

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.04.006

徐广平, 顾大形, 潘复静, 等. 不同土地利用方式对桂西南岩溶山地土壤酶活性的影响[J]. 广西植物, 2014, 34(4): 460–466

Xu GP, Gu DX, Pan FJ, et al. Effects of different land-use types on soil enzyme activity in karst mountain areas of Southwest Guangxi[J]. *Guihaia*, 2014, 34(4): 460–466

# 不同土地利用方式对桂西南岩溶山地土壤酶活性的影响

徐广平<sup>1,2</sup>, 顾大形<sup>1</sup>, 潘复静<sup>1</sup>, 孙英杰<sup>1</sup>, 罗艾滢<sup>1</sup>, 何成新<sup>1</sup>, 黄玉清<sup>1\*</sup>(1. 广西壮族自治区 广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 2. 国土资源部/广西岩溶动力学  
中国科学院

重点实验室(中国地质科学院岩溶地质研究所), 广西 桂林 541004)

**摘要:** 以桂西南典型喀斯特地区不同土地利用方式(裸地、农田、荒草地、灌丛和次生林)为对象, 研究不同土地利用方式下土壤酶活性的变化规律。结果表明: 土地利用方式对土壤酶活性影响显著, 除蔗糖酶外, 脲酶、蛋白酶、淀粉酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶和纤维素酶总体变化规律相似, 次生林土壤酶活性显著高于其它土地利用方式, 其次是灌丛和农田, 荒草地较低, 裸地酶活性最低; 总体上相同土地利用方式下湿季酶活性高于干季。相关性分析表明土壤脲酶、蛋白酶、淀粉酶、碱性磷酸酶、纤维素酶和多酚氧化酶等相互之间关系密切, 并与土壤主要养分含量呈显著相关性, 是土壤质量评价的一个参考指标。不同土地利用方式下土壤微环境、植被构成等因素导致了土壤酶活性的差异性。为实现桂西南岩溶山地生态系统的健康发展, 在目前人为干扰不可避免的情况下, 该区域应尽量选择以林地恢复为主的土地利用方式。

**关键词:** 岩溶山地; 土地利用方式; 土壤酶活性**中图分类号:** Q948.113 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2014)04-0460-07

## Effects of different land-use types on soil enzyme activity in karst mountain areas of Southwest Guangxi

XU Guang-Ping<sup>1,2</sup>, GU Da-Xing<sup>1</sup>, PAN Fu-Jing<sup>1</sup>, SUN Ying-Jie<sup>1</sup>,  
LUO Ai-Ying<sup>1</sup>, HE Cheng-Xin<sup>1</sup>, HUANG Yu-Qing<sup>1\*</sup>(1. *Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China;*  
2. *Karst Dynamics Laboratory, MLR and GZAR, (Institute of Karst Geology, CAGS), Guilin 541004, China*)

**Abstract:** Five kinds of land use types with the same altitude at a typical rocky desertification mountainous region of Pingguo County in Guangxi were chosen to investigate the changes in soil enzyme activity under different land use in karst mountain areas of Southwest Guangxi. Five kinds of land use included secondary forest (SF), bushwood (B), waste grassland (WG), waste land (WL) and cropland (C). The results showed that different land use types significantly influenced the enzyme activity. Soil urease, proteinase, amylase, alkaline phosphatase, acid phosphatase, peroxidase, polyphenol oxidase and cellulase behaved the same change besides of invertase. The rate order of soil enzyme activity was SF>B>C>WG>WL relatively. With an exception of polyphenol oxidase, soil enzymes with the same land use at wet season were higher than that in dry season on the whole. Correlation analysis showed a significant re-

收稿日期: 2013-08-08 修回日期: 2013-11-12

基金项目: 国家自然科学基金(41361057); 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, 博士, 副研究员, 主要从事植物生态学研究, (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研究, (E-mail) hyqcoco@gxib.cn。

lation among soil urease, proteinase, amylase, alkaline phosphatase, cellulose, polyphenol oxidase and so on, which also related soil nutrition content with indicators, therefore, soil enzyme could be useful for reflecting soil quality. The significant difference was observed in different land use types owing to special factors such as framing soil micro-environment and plant species composition. Now, human interference was inevitable in this region, in order to realize the healthy development in typical rocky desertification mountainous region of Pingguo County in Guangxi, the soil enzyme changes should be taken into consideration, the land use types with rare disturbance and woodland restoration mode of land use should be chosen as far as possible.

