

广西喀斯特地区荒草地垦田的土壤肥力变化

胡业翠¹, 李英¹, 王其兵²

[1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 中国科学院植物研究所, 北京 100093]

摘要: 在广西壮族自治区喀斯特地区, 生态移民工程的实施致使荒草地开垦数量大幅度增加, 土地的开垦必然会影响到土壤的肥力质量。选择广西环江县开垦 30 a, 15 a 玉米地及荒草地土壤为研究对象, 基于空间代替时间的理论, 探讨了喀斯特地区荒草地开垦对土壤肥力质量的影响。在利用相关系数确定评价因子权重, 隶属度函数因子归一化, 土壤质量综合评分法确定土壤肥力质量分值的基础上, 运用 Markov 法对土壤肥力质量动态变化进行了评价。结果表明, 荒草地开垦种植玉米后, 0—100 cm 土层的土壤肥力质量均有下降; 相比 15 a 玉米地, 30 a 玉米地土壤肥力质量退化程度较低, 土壤肥力质量相对较好; 土壤肥力质量退化与土壤深度有关, 随着深度的增加退化程度减弱; 人为活动的干扰使开垦初期土壤肥力质量退化严重, 但是随着开垦时间的延长土壤肥力质量有所恢复。

关键词: 相关系数法; 隶属度函数; 土壤肥力质量; 广西喀斯特地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0344-05

中图分类号: F301.24

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.066

Changes in Soil Fertility After Grassland Reclamation to Farmland in Karst Areas of Guangxi Zhuang Autonomous Region

HU Ye-cui¹, LI Ying¹, WANG Qi-bing²

[1. School of Land Science & Technique, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China]

Abstract: With the implementation of the ecological migration project in karst area of Guangxi Zhuang Autonomous Region, a large number of grasslands were reclaimed for cultivated fields in immigration area, and land reclamation inevitably affected the the soil fertility. By choosing corn land of 30 years and 15 years and grassland as the research objects, we studied the influence of grassland reclamation on soil fertility based on the theory of space for time. Soil fertility was evaluated on the basis of determining weight of factors by means of the correlation coefficient and normalization of factors through membership function. The results showed that after grassland replaced by corn field, the soil fertility declined in 0—100 cm soil layer; The degradation of 30 years corn was less serious than that of 15 years corn, so the soil fertility of 30 years corn was better; The degradation of soil fertility related to soil depth; The degradation was most serious at the beginning of reclamation because of the interference of human activities, but soil fertility was restored with the extension of cultivation.

Keywords: correlation coefficient; membership function; quality of soil fertility; karst area of Guangxi Zhuang Autonomous Region

土壤是一种宝贵的自然资源, 土壤质量的优劣不仅直接影响到当地居民的生活水平, 而且是全球粮食安全问题的核心。人口增长、经济社会发展和资源约束决定了全球长期存在巨大的粮食安全压力, 因此土壤质量的研究已经成为国际研究的热点问题。国内外众多学者致力于土壤质量方面的研究, 研究内容可以总结为两个方面, 一是通过统计分析土壤某些物

理、化学及生物指标的变化反映土壤质量变化^[1-8], 如 Kong 等^[2] 研究发现, 在中国北方集中农业区, 土地利用方式按原始草地、旱地、水田、菜地顺序变化, 土壤有机碳、全氮、有效磷均增加; 许联芳等^[8] 研究发现, 在桂西北喀斯特生态移民区, 土壤有机碳、全氮、有效氮含量与土壤的利用强度有关, 随土地利用强度的增加而降低。Francis Dube^[5] 等研究发现, 智利巴

收稿日期: 2013-05-25

修回日期: 2013-12-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“西南喀斯特生态移民区土地利用与生态系统互动效应及调控机制研究”(41171440)

作者简介: 胡业翠(1978—), 女(汉族), 山东省淄博市人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用与区域发展方面的研究。E-mail: huyec@163.com。

塔哥尼亚火山土土壤有机碳的含量变化顺序为:退化的天然草原>未管理的次生林假山毛榉林>间伐和修剪的黄松人工林。二是通过比较土壤质量的综合分值分析土壤质量变化^[9-14]。如李灵^[9]对南方丘陵区不同土地利用方式的土壤质量研究发现,土壤质量以受人为干扰较少的次生阔叶林的土壤质量最优,桉树人工林和经济林次之,耕地土壤质量较差,而采矿迹地的土壤退化最为严重。已有的研究结果均表明,土壤质量与土地利用方式有直接的关系。

