

土地利用对岩溶山地土壤质量性状的影响

李阳兵, 高明, 魏朝富, 谢德体

(西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘 要: 在重庆市有代表性的岩溶山地北碚、黔江、金佛山、巫山选择 10 种典型利用方式、26 个样地, 研究土地利用方式对处于岩溶脆弱生境核心部位的土壤质量性状的影响。结果显示四个研究地区不同土地利用系统中各养分指标间存在较大的变化, 但变化规律并不一致。在较大区域内土地利用方式对岩溶山地土壤属性的影响不显著, 而小区域内不同土地利用方式下土壤质量、有机质、全氮、全钾、全磷、速效氮、速效磷存在显著差异。土壤退化指数的计算结果表明, 岩溶山地土壤质量与土地利用方式的关系复杂, 存在区域差异性; 同时人工造林改善土地质量状况需要较长时间的演替, 简单的退耕还林很难使土壤质量得到恢复。

关键词: 岩溶山地; 土地利用; 土壤质量; 土壤退化指数

中图分类号: S159

文献标识码: A

土地利用变化可引起许多自然现象和生态过程的变化, 如土壤养分和水分, 土壤侵蚀, 土地生产力, 生物多样性和生物地球化学循环等。近年, 国内外注重不同土地利用方式对土地变化的影响^[1~ 5], 但对岩溶环境中土壤退化的研究很少, 已有工作侧重于石灰岩土壤的发生和分类^[6~ 9]。岩溶环境在我国西南占有较大面积, 属典型的生态脆弱区, 介于其自然界景观核心部位的土壤退化应引起重视。本文选择重庆市有代表性的岩溶山地为研究区域, 从时空转换角度分析土地利用变化对土壤属性的影响, 试图从中小尺度和生态系统角度阐明土地利用方式与岩溶生境退化过程的关系。

1 材料与方法

1.1 研究样地的选择与基本情况

选择北碚作为平行岭谷低山岩溶区的代表, 巫山作为渝东北岩溶区的代表, 黔江作为渝东南低中山岩溶区的代表, 金佛山作为重庆市受干扰较小的岩溶生态系统的代表。四个地区的地质地貌和气候等生态背景不同、生态现状各异、典型的土地利用方式和社会经济发展状况均有差别, 能全面反映重庆

市岩溶山地的整体情况。研究样地的选择见表 1, 1~ 10 号样地选自北碚鸡公山, 11~ 16 号样地选自黔江, 17~ 21 号样地选自金佛山, 22~ 26 号样地选自巫山。样地选择采用以空间换时间的方法, 考虑岩溶山地生态演替序列: 自然林地、次生林地、灌草坡(人工林)、耕地、弃耕撂荒地; 每个研究区的样地都选在一完整的岩溶地貌单元内, 尽量保证地形的一致性。

1.2 取样与分析方法

在矿质土层上挖掘 50 cm 深的土坑(视土层厚度而定), 从地表开始, 按土壤颜色、质地、紧实度等分层取样, 每个土样重 1 000g 左右, 带回室内风干处理。土壤理化性质及微生物组成按常规分析方法测定^[10], 其中容重是 3 个环刀样的平均值。

2 结果与讨论

2.1 不同土地利用系统中土壤养分的状况

2.1.1 有机质

各个土地利用系统中, 表层土壤有机质普遍较下层高, 北碚次生林地, 尤其是金佛山林地和草地(甸) 土壤有机质从表层沿剖面向下急剧减少, 具有明显的黄壤剖面形态特征(表 2、表 3)。银杉林地表

收稿日期(Received date): 2002- 10- 10。

基金项目(Foundation item): 重庆市科委项目(编号 6759) [Supported by the key plan of Chongqing Sci. & Tec. Committee(6759).]

作者简介(Biography): 李阳兵(1968-), 男, 中科院地化所博士后。研究土壤资源及土地资源利用等。E- mail: li-yabin@sohu.com [Dr. LI Yang-bin(1968-), research fields mainly covering land resources and land use.]

表 1 不同土地利用方式的样地分布与编号

Table 1 The distribution and serial number of plots under different land use

土地类型	样地数	地点	样地编号
自然林地(草甸)、次生林地 (25a、10a、15a、10a、8a)	10	北碚、黔江、巫山、金佛山	4, 6, 10, 15, 16, 25, 17, 18, 19, 20
灌草坡	5	北碚、黔江、巫山	3, 9, 13, 22, 23
耕地、	6	北碚、黔江、巫山、南川	1, 7, 11, 14, 21, 24
弃耕地(1a、1a、7a)	3	北碚、黔江、巫山	2, 12, 26
果园	2	北碚	5, 8

表 2 北碚不同利用方式土壤养分肥力

Table 2 Nutrient fertility under different land use patterns in Beibei Karst hills

