

全金辉,胡业翠,李 英. 土地利用变化对土壤养分及土壤质量的影响——以广西移民迁入区为例[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):243-247.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.063

土地利用变化对土壤养分及土壤质量的影响 ——以广西移民迁入区为例

全金辉,胡业翠,李 英

(中国地质大学土地科学技术学院,北京 100083)

摘要:研究选取广西喀斯特异地安置点进行采样,研究自然林地(NF)开垦后土壤养分分布及土壤质量的变化情况。选择桉树林地(UG)、甘蔗地(SF)、玉米地(CF)3种当地主要的自然林地开垦后的利用类型,采用室外采样与室内试验相结合方法,基于空间位置代替时间序列的理论,分析了自然林地开垦后土壤养分分布状况;并运用土壤质量综合评分和 Markov 方法研究了自然林地开垦后土壤质量的变化情况。研究结果,自然林地开垦后土壤有机碳及全养分含量在不同开垦类型及各个土层中均会出现明显的下降趋势;通过土壤质量综合评分和 Markov 方法对土壤质量分析发现,土壤质量均出现退化趋势,且退化主要集中在 10~40 cm 的土壤表层,随土层深度增加,退化程度逐渐减弱。结果表明,林地开垦会造成土壤养分流失和土壤质量下降,在喀斯特地区异地安置过程中,要充分考虑异地安置点生态系统的承载力,避免因大量开垦造成土壤退化、生态环境破坏使迁入区出现贫困化和石漠化的问题。

关键词:喀斯特地区;开垦;土地利用类型;土壤养分;土壤质量

中图分类号: S158 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0243-05

土壤是人类赖以生存和发展的物质基础,土壤养分是衡量土壤质量的量化指标^[1]。土壤养分与土地利用方式具有密切的关系,土地利用方式的转变可以通过影响有机质进入土壤,微生物的活动以及土壤团聚体的结构等影响土壤养分含量,进而影响土壤质量^[2-3]。广西喀斯特移民迁入区人口数量增加,不断挑战生态系统承载力阈值,再加上土地产能低,粮食产量远远不能满足正常生活需求,从而迫使当地自然林地不断被开垦。众多研究表明,在我国喀斯特地区土地利用变化,尤其是自然林地退化后土壤容重增加,土壤养分含量大大降低,土壤质量不断退化,增加了土壤侵蚀的危害^[4-10]。由于针对广西喀斯特移民迁入区自然林地开垦后土壤养分及土壤质量变化的研究仍显不足,本研究采集了桉树林地、甘蔗地、玉米地 3 种当地主要的开垦类型土壤样本,基于空间位置代替时间序列的理论,分析土壤养分的分布状况,并运用土壤

质量综合评分和 Markov 方法研究了土壤质量的变化情况,以期为进一步研究喀斯特地区不同土地利用方式下土地质量变化及生态移民工程的规划实施提供一定的借鉴与参考。

1 材料与方法

1.1 样地的选取与样品采集

采样地点位于广西壮族自治区环江县(107°51'~108°43'E,24°44'~25°33'N),地处黔中高原南部边缘的斜坡地带,地势北高南低;属于亚热带季风气候,雨水充沛,日照充足,无霜期长,年均降水量北部为 1 750 mm;包含红壤、黄红壤、黄壤、棕色石灰土、黑色石灰土 5 个土壤亚类。成土母岩以砂页岩、石灰岩为主。玉米、桉树、甘蔗是主要的种植作物。该地区作为生态移民工程迁入区,原始林地被大幅度开垦为其他用地,本研究以玉米地、甘蔗地、桉树林地为自然林地开垦后主要的土地利用方式。

采样于 2013 年 1 月对自然林地开垦 15 年以上的玉米地、10 年以上的甘蔗地、5 年以上的桉树林地以及未开垦的自然林地进行,每种土地利用方式选择 5 块样地,各样地直线距离在 250~300 m,样地大小在 0.067~0.100 0 hm²。每块样地采集 5 个样点,并且采用蛇形布点、多点取样的方法分层取

收稿日期:2017-03-24

基金项目:国家自然科学基金(编号:41171440)。

作者简介:全金辉(1992—),男,山东滨州人,硕士研究生,研究方向为土壤质量及演变机制。E-mail:871313965@qq.com。

通信作者:胡业翠,博士,教授,主要从事土地利用与区域发展研究。E-mail:871313965@qq.com。

southern New Mexico, USA [J]. Biogeochemistry, 2007, 85 (3): 317-332.

