸均呈极显著正相关。代谢熵与 MBC、MBN 和土壤基础呼吸呈显著

正相关。可见本研究选择的不同土壤微生物量、基础呼吸强度等微生物学指标,不仅相互之间关系密切,而且与主要土壤养分因子相关性显著,说明在桂西南喀斯特地区土壤微生物量及其活性与土壤养分

表 5 土壤微生物特征之间的相关性分析
Table 5 Correlation coefficient among microbial properties

	微生物碳 MBC	微生物氮 MBN	微生物磷 MBP	土壤呼吸 BSR	代谢熵 MQ	微生物 C 熵 MBCQ
微生物碳 MBC	1.00	0.97 * *	0.97 * *	0.99 * *	0.71 *	0.57
微生物氮 MBN		1.00	0.95 * *	0.99 * *	0.83 *	-0.72
微生物磷 MBP			1.00	0.97 * *	0.62	-0.66
土壤呼吸 BSR				1.00	0.77 *	0.66
代谢熵 MQ					1.00	-0.69
微生物 C 熵 MBCQ						1.00

循环和能量转化关系密切,具有协同性,可作为评价土壤肥力的指标。

3 结论与讨论

3.1 土壤理化性质的变化

土壤有机质与土壤砂粒含量呈负相关,与土壤粉粒、粘粒含量呈正相关(Dolan,2006)。本研究结果与此基本吻合,经相关性分析,土壤养分含量和粉粒、粘粒呈正相关。从裸地到次生林阶段,砂粒含量逐渐降低,粉粒和粘粒含量依次增加。这主要是由于随着植被的恢复,逐渐形成凋落物层,增加了凋落物的养分回归,有利于土壤团粒结构的形成。土壤容重的大小反映了土壤结构、透气性、透水性能以及保水能力的高低。农田 0~15 cm 层土壤由于受人为耕作影响,影响了土层通透性能,容重较小,不利于土壤的气体交换和渗透性的提高。荒草地是由于人为的干扰活动(如放牧等)和缺乏有效的管理措施,增加了对土壤表层的容重。在次生林和灌丛土地利用方式下,使土壤容重的改善能力得到提高,这与其它退耕还林的研究结果类似(王静等,2008)。

土壤孔隙度按其当量直径大小可分为毛管孔隙与非毛管孔隙(鲍士旦,2000)。土壤总孔隙度反映了土壤吸收和保持水分状况,也表征了土壤滞留和下渗水分状况,决定着土壤保(肥)蓄(水)功能的高低和土壤通(气)透(水)功能的强弱(郭静等,2008)。本研究中,次生林和灌丛显著增加了土壤总孔隙度,这归结于不同植物群落类型根系的穿插作用,使土壤中形成了许多大的孔隙,尤其是根系残体、分泌物等对土壤颗粒的胶结作用,促使形成了更多的大孔隙。土壤含水量是反映土壤理化性能的重要指标,土壤含水量越大,水土保持的能力越好。除了撂荒地(裸地)外,其它利用方式均提高了土壤表层含水量,这主要是由于植被盖度增加,有效增加了对降雨量的截留,使表层的腐殖质含量相对较高。

当农田转变为森林后,土壤有机碳才会积累(Post & Kwon,2000)。李跃林等(2002)研究发现,造林 14 年后土壤有机碳贮量显著提高。土壤中的有机碳主要来源于动植物残体的分解,包括土壤微生物及其各级代谢产物和土壤腐殖质。在桂西南喀斯特岩溶山地,多年的刀耕火种,农田化学肥料施用量的增加,虽然农田土壤全氮暂时不是很低,但其他养分,尤其是有效含量较低。在提高土壤有机碳含量和改善土壤结构方面,植被恢复林地,如次生林则表现了较大潜力。有机碳是土壤肥力的重要指标,土壤中微生物数量和活性受到土壤有机碳制约。

3.2 土壤微生物量及活性特征

土壤微生物量能灵敏地反映环境因子、土地经营模式和生态功能的变化过程,常被用来评价土壤质量和反映微生物群落状态与功能的变化。一般土壤微生物量碳(MBC)为土壤有机碳的 1%~4%,土壤微生物量氮(MBN)为土壤全 N 的 2%~6%(李阜棣,1996)。土壤有机质会强烈影响土壤微生物量的数量和活性(Vásquez-Murrieta *et al.*,2007)。本研究结果表明,土壤微生物生物量在不同土地利用方式间差异显著($P<0.05$),并随着植被的恢复而增大。这与魏媛等(2008)和梁月明等(2010)的研究结果基本一致。土壤微生物量碳、土壤微生物量氮和土壤微生物量磷分别在次生林较高,且差异显著($P<0.05$)。可能的原因是在次生林土壤中粉粒、粘粒和有机碳含量较高,较高的粉粒和粘粒含量可以固持较多的有机物质。同时,次生林和灌丛,人为干扰相对较少,以自然恢复过程为主,枯落物回归多,有利于土壤微生物的活动与繁殖。

