

不同土地利用方式对高原喀斯特洼地土壤主要特性的影响

张喜^{1,2}, 连宾², 尹洁^{1,3}, 刘延惠^{1,4}, 崔迎春¹ (1. 贵州省林业科学研究院, 贵州贵阳 550011; 2. 中国科学院地球化学研究所, 贵州贵阳 550001; 3. 成都理工大学, 四川成都 610000; 4. 中国林业科学研究院, 北京 100091)

摘要 [目的]研究不同土地利用方式对高原喀斯特洼地土壤主要特性的影响。[方法]通过1:10 000地形图对特定高原喀斯特洼地不同土地利用方式进行划分与归类, 分层取样分析土壤剖面特性、理化性质变化。[结果]土层(A+B层)厚度的变化趋势为坡耕(退耕地)地>天然林地>人工林地>灌木林地, 土壤剖面特征、水源涵养、颗粒组成、土壤肥力与肥力有效性的相关指标在不同利用方式间发生了相似或相异的规律性变化。土壤综合质量指数的变化趋势为耕地>退耕地>坡耕地、天然林地>人工林地。耕地土壤综合质量最高, 是自然成土和人为经营的结果。3~5年的退耕地土壤综合质量高于坡耕地, 表明造林措施是改善喀斯特洼地坡耕地土壤质量的有效手段。天然林土壤综合质量高于人工林地, 这为利用“近自然经营”技术改善喀斯特洼地土壤质量提供了依据。[结论]该研究可为喀斯特地区石漠化的生物治理、土壤质量演化的生物学控制技术提供理论依据。

关键词 高原喀斯特洼地; 利用方式; 土壤质量

中图分类号 S156; S157 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2010)11-05771-05

Study on Influences of Different Land Use Types on Soil Qualities in Plateau Karst Depression

ZHANG Xi et al (Guizhou Provincial Academy of Forestry, Guiyang, Guizhou 550011)

Abstract [Objective] The aim was to study influences of different land use ways on soil qualities in plateau karst depression. [Method] Different land use types were divided by topographic map of 1:10 000 scales and soil properties of physics and chemistry were analyzed. [Result] The results showed that the variation trend of soil depth (A+B stratum) was slope plough (include returning farm to forest) land > natural forest land > planted forest land > shrub forest land, and relative indexes changing regularities of soil sections, soil water conservation, soil particle composition, soil fertility and soil fertility effectiveness in different land use types were studied. Change trend of soil synthetic quality was cultivated land > returning farm to forest land > slope plough land, natural forest land > planted forest land. High soil synthetic quality of cultivated land was result of natural soil-forming and human managing processes, soil synthetic quality of returning farm to forest land in 3-5 year was higher than that of slope plough land indicated a effective method to improve slope plough soil quality in karst depression, and soil synthetic quality of natural forest land was higher than that of planted forest land provided an evidence to use near-nature manage technology to improve soil quality in karst depression. [Conclusion] The study will provide theoretical basis for bioremediation of rocky desertification and biological control technology of soil quality evolution.

Key words Plateau karst depression; Land use types; Soil quality

喀斯特洼地(Karst Depression)是一种封闭地形,同喀斯特漏斗相比底部具有不规则的平面轮廓,洼地四周常为陡峭的石峰环抱,洼地底部较为平坦,有时还有小型的漏斗和落水洞,国外称为奥华拉(Uvala),在中国南方喀斯特地区较为常见^[1]。除地质因素影响喀斯特洼地地貌与土壤形成外,主要气象因素变化明显^[2],由此形成的不同植被进一步影响土壤的特性。国内外对喀斯特生态系统的演化和脆弱性^[3-4]、退化土壤质量变化^[5]、土壤水分的空间分异^[6]、小生境和土壤异质性^[7]、植被的喀斯特效应^[8-9]等方面有过研究,但以高原喀斯特洼地为对象,研究不同利用方式对土壤主要特性的影响还未见报道。笔者研究不同土地利用方式对高原喀斯特洼地土壤主要特性的影响,为喀斯特地区石漠化的生物治理、土壤质量演化的生物学控制技术提供理论依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况 研究区位于贵州省织金县城关镇。织金县^[10]地处贵州省中西部,属黔中山原区,26°21'~26°58'N、105°20'~106°11'E,海拔变幅861.5~2 262.0 m,总面积2.868×10³ km²。境内地质构造由20余条大致呈北东-南西向、相互平行的褶曲与断层组成,喀斯特地貌占总面积的

