

# 土地利用方式对桂西北石漠化地区土壤理化性质的影响

李 生, 任华东, 姚小华

(中国林业科学研究院 亚热带林业研究所 国家林业局 亚热带林木培育重点开放性实验室, 浙江 富阳 311400)

**摘 要:** 在广西壮族自治区凌云县典型石漠化地区对 7 种不同土地利用方式土壤理化性质进行了调查分析。结果表明, 不同土地利用方式对土壤容重、含水量、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度存在极显著差异 ( $p < 0.01$ ), 有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾及交换性  $\text{Ca}^{2+}$  含量差异极显著 ( $p < 0.01$ )。相对阔叶林地土壤, 灌木林、针叶林、退耕地、草地、退耕坡地、农田土壤的退化程度依次增加。农田土壤质量最低, 针叶林地、草地、退耕坡地、退耕地土壤质量为中等, 灌木林地与阔叶林地土壤质量较高。人为干扰是影响土壤理化性质的主导因素, 干扰强度大, 土壤理化性质退化严重。控制不合理的人为干扰及恢复结构良好的地上植被对改善土壤质量具有重要意义。

**关键词:** 喀斯特石漠化; 土地利用; 理化性质; 土壤质量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0058-05

中图分类号: S714.2

## Effects of Different Land Use Systems on Soil Physical and Chemical Properties in Karst Rocky Desertification Area of Northwest Guangxi Province

LI Sheng, REN Hua-dong, YAO Xiao-hua

(Research Institute of Subtropical Forestry, CAF; Key Laboratory of Subtropical

Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Zhejiang, Fuyang 311400, China)

**Abstract:** Soil physiochemical properties for 7 different landuse types were investigated in the typical karst rocky desertification area of Lingyun City, Guangxi Zhuang Autonomous Region. Results showed that different landuse systems had significant effects ( $p < 0.01$ ) on the bulk weight, water content, total porosity, capillary porosity and non-capillary porosity, as well as the organic matter, total N, P and K, effective N, P and K, and exchangeable  $\text{Ca}^{2+}$ . Compared with the soil in broad-leaf forest, the degrees of soil degradation in shrub land, coniferous forest land, fallow terrace farmland, grassland, fallow sloping land and farmland became serious in turn. Among them, soil quality was the worst in farmland and it was in middle in coniferous forest land, grassland, fallow sloping land and fallow terrace farmland, while it was better in shrub land and broadleaf forest land. Human disturbances were the dominant factor affecting soil physiochemical properties. Hence, the degrees of soil degradation were changed with disturbance intensity. It is significant to control unreasonable disturbances and restore good vegetation for soil quality improvement in the region.

**Keywords:** karst rocky desertification; land use; physical and chemical properties; soil quality

关于土地利用的研究已成为当前全球环境变化研究领域的核心内容之一<sup>[1-4]</sup>。合理的土地利用可以改善土壤结构, 增强土壤对外界环境变化的抵抗力, 不合理的土地利用则会导致土壤质量下降<sup>[5-7]</sup>。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>[8]</sup>。人类对土地利用和管理对土壤产生不断影响, 不合理的土地利用与管理措施将导致土壤功能的恶化<sup>[9]</sup>。喀斯特

环境中土壤退化是喀斯特石漠化(karst rocky desertification)的重要组成部分, 也是影响岩溶地区生态环境恶化的重要因子和制约可持续发展的主要方面。喀斯特在我国分布面积  $3.44 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 占全国总面积的 35.9%<sup>[10]</sup>, 集中在我国西南地区。越来越多的研究表明, 不合理的人为因素是导致土地石漠化的直接因素<sup>[11-13]</sup>, 因此在喀斯特石漠化地区开展不同土地利用对土壤质量的影响具有重要意义。虽然过

收稿日期: 2012-09-07

修回日期: 2012-12-06

资助项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项经费“生态经济型石漠化植被恢复模式构建技术研究”(201004033); 科技部农业成果转化资金项目“石漠化植被恢复技术应用示范”(2009GB24320475)