[21] 李英年,鲍新奎,曹广民. 青藏高原正常有机土与草毡寒冻锥形土地温观测的比较研究[J]. 土壤学报,2001,38(2):145-152.

[22] 王长庭,龙瑞军,王启基,等. 高寒草甸不同草地群落物种多样性与生产力关系研究[J]. 生态学杂志,2005,24(5):483-487.

[23] Stubbs W J, Bastow W J. Evidence for limiting similarity in a sand dune community[J]. Journal of Ecology, 2004, 92(4):557-567.

[24] 吴沿友,郝建朝,李萍萍,等. 北固山湿地土壤金属元素空间分布与变化[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2005,26(4):340-344.

[25] 刘吉平,杨 青,吕宪国. 三江平原典型环型湿地土壤营养元素的空间分异规律[J]. 水土保持学报,2005,19(2):76-79.

样(共分 6 层:分别为 0~10 cm、>10~20 cm、>20~40 cm、>40~60 cm、>60~80 cm、>80~100 cm)。将全部样点对应土层的样品充分混合后,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。

1.2 土壤质量指标的选取与测定

土壤物理、化学和生物学性质综合体现在土壤质量的高低,而影响土壤质量的因子众多,目前还没有形成完备统一的土壤质量指标评价体系。本研究主要选取对土壤质量、作物产量影响较大的土壤容重、土壤有机碳(SOC)、土壤全氮(TN)、氨态氮、硝态氮、土壤微生物碳、土壤微生物氮作为指标,对土壤质量变化进行分析。土壤有机碳测定采用重铬酸钾氧化外加热法^[11],土壤全氮测定采用凯氏定氮法^[12],土壤全磷测定用硫酸-高氯酸消煮-流动分析仪法^[13],土壤氨态氮和硝态氮测定采用氯化钾提取-流动分析仪法^[14],土壤微生物碳测定用氯仿熏蒸浸提-TOC 测定法^[15],土壤微生物氮测定采用氯仿熏蒸浸提法^[16],试验重复 3 次取其平均值。

1.3 评价因子隶属度及权重的确定

由于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,采用隶属度函数对各因子进行归一化处理。主要运用两类隶属函数:

(1)上界型函数。这类因子在一定范围内,指标值与土壤质量呈正相关,超出这一范围对土壤质量的影响较小。

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

(2)抛物线型函数。这类因子对土壤功能的影响均有最适宜的范围,超过这一范围,偏离程度越大对土壤功能越不利。

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & (x \leq x_1) \\ 0.9(x-x_1)/(x_3-x_1)+0.1 & (x_1 < x < x_3) \\ 1 & (x_3 \leq x \leq x_4) \\ 0.9(x_4-x)/(x_4-x_3)+0.1 & (x_4 < x < x_2) \\ 0.1 & (x \geq x_2) \end{cases} \quad (2)$$

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

由于研究中各因子影响程度不同,本研究采用 SPSS 相关系数分析确定各因子权重。

1.4 土壤质量指标分值的计算

土壤指标综合指数(ISQI)采用隶属度与权重加权求和计算,各土地利用类型土壤质量指数公式为:

$$ISQI = \sum_{i=1}^n f(x_i) \times Q_i \quad (3)$$

式中: $f(x_i)$ 为因子隶属度; Q_i 为因子权重。ISQI 值越大,土壤质量越好,ISQI 值越小,土壤质量越差。

根据土壤质量指标分值将土壤质量从优到劣分为 I~IV 共 4 个等级(表 1)。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用类型的有机碳分布

