

# 岩溶区典型根系地下生境的土壤质量分析

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:**选择岩溶区三种不同的典型根系地下生境类型土壤为研究对象(类型Ⅵ——白云岩水平产状多层空间类型、类型Ⅸ——白云岩倾斜产状多层空间类型及类型Ⅺ——白云岩直立产状多层空间类型),根据不同类型的土壤物理、化学及生物学指标,计算土壤肥力的综合指标值,对其土壤质量进行综合分析评价。结果表明:(1)不同植物根系地下生境类型 and 不同空间土壤层次的土壤指标值差异极显著;(2)不同类型的土壤质量存在差异,且具有明显的层次性,土壤质量表现为白云岩倾斜产状多层空间类型最好,且三种类型的土壤质量均呈现出随土壤深度的增加而逐渐降低的趋势。该文揭示了根系地下生境的土壤质量差异,这为岩溶石漠化区的植被恢复技术研究和治理均有积极的作用。

**关键词:**土壤质量评价;根系地下生境;岩溶石漠化区

中图分类号:S158.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0067-07

## Analysis on the Soil Quality of Different Typical Underground Root Habitat Types 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. Forestry University of Guizhou, Guiyang 550025,

China; 2. Guizhou Normal College, Guiyang 550018, China)

**Abstract:** This paper took three different soil of the typical root underground habitat types in Karst area as the research objects (Type Ⅵ—dolomite level occurrence multilayer space types, Type Ⅸ—dolomite tilt occurrence multilayer space types and Type Ⅺ—dolomite vertical occurrence multilayer space types). The integrated soil fertility index was calculated and the soil quality was evaluated according to the different types of soil physical, chemical and biological indicators. The results showed that: (1) soil index of different plant root underground habitat types and different spatial soil levels were extremely significant difference; (2) soil quality of different types existed differences, and had a clear hierarchy, soil quality with white dolomite tilt occurrence multilayer space type was the best, and soil quality of three types decreased with the increase of the soil depth. This article reveals the differences of the soil quality of root underground habitat type, which will play a positive role in vegetation restoration technology research and management in the Karst rocky desertification area.

**Key words:** soil quality evaluation; root underground habitat; Karst rocky desertification area

土壤是植物赖以生存的基础,岩溶地区石漠化较为严重、土层浅薄、土被不连续、成土速度慢<sup>[1-2]</sup>,生态环境一旦遭到破坏则难以恢复,严重影响了生态平衡、居民生存及经济发展。土壤质量是土壤在生态系统边界范围内维持作物生产,保持环境质量及促进动植物健康的能力<sup>[3]</sup>。

随着社会的不断发展和人口的迅速增加,一些不合理的开发利用导致人口、资源、环境之间的矛盾和可持续发展面临空前压力<sup>[4]</sup>,土壤作为一种非再生资源<sup>[5]</sup>,其质量问题受到各方面人士的广泛关注。针对岩溶地区,由于基岩可溶产生的裂隙<sup>[6-8]</sup>以及岩石产状倾角的影响<sup>[9]</sup>,使土壤水分分布出现差异,这在一

收稿日期:2011-11-14

修回日期:2012-01-09

资助项目:“211 工程”三期重点学科建设项目“西南喀斯特演化过程与生态系统调控”(Kst200904);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);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研究”(2011BAC02B02);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,云南宣威人,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: gdyulifei@163.com

定程度上造成了土壤理化性状及生物环境的改变,进而影响土壤质量;另外,植物根系由于其极强的穿串能力<sup>[10]</sup>,同时也生长于地下岩石的裂缝中,说明岩层下存在地下空间;而不同类型的地下空间土壤质量如何则未见报道。

前人对岩溶石漠化区的土壤质量研究也主要集中于地表小生境<sup>[1-2,11-14]</sup>,基于此,本文以地下根系生长空间为研究对象,针对其土壤理化性状、生物学指标等,对典型生境类型的土壤质量进行评价,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及改良提供相应的依据,促进岩溶地区石漠化的植被恢复、生态修复和治理。