广西壮族自治区岩溶地貌分布广泛,受特殊自然条件的影响,岩溶地区生态系统十分脆弱,加上石山区人口过多,远远超过了自然生态系统的承载能力,导致广西岩溶地区生态环境恶化,出现了石漠化等一系列重大生态问题。石漠化使得石山区土地生产力下降,同时石山区人口不断增加,这就使许多石山区陷入人均耕地不足,粮食不能自给,经济收入少,群众生活十分贫困,越贫越垦、越垦越贫的恶性循环。因此,为解决石漠化、贫困化问题,广西壮族自治区各级政府积极探索异地种养、异地就业、异地安置等解决方案。异地安置、生态移民政策的实施改变了原有的土地利用方式,系统分析土地利用变化对土壤质量影响是保证移民工程实施后迁入区生态和粮食安全的有效方法。关于喀斯特生态脆弱区土壤质量研究主要是通过土壤性状指标和土壤综合分值测试和计算进行的^[8,15],利用模型分析生态移民工程对土壤质量的动态影响研究甚少。本研究以广西自治区环江县移民区为对象,选取 3 个代表不同开垦年限的典型样点,基于空间代替时间的理论,在利用相关系数法确定权重,隶属度函数指标归一化的基础上,对开垦年限分别为 30 a 和 15 a 的玉米地以及未开垦荒草地的土壤肥力质量状况进行分析,并应用 Markov 链模型动态分析土地利用变化对土壤肥力质量影响。研究结果对探明已实施的移民工程对该区土壤的影响及未来移民工程的规划实施具有重大意义。

1 研究区概况

研究区位于广西壮族自治区环江县(东经 107°51′—108°43′,北纬 24°44′—25°33′),属于亚热带季风气候区。年均气温南部丘陵一带为 19.9℃,北

部山区为 15.7℃,无霜期 290 d。年平均降雨量北部为 1 750 mm,南部为 1 389 mm,降雨集中于 4—9 月份,占全年降雨量的 70%,空气平均相对湿度 79%。主要土壤类型有红壤、黄壤、石灰土等;主要种植作物包括玉米、水稻、甘蔗、桉树和桑树。样地选在大安乡金洞村,该村位于喀斯特地区,属于移民工程迁入区。该地区经常出现荒草地开垦为耕地的现象,而且自 1996 年移民工程实施以来,为满足农户耕地需求,荒草地被开垦为耕地的数量大幅度增加。根据调查发现,开垦的耕地质量相对较差,而且坡度大多在 15°~25°,玉米是其主要种植作物之一。

2 研究方法

2.1 土壤样品的采集

分别选择开垦 30 a 和 15 a 的玉米地及未开垦的荒草地土壤进行对比研究(表 1)。试验区采用蛇形布点、多点取样的方法,每个处理选取 5 块典型样地,样地面积约 0.067~0.100 hm²,各样地之间直线距离 250~350 m。取样时每块样地取 5 个样点,每样点分 6 层取 0—100 cm(分为 0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm,80—100 cm)土层土样,将每个样点各层样品充分混合后,用四分法取 500 g 土样带回实验室,风干,去除动、植物残体等非土壤物质,粉碎,过 80 目筛,保存备用。

2.2 评价因子的选取

土壤肥力质量是土壤物理、化学和生物学性质以及形成这些性质的复杂过程的综合体现。影响土壤肥力质量的因子众多,目前还没有形成统一的土壤肥力质量指标评价体系。本研究主要选取了对作物产量、质地影响较大的土壤养分指标,如氨态氮、硝态氮、全氮、全磷、容重、有机碳。另外,土壤微生物指标更能反映土壤肥力质量和土壤肥力质量在自然和人为因素作用下的微小变化,故选择了微生物碳、微生物氮指标。土壤有机碳测定采用重铬酸钾氧化外加热法,土壤全氮测定采用凯氏定氮法,土壤全磷测定用硫酸—高氯酸消煮—流动分析仪法,土壤氨态氮和硝态氮测定采用氯化钾提取—流动分析仪法,土壤微生物碳测定用氯仿熏蒸浸提—TOC 测定法,土壤微生物氮测定采用氯仿熏蒸浸提—流动分析仪法。

