

岩溶区典型根系地下生境类型中土壤酶活性研究*

符裕红^{1,2} 黄宗胜¹ 喻理飞^{1†}

(1 贵州大学林学院, 贵阳 550025)

(2 贵州师范学院化学与生命科学学院, 贵阳 550018)

摘要 选择了岩溶区三种不同的典型根系地下生境类型土壤为研究对象(类型 I-白云岩低倾产状多层空间类型、类型 II-白云岩中倾产状多层空间类型及类型 III-白云岩高倾产状多层空间类型), 分析了不同类型和不同层次的土壤酶活性, 以及土壤酶与土壤养分的相关性。结果表明: 1) 不同植物根系地下生境类型和不同空间土壤层次的土壤酶活性差异极显著($p < 0.01$); 2) 类型 I 有利于土壤的碳素循环, 类型 II 有利于土壤含氮化合物的转化, 类型 III 有利于土壤有机物质的氧化; 且三种类型的土壤酶活性均呈现出随土壤深度的增加而逐渐降低的趋势; 3) 土壤酶活性与土壤养分含量关系显著, 可以作为评价土壤质量/肥力的指标。可见, 不同根系地下生境土壤酶活性差异, 对岩溶石漠化区的土壤质量评价、植被恢复技术研究和生态修复治理均有积极的作用。

关键词 土壤; 酶活性; 根系地下生境类型; 岩溶石漠化区

中图分类号 S154.2 **文献标识码** A

土壤酶是土壤中生物化学反应的生物催化剂^[1], 是土壤新陈代谢的重要影响因素^[2-4], 其活性反映了土壤微生物活性的高低, 表征了土壤的养分转化和运移能力强弱^[5-6], 他催化土壤中的一切生物化学反应^[7-8]。其中, 蔗糖酶是评价土壤熟化程度的指标、淀粉酶参与了自然界的碳素循环、脲酶能催化尿素水解、蛋白酶参与含氮有机化合物的转化、磷酸酶能加速有机磷的脱磷速度、过氧化氢酶能防止 H₂O₂ 对生物体的毒害、多酚氧化酶是腐殖质化的一种媒介、过氧化物酶能氧化有机物质^[3]。

在岩溶地区, 针对地表土壤的研究主要集中于地表小生境^[9-14], 对其土壤酶的研究主要侧重于不同恢复/退化阶段和不同植被类型条件下部分土壤酶活性的研究^[8, 15-19]。但在岩溶地区, 植物根系由于其极强的穿串能力^[20], 不仅生长于地表土壤中, 也生长于地下岩石的裂缝中, 说明岩层下存在地下空间。而岩溶区由于石漠化较为严重、土层浅薄、土被不连续、成土速度慢^[9-10], 生态环境一旦遭到破坏则难以恢复; 加之岩溶区环境条件的异质性、基

岩可溶产生的裂隙^[21-23]以及岩石产状倾角的影响^[24], 导致岩溶区土壤水分分布存在差异; 土壤水分条件的改变, 将引起土壤酶活性的变化^[25-26]。因此, 不同类型的根系地下空间土壤酶活性是否存在差异? 与其土壤养分是否相关? 在前人的研究中均未得以体现。基于此, 本文以根系地下生长空间为研究对象, 针对各典型根系地下生境类型中土壤酶活性特征, 并结合其土壤养分状况对典型根系地下生境类型的土壤酶活性的影响开展研究; 旨在通过土壤酶活性的高低, 判断各典型类型条件下的土壤养分状况及其转化能力的大小, 了解其土壤条件的差异, 为岩溶石漠化地区的土壤质量评价/改良及植被栽培提供相应的依据和参考, 促进岩溶地区石漠化的植被恢复技术研究、生态修复和治理。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省贵阳市境内的云贵高原东斜

* “211 工程”三期重点学科建设项目、国家“十二五”科技支撑项目(2011BAC02B02)、国家“十二五”科技支撑项目(2011BAC09B01)、(2012BAD22B01)、“西南喀斯特演化过程与生态系统调控项目”(Kst200904)国家科技支撑计划课题和贵州省社会发展攻关项目[黔科合 SY 字(2012)3012]资助

† 通讯作者: 喻理飞, 男, 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, gdyulifei@163.com

作者简介: 符裕红(1982—), 女, 博士, 研究方向为退化森林生态系统恢复。E-mail, fuyuhong0851@163.com Tel: 13984116912

收稿日期: 2011-12-20; 收到修改稿日期: 2012-02-16

坡地带,北纬 $26^{\circ}11' \sim 27^{\circ}27'$,东经 $106^{\circ}07' \sim 107^{\circ}17'$,属亚热带湿润温和型气候,同时具有高原性和季风性气候特点;境内海拔 $506.50 \text{ m} \sim 1762.70 \text{ m}$,相对高差 1256.20 m 。年平均气温 15.30°C ,年降水量 1300 mm ,年平均相对湿度为 77% ,日照时数 1354 h ,无霜期 270 d 。境内的植被类型较为丰富,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、黄色石灰土、黄棕壤、大泥土、黄泥田、大眼泥田等,土壤呈条带状镶嵌分布,组合多样^[27]。