82.00%。大部分地区年平均气温13~15℃,最高气温30.1~35.5℃,最低气温-9.2~-12.3℃,Σ≥10℃积温3 107~4 673℃/a,日照时数1 050~1 118 h/a,太阳辐射量3 516 MJ/(m²·a),无霜期240~290 d/a,降雨量1 200~1 500 mm/a。地带性顶极植被为亚热带常绿阔叶林,喀斯特植被为常绿落叶阔叶混交林。

喀斯特洼地呈北东-南西向,南北长1 392 m,东西宽1 680 m,海拔变幅1 437.5~1 821.5 m,集水区汇流于洼地底部,由溶洞进入地下暗河。坡地石面率5%~30%,总面积134.945 hm²,其中耕地22.364 hm²、退耕地55.889 hm²,石山灌丛54.310 hm²,天然和人工林2.382 hm²。以灰岩(T1Yn、T1f、T1d)为主,夹泥灰岩(T1Yn),土壤为黑色石灰土或黄色石灰土。

喀斯特洼地人工林主要包括华山松(*Pinus armandi*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、花椒(*Zanthoxylum* sp.)和金竹(*Phyllostachys heteroclada*)林,退耕地人工林主要包括樟木(*Sassafras tzumu*)、核桃(*Annamocarya sinensis*)、板栗(*Castanea mollissima*)、柳杉、柏木(*Cupressus funebris*)和猴樟(*Cinnamomum bodinieri*)林,以及二者与桦木(*Betula* sp.)的飞籽混交林。天然林包括乔木林和灌木林,主要物种有桦木、化香(*Platycarya strobilacea*)、榆(*Ulmus* sp.)、杜英(*Elaeocarpus* sp.)、青冈(*Cyclobalanopsis* sp.)、木姜子(*Litsea* sp.)、杜鹃(*Rhododendron* sp.)、小果南烛(*Lyonia ovalifolia* var. *elliptica*)、火棘(*Pyracantha* sp.)、十大功劳(*Mahonia* sp.)、金丝桃(*Hypericum* sp.)、莎草(*Cyperus* sp.)等。坡耕地以旱地作物和蔬菜为主,耕地以小麦和水稻为主。天

基金项目 国家重点基础研究发展计划973项目(2006CB403200);贵州省科技计划(黔科S2007-1021,黔省专合2008-73, TZJF2008-17);国家科技支撑计划项目(2006BAD-03A0-303)。

作者简介 张喜(1964-),男,四川苍溪人,博士,研究员,从事林业生态工程和喀斯特生态学研究。

收稿日期 2010-01-04

然林平均胸径 7.061 cm, 平均高度 7.06 m, 平均密度 1 225 株/hm², 灌木林平均地径 5.625 cm、平均高度 2.75 m、平均密度 3 000 株/hm²; 人工林平均胸径 4.616 cm、平均高度 4.58 m、平均密度 3 550 株/hm², 年龄变幅 10~15 年, 退耕地人工林相应值为 1.378 cm、1.17 m、2 500 株/hm²、3~5 年。

1.2 研究方法 在 1:10 000 地形图上实地勾绘所研究的喀斯特洼地, 共有不同森林类型 19 个, 划分坡耕地还林类型^[11] 81 个, 耕地类型 2 个。对不同土地利用方式进行归并, 调查样地中乔木林面积, 为 20 m×20 m, 灌木林为 10 m×10 m, 坡耕地、退耕地和耕地为 10 m×20 m, 样地分布包括洼地底部、中部和顶部 3 带, 计 22 个。耕地(含坡耕地、退耕地)土壤按耕作层与底土层, 其他按淋溶层与淀积层记录土壤剖面特征, 土壤取样点包括样地对角线的 1/2、1/4 部位计 5 点, 如土壤取样点岩石裸露可适当位移, 同层土样等量混合, 带回室内分析。土壤样品相关指标分析执行国家林业局行业标准^[12], 数据分析使用 SPSS11 软件^[13]。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面主要指标的变化