表 1 试验样地概况

土地利用	开垦年限/a	种植作物	施肥	杂草控制	播种时间	收获时间	秸秆处理	坡向/坡度
荒草地	0	荒草	无	无				15°~25°阳坡
农田	15	玉米	复合肥	机械	4 月	7 月	田间焚烧	15°~25°阳坡
农田	30	玉米	复合肥	机械	4 月	7 月	田间焚烧	15°~25°阳坡

2.3 评价因子隶属度的确定

各评价因子之间没有明确的外延,也没有统一的量纲,测算结果无法直接进行比较。根据各评价因子对土壤肥力质量的影响特点,选择各因子隶属度函数,并确定其极限值(表 2)。表 2 中各评价因子的极限值是结合研究区实测数据制定的。

(1) 戒上型函数。某些土壤性质在一定范围内,指标值与土壤肥力质量呈正相关,超出这一范围对土壤肥力质量的影响较小。这类指标隶属度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & (x \leq x_1) \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1P & (x_1 < x < x_2) \\ 1 & (x \geq x_2) \end{cases}$$

(2) 抛物线型函数。某些土壤性质对土壤功能的影响均有一最适的范围,超过这一范围,偏离程度越大对土壤功能越不利。这类指标隶属度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & (x \leq x_1) \\ 0.9(x-x_1)/(x_3-x_1)+0.1 & (x_1 < x < x_3) \\ 1 & (x_3 \leq x \leq x_4) \\ 0.9(x_4-x)/(x_4-x_3)+0.1 & (x_4 < x < x_2) \\ 0.1 & (x \geq x_2) \end{cases}$$

式中: $f(x)$ ——指标隶属度; x_1 ——指标下界; x_2 ——指标上界; x_3 ——指标最适值下界; x_4 ——指标最适值上界。

2.4 评价因子权重的确定

目前研究者多用的指标权重的确定方法为特尔菲法、层次分析法和主成分分析法,为客观反映各评价因子对土壤功能影响能力,采用相关系数法^[14]计算各评价因子之间的相关系数,然后将某评价因子与其它评价因子相关系数的平均值占有所有评价因子相关系数的比例作为评价因子的权重(表 3)。

表 2 评价因子极限值

评价因子	上界	最适范围		下界
		较大值	较小值	
有机碳/(g·kg ⁻¹)	25	—	—	10
全氮/(g·kg ⁻¹)	4.5	—	—	0.4
全磷/(g·kg ⁻¹)	0.25	—	—	0.02
氨态氮/(mg·kg ⁻¹)	31	—	—	2
硝态氮/(mg·kg ⁻¹)	9	—	—	0.02
微生物碳/(mg·kg ⁻¹)	28	—	—	10
微生物氮/(mg·kg ⁻¹)	120	—	—	1
容重/(g·cm ⁻³)	1.8	1.62	1.6	1.8

表 3 各指标相关系数平均值及权重

评价因子	相关系数平均值	权重
有机碳	0.251	0.108
全氮	0.372	0.16
全磷	0.160	0.068
氨态氮	0.390	0.168
硝态氮	0.243	0.105
微生物碳	0.199	0.085
微生物氮	0.433	0.186
容重	0.280	0.12

2.5 土壤肥力质量指标分值的确定

土壤肥力质量指标分值为各评价指标的隶属度与权重的乘积^[13]。计算公式为:

$$IQI = \sum W_i \cdot f(x_i)$$

式中: IQI——为土壤肥力质量指标分值; W_i ——为指标权重; $f(x_i)$ ——为指标隶属度。

根据土壤肥力质量指标分值将土壤肥力质量从优到劣分为 I—IV 共 4 个等级,得到土壤肥力质量状态空间 $S=(I-IV)$ (表 4)。

表 4 土壤肥力质量分级

土壤等级	I	II	III	IV
土壤肥力质量综合分值	1~0.75	0.75~0.5	0.5~0.25	0.25~0

2.6 Markov 土壤肥力质量变化分析

2.6.1 Markov 原理 Markov 过程是随机过程,假设如果在已知时刻 t_0 系统处于状态 x 的条件下,在时刻 t_0+t 系统所处状态和时刻 t 以前所处的状态无关。在 Markov 链中,系统状态的转移可用概率矩阵 P 表示:

$$P = P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{N1} & P_{N2} & \cdots & P_{NN} \end{bmatrix}$$