**Key words:** karst mountain areas; land-use types; soil enzyme activity

土壤酶活性是土壤生物学特性的重要内容,可以反映土壤生物化学过程的方向和强度。土壤酶主要来源于动植物的分泌及其残体和微生物的分泌等(关松萌,1986)。土壤酶活性的高低不仅与土壤生态系统的退化有关,而且与土壤类型、植被特征(植物群落生物量、植被盖度等)、土壤微生物数量、土壤动物类群等因素有关(Groffman *et al.*, 2001)。土壤酶对环境变化极为敏感,酶对土壤的物理、化学性质及微生物具有相关性,土壤酶是人为干扰、土壤污染、土壤管理等方面的敏感性指标(林娜等,2010)。土地利用变化可改变土壤环境状况并影响其许多生态过程,在不同土地利用方式下,研究土壤酶活性的变化有助于了解土壤肥力状况及其演变过程。

岩溶地区石漠化是一种脆弱的退化生态系统,破坏后其恢复十分困难,退化生态系统的恢复最重要的是植被恢复,而土壤基质是植被恢复首要的环境因子。在广西平果县岩溶石漠化地区,长期以来,不合理的土地开垦、资源过度利用已导致该区域生态系统严重退化。随着近年来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了恢复(蒋忠诚等,2011)。目前,已有一些学者对该地区土壤立地划分与生态恢复(吕仕洪等,2005)、退化植被土壤种子库(欧祖兰等,2006)、农村能源结构调整(何成新等,2007)、土壤改良(罗为群等,2008)、树种育苗与造林(吕仕洪等,2009)等进行了相关研究,但缺少从土壤酶角度探讨该区域不同土地利用方式下的土壤生态效应。

本文选择广西平果县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干、湿季下土壤酶活性对土壤质量演替过程的响应,从土壤酶学角度揭示该地区较为合理的土地利用方式,为桂西南喀斯特石漠化区域的生态恢复与重建技术提供科学依据。

## 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°22'40"~107°25'30" E, 23°22'30"~23°24'00" N),该区属于典型的岩溶峰丛洼地地貌,海拔 110~570 m。该区年平均温度为 19.1~22.0 °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

在 2012 年 6 月(雨季)和 11 月(干季)中旬,根据研究区域土地格局现状,采用空间代替时间的方法,选择处于同一海拔的稀疏次生林(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 m×25 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 250 个样。将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 °C 冰箱中保存。去除土样中的植物和动物残体等杂质,混合均匀后风干、磨细过 100 目筛,置于干燥阴凉处密封保存,用于测定土壤

酶活性及土壤理化性质。

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);土壤速效氮用碱解蒸馏法,速效磷用钼锑抗比色法(鲍士旦,2000)。

土壤酶活性测定(关松荫,1986):脲酶用苯酚钠比色法,以 37 °C 在脲酶作用下 24 h 内每 1 g 土中生成的  $\text{NH}_3\text{-N}$  质量表示( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ );蛋白酶用铜盐比色法,以 37 °C 在蛋白酶作用下 24 h 内每 1 g 土中生成的氨基氮质量表示( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ );蔗糖酶和淀粉酶用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以 37 °C 在蔗糖酶作用下 24 h 内每 1 g 土中生成的葡萄糖质量表示(单位: $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ );过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法,以在过氧化氢酶作用下每 1 g 土 1 h 所消耗的  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KMnO}_4$  的体积表示( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ );多酚氧化酶用碘量滴定法,以在多酚氧化酶作用下每 1 g 土中消耗的  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{I}_2$  的体积表示( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ );磷酸酶用磷酸苯二钠比色法,碱性磷酸酶以 37 °C 碱性条件在磷酸酶作用下 24 h 内每 1 g 土中生成的  $\text{P}_2\text{O}_5$  质量表示( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ );纤维素酶活性采用 3,5 二硝基水杨酸比色法,酶活性以 1 g 土壤在 37 °C 下培养 72 h 后生成的葡萄糖的量表示( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )。

表 1 不同土地利用方式下土壤养分特征

Table 1 Soil nutrition characteristic in different land use types

土地利用类型 Land use type	有机碳 Organic carbon ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全氮 Total nitrogen ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全磷 Total phosphorus ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全钾 Total potassium ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效氮 Available nitrogen ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效磷 Available phosphorus ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	pH Potential of hydrogen
次生林 SF	42.01a	4.13a	1.46a	4.44a	411.25a	5.22a	7.57a
灌丛 B	31.11b	2.21b	1.35a	4.13a	288.37b	4.13a	7.32a
荒草地 WG	10.32d	2.06c	1.15c	2.04c	196.32d	2.67c	6.85b
裸地 WL	4.01e	1.34d	0.67d	1.06d	101.21e	1.26d	6.74b
农田 C	18.36c	2.55b	1.24b	3.19b	226.67c	3.01b	6.69b

注:表中数值为平均值,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( $P > 0.05$ )。

Note: Data followed by different small letters in the same column mean significant differences at 0.05 level.

