

基于不同岩性的黔中地区土壤肥力评价

符裕红¹, 黄宗胜², 彭琴³

(1. 贵州师范学院化学与生命科学学院, 贵州贵阳 550018; 2. 贵州大学建筑与城市规划学院, 贵州贵阳 550025; 3. 黔西南民族职业技术学院, 贵州兴义 562400)

摘要 [目的]通过评价黔中喀斯特地区6种不同非碳酸盐岩的土壤肥力,旨在了解喀斯特地区不同岩性土壤的基本状况及肥力。[方法]以黔中地区6种非碳酸盐岩类岩石上发育的土壤为研究对象,分别选取土壤物理、化学及生物学指标进行土壤肥力评价,利用主成分分析对指标进行筛选,提取4个主成分及其贡献率、特征值及得分值,通过土壤肥力综合指数计算各类岩性土壤肥力的综合得分,并进行排序。[结果]土壤化学性质,即土壤养分在土壤肥力评价中具有重要作用;在喀斯特地区,不同岩性非碳酸盐岩类岩石的土壤肥力不同,以玄武岩上发育的土壤肥力最好,其次为变余砂岩、第四纪红色黏土、煤系砂页岩、石英砂岩,最差的为长石石英砂岩。[结论]该研究在一定程度上深化了前人对于喀斯特土壤肥力的研究,为了解喀斯特地区的非碳酸盐岩类土壤肥力提供参考,同时也可促进喀斯特地区的植被培育、生态修复和治理。

关键词 土壤肥力;岩性;黔中地区

中图分类号 S158 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)16-126-03

Evaluation on the Soil Fertility of Different Rock Soil in the Central Region of Guizhou

FU Yu-hong¹, HUANG Zong-sheng², PENG Qin³ (1. College of Chemistry and Life Science, Guizhou Normal College, Guiyang, Guizhou 550018; 2. College of Architecture and Urban Planning, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025; 3. Southwest Guizhou Vocational and Technical College for Nationalities, Xingyi, Guizhou 562400)

Abstract [Objective] The aim was to study the basic situation and fertility of different rock soil in Karst region through evaluating fertility of six non-carbonate rock soil in the central region of Guizhou. [Method] Taking six non-carbonate rock soil in the central region of Guizhou as the research object, soil physical, chemical and biological indicators were selected to evaluate the soil fertility. Using principal component analysis (PCA) for index selection, four principal components and contribution rate, characteristic value and score were extracted. The comprehensive score of fertility of each rock type soil was calculated through soil fertility comprehensive index and was ranked. [Result] The results showed that; soil chemical properties—soil nutrient in soil fertility evaluation plays an important role; different rock of non-carbonate rock soil fertility varies in the Karst area, with basalt soil fertility is best, followed by the palimpsest sandstone, quaternary red clay, shale, coal sand quartz sandstone, the worst is feldspar quartz sandstone. [Conclusion] To some certain extent, predecessors' study on soil fertility in Karst, can lay the foundation for research on plant growth, provide reference for study fertility of non-carbonate rock soil in Karst region, promote vegetation cultivation, ecological restoration and treatment in Karst area.

Key words Soil fertility; Rock type; The central region of Guizhou

喀斯特石山区主要分布在以贵州高原为中心的贵州、云南、广西、四川、重庆、湖南、湖北及广东8省市,而作为典型地层发育完全的贵州省黔中地区,喀斯特面积比例达85.02%,居全省首位,表现出石漠化较严重、人口密度较高、土地资源稀少、生态环境恶劣等特点,故植被恢复显得极其重要^[1]。在全省范围内,喀斯特地貌以碳酸盐岩地层分布区最为发育,约占全省面积的65%,但喀斯特地区也存在大量的非碳酸盐类岩性^[2],由于喀斯特地区石漠化较为严重、土层浅薄、土被不连续、成土速度慢^[3-4]、生态环境脆弱^[5],故一旦破坏则难以恢复。因此,土壤成为喀斯特地区支撑植物生长的必要条件,土壤肥力好坏则直接影响植物的生长及发育。在喀斯特地区的土壤肥力、肥力评价方面,目前研究主要集中于喀斯特地区不同退化程度及不同利用方式下的土壤肥力及肥力评价^[6-13],而喀斯特区域内不同岩性的非碳酸