2.1.1 土壤有机碳的水平分布特征

从图1可以看出,在

表 1 土壤肥力等级划分

土地等级	土壤质量分值
I	0.75~1.00
II	0.50~<0.75
III	0.25~<0.50
IV	0.00~<0.25

0~100 cm 土层中 4 种土地利用方式 SOC 浓度在 8.8~12.5 g/kg。天然林地 SOC 浓度最高,为 12.5 g/kg,玉米地 SOC 浓度最低,为 8.8 g/kg,桉树林、甘蔗地分别为 10.3、9.5 g/kg。天然林地与开垦后其他 3 种土地利用类型之间 SOC 浓度均存在显著性差异。天然林地转变为桉树林地、甘蔗地、玉米地 SOC 浓度分别下降了 17.6%、24.0%、29.6%。原因一方面可能是由于天然林地开垦后大大减少了有机物进入土壤,导致有机碳的输入远低于天然林地;另一方面,甘蔗地和玉米地秸秆移除以及频繁翻耕也加快了土壤有机质分解,双重作用下导致开垦后 SOC 含量远低于天然林地。

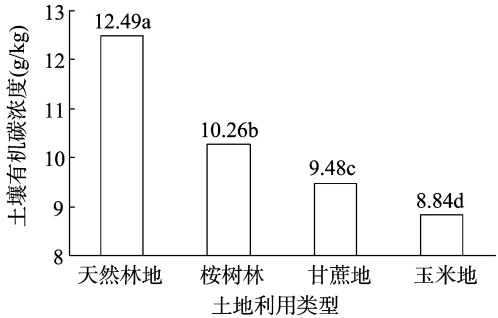


图1 不同土地利用类型 0~100 cm 土层土壤有机碳浓度

2.1.2 土壤有机碳的垂直分布特征

SOC 浓度在不同土层深度是变化的。从表 2 可以看出,未开垦的自然林地以及开垦后的桉树林地、甘蔗地、玉米地 SOC 浓度均呈现明显的下降趋势,>80~100 cm 土层相比 0~10 cm 土层,SOC 浓度分别下降了 70.07%、68.83%、66.54%、68.26%。这可能是由于 SOC 的输入主要集中在土壤表层,随着土层深度增加,SOC 的输入量减少,导致底层 SOC 浓度远低于表层土壤。计算分析结果,4 种土地利用类型 SOC 浓度的差异主要集中在 0~40 cm 的土层,在 0~40 cm 土层范围内,SOC 浓度分别下降了 58.70%、58.11%、45.94%、37.14%,而>40~100 cm 土层减少的 SOC 浓度仅相当于 0~10 cm SOC 浓度的 0.37%、7.58%、3.04%、20.44%。表明 SOC 浓度下降主要集中在土壤表层 0~40 cm,底层>40~100 cm SOC 浓度变化较小。

2.2 不同土地利用类型的全量养分分布

2.2.1 不同土地利用类型全氮、全磷的水平分布 从图 2 可以看出,不同土地利用类型全氮含量集中在 0.6~1.0 g/kg。在 0~100 cm 土层中,天然林地全氮含量最高,为 1.03 g/kg;桉树林含量最低,为 0.63 g/kg;甘蔗地、玉米地全氮含量分别为 0.83 g/kg、0.76 g/kg。天然林地退化为桉树林、甘蔗地、玉米地后全氮含量分别下降 38.8%、19.4%、26.2%。多重分析结果,不同土地利用方式全氮含量差异显著;不同土地利用方式全磷含量没有显著差异,甘蔗地最高,为 0.085 g/kg;桉树林最低,为 0.073 g/kg;天然林地、玉米地均为 0.084 g/kg。

