

文章编号: 1001-1498(2007)03-0442-05

喀斯特山区不同母质林地土壤环境质量评价

舒英格¹, 姚 斌², 何腾兵¹, 刘元生¹, 罗海波¹, 刘 方¹

(1. 贵州大学生态与环境系, 贵州 贵阳 550025;

2 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091)

关键词: 土壤环境质量; 喀斯特山区; 林地土壤; 评价

中图分类号: S714

文献标识码: A

Soil Environment Quality Assessment of Forest Land with Different Parent Materials in Kasta Mountain Area

SHU Ying-ge¹, YAO Bin², HE Teng-bing¹, LIU Yuan-sheng¹, LUO Hai-bo¹, LIU Fang¹

(1. Ecology and Environment Department of Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China;

2. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF;

Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: The soil environment quality of woodland with different parent materials (limestone, dolomite limestone, limestone shale, dolomite, limestone sand inclusion shale) in Kasta mountain area was assessed with Analytic Hierarchy Process and Principal Component Analysis methods. The results indicated that the soil fertility quality of the soil developed from limestone shale was the best, and the soil developed from dolomite limestone was the worst. The soil developed from limestone shale showed the best heavy metals quality, and the soil developed from dolomite was the worst. The soil developed from limestone shale had the best stand condition quality, and the soil developed from limestone sand inclusion shale was the worst. The results also showed that the order of the soil environment quality was: limestone shale > limestone > dolomite limestone > dolomite > limestone sand inclusion shale.

Key words: soil environment quality; Kasta mountain area; woodland soil; evaluation

土壤是人类赖以生存的最基本的自然资源之一,是岩石圈表面的疏松表层,是陆生生物生活的基质,是维系陆地生态系统食物链的一个重要环节^[1]。土壤环境是地球生态系统中能够生长植物、具有一定环境容量及动态环境过程的地表疏松层连续体构成的环境。土壤环境与地球表层环境以及生物健康和人类健康均有重大关系^[2,3]。因此,科学评价土壤环境质量具有重大意义,它不仅关系到我国的可持续发展战略,而且还可以为土地、环境等部门合理保护与利用土壤资源提供依据^[4]。目前,国内对土

壤环境质量的评价多集中于土壤重金属污染。而从土壤环境内涵出发,综合考虑其内在土壤肥力状况和土壤重金属元素含量,并结合影响土壤环境的外部因素进行综合评价的研究较少。本文以贵州省贵阳市乌当区为例,采用层次分析法和改进的主成分分析法,对该区林地土壤环境质量进行综合评价,以期为当地的资源开发和保护提供科学依据。

1 研究区概况

贵阳市乌当区处于黔中喀斯特地貌发育区,碳

收稿日期: 2006-12-22

基金项目: 中科院知识创新工程项目(KZCX3-SW-140)、贵阳市乌当区人民政府资助项目

作者简介: 舒英格(1973-),男,贵州镇宁人,讲师,主要从事农业资源与环境研究。

酸盐岩层分布较广;为亚热带温凉湿润季风气候,年平均气温 13.5℃,年平均日照 1 134.32 h,年总幅射 3 684.38 MJ·m⁻²,年平均降水量 1 188 mm,“冬无严寒、夏无酷暑”,光热水同季,雨量充沛,无霜期长;但因地势北高南低,起伏变化较大,垂直气候差异明显;本区内地貌类型主要是中山、低中山和高丘、浅丘、缓丘,山地面积占总面积的 53.10%,丘陵面积占总面积的 40.06%,山间盆地、谷地、洼地也有出现;主要岩石组合有碳酸盐类岩石的白云岩、白云岩夹层、石灰岩、灰岩夹层,碎屑岩类的砂岩、砂页岩和松散层的红色粘土等,岩层呈西南至东北走向;地带性土壤为黄壤,镶嵌分布着非地带性的石灰土、紫色土、水稻土、潮土和沼泽土等土壤,共有 6 个土类,18

个亚类,50 个土属,95 个土种,18 个变种^[5]。

2 研究方法

2.1 样品的采集与处理

在对研究区域地形地貌、母质、植被类型等进行调查的基础上,选择具有代表性的不同母质上发育的林地作为土壤采样点位进行采样。采样深度 0~20 cm,按“S 形”采 5~10 个分样点,充分混合后用四分法反复取舍,保留 1 kg 左右混合土样备用。研究区土壤取样点环境条件见表 1。