作者简介: 李生(1976—), 男(汉族), 辽宁省凌源市人, 博士, 副研究员, 主要从事石漠化生态治理研究。E-mail: lnlyls@163.com。

通信作者: 任华东(1963—), 男(汉族), 浙江省永康市人, 副研究员, 主要从事石漠化生态治理研究。E-mail: renhd@163.com。

去开展了一些关于喀斯特环境方面的研究工作,但是在土壤的发生、发展及土壤质量演变方面的研究相对较少,与中国其他环境中土壤质量研究相比,对喀斯特环境土壤质量的系统研究还比较薄弱<sup>[14-16]</sup>。通常大尺度的景观研究容易掩盖中小尺度景观的土地利用和覆被变化及土壤养分含量的变化<sup>[17-20]</sup>。本研究选择典型喀斯特石漠化脆弱环境单元,研究土地利用方式对土壤物理化学性质影响,定量分析不同利用方式下土壤质量变化,为喀斯特地区土地科学利用与石漠化生态治理供科学依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

凌云县位于广西壮族自治区西部(106°23′—106°55′E,24°06′—25°37′N),处于云贵高原向广西丘陵的过渡地带,全县境为山岳地域,地势自西北向东南倾斜,中部隆耸,境内海拔在210~2062 m。碳酸盐分布面积 $8.19 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,占土地总面积的39.9%,发生石漠化土地面积占20.5%。全县属亚热带季风气候区,年平均日照1443.7 h,无霜期343 d,年平均气温20.5℃,极端最低温-2.4℃,极端最高气温38.4℃,≥10℃的年平均活动积温6000℃;1月最冷,月均温11.4℃,7月最热,月均温26.4℃。年均降雨量1603.5 mm,集中在5—10月,年均蒸发量1406.9 mm,年平均相对湿度78%。研究区在20世纪60年代之前为常绿落叶阔叶混交林,具有基本一致的土壤条件,经破坏后形成各种不同土地利用类型。

### 1.2 样地设置

当前土地利用方式分为7种类型(表1):农地(FL),2次重复,共200 m<sup>2</sup>。单季种植玉米(*Zea mays*),植被主要有鬼针草(*Bidens pilosa*)、白花菜(*Cleome gynandra*)、马齿苋(*Portulaca oleracea*)、鱼腥草(*Houttuynia cordata*)、苦苣菜(*Sonchus ar-*

*vensis*)等。退耕台地(RTL),3次重复,共600 m<sup>2</sup>。2005年退耕还林,植被主要有柃木(*Alnus nepalensis*)、酸枣(*Choerospondias axillaris*)、柘树(*Cudrania tricuspidata*)、香椿(*Toona sinensis*)、鬼针草、地桃花(*Urena lobata* var. *scabriuscula*)、苦苣菜等。退耕坡地(RSL),3次重复,共600 m<sup>2</sup>。2005年退耕还林。植被为柃木、苦楝(*Melia azedarace*)、榕树(*Ficus microcarpa*)、鬼针草、苦苣菜、白花菜等。草地(GL),3次重复,600 m<sup>2</sup>。2005年退牧还林,植被为西南木荷(*Schima wallichii*)、清香木(*Pistacia weinmannifolia*)、毛杨梅(*Myrica esculenta*)、蔓九节(*Psychotria serpens*)、宿根画眉草(*Eragrostis perennans*)、羊耳菊(*Inula cappa*)、米念芭(*Tirpitzia ovoidea*)等。灌木林地(SL),3次重复,600 m<sup>2</sup>。封育25 a,植被为圆叶乌桕(*Sapium rotundifolium*)、毛枝绣线菊(*Spiraea martinii*)、刺梨(*Rosa roxburghii*)、清香木、西南桦(*Betula alnoides*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、华南毛蕨(*Cyclosorus parasiticus*)等。针叶林地(CFL),2次重复,400 m<sup>2</sup>。林龄25 a,植被为杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、柏木(*Cupressus funebris*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、油茶(*Camellia oleifera*)、长叶水麻(*Debregeasia longifolia*)、华南毛蕨、芒箕(*Dicranopteris dichotom*)、渐尖毛蕨(*Cyclosorus acuminatus*)、茅草(*Imperata cylindrical* var. *major*)等。阔叶林地(BFL),3次重复,1200 m<sup>2</sup>。封育30 a,植被为青冈、华润楠(*Machilus chinensis*)、富宁栎(*Quercus setulosa*)、黄梨木(*Boniodendron minus*)、海南琼楠(*Beilschmiedia wangii*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、长叶水麻(*Debregeasia longifolia*)、毛轴铁角蕨(*Asplenium crinicaule*)、井栏边草(*Pteris multifida*)、茜草(*Rubia cordifolia*)、千里光(*Senecio scandens*)、薜荔(*Ficus pumila*)等。