## 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,贵阳市位于贵州省中部的云贵高原东斜坡地带,地处北纬  $26^{\circ}11'—27^{\circ}27'$ ,东经  $106^{\circ}07'—107^{\circ}17'$ ,属于亚热带湿润温和

型气候,兼有高原性和季风性气候特点;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  $15.3^{\circ}\text{C}$ ,年极端最高温  $35.1^{\circ}\text{C}$ ,年极端最低温度  $-7.3^{\circ}\text{C}$ ,年降水量  $1\,300$  mm,年平均相对湿度为  $77\%$ ,日照时数  $1\,354$  h,无霜期  $270$  d。境内植被类型丰富,碳酸盐岩分布广泛,主要岩石类型为石灰岩和白云岩;土壤类型多样,有黄壤、石灰土、紫色土、沼泽土和水稻土等;黄壤为地带性土壤,一般土层深厚,土壤呈条带状镶嵌分布,组合多样<sup>[15]</sup>。

根据野外植物根系地下生长空间的剖面调查所划分的 18 个生境类型;本研究选择了其中 3 个典型类型进行土壤质量的分析评定。分别为:白云岩水平产状多层空间类型(类型 VI)、白云岩倾斜产状多层空间类型(类型 IX)、白云岩直立产状多层空间类型(类型 XI);所选择的典型样地均位于贵阳市境内,其中,类型 VI 位于安迁,类型 IX 和类型 XI 均位于蔡家关。各样地及其典型类型的基本特征见表 1。

表 1 各样地及其典型类型基本特征

类型	岩层倾角/ $(^{\circ})$	样地面积/ $\text{m}^2$	坡度/ $(^{\circ})$	坡向	海拔/ $\text{m}$	优势树种			特征
						乔木	灌木	草本	
类型 VI	5	900	30~45	NE	1200~1300	白栎 鼠刺	铁仔	苔草 大头艾纳香	白云岩,整体产状明显,岩层倾角范围 $0^{\circ}—30^{\circ}$ ,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 $\geq 2$ ,破碎度指数较高
类型 IX	55	900	30~45	NE	1200~1300	白栎 女贞	火棘	十字苔草 苔草 蕨	白云岩,整体产状明显,岩层倾角范围 $31^{\circ}—60^{\circ}$ ,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 $\geq 2$ ,破碎度指数较高
类型 XI	87	900	30~45	NE	1200~1300	白栎 女贞	火棘	知风草 五节芒	白云岩,整体产状明显,岩层倾角范围 $61^{\circ}—90^{\circ}$ ,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 $\geq 2$ ,破碎度指数较高

### 1.2 土样采集

土壤采集范围为三个岩石产状不同的样地,各样地均设置三个  $20\text{ m}\times 15\text{ m}$  的样方。在各样方内根据所选择的三个典型类型的基本特征,分别在样方内选取 6 个的同时具备样点处生境相似和大小一致的岩石产状倾角的代表性样点,三个样地共计 54 个样点。采样时,由于各典型类型存在不同的空间组合,故均选择“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  $0—30\text{ cm}$ ;下层空间一般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  $100\text{ cm}$  为限,以  $50\text{ cm}$  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。

### 1.3 试验设计

评价指标的选定是土壤质量评价的核心,关系到其评价结果的客观性及准确性。根据目标区的环境条件,选择土壤质量的物理学、化学、生物学指标进行土壤质量评定<sup>[16]</sup>。本研究选择的具体评价指标有:土壤 pH 值、土壤水分、土壤容重、土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾、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、过氧化物酶共 18 个指标,详见表 2。