表 1 不同利用方式土壤剖面主要特征变化

Table 1 Main character changes of soil profile in different land use types

类型 Types	土层厚度//cm Soil depth		石砾量//% Gravel content		根量//% Root content	
	A 层	B 层	A 层	B 层	A 层	B 层
天然林地 Aa Natural forest land	11.25 Bd	45.00 A	5.25	6.25	16.25 Bc	12.00 A
人工林地 Bb Planted forest land	18.00	34.00	6.40	9.20	19.00	18.20
灌木林地 Cc Shrub forest land	6.00 d	34.00	12.50	17.50	37.50 ad	12.50
退耕地 Dd Slope reforestation land	25.00 Bac	45.00 A	17.00	22.00	7.00 Bc	2.80 A

注:A 层指耕作层或淋溶层, B 层指底土层或淀积层。A、B 指同剖面不同土层间 T 检验值差异显著, a、b、c、d 指同土层不同利用方式间 LSD 检验值差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: A stratum is cultivated or leached horizon, B stratum is substratum or illuvium horizon. A, B mean significant differences of T-test value at different soil stratum in the same profile, and a, b, c, d mean significant differences at $P < 0.05$ level based on multiple comparisons by LSD at the same soil stratum in different forest types. The same as follows.

石砾量在不同利用方式和不同剖面同层间的变化趋势为退耕地 > 灌木林地 > 人工林地 > 天然林地, 同剖面不同层次间的变化趋势为 B 层 > A 层。退耕还林前的坡耕地表层侵蚀强, 水土流失严重, 退耕地保留了石砾量高的特点; 灌木林以石山灌丛为主, 多穴状土, 石砾量较高; 而天然和人工林植被层结构完善, 近地表水分循环复杂^[15], 水土流失较轻, 石砾量较低。根量在土壤 A 层的变化趋势为灌木林地 > 人工林地 > 天然林地 > 退耕地, 在土壤 B 层的变化趋势为人工林地 > 灌木林地 > 天然林地 > 退耕地, 同剖面不同层次间的变化趋势为 A 层 > B 层, 土壤 A 层根量中灌木林地同天然林地和退耕林地的差异显著。这与喀斯特洼地小生境类型^[2, 11] 和植物种类的分布有关, 如灌木林小生境以石缝、石洞、石坑分布多, 土壤分布的不均匀性导致根系分布的聚集性; 天然和人工林以上层乔木为主, 灌木和草本层密度较小, 表层根系较少, 底层根系较多; 退耕地幼林未郁蔽, 根量也较少。

2.2 土壤水源涵养性能主要指标的变化 研究表明(表 2) 不同利用方式土壤不同层次间的毛管孔隙度、非毛管孔隙度、土壤最大持水量和毛管最大持水量的变化趋势为 A 层 > B 层, 容重的变化趋势相反; 天然林地和人工林地同退耕地和坡耕地的部分水源涵养性指标差异显著, 显示了林地和

分布于喀斯特洼地内侧、距居住点较远的山脊线附近, 海拔变幅 1 500~1 720 m, 平均 1 558 m, 坡度 26°~35°, 平均 29°, 土层(A+B 层, 下同)厚度 40~75 cm, 平均 56.25 cm; 灌木林主要分布于山脊线上, 海拔变幅 1 480~1 800 m, 平均 1 697 m, 坡度 25°~45°, 平均 35°, 土层厚度 30~50 cm, 平均 40.00 cm; 人工林分布于局部坡地, 呈小块状, 主要为“3 356 工程”保留林分, 坡度 3°~27°, 平均 19°, 土层厚度 35~75 cm, 平均 52.00 cm; 退耕地分布于洼地内 ≥25° 坡地上, 土层厚度 30~85 cm, 平均 70.00 cm。土层厚度的变化趋势为退耕地 > 天然林地 > 人工林地 > 灌木林地, 其中灌木林地和退耕地土层厚度差异显著, 人工林地土层厚度虽小于天然林地, 但土被连续, 坡度小, 易于经营, 成为人工造林地选择的主要依据之一。不同利用方式土层厚度的变化趋势为 B 层 > A 层, 其中天然林地和退耕林地的层间差异显著; 土壤 A 层厚度的变化趋势为退耕地 > 人工林地 > 天然林地 > 灌木林地, 退耕地同灌木林地和天然林地差异显著, 表明人为经营活动对表层土壤的扰动大, 水土流失的潜力高^[14]。