根据野外剖面调查,将植物根系地下生长空间划分为 18 个根系地下生境类型;本研究选择了其中 3 个典型类型进行土壤酶活性的研究。三种典型类型分别为:白云岩低倾产状多层空间类型(类型 I)、白云岩中倾产状多层空间类型(类型 II)、白云岩高倾产状多层空间类型(类型 III)。其中,类型 I 位于安迁,类型 II 和类型 III 均位于蔡家关。图 1 所示为研究区位置。典型根系地下生境类型及其地上植物群落的基本特征见表 1、表 2。

1.2 土样采集

分别于三个典型根系地下生境类型中设置 900 m^2 植物群落样地,并在各样地中分别设置 3 个面积为 $20 \times 15 \text{ m}^2$ 的样方。在样方内各选取 6 个点,共计 54 个点进行土样采集。表层空间土壤采样深度均

为 $0 \sim 30 \text{ cm}$;下层空间与岩石裂缝相关,窄且深,取样以 100 cm 为限,在 50 cm 处分层,进行中、下层的分层采样;每层空间范围选择同等深度的 $4 \sim 6$ 个土样混合为一个土壤样品;共采集土壤样品 162 个。所采集样品,装入无菌袋放于带冰块的泡沫箱内,分两份贮存,带回实验室后,一份存于 4°C 冰箱,用于土壤酶活性测定,另一份自然风干后、碾磨,分别过 2 mm 、 1 mm 、 0.25 mm 筛,储存于广口瓶中备用^[28-29]。

1.3 土样分析测定

分析指标主要为土壤养分及土壤酶活性。土壤养分指标分别为:土壤全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾、有机质;土壤酶活性指标分别为:土壤蔗糖酶、淀粉酶、脲酶、蛋白酶、磷酸酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶、过氧化物酶。

参照文献^[29-30],土壤全氮采用蒸馏法测定;碱解氮采用扩散法;全磷、有效磷采用钼锑抗比色法;全钾、速效钾采用火焰光度法,土壤有机质采用重铬酸钾-硫酸-外加热法。