表1 不同利用方式样地基本情况

样地	海拔/m	坡度/(°)	坡向	土壤厚度/cm	腐殖质厚/cm	群落高度/m	群落覆盖度/%	岩石出露率/%
农地	840	31	SE	60	—	—	—	25
退耕台地	883	22	ES	70	—	1.6	30	15
退耕坡地	889	26	SW	36	—	1.3	25	60
草地	885	32	SW	45	0.3	0.5	70	30
灌木林地	958	34	S	10	1.3	1.6	50	80
针叶林地	903	30	SE	55	1.0	4.8	60	40
阔叶林地	946	34	E	10	2.0	5.0	70	85

### 1.3 研究方法

2010 年 12 月在所选样地内进行常规调查,用 100 cm<sup>3</sup> 环刀于每一样地内呈梅花形分 5 点取 0—15 cm 土样,并装于铝盒内带回实验室,同时另取 500 g 左右土样带回实验室用于化学性质测定。土壤容重与孔隙度:环刀法;有机质:重铬酸钾(K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)外加加热法;全氮:半微量凯氏法;速效氮:碱解扩散法;全磷:高氯酸和硫酸硝化法;速效磷:碳酸氢钠(NaOH)浸提—钼锑抗比色法;全钾:氢氧化钠熔融—火焰光度计法;速效钾:原子吸收法;pH:酸度计法;交换性 Ca<sup>2+</sup>:1 mol/L 乙酸铵(NH<sub>4</sub>OAc)交换—原子吸收分光光度法。

相对退化系数:

$$RSDI = [\sum (X_i - X) / X] / n$$

式中:RSDI——相对退化指数;X<sub>i</sub>——其他土地利

用类型下土壤不同指标各属性值;X——基准土地利用类型下土壤不同指标属性值;n——选择的土壤属性数。土壤质量灰色多层综合评估依据文献[21—22]进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土地利用方式对土壤物理性质的影响

土壤物理学特性影响土壤的通气、透气、持水、导热、抗蚀等各种功能,是反映土壤质量的一个重要方面<sup>[13]</sup>。由调查结果(表 2)可以看出,不同土地利用方式土壤物理性质存在着变异。不同利用方式样地总体间土壤容重、土壤含水量、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度存在极显著的差异( $p < 0.01$ ),样地总体间的变异系数分别为 12.37%,29.72%,18.07%,12.66%,84.70%。