耕地两类利用方式间土壤水源涵养性能的趋异性。

不同利用方式间土壤容重的变化趋势为天然林地 < 人工林地 < 耕地 < 退耕地或坡耕地, 造成不同利用方式间土壤容重变化的原因在天然林和人工林中主要是土壤的自然恢复作用, 天然林更为明显, 在耕地和坡耕地中主要受人为耕作的影响, 坡耕地还受土壤侵蚀的影响, 退耕地保留了坡耕地的部分特征。与此相对应的土壤孔隙度变化趋势为天然林地 > 人工林地 > 耕地 > 退耕地或坡耕地, 土壤毛管孔隙度的变化趋势相似于土壤孔隙度, 土壤表层非毛管孔隙度的变化趋势为人工林地 > 退耕地 > 天然林地 > 耕地 > 坡耕地, 林地较耕地的非毛管孔隙度高, 对临时性洪水有较高的蓄留能力。由此形成不同土地利用方式间土壤最大持水量的变化趋势为天然林地 > 人工林地 > 耕地 > 退耕地 > 坡耕地, 其中土壤毛管最大持水量的变化相似于毛管孔隙度, 土壤非毛管最大持水量的变化相似于非毛管孔隙度。

2.3 土壤颗粒组成的变化 研究发现(表 3) 不同利用方式间砂粒量在土壤不同层次间的变化趋势为 B 层 > A 层; 粘粒量除坡耕地外, 其他利用方式的层间变化趋势为 A 层 > B 层, 形成原因是坡耕地水土流失量大, 而粘粒又是地表径流中泥沙量的主要成分; 粉砂粒量在天然林地和耕地中的变化趋势为 A 层 < B 层, 在人工林地和坡(退)耕地中的变化趋势

为 A 层 > B 层。进一步分析发现不同利用方式土壤砂粒组成结构中, 0.05 ~ 0.25 mm 径级颗粒量为 A 层 < B 层, 0.25 ~ 1.00 mm 径级颗粒量为 A 层 > B 层, 1.00 ~ 2.00 mm 径级颗粒量在坡(退)耕地和耕地为 A 层 < B 层, 在天然林地和人工林地中为 A 层 > B 层; 不同利用方式土壤粉砂粒组成结构

中, 人工林地和坡(退)耕地不同径级颗粒量变化为 A 层 > B 层, 天然林地 0.002 ~ 0.02 mm 径级为 A 层 > B 层, 0.02 ~ 0.05 mm 径级为 A 层 < B 层, 耕地不同径级颗粒量的变化趋势与天然林地相反。

表 2 不同利用方式土壤水源涵养性能主要指标变化

Table 2 Main indicator changes of soil water conservation in different land use types

类型 Types	土壤最大持水量 // g/kg Maximum soil water holding capacity		毛管最大持水量 // g/kg Maximum capillary water holding capacity		毛管孔隙度 // % Capillary porosity		非毛管孔隙度 // % Non - capillary porosity		容重 // g/cm ³ Volume weight	
	A 层	B 层	A 层	B 层	A 层	B 层	A 层	B 层	A 层	B 层
	天然林地 Aa Natural forest land	540.55 cd	486.63 cd	501.44 cd	456.26 cd	56.96 d	54.91	4.20	3.21	1.04 cd
人工林地 Bb Planted forest land	417.14	217.24	371.00	202.13	55.08 cd	53.31	5.15 B	1.97 Ac	1.15	1.29
退耕地 Cc Slope reforestation land	227.94 a	197.44 a	188.78 a	163.86 a	49.29 b	48.61	4.79	4.21 b	1.26 a	1.30
坡耕地 Dd Slope cultivated land	212.93 a	77.82 a	183.09 a	65.40 a	51.47 ab	47.02	3.80	1.77	1.25 a	1.42 a
耕地 Ee Cultivated land	309.22	269.11	276.58	242.69	52.38	49.22	3.92	3.16	1.20	1.20