不同土地利用方式下,蔗糖酶活性显著不同( $P < 0.05$ )。各样地蔗糖酶活性总体上表现为灌丛显著大于次生林、农田、荒草地和裸地( $P < 0.05$ ),但灌丛和次生林间无显著差异。

相同土地利用方式湿季下的农田、荒草地和裸地土壤蔗糖酶活性明显高于干季,但灌丛土壤蔗糖

## 1.3 数据分析

所有数据在 Excel 2003 中整理,采用 SPSS13.0 软件分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤酶活性的变化

从表 2 和表 3 可以看出,土壤脲酶活性在不同土地利用方式下按裸地、荒草地、灌丛、农田、次生林的大小顺序依次升高,差异显著( $P < 0.05$ )。这与随着植被恢复措施的增加,植物群落盖度增大,使其土壤水分含量增加,土壤肥力逐渐提高的规律相符合(表 1)。农田土壤脲酶活性并不是最高,主要可能是在耕作过程中大量使用化肥等,有效性不高,影响了土壤脲酶活性的提高。相同土地利用方式湿季下的土壤脲酶活性明显高于干季。不同土地利用方式下蛋白酶的活性显著不同( $P < 0.05$ ),次生林最大,灌丛和农田次之,裸地最小,随着植被恢复,土壤蛋白酶活性呈上升的趋势。相同土地利用方式湿季下的土壤蛋白酶活性明显高于干季。淀粉酶是一种土壤有机物质的分解酶,随着植被恢复的增加,土壤淀粉酶的活性逐渐增强,次生林和灌丛高于农田,可见多年粗放传统的耕作方式,使农田土壤有机质的分解能力在不断地减弱。相同土地利用方式湿季下的农田、灌丛、荒草地和裸地土壤淀粉酶活性明显高于干季,但次生林土壤淀粉酶干季高于湿季。

酶干季略高于湿季。灌丛和次生林土壤蔗糖酶活性高是因为其林下植被多样性逐渐增加,凋落物回归增多,和其根系分泌物作用等促进了蔗糖酶活性的提高,这也指示了土壤的生物活性和肥力有一定的改善。陈红军等(2008)研究表明,农田人为施用某种使土壤蔗糖酶活性加强的生物农药,可使农田蔗

表 2 湿季不同土地利用方式下土壤酶活性

Table 2 Soil enzyme activity in different land use types in wet season

土壤酶 Soil enzyme	农田 C	次生林 SF	灌丛 B	荒草地 WG	裸地 WL
脲酶 Urease ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	108.7± 6.14c	231.2± 6.22a	182.4± 9.30b	80.5± 4.28d	21.3± 4.01e
蛋白酶 Proteinase ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	32.35± 2.71c	82.35± 4.22a	50.02± 3.68b	26.11± 2.42c	15.22± 3.01d
蔗糖酶 Invertase ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	15.66± 1.22b	21.08± 1.41a	22.39± 1.05a	11.31± 1.23c	6.21± 1.13d
淀粉酶 Amylase ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	0.24± 0.09b	0.46± 0.23a	0.32± 0.12a	0.18± 0.09c	0.11± 0.05c
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	1.29± 0.28c	3.86± 0.96a	2.02± 0.21b	1.11± 0.16c	0.75± 0.14d
酸性磷酸酶 Acid phosphatase ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	10.01± 0.83b	17.26± 1.66a	13.22± 1.18b	4.62± 1.23c	1.02± 0.24d
过氧化氢酶 Peroxidase ( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ )	1.25± 0.47b	1.46± 0.86a	1.33± 0.72a	0.92± 0.24c	0.13± 0.11d
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase ( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ )	5.86± 0.54ab	7.85± 0.39a	6.22± 0.47a	3.42± 0.33c	1.23± 0.88d
纤维素酶 Cellulose ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	0.41± 0.09b	0.78± 0.13a	0.52± 0.09a	0.29± 0.08b	0.12± 0.05c

注: 表中数值为平均值±标准差, 同行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: Data followed by different small letters in the same row mean significant differences at 0.05 level, the same below.