表 2 不同土地利用方式土壤物理性质

样地	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	含水量/%	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%
农地	1.25±0.17cC	14.65±1.05fF	40.71±3.29cB	37.46±2.26dD	3.25±0.45cdCD
退耕台地	1.25±0.14cC	25.10±1.30bB	43.02±2.43cB	40.59±2.45cdCD	2.43±0.23deD
退耕坡地	1.45±0.22bB	17.51±2.91efDE	49.57±4.08bcB	45.10±2.30bBC	4.47±0.33bB
草地	1.48±0.14bAB	21.20±2.80cdBCD	44.16±2.32cB	41.83±2.30bcCD	2.33±0.23eD
灌木林地	1.30±0.14cC	22.88±2.42bcBC	53.97±4.28bdAB	50.25±1.35aAB	3.72±0.22bcBC
针叶林地	1.57±0.17aA	18.82±0.92deCDE	40.76±2.29cB	38.47±3.27D	2.29±0.29eD
阔叶林地	1.09±0.10dD	34.83±1.17aA	64.26±2.91dA	51.35±2.99aA	12.91±1.01aA

注:同一列不同小写字母表示 5%显著性 LSD 差异检验;不同大写字母表示 1%显著性 LSD 差异检验。下同。

阔叶林地的土壤容重最小,且与其他利用方式间的差异极显著( $p < 0.01$ );针叶林地的土壤容重最大,与农田、退耕台地差异极显著,与退耕坡地( $p = 0.02$ )、草地( $p = 0.012$ )差异显著;退耕坡地与草地容重较接近,二者差异不显著( $p > 0.05$ ),但与灌木林地面、阔叶林地差异极显著;农田与退耕台地和灌木林地的容重较为接近,差异不显著,但与退耕坡地间差异显著( $p = 0.04$ ),与其他 3 种利用方式样地土壤差异极显著;退耕台地与灌木林地面差异显著( $p = 0.04$ ),与农田除外的其他 4 种利用方式样地土壤差异极显著。与阔叶林地相比,农地、退耕台地、退耕坡地、草地、灌木林地和针叶林地的土壤容重分别增加了 14.68%,14.68%,33.03%,35.78%,19.27%,44.04%。

土壤含水量、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度均以阔叶林地最大,表明阔叶林地土壤具有较好的土壤物理性质。草地土壤容重较高,可能与放牧时牲畜对草地的践踏有关。土壤容重与含水量、总孔隙度、毛管孔隙度间存在着负相关关系,相关系数分别

为-0.642,-0.613,-0.481(表 3)。

### 2.2 不同土地利用方式对土壤化学性质的影响

喀斯特山区土地利用方式对土壤化学性质也产生了明显的影响(表 4),土壤有机质在不同土地利用方式下差异极显著( $p < 0.01$ ),总体表现为阔叶林地 > 灌木林地 > 针叶林地 > 草地 > 退耕台地 > 退耕坡地 > 农田,有机质含量最高的是阔叶林地土壤,是含量最低的农田土壤的 7 倍。有机质与除 pH 值外的其他化学指标之间存在着明显的正相关,相关系数在 0.8 以上(表 3)。土壤有机质与土壤的物理性质指标之间也存在着一定的相关性,与土壤容重呈负相关,相关系数-0.533,而与含水量及孔隙度等均具有较高的相关系数(>0.8)。农田有机质含量与退耕台地差异不显著,与退耕坡地差异显著( $p = 0.02$ ),与草地、灌木林地、针叶林地、阔叶林地面差异极显著。草地土壤有机质含量与退耕台地差异显著( $p = 0.03$ ),与退耕坡地、灌木林地、阔叶林地差异极显著,与针叶林差异不显著。灌木林地与退耕台地、退耕坡地、针叶林地及阔叶林地面差异均极显著。

全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾及交换性  $\text{Ca}^{2+}$  总体间差异均达到极显著,各项指标均以阔叶林地土壤数值最大,农田土壤最小,其变化趋势与土壤有机质相似。由于喀斯特的地质背景,各种土壤

中  $\text{Ca}^{2+}$  的含量均比较高,生长在该种土壤上的植物不仅具有适钙性,还具有  $\text{Ca}^{2+}$  的富集作用,因此,发育阶段较高的阔叶林地土壤  $\text{Ca}^{2+}$  高达 6.57,是农田的 4.6 倍,是退耕农田的 3.4 倍。