表 3 不同利用方式土壤颗粒组成变化

Table 3 Soil mechanical composition changes in different land use types

类型 Types	层 Layer	砂粒 // mm Sand				粉砂粒 // mm Silt		粘粒 (< 0.002 mm) Clay
		g/kg				g/kg		
		2.0 ~ 1.0	1.0 ~ 0.5	0.5 ~ 0.25	0.25 ~ 0.05	0.05 ~ 0.02	0.02 ~ 0.002	
天然林地 Natural forest land	A	76.02	65.14	54.24	156.36	77.37	335.28	235.60
	B	79.32	60.88	33.02	199.76	144.95	304.15	177.93
人工林地 Planted forest land	A	67.26	59.67	39.17	166.81	136.65	289.02	239.41
	B	69.37	61.53	39.91	218.11	106.08	281.10	225.90
退耕地 Slope reforestation land	A	53.48	54.26	35.16	119.69	110.97	347.99	278.43
	B	83.14	61.55	37.53	188.68	103.97	318.26	206.86
坡耕地 Slope cultivated land	A	76.30	65.24	44.55	186.44	143.40	293.71	190.37
	B	89.74	65.38	32.01	194.81	104.22	278.43	235.41
耕地 Cultivated land	A	67.29	84.12	59.94	82.76	136.74	336.23	232.92
	B	70.70	75.92	33.24	122.02	103.91	373.81	220.39

不同利用方式对土壤颗粒组成的影响还表现在相对量变化方面, 天然林地、人工林地、退耕地、坡耕地和耕地的砂粒、粉砂粒和粘粒的相应值在 A 层为 35.18:41.27:23.56, 33.29:42.57:23.94, 26.26:45.90:27.84, 37.25:43.71:19.04, 29.41:47.30:23.29, 同南亚热带不同演替阶段的喀斯特植被^[17]相比, 其粘粒和砂粒量较低; 相对于坡耕地, 耕地和退耕林地的粉粒和粘粒量上升, 砂粒量下降; 相对于退耕地, 天然林地和人工林地的粉粒和粘粒量下降, 砂粒量上升。B 层的相应值为 37.30:44.91:17.79, 38.89:38.72:22.59, 37.09:42.22:20.69, 38.19:38.27:23.54, 30.19:47.77:22.04; 相对于坡耕地, 耕地和退耕林地的砂粒和粘粒量下降, 粉粒量上升; 相对于退耕地, 人工林地的砂粒和粘粒量上升, 粉粒量下降, 天然林地的变化趋势相反。

2.4 土壤肥力主要指标的变化 研究表明(表 4)不同利用方式间有机质和全 N 量除耕地的变化趋势为 A 层 > B 层外, 其他利用方式的变化趋势为 A 层 < B 层, 全 P 量的变化趋势同有机质和全 N 量相反, 耕地表层有机质和全 N 量较高有赖于人工施肥, 全 P 量较低具有喀斯特山地土壤的普遍性; 天然林地和人工林地与耕地的全 K 量变化趋势为 A 层 > B

层, 坡(退)耕地的变化趋势为 A 层 < B 层, 交换性盐基量的变化趋势相反, 这同土地利用类型、人为干扰程度有关; CaCO₃ 量和 pH 值在不同利用方式间的变化趋势为 A 层 < B 层, 深受母岩性质的影响。同喀斯特原生林^[2]相比, 不同利用方式间土壤有机质、全 N 量、全 P 量、全 K 量、pH 值较低, 同喀斯特退化森林不同演替阶段相比, 喀斯特洼地天然林地有机质、全 N 量、全 K 量、pH 值低于乔木林^[16-17], 全 P 量低于北亚热带^[17]、高于南亚热带^[16]的相应值; 除耕地的有机质和全 N 量较高外, 不同利用方式其他相应肥力指标甚至低于灌丛^[16-17]。

土壤肥力的变化不仅发生在土壤不同层次, 还发生在不同利用方式间。相对于坡耕地, 土壤有机质在退耕地较高, 全 N 量在退耕地 A 层较低、B 层较高; 耕地 A 层有机质和全 N 量较高, B 层相关值较低。前者缘于退耕地草本层发育、生物归还量高, 后者缘于耕地的人工施肥, 而坡耕地偶有施肥增加表土层 N 量。相对于人工林地, 天然林地和退耕地有机质和全 N 量较高, 前者缘于天然林复杂结构和高的生物归还量, 后者缘于草本层高的归还量, 人工林结构简单、灌草层发育差、生物归还量低。相对于坡耕地, 退耕地和