表 3 干季不同土地利用方式下土壤酶活性

Table 3 Soil enzyme activity in different land use types in dry season

土壤酶 Soil enzyme	农田 C	次生林 SF	灌丛 B	荒草地 WG	裸地 WL
脲酶 Urease ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	77.8± 3.21c	186.4± 5.62a	116.3± 7.12b	46.1± 3.71d	12.1± 1.36e
蛋白酶 Proteinase ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	20.59± 1.27c	68.27± 2.65a	41.15± 2.22b	18.85± 2.22c	9.87± 1.38d
蔗糖酶 Invertase ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	10.27± 1.04b	17.16± 1.14a	23.24± 1.23a	7.57± 0.85c	2.01± 0.47d
淀粉酶 Amylase ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	0.19± 0.11b	0.61± 0.19a	0.26± 0.14a	0.12± 0.08b	0.07± 0.04c
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	1.03± 0.14c	2.87± 0.62a	1.44± 0.15b	0.86± 0.07c	0.42± 0.08d
酸性磷酸酶 Acid phosphatase ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	6.27± 0.58c	11.07± 1.12a	9.32± 1.04b	2.21± 1.11d	0.65± 0.09e
过氧化氢酶 Peroxidase ( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ )	0.97± 0.35b	1.13± 0.59a	1.01± 0.47a	1.08± 0.17a	0.11± 0.05c
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase ( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ )	7.01± 0.33b	10.12± 0.23a	7.34± 0.29b	5.12± 0.27c	1.68± 0.55d
纤维素酶 Cellulose ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	0.22± 0.07b	0.51± 0.11a	0.29± 0.12b	0.18± 0.05c	0.08± 0.04d

糖酶活性会有所提高。但本研究区域与其不一致, 人为活动对农田的影响较大, 在一定范围内并没有对其土壤蔗糖酶活性有所大的改善作用。

磷酸酶活性高低对土壤有机磷的分解转化及其

生物有效性有重要的影响(刘方等, 2008)。本研究中, 碱性磷酸酶活性表现为次生林最大, 灌丛次之, 裸地最小。农田和荒草地之间碱性磷酸酶活性无显著性差异, 但其碱性磷酸酶均显著低于其他不同土地利用方式( $P < 0.05$ ), 这类似于土壤有效磷含量的变化规律, 农田中有效磷含量低于次生林和灌木, 这可能是由于农田长期受人为因素影响, 有效磷含量没有得到提高。碱性、酸性磷酸酶活性大小顺序都是次生林>灌丛>农田>荒草地>裸地。如果增加植被恢复和农田管理措施, 在一定程度上可增强土壤的供磷能力。相同土地利用方式湿季下的土壤磷酸酶活性明显高于干季。

过氧化氢酶活性可以反映分解土壤呼吸过程中产生的过氧化氢的能力, 在一定程度上反映了土壤微生物学过程的强度(关松萌, 1986)。裸地土壤过氧化氢酶活性显著低于其它不同土地利用样地( $P < 0.05$ ), 表明土壤的解毒能力最差, 有毒物质在土壤中积累, 影响土壤质量的提高。相对于其它 3 种土地利用方式, 次生林和灌丛过氧化氢酶活性明显较高, 主要是因为随着植被生态工程的增加, 逐渐增强了土壤微生物学过程和生态功能; 而农田过氧化氢酶活性低于次生林和灌木, 则可能与长期的粗放耕作方式使土壤微生物学过程减弱有关。次生林与灌丛之间没有显著性差异, 说明在植被恢复后, 人为破坏干扰作用相对有所减小的情况下, 土壤解毒能力逐渐增强。相同土地利用方式湿季下的农田、次生林和裸地土壤过氧化氢酶活性明显高于干季, 荒草地土壤过氧化氢酶干季高于湿季。土壤中多酚氧化酶活性下降, 会造成土壤中多酚类物质的积累, 降低了土壤的解毒作用(周玮等, 2010)。土壤多酚氧化酶次生林最大, 灌丛和农田次之, 裸地最小, 这与过氧化氢酶活性变化规律类似。不同的是, 相同土地利用方式下土壤多酚氧化酶活性明显干季高于湿季。不同土地利用方式对土壤纤维素酶活性的影响差异较大。大小顺序都是次生林>灌丛>农田>荒草地>裸地。相同土地利用方式下土壤纤维素酶活性明显湿季高于干季。