表 2 土壤指标的方差分析结果

因变量	源	Ⅲ型平方和	df	均方	F	Sig.
pH 值	类型	23.878	2	11.939	1288.505	0.000
	层次	2.003	2	1.002	108.102	0.000
	类型×层次	0.198	4	0.049	5.329	0.000
土壤水分	类型	3323.286	2	1661.643	2322.623	0.000
	层次	1038.343	2	519.171	725.691	0.000
	类型×层次	313.483	4	78.371	109.546	0.000
容重	类型	4.289	2	2.144	604.672	0.000
	层次	0.593	2	0.297	83.631	0.000
	类型×层次	0.520	4	0.130	36.630	0.000
有机质	类型	225.706	2	112.853	826.037	0.000
	层次	134.865	2	67.432	493.575	0.000
	类型×层次	6.400	4	1.600	11.711	0.000
全氮	类型	21.746	2	10.873	5196.352	0.000
	层次	8.577	2	4.289	2049.590	0.000
	类型×层次	4.674	4	1.169	558.497	0.000
碱解氮	类型	263993.089	2	131996.544	8868.236	0.000
	层次	258255.473	2	129127.737	8675.494	0.000
	类型×层次	15345.662	4	3836.415	257.751	0.000
全磷	类型	0.015	2	0.008	311.892	0.000
	层次	0.008	2	0.004	166.438	0.000
	类型×层次	0.007	4	0.002	75.009	0.000
速效磷	类型	392.316	2	196.158	4198.929	0.000
	层次	992.182	2	496.091	10619.242	0.000
	类型×层次	68.950	4	17.237	368.982	0.000
全钾	类型	13.188	2	6.594	3398.808	0.000
	层次	1.416	2	0.708	364.962	0.000
	类型×层次	1.959	4	0.490	252.465	0.000
速效钾	类型	364612.718	2	182306.359	6303.943	0.000
	层次	251790.141	2	125895.071	4353.306	0.000
	类型×层次	58502.868	4	14625.717	505.740	0.000
蔗糖酶	类型	3.229	2	1.614	3129.152	0.000
	层次	17.294	2	8.647	16760.497	0.000
	类型×层次	2.496	4	0.624	1209.500	0.000
淀粉酶	类型	0.301	2	0.151	311.479	0.000
	层次	0.719	2	0.360	744.268	0.000
	类型×层次	0.249	4	0.062	128.815	0.000
脲酶	类型	219.165	2	109.583	89654.259	0.000
	层次	142.736	2	71.368	58389.366	0.000
	类型×层次	20.627	4	5.157	4218.986	0.000
蛋白酶	类型	166.725	2	83.362	73336.810	0.000
	层次	618.299	2	309.149	271969.145	0.000
	类型×层次	83.791	4	20.948	18428.343	0.000
磷酸酶	类型	1589431.552	2	794715.776	400900000	0.000
	层次	4184001.333	2	2092000.667	105500000	0.000
	类型×层次	27936.053	4	6984.013	3522846.190	0.000
过氧化氢酶	类型	1.903	2	0.951	72458.728	0.000
	层次	0.289	2	0.144	11003.794	0.000
	类型×层次	1.077	4	0.269	20504.570	0.000
多酚氧化酶	类型	0.165	2	0.082	2931.997	0.000
	层次	0.163	2	0.081	2905.151	0.000
	类型×层次	0.009	4	0.002	80.348	0.000
过氧化物酶	类型	0.041	2	0.020	2086.787	0.000
	层次	0.064	2	0.032	3274.879	0.000
	类型×层次	0.002	4	0.001	63.322	0.000

土壤 pH 值采用电位测定法;土壤水分采用烘干法;土壤容重采用环刀法<sup>[17]</sup>;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;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<sup>[17-18]</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>[19]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤指标的统计分析

根据原始数据,对各土壤指标变量进行独立、正态、齐性检验,得出各指标数据满足方差分析所要求的独立、正态、齐性三条件,可以进行方差分析。以各指标为变量对主体间双因子:植物根系地下生长空间典型类型(白云岩水平产状多层空间类型、白云岩倾斜产状多层空间类型、白云岩直立产状多层空间类型共 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,以 LSD 进行差异检验(表 2)。