盐类岩石的土壤肥力有无差别,肥力如何,对植物的生长有何影响,这些都有待于进一步研究。笔者通过评价黔中喀斯特地区6种不同非碳酸盐岩的土壤肥力,旨在了解喀斯特地区不同岩性土壤的基本状况及肥力,以期能为贵州喀斯特不同岩性地区的植被恢复及配置提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区位于黔中喀斯特区贵阳市境内,地处106°07'~107°17'E,26°11'~27°27'N,属亚热带高原季风性气候;区域内以山地丘陵为主,地势起伏较大,海拔高度506.5~1762.7m,相对高差1256.2m。年极端最高温35.1℃,年极端最低温-7.3℃,年均温15.3℃,年降水量1300mm,年平均相对湿度77%,日照时数1354h,无霜期270d。境内植被类型丰富,以碳酸盐岩分布最广,并伴有多种岩性分布,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,土壤呈条带状的镶嵌分布,且组合多样^[2]。

1.2 土壤采集 土壤采集以喀斯特的代表群落样方面积(30m×30m)为参考,分别选取黔中地区6种典型的岩性:岩性I为玄武岩(清镇),岩性II为石英砂岩(龙里),岩性III为长石石英砂岩(黔陶),岩性IV为变余砂岩(清镇),岩性V为第四纪红色黏土(孟关),岩性VI为煤系砂页岩(彭官)。每种岩性设定3个样方,每个样方设定6个采样点,土壤采

基金项目 贵州省自然科学基金项目“喀斯特区不同根系地下生境类型的植物生长适宜性研究”(黔合科J字[2013]2236号);贵州师范学院自然科学研究基金项目“喀斯特区不同灰岩根系地下生境的土壤质量研究”(12BS029);贵州省科技计划项目“喀斯特固碳增汇植被恢复技术及示范研究”(黔合SY字[2012]3012号)。

作者简介 符裕红(1982-),女,云南宣武人,副教授,博士,从事恢复生态方面的研究。

收稿日期 2016-04-13

集以随机采样的方式进行,采样深度为 0~30 cm,样品带回后清除植物残体、根系、石头等其他杂物,部分土样风干处理后进行土壤养分测定,部分土壤处理后直接用于土壤酶活性的测定,土壤样品共计 108 个。

1.3 评价指标 具体评价指标有土壤 pH、土壤水分、土壤容重、石砾含量、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、过氧化氢酶、多酚氧化酶。土壤指标均设置相应的对照和 3 个重复^[14-17]。

土壤 pH 采用电位测定法,土壤水分的测定采用烘干法,土壤容重的测定采用环刀法,石砾含量的测定采用称重法^[18];土壤全氮的测定采用蒸馏法;碱解氮的测定采用扩散吸收法(扩散皿);全磷、速效磷的测定采用钼锑抗比色法;全钾、速效钾的测定采用火焰光度法;有机质的测定采用重铬酸钾-硫酸-外加加热法^[18-19]。蔗糖酶、淀粉酶的测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法;脲酶的测定采用苯酚钠-次氯酸钠比色法;过氧化氢酶的测定采用容量法;多酚氧化酶的

测定采用碘量滴定法^[19]。

1.4 评价方法 采用主成分分析结合指数法对土壤肥力进行综合评价^[20],二者的结合在一定程度上增加了指数法的合理性与准确性,同时简化了模型法的计算量及复杂性,最终确保评价结果的客观性,同时也显示出其特有的全面性。