## 2.2 土壤酶活性与土壤养分之间的相关分析

表 4 和表 5 相关分析表明, 在湿季, 脲酶与土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、速效氮和速效磷呈极显著正相关, 与 pH 呈极显著负相关。蛋白酶与土壤有机碳、全氮、速效氮和全钾呈极显著正相关, 与速效磷呈显著正相关, 与 pH 呈极显著负相关。蔗糖酶

表4 湿季土壤酶与土壤养分含量的相关性分析

Table 4 Correlation coefficient between soil enzyme activities and characteristics of soils in wet season

土壤酶 Soil enzyme	有机碳 Organic carbon	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	速效氮 Available nitrogen	速效磷 Available phosphorus	全钾 Total potassium	pH
脲酶 Urease	0.98 **	0.93 **	0.84 **	0.98 **	0.99 **	0.97 **	-0.91 **
蛋白酶 Proteinase	0.98 **	0.99 **	0.76	0.98 **	0.96 *	0.99 **	-0.93 **
蔗糖酶 Invertase	0.93 *	0.79	0.83 *	0.89 *	0.94 *	0.86	-0.80 *
淀粉酶 Amylase	0.99 **	0.98 *	0.82 *	0.99 **	0.98 **	0.98 *	-0.90 *
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.94 **	0.98 **	0.70 *	0.96 *	0.92 **	0.97 **	-0.92 *
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	0.98 **	0.91 *	0.87 *	0.97 *	0.98 **	0.94 **	-0.83 *
过氧化氢酶 Peroxidase	0.79 *	0.98 **	0.98 **	0.87 *	0.91 **	0.83	-0.63 *
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	0.94 **	0.88 *	0.94 **	0.94 *	0.96 **	0.90 **	-0.74 **
纤维素酶 Cellulose	0.98 **	0.97 **	0.87 *	0.99 **	0.99 **	0.98 *	-0.87 **

注: \* 表示差异显著( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著( $P < 0.01$ )。下同。

Note: Correlation coefficient labeled by \* and \*\* indicated significant differences at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  respectively. The same below.

表5 干季土壤酶与土壤养分含量的相关性分析

Table 5 Correlation coefficient between soil enzyme activities and characteristics of soils in dry season

土壤酶 Soil enzyme	有机碳 Organic carbon	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	速效氮 Available nitrogen	速效磷 Available phosphorus	全钾 Total potassium	pH
脲酶 Urease	0.89 **	0.87 **	0.82 *	0.89 **	0.78 *	0.88 **	-0.80 **
蛋白酶 Proteinase	0.87 *	0.68 *	0.72	0.87 **	0.81 *	0.82	-0.86 *
蔗糖酶 Invertase	0.69 *	0.55	0.63	0.91 *	0.79 *	0.78	-0.72 *
淀粉酶 Amylase	0.83 *	0.79 *	0.72	0.85 *	0.91 *	0.86 *	-0.81 *
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.74 *	0.69 *	0.71	0.91 *	0.84 *	0.69	-0.70
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	0.88 **	0.81 *	0.79 *	0.84 *	0.86 *	0.71	-0.74 *
过氧化氢酶 Peroxidase	0.56	0.82 **	0.83 *	0.75	0.89 *	0.62	-0.50
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	0.93 **	0.79	0.87 **	0.77	0.76 *	0.58 *	-0.63 *
纤维素酶 Cellulose	0.86 *	0.78 *	0.81	0.89 *	0.87	0.69 *	-0.69 *

与有机碳、全磷、速效氮、速效磷呈显著正相关,与pH呈显著负相关。淀粉酶与有机碳、速效氮和速效磷呈极显著正相关,与全氮、全磷和全钾呈显著正相关,与pH呈显著负相关。碱性磷酸酶与土壤有机碳、全氮、全钾和速效磷呈极显著正相关,与全磷和速效氮呈显著正相关,与pH呈显著负相关。酸性磷酸酶与土壤有机碳、全钾和速效磷呈极显著正相关,与全氮、全磷和速效氮呈显著正相关,与pH呈显著负相关。过氧化氢酶与土壤全氮、全磷和速效磷呈极显著正相关,与土壤有机碳和速效氮呈显著正相关,与pH呈显著负相关。多酚氧化酶与土壤有机碳、全磷、全钾和速效磷呈极显著正相关,与全氮和速效氮呈显著正相关,与pH呈极显著负相关。纤维素分解酶与土壤有机碳、全氮、速效氮和速效磷呈极显著正相关,与全磷和全钾呈显著正相关,与pH呈极显著负相关。