表 2 显示,针对各个因变量,类型  $p < 0.01$ ;层次  $p < 0.01$ ;类型  $\times$  层次  $p < 0.01$ ,这说明类型和层次及其交互对土壤指标均有极显著的影响,其中,各个组的  $R^2 > 0.90$ 、调整的  $R^2 > 0.90$ ,说明该模型具有较好的解释能力,且模型拟合较好,这表明类型和层次是影响土壤指标值变化的主要因子。LSD 检验得出不同的类型和不同的层次间土壤指标值存在极显著差异( $p < 0.01$ )。上述分析表明本研究采样方法正确,数据科学、合理,具有很强的代表性,所选指标符合土壤质量评价指标要求。

### 2.2 土壤指标标准化

由于不同类型和层次之间的土壤指标值存在差异,因此,在各个土壤质量评价指标中,为减小其量纲差异,避免指标之间绝对值和变化幅度较大,故在进行数据分析之前对所测定的原始数据进行标准化处理。评价指标标准化公式<sup>[20]</sup>为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

式中: $i$ ——样本数; $j$ ——指标个数; $x'_{ij}$ ——标准化后的数据; $\bar{x}_j$ ——测定数据平均值; $s_j$ ——第  $j$  个指标的标准差。各土壤指标具体数值及标准化值如表 3—4 所示。

表 3 土壤质量评价指标养分数值

		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	
名称		pH 值	土壤水 分/%	容重/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	有机质/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	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/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	
类型 VI	表层	$\bar{x}$	7.03	19.04	1.47	4.35	0.32	138.74	0.07	11.47	0.46	113.45
		$x'$	-1.49	-0.61	0.63	0.31	-0.27	0.06	1.03	0.52	-2.02	-0.57
	中层	$\bar{x}$	7.20	18.75	1.41	2.75	0.11	92.14	0.07	5.98	0.75	80.80
		$x'$	-1.09	-0.66	0.32	-0.69	-0.69	-0.70	1.03	-1.21	-1.17	-1.04
	下层	$\bar{x}$	7.28	14.06	1.45	2.25	0.03	65.96	0.06	5.50	1.06	83.11
		$x'$	-0.90	-1.48	0.53	-1.01	-0.85	-1.13	0.37	-1.36	-0.25	-1.01
类型 IX	表层	$\bar{x}$	7.51	30.74	0.99	6.42	1.62	263.34	0.07	13.89	1.42	289.16
		$x'$	-0.36	1.44	-1.86	1.61	2.37	2.10	1.03	1.28	0.81	2.00
	中层	$\bar{x}$	7.74	28.12	1.19	5.59	0.74	173.50	0.04	10.20	1.40	182.43
		$x'$	0.18	0.98	-0.82	1.09	0.59	0.63	-0.96	0.12	0.76	0.44
	下层	$\bar{x}$	7.89	26.13	1.18	4.56	0.54	137.10	0.04	9.64	1.48	153.93
		$x'$	0.53	0.63	-0.87	0.44	0.18	0.04	-0.96	-0.06	0.99	0.03
类型 XI	表层	$\bar{x}$	8.01	27.61	1.33	4.45	0.36	163.87	0.05	14.57	1.25	216.89
		$x'$	0.81	0.89	-0.09	0.37	-0.18	0.47	-0.29	1.50	0.31	0.94
	中层	$\bar{x}$	8.13	19.45	1.55	2.53	0.24	103.90	0.06	7.53	1.21	144.86
		$x'$	1.10	-0.54	1.05	-0.83	-0.43	-0.51	0.37	-0.72	0.19	-0.11
	下层	$\bar{x}$	8.18	18.72	1.56	1.82	0.10	75.93	0.03	9.56	1.27	105.22
		$x'$	1.21	-0.67	1.10	-1.28	-0.71	-0.97	-1.62	-0.08	0.37	-0.69