参照文献^[3],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。

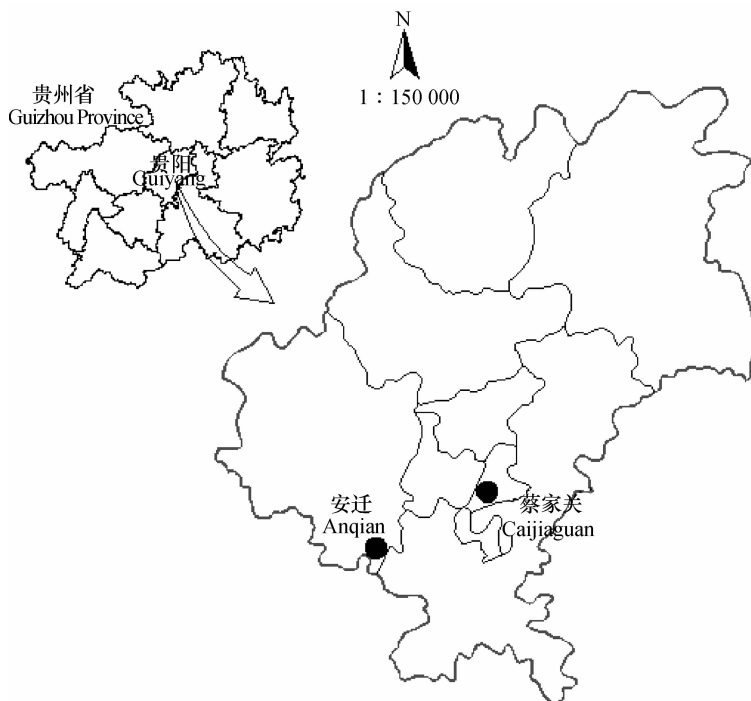


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

表 1 典型根系地下生境类型的基本特征表

Table 1 Basic characteristics of typical types of root underground habitats

类型 Type	根系地下生境特征 Characteristics of the root underground habitat
类型 I Type I 白云岩低倾产状多层空间类型 Multilayer space of low oblique occurrence of dolomite rock	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 Dolomite,apparent overall occurrence, rock stratum 0 ~ 30° in tilt angel, section structure dominated with horizontal layers, possible existence of soil on the land surface, cracks in rock stratum and rift zone-sandwiched space in between layers, distribution of soil, plant root system horizontally distributed mainly along the above-described composite space, the number of rock patches within the scope of root distribution ≥ 2, fragmentation index quite high
类型 II Type II 白云岩中倾产状多层空间类型 Multilayer space of middle oblique occurrence of dolomite rock	白云岩,整体产状明显,岩层倾角范围 30 ~ 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,且空间组合较其他类型丰富,岩石斑块数 ≥ 2,破碎度指数较高 Dolomite,apparent overall occurrence, rock stratum 30 ~ 60° in tilt angel, section in layered structure, possible existence of soil on the land surface,cracks in rock stratum and rift zone-sandwiched space in between layers, distribution of soil, plant root system mainly distributed in the above-said composite space, and the space combination more diversified than in other types, the number of rock patches ≥ 2, fragmentation index quite high
类型 III Type III 白云岩高倾产状多层空间类型 Multilayer space of high oblique occurrence of dolomite rock	白云岩,整体产状明显,岩层倾角范围 60 ~ 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他类型大,植物根系分布主要沿上述组合空间向下延伸,岩石斑块数 ≥ 2,破碎度指数较高 Dolomite,apparent overall occurrence, rock stratum, 60 ~ 90° in tilt angel, section in layered structure, possible existence of soil on the land surface, cracks in rock stratum and rift zone sandwiched space in between layers, distribution of soil, and soil in cracks thicker than in other types, plant root system distributed mainly along the above-said composite space extending downward, the number of rock patches ≥ 2, fragmentation index quite high

表 2 典型根系地下生境类型上的植物群落基本特征表

Table 2 Basic characteristics of the plant communities on typical types of root underground habitats

根系地下生境类型 Type of root underground habitat	地点 Place	岩层倾角 Tilt angel of the rock stratum (°)	样地面积 Sample area (m ²)	坡度 Slope (°)	坡向 Slope exposure	海拔 Elevation (m)	优势树种 Dominant species		
							乔木 Arbor	灌木 Shurbs	草本 Herbs
类型 I Type I	安迁 Anqian	5	900	42	NE	1 275	白栎 <i>Quercus fabri</i> 鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	铁仔 <i>Myrsine africana</i>	苔草 <i>Carex tristachya</i> 大头艾纳香 <i>Blumea riparia</i> <i>var. megacephala</i>
类型 II Type II	蔡家关 Caijiaguan	55	900	42	NE	1 280	白栎 <i>Quercus fabri</i> 女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	十字苔草 <i>Carex cruciata</i> 苔草 <i>Carex tristachya</i> 蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>
类型 III Type III	蔡家关 Caijiaguan	87	900	43	NE	1 280	白栎 <i>Quercus fabric</i> 女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	知风草 <i>Eragrostis ferruginea</i> 五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>

1.4 数据处理

数据处理采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件, 分别对统计数据进行了相应的方差分析、LSD 检验、以及相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 土壤采样检验

为检验各平行土样的相似性, 利用土壤养分原始数据进行统计分析, 计算同种类型同个层次不同土壤养分指标的变异系数, 结果如表 3。从表 3 中可看出, 针对同种类型同个层次的不同土壤养分指标, 其变异系数均较小; 所有指标数据变异系数的整体范围为 0.003 ~ 0.178, 这说明各平行土样之间土壤养分指标的数值差异较小, 证明本研究采样方法正确, 数据科学合理, 具有代表性。

2.2 土壤酶活性的差异

以土壤酶指标对主体间双因子: 植物根系地下生长空间典型类型(3 个水平)、空间土壤层次(上层、中层、下层共 3 个水平)进行双因素方差分析及 LSD 检验, “类型”、“层次”及交互作用对各种测定酶的影响均达到极显著水平($p < 0.01$)。表明类型和层次是影响土壤酶活性变化的主要因子; LSD 检验得出不同的类型和不同的层次间土壤酶活性存在极显著差异($p < 0.01$)。

针对各层次的土壤酶活性变化, 从表 4 和图 2 中可看出, 三种根系地下生境类型中蔗糖酶、磷酸酶、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; 过氧化物酶活性为类型 III > 类型 II > 类型 I。三种类型中的土壤酶活性均随土壤层次的加深而降低, 即表层 > 中层 > 下层。