在干季,脲酶与土壤有机碳、全氮、速效氮和全钾呈极显著正相关,与全磷和速效磷呈显著正相关,与pH呈极显著负相关。蛋白酶与速效氮呈极显著正相关,与土壤有机碳、全氮和速效磷呈显著正相

关,与pH呈显著负相关。蔗糖酶与有机碳、速效氮和速效磷呈显著正相关,与pH呈显著负相关。淀粉酶与有机碳、全氮、全钾、速效氮和速效磷呈显著正相关,与pH呈显著负相关。碱性磷酸酶与土壤有机碳、全氮、速效氮和速效磷呈显著正相关。酸性磷酸酶与土壤有机碳呈极显著正相关,与全氮、全磷、速效磷和速效氮呈显著正相关,与pH呈显著负相关。过氧化氢酶与土壤全氮呈极显著正相关,与全磷和速效磷呈显著正相关。多酚氧化酶与土壤有机碳和全磷呈极显著正相关,与速效磷和全钾呈显著正相关,与pH呈显著负相关。纤维素酶与土壤有机碳、全氮、速效氮和全钾呈显著正相关,与pH呈显著负相关。相对而言,湿季各指标之间的相关性要高于干季。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 土壤酶活性的变化

本研究中脲酶与土壤有机碳含量呈极显著正相关关系,这与焦晓光等(2008)研究结果一致。表明

土壤有机碳含量越高,土壤脲酶的活性就越强,可能有利于土壤氮的矿化和植被的恢复演替。不同土地利用方式下,不同土壤酶活性指标各自的变化规律接近,除了蔗糖酶活性大小关系表现为:灌丛>次生林>农田>荒草地>裸地,其它酶活性大小关系均一致表现为次生林>灌丛>农田>荒草地>裸地。说明在岩溶山区,随着植被的恢复,植被变化对土壤酶活性影响比较大。本研究中,植被暂时处于恢复的初期,这与其他相关研究结果一致(崔晓晓等,2011)。我们的研究区域,5种土地利用方式均是在天然林的基础上转变而来,不同土地利用方式下,其中次生林和灌丛均是近年来生态恢复工程期间为了环境治理而采取的恢复措施。相对于农田,次生林和灌丛有较好的植被恢复措施,林下水分等微环境因素较好,凋落物等物质就地贮存和分解,物质循环代谢相对较高,有较多的营养物质归还,土壤养分和微生物含量就高,因此它们的酶活性要高于其它4种土地利用类型。相反,其它不同土地利用方式由于人类活动的干扰,养分物质流失较多,物质代谢速率较小,促使酶活性降低。

本文几种土壤酶活性能够在一定程度上反映植被的恢复程度。农田主要采取的是以生产为主的传统耕作方式,近年来水土流失加剧,随着人为活动的增加,对土壤的胁迫作用较强,土壤中的物质归还减少,物质代谢速率较慢,促使其土壤酶类活性较低。农田的各种土壤酶含量几乎小于次生林地和灌丛,这说明人为活动因素对农田土壤酶活性的干扰较大,长期的刀耕火种削弱了土壤中碳和氮素的营养循环,人为因素虽然在一定范围内可改变土壤性状,但目前并没有从根本上改善土壤养分现状。因此在桂西南岩溶山区石漠化地区,适当的减少传统耕种农田面积,结合退耕还林还草工程,植被的恢复将有利于土壤酶活性的增加。

干、湿季不同变化是常见的自然现象,我们的研究表明,相同土地利用方式下,大多数土壤酶活性在湿季高于干季。这与雨季土壤含水量高,温度相对较低,微生物活性较强有关。主要是由于不同干、湿季对土壤微生物活性、群落结构有重要的影响(Zhang *et al.*,2004;Wu *et al.*,2005),尤其在土壤干旱条件下会导致部分微生物死亡,微生物量降低(Hamer *et al.*,2007),导致酶活性降低。在湿季随着土壤含水量的增加,植被生长旺盛,根系进入快速生长期,分泌物增多,促进了微生物和微生物量增

加,从而酶活性增强,土壤物质代谢加快,酶活性相对于干季显著增强。同时,特别是在桂西南喀斯特地区,特殊的地质地貌特征使该地区地表存水能力极差,植被可利用的水资源相对不足,季节性干旱严重,土壤含水量通过影响其土壤通气性和养分活性,引起干、湿季下土壤酶活性的差异。