2 结果与分析

2.1 土壤指标的标准化 在各个土壤肥力评价指标中,为避免各指标不同量纲指标之间绝对值和变化幅度差异,保证其客观性及科学性,故首先对数据进行标准化处理。标准化公式^[21]:

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

式中, i 表示样本数, j 代表指标个数, x'_{ij} 为标准化后的数据; \bar{x} 表示测定数据的平均值; s_j 为第 j 个指标的标准差。各土壤指标数值及标准化值见表 1。

表 1 土壤肥力评价指标

Table 1 The evaluation index of soil fertility

岩性 Rock type	pH(x_1)	土壤水分(x_2)	容重(x_3)	石砾含量(x_4)	有机质(x_5)	全氮(x_6)	碱解氮(x_7)	全磷(x_8)	
		Soil moisture//%	Bulk density g/cm ³	Gravel content//%	Organic matter//g/kg	Total Nitrogen g/kg	Alkali-hydrolyzable nitrogen//mg/kg	Total phosphorus g/kg	
I	\bar{x}	5.68	18.92	1.56	28.35	3.74	0.23	96.40	0.35
	x'	0.64	-0.53	0.55	0.55	1.95	1.82	1.99	1.90
II	\bar{x}	4.93	27.32	1.33	1.59	1.34	0.13	19.95	0.04
	x'	-0.79	0.79	-0.40	-0.85	-0.45	-0.68	-0.48	-0.77
III	\bar{x}	4.85	22.89	1.42	6.90	1.01	0.11	12.96	0.05
	x'	-0.94	0.09	-0.03	-0.57	-0.78	-1.01	-0.71	-0.62
IV	\bar{x}	5.24	12.06	1.73	41.33	1.94	0.17	31.03	0.05
	x'	-0.20	-1.61	1.26	1.75	0.15	0.33	-0.12	-0.61
V	\bar{x}	6.24	30.05	1.02	3.07	1.41	0.15	29.45	0.12
	x'	1.70	1.22	-1.69	-0.77	-0.38	-0.21	-0.17	-0.09
VI	\bar{x}	5.13	22.50	1.50	15.97	1.30	0.15	19.30	0.15
	x'	-0.41	0.03	0.30	-0.10	-0.49	-0.24	-0.50	0.18

岩性 Rock type	速效磷(x_9)	全钾(x_{10})	速效钾(x_{11})	蔗糖酶(x_{12})	淀粉酶(x_{13})	脲酶(x_{14})	过氧化氢酶(x_{15})	多酚氧化酶(x_{16})	
	Rapidly available phosphorus//mg/kg	Total potassium g/kg	Rapidly available potassium//mg/kg	Sucrase mg/kg	Amylase mg/kg	Urease mg/kg	Catalase mL/kg	Polyphenol oxidase //mL/kg	
I	\bar{x}	17.70	0.21	123.15	22.25	0.13	7.40	0.42	0.41
	x'	0.08	-1.89	-0.53	-0.83	0.79	1.93	0.87	1.43
II	\bar{x}	15.98	0.65	162.05	23.82	0.13	2.10	0.33	0.23
	x'	-0.58	0.08	0.73	-0.69	0.00	-0.65	-0.34	-1.17
III	\bar{x}	17.04	0.80	102.52	23.76	0.13	1.67	0.24	0.24
	x'	-0.18	0.79	-1.20	-0.70	0.79	-0.86	-1.54	-1.04
IV	\bar{x}	16.19	0.68	128.09	32.65	0.13	2.88	0.45	0.36
	x'	-0.50	0.26	-0.37	0.07	0.79	-0.27	1.28	0.67
V	\bar{x}	15.53	0.82	189.15	52.52	0.13	3.13	0.36	0.30
	x'	-0.76	0.86	1.60	1.79	-1.58	-0.15	0.07	-0.13
VI	\bar{x}	22.57	0.61	132.64	35.98	0.13	3.43	0.33	0.33
	x'	1.95	-0.10	-0.22	0.36	-0.79	0	-0.34	0.23

注: \bar{x} 为样品测定的平均值, x' 为标准化处理后的值。

Note: \bar{x} is mean of samples, x' is the value after standardization treatment.