表 3 土壤理化性质指标相关性

指标	容重	含水量	总孔隙度	毛管孔隙度	有机质	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾
含水量	-0.642										
总孔隙度	-0.613	0.796									
毛管孔隙度	-0.481	0.698	0.955								
有机质	-0.533	0.863	0.914	0.842							
全氮	-0.563	0.877	0.914	0.825	0.996						
全磷	-0.675	0.881	0.948	0.882	0.974	0.969					
全钾	-0.499	0.852	0.893	0.853	0.978	0.958	0.970				
速效氮	-0.559	0.828	0.891	0.850	0.973	0.953	0.977	0.993			
速效磷	-0.598	0.774	0.888	0.866	0.948	0.927	0.968	0.968	0.989		
速效钾	-0.435	0.908	0.777	0.685	0.952	0.951	0.895	0.936	0.911	0.854	
交换性 $\text{Ca}^{2+}$	-0.492	0.772	0.944	0.919	0.967	0.963	0.945	0.933	0.934	0.934	0.861

表 4 不同土地利用方式土壤化学性质

样地	pH 值	有机质/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全氮/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全磷/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全钾/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	交换性 $\text{Ca}^{2+}$ / ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
农地	7.25±0.05bB	18.91±3.09eE	1.22±0.12eD	0.11±0.03cC	0.53±0.07eE	122.84±14.84fF	0.37±0.19dC	29.86±2.96eD	1.42±0.14eE
退耕台地	6.73±0.07cC	31.09±7.09dDE	1.67±0.27deCD	0.27±0.11cC	2.63±0.03dD	193.94±22.94dCD	1.22±0.23cdBC	39.38±1.58dC	1.43±0.15eE
退耕坡地	6.99±0.11dD	29.96±3.96dE	1.58±0.28deCD	0.20±0.08cC	2.04±0.24dD	153.55±14.55eEF	0.42±0.10dBC	31.90±1.70eD	2.41±0.11dCD
草地	6.32±0.02eE	45.40±2.40cCD	2.55±0.35cC	0.19±0.09cC	2.24±0.24dD	165.49±24.49eDE	0.66±0.18dBC	41.83±2.23cdBC	3.07±0.17cC
灌木林地	8.19±0.19aA	83.90±4.90bB	3.99±0.39bB	0.66±0.22bB	6.55±0.25bB	407.95±7.95bB	7.07±1.21bA	46.35±1.55bB	5.08±0.38bB
针叶林地	6.34±0.06eE	46.58±4.58cC	2.25±0.15cdCD	0.20±0.02cC	3.61±0.31cC	230.85±4.15cC	1.65±0.35cB	44.10±2.10bcBC	2.08±0.18dDE
阔叶林地	7.14±0.04bcBC	131.72±22.72aA	6.75±0.95aA	1.03±0.02aA	8.99±0.79aA	506.60±8.60aA	8.27±0.29aA	62.89±1.91aA	6.57±0.67aA

### 2.3 不同土地利用方式土壤退化程度与质量分级

可以认为,在不同土地利用方式条件下,土壤的理化性质均发生了比较明显的变异,以阔叶林地土壤质量相对较优。为定量描述不同土地利用方式下土壤退化的程度,运用土壤相对退化指数(RSQI),以阔叶林地土壤为相对基准土地利用类型,选取容重、毛管孔隙度、含水量、有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾、交换性  $\text{Ca}^{2+}$  11 个指标,计算了不同利用方式下土壤质量的相对退化指数(表 5)。

表 5 土壤相对退化指数

样地	相对退化度/%
灌木林地	-25.3
针叶林地	-56.3
退耕台地	-56.6
草地	-56.7
退耕坡地	-62.2
农地	-68.4

土壤退化指数可以是正数也可以是负数,负数表明土壤退化;正数说明土壤不仅没有退化,而且质量还有所提高。灌木林地的相对退化程度较弱,相对退化指数较小(-25.3%),针叶林地、退耕台地与草地相对退化指数在-56%左右,相对退化程度较强,而退耕坡地与农田相对退化指数较高(>60%),退化程度强。