### 3.2 土壤酶活性和养分含量的相关性

通过相关性分析,脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶等大多数均与土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷呈显著正相关,与pH呈显著负相关。蔗糖酶活性与土壤养分相关性不强,与pH呈显著负相关,表明蔗糖酶活性的变化趋势不显著,这可能是由于不同土地利用方式土壤微生物数量存在差异,影响了土壤蔗糖酶活性。由于不同酶活性在土壤中参与的生化反应过程不同,使其与不同养分因子之间的相关性也存在着一一定的差异,脲酶、蛋白酶、淀粉酶、碱性磷酸酶和多酚氧化酶与土壤养分指标相关性相对较强,可以作为评价土壤质量演替的生物学指标。

土壤脲酶、蛋白酶、淀粉酶、碱性磷酸酶与纤维素酶这5种酶之间呈显著正相关关系,各自反映了桂西南岩溶山地土壤中多糖的转化、有机磷的转化与氮素转化之间关系密切并相互影响。过氧化氢酶和多酚氧化酶对植被恢复程度的响应,表明这几种酶都能较好地反映桂西南岩溶山地不同土地利用方式下植被恢复措施的生态效应。在桂西南喀斯特岩溶山地,随着植被恢复,土壤酶活性有所显著变化,对不同土地利用方式响应不同,湿季伴随降雨的增加,植物生长较快,有利于土壤酶活性的提高,土壤酶活性和土壤主要养分有较高的相关性,间接暗示了土壤质量的改善。这表明该地区前期的植被恢复措施,有利于土壤质量的改善,预示着喀斯特地区的土壤生态系统功能的逐渐提高。通过加强后续植被恢复生态工程措施和合理的农田管理措施,调整现有土地利用方式,以林地恢复(如次生林,灌丛等)土地利用方式为主,有利于改善桂西南石漠化地区岩溶山地的土壤生态环境。

### 参考文献:

- Bao SD(鲍士旦). 2000. Soil Agricultural Chemistry Analysis(土壤农化分析)[M]. Beijing(北京):China Agriculture Press(中国农业出版社)
- Chen HJ(陈红军), Meng H(孟虎), Chen JH(陈钧鸿). 2008. Effects of two biopesticides on soil invertase activity(两种生物农药对土壤蔗糖酶活性的影响)[J]. *Ecol & Environ*(生态环境

- 境), **17**(2):584—588
- Cui XX(崔晓晓), Wang JJ(王纪杰), Luo HN(罗惠宁), *et al.* 2011. Variation of soil enzyme activities under different vegetation restoration stages in Karst gorge district(喀斯特峡谷区植被恢复过程中土壤酶活性的变化)[J]. *J Nanjing For Univ; Nat Sci Edit*(南京林业大学学报·自然科学版), **35**(2):103—107
- Groffman PM, McDowellb WH, Myersc JC, *et al.* 2001. Soil microbial biomass and activity in tropical riparian forests[J]. *Soil Biol Biochem*, **33**:1 339—1348
- Guan SM(关松萌). 1986. Soil Enzyme and Its Research Methods(土壤酶及其研究方法)[M]. Beijing(北京): Agriculture Press(农业出版社)
- Hamer U, Unger M, Makeschin F. 2007. Impact of air-drying and rewetting on PLFA profiles of soil microbial communities[J]. *J Plant Nutr Soil Sci*, **170**:259—264
- He CX(何成新), Huang YQ(黄玉清), Lü SH(吕仕洪), *et al.* 2007. Rehabilitation 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
- Jiang ZC(蒋忠诚), Li XK(李先琨), Hu BQ(胡宝清), *et al.* 2011. Research on the Comprehensive Treatment of Rocky Desertification at Karst Mountain Area in Guangxi Province(广西岩溶山区石漠化及其综合治理研究)[M]. Beijing(北京): Science Press(科学出版社)
- Jiao XG(焦晓光), Sui YY(隋跃宇), Zhang XY(张兴义). 2008. Study on the relationship between soil organic matter content and soil urease activity(土壤有机质含量与土壤脲酶活性关系的研究)[J]. *Syst Sci Compr Stud Inagr*(农业系统科学与综合研究), **24**(4):494—496
- Lin N(林娜), Liu Y(刘勇), Li GL(李国雷), *et al.* 2010. Research progress on forest soil enzyme(森林土壤酶研究进展)[J]. *World For Res*(世界林业研究), **23**(4):21—25
- Liu F(刘方), Wang SJ(王世杰), Luo HB(罗海波), *et al.* 2008. Micro-habitats in karst forest ecosystem and variability of soils(喀斯特森林生态系统的小生境及其土壤异质性)[J]. *Acta Pedol Sin*(土壤学报), **45**(6):105—106
- 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 Kars 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 Envir*(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 Country, 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
- Lü SH(吕仕洪), Li XK(李先琨), Lu SH(陆树华), *et al.* 2009. Preliminary study on seedling and afforestation of rare and endangered trees in karst region of Southwest Guangxi(桂西南岩溶地区珍稀濒危树种育苗与造林初报)[J]. *Guihaia*(广西植物), **29**(2):222—226
- Ou ZL(欧祖兰), Lü SH(吕仕洪), Lu SH(陆树华), *et al.* 2006. Preliminary study on soil seed banks of degraded karst vegetation in Southwest Guan(桂西南峰丛洼地退化植被土壤种子库的初步研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **23**(4):21—25
- Wu J, Brookes PC. 2005. The proportional mineralisation of microbial biomass and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grassland soil[J]. *Soil Biol Bioch*, **37**:507—515
- Zhang B, Peng XH, Zhao QG, *et al.* 2004. Eluviation of dissolved organic carbon under wetting and drying and its influence on water infiltration in degraded soils restored with vegetation [J]. *Eur J Soil Sci*, **55**:725—737
- Zhou W(周玮), Zhou YC(周运超). 2010. Soil enzyme activities under different vegetation types in Beipan River Karst gorge district(北盘江喀斯特峡谷区不同植被类型的土壤酶活性)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), **46**(1):136—141