式中: P_{ij} —— i 类型转变为 j 类型的概率。

2.6.2 进步矩阵的确定 荒草地土壤肥力质量数据设为初始数据,根据荒草地与 15 a 玉米地土壤肥力质量变化,得到荒草地种植 15 a 玉米后土壤肥力质量转移矩阵,根据荒草地与 15 a, 30 a 玉米地任意相邻两次观察的土壤肥力质量变化,得到荒草地种植 30 a 玉米后的土壤肥力质量转移矩阵。

$$P_k = p_{ijk} = n_{ijk} / M_{ik} - m_{ik} \quad (i, j \in S)$$

式中: P_k ——第 k 土层的概率转移矩阵; n_{ijk} ——第 k 土层相邻两次观察间区域土壤肥力质量由 i 级变为 j

级的总数; M_{ik} ——整个研究期第 k 个土层内土壤肥力质量为 i 的样点数; m_{ik} ——研究期内最后一次观察,第 k 土层土壤肥力质量为 i 级的样点数。

将肥力质量等级变化 $(i-j)^3$ 作为土壤肥力质量变化提高或退化的权重,利用土壤肥力质量进步矩阵:

$$S_k = s_{ijk} = (i-j)^3 p_{ijk}$$

分别得到 15 a 玉米地土壤肥力质量进步矩阵和 30 a 玉米地土壤肥力质量进步矩阵。由进步矩阵计算第 k 土层土壤肥力质量进步度 $pd(S_k)$:

$$pd(S_k) = \sum s_{ijk} = \sum (i-j)^3 p_{ijk}$$

$pd(S_k) > 0$, 表示土壤肥力质量提高; $pd(S_k) < 0$, 表示土壤肥力质量退化; $pd(S_k) = 0$, 表示土壤肥力质量不变。

荒草地开垦种植玉米 15 a 玉米地进步矩阵为:

$$S_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1/4 & -6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1/4 & -6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/4 & -6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3/5 & -16/5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

荒草地开垦种植玉米 30 a 玉米地进步矩阵为:

$$S_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1/4 & -6 & 0 \\ 1/3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1/4 & -6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2/3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3/4 & -2 \\ 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3/4 & -2 \\ 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/2 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$S_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/2 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 \end{bmatrix}$$

3 结果与分析

3.1 研究区土壤质量概况

荒草地开垦后土壤肥力质量状况详见表 5。由表 5 可以看出,荒草地开垦种植玉米后各土层土壤肥力质量下降,然而随着种植时间的增加,30 a 玉米地比 15 a 玉米地各土层土壤肥力质量均有所恢复。土地利用情况相同的情况下,土壤肥力质量随土层深度增加降低。荒草地 0—20 cm 土层土壤肥力质量主要集中在 I 级,20 cm 以下土层土壤肥力质量主要集中在 II 和 III 级。15 a 玉米地 0—20 cm 土层土壤肥力质量主要集中在 II 和 III 级,20 cm 以下土层土壤肥力质量主要集中在 III 和 IV 级,相对荒草地土壤肥力质量下降。30 a 玉米地 0—20 cm 土层土壤肥力质量主要集中在 II 级,较 15 a 玉米地土壤肥力质量有所提高,20 cm 以下土层土壤肥力质量主要集中在 III 和 IV 级,与 15 a 玉米地相比土壤肥力质量变化不大。

3.2 土壤肥力质量变化分析

由荒草地开垦种植玉米 15 a 土壤肥力质量变化进步矩阵可得: $pd(S_1) = -6.25$, $pd(S_2) = -6.25$, $pd(S_3) = -6.25$, $pd(S_4) = -3.8$, $pd(S_5) = -2$, $pd(S_6) = -1$ 。结果表明,荒草地开垦种植玉米 15 a 后,0—100 cm 土层范围内各土层土壤肥力质量均退