为进一步明确不同土地利用方式对土壤质量的影响,运用灰色多层综合评估方法<sup>[19-20]</sup>进行了分类,从分类结果(图 1)来看,如果仅根据土壤物理性质指标进行分类,农田、针叶林地质量较低,退耕台地、退耕坡地、草地、灌木林地质量为中等,阔叶林地质量较高;仅根据土壤化学性质指标进行分类,农田土壤质量为低,退耕台地、退耕坡地、草地、针叶林地土壤质量为中等,灌木林地与阔叶林地质量为高。综合土壤物理与化学性质,农田土壤质量为低等,退耕台地、退耕坡地、草地、针叶林地土壤质量为中等,灌木林地与阔叶林地土壤质量均为较高等。灰色多层综合评估

方法与土壤相对退化指数(RSQI)法所得结果基本一致。

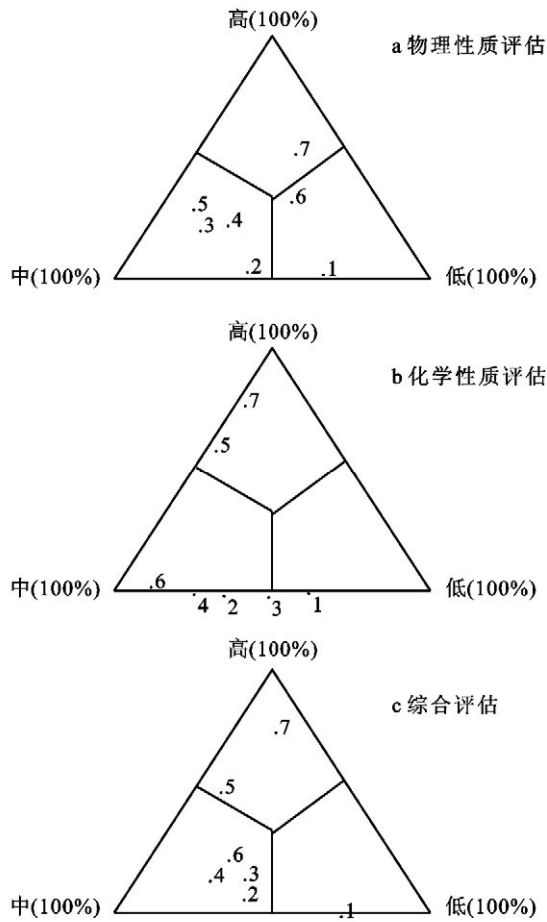


图 1 多层综合评估结果

注:1. 农田; 2. 退耕台地; 3. 退耕坡地; 4. 草地; 5. 灌木林地; 6. 针叶林地; 7. 阔叶林地。

### 3 结论

在不同土地利用方式条件下土壤的物理化学性质均发生了比较明显的变异,不同利用方式样地总体间土壤容重、土壤含水量、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度存在极显著的差异( $p < 0.01$ ),样地总体间的变异系数分别为 12.37%, 29.72%, 18.07%, 12.66%, 84.70%。土壤物理性质表现为:农田、针叶林地质量较低,退耕台地、退耕坡地、草地、灌木林地质量为中等,阔叶林地质量较高。土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾及交换性  $\text{Ca}^{2+}$  含量总体间差异达到极显著( $p < 0.01$ )。土壤化学性质表现为:农田土壤质量为低,退耕台地、退耕坡地、草地、针叶林地土壤质量为中等,灌木林地与阔叶林地质量为高。土壤容重与土壤其他指标间呈负相关,土壤有机质与其他化学指标存在着较高的正相关。运用相对退化指数方法对不同利用方式条件下的土壤