2.2 评价指标主成分分析 由表 2 可知,提取的 4 个主成分 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 的累积贡献率达 97.341%。因此,可以用这 4 个主成分代表所有土壤指标来反映土壤肥力状况。其中,第一主成分主要反映石砾含量(x_4)、有机质(x_5)、全氮(x_6)、碱解氮(x_7)、全磷(x_8)、脲酶(x_{14})、过氧化氢酶(x_{15})、多酚氧化酶(x_{16})等变量的综合影响,它们具有较大的荷载,分别为 0.701、0.950、0.959、0.901、0.814、0.893、0.719、0.907,占信

息总量的 50.937%。第二主成分主要反映 pH(x_1)、速效钾(x_{11})、蔗糖酶(x_{12})等变量的影响,其荷载分别为 0.920、0.808、0.721,占信息总量的 26.068%。第三主成分主要包括石砾含量(x_4),其荷载为 0.630,占信息总量的 11.989%。第四主成分主要包括速效磷(x_9),其荷载为 0.918,占信息总量的 8.347%。说明这 4 个主成分在土壤肥力评价中具有重要作用,其中,第一主成分的贡献率最大,在 4 个主成分中作

用最大,由此可知,在土壤物理、化学及生物指标中,土壤的化学指标,即土壤养分是影响土壤肥力的重要因素。

表2 土壤指标成分矩阵、得分矩阵、特征值及贡献率

Table 2 Soil index component matrix, component score matrix, eigenvalue and contribution rate

变量 Variables	成分矩阵 Component matrix				得分矩阵 Score matrix			
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
x_1	0.214	0.920	0.208	-0.054	0.026	0.221	0.108	-0.040
x_2	-0.666	0.567	-0.469	-0.092	-0.082	0.136	-0.244	-0.069
x_3	0.631	-0.715	0.224	0.174	0.077	-0.171	0.117	0.130
x_4	0.701	-0.321	0.630	0.089	0.086	-0.077	0.329	0.067
x_5	0.950	0.201	-0.133	-0.198	0.117	0.048	-0.069	-0.148
x_6	0.959	0.279	0.007	-0.040	0.118	0.067	0.003	-0.030
x_7	0.901	0.304	-0.226	-0.204	0.111	0.073	-0.118	-0.153
x_8	0.814	0.374	-0.408	0.127	0.100	0.090	-0.213	0.095
x_9	0.139	-0.164	-0.316	0.918	0.017	-0.039	-0.165	0.688
x_{10}	-0.889	-0.066	0.389	0.000	-0.109	-0.016	0.203	0.000
x_{11}	-0.383	0.808	0.209	-0.140	-0.047	0.194	0.109	-0.105
x_{12}	-0.357	0.721	0.472	0.315	-0.044	0.173	0.246	0.236
x_{13}	0.501	-0.760	-0.049	-0.395	0.062	-0.182	-0.026	-0.295
x_{14}	0.893	0.360	-0.264	0.040	0.110	0.086	-0.138	0.030
x_{15}	0.719	0.264	0.578	-0.070	0.088	0.063	0.301	-0.052
x_{16}	0.907	0.242	0.220	0.251	0.111	0.058	0.115	0.188
特征值 Characteristic value	8.150	4.171	1.918	1.335				
贡献率 Contribution rate // %	50.937	26.068	11.989	8.347				
累计贡献率 Accumulative contribution rate // %	50.937	77.005	88.995	97.341				