表 3 土壤养分指标数值表

Table 3 Soil nutrient indexes

根系地下生境类型			全氮	碱解氮	全磷	有效磷	全钾	速效钾	有机质
Type of root underground habitat			Total nitrogen	Alkalytic nitrogen	Total phosphorus	Available phosphorus	Total potassium	Available potassium	Organic matter
			(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
类型 I	表层	\bar{x}/CV	0.32/0.09	138.74/0.02	0.07/0.09	11.47/0.02	0.46/0.06	113.45/0.03	4.35/0.11
Type I	Surface layer								
	中层	\bar{x}/CV	0.11/0.04	92.14/0.00	0.07/0.05	5.98/0.01	0.75/0.02	80.80/0.01	2.75/0.03
	Middle layer								
	下层	\bar{x}/CV	0.03/0.10	65.96/0.03	0.06/0.09	5.50/0.04	1.06/0.04	83.11/0.02	2.25/0.03
	Lower layer								
类型 II	表层	\bar{x}/CV	1.62/0.08	263.34/0.04	0.07/0.08	13.89/0.03	1.42/0.02	289.16/0.02	6.42/0.03
Type II	Surface layer								
	中层	\bar{x}/CV	0.74/0.03	173.50/0.01	0.04/0.10	10.20/0.01	1.40/0.01	182.43/0.01	5.59/0.01
	Middle layer								
	下层	\bar{x}/CV	0.54/0.06	137.10/0.01	0.04/0.12	9.64/0.01	1.48/0.06	153.93/0.02	4.56/0.02
	Lower layer								
类型 III	表层	\bar{x}/CV	0.36/0.09	163.87/0.03	0.05/0.13	14.57/0.03	1.25/0.06	216.89/0.06	4.45/0.04
Type III	Surface layer								
	中层	\bar{x}/CV	0.24/0.08	103.90/0.00	0.06/0.07	7.53/0.01	1.21/0.03	144.86/0.01	2.53/0.17
	Middle layer								
	下层	\bar{x}/CV	0.10/0.12	75.93/0.010	0.03/0.11	9.56/0.01	1.27/0.01	105.22/0.02	1.82/0.03
	Lower layer								

注: 表中数据 \bar{x} 为测定的平均值, CV 为变异系数 Note: \bar{x} in the table is the average value, CV coefficient of variation

表 4 土壤酶活性数值

Table 4 Datas of soil enzyme activity

根系地下生境类型 Type of root underground habitat	蔗糖酶 Sucrase (mg g ⁻¹)	淀粉酶 Amylase (mg g ⁻¹)	脲酶 Urease (mg g ⁻¹)	蛋白酶 Protease (mg g ⁻¹)	磷酸酶 Phosphatase (mg g ⁻¹)	过氧化氢酶 Catalase (ml g ⁻¹)	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase (ml g ⁻¹)	过氧化物酶 Peroxidase (ml g ⁻¹)
类型 I Type I	1.36	0.20	4.87	14.83	11.60	0.33	0.12	0.05
类型 II Type II	0.99	0.28	7.71	16.92	9.26	0.05	0.08	0.07
类型 III Type III	1.05	0.22	6.51	14.90	9.90	0.08	0.16	0.08

注:表中数据均为各指标的加权平均值 Note: Data in the table are weighted average values of the indexes