进行的定量分析表明,相对阔叶林地土壤,灌木林、针叶林、退耕台地、草地、退耕坡地、农田的退化退化程度依次增加,土壤相对退化指数分别为-25.3%, -56.3%, -56.6%, -56.7%, -62.2%, -68.4%。综合土壤物理与化学性质,多层综合评估表明,不同利用方式土壤质量表现为阔叶林地与灌木林地土壤质量均为较高,针叶林地、草地、退耕坡地、退耕台地土壤质量为中等,农田土壤质量最低。

研究结果发现土壤质量优劣的基本变化趋势是林地>草地>退耕地>农田,人类对土壤的干扰是影响土壤质量变化的主导因素,干扰强度大,土壤质量退化严重,这与目前在喀斯特石漠化地区的已有的一些研究结果一致<sup>[14-15,23]</sup>。退耕坡地质量稍优于退耕台地,主要是由于退耕坡地在退耕后就失去了人为活动的干扰,而退耕台地依然种植低矮作物且不施肥,存在着除草等人为干扰,部分营养随季节性的收获而迁移,因此,不存在人类种植活动的退耕坡地的质量稍优于退耕台地,相比之下,依然耕作的农田质量最差。针叶林地土壤质量相对退化指数较大,达-56.3%。针叶林地主要栽培树种为杉木,且密度较大,达 4 500 株/hm<sup>2</sup>,林分郁闭度大,林下植被稀疏,其生态系统处于非良性演替,相比之下,阔叶林地土壤理化性质明显优于杉木针叶林地,在喀斯特石漠化地区植被恢复过程中,关于针叶林树种的利用要在立地选择的基础上,注意与阔叶树种进行混交,以维持林地地力,防止地力衰退。良好的地上植被结构能够有效改善土壤质量,因此,在石漠化地区恢复地上植被及改善植被结构并减少不合理的人为干扰,对于改善土壤质量具有重要意义。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究方向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-557.
- [2] Reid R S, Kruska R L, Muthui N, et al. Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forces: The case of southwestern Ethiopia[J]. Landscape Ecology, 2000, 15: 339-355.
- [3] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 近 10 年来长江下游土地利用变化及其生态环境效应[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 659-667.
- [4] Qian Lexiang, Cui Haishan, Chang Jie. Impacts of land use and cover change on land surface temperature in the Zhujiang Delta [J]. Pedosphere, 2006, 16(6): 681-689.
- [5] Lal R, Mokma D, Lowery B. Relationship between soil quality and erosion[M] // Rattan L ed. Soil Quality and Soil Erosion. Washington DC: CRC Press, 1999, 237-258.

(下转第 190 页)