样品在实验室自然风干,剔除杂质,用四分法取舍后用木棍碾压,研磨过 0.149 mm 尼龙筛,装瓶、贴标签备用。

表 1 取样点土壤环境状况

土样编号	母质(岩)	地形地貌	坡度/(°)	海拔/m	植被类型	土壤类型
1	石灰岩	低山	27	1 080	灌木林	石灰土
2	石灰岩	低山	25	1 120	杉木柏树林	石灰土
3	石灰岩	低山	26	1 070	灌木林	石灰土
4	石灰岩	坡地	23	1 430	灌木林	石灰土
5	白云质石灰岩	低山	25	1 230	灌木林	石灰土
6	白云质石灰岩	坡地	24	1 140	柏木、青岗林	黄色石灰土
7	白云质石灰岩	低山	27	1 110	灌木林	石灰土
8	石灰岩夹页岩	坡地	23	1 300	灌木林	黄色石灰土
9	石灰岩夹页岩	坡地	24	1 250	柏松林	黄色石灰土
10	石灰岩夹页岩	缓坡地	21	1 290	灌木林	石灰土
11	白云岩	低山	28	1 120	灌木林	石灰土
12	白云岩	低山	27	1 050	柏木、青岗林	黄色石灰土
13	白云岩	中山	30	1 200	柏木、青岗林	黑色石灰土
14	白云岩	中山	33	1 150	柏松林	石灰土
15	白云岩	中山	32	1 050	竹林	石灰土
16	白云岩	缓坡地	19	1 200	柏木、青岗林	黄色石灰土
17	石灰岩夹砂页岩	中山	34	1 130	针叶林	黄色石灰土
18	石灰岩夹砂页岩	中山	30	1 060	灌木林	石灰土
19	石灰岩夹砂页岩	中山	32	1 080	针叶林	黄色石灰土

2.2 分析检测方法

土壤肥力指标中的有机质、全氮、全磷、酸溶性钾、土壤 pH 值、阳离子交换量均采用常规分析方法测定,土壤机械组成采用简易比重计法测定^[6]。土壤总镉的测定——火焰原子吸收分光光度法;土壤总铅的测定——原子吸收分光光度法;土壤总铬的测定——火焰原子吸收分光光度法;土壤总汞的测定——冷原子吸收分光光度法;土壤总砷的测定——二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法^[7]。

2.3 评价方法

本研究利用层次分析法来量化土壤环境相对质量。评价方案:首先把土壤环境质量分成土壤肥力、重金属元素和立地条件三组指标,然后确定各组指标的评价因子及其隶属度,再按隶属度求出各土壤评价因子的换算值;之后对土壤评价因子的换算值用改进的主成分分析法确定各因子的权重;再将换算值与各因子的权重加权求和,即得各自的相对数量值;最后,将得出的三组相对数量与各自权重(其权重确定仍采用改进主成分分析法确定)加权求和

求出最终相对评判结果。

3 评价过程

3.1 评价因子的确定

根据评价因子选择的主导因素原则、差异性原则和稳定性原则,同时考虑到评价对象的特殊性、土壤环境系统的复杂性和综合性,选定土壤肥力指标、重金属元素指标、立地条件作为评价因素。

土壤重金属元素指标按照土壤环境质量标准 GB15618 - 1995 选择镉、铅、铬、汞、砷等 5 个因子来评价;因林地土壤上生长的植物多是多年生,土壤肥力指标中的速效养分受环境因素影响较大,故采用相对稳定的全氮、全磷、酸溶钾、pH 值、阳离子交换量、质地和有机质等 7 个因子来确定土壤肥力状况;立地条件考虑坡度因子。

3.2 评价因子的归一化处理

各评价因素之间没有统一的量纲,其具体数值也相差很大,无法进行土壤环境质量的评价。鉴此,各项数据的归一化处理是进行土壤环境质量的基础。

3.2.1 土壤肥力各评价因子隶属度的确定及归一化处理 土壤肥力评价利用模糊数学原理,通过确定各因子隶属度函数以及分级标准,采用评价分值表示肥力等级的方法来进行评价^[8]。本文结合研究区域土壤特点,依据研究资料 and 前人经验,不同的肥力参评因子采用不同类型的隶属度函数进行评定,文中各因子隶属度函数的计算过程略,具体方法参见文献 [8],各因素的临界值详见表 2。