土壤基础呼吸常用来判断土壤有机残体的分解速度和强度,是土壤生物活性的总指标(David *et al.*,2002)。不同土地利用方式土壤基础呼吸与土壤有机碳、全氮、全钾、速效氮、速效磷、速效钾、土壤含水量、微生物量碳、微生物量氮和微生物量磷呈极显著正相关,这类似梁月明等(2010)对广西环江喀斯特峰丛洼

地植被恢复过程中土壤微生物学特性变化结果。

代谢熵代表了微生物群落的维持能力大小和对基质的利用效率,是生态系统演替土壤中的一个生态物理指标(Anderson & Domsch, 1993)。不同土地利用方式下,次生林土壤有机碳含量较高,其土壤微生物量碳、微生物量氮、微生物量磷、基础呼吸和代谢熵也最高,并与其余三种土地利用方式下土壤微生物基础呼吸和代谢熵具有显著差异。这可能是因为随着地表聚积大量的枯枝落叶,增加了土壤有机碳含量,且有充分的营养源及适宜的水分和通气状况较好,有利于微生物量的增加。而在合适的温度和湿度下,土壤呼吸取决于微生物量的大小。这也暗示在喀斯特石漠化地区,通过增加枯枝落叶的回归(或秸秆还田和施有机肥)是提高土壤微生物生物量及其对养分固持能力的一个有效途径。土壤微生物量呈现出与土壤有机碳密切相关,次生林较多的凋落物为其提供大量的能量,并且其相对发达的根系也为土壤微生物提供大量的根系分泌物,尤其在喀斯特地区,植物根系对植被恢复有重要的生态作用。在桂西南喀斯特地区,降雨量多但分配不均,土壤含水率在一年中的动态变化也是制约土壤呼吸的一个主导因子。

粗质地的土壤比细质地的土壤会有较多的活性微生物种群(Franzluebbers *et al.*, 1999)。本研究结果表明,在次生林,土壤质地比其它三种利用方式下土壤质地较细(粘粒、粉粒的含量分别为 50.87%、46.25%),但其土壤中具有较多的活性微生物种群,依赖有机质的微生物总量较高,所以其土壤呼吸强度较大,土壤微生物代谢熵也较高。在农业用地中微生物碳熵随着耕作年限增加而迅速下降(Insamh & Domsch, 1988),虽然土壤微生物熵并不能完全代替土壤有机碳来反映土壤质量的变化趋势,但土壤微生物熵的变化可以作为有机碳变化的早期指标(刘守龙等, 2006)。在本研究中,随着多年的种植耕作,农田微生物碳熵也较低,这可能主要与喀斯特地区简单粗放的传统耕作方式有关。农田由于人类的生活需求而采取以物质产出为主的耕作方式,为开放的生态系统,人为活动影响较大,对土壤的胁迫作用较强,由于作物产生的有机物质大部分被取走,归还到土壤中的物质较少,微生物量和活性并不是很高。本研究中,与林地相比,农田 MBC 降低,这与其它研究结果一致(吴金水, 1994)。撂荒草地,因其地表裸露面积较大,水土流失严重,也导致其微生物

量和活性降幅较大。而次生林土壤的养分含量相对较高,其土壤中微生物碳熵也较高,并且与其它土地利用方式下土壤微生物碳熵差异显著($P < 0.05$)。这是由于次生林土壤中有机碳含量较高,其土壤有机碳的有效性可能处于支配地位,驱动了土壤中微生物碳熵的增加。