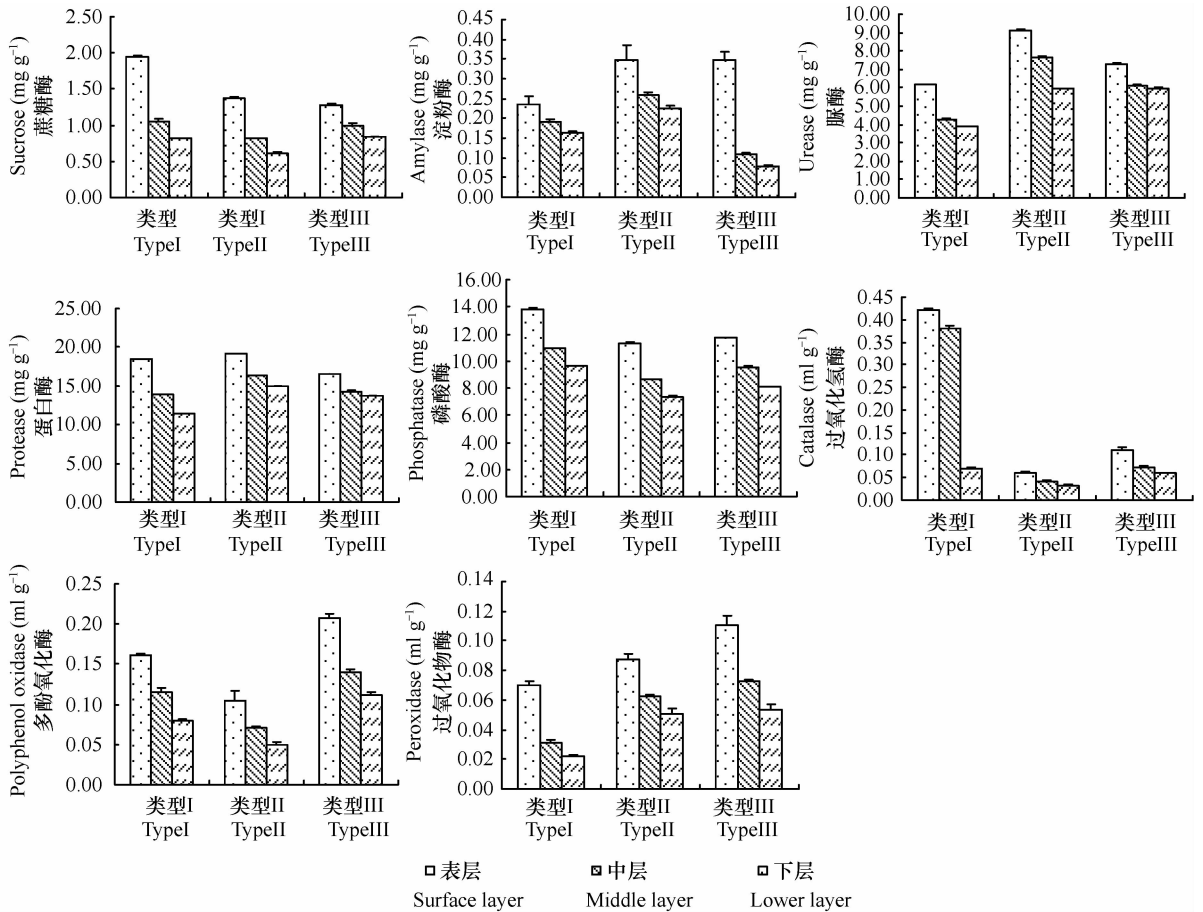


图 2 土壤酶活性变化

Fig. 2 Changes of soil enzyme activity

三种典型类型相比较,白云岩低倾产状倾角条件空间类型(类型 I)中的蔗糖酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性较高,中倾产状倾角的类型(类型 II)中的淀粉酶、脲酶、蛋白酶活性占优势,高倾产状倾角的类型(类型 III)中的过氧化物酶活性较高。因此,根据各种酶的功能特征,白云岩低倾产状倾角条件空间类型(类型 I)的土壤熟化程度较高,有利于加快有机磷的脱磷速度,对防止 H₂O₂ 的毒害最为有效;中倾产状倾角的类型(类型 II)最有利于土壤的碳

素循环及含氮化合物的水解和转化;而高倾产状倾角的类型(类型 III)最有利于土壤有机物质的氧化。在土壤层次上,随土壤深度的增加,土壤密度增加,酸度降低,则有机质和腐殖质数量减少^[8],从而导致土壤酶活性的降低,酶活性功能逐层减小,由此会引起其碳、养分的转化及有机物质的氧化能力等下降趋势。

本研究的土壤酶活性与岩溶地区地表生境的土壤酶活性研究范围^[8,15-19]相比,蔗糖酶和过氧化

氢酶活性较其研究范围低,而脲酶和蛋白酶活性则高于其研究范围,其他土壤酶活性处于其范围之内;这说明在这些典型的生境条件下,其氮的转化能力高于地表生境,这为植物根系在地下生境的生长创造了条件,也为植物根系能生长于地下空间提供了理论依据。

2.3 土壤酶活性与土壤养分的相关关系

土壤酶活性与土壤养分含量的相关性分析,结果如表 5 所示。根据表中数据,并结合酶活性的功能特征,蔗糖酶与诸多养分因子相关,在表征其土壤熟化程度和土壤肥力方面有一定的代表性;淀粉酶与养分因子均呈正相关,且与有机质和

碱解氮的相关系数最大,达 0.810 以上,证明了他参与碳素循环的能力;脲酶与速效养分之间显示出了较大的相关性,在尿素水解能力上显示出了其优势,同时也在磷素和钾素的有效性上起到了一定的积极作用;蛋白酶也呈现了在氮转化能力上的优势,同时也对碳素循环及磷钾素的有效性上有积极作用;磷酸酶与全磷、速效磷具有较大的相关系数,代表了有机磷的脱磷速度和磷素的有效性;过氧化氢酶和多酚氧化酶没有呈现出对养分元素转化的能力,但过氧化物酶除了代表其自身有机物质氧化的优势外,也对有效养分的转化有着积极的作用。

表 5 土壤酶与土壤养分含量的相关性

Table 5 Correlation of the soil enzymes with soil nutrient contents

名称 Name	蔗糖酶 Sucrase	淀粉酶 Amylase	脲酶 Urease	蛋白酶 Protease	磷酸酶 Phosphatase	过氧化氢酶 Catalase	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	过氧化物酶 Peroxidase
全氮 Total nitrogen	0.199 *	0.668 **	0.849 **	0.735 **	0.103	-0.460 **	-0.180 *	0.470 **
碱解氮 Alkalytic nitrogen	0.365 **	0.817 **	0.906 **	0.864 **	0.286 **	-0.503 **	0.063	0.663 **
全磷 Total phosphorus	0.578 **	0.218 **	-0.134	0.222 **	0.692 **	0.465 **	0.166 *	-0.116
有效磷 Available phosphorus	0.490 **	0.734 **	0.852 **	0.837 **	0.366 **	-0.662 **	0.455 **	0.885 **
全钾 Total potassium	-0.651 **	0.160 *	0.493 **	-0.021	-0.709 **	-0.446 **	-0.397 **	0.245 **
速效钾 Available potassium	0.192 *	0.753 **	0.927 **	0.722 **	0.129	-0.551 **	0.141	0.770 **
有机质 Organic matter	0.301 **	0.821 **	0.793 **	0.816 **	0.226 **	-0.479 **	-0.066	0.534 **