2.3 土壤肥力综合评分 根据表1中的标准数据及表2中各主成分的得分矩阵,可以得到各主成分 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 的函数表达式分别为:

$$Y_1 = 0.026x_1 - 0.082x_2 + 0.077x_3 + 0.086x_4 + 0.117x_5 + \dots + 0.111x_{16}$$

$$Y_2 = 0.221x_1 + 0.136x_2 - 0.171x_3 - 0.077x_4 + 0.048x_5 + \dots + 0.058x_{16}$$

$$Y_3 = 0.108x_1 - 0.244x_2 + 0.117x_3 + 0.329x_4 - 0.069x_5 + \dots + 0.115x_{16}$$

$$Y_4 = -0.040x_1 - 0.069x_2 + 0.130x_3 + 0.067x_4 - 0.148x_5 + \dots + 0.188x_{16}$$

为评价不同岩性土壤的土壤肥力,将表1中的标准化数据带入上述函数表达式中,同时选择土壤肥力综合指数进行综合评价^[22],经过变换,其计算公式:

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

式中, n 为主成分个数, a_i 表示第*i*个主成分的贡献率, y_j 代表第*j*个主成分得分值。

表3 土壤指标主成分得分及排序

Table 3 Soil index principal component score and ranking

岩性 Rock type	主成分一		主成分二		主成分三		主成分四		综合评价	
	Principal component one		Principal component two		Principal component three		Principal component four		Comprehensive evaluation	
	得分 Score	排序 Ranking	得分 Score	排序 Ranking	得分 Score	排序 Ranking	得分 Score	排序 Ranking	<i>IFI</i>	排序 Ranking
I	1.766	1	0.404	2	-0.842	6	-0.385	5	0.872	1
II	-0.706	4	-0.206	4	-0.479	4	-0.907	6	-0.546	5
III	-0.733	6	-1.092	6	-0.651	5	-0.350	4	-0.765	6
IV	0.539	2	-0.739	5	1.817	1	-0.146	2	0.288	2
V	-0.732	5	1.744	1	0.480	2	-0.174	3	0.125	3
VI	-0.135	3	-0.111	3	-0.325	3	1.963	1	0.027	4

由表3可知,*IFI*排序依次为岩性I、岩性IV、岩性V、岩性VI、岩性II、岩性VI,这说明在玄武岩上发育的土壤肥力在6种岩性中最好,其次为变余砂岩、第四纪红色黏土、煤系砂页岩、石英砂岩,最差的为长石石英砂岩。

3 结论

(1)喀斯特地区不同岩性的土壤肥力存在差异,该研究的6种岩性土壤肥力由大到小依次为玄武岩、变余砂岩、第四纪红色黏土、煤系砂页岩、石英砂岩、长石石英砂岩。这主要与不同岩性的矿物组成及其结构有关;在利用上述岩性的土壤进行植物种植和培育时,应根据土壤肥力状况和植物的

生态学特性及要求制定相应的对策及方案进行有针对性的改良,提高土壤养分含量和土壤肥力,有效地促进植物的培育和生长。

(2)该研究利用主成分及土壤肥力综合指数的方法进行土壤肥力评价,得到不同岩性土体的土壤肥力状况及差异,这在一定程度上深化了前人对于喀斯特地区土壤肥力的研究^[4,6-12],为了解喀斯特地区的非碳酸盐岩类土壤肥力提供参考依据和本底数据,同时也为喀斯特地区的植被培育及恢复起到了较好的促进作用。

表1 0~20和20~40 cm 土层土壤可给态镉含量比较

Table 1 Comparison of soil available cadmium content in 0~20 and 20~40 cm soil layers

序号 Code	镉含量 Cadmium content // mg/kg		序号 Code	镉含量 Cadmium content // mg/kg	
	0~20 cm	20~40 cm		0~20 cm	20~40 cm
1	3.25	3.09	16	1.78	1.76
2	3.08	2.98	17	1.68	1.80
3	2.07	2.07	18	0.78	0.93
4	4.60	3.88	19	2.20	2.23
5	3.02	2.89	20	1.89	1.10
6	2.12	2.07	21	2.23	2.20
7	2.78	2.68	22	1.90	1.89
8	1.07	1.14	23	3.30	3.25
9	2.80	2.84	24	3.78	3.48
10	3.01	3.11	25	3.06	2.94
11	2.58	2.96	26	2.78	2.80
12	2.76	2.80	27	2.25	2.27
13	1.89	1.94	28	2.68	2.67
14	2.20	2.24	29	1.54	1.61
15	2.22	2.22	30	3.40	2.37
			\bar{x}	2.48	2.43
			$S_{\bar{x}}$	0.129 0	0.104 0