样地	土层 (cm)	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 K (g/kg)	全 P (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	EB (cmol(+)/kg)	pH (水)	> 0.25mm 水稳性团 聚体(%)
1	0~ 28	26. 3	1. 792	12. 890	0. 675	111. 6	149. 7	14. 10	20. 76	6. 60	75. 7
	28~ 50	14. 7	1. 428	13. 182	0. 307	87. 5	104. 2	1. 36	24. 53	6. 78	86. 6
2	0~ 28	26. 9	1. 796	12. 008	0. 600	112. 8	120. 9	4. 60	20. 13	6. 36	79. 6
	28~ 45	16. 5	1. 401	13. 258	0. 323	106. 7	92. 61	3. 5	22. 55	7. 05	82. 9
3	0~ 13	33. 7	1. 821	11. 439	0. 335	121. 7	101. 6	2. 15	18. 89	5. 90	89. 9
	13~ 22	20. 6	1. 495	12. 601	0. 340	77. 8	94. 6	1. 08	21. 86	6. 71	94. 6
	22~ 35	15. 5	1. 314	12. 512	0. 307	71. 5	101. 7	3. 30	20. 99	6. 94	82. 9
	35~ 50	13. 9	1. 351	12. 171	0. 306	58. 9	113. 8	3. 30	51. 48	6. 58	85. 2
4	0~ 12	33. 6	2. 028	13. 284	0. 707	135. 1	134. 1	2. 70	33. 25	7. 06	90. 7
	12~ 26	15. 8	1. 184	13. 037	0. 667	67. 5	104. 9	2. 20	38. 71	7. 67	89. 1
	26~ 46	15. 7	1. 244	12. 580	0. 541	74. 8	106. 0	3. 00	34. 90	7. 54	89. 7
5	0~ 20	22. 9	1. 701	13. 188	0. 912	112. 7	113. 3	14. 3	28. 91	6. 97	74. 4
	20~ 35	9. 9	1. 026	12. 921	0. 317	52. 9	114. 8	3. 90	23. 49	7. 09	74. 4
	35~ 50	8. 2	0. 864	12. 341	0. 269	45. 3	104. 2	3. 80	19. 61	7. 27	65. 6
6	0~ 4	51. 6	3. 094	10. 175	0. 432	195. 5	125. 3	3. 80	38. 66	7. 18	85. 2
	4~ 16	33. 3	2. 190	10. 134	0. 402	139. 3	92. 6	1. 65	36. 51	7. 51	92. 5
	16~ 30	34. 3	1. 854	10. 453	0. 431	123. 8	89. 6	3. 30	39. 30	7. 70	89. 0
7	0~ 16	19. 8	1. 439	16. 857	0. 655	95. 3	128. 8	9. 40	19. 23	6. 45	63. 1
	16~ 50	7. 2	0. 707	22. 271	0. 319	46. 3	100. 8	3. 60	9. 45	6. 70	62. 3
8	0~ 22	33. 2	1. 960	13. 365	0. 949	142. 2	145. 4	16. 4	14. 41	5. 98	80. 5
	22~ 41	25. 0	1. 739	13. 288	0. 663	81. 1	121. 7	9. 0	19. 44	6. 84	78. 9
	41~ 50	19. 6	1. 402	13. 452	0. 475	81. 7	117. 4	5. 3	18. 26	7. 00	60. 9
9	0~ 17	33. 9	2. 275	15. 554	1. 304	136. 9	149. 2	17. 0	63. 46	7. 88	84. 6
	17~ 37	25. 8	1. 773	15. 156	0. 906	106. 8	120. 4	5. 8	63. 61	8. 00	81. 4
10	0~ 15	63. 7	3. 636	10. 364	1. 169	219. 6	117. 2	4. 4	49. 99	7. 55	82. 3
	15~ 33	28. 3	1. 874	9. 723	1. 212	104. 7	86. 6	3. 8	67. 06	7. 97	81. 0
	33~ 47	22. 9	1. 771	10. 518	0. 588	92. 9	98. 1	2. 2	38. 65	7. 82	87. 7

表 3 黔江、金佛山、巫山不同利用方式土壤养分肥力

Table 3 Nutrient fertility under different land use patterns in Qianjiang, Jinfishan and Wushan Karst hills