化,随着土层深度增加,土壤退化程度减小。矩阵中所有值均为负数或零,即所有样点土壤肥力质量均退化,表明荒草地开垦种植玉米对土壤肥力质量的破坏是必然的。

由荒草地开垦种植玉米 30 a 地土壤肥力质量变化进步矩阵可得: $pd(S_1) = -5.92$, $pd(S_2) = -5.59$, $pd(S_3) = -1.5$, $pd(S_4) = -2.47$, $pd(S_5) = -1$, $pd(S_6) = -1.6$,表明荒草地开垦种植玉米 30 a 后,0—100 cm 土层范围内各层土壤肥力质量均下降。20 cm 以上土层土壤肥力质量下降较为严重,20 cm 以下土层土壤肥力质量下降相对较小。与开垦 15 a 玉米地进步度数据相比,30 a 玉米地各土层进步度均增大,即各层土壤肥力质量下降幅度均减小。而且 30 a 玉米地进步矩阵中出现部分正数,在 15 a 玉米地进步矩阵中正数是不曾出现的,说明部分开垦 30 a 玉米地较 15 a 玉米地土壤肥力质量得到了提高。

表 5 土壤肥力质量变化情况

土地利用类型	土层深度/cm	各样地土壤肥力等级				
		1	2	3	4	5
荒草地	0—10	I	I	II	I	I
	10—20	I	I	II	I	I
	20—40	I	II	II	II	II
	40—60	II	II	II	II	II
	60—80	II	II	III	II	III
	80—100	III	III	III	III	III
15 a 玉米地	0—10	III	III	II	II	III
	10—20	III	III	II	II	III
	20—40	III	III	III	III	IV
	40—60	III	III	IV	III	IV
	60—80	III	III	IV	III	IV
	80—100	IV	IV	IV	IV	IV
30 a 玉米地	0—10	II	II	II	I	II
	10—20	II	III	II	II	II
	20—40	III	III	III	II	III
	40—60	III	III	III	II	III
	60—80	III	IV	IV	III	III
	80—100	III	IV	IV	III	III

4 结论

(1) 荒草地开垦种植玉米会导致土壤肥力质量退化,土壤肥力质量退化程度与土层深度和开垦种植时间有关,表现为随土层深度加深退化程度有所下降,即 20 cm 以上土层土壤肥力质量下降较为严重,20 cm 以下土层土壤肥力质量下降相对较小,另外,随着开垦时间的延长,人为培肥作用使土壤肥力质量有所恢复。

(2) 0—20 cm 以上土层是根系、残落物的分解和人类活动层。荒草地四季植被覆盖,根系及残落物一方面可以增加地表渗透和储水,防止水土流失^[16],另一方面经微生物分解后可以增加土壤腐殖质,促进土壤团聚体结构形成,提高土壤保水保肥性^[17]。开垦种植作物后,作物的生长有一定的季节性,土壤必有一段时间暴露在外接受雨水的淋洗造成土壤养分流失,物理性质下降,化肥的使用及秸秆还田等农业管理措施的实施可以补充一部分的土壤养分但数量有限。20 cm 以下土层,作物根系的生长和人类活动的干扰较小,开垦对该层土壤肥力质量变化影响较小。

(3) 荒草地的开垦很容易造成土壤肥力质量的破坏,尤其是对 0—20 cm 土层土壤肥力质量,但是土壤肥力质量的恢复却是漫长而艰巨的任务。因此,喀斯特地区开展生态移民工程时要考虑移入区农业用地的供给能力,谨慎开展农用地整理工程,避免由移民工程驱动的荒草地大量开垦造成移入区土壤肥力质量退化,导致移入区出现贫困化、石漠化等问题隐患。

[参 考 文 献]