耕地全 P 和全 K 量较低,土壤交换性盐基量在退耕地不同层次中较低,在耕地 A 层较低而 B 层较高;相对于人工林地,全 P 量在退耕地较高,在天然林地 A 层较高而 B 层较低,退耕地和天然林地 A 层全 K 量较低而 B 层较高,土壤交换性盐基量在天然林地不同层次较低,在退耕地 A 层较高而 B 层较低。CaCO₃ 量在不同土层、不同利用方式间的变化

趋势相似,耕地 > 坡耕地 > 退耕地、人工林地 > 天然林地、人工林地 > 退耕地。相对于坡耕地,pH 值在退耕地较高,在耕地 A 层较低而 B 层较高;相对于人工林地,pH 值在天然林地不同层次较低,在退耕地 A 层较高而 B 层较低,pH 值既受母岩性质也受生物因素的影响。

表 4 不同利用方式土壤肥力主要指标变化

Table 4 Main indicator changes of soil fertility in different land use types

类型 Types	层 Layer	有机质//g/kg Organic matter	全氮//g/kg Total nitrogen	全磷//g/kg Total phosphorus	全钾//g/kg Total potassium	交换性盐基//cmol (+)/kg Exchange base content	碳酸钙//g/kg CaCO ₃ content	pH 值 pH value
天然林地	A	40.76	1.71	0.45	1.96	33.85	44.56	4.52
Natural forest land	B	43.70	2.10	0.25	1.91	45.32	45.97	5.55
人工林地	A	29.98	1.56	0.29	2.11	37.61	48.50	5.49
Planted forest land	B	30.11	1.81	0.25	1.84	45.59	49.35	5.75
退耕地	A	38.98	1.79	0.30	1.72	39.57	43.38	5.49
Slope reforestation land	B	56.58	2.62	0.28	1.85	39.22	46.48	5.52
坡耕地	A	18.06	2.25	0.48	1.84	45.87	46.07	5.24
Slope cultivated land	B	47.13	2.27	0.35	1.88	39.59	51.53	5.28
耕地	A	69.30	3.51	0.13	1.67	33.47	49.28	4.96
Cultivated land	B	30.00	2.04	0.19	1.67	40.29	51.97	6.16

2.5 土壤肥力有效性主要指标的变化 研究表明(表 5)天然林地和坡耕地土壤水解 N 量的变化趋势为 A 层 < B 层,其他利用方式的趋势性相反,天然林地和人工林地速效 P 量的变化趋势为 A 层 < B 层,其他利用方式的趋势性相反,人工林地和耕地速效 K 量的变化趋势为 A 层 > B 层,其他利用方式的趋势性相反,耕地土壤阳离子交换量的变化趋势为 A 层 > B 层,其他利用方式的趋势性相反,主要肥力有效性指标的变化趋势在耕地为 A 层 > B 层,在天然林地为 A 层 < B

层,其他利用方式的趋势性不明显。同喀斯特原生林^[2]比较,速效 P 和速效 K 量偏低;同南亚热带不同演替阶段喀斯特植被^[16]相比,速效 K 量偏低,阳离子交换量低于乔、灌木,高于草丛,速效 P 量除耕地较高外,其他利用方式与不同演替阶段植被的相应值相近,水解 N 量除耕地和退耕地高于灌草丛外,均低于乔木和灌木林;同北亚热带不同演替阶段喀斯特植被^[17]相比,速效 K 量较低,速效 P 量较高,水解 N 量除耕地和退耕地高于草丛外,均低于乔木和灌木林。