2.2.2 不同土地利用类型土壤全氮、全磷的垂直分布 全量养分含量变化情况见图 3,在整个采样土层中不同土地利用

表 2 不同土地利用类型不同土层厚度 SOC 浓度

土地利用类型	土壤 SOC 浓度 (g/kg)					
	0 ~ 10 cm	>10 ~ 20 cm	>20 ~ 40 cm	>40 ~ 60 cm	>60 ~ 80 cm	>80 ~ 100 cm
自然林地	21.72 ± 2.91a	15.30 ± 3.02a	8.97 ± 2.38a	6.58 ± 1.63a	6.53 ± 1.44a	6.50 ± 2.97a
桉树林	19.12 ± 1.32c	12.94 ± 3.11c	8.01 ± 2.24d	7.41 ± 1.59c	6.78 ± 2.91c	5.96 ± 3.78c
甘蔗地	18.11 ± 2.00d	14.62 ± 3.01d	9.79 ± 2.33e	6.61 ± 0.97d	6.49 ± 2.86d	6.06 ± 1.83d
玉米地	16.29 ± 0.73e	12.77 ± 0.91e	10.24 ± 2.08f	8.50 ± 1.44e	6.38 ± 2.04d	5.17 ± 4.80d

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

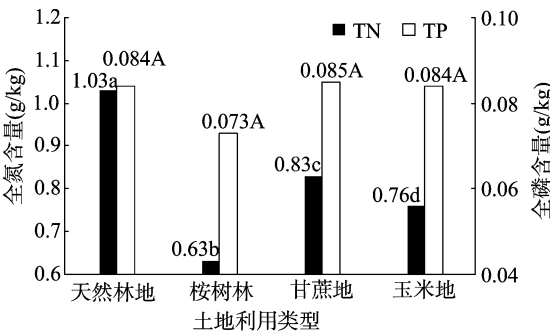


图2 不同土地利用类型土壤全量养分浓度

类型全氮含量随土层深度逐渐减少。自然林地全氮含量在6个土壤分层中均表现为最高水平。因此,在天然林开垦后,全氮含量会呈现不同程度的下降趋势,在0~10 cm土层下降趋势最大,随着土层深度增加,下降趋势逐渐减弱。土壤全磷剖面分布特征与土壤有机碳和全氮剖面特征相似,随着土壤深度增加含量呈下降趋势。在0~10 cm土层,天然林地全磷含量最高,且下降趋势也是最剧烈的。在20 cm以下土层,不同土地利用类型土壤全磷含量极为接近,且变化较小(图4)。

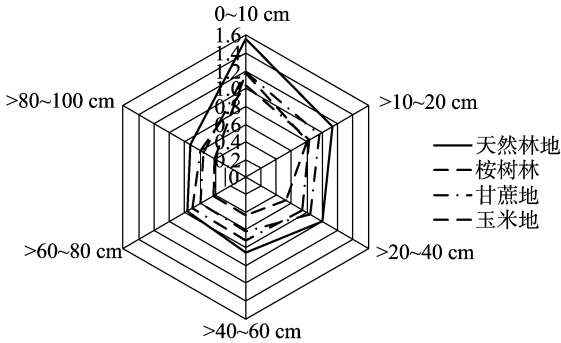


图3 全氮剖面分布

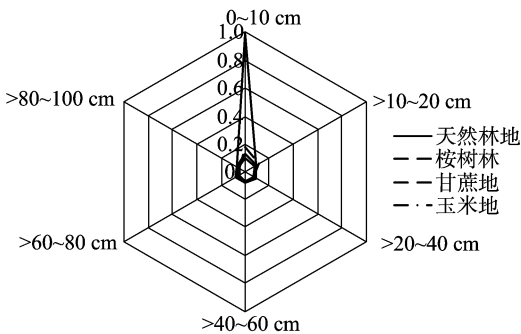


图4 全磷剖面分布

2.3 基于 Markov 方法的土壤质量变化分析

2.3.1 土壤质量综合指数的确定 权重确定:运用相关系数法计算各评价因子之间的相关系数,然后将某评价因子与其他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4)。

表 3 评价因子极限值

评价因子	上界	最适值		下界
		较大值	较小值	
土壤有机碳(g/kg)	25.0			1.6
全氮(g/kg)	3.9			0.3
氨态氮(mg/kg)	17.0			0.5
硝态氮(mg/kg)	16.0			0.01
微生物碳(mg/kg)	138.0			2.0
微生物氮(mg/kg)	400.0			3.0
容重(g/cm ³)	1.8	1.62	1.60	1.0

