

桂西北典型环境移民迁入区土壤养分特征分析

陈洪松^{1,2}, 侯 娅^{1,2}, 张伟^{1,2}, 王克林^{1,2}

(1. 中国科学院 亚热带农业生态研究所 亚热带农业生态过程重点实验室, 湖南 长沙 410125;
2. 中国科学院 环江喀斯特生态系统观测研究站, 广西 环江 547100)

摘 要: 在桂西北典型环境移民迁入区, 分析了 5 种土地利用方式表层(0—20 cm) 土壤有机质(SOM)、全量养分和速效养分的变化特征。结果表明, 根据变异系数(C_v) 大小, 除速效磷(AP) 为强变异外($C_v > 1.0$), 其余土壤养分都为中等变异($0.1 < C_v < 1.0$)。整体而言, 移民迁入区 SOM、全氮(TN) 含量处于较高水平, 速效氮(AN)、速效磷(AP) 含量处于中等水平, 全磷(TP)、速效钾(AK) 处于偏低水平, 而全钾(TK) 处于低水平。土地利用方式是影响土壤养分的主要因素。灌丛和荒草地的 SOM, TN, AN 处于较高水平, 果园和旱地则处于中等水平; 次生林 SOM 处于较高水平, TN 处于中等水平, 而 AN 处于偏低水平。除旱地和果园 AP 含量处于中等水平外, 不同利用方式土壤的 TP, TK, AP, AK 含量处于低或偏低水平。由于采取了较好的水土保持措施, 移民后较大规模的土地利用变化没有导致明显的土壤退化, 但需要增加磷钾肥的施用量。

关键词: 桂西北; 环境移民迁入区; 土地利用方式; 土壤养分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0006-05

中图分类号: S151.9, S158

Soil Nutrient Characteristics in Typical Immigrant Region of Northwest Guangxi Province

CHEN Hong-song^{1,2}, HOU Ya^{1,2}, ZHANG Wei^{1,2}, WANG Ke-lin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan 410125, China; 2. Huanjiang Observation and Research Station of Karst Ecosystems, Chinese Academy of Science, Huanjiang, Guangxi 547100, China)

Abstract: Five typical land use types were chosen in the representative environmental immigrant region of Northwest Guangxi, China. Soil organic matter (SOM) and total and available nutrient contents were analyzed in the surface soil layer (0—20 cm). Results showed that in terms of the coefficient of the variation (C_v) of soil nutrients, the contents of SOM, total N (TN), total P (TP), total K (TK), available N (AN), and available K (AK) had a moderate variability ($0.1 < C_v < 1.0$), except that available P (AP) content had a high variability ($C_v > 1.0$). In general, SOM and TN contents were in a higher level, AN and AP contents were in a moderate level, TP and AK contents were in a low level, and TK content was in a lower level. Land use had an important effect on the change in soil nutrients. SOM, TN, and AN contents had a high level in shrubland and grassland and a moderate level in dryland and orchard land. SOM, TN, and AN contents had a high, moderate, and low levels in secondary forestland, respectively. TP, TK, AP, and AK contents had low and lower levels in five land use types except that AP had a moderate level in dryland and orchard land. Land use change after immigration did not lead to obvious soil degradation due to effective soil and water conservation measures, but P and K nutrients were increased.

Keywords: Northwest Guangxi Province; environmental immigrant region; land use type; soil nutrient

广西省喀斯特地貌主要分布在桂西北地区, 是中国乃至世界亚热带喀斯特的典型地区, 碳酸盐岩出露面积 $8.95 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占该区总面积的 37.8%。桂西

北喀斯特地区石山面积比重大, 生态环境退化, 生存条件恶劣, 是广西 600 万贫困人口的主要分布区域, 也是 40 万环境移民的集中实施区域^[1]。在人口和土

地资源的压力下,人类不合理的土地利用引起严重的水土流失,导致了以岩石裸露为特征的石漠化,并陷入了“环境脆弱—环境退化—进一步贫困”的恶性循环^[2-3]。随着扶贫攻坚战向纵深推进,脱贫难度愈来愈大,若继续增加环境极度脆弱地区的扶贫资金,则产出效益低且难以持续发展,因而环境移民和异地开发是改善和解决这一问题的有效途径^[1,4]。但是,由于部分移民迁入区(土山区)没有较好地解决资源开发与环境保护问题,移民规模失控,土地开发利用盲目,导致生态环境遭到破坏,引起了严重的水土流失,并再度陷入环境恶化与贫困的状态^[1,5]。如何加强移民迁入区土地合理规划利用和生态环境保护,是环境移民区域持续发展所面临的关键问题。