- [1] Zhang Xinyu, Chen Liding, Fu Bojie, et al. Soil organic carbon changes as influenced by agricultural land use and management: A case study in Yanhuai Basin, Beijing, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3198-3204.
- [2] Kong Xiangbin, Zhang Fengrong, Wei Qi, et al. Influence of land use change on soil nutrients in an intensive agricultural region of North China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2006, 88(1): 85-94.
- [3] 蒲玉琳, 谢德体, 屈明, 等. 渝西丘陵区土地利用方式、景观位置对土壤养分的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(5): 35-78.
- [4] Riezebos H T, Loerts A C. Influence of land use change and tillage practice on soil organic matter in southern Brazil and eastern Paraguay[J]. *Soil & Tillage Research*, 1998, 49(3): 271-275.
- [5] Francis Dube, Erick Zagal, Neal Stolpe. The influence of land-use change on the organic carbon distribution and microbial respiration in a volcanic soil of the Chilean Patagonia[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257(8): 1695-1704.
- [6] Wang Shiping, Andreas Wilkes, Zhang Zhicai, et al. Management and land use change effects on soil carbon in northern China's grasslands: A synthesis[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 142(3): 329-340.

(下转第 354 页)

- 特征研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 107-111.
- [6] 王建, 柏春广. 一种新的粒度指标: 沉积物粒度分维值及其环境意义[J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 234-239.
- [7] 安锁堂, 淤地坝鼻祖: 天然淤滩[J]. 陕西水利, 2004(2): 48-49.
- [8] 龙翼, 张信宝, 李敏, 等. 陕北子洲黄土丘陵区古聚淤洪水沉积层的确定及其产沙模数的研究[J]. 科学通报, 2009, 54(1): 73-78.
- [9] Alonso-Hernández C M, Cartas-Aguila H, Diaz-Asencio M, et al. Atmospheric deposition of ^{137}Cs between 1994 and 2002 at Cienfuegos, Cuba[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2006, 88(2): 199-204.
- [10] 张信宝. 有关湖泊沉积 ^{137}Cs 深度分布资料解译的探讨[J]. 山地学报, 2005, 23(3): 294-299.
- [11] 王文博, 蔡运龙, 王红亚. 结合粒度和 ^{137}Cs 对小流域水库沉积物的定年: 以黔中喀斯特地区克酬水库为例[J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 306-314.
- [12] 李勉, 杨剑锋, 侯建才, 等. 黄土丘陵区小流域淤地坝记录的泥沙沉积过程研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 64-69.
- [13] 蒋庆丰, 刘兴起, 沈吉. 乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候环境意义[J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 877-882.
- [14] 安福元, 马海州, 樊启顺, 等. 粒度在沉积物物源判别中的运用[J]. 盐湖研究, 2012, 20(2): 67-69.
- [15] 焦菊英, 王万中. 黄土高原不同类型暴雨的降水侵蚀特征[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(1): 34-42.
- [16] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Research, 1957, 27(1): 3-26.
- [17] 魏霞, 李占斌, 李鹏, 等. 黄土高原典型淤地坝淤积机理研究[J]. 水土保持通报, 2006, 26(6): 10-13.
- [18] Hofmann L, Ries R E, Gilly J E. Relationship of runoff and soil loss to ground covers of native and reclaimed grazing land[J]. Agronomy Journal, 1983, 75(4): 599-602.
- [19] 赵景波, 郁耀闯, 周旗. 渭河渭南段高漫滩沉积记录的洪水研究[J]. 地质论评, 2009, 55(2): 231-241.

(上接第 348 页)

- [7] 黄彩变, 曾凡江, 雷加强, 等. 开垦对绿洲农田碳氮累积及其与作物产量关系的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5113-5120.
- [8] 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.
- [9] 李灵. 南方红壤丘陵区不同土地利用的土壤生态效应研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [10] 胡江玲. 干旱区内陆河流域土地利用变化及其对土壤肥力质量的影响研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [11] 姜涛. 土地整理对紫色丘陵区土壤质量的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [12] 张贞. 丘陵区多尺度土地质量评价研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [13] 刘梦云, 安韶山, 常庆瑞, 等. 宁南山区不同土地利用方式土壤质量评价方法研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 41-43.
- [14] 张雯雯, 李新举, 陈丽丽, 等. 泰安市平原土地整理项目区土壤质量评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 106-109.
- [15] 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.
- [16] David A L, Chang Chengwen. Long-term impacts of residue harvesting on soil quality[J]. Soil & Tillage Research, 2013, 134: 33-40.
- [17] Hammerbeck A L, Stetson S J, Osborne S L, et al. Corn residue removal impact on soil aggregates in a no-till corn/soybean rotation[J]. Soil Science Society of America Journal, 2012, 76(4): 1390-1398.