注: $n=162$; *, $p < 0.05$, **, $p < 0.01$ Note: $n=162$; *, $p < 0.05$, **, $p < 0.01$

土壤酶的参与,增强了土壤碳素循环能力、提高了含氮化合物的转化能力、加速了有机磷的脱磷速度、加快了土壤有机物质的氧化;土壤养分、土壤酶、土壤微生物是森林生态系统的重要组成成分^[31];土壤养分含量影响了植物的生长、土壤酶活性参与了许多重要的生物化学和物质循环^[8]、土壤微生物加速了物质循环和能量流动^[32],可以客观地反映土壤的肥力状况^[33];因此,在不同类型的根系地下生境中,同样可以用土壤酶活性表征土壤质量的变化程度,并可作为土壤质量/肥力评价的指标^[8]。同时,也可发现,不同典型类型根系地下生境中的土壤酶活性,特别是脲酶、蛋白酶、过氧化物酶在表示养分的有效性方面也具有积极作用,这也为解释森林植被能在岩溶石漠化区进行生长、繁殖的原因提供了一定的依据。

3 结 论

1) 岩溶根系地下生境类型和各类型下土壤的层

次对土壤养分及酶活性的影响极显著($p < 0.01$);本研究在一定程度上丰富了对岩溶生境的认识。

2) 岩溶根系地下生境类型下的土壤酶活性差异极显著,且均随土壤层次的加深而降低;但各类型酶活性对土壤元素转化的能力不同,白云岩低倾产状多层空间类型(类型 I)参与土壤碳素循环的能力较强,白云岩中倾产状多层空间类型(类型 II)土壤含氮化合物的转化作用较明显,白云岩高倾产状多层空间类型(类型 III)土壤有机物质的氧化能力较好;岩石产状倾角影响了土壤水分的分布状况^[14],从而造成了土壤水热条件的重新分配,导致土壤酶活性出现差异。

3) 岩溶根系地下生境中土壤酶活性与土壤养分含量的相关关系显著;在典型类型根系地下生境中,土壤氮素的转化能力较地表生境高。在这些典型的生境类型条件下,同样能以土壤酶活性反映土壤肥力状况、表征土壤质量的变化程度;并以其特殊的养分转化和循环能力为岩溶区植被的生长创造了条件。