样地	土层 (cm)	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 K (g/kg)	全 P (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	EB (cmol(+)/kg)	pH (水)	> 0.25mm 水稳性团 聚体(%)
11	0~ 15	12.8	1.159	13.300	0.312	82.3	96.06	1.25	6.4	5.79	50.7
	15~ 27	16.7	0.993	12.765	0.320	73.4	78.5	1.10	11.8	6.12	47.6
	27~ 50	6.8	0.715	12.518	0.304	52.6	60.7	0.65	12.2	6.40	47.0
12	0~ 20	30.4	1.682	13.062	0.318	107.0	127.8	2.70	14.9	6.40	69.5
	20~ 40	8.5	0.669	15.180	2.211	31.9	84.2	1.55	9.23	6.61	55.4
13	0~ 10	34.0	1.908	12.170	0.310	127.8	150.6	3.45	19.5	6.50	86.8
	10~ 40	25.6	1.573	12.955	0.266	93.6	59.4	1.25	19.7	6.78	80.9
	40~ 70	10.8	0.732	13.588	0.245	42.7	37.1	0.30	8.15	6.74	68.9
14	0~ 20	18.6	1.228	16.423	0.662	97.7	131.7	15.77	6.86	5.18	41.8
15	0~ 14	39.7	2.594	15.008	0.969	157.6	150.6	25.08	34.8	7.48	81.5
	14~ 25	26.6	2.072	14.960	0.584	179.4	84.0	2.80	33.2	7.61	84.3
	25~ 38	16.4	1.433	16.628	0.413	81.0	71.5	0.9	28.6	7.69	80.9
16	0~ 18	10.4	0.847	19.697	0.264	61.3	121.1	0.5	13.1	6.21	52.0
	18~ 76	1.4	0.264	18.861	0.229	15.7	66.0	1.25	14.6	5.94	12.9
	76~ 160	3.0	0.672	23.426	0.251	22.4	113.0	0.35	20.3	5.84	61.9
17	0~ 13	160.8	6.290	20.810	2.447	868.7	172.6	25.7	4.524	4.08	74.8
	13~ 30	59.06	4.404	23.195	1.528	368.8	65.67	4.55	2.949	4.31	88.6
	30~ 50	56.6	4.075	23.995	1.304	359.7	201.7	4.63	4.36	4.55	90.5
18	0~ 14	115.8	6.395	22.936	1.140	513.3	199.98	0.4	2.56	4.51	89.5
	14~ 33	46.2	2.906	23.973	0.686	211.2	50.8	0.9	0.35	4.69	90.1
	33~ 48	29.3	2.014	24.587	0.585	123.6	187.2	1.25	7.08	4.87	85.6
19	0~ 18	60.6	3.176	36.359	0.721	231.6	164.6	7.0	0.49	5.34	90.5
	18~ 51	18.7	1.619	35.358	0.547	135.0	120.5	0.51	10.27	5.09	47.2
20	6~ 16	198.6	5.299	9.469	0.485	290.9	71.6	3.58	1.814	3.46	80.4
	16~ 28	303.9	7.861	8.274	0.584	374.4	35.3	5.24	2.724	3.71	86.4
	28~ 40	46.2	1.478	9.909	0.217	120.0	36.1	1.25	1.294	4.18	72.3
21	0~ 22	49.4	2.319	25.097	0.822	134.7	52.6	18.8	12.8	5.25	78.4
	22~ 31	28.1	2.013	28.124	0.572	101.9	44.99	0.54	23.85	7.36	83.6
22	0~ 20	45.3	1.209	14.043	0.361	158.0	90.099	2.092	63.57	8.49	96.8
23	0~ 20	58.0	1.697	21.422	0.565	199.7	157.457	2.263	67.62	8.34	91.2
24	0~ 20	55.6	0.863	29.687	0.639	121.3	150.043	7.752	60.30	8.18	72.6
25	0~ 20	43.9	1.013	11.719	0.269	175.9	46.997	2.972	12.95	5.68	77.5
26	0~ 20	28.5	0.917	14.358	0.325	112.1	198.34	2.234	20.36	8.51	84.0

凋落物厚度达 6cm, 其全 N、全 P、全 K 含量分别为 15.6g/kg、0.150g/kg、1.21g/kg; 石灰岩表面苔藓等植物形成的土壤中, 全 N、全 P、全 K 含量分别为 47.1g/kg、1.234g/kg、4.37g/kg, 速效 N、P、K 分别为 1276.0mg/kg、102.0mg/kg、186.4mg/kg。金佛山、巫山、北碚土壤有机质普遍比黔江土壤高, 这可能是由于后者的土壤有机质基础含量较低, 土地利用强度较大。在北碚和黔江, 林草地系统土壤有机质较耕地和菜地、园地高, 坡耕地退耕后, 表层土壤有机质含量提高, 但退耕初期提高较慢, 后期恢复

较快。巫山梯地土壤表层有机质达 55.6g/kg, 而陡坡耕地退耕 1 年后土壤有机质含量只有 28.5g/kg。黔江马尾松人工林系统覆盖度较小, 有机质循环程度低, 因此其有机质含量反而低于耕地; 与金佛山自然植被相比, 各岩溶山地人工林、次生林系统表层和亚表层土壤有机质仍有明显差距。表层土壤总有机质的变化显然是凋落物层和矿质土层中的有机质变化叠加的结果, 但是凋落物层的累积过程非常缓慢, 恢复到其更新前的状态几乎是不可能的^[11]。

2.1.2 土壤 N 素

土壤全 N 大部分属于有机 N, 因而在利用过程的变化只有经过较长的时间才能显现出来。北碚土壤全 N 含量的变化为次生林地> 疏林地> 灌草地> 人工林地> 耕地, 林草地系统的覆盖度大、侵蚀低、有机质含量高, 因此全 N 含量高, 且土壤下层全 N 含量也较高, 但建在侵蚀地上的人工林地下层土壤的全 N 含量较低, 表层土壤全 N 虽比下层明显提高, 但仍不及次生林和荒草地系统。耕地下层土壤全 N 含量> 弃耕地, 与耕翻及施肥投入有关, 果园、菜地 N 素明显集中于表层土壤, 下层全 N 含量极低。黔江耕地土壤表层和下层全 N 含量均低于北碚土壤, 退耕 2 年的弃耕地土壤全 N 含量有所恢复 (1.682g/kg); 红椿林土壤全 N 含量较高, 但马尾松林 (20a) 系统中由于凋落物的移出, 0~18cm 表土中全 N 含量极低。金佛山原始植被系统中土壤表层和下层全 N 含量均很高, 地表凋落物中全 N 含量达 15.564g/kg, 这是长期积累的必然结果。巫山土壤表层全 N 含量变化为: 草坡> 灌丛> 林地> 弃耕地> 耕地。整体上看, 金佛山各系统中表土的全 N 含量最高, 其次是北碚, 而黔江, 巫山土壤表土全 N 含量低, 原因可能与保护、投入等有关。