(上接第128页)

参考文献

- [1] 邓晓红, 毕坤. 贵州省喀斯特地貌分布面积及分布特征分析[J]. 贵州地质, 2004, 21(3): 191-193.
- [2] 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: 4-367, 404-440.
- [3] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(I)[M]. 贵阳: 贵州科学技术出版社, 1993: 52-62.
- [4] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(II)[M]. 贵阳: 贵州科学技术出版社, 1997: 9-47.
- [5] 余娜, 李姝. 贵州省石漠化现状及主要治理措施[J]. 安徽农业科学, 2014(25): 8702-8704.
- [6] 龙健, 李娟, 滕应, 等. 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]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 47-50.
- [7] 罗海波, 宋光煜, 何腾兵, 等. 贵州喀斯特山区石漠化治理过程中土壤质量特性研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 112-115.
- [8] 龙健, 邓启琼, 江新荣, 等. 西南喀斯特地区退耕还林(草)模式对土壤肥力质量演变的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1279-1284.
- [9] 刘方, 王世杰, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 639-644.
- [10] 朱海燕, 刘忠德, 钟章成. 喀斯特退化生态系统不同恢复阶段土壤质量研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 248-252.
- [11] 戴礼洪, 闰立金, 周莉, 等. 贵州喀斯特生态脆弱区植被退化对土壤质

3 结论

通过测定分析, 成县石灰性土壤镉含量的背景值: 0~20 cm 土层为 2.48 mg/kg, 变化范围为 2.15~2.81 mg/kg, 取其上限 2.81 mg/kg 作为评价表层土壤镉污染的临界值。20~40 cm 土层镉的背景值为 2.43 mg/kg, 变化范围为 2.16~2.70 mg/kg, 取其上限 2.70 mg/kg 作为 20~40 cm 土层镉污染的临界值。由方差分析可知, 差异不显著, 因此可以认为成县土壤土体中镉的背景值相同。在评价土壤镉污染时应采用相同的临界指标, 取 2.70 mg/kg 作为成县石灰性褐土镉污染的临界指标值。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2002年版一部[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 46.
- [2] 袁迎. 3种中药重金属成分铅、镉的含量分析[J]. 中国药房, 2007, 18(6): 447-448.
- [3] 王国庆, 骆永明, 宋静, 等. 土壤环境质量指导值与标准研究[J]. 国际动态及中国的修订考虑[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 666-673.
- [4] 量的影响及生态环境评价[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(9): 380-385.
- [5] [12] 廖婧琳, 苏跃, 李航, 等. 喀斯特山区不同复种指数条件下的土壤质量变化: 以普定县猫洞小流域为例[J]. 中国岩溶, 2009, 28(3): 308-328.
- [6] [13] 廖赤眉, 胡宝清, 苏广实, 等. 喀斯特石漠化区植被演替过程中土壤质量研究: 以广西都安澄江小流域为例[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(35): 17626-17629.
- [7] [14] 庞元明. 土壤肥力评价研究进展[J]. 山西农业科学, 2009, 37(2): 85-87.
- [8] [15] 黄勇, 杨忠芳. 土壤质量评价国外研究进展[J]. 地质通报, 2009, 28(1): 130-136.
- [9] [16] 杨珊, 何寻阳, 苏以荣, 等. 岩性和土地利用方式对桂西北喀斯特土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1596-1602.
- [10] [17] 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.
- [11] [18] 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: 62-136.
- [12] [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 229-291.
- [13] [20] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274-339.
- [14] [21] 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.
- [15] [22] 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.