表 2 各评价因素临界值*

因素	坡度 / (°)	有机质 / (g · kg ⁻¹)	全氮 / (g · kg ⁻¹)	全磷 / (g · kg ⁻¹)
临界值	5 ~ 45	60	2.5	0.75
因素	酸溶钾 / (mg · kg ⁻¹)	pH 值 / (H ₂ O)	CEC / [cmol (+) · kg ⁻¹]	物理性粘粒 (< 0.01 mm) / %
临界值	600	6 ~ 7.5, 4.9, 5	20	30 ~ 60

*表中临界值依据该区域的实测数据制定。

土壤肥力评价指标依据其相应隶属函数进行归一化处理后,结果见表 3。

表 3 土壤质量评价因素换算结果及其权重

母质(岩)	土样	坡度	有机质	全氮	全磷	酸溶钾	pH 值	CEC	质地
石灰岩	1	0.45	1.00	1.00	0.93	0.88	1.00	1.00	1.00
	2	0.50	0.90	1.00	0.79	0.25	0.68	0.71	0.82
	3	0.48	0.87	0.94	0.49	0.54	1.00	1.00	1.00
	4	0.55	0.60	0.62	0.65	0.83	0.71	1.00	1.00
	(平均)	0.49	0.84	0.89	0.72	0.63	0.85	0.93	0.95
白云质 石灰岩	5	0.50	0.48	0.66	0.80	0.50	0.79	0.80	1.00
	6	0.53	0.39	0.54	0.70	0.52	0.90	0.71	0.96
	7	0.45	0.43	0.49	0.67	0.44	0.95	0.79	0.88
(平均)	0.49	0.43	0.56	0.72	0.49	0.88	0.77	0.95	
石灰岩 夹页岩	8	0.55	1.00	0.95	0.93	1.00	1.00	0.82	1.00
	9	0.53	0.97	0.91	0.90	1.00	1.00	0.80	1.00
	10	0.60	0.62	0.69	0.68	1.00	0.94	0.75	0.96
	(平均)	0.56	0.86	0.85	0.84	1.00	0.98	0.79	0.99
白云岩	11	0.43	0.49	0.76	0.63	0.71	0.70	0.85	1.00
	12	0.45	1.00	1.00	0.80	0.79	0.98	1.00	1.00
	13	0.38	1.00	1.00	1.00	0.38	0.74	1.00	0.65
	14	0.30	0.64	0.61	0.38	0.25	0.88	0.96	1.00
	15	0.33	0.71	0.89	1.00	0.54	0.65	0.94	1.00
	16	0.65	0.39	0.51	0.46	0.63	0.98	0.56	1.00
	(平均)	0.42	0.71	0.79	0.71	0.55	0.82	0.89	0.94
石灰岩夹 砂页岩	17	0.28	0.90	0.74	0.43	0.54	1.00	1.00	1.00
	18	0.38	0.41	0.58	0.42	0.79	0.76	0.91	0.89
	19	0.33	0.79	1.00	0.46	0.71	0.89	0.90	1.00
(平均)	0.33	0.70	0.78	0.43	0.68	0.88	0.94	0.96	
权重		10	2.10	1.80	1.10	1.19	1.33	1.61	0.87

3.2.2 土壤重金属元素的归一化处理 土壤重金属元素依照 GB15618 - 1995 标准中的一级土壤重金属环境质量的隶属度函数进行归一化处理,隶属度函数的计算过程略,具体方法可参见文献 [9],结果见表 4。

表 4 土壤重金属元素换算结果及其权重

母质(岩)	土样	Cd	Pb	Cr	Hg	As
石灰岩	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	0.91	1.00	0.93	1.00	1.00
	3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	(平均)	0.98	1.00	0.98	1.00	1.00
白云质石灰岩	5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	6	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85
	(平均)	1.00	1.00	1.00	0.98	0.95
石灰岩夹页岩	8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	(平均)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
白云岩	11	1.00	1.00	0.47	0.93	0.98
	12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	13	1.00	1.00	0.60	0.74	0.76
	14	0.75	0.92	0.90	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	(平均)	0.96	0.99	0.83	0.94	0.96
石灰岩夹砂页岩	17	1.00	0.90	1.00	0.99	0.69
	18	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00
	19	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
(平均)	1.00	0.97	1.00	0.99	0.90	
权重		2.23	2.24	2.11	1.73	1.70

3.3 评价因子权重的确定

根据参评因子对研究区域土壤环境质量的贡献程度,赋予其不同的权重值。计算评价因子权重的方法很多,本文采用改进的主成分分析法^[10]。采用 SPSS 软件进行分析计算,各评价分指标权重值见表 3 及表 4,三组指标的权重值见表 5。