表 5 不同利用方式土壤肥力有效性主要指标变化

Table 5 Soil fertility effective indicator changes in different land use types

类型 Types	层 Layer	水解氮//mg/kg Hydrolysis nitrogen	速效磷//mg/kg Effective phosphorus	速效钾//mg/kg Effective potassium	交换性阳离子//cmol (+)/kg Exchange cation
天然林地 Aa	A	83.08	5.30 e	2.45	11.50
Natural forest land	B	105.74	6.03 e	3.73	16.04
人工林地 Bb	A	72.36	0.90 e	3.36	10.27
Planted forest land	B	54.79	3.27 e	2.93	10.91
退耕地 Cc	A	138.24	3.88 e	2.78	14.79
Slope reforestation land	B	110.68	1.45 e	3.89	15.66
坡耕地 Dd	A	89.76	6.90 e	3.05	9.53
Slope cultivated land	B	112.16	0.76 e	3.48	15.47
耕地 Ee	A	146.47	36.40 abcd	4.73	17.38
Cultivated land	B	102.39	22.81 abcd	2.72	15.80

对土壤肥力有效性的影响不仅表现在土壤剖面不同层次,还表现在不同利用方式间。土壤水解 N 量和阳离子交换量的变化趋势为耕地 > 退耕地 > 坡耕地、天然林地 > 人工林地,速效 P 和 K 量的变化趋势为耕地 > 坡耕地 > 退耕地,速效 P 量为天然林地 > 人工林地,速效 K 量为人工林地 > 天然林地。相对于坡耕地,水解 N 量在退耕地和耕地 A 层较高而 B 层较低,速效 P 量在耕地较高,退耕地 A 层较低而 B 层较高,速效 K 量在退耕地 A 层较低而 B 层较高,在耕地的变化趋势相反,交换性阳离子量在退耕地和耕地

呈升高趋势;相对于人工林地,水解 N 量在天然林地和退耕地较高,速效 P 量在天然林地较高,退耕地 A 层较高而 B 层较低,速效 K 量在天然林地和退耕地 A 层较低而 B 层较高,交换性阳离子量在天然林地和退耕地呈增加趋势。

2.6 土壤综合质量评价 不同利用方式土壤质量指标之间的相对重要性用相关系数^[18]绝对值量化,同一指标在土壤 B 层的权重用相关系数的绝对值、A 层用“1-B 层权重值”量化。权重系数和土壤综合质量指数计算公式如下。土壤指标归一化值:

$$X_i = \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}}$$

土壤指标 A 层权重值:

$$R_{ai} = 1 - R_{bi}$$

土壤指标 B 层权重值:

$$R_{bi} =$$

$$\frac{N \sum X_i * Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{(\sum X_i * X_i - \frac{\sum X_i \sum X_i}{N})(\sum Y_i * Y_i - \frac{\sum Y_i \sum Y_i}{N})}$$

$$\text{土壤指标权重值: } R_{ijk} = \frac{(\sum R_{ijk} - 1)}{N - 1}$$

土壤综合质量指数:

$$F = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I R_{ijk} * X_{ijk}$$

其中, I、J、K 分别表示土壤质量指标、指标组、质量方面。

对不同利用方式土壤综合质量变化(表 6)的分析发现,土壤颗粒指数同肥力($r = 0.450 0^*$)和肥力有效性($r = 0.647 6^{**}$)指数的正相关显著,表明土壤颗粒组成是土壤肥力形成的基础,这同已有的研究结论相似。不同利用方式土壤水源涵养和肥力有效性指数的变化趋势为天然林地 > 人工林地、耕地 > 退耕林地 > 坡耕地,土壤颗粒和土壤肥力指数的变化趋势为耕地 > 退耕林地 > 坡耕地、天然林地 > 人工林地,土壤综合质量指数的变化趋势为耕地 > 退耕林地 > 坡耕地、天然林地 > 人工林地。

表 6 不同利用方式土壤质量指数变化

Table 6 Soil quality index changes in different land use types

类型 Types	水源涵养 Water conservation		颗粒组成 Mechanical composition		土壤肥力 Soil fertility		肥力有效性 Soil fertility effectives		土壤综合质量 Soil synthetical quality	
	平均值	C. V. //%	平均值	C. V. //%	平均值	C. V. //%	平均值	C. V. //%	平均值	C. V. //%
	天然林地 Natural forest land	0.378 1	16.33	0.465 7	6.80	0.412 8	24.72	0.251 2	55.92	0.371 4
人工林地 Planted forest land	0.3741	11.43	0.425 0	23.13	0.410 6	25.40	0.213 2	86.67	0.350 3	28.46
退耕林地 Slope reforestation land	0.3056	12.04	0.4443	25.79	0.4223	19.42	0.3247	48.30	0.3764	17.42
坡耕地 Slope cultivated land	0.2826	8.50	0.412 8	23.51	0.414 5	32.47	0.249 5	56.59	0.361 0	30.79
耕地 Cultivated land	0.32 67	15.24	0.539 4	12.12	0.476 5	32.85	0.54 55	28.01	0.495 7	23.54