注:表中数据  $\bar{x}$  为样品测定的平均值, $x'$  为标准化处理后的值。下表同。

表 4 土壤质量评价指标中各种酶类的数值

		$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$
名称		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 VI	表层 $\bar{x}$	1.94	0.23	6.15	18.43	11.31	0.07	0.16	0.07
	表层 $x'$	2.15	0.14	-0.08	1.23	0.59	-0.45	0.92	0.32
	中层 $\bar{x}$	1.06	0.19	4.27	13.82	8.65	0.42	0.11	0.03
	中层 $x'$	-0.05	-0.28	-1.24	-0.65	-0.74	1.87	-0.09	-1.11
	下层 $\bar{x}$	0.82	0.16	3.89	11.38	7.40	0.38	0.08	0.02
	下层 $x'$	-0.65	-0.60	-1.47	-1.64	-1.36	1.61	-0.70	-1.47
类型 IX	表层 $\bar{x}$	1.37	0.35	9.15	19.11	11.68	0.06	0.10	0.09
	表层 $x'$	0.72	1.41	1.76	1.51	0.77	-0.52	-0.29	1.03
	中层 $\bar{x}$	0.83	0.26	7.68	16.39	9.58	0.04	0.07	0.06
	中层 $x'$	-0.62	0.46	0.86	0.40	-0.27	-0.65	-0.90	-0.04
	下层 $\bar{x}$	0.61	0.22	5.96	14.99	8.10	0.03	0.05	0.05
	下层 $x'$	-1.17	0.04	-0.20	-0.17	-1.01	-0.72	-1.31	-0.40
类型 XI	表层 $\bar{x}$	1.27	0.35	7.31	16.56	13.79	0.11	0.21	0.11
	表层 $x'$	0.47	1.41	0.63	0.47	1.83	-0.18	1.94	1.74
	中层 $\bar{x}$	0.99	0.11	6.14	14.31	10.98	0.07	0.14	0.07
	中层 $x'$	-0.22	-1.16	-0.09	-0.45	0.43	-0.45	0.52	0.32
	下层 $\bar{x}$	0.83	0.08	5.99	13.67	9.65	0.06	0.11	0.05
	下层 $x'$	-0.62	-1.44	-0.18	-0.71	-0.24	-0.52	-0.09	-0.40

2.3 评价指标主成分分析

经过评价指标的主成分分析,提取了 3 个主成分  $y_1, y_2, y_3$ ,这 3 个变量包括了原始数据信息总量的 91.329%。说明这 3 个主成分能够代表原来的 18 个指标来反映土壤质量(表 5)。

表 5 土壤指标成分矩阵、特征值及贡献率

指标	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$
$y_1$	0.145	0.919	-0.760	0.861	0.963	0.065	0.910	0.397	0.953	0.901	0.382
$y_2$	-0.658	-0.301	0.295	-0.153	0.010	0.773	0.120	-0.874	-0.153	-0.028	0.888
$y_3$	0.710	-0.075	0.557	-0.390	-0.253	-0.443	0.271	0.083	-0.023	-0.362	0.052
指标	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%	
$y_1$	0.840	0.954	0.885	0.702	-0.640	0.224	0.851	10.040	55.780	55.780	
$y_2$	0.196	-0.138	0.330	0.416	0.308	0.669	0.196	3.746	20.809	76.589	
$y_3$	-0.257	0.104	-0.043	0.549	-0.428	0.654	0.464	2.653	14.740	91.329	

从表 5 中可看出,第一主成分主要包括土壤水分( $x_2$ )、有机质( $x_4$ )、全氮( $x_5$ )、全磷( $x_7$ )、全钾( $x_9$ )、速效钾( $x_{10}$ )、淀粉酶( $x_{12}$ )、脲酶( $x_{13}$ )、蛋白酶( $x_{14}$ )、磷酸酶( $x_{15}$ )、过氧化物酶( $x_{18}$ ),它们具有较大的荷载,分别为:0.919,0.861,0.963,0.910,0.953,0.901,0.840,0.954,0.885,0.702,0.851。第二主成分主要包括蔗糖酶( $x_{11}$ ),其荷载为:0.888。第三主成分主要要包括 pH 值( $x_1$ ),其荷载为 0.710。这说明第一主成分主要反映的是土壤大多数指标的影响,第二主成分主要反映土壤蔗糖酶的影响,而第三主成分主要反映土壤 pH 值的影响。