表 4 评价因子权重

评价因子	相关系数(r)	权重
容重	0.25	0.18
全氮	0.26	0.19
氨态氮	0.16	0.12
硝态氮	0.15	0.11
微生物碳	0.14	0.1
微生物氮	0.16	0.12
容重	0.24	0.18

根据公式(3)计算各土地利用类型不同土层的土壤质量综合指数,根据土壤质量综合指数对应土壤质量 I - IV 4 个等级。

2.3.2 Markov 土壤质量变化 Markov 过程是随机过程,假设如果在已知时间 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:

$$P = P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

式中: P_{ij} 为 i 类型转变为 j 类型的概率。

2.3.3 天然林地转为玉米地的土壤质量变化矩阵

$$X_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1/3 & -8/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$X_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1/2 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$X_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/4 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$X_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$X_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$X_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/3 & -8/3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

注: X_1 为 0 ~ 10 cm 土层土壤质量进步矩阵; X_2 为 > 10 ~ 20 cm 土层土壤质量进步矩阵; X_3 为 > 20 ~ 40 cm 土层土壤质量进步矩阵; X_4 为 > 40 ~ 60 cm 土层土壤质量进步矩阵; X_5 为 > 60 ~ 80 cm 土层土壤质量进步矩阵; X_6 为 > 80 ~ 100 cm 土层土壤质量进步矩阵。矩阵中正数说明土壤质量提高, 负数说明土壤质量降低。

由土壤质量变化矩阵可得, 在 0 ~ 10 cm 土层中, 玉米地的土壤质量为Ⅱ级、Ⅲ级, 自然林地开垦为玉米地后约有 1/3 的Ⅰ级土壤退化为Ⅱ级; > 10 ~ 20 cm 土层, 自然林地 1/2 的Ⅰ级土壤退化为Ⅱ级, 1/2 的Ⅰ级土壤退化为Ⅲ级, Ⅱ级则退化为Ⅲ级; > 20 ~ 40 cm 土层, 自然林地Ⅰ级土壤退化为Ⅱ级, 1/4 Ⅱ级土壤退化为Ⅲ级, 1/4 土壤退化为Ⅳ级; > 40 ~ 60 cm 与 > 60 ~ 80 cm 土层土壤质量变化情况一致, 自然林地开垦后Ⅱ级退化为Ⅲ级, Ⅲ级退化为Ⅳ级; > 80 ~ 100 cm 土层, 1/3 Ⅱ级退化为Ⅲ级, 1/3 Ⅱ级则退化为Ⅳ级。

计算可得, $pd(X_1) = -3$, $pd(X_2) = -5.5$, $pd(X_3) = -3.75$, $pd(X_4) = -2$, $pd(X_5) = -2$, $pd(X_6) = -3$ 。可见自然林地开垦为玉米地后, 0 ~ 100 cm 各土层土壤质量均下降, 土壤质量下降最严重的为 > 10 ~ 20 cm 土层, 深层土壤质量受人类活动影响轻微, 退化程度较小。而 0 ~ 10 cm 土层土壤质量下降较小主要得益于施肥等农业管理措施。

2.3.4 天然林地转为甘蔗地的土壤质量变化矩阵

$$Y_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1/3 & -8/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$Y_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/2 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$Y_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/2 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$Y_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/3 & -8/3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$Y_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$Y_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/3 & -16/3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