3 讨论

喀斯特洼地是一个脆弱生态系统,其原生性森林包括了大量的微生境类型^[2,7],人为活动进一步改变了植被类型、结构与分布,影响喀斯特洼地土壤的发育与质量演化。研究对象是一个高度利用型喀斯特洼地,森林覆盖率 1.77%,乔灌木覆盖率 42.01%,坡耕地率 41.42%,不同利用方式土壤质量的变化规律相异于一般喀斯特地区,同北亚热^[17]、南亚热带^[2,16]喀斯特植被不同演替阶段土壤特性比较,中亚热带高原喀斯特洼地不同利用方式的土壤主要特性有相似性,也有相异性,其形成原因需要在一个较大的尺度上或多个喀斯特洼地中重复分析,从而进一步完善地形因素、利用方式对喀斯特洼地土壤质量影响的结论。

参考文献

[1] 喀斯特数据中心. 喀斯特洼地[EB/OL]. (2009-08-19) <http://www.karstdata.cn/view.aspx?bh=23>.
 [2] 周政贤. 茂兰喀斯特森林科学考察集[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1987.
 [3] SWEETINL M M. Reflections on the development of Karst geomorphology in Europe and a comparison with its development in China[J]. Geomorphology, 1993, 37: 127 - 138.
 [4] TUYET D. Characteristics of karst ecosystems of Vietnam and their vulnerability to human impact[J]. Acta Geologica, 2001, 75(3): 325 - 329.
 [5] ZHANG P J, LI L Q, PAN C X, et al. Soil quality changes in land degrada-

tion as indicated by soil chemical, biochemical and microbiological properties in a karst area of southwest Guizhou, China[J]. Environmental Geology, 2006, 51(4): 609 - 619.

[6] 刘海隆, 蒋天明, 刘洪斌, 等. 不同土地利用方式对岩溶山区旱耕地土壤水分时空分异的影响[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 428 - 434.
 [7] 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): 1055 - 1062.
 [8] 李阳兵, 谢德体, 魏朝富. 岩溶生态系统土壤及表生植被某些特性变异与石漠化的相关性[J]. 土壤学报, 2004, 41(2): 196 - 202.
 [9] 姚长宏, 蒋忠诚, 袁道先. 西南岩溶地区植被喀斯特效应[J]. 地球学报, 2001, 22(2): 159 - 164.
 [10] 《织金县综合农业区划》编写组. 织金县综合农业区划[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1989.
 [11] 张喜. 喀斯特山地坡耕地立地分类系统与评价[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(S1): 76 - 86.
 [12] 国家林业局. 森林土壤分析方法(LY/T1210-1275-1999)[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
 [13] 张文彤. SPSS11 统计分析教程[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002.
 [14] 张喜, 薛建辉, 许效天, 等. 黔中喀斯特山地不同森林类型的地表径流及影响因素[J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15(6): 527 - 537.
 [15] 张喜, 薛建辉, 生原喜久雄, 等. 黔中山地喀斯特森林的水文学过程和养分动态[J]. 植物生态学报, 2007, 31(5): 757 - 868.
 [16] 王韵, 王克林, 邹冬生, 等. 广西喀斯特地区植被演替对土壤质量的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 130 - 135.
 [17] 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.
 [18] 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 1999, 25(4): 378 - 382.

(上接第 5620 页)

[3] 李平作. 灵芝胞外多糖深层发酵培养基的优化[J]. 无锡轻工业大学学报, 1998, 6(2): 124 - 128.

[4] 李平作, 徐柔, 章克昌. 灵芝液体发酵过程中菌体形态与胞外多糖产量的关系[J]. 工业微生物, 2000, 30(3): 20 - 23.