2.1.3 土壤 P 素

整体上看, 土壤 P 素以灌草丛、草地 (甸) 较高, 而土壤表层的全 P 值在自然林、次生林、弃耕地、耕地、果园之间没有显著差别, 一些森林土壤的全 P 含量要小于农业用地土壤的全 P 含量^[12]。这说明, 在重庆岩溶山地的林草系统中, 由于长期侵蚀的影响土壤 P 素已经退化到谷底水平, 在无 P 素投入的系统中, 土壤 P 素只能维持在极低的水平上, 农地系统土壤的全 P 含量较高与施用一定的 P 肥有关。

2.1.4 土壤全 K

由于 P 和 K 在凋落物层中的含量很低, 它们对土壤中总 P 量和总 K 量的影响也很小, 这使得土壤

总 P 量和总 K 量主要取决于它们在矿物土层中的含量和施肥的影响。总体上, 北碚土壤表层全 K 含量的变化为旱地、果园> 草坡> 林地; 黔江的林地与菜地土壤全 K 含量接近, 而耕地、弃耕地、草坡三者的土壤全 K 含量相近, 但低于林地。金佛山原始植被 (除银杉林外) 土壤全 K 含量较高 (在 20g/kg 以上)。巫山则以耕地、草坡、退耕地土壤表层全 K 含量较高, 而林地较低。林地土壤的全 K 含量高, 说明其受到的干扰小, 反之表明其受到的干扰较为严重。耕地土壤全 K 含量的高低明显与施肥有关。

2.1.5 速效养分

四个采样地区土壤速效 N、P、K 的变化规律并不完全一致。四个地区碱解 N 总体变化为林地> 人工林、草坡> 果园> 旱地。但北碚区速效 P、K 的变化为旱地、果园> 次生林、人工林> 草坡, 与土壤全 P、全 K 含量变化类似。黔江地区只有菜地和人工红椿林的速效 P 较高, 其余很低, 但林地、草坡的速效 K 含量要高于耕地, 与菜地相近; 金佛山只有草甸土壤表层的速效 P 高达 25.7mg/kg, 其余植被土壤中速效 P 均很低, 有效 K 含量则原始植被明显高于耕地; 巫山土壤中有效 P 为耕地> 林地> 草坡> 弃耕地> 灌丛, 有效 K 则为灌丛和林地最低, 而弃耕地、草坡和耕地较高。由于速效性养分受时间和各种环境因子的影响较为严重, 因此不同土地利用方式下速效养分的变化具有相对比较的意义, 还需要进行多次采样的比较研究。

2.2 不同土地利用类型间土壤属性的方差分析

采用单因素的方差分析 (ANOVA) 来检验土壤属性在不同利用类型间差异, 如有显著性差异, 进一步进行多重比较。单因素方差分析以及相应的多重比较可反映出某一个定性的环境因子 (如土地利用类型) 对土壤养分空间异质性的影响程度或贡献的大小。

把 26 个样地按土地利用类型分成 5 类, 土壤养分均值的多重比较表明 (表 4), 重庆岩溶山地不同土地利用类型间的养分因子只有速效 N 在 $\alpha=0.05$ 水平下具有显著差异。说明在较大区域内土地利用方式对土壤属性的影响不显著, 土壤属性受到的影响因素比较复杂。

对北碚岩溶山地土壤表层属性分析结果表明 (表 5), 不同土地利用方式下土壤容重、有机质、全 N、全 K、全 P、速效 N、速效 P 存在显著差异。林地土壤容重最低, 果园土壤容重最高; 林地土壤有机质

表 4 不同土地利用之间土壤养分平均值的比较
Table 4 Means comparison of soil nutrients among different land uses

土地利用 类型	有机质 (g/ kg)	全 N (g/ kg)	全 K (g/ kg)	全 P (g/ kg)	碱解 N (mg/ kg)	速效 K (mg/ kg)	速效 P (mg/ kg)
耕地	30. 42	1. 467	19. 04	0. 6275	107. 15a	119. 387	10. 970
弃耕地	29. 93	1. 667	14. 071	0. 4745	117. 20a	143. 960	4. 059
草坡	74. 62	3. 220	17. 137	0. 8597	331. 54b	145. 389	8. 689
林地	62. 75	2. 605	15. 759	0. 6270	183. 44ab	116. 362	6. 192
果园	28. 05	1. 830	13. 227	0. 9305	127. 45ab	129. 35	15. 350

注: 不同土地利用类型间如有一个字母相同表示差异不显著($\alpha=0.05$)

表 5 北碚鸡公山不同土地利用之间土壤养分及容重平均值的比较
Table 5 Means comparison of soil nutrients and bulk density among different land uses

土地利用 类型	容重 (g/ cm ³)	有机质 (g/ kg)	全 N (g/ kg)	全 K (g/ kg)	全 P (g/ kg)	碱解 N (mg/ kg)	速效 K (mg/ kg)	速效 P (mg/ kg)
耕地	1. 222a	23. 05ac	1. 615a	14. 874a	0. 665a	103. 48a	139. 250a	11. 75abc
弃耕地	1. 243a	39. 25ab	2. 445ac	11. 092bc	0. 516a	154. 15bc	123. 075a	4. 175b
草坡	1. 218a	33. 80ab	2. 048ac	13. 497ac	0. 820ac	129. 3acd	125. 425a	9. 575abc
林地	1. 075b	48. 65b	2. 830bc	11. 824bc	0. 939ac	177. 375bd	125. 650a	3. 575ab
果园	1. 293a	28. 05a	1. 873a	13. 277ac	0. 930bc	127. 475ac	129. 350a	15. 325c

注: 不同土地利用类型间如有一个字母相同表示差异不显著($\alpha=0.05$)