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王世杰,李阳兵.喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势[J].地球科学进展,2007,22(6):474-483.
- [2] 袁道先,章程.岩溶动力学的理论探索与实践[J].地球学报,2008,29(3):355-365.
- [3] 鞠建华,戴传固,况顺达,等.岩溶石漠化遥感监测与防护规划[M].北京:地质出版社,2006.
- [4] 岳跃民,王克林,张兵,等.喀斯特石漠化信息遥感提取的不确定性[J].地球科学进展,2011,26(3):266-274.
- [5] Wang Shijie, Liu Qiming, Zhang Dianfa. Karst rocky desertification in southwestern China: Geomorphology, landuse, impact and rehabilitation[J]. Land Degradation and Development, 2004,15(2):115-121.
- [6] 王世杰,李阳兵.生态建设中的喀斯特石漠化分级问题[J].中国岩溶,2005,24(3):192-195.
- [7] 李瑞玲,王世杰,周德全,等.贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的空间相关分析[J].地理学报,2003,58(2):314-320.
- [8] 岳跃民,张兵,王克林,等.石漠化遥感评价因子提取研究[J].遥感学报,2011,15(4):722-736.
- [9] 谭炳香,李增元,陈尔学,等.EO-1 Hyperion 高光谱数据的预处理[J].遥感信息,2005(6):36-41.
- [10] 高尚武,王葆芳,朱灵益,等.中国沙质荒漠化土地监测评价指标体系[J].林业科学,1998,34(2):1-11.
- [11] Yue Yuemin, Zhang Bing, Wang Kelin, et al. Spectral indices for estimating ecological indicators of karst rocky desertification[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010,31(8):2115-2122.
- [12] Daughtry C S T, Walthall C L, Kim M S, et al. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance[J]. Remote Sensing of Environment, 2000,74(2):229-239.
- [13] 陈晓玲,龚威,李平湘,等.遥感数字图像处理导论[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [14] Wilson A D, Abraham N A, Barratt R, et al. Evaluation of methods of assessing vegetation change in the semi-arid rangelands of southern Australia[J]. Australian Rangeland Journal, 1987,9(1):5-13.
- [15] Zhou Qiming, Robson M, Pilesjo P. On the ground estimation of vegetation cover in Australian rangelands[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19(9):1815-1820.
- [16] Liu Liangyun, Jing Xia, Wang Jihua, et al. Analysis of the changes of vegetation coverage of western Beijing mountainous areas using remote sensing and GIS[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009,153(1/4):339-349.
- (上接第 62 页)
- [6] Fu Bojie, Chen Liding, Ma Keming, et al. The relationship between land use and soil conditions in the hilly area of Loess Plateau in Northern Shaanxi, China[J]. Catena, 2000,39(1):69-78.
- [7] 韩书成,濮励杰,陈凤,等.长江三角洲典型地区土壤性质对土地利用变化的响应[J].土壤学报,2007,44(4):612-619.
- [8] Doran J W, Timmothy B P. Defining and assessing soil quality[M]. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. 1994.
- [9] 连纲,郭旭东,王静,等.土壤质量与可持续土地利用管理[J].生态学杂志,2005,24(2):163-169.
- [10] 李阳兵,侯建筠,谢德体.中国西南岩溶生态研究进展[J].地理科学,2002,22(3):365-370.
- [11] 龙健,江新荣,邓启琼,等.贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J].土壤学报,2005,42(3):419-427.
- [12] 许联芳,王克林,朱捍华,等.桂西北喀斯特移民区土地利用方式对土壤养分的影响[J].应用生态学报,2008,19(5):1013-1018.
- [13] 魏亚伟,苏以荣,陈香碧,等.人为干扰对桂西北喀斯特生态系统土壤有机碳、氮、磷和微生物量剖面分布的影响[J].水土保持学报,2010,24(3):164-169.
- [14] 龙健,黄昌勇,李娟.喀斯特山区不同土地利用方式对土壤质量演变的影响[J].水土保持学报,2002,16(1):76-80.
- [15] 龙健,李娟,汪境仁.典型喀斯特地区石漠化演变过程对土壤质量性状的影响[J].水土保持学报,2006,20(2):77-81.
- [16] 刘方.喀斯特石漠化过程土壤环境质量变化及生态环境影响评价[J].生态学报,2005,25(3):639-644.
- [17] Ellis E C, Wang S M. Sustainable traditional agriculture in the Tai Lake region of China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment. 1997, 61(2/3):177-193.
- [18] Vitousek P M. Human domination of earth's ecosystems[J]. Science, 1997,277(5325):494-499.
- [19] Ellis E C, Li Ronggang, Yang Linzhang, et al. Agroecosystem sustainability: Developing practical strategies[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000:95-104.
- [20] 焦加国,武俊喜,李辉信,等.华南丘陵区村级景观下土地利用/土地覆盖对土壤质量的影响[J].土壤学报,2007,44(2):204-211.
- [21] 马瑛.北方农牧交错带土地利用生态安全评价[J].干旱区资源与环境,2007,27(1):53-58.
- [22] 宋鹏飞,郝占庆.生态资产评估的若干问题探讨[J].应用生态学报,2007,18(10):2367-2373.
- [23] 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.