2.4 评价指标的综合评价

根据各指标主成分分析结果,各指标主成分得分矩阵如表 6 所示。

表 6 土壤指标成分得分矩阵

指标	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
$y_1$	0.014	0.092	-0.076	0.086	0.096	0.006	0.091	0.040	0.095
$y_2$	-0.176	-0.080	0.079	-0.041	0.003	0.206	0.032	-0.233	-0.041
$y_3$	0.267	-0.028	0.210	-0.147	-0.095	-0.167	0.102	0.031	-0.009
指标	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$
$y_1$	0.090	0.038	0.084	0.095	0.088	0.070	-0.064	0.022	0.085
$y_2$	-0.007	0.237	0.052	-0.037	0.088	0.111	0.082	0.179	0.052
$y_3$	-0.137	0.019	-0.097	0.039	-0.016	0.207	-0.161	0.246	0.175

根据表 6 中各主成分指标的得分,可以得到各主成分的函数表达式分别为:

$$y_1 = 0.014x_1 + 0.092x_2 - 0.076x_3 + 0.086x_4 + \dots + 0.085x_{18}$$

$$y_2 = -0.176x_1 - 0.080x_2 + 0.079x_3 - 0.041x_4 + \dots + 0.052x_{18}$$

$$y_3 = 0.267x_1 - 0.028x_2 + 0.210x_3 - 0.147x_4 + \dots + 0.175x_{18}$$

将表 3—4 中的标准化数据带入上述函数表达

式,可以得到各土壤指标 3 个主成分的得分值。为评价土壤质量,选择土壤肥力的综合指标值(integrated fertility index, IFI)来进行最终的综合评价。经变换,其计算公式<sup>[20]</sup>为:

$$IFI = \sum_{j=1}^3 a_j y_j$$

式中: $a_i$ ——第  $i$  个主成分的贡献率; $y_j$ ——第  $j$  个主成分得分值。计算各得分值并排序,结果如表 7 所示。

表 7 土壤指标主成分得分及排序

名称		主成分 1		主成分 2		主成分 3		综合评价	
		得分	排序	得分	排序	得分	排序	IFI	排序
类型 VI	表层	0.117	4	1.933	1	0.049	4	0.475	3
	中层	-1.004	8	0.750	2	-0.947	9	-0.543	8
	下层	-1.384	9	-0.006	5	-0.872	7	-0.901	9
类型 IX	表层	1.775	1	0.387	4	-1.054	8	0.915	1
	中层	0.570	3	-0.961	8	-0.464	6	0.049	4
	下层	0.057	5	-1.366	9	-0.480	5	-0.323	6
类型 XII	表层	0.967	2	0.490	3	1.389	2	0.846	2
	中层	-0.392	6	-0.061	6	1.079	3	-0.072	5
	下层	-0.707	7	-0.818	7	1.301	1	-0.373	7

从表 7 中可以看出,不同类型不同层次的土壤由于其不同指标的影响,其质量存在差异;在第一主成分方面,以类型 IX 和类型 XII 的表层土占优势;在第二主成分方面,以类型 VI 的表层和表层土占优势;而在第三主成分方面,以类型 XII 的表层和下层土占优势。

在综合评价得分 IFI 的排序中,其大小顺序依次为类型 IX 表层>类型 XII 表层>VI 类型表层>类型 IX 中层>类型 XII 中层>类型 IX 下层>类型 XII 下层>类型 VI 中层>类型 VI 下层。以上结果说明三种不同类型,类型 VI(白云岩水平产状多层空间类型)、类型 IX(白云岩倾斜产状多层空间类型)、类型 XII(白云岩直立产状多层空间类型)的土壤质量存在差异。

表层土、中层土和下层土的大小顺序为类型 IX>类型 XII>类型 VI。各类型下的土壤,层次分化性较为明显,其综合评分均表现为表层>中层>下层。

出现以上结果,主要是在岩溶石漠化区特殊的地质背景条件下,由岩石产状类型及土壤分布特点决定的;在岩石产状倾角为水平状态时,土壤分布主要集中于水平面,土层浅薄,植物根系大多为水平延伸,土壤养分容易被植物吸收利用;而在岩石产状倾角为直立状态时,土壤分布由于岩层的裂隙,主要填充于呈直立状态的岩石裂隙中,植物根系大多为垂直延伸,养分容易随水分的下渗而流失;当岩石产状倾角为倾斜状态时则居于二者之间,故土壤养分及质量相对较