和全 N 最高, 耕地土壤有机质和全 N 最低, 弃耕地与草坡土壤有机质含量没有明显差异。农耕地土壤表层有机质和全 N 含量显著下降的原因一方面由于植物残余减少使返回土壤的 C、N 元素降低, 另一方面由于开垦和耕种, 破坏了土壤原有结构, 有机质分解加强, 导致土壤 C、N 大量流失^[13~15]。一些不合理的管理措施如草坡→火烧耕种撂荒草坡, 导致大量 C 素不能返回土壤。全 K 以耕地土壤最高, 全 P 以林地土壤最高; 速效 N 以林地土壤最高, 速效 P 以果园土壤最高。速效 K 在不同土地利用方式间没有显著差异。

应用通用线性回归模型(GLM)^[16], 将土地利用和地形因素对土壤容重和土壤养分的影响进行适当区分(土地利用、坡向和坡位作为分类变量, 海拔、坡度和岩石裸露度作为连续变量)。结果表明, 坡向、坡位和岩石裸露度对土壤养分和容重几乎没有影响。海拔对土壤容重的影响大于土地利用的影响; 土地利用对有机质、全 N、全 K 的影响大于海拔的影响, 对全 P 而言, 受海拔的影响更显著一些, 而海拔对速效 N、速效 K、速效 P 的影响大于土地利用的影响。这和前面的分析一致。

2.3 不同土地利用方式的退化评价

2.3.1 土壤退化指数的建立

土壤质量动态变化研究是以土壤质量动态变化为基础, 通过土壤质量指数的时空变化来反映。美国国家土壤保持局提出多变量指标克立格法(MVIK)、土壤质量动力学方法和土壤质量综合评价法; 国内关于土壤质量动态变化的研究报道较少, 王效举等提出土壤质量相对指数(Relative Soil Quality Index, RSQI)的概念, 并用其变化速率评价了不同利用方式对土壤质量演化的影响^[3, 17, 18]; 胡金明等提出土壤质量矩阵评价模式^[19]; 章家恩等提出“土壤退化距离”和“土壤养分退化综合指数”的概念^[20]; 为避免涉及到各评价指标权重的选取时主观因素的影响, 陈浮等提出采用修正后的内梅罗(Nemoro)公式计算土壤养分质量指数^[21]。

为了定量描述不同土地利用下土壤变化的程度, 在已有基础上建立土壤退化指数^[22~24]。土壤退化指数的计算首先是以某种土地利用类型为基准, 假设其它的土地利用类型都是由作为基准的土地利用类型转变而来; 然后计算各个土壤属性在其它土地利用类型与基准土地利用类型之间的差异

(即“土壤相对退化距离”), 最后将土壤各个属性的差异加权求和, 得到各土地利用类型的土壤退化指

数。具体公式如下

$$DI = \frac{n-1}{n} \times \left[\frac{P_1 - P'_1}{P'_1} \omega_1 + \frac{P_2 - P'_2}{P'_2} \omega_2 + \dots + \frac{P_n - P'_n}{P'_n} \omega_n \right] \times \%$$

式中 DI 为土壤退化指数, P'_1, P'_2, \dots, P'_n 为基准土地利用类型下土壤属性 1、属性 2、... 属性 n 的值; P_1, P_2, \dots, P_n 为不同土地利用类型下土壤各属性值, n 为选择的土壤属性数; ω_i 为各属性指标的权重, $\sum \omega_i = 100\%$ 。该式突出了土壤属性因子中最差因子对土壤质量的影响, 反映了生态学中限制植物生长的最小因子定律; 同时参评的因子越多, $(n-1)/n$ 的值越大, 可信度越高。本文以各地点的林地作为基准的土地利用类型, 选择的土壤属性包括土壤容重、有机质、全 N、全 P、全 K、有效 N、有效 P、有效 K、交换性盐基总量、pH、> 0.25mm 水稳性团聚体数量。一般说来, 较高的土壤容重表明土

地有退化的趋势, 所以实际的计算中采用了容重差值的相反数; 对生态效应呈正态分布的指标如 pH, 根据生态效应的退化恢复确定其相对差异的正负号。土壤退化指数是正数时表明土壤质量有所提高, 是负数时表明土壤退化。

2.3.2 主要岩溶区不同利用方式的土壤退化评价
据各指标值之间的相关系数确定各指标的权重系数求某项肥力指标与其它肥力指标之间相关系数(r)的平均值^[25], 并根据该平均值占所有肥力指标相关系数平均值总和($\sum r$)的比($r/\sum r$), 作为该单项肥力指标在表征土壤质量中的贡献表 6。

表 6 各土壤属性指标的权重
Table 6 Weights of indicators for the evaluation of soil quality

指标	有机质	全 N	全 K	全 P	速效 N	速效 P	速效 K	交换性盐基总量	pH	容重	> 0.25mm 水稳性团聚体
r	0.612	0.547	0.596	0.504	0.350	0.591	0.486	0.547	0.578	0.312	0.386
权重系数	11.1	10.8	9.1	6.4	10.7	8.8	9.9	10.5	5.7	9.9	7.0