由土壤质量变化矩阵可得, 在 0 ~ 10 cm 土层中, 自然林地 1/3 Ⅰ级土壤退化为Ⅱ级, 1/3 的Ⅰ级土壤退化为Ⅲ级; > 10 ~ 20 cm 与 > 20 ~ 40 cm 土层土壤质量变化情况一致, Ⅰ级土壤退化为Ⅱ级, 1/2 的Ⅱ级退化为Ⅲ级, 1/2 的Ⅱ级则退化为Ⅳ级; > 40 ~ 60 cm 土层, 1/3 Ⅱ级退化为Ⅲ级, 1/3 Ⅱ级则退化为Ⅳ级, Ⅲ级退化为Ⅳ级; > 60 ~ 80 cm 土层, 1/2 的Ⅱ级退化为Ⅲ级, Ⅲ级退化为Ⅳ级; > 80 ~ 100 cm 土层, 1/3 Ⅱ级退化为Ⅲ级, 2/3 Ⅱ级则退化为Ⅳ级。

计算可得, $pd(Y_1) = -3$, $pd(Y_2) = -5.5$, $pd(Y_3) = -5.5$, $pd(Y_4) = -4$, $pd(Y_5) = -1.5$, $pd(Y_6) = -5.7$ 。表明自然林地开垦为甘蔗地后 0 ~ 100 cm 土层土壤质量均下降, 其中下降最严重的为 > 10 ~ 40 cm 土层, 深层土壤受人类活动影响小, 土壤质量由母质决定。

2.3.5 天然林地转为桉树林地的土壤质量变化矩阵

$$Z_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$Z_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1/2 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$Z_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2/3 & -8/3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$Z_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$Z_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$Z_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/3 & -8/3 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

由土壤质量变化矩阵可得,在 0~10 cm 土层中,自然林地 I 级土壤退化为 II 级; >10~20 cm 土层,1/2 I 级土壤退化为 II 级,1/2 I 级土壤退化为 III 级,II 级则退化为 III 级; >20~40 cm 土层, I 级土壤退化为 II 级,2/3 II 级退化为 III 级,1/3 II 级则退化为 IV 级; >40~60 cm 土层, II 级退化为 III 级, III 级退化为 IV 级; >60~80 cm 土层,1/2 的 II 级退化为 III 级, III 级退化为 IV 级; >80~100 cm 土层,1/3 II 级退化为 III 级,1/3 II 级则退化为 IV 级, III 级退化为 IV 级, IV 级土壤质量变为 III 级。

计算可得, $pd(Z_1) = -1$, $pd(Z_2) = -5.5$, $pd(Z_3) = -4.3$, $pd(Z_4) = -2$, $pd(Z_5) = -1.5$, $pd(Z_6) = -3$ 。由此可见,自然林地开垦为甘蔗地后 0~100 cm 土层土壤质量均下降,其中下降最严重的为 >10~40 cm 土层,随土层深度增加土壤质量下降程度逐渐减小。

3 结论与讨论

喀斯特移民迁入区土地利用变化对土壤养分具有深刻的影响。试验结果表明,自然林地开垦后土壤有机碳及全养分含量在不同的利用类型及同一利用类型的各个土层中均会出现明显的下降趋势。当自然林地开垦为玉米地时有机碳浓度下降最多,甘蔗地次之。主要原因可能是频繁的翻耕以及不合理的管理方式加速了微生物的活动,破坏了土壤团聚体的结构,导致有机碳排放大大增加,土壤有机碳浓度下降;自然林地开垦后有机碳在剖面上的下降趋势主要集中在 >10~40 cm 的土壤表层,随着土壤深度的增加,受人类活动影响较小,下降趋势逐渐减缓。0~10 cm 的表层土壤养分含量下降趋势较小主要得益于施肥等农业管理措施。

通过土壤质量综合分值法和 Markov 方法分析土壤质量变化发现,自然林地开垦为桉树林、玉米地及甘蔗地后土壤质量进度在各个土层均为负值,说明自然林地开垦后土壤质量在不同利用类型的各个土层中均表现为下降趋势;土壤质量进步度的最小值通常出现在 >10~40 cm 的土壤层,表明土壤质量与土壤有机碳及全养分含量的变化趋势是一致的。

自然林地开垦可以带来暂时的经济利益,但大量自然林地破坏后造成的土壤质量损失是不可估量的,并且林地破坏后的恢复过程极其缓慢^[17]。因此,在喀斯特地区异地安置实施过程中,要充分考虑异地安置点生态系统的人口承载力和农业用地的供给能力,避免因大量开垦造成土壤退化、生态环境破坏使迁入区出现贫困化和石漠化的问题。