高。因此,由于根系生境分布的多层性特征,土壤质量也呈现出了层次分异,这些研究结果对揭示岩溶石漠化地区植物根系地下生境土壤质量提供依据,同时对石漠化区的植被恢复和治理均具有积极的促进和推动作用。

### 3 结 论

(1) 在研究对象上,本文选择的是典型根系地下生境类型的土壤,在前人的研究中,主要研究对象仅为地表生境的土壤<sup>[1-2,11-14]</sup>,这对揭示特殊地质条件下的根系地下生境具有非常重要的作用和意义。

(2) 根据土壤采样,进行了各土壤指标的统计分析,证明所采土壤样品具有代表性,经方差分析得出:类型和层次是影响土壤指标值变化的主要因素,不同根系地下生境类型的不同层次土壤指标数值存在极显著差异。经过一系列的统计分析,保证了各样地典型类型样点上各采样点土壤样品质量的一致性和代表性,确保了各个典型类型间土壤质量分析比较的科学性、合理性及准确性;同时为后续的土壤质量评价提供了相应的依据和基础。

(3) 经过主成分分析并结合土壤肥力综合指数的计算,对土壤质量进行评价得出:土壤化学指标在评价土壤质量时具有非常显著的地位及意义,土壤生物学指标及物理指标也起到了较大的作用;不同类型

的土壤质量存在差异,且具有明显的层次性,土壤质量表现为白云岩倾斜产状多层空间类型>白云岩直立产状多层空间类型>白云岩水平产状多层空间类型,在各类型的空间层次上,土壤质量层次性明显,均随土壤深度的增加表现为下降趋势。这体现了同种岩石类型不同产状的相同空间类型的土壤质量差异;说明岩石的产状倾角对土壤质量的差异存在重要影响;曾有研究<sup>[9]</sup>指出,在喀斯特地区,岩石的产状倾角影响了土壤水分的分布;说明岩石产状倾角在一定程度上会造成土壤生态条件的改变,土壤水分及养分的变化,势必影响土壤质量的差异。因此,针对喀斯特地区不同岩石产状类型样地的典型样点进行土壤质量分析,有利于正确评价石漠化区植被的生境条件,充分认识岩溶石漠化区立地条件,促进植被恢复技术研究和石漠化治理。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(II)[M]. 贵阳:贵州科技出版社,1997.
- [3] 王博文,陈立新. 土壤质量评价方法述评[J]. 中国水土保持科学,2006,4(2):120-126.
- [4] 岳西杰,葛玺祖,王旭东. 土壤质量评价方法的应用与进展[J]. 中国农业科技导报,2010,12(6):56-61.
- [5] 赵其国,孙波,张桃林. 土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤,1997,29(3):113-120.
- [6] 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[J]. 中国科学:D辑,1999,29(5):441-449.
- [7] 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[J]. 中国岩溶,2010,29(3):274-279.
- [8] 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[J]. 地球与环境,2007,35(3):202-206.
- [9] 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.
- [10] 朱守谦,祝小科,喻理飞. 贵州岩溶区植被恢复的理论和实践[J]. 贵州环保科技,2000(1):31-41.
- [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[J]. 贵州农业科学,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[J]. 土壤学报,2008,45(6):1056-1062.
- [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[J]. 中国岩溶,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[J]. 中国水土保持科学,2010,8(5):55-60.
- [15] 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.
- [16] 路鹏,苏以荣,牛铮,等. 土壤质量评价指标及其时空变异[J]. 中国生态农业学报,2007,15(4):191-194.
- [17] 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.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
- [19] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [20] 魏媛,喻理飞,张金池,等. 退化喀斯特植被恢复过程中土壤生态肥力质量评价[J]. 中国岩溶,2009,28(1):61-67.