图 1(D) 是北碚鸡公山不同土地利用方式下的土壤退化指数及与多年生次生林地比较的结果。土壤质量相对好坏顺序是: 弃耕草坡> 果园(5a)> 次生林地> 坡耕地> 果园(20a)> 弃耕林地> 人工林地> 菜地> 弃荒地> 荒草坡, 前二者相对于多年生林地土壤质量没有退化, 坡耕地、果园(20a) 的土壤退化指数分别为 -3.1%、-4.0%, 说明这 2 种土地利用方式没有明显退化。弃荒地、荒草坡的土壤退化指数分别为 -24.1%、-27.0%, 其退化指数最低, 表明其退化程度最为严重(以 0~50cm 土层肥力指标平均值计算, 土壤质量相对顺序是弃耕草坡> 果园(5a)> 次生林地> 坡耕地> 弃耕林地> 弃荒地> 荒草坡> 菜地> 果园(20a)> 人工林地), 土壤退化指数分别为 25.5%、4.7%、-5.2%、-5.9%、-8.8%、-11.8%、-13.4%、-14.6%、-15.6%。土壤质量指数表征的土壤质量变化顺序与进行的主因子分析排序结果基本一致^[26](坡耕地的排序位置有较大差异, 可能是指标和权重选择差异引起的), 反映出土壤退化指数能够表达不同土地利用方式土

壤质量退化的程度。两种分析结果表明弃荒地、荒草坡土壤质量都是最差的, 低于人工林地土壤质量, 说明在北碚地区存在的石灰岩荒草坡其土壤质量已发生了严重退化, 简单的退耕很难使土壤质量得到恢复, 荒草坡土壤质量与林地土壤质量相对位置的确定为石灰岩荒山的生态恢复提供了理论依据。

图 1(B) 是黔江岩溶山地各利用方式相对于马尾松林地土壤质量变化的结果, 各利用方式土壤质量均优于马尾松林地土壤, 以红椿林最优, 其次是灌草坡, 弃耕地相对于耕地土壤质量也有所恢复(以 0~50cm 土层肥力指标平均值计算, 土壤质量相对顺序是红椿林地> 弃耕地> 灌草坡地> 坡耕地> 马尾松林地, 土壤退化指数分别为 152.3%、97%、91%、29.4%)。在巫山岩溶山地, 各利用方式的土壤质量也明显好于以马尾松为主的人工林地(图 1.A)。在金佛山, 各利用方式的土壤质量也明显好于银杉林, 以草甸土壤质量最好, 其次是常绿落叶阔叶林群落, 耕地由于农业投入, 其土壤质量也较高(以 0~50cm 土层肥力指标平均值计算, 土壤质量相对顺序是耕

地> 草甸> 落叶阔叶林地> 灌丛> 银杉林地, 土壤退化指数分别为 124%、92.3%、50.5%、37.0%) (图 1C)。以上结果至少说明了在岩溶山地土壤质量与土地利用方式的关系复杂, 存在区域差异性; 同