土壤质量受土地利用方式、土壤母质、气候及人为管理方式等因素的综合影响^[4,18-21],本研究基于空间位置代替时间序列,且仅限于一次采样和有限的土壤性状进行分析。因此,以后研究应侧重于从多时空尺度和多因子综合分析角度开展。

参考文献:

[1] 刘世梁,傅伯杰,吕一河,等. 坡面土地利用方式与景观位置对土

壤质量的影响[J]. 生态学报,2003,23(3):414-420.

- [2] 傅伯杰,郭旭东,陈利顶,等. 土地利用变化与土壤养分的变化——以河北省遵化县为例[J]. 生态学报,2001,21(6):926-931.
- [3] 刘璐,曾馥平,宋同清,等. 喀斯特木论自然保护区土壤养分的空间变异特征[J]. 应用生态学报,2010,21(7):1667-1673.
- [4] 陈超,杨丰,赵丽丽,等. 贵州省不同土地利用方式对土壤理化性质及其有效性的影响[J]. 草地学报,2014,22(5):1007-1013.
- [5] 袁海伟,苏以荣,郑华,等. 喀斯特峰丛洼地不同土地利用类型土壤有机碳和氮素分布特征[J]. 生态学杂志,2007,26(10):1579-1584.
- [6] 宋希娟,王克林,刘淑娟,等. 桂西北喀斯特地区不同土地利用方式土壤的有机碳含量及养分特征[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2013,39(6):655-659.
- [7] 龙健,黄昌勇,李娟. 喀斯特山区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):76-79.
- [8] 陈高起,傅瓦利,沈艳,等. 岩溶区不同土地利用方式对土壤有机碳及其组分的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(3):123-129.
- [9] 章程. 典型岩溶泉流域不同土地利用方式土壤营养元素形态及其影响因素[J]. 水土保持学报,2009,23(4):165-169.
- [10] 刘艳,宋同清,蔡德所,等. 喀斯特峰丛洼地不同土地利用方式土壤肥力特征[J]. 应用生态学报,2014,25(6):1561-1568.
- [11] 阿米娜木·艾力,常顺利,张毓涛,等. 天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素[J]. 生态学报,2014,34(7):1626-1634.
- [12] 张薇,付昀,李季芳,等. 基于凯氏定氮法与杜马斯燃烧法测定土壤全氮的比较研究[J]. 中国农学通报,2015,31(35):172-175.
- [13] 郑华,苏以荣,何寻阳,等. 土地利用方式对喀斯特峰丛谷地土壤养分的影响——以广西环江县大才村为例[J]. 中国岩溶,2008,27(2):177-181.
- [14] 安通伟. 土地利用方式对南大港湿地土壤理化性质和土壤酶活性的影响[D]. 保定:河北大学,2011.
- [15] 曾全超,李鑫,董扬红,等. 黄土高原不同乔木林土壤微生物量碳氮和溶解性碳氮的特征[J]. 生态学报,2015,35(11):3598-3605.
- [16] 唐旭,陈义,吴春艳,等. 测定土壤微生物生物量碳氮用氯仿熏蒸装置及熏蒸方法:CN105277404A[P]. 2015-10-08.
- [17] 赵成章,石福习,董小刚,等. 祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化[J]. 生态学报,2011,31(1):115-122.
- [18] 曾艳,李征,张静涵,等. 不同施肥类型下设施农业土壤质量的累积特征[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):465-469.
- [19] 孙佳佳,王培,王志刚,等. 不同成土母质及土地利用对红壤机械组成的影响[J]. 长江科学院院报,2015(3):54-58.
- [20] 刘冲,王茂文,刘兴华,等. 苏北沿海滩涂秸秆还田对大麦生长及土壤质量的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):414-415,425.
- [21] 董丙锋. 土壤环境质量及其演变的影响因素[J]. 污染防治技术,2007(1):53-55.