参 考 文 献

- [1] 姜惠武,赵玉泉,张博. 森林中的土壤酶研究. 林业勘查设计, 2009,3:75—76. Jiang H W, Zhao Y Q, Zhang B. The study progress of soil enzyme in forest (In Chinese). Forestry Survey and Design, 2009, (3) :75—76
- [2] 李振高,骆永明,滕应. 土壤与环境微生物研究法. 北京:科学出版社, 2008. Li Z G, Luo Y M, Teng Y. Soil and environmental microbiology research method(In Chinese). Beijing: Science Press,2008
- [3] 关松荫,张德生,张志明. 土壤酶及其研究法. 北京:农业出版社,1986:14—40,274—329. Guan S Y, Zhang D S, Zhang Z M. Soil enzyme and its research methods(In Chinese). Beijing: Agriculture Press,1986:14—40,274—329
- [4] 徐雁,向成华,李贤伟. 土壤酶的研究概况. 四川林业科技, 2010,31(2):14—20. Xu Y, Xiang C H, Li X W. Advances in enzymology (In Chinese). Sichuan Forestry Science and Technology,2010,31(2):14—20
- [5] Paz Jimenez M D, Horra A M, Peuzzo L, et al. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. Biology and Fertility of Soils,2002,35(4):302—306
- [6] 刘善江,夏雪,陈桂梅. 等. 土壤酶的研究进展. 中国农学通报, 2011,27(21):1—7. Liu S J, Xia X, Chen G M, et al. Study progress on functions and affecting factors of soil enzymes(In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin,2011,27(21):1—7
- [7] 和文祥,谭向平,王旭东,等. 土壤总体酶活性指标的初步研究. 土壤学报,2010,11:1 232—1 236. He W X, Tan X P, Wang X D, et al. Study on total enzyme activity index in soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(6):1 232—1 236
- [8] 周玮,周运超. 北盘江喀斯特峡谷区不同植被类型的土壤酶活性. 林业科学,2010,46(1):136—141. Zhou W, Zhou Y C. Soil enzyme activities unden different vegetation types in Beipan river Karst Gorge district (In Chinese). Forestry Science,2010,46(1):136—141
- [9] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(I). 贵阳:贵州科技出版社,1993:52—62. Zhu S Q. Research on Karst forest(I) (In Chinese). Guiyang: Guizhou Science and Technology Press,1993:52—62
- [10] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(II). 贵阳:贵州科技出版社,1997:9—47. Zhu S Q. Research on Karst forest(II) (In Chinese). Guiyang: Guizhou Science and Technology Press,1997:9—47
- [11] 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. 贵州农业科学,2008,36(6):168—169. Yang R, Yu L F, An M T. Analysis on microhabitat chaacteristic in kanst region——Taking maolan nature reserve as an example(In Chinese). Guizhou Agricultural Sciences,2008,36(6):168—169
- [12] 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. 土壤学报,2008,45(6):1 056—1 062. Liu F, Wang S J, Luo H B, et al. Micro-habitats in karst forest ecosystem and variability of soils (In Chinese). Acta Pedologic Sinica, 2008,45(6):1 056—1 062
- [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. 中国岩溶,2008,27(1):56—61. Li A D, Lu Y F, Wei X L, et al. Studies on the regime of soil moisture under different microhabitats in Huajiang Karst valley (In Chinese). Carsologica Sinica, 2008,27(1):56—61
- [14] 李安定,李苇洁,杨瑞,等. 喀斯特地区不同覆盖下小生境土壤保墒能力. 中国水土保持科学,2010,8(5):55—60. Li A D, Li W J, Yang R, et al. Capacity of soil moisture conservation of different microhabitats under different mulching techniques in Karst area(In Chinese). Soil and Water Conservation in China, 2010,8(5):55—60
- [15] 李丹,何腾兵,刘丛强,等. 喀斯特山区土壤酶活性研究回顾与展望. 贵州农业科学,2008,36(2):87—90. Li D, He T B, Liu C Q, et al. Review and prospect on soil enzyme activity in Karst mountain area (In Chinese). Guizhou Agricultural Sciences, 2008, 36(2):87—90
- [16] 兰雪,戴全厚,喻理飞,等. 喀斯特退化森林不同恢复阶段土壤酶活性研究. 农业现代化研究,2009,30(5):620—624. Lan X, Dai Q H, Yu L F, et al. Soil enzyme activity of different restoration stages in karst degenerative forest (In Chinese). Research of Agricultural Modernization,2009,30(5):620—624
- [17] 邹军,喻理飞,李媛媛. 退化喀斯特植被恢复过程中土壤酶活性特征研究. 生态环境学报,2010,19(4):894—898. Zhou J, Yu L F, Li Y Y. Study on soil enzyme activity characteristics during successing of degraded Karst vegetation (In Chinese). Journal of Ecological Environment,2010,19(4):894—898
- [18] 刘成刚,戎宇,薛建辉,等. 喀斯特山地不同人工林土壤酶活性与草本层结构特征的关系. 南京林业大学学报:自然科学版,2011,35(2):99—102. Liu C G, Rong Y, Xue J H, et al. Relationship between soil enzyme activities and structural characteristics of herbaceous layer in different plantations in karst area (In Chinese). Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition,2011,35(2):99—102
- [19] 崔晓晓,王纪杰,罗惠宁. 喀斯特峡谷区植被恢复过程中土壤酶活性的变化. 南京林业大学学报:自然科学版,2011,35(2):103—107. Cui X X, Wang J J, Luo H L. Variation of soil enzyme activities under different vegetation restoration stages in karst gongce district (In Chinese). Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition ,2011,35(2):103—107
- [20] 朱守谦,祝小科,喻理飞. 贵州岩溶区植被恢复的理论和实践. 贵州环保科技,2000(1):31—41. Zhu S Q, Zhu X K, Yu L F. Vegetation restoration theory and practice in Karst area of Guizhou (In Chinese). Guizhou Environmental Science and Technology,2000(1):31—41
- [21] 王世杰,季宏兵,欧阳自远,等. 碳酸盐岩风化成土作用初步研究. 中国科学: D 辑,1999,29(5):441—449. Wang S J, Ji H B, Ouyang Z Y, et al. Preliminary study on carbonate rock weathering and pedogenesis (In Chinese). Chinese Science: Series D,1999,29(5):441—449
- [22] 张信宝,王世杰,贺秀斌,等. 碳酸盐岩风化壳中的土壤蠕滑与岩溶坡地的土壤地下漏失. 地球与环境,2007,35(3):202—206. Zhang X B, Wang S J, He X B, et al. Soil creeping in weathering crusts of carbonate rocks and underground soil los-