可见,在桂西南喀斯特岩溶山地,不同土地利用方式下,随着植被恢复,土壤理化性质有显著改善,土壤微生物特性对土壤土地利用方式的变化敏感,土壤微生物生物量、微生物碳熵、土壤呼吸逐渐增大。土壤微生物特性变化规律基本一致,而且均与土壤基质的养分含量,如有机碳等存在密切相关关系。这表明土壤养分含量是影响微生物生物量的重要因素,有机碳和总氮、总磷含量高就能够为微生物在进行自身合成与代谢中提供足够的碳、氮、磷物质来源。这表明通过植被恢复措施在该区域有利于土壤生物学特性的改善,预示着喀斯特地区的土壤质量和肥力随着植被恢复过程在逐渐提高。如果通过加强植被恢复生态工程措施和合理的人为管理措施,宜林则林,宜草则草,通过荒山植树造林或者退耕还林还草工程措施,调整和改善现有的土地利用方式,则可以增加土壤总孔隙度、土壤表层的含水量,增强土壤的供水和保墒能力,提高土壤养分含量和土壤质量,会更有利于改善石漠化地区岩溶山地的土壤生态环境。因此,继续加强植被恢复生态工程措施或退耕还林后续工程的科研观测与系统评价,是十分必要的。

参考文献:

- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析[M]北京:中国农业出版社
蒋忠诚,李先琨,胡宝清,等. 2011. 广西岩溶山区石漠化及其综合治理研究[M]北京:科学出版社
李阜棣. 1996. 微生物学[M]. 北京:中国农业出版社
吴金水. 1994. 土壤有机质及其周转动力学[M]//何电源. 中国南方土壤肥力及栽培作物施肥. 北京:科学出版社:28—62
姚槐应,黄昌勇. 2006. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京:科学出版社
Anderson TH, Domsch KH. 1993. etabolic quotient for CO_2 ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils[J]. *Soil Biol Biochem*, **25**:393—395
David C, Mark D, John H. 2002. Soil respiration from four aggrading forested watersheds measured over a quarter century[J]. *For Ecol Manag*, **157**:247—253
Dolan JR. 2006. Microbial biogeography[J]. *J Biogeogr*, **33**(2): 199—200
Franzluebbers AJ, Haney RL, Hons FM. 1999. Relationships of chloroform fumigation incubation to soil organic matter pools[J]. *Soil Biol Biochem*, **31**:395—405