3.4 土壤环境质量综合评价指数

将土壤的肥力指标、重金属元素及立地条件各评价因子的隶属度与其权重分别加权求和得出其土壤肥力质量指数、重金属元素质量指数、立地条件质量指数和土壤环境质量综合评价指数,其结果如表 5 所示。

表 5 土壤环境质量综合评价指数

母质(岩)	土样	立地条件 质量指数	土壤肥力 质量指数	重金属元 素质量指数	土壤环境质 量综合指数
石灰岩	1	4.50	9.78	10.00	83.04
	2	5.00	7.60	9.66	76.68
	3	4.75	8.52	10.00	80.05
	4	5.50	7.51	10.00	79.29
	(平均)	4.94	8.35	9.91	79.76
白云质石灰岩	5	5.00	6.88	10.00	75.92
	6	5.25	6.34	9.74	74.03
	(平均)	4.92	6.52	9.87	74.09
石灰岩夹页岩	8	5.50	9.54	10.00	85.31
	9	5.25	9.35	10.00	83.99
	10	6.00	7.78	10.00	81.55
	(平均)	5.58	8.89	10.00	83.61
白云岩	11	4.25	7.10	8.71	69.13
	12	4.50	9.51	10.00	82.25
	13	3.75	8.61	8.28	70.36
	14	3.00	6.75	9.07	65.83
	15	3.25	8.08	10.00	74.32
	16	6.50	6.05	10.00	77.92
	(平均)	4.21	7.68	9.34	73.30
石灰岩夹砂页岩	17	2.75	8.15	9.23	69.90
	18	3.75	6.56	9.98	71.21
	19	3.25	8.31	9.97	74.85
(平均)	3.25	7.67	9.73	71.99	
平均		4.54	7.83	9.71	76.21
均方差		1.04	1.19	0.51	5.60
变异系数		0.23	0.15	0.05	0.07
权重		2.96	2.97	4.07	

4 结论与分析

4.1 土壤肥力质量评价

从表 5 可知,供试林地土壤肥力质量指数平均为 (7.83 ± 1.19) (n = 19),变异系数为 0.15,大于均值的有石灰岩和石灰岩夹页岩母质发育的土壤,其肥力质量指数分别为 8.35、8.89;小于均值的有白云质石灰岩、白云岩、石灰岩夹砂页岩母质发育的土壤,其肥力质量指数分别为 6.52、7.68、7.67。结果表明,不同母质发育的林地土壤肥力质量排序为:石灰岩夹页岩母质 > 石灰岩母质 > 白云岩母质 > 石灰岩夹砂页岩母质 > 白云质石灰岩母质。从表 3 可知,石灰岩夹页岩母质发育的林地土壤肥力质量之所以最好,在于其土壤肥力指标中全氮指标平均值稍低于石灰岩母质发育的土壤、阳离子交换量指标平均值低于石灰岩、白云岩、石灰岩夹砂页岩母质发育的土壤外,其余土壤肥力指标平均值均高于其他母质发育的林地土壤;而白云质石灰岩母质发育的林地土壤肥力质量最低,在于其土壤肥力指标中权重较大的有机质、全氮、酸溶性钾、阳离子交换量指标平均值均低于其他母质发育的林地土壤。

4.2 土壤重金属元素质量评价

表 5 中供试林地土壤重金属元素质量指数平均为 (9.71 ± 0.51) ($n=19$), 变异系数为 0.05, 大于均值的有石灰岩、白云质石灰岩、石灰岩夹页岩、石灰岩夹砂页岩母质发育的土壤, 其重金属元素质量指数分别为 9.91、9.87、10.00、9.73, 小于均值的仅有白云岩母质发育的土壤, 其重金属元素质量指数为 9.34。由此可见, 石灰岩夹页岩母质发育的土壤重金属元素质量最好, 其次为石灰岩母质发育的土壤, 再次为白云质石灰岩母质发育的土壤, 之后是石灰岩夹砂页岩母质发育的土壤, 最差的为白云岩母质发育的土壤。由表 4 可知, 石灰岩夹页岩母质发育的林地土壤重金属元素指标 (镉、铅、铬、汞、砷) 均在土壤环境质量标准中的一级标准内, 石灰岩母质发育的林地土壤有部分土样的镉和铬元素超过一级标准, 白云质石灰岩母质发育的林地土壤有部分土样的铬、汞、砷元素超过一级标准, 石灰岩夹砂页岩母质发育的林地土壤有部分土样的铅、汞、砷元素超过一级标准, 白云岩母质发育的林地土壤有部分土样的铅元素含量超过一级标准且镉、铬、汞、砷元素污染较严重, 因而石灰岩夹页岩母质发育的林地土壤重金属元素质量指数最好, 白云岩母质发育的林地土壤重金属元素质量指数最低。