时人工造林改善土壤质量状况需要较长时间的演替, 同时有必要对树种进行选择。为此, 建议在土壤质量评价指标选择上, 在土壤质量退化恢复的时空演变方面做更多的工作。

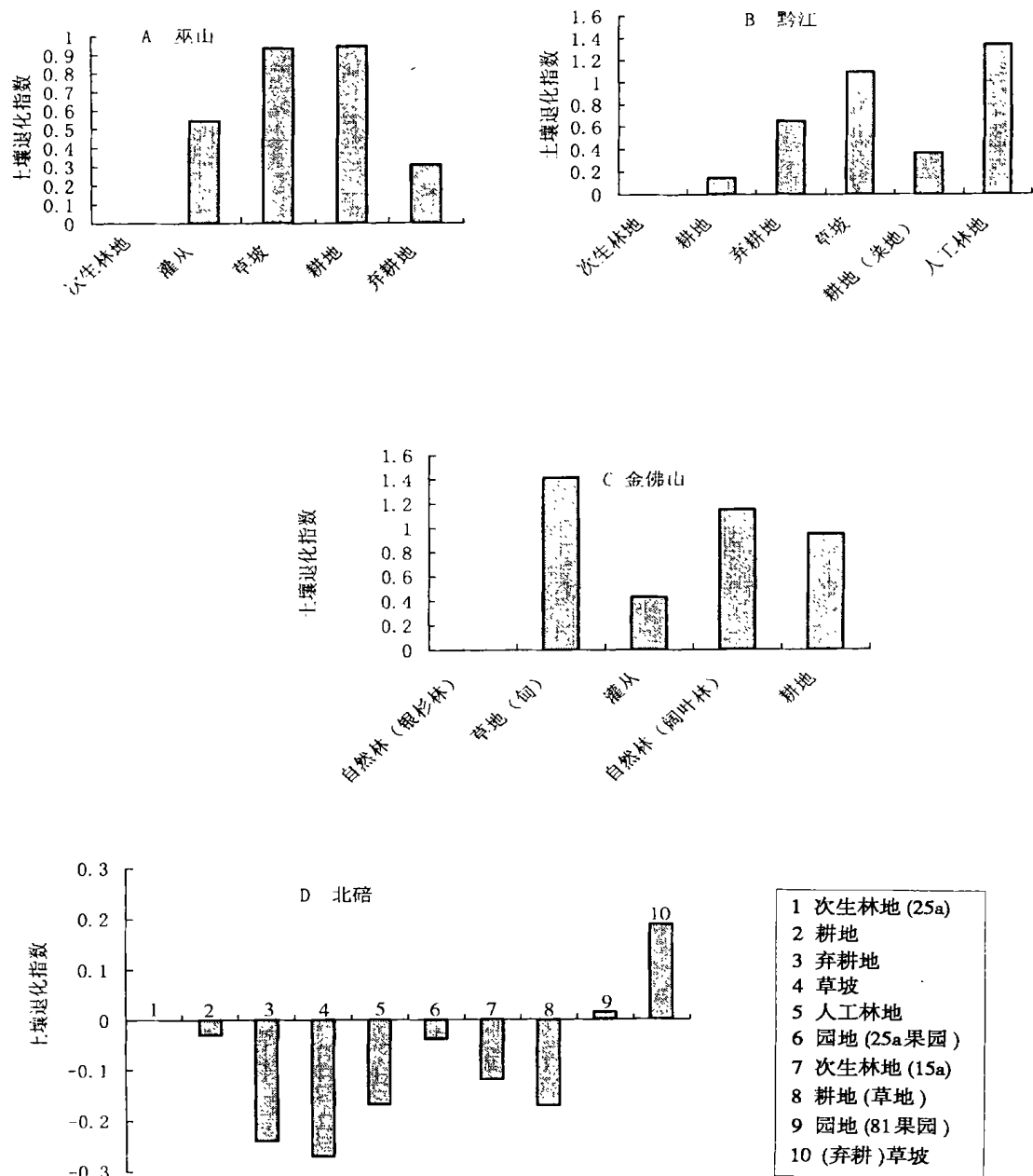


图 1 不同土地利用下土壤退化指数

Fig. 1 Soil degradation indexes under different land use systems

3 结论

采用以“空间代替时间”的方法研究重庆市岩溶山地不同土地利用方式对土壤质量性状的影响,结果表明岩溶山地土壤质量性状与土地利用方式的关系复杂,不同性状指标受利用方式的影响明显不同,存在空间差异性,四个研究地区土壤质量退化程度各异。可作为防治退化土壤和土壤肥力复退的参考。本文的研究也说明了对脆弱生态关键地区采用定位试验的重要性,如进一步采用长期定位试验研究,阐明土地利用强度和自然因素在土壤演变过程中所起的作用和机制,会取得更满意的效果。

参考文献(References):

- [1] Zhang Taolin, Wang Xingxiang. Development and orientation of research work on soil degradation[J]. *Journal of Natural Resources*, 2000, **15**(3): 280~ 284. [张桃林, 王兴祥. 土壤退化研究的进展与趋向[J]. 自然资源学报, 2000, **15**(3): 280~ 284.]
- [2] Yasushi Mori, Kenji Iwama, Toshisuke maruyama and Toru Mitsuno. Discriminating the influence of soil texture and management - induced changes in macropore flow using soft X-rays. *Soil science*, 1999, 164: 467~ 482.
- [3] Wang Xiaojun, Gong Zitong. Assessment and prediction of soil changes under different land use patterns at a small area level in red soil hilly region[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, **35**(1): 134~ 139. [王效举, 龚子同. 红壤丘陵小区域不同利用方式下土壤变化的评价和预测[J]. 土壤学报, 1998, **35**(1): 134~ 139.]
- [4] Zhang ping, Liu Hongmao, Chen Aiguo. Study on degradation of tropical hillslope in using in Xishuangbanna[J]. *Journal of Mountain Science*, 2001, **18**(1): 9~ 13. [张萍, 刘宏茂, 陈爱国等. 西双版纳热带山地利用过程中的土壤退化[J]. 山地学报, 2001, **18**(1): 9~ 13.]
- [5] Qin Mingzhou. Assessment on influence of agriculture land use on soil nutrient fertility in red soil hills region[J]. *Journal of Mountain Science*, 1999, **17**(1): 71~ 75. [秦明周. 红壤丘陵区农业土地利用对土壤肥力的影响及评价[J]. 山地学报, 1999, **17**(1): 71~ 75.]
- [6] Gu Yeping, Feng Xuegang. Properties and taxonomic classification of soils derived from limestones in Anhui province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, **35**(3): 303~ 312. [顾也萍, 冯学钢. 安徽省石灰岩风化物发育土壤的特性和系统分类[J]. 土壤学报, 1998, **35**(3): 303~ 312.]
- [7] Ren Wenmei. On limestone soil evolution in mountainous region on the ecological condition of agriculture[J]. *Journal of Chongqing Teachers College(natural science edition)*, 1999, **16**(4): 75~ 81. [任文美. 在农业生态条件下石灰岩山地土壤演化的探讨[J]. 重庆师范学院学报, 1999, **16**(4): 75~ 81.]
- [8] Gao Jinchun. Studies on soils in the limestone trough valley of Huaying mountain[J]. *Journal of Southwest China Normal University (natural science)*, 1994, **19**(2): 194~ 200. [高金城. 华莹山区低山石灰岩槽谷土壤研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1994, **19**(2): 194~ 200.]
- [9] Yang Shengtian. Research on soil taxonomic classification of MT. Qianling of Guizhou province[J]. *Journal of Guizhou Normal University (natural Science)*: 2000, **18**(3): 13~ 16. [杨胜天. 贵州黔灵山土壤系统分类[J]. 贵州师范大学学报, 2000, **18**(3): 13~ 16.]
- [10] Lu Rukun. The analysis method of soil and agricultural chemistry [M]. Beijing: China agriculture science and technology publishing company, 2000. [鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北: 中国农业科技出版社, 2000.]
- [11] Wu Weudong, Zhang Taolin, Gao Chao. Changes of soil fertility Quality properties under artificial Chinese fir forest in red soil region[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, **38**(3): 285~ 293. [吴蔚东, 张桃林, 高超. 红壤地区杉木人工林土壤肥力质量性状的演变[J]. 土壤学报, 2001, **38**(3): 285~ 293.]
- [12] Saikh H, Varadachari C, Ghosh k. Changes in carbon, nitrogen and phosphorus levels due to deforestation and cultivation: A case study in Simlipal National Park, India [J]. *Plant and Soil*, 1998, 198: 137~ 145.
- [13] Dalal R C, Mayer R J. Long- term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland II. total organic carbon and its rate of loss from the soil profile[J]. *Aust. J. Soil Res*, 1986, **24**: 281~ 292.
- [14] Burle M L, Mielnik J, Focchi S. Effects of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification [J]. *Plant and Soil*, **190**: 309~ 316.
- [15] Brown S, Lugo A E. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and Virgin Islands[J]. *Plant and Soil*, 1990, **124**: 53~ 64.
- [16] Huang Hai, Luo Youfeng, Chen Zhiying. SPSS 10.0 for Windows Statistical Analysis[M]. Beijing: People's post & telecom publishing company, 2001. [黄海, 罗友丰, 陈志英等. SPSS 10.0 for Windows 统计分析[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.]
- [17] Shi Zhifa, Cai Chongfa, Wang Tianwei. Influence of land use changes on soil quality in hilly region of red soil[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2001, **10**(6): 537~ 542. [史志法, 蔡崇法, 王天巍等. 红壤丘陵区土地利用变化对土壤质量的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2001, **10**(6): 537~ 542.]
- [18] Chen Fu, Pu Lijie, Peng Buzhuo. The effect of land use changes on soil conditions in Korla city[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(8): 1290~ 1295. [陈浮, 濮励杰, 彭补拙等. 新疆库尔勒市土地利用变化对土壤性状的影响研究[J]. 生态学报, 2001, **21**(8): 1290~ 1295.]
- [19] Hu Jinming, Liu Xingtu. Evaluation and analysis on soil quality changes in the Sanjiang plain [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, **19**(5): 417~ 421. [胡金明, 刘兴土. 三江平原土壤质量变化评价与分析[J]. 地理科学, 1999, **19**(5): 417~ 421.]
- [20] Zhang Jiaen, Xu Qi. Evaluating the soil degradation in Zigui county of the Three- Gorge reservoir area [J]. *Eco - agriculture Re-*