- Guo J(郭静), Yao XY(姚孝友), Liu X(刘霞), *et al.* 2008. Soil hydrology with four of ecological restoration measures in a mountainous area of central Shandong Province (不同生态修复措施下鲁中山区土壤的水文特征)[J]. *J Zhejiang For Coll* (浙江林学院学报), **25**(3): 342—349
- He CX(何成新), Huang YQ(黄玉清), Lü SH(吕仕洪), *et al.* 2007. ion process of “Rocky Desert” region, improvement of farm fuel and its ecological efficiency(石漠化地区农村能源结构调整及其生态经济效应分析—以广西平果县龙何屯为例)[J]. *Guihaia* (广西植物), **27**(6): 855—860
- Insam H, Domsch KH. 1988. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites[J]. *Microb Ecol*, **15**(2): 177—188
- Li YL(李跃林), Peng SL(彭少麟), Zhao P(赵平), *et al.* 2002. A study on the soil carbon storage of some land use types in Heshan, Guangdong, China(鹤山几种不同土地利用方式的土壤碳储量研究)[J]. *J Mount Sci* (山地学报), **20**(5): 548—552
- Liang YM(梁月明), He XY(何寻阳), Su YR(苏以荣), *et al.* 2010. Dynamic changes of soil microbial properties in karst peak-cluster depression area during vegetation restoration(喀斯特峰丛洼地植被恢复过程中土壤微生物特性)[J]. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **29**(5): 917—922
- Liu SL(刘守龙), Su YR(苏以荣), Huang DY(黄道友), *et al.* 2006. Response of micro-to-corg to land use and fertilization in subtropical region of China(微生物熵对亚热带地区土地利用及施肥制度的响应)[J]. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), **39**(7): 1 411—1 418
- Long J(龙健), Li J(李娟), Teng Y(滕应), *et al.* 2003. Biological characteristics of soil quality under process of karst environment's degradation in Guizhou plateau(贵州高原喀斯特环境退化过程土壤质量的生物学特性研究)[J]. *J Soil Water Conserv* (水土保持学报), **17**(2): 47—50
- Luo WQ(罗为群), Jiang ZC(蒋忠诚), Qin XQ(覃小群). 2008. Contrast experimental study on the methods of calcareous soil amelioration in karst mountainous area—a case study of Longhe hamlet, pingguo county, Guangxi(岩溶石山区石灰土改良方法及对比试验研究——以广西平果县龙何屯为例)[J]. *Earth Environ* (地球与环境), **36**(1): 87—92
- Lü SH(吕仕洪), Lu SH(陆树华), Li XK(李先琨), *et al.* 2005. Site Types of the rocky desertification area and preliminary ecologic restoration test in Pingguo County, Guangxi(广西平果县石漠化地区立地划分与生态恢复试验初报)[J]. *Arsolog Sin* (中国岩溶), **24**(3): 196—201
- Vásquez-Murrieta MS, Govaerts B, Dendooven L. 2007. Microbial biomass C measurements in soil of the central highlands of Mexico[J]. *Appl Soil Ecol*, **35**(2): 432—440
- Wang J(王静), Guo N(郭妮), Han TH(韩天虎), *et al.* 2008. Ecological benefit assessment of grassland restoration project—a case study of Maqu and Anxi County in Gansu Province(退牧还草工程生态效益评—以甘肃省玛曲县和安西县为例)[J]. *Pratac Sci* (草业科学), **25**(12): 35—40
- Wei Y(魏媛), Zhang JC(张金池), Yu LF(喻理飞). 2008. Changes of soil microbial biomass carbon along successional processes of degraded karst vegetation(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]. *J Nanjing For Univ: Nat Sci Edit* (南京林业大学学报·自然科学版), **32**(5): 71—75
- Zhou LX(周丽霞), Ding MM(丁明懋). 2007. Soil microbial characteristics as bio-indicators of soil health(土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用)[J]. *Biodiv Sci* (生物多样性), **15**(2): 162—171
- Ke LN(柯丽娜), Wang QM(王权明). 2006. The key techniques and applications of the hyperspectral remote sensing application to geology(高光谱分辨率遥感在植被监测应用中的关键技术及应用)[J]. *J Taiyuan Norm Univ* (太原师范学院学报), **5**(1): 74—77
- Li JS(李俊生), Gao JX(高吉喜), Zhang XL(张晓岚), *et al.* 2006. Biodiversity of Guiqingshan Natural Reserve and its sustainable development strategies(贵清山自然保护区生物多样性现状和可持续发展对策)[J]. *Res Environ Sci* (环境科学研究), **19**(3): 41—45
- Li XK(李先琨), Su ZM(苏宗明), Lü SH(吕仕洪), *et al.* 2003. The spatial pattern of natural vegetation in the karst regions of Guangxi and the ecological significantly for ecosystem rehabilitation and reconstruction(广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复重建的意义)[J]. *J Mount Sci* (山地学报), **21**(2): 129—130
- Liu J, Diamond J. 2005. China's environmental in a globalizing world[J]. *Nature*, **435**: 1 179—1 186
- Liu J, Ouyang Z, Pimm SL, *et al.* 2003. Protecting China's biodiversity[J]. *Science*, **300**: 1 240—1 241
- LópezPujol J, Zhang FM, Ge S. 2006. Plant biodiversity in China: richly varied, endangered, and in need of conservation[J]. *Biodiv Conserv*, **15**: 3 983—4 026
- LópezPujol J, Zhao AM. 2004. China: a rich flora needed of urgent conservation[J]. *Orsis*, **19**: 48—49
- Loreau M, Naeem S, Inchausti P, *et al.* 2001. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges[J]. *Science*, **294**: 804—808
- Myers N, Knoll AH. 2001. The biotic crisis and the future of evolution[J]. *P Natl Acad Sci USA*, **98**: 5 389
- Pereira HM, Leadley PW, Proenca V, *et al.* 2010. Scenarios for global biodiversity in the 21st century[J]. *Science*, **330**: 1 496—1 501
- Sang W, Ma K, Axmacher JC. 2011. Securing a future for China's wild plant resources[J]. *Bio Sci*, **61**: 720—725
- Wang XP(王献溥), Guo K(郭柯). 2006. The achievement and prospect of fulfilling “Convention on Biological Diversity” in China(中国履行生物多样性公约的成就和展望)[J]. *Guihaia* (广西植物), **26**(3): 249—256
- Yu SH(余顺惠), Liu YC(刘玉成). 2000. Discussion on the Key Protected Species in Chongqing Municipality(重庆的国家重点保护植物研究)[J]. *Chongqing Environ Sci* (重庆环境科学), **22**(4): 16—19
- Zhang ZH(张忠华), Hu G(胡刚), Liang SC(梁士楚). 2008. Numerical classification and species diversity of *Cinnamomum burmannii* community in karst hills of Guilin(桂林岩溶石山阴香群落的数量分类及其物种多样性研究)[J]. *Guihaia* (广西植物), **28**(2): 191—196

(上接第 363 页 Continue from page 363)