4.3 土壤立地条件质量评价

表 5 可见, 供试林地土壤立地条件质量指数平均为 (4.54 ± 1.04) ($n=19$), 变异系数为 0.23, 大于均值的有石灰岩、白云质石灰岩、石灰岩夹页岩母质发育的土壤, 其立地条件质量指数分别为 4.94、4.92、5.58, 小于均值的有白云岩和石灰岩夹砂页岩母质发育的土壤, 其立地条件质量指数分别为 4.21、3.25。因此, 不同母质发育的林地土壤立地条件质量从好到差依次是石灰岩夹页岩、石灰岩、白云质石灰岩、白云岩、石灰岩夹砂页岩。分析表 1 可知, 研究区域中石灰岩夹页岩母质发育的林地土壤分布在坡度较缓的缓坡地和坡地, 因而其立地条件最好, 而石灰岩夹砂页岩母质发育的林地土壤分布在坡度相对较陡的中山地形, 因此其立地条件最差。

4.4 土壤环境质量综合评价

土壤环境质量综合指数评价结果 (表 5) 表明: 供试林地土壤环境质量综合指数平均为 (76.21 ± 5.6) ($n=19$), 变异系数为 0.07, 大于均值的有石灰岩和石灰岩夹页岩母质发育的土壤, 其环境质量综合指数分别为 79.76、83.61, 小于均值的有白云质石灰岩、白云岩、石灰岩夹砂页岩母质发育的土壤, 其

环境质量综合指数分别为 74.09、73.30、71.99; 因而不同母质发育的林地土壤环境质量综合评价排序为: 石灰岩夹页岩母质 > 石灰岩母质 > 白云质石灰岩母质 > 白云岩母质 > 石灰岩夹砂页岩母质。由表 5 知, 石灰岩夹页岩母质发育的林地土壤的三组环境质量指标 (土壤肥力、重金属元素、立地条件质量指标) 均值都最好, 因此其综合环境质量最好; 而石灰岩夹砂页岩母质发育的土壤立地条件质量最差, 其余质量也不好, 因而其综合环境质量最差。

5 结语

本文从土壤肥力状况、土壤重金属元素含量和立地条件等 3 组评价指标上对研究区域不同母质 (石灰岩、白云质石灰岩、石灰岩夹页岩、白云岩、石灰岩夹砂页岩) 发育的林地土壤环境质量的优劣进行了综合评价, 得出石灰岩夹页岩母质发育的林地土壤环境质量最好, 余下依次为石灰岩母质发育的土壤, 白云质石灰岩母质发育的土壤, 白云岩母质发育的土壤, 最差的为石灰岩夹砂页岩母质发育的土壤。

相对于常规只考虑重金属元素一个指标, 本文采用的方法更为详细地评价了土壤环境质量, 使得评价结果的可靠性增加, 更加符合实际。

本研究利用层次分析法来量化土壤环境相对质量, 采用模糊数学方法对各评价因子进行归一化处理, 运用主成分分析法确定各评价因子的权重, 在一定程度上避免了人为因素带来的偏差, 提高了评判结果的准确性。

参考文献:

- [1] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [2] 潘根兴. 地球表层系统土壤学 [M]. 北京: 地质出版社, 2000
- [3] Abrahams P W. Soils: their implications to human health [J]. The Science of Total Environment, 2002, 291: 1 ~ 32
- [4] 朱颜明, 何岩. 环境地理学导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [5] 乌当区综合农业区划编写组. 贵阳市卷——乌当区综合农业区划 [M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1989
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [7] 奚旦立. 环境监测 (修订版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1996 (2001 重印)
- [8] 王建国, 杨林章, 单艳红. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究 [J]. 土壤学报, 2001, 38 (2): 176 ~ 183
- [9] 朱青. 两种模糊数学模型在土壤重金属综合污染评价中的应用与比较 [J]. 环境保护科学, 2004, 30 (123): 53 ~ 57
- [10] 宋之杰, 高晓红. 一种多指标综合评价中确定指标权重的方法 [J]. 燕山大学学报, 2002, 26 (1): 20 ~ 22, 26