- ses on karst slopes (In Chinese). *Earth and Environment*, 2007, 35(3):202—206
- [23] 张信宝,王世杰,曹建华,等.西南岩溶山地水土流失特点及有关石漠化的几个科学问题. *中国岩溶*, 2010, 29(3):274—279. Zhang X B, Wang S J, Cao J H, et al. Characteristics of water loss and soil erosion and some scientific problems on karst rocky desertification in southwest China karst area (In Chinese). *Carsologica Sinica*, 2010, 29(3):274—279
- [24] 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. *水土保持通报*, 2008, 28(6):41—44. Zhang Z C, Chen X, Shi P, et al. Influences of rock on soil moisture distribution in the karst cluster-peach mountain (In Chinese). *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(6):41—44
- [25] 万忠梅,吴景贵.土壤酶活性影响因子研究进展. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2005, 33(6):87—92. Wan Z M, Wu J G. Study progress on factors affecting soil enzyme activity (In Chinese). *Journal of Northwest Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition*, 2005, 33(6):87—92
- [26] 朱同彬,诸葛玉平,刘少军,等.不同水肥条件对土壤酶活性的影响. *山东农业科学*, 2008, 3:74—78. Zhu T B, Zhuge Y P, Liu S J, et al. Effect of different fertilizer treatments and water regimes on soil enzyme activity (In Chinese). *Shandong Agricultural Sciences*, 2008(3):74—78
- [27] 贵州省地质矿产局.贵州省区域地质志.北京:地质出版社, 1982:404—440. Guizhou Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. *Regional geology of Guizhou Province (In Chinese)*. Beijing: Geological Press, 1982:404—440
- [28] 赵汝东,范剑波,何园球,等.退化马尾松林下土壤障碍因子分析及酶活性研究. *土壤学报*, 2011, 11:1 287—1 292. Zhao R D, Fan J B, He Y Q, et al. Research on soil enzyme activities and limiting factors for restoration of degraded *Pinns massoniana* plantation (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 47(6):1 287—1 292
- [29] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析.上海:上海科学技术出版社, 1978:62—136, 466, 511. Nanjing Institute of Soil Science of Chinese Academy of Sciences. *Soil physical and chemical analysis (In Chinese)*. Shanghai: Shanghai Science and Technology press, 1978:62—136, 466, 511
- [30] 鲍士旦.土壤农化分析.北京:中国农业出版社, 1999:229—291. Bao S D. *Soil agricultural chemistry analysis (In Chinese)*. Beijing: China Agriculture Press, 1999:229—291
- [31] 龙成昌,陈训,罗娅.花江峡谷地区顶坛花椒生长状况与土壤条件相关分析. *贵州师范大学学报:自然科学版*, 2003, 21(3):102—104. Long C C, Chen X, Luo Y. Correlation analysis of the *Zanthoxylum bungeanum* growth and the soil conditions in Huajiang gorge area (In Chinese). *Journal of Guizhou Normal University: Natural Science Edition*, 2003, 21(3):102—104
- [32] 周智彬,李培军.塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中微生物的生态分布及其与土壤因子间的关系. *应用生态学报*, 2003, 14(8):1 246—1 250. Zhou Z B, Li P J. Relationship between the soil microbial ecological distributions and the soil factors in Taklimakan desert hinterland greenbelt (In Chinese). *Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(8):1 246—1 250
- [33] 陈立新.人工林土壤质量演变与调控.北京:科学出版社, 2004:65—66. Chen L X. *Plantation soil quality evolution and regulation (In Chinese)*. Beijing: Science Press, 2004:65—66

SOIL ENZYME ACTIVITIES IN THE TYPE OF ROOT UNDERGROUND HABITAT TYPICAL OF KARST AREAS

Fu Yuhong^{1,2} Huang Zongsheng¹ Yu Lifei^{1†}

(1 Forestry college of Guizhou University, Guiyang 550025, China)

(2 School of Chemistry and Life Science, Guizhou Normal College, Guiyang 550018, China)

Abstract Soil samples were collected from three different types of underground root habitat typical of Karst area (Type I -dolomite of low oblique occurrence with multilayer space, Type II -dolomite of middle oblique with multilayer space and Type III -dolomite of high oblique occurrence with multilayer space types), for analysis of enzyme activity in the soils as affected by type of underground root habitat and level of soil layer, and correlation between soil enzyme and soil nutrients content. Results show that: 1) soil enzyme activity varied sharply between different habitat types and between different spatial soil layers ($p < 0.01$). 2) Type I is conducive to cycling of soil carbon, Type II to transformation of N-containing compounds and Type III to oxidation of soil organic matter, and moreover, soil enzyme activity in all the three types decreased with soil depth. 3) soil enzyme activity was significantly related to soil nutrients content. So their correlation coefficient can be used as an indicator for evaluation of soil quality/fertility. Obviously, the finding of differences between the types of root underground habitat in soil enzyme activity may be very useful to evaluation of soil quality, study on technology for vegetation restoration and ecological remediation and management in the Karst rocky desertification region.

Key words Soil; Enzyme activity; Type of root underground habitat; Karst rocky desertification area