( 上接第 564 页 Continue from page 564 )

- 藏期间理化性状的变化). *South Chin Fruits*(中国南方果树), **33**(6):22—23
- Fang B(方波), Peng SA(彭抒昂), Sheng WL(盛文磊), *et al.* 2009. Fruit quality change of delayed harvested citrus under protected cultivation(温州蜜柑设施延迟栽培条件下的果实品质变化)[J]. *Hubei Agric Sci*(湖北农业科学), **48**(10):2 469—2 473
- Guo LL(郭琳琳), Liu Q(刘庆), Yi HL(伊华林). 2007. Effect of two fresh-keeping methods on flavor and color quality in Navel orange fruit(2种保鲜方法对脐橙果实风味和色泽变化的影响)[J]. *J Fruit Sci*(果树学报), **24**(6):792—795
- Huang YH(黄永红), Zeng JW(曾继吾), Zhou BR(周碧容), *et al.* 2009. Effect of rain shelter cultivation on Longmen Nianju (*Citrus reticulata* Blanco) fruit qualities during on the tree storage(避雨栽培对‘龙门年橘’留树保鲜期间果实品质的影响)[J]. *Acta Horti Sin*(园艺学报), **36**(7):1 049—1 054
- HuttonRJ, Landsberg JJ. 2000. Temperature sums experienced before harvest partially determine the post-maturation juicing quality of oranges grown in the Murrumbidgee Irrigation Areas(MIA) of new South Wales[J]. *J Sci Food Agric*, **80**(2):275
- Liang GS(梁关生), Mai GR(麦国荣), Zhu JM(朱捷梅). 2011. Study on the effect of Shatangju fruit covering film during on the tree storage(薄膜覆盖对沙糖橘果实留树保鲜的效果研究)[J]. *Guangdong Agric Sci*(广东农业科学), (2):91—92
- Mei ZM(梅正敏), Xiao YH(肖远辉), Mai SQ(麦适秋), *et al.* 2012. Changes of soil moisture and fruit quality of Kumquats by covering film on the crown(树冠盖膜留树贮藏金柑树盘土壤水分及果实品质的变化)[J]. *South Chin Fruits*(中国南方果树), **41**(1):11—13
- Shi XG(石学根), Shen GX(沈光献). 2003. The occurrence and prevented of Satsuma Mandarin fruit puffiness(温州蜜柑果实浮皮的发生及其预防)[J]. *Zhejiang Citrus*(浙江柑橘), **20**(2):17—18
- Wang MZ(王明召), Mong JS(莫健生), Tang YL(唐燕玲), *et al.* 2011. The preliminary investigation on the impact of Shatangju for covering film in the winter(冬季薄膜覆盖对沙糖橘影响的初步调查)[J]. *Southern Horti*(南方园艺), **22**(1):24—25
- Zen L(曾朗), Cai BL(蔡柏龄), Zhu XY(朱晓云), *et al.* 2004. study on techniques of Nanfengmiju under protected cultivation (南丰蜜橘设施栽培技术研究)[J]. *South Chin Fruits*(中国南方果树), **33**(5):13—14