- search, 1999, 7(1): 32~ 35. [章家恩, 徐琪. 三峡库区秭归县土壤退化综合评价[J]. 生态农业研究, 1999, 7(1): 32~ 35.]
- [21] Chen Fu, Pu Lijie, Cao Hui. Spatial and temporal changes of soil nutrients and their mechanism in typical area of Taifu lake valley during the past two decades[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(2): 236~ 245. [陈浮, 濮励杰, 曹慧. 近 20 年太湖流域典型区土壤养分时空变化及驱动机理[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 236~ 245.]
- [22] Guo Xudong, Fu Bojie, Chen Liding. Effects of land use on soil quality in a hilly area[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(4): 447~ 455. [郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶等. 低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 447~ 455.]
- [23] Adejuwon J O, Ekanade O. A comparison of soil properties under different land use types in a part of the Nigerian cocoa belt [J]. *Catena*. 1988, 15: 319~ 331.
- [24] Islam K R, Weil R R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh[J]. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2000, 79: 9~ 16.
- [25] L Xiaonan, Lu Yunfu, Wang Renchao. Preliminary studies on the integrated evaluation of soil nutrient fertility[J]. *Journal of Zhejiang university (Agric. & Life sci.)*, 1999, 25(4): 378~ 382. [吕晓男, 陆允, 王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究[J]. 浙江大学学报(农业版), 1999, 25(4): 378~ 382.]
- [26] Li Yangbing. Research on ecological degradation mechanism of karst mountain in Chongqing area[D]. Doctor's degree dissertation of Southwest Agricultural University, 2002, 4. [李阳兵. 重庆市典型岩溶山地生态退化机理研究[D]. 西南农业大学博士学位论文, 2002, 4.]

Effects of Land Use on Soil Quality in Karst Hilly Area

LI Yang-bin, GAO ming, WEI chao-fu, and XIE De-ti

(College of resources and environment, Southwest Agricultural University, Chongqing, 400716, China)

Abstract: This paper chooses the Karst mountain in Beibei, Jinfushan mountains, Qianjiang county and Wushan county as the typical representation in Chongqing area, and chooses 10 typical land use patterns to study the effect of different land use patterns on soil quality properties which is the core of karst vulnerable eco-environment. We draw conclusions as follows: firstly, there are major disparities among fertility indexes of various land use systems, but the change rules are not consistent in 4 studied areas. Secondly, land use patterns have not a significant influence upon the soil's properties in rather big district in karst mountains, and the soil contributes are affected by complex factors. But the analysis of soil surface layer's properties in Beibei karst mountain shows that there are significant difference among properties including soil bulk density, organic matter, total N, total K, total P and available N and P under different land utilizing patterns. Thirdly, the results of soil degradation index reveal that the relationships between soil quality and utilization are complicated, and there are regional difference in these relationships, and it needs a rather long time's evolving to improve the soils quality by afforestation. and abandoning the slopeland's cultivation simply makes the soil quality rehabilitate difficultly.

Key words: karst mountains; land use; soil fertility quality; soil degradation index