喀斯特石漠化是一种与脆弱生态环境和人类活动相关联的土地退化过程,土地利用方式和人为干扰程度对土壤质量的恢复或退化有明显影响^[6]。围绕喀斯特山区土地利用变化对土壤养分的影响,国内外许多学者开展了相关研究^[6-13]。刘方等^[9]研究发现,石漠化过程中随着植物群落退化度的提高、植被覆盖率的下降以及土地垦殖率的增加,土壤出现黏质化,有机质(SOM)含量急剧下降,植物可利用的养分含量减少,土壤质量明显退化,加剧了石漠化的发生强度和速度。蒋勇军等^[10]研究表明,林地、未利用地转变为耕地后,土壤有机质、全氮(TN)、全磷(TP)含量大幅度降低,土壤pH值明显升高,全钾(TK)、速效钾(AK)含量增加,但耕地转变为园地后,土壤性质得到明显改善。由于岩溶山区地质背景的差异性、地形地貌的复杂性以及小生境类型的多样性,土壤质量与土地利用方式的关系存在区域差异性^[11]。环境移民迁出区(石山区)生态重建后土地利用方式与土壤养分的关系已有较多探讨^[12-13],但对于移民迁入区土地开发引起的土壤养分变化分析较少。本研究以桂西北环江县典型环境移民迁入区为例,分析不同土地利用方式土壤养分特征,探讨土地利用变化的土壤养分效应,以期对环境移民安置区土地利用优化调控提供科学依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

广西壮族自治区环江县是目前国内最大的环境移民安置县,近10a来已异地安置7万人。环江县思恩镇肯福环境移民安置示范区(24°31'N, 108°16'E)地处中亚热带南缘,属季风气候,具有温热湿润、雨热同季、无霜期长等特点;年均气温16.5℃~19.9℃,极端低温-5.2℃,极端高温38.7℃,全年无霜期300~330d;≥10℃积温为5500℃~6530℃,太阳年

平均辐射总量414.1kJ/cm²。年均降雨量1389mm,降水丰富但季节分布不均,4—8月的降雨量占全年降雨量的70%以上。地貌为低山丘陵,地形破碎,以坡地为主,海拔高度在202.2~396.0m。土壤为砂页岩及第四纪红土发育的红壤,土层厚度多在60—150cm。土壤呈酸性,pH值为3.7~6.9。

肯福示范区土地总面积为246.7hm²,20°以下可供开垦的坡地约占46%。该区植被退化严重,除少数地段尚有稀疏的马尾松林和以枫香为主的阔叶林外,其余均为灌木和荒草丛。灌丛中常见的优势种有楝木、小叶胡枝子、盐肤木、木姜子、桃金娘和算盘子等,草丛中常见的优势种主要有铁芒萁、白茅、野古草、雀稗、金茅和蕨类植物。1996年9月以来,共安置80户400名来自上南、下南等石山区的特困人口,经过近10a的开发,大部分荒草坡地已被开垦为旱地和果园。旱地位于较低洼部位(10°以下),主要种植玉米、甘蔗、红薯(套种)等农作物;果园以椪柑为主,少量种植脐橙、板栗、桃树,大多为等高梯土。旱地和果园虽统一规划,并按照当地习惯施肥,但因以农户为单位进行管理,施肥方式和施肥量有一定的差异。

1.2 研究方法

2006年1月,在肯福示范区选取5种典型的土地利用方式:次生林地、灌丛、荒草地、旱地、果园(样地数量分别为16,26,19,57,58),调查记录海拔、地貌、坡向、土地利用状况、种植制度、施肥状况等基本信息。另外,还调查了13个非典型土地利用方式的样地。在每块样地,随机采取0—20cm的表层土样(10~15次重复),所有样品充分混匀后,用四分法取大约1kg的土样带回实验室。土样风干、过筛后,分析土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮(AN)、速效磷(AP)和速效钾含量。在分析土壤养分的总体状况时,统计所有的189个样地;在分析土地利用方式的影响时,只分析5种典型的土地利用方式样地(共176个)。

SOM采用重铬酸钾氧化—外加热法测定;TN采用碳氮仪测定;TP采用NaOH熔融—钼锑抗显色—紫外分光光度法测定;TK采用NaOH熔融—原子吸收法测定;AN采用碱解—扩散法测定;AP采用0.5mol/L NaHCO₃提取—钼锑抗显色—紫外分光光度法测定;AK采用NH₄Ac浸提—原子吸收法测定。

2 结果与分析

2.1 土壤养分的描述统计

由表1可知,除AP为强变异($C_v > 1.0$)外,其余土壤养分都为中等变异($0.1 < C_v < 1.0$)。与SOM,

TN, TP 和 AN 相比, AP, TK, AK 的变异相对较大。TK 和 AK 变异较大与其主要受土壤母质影响有关, AP 变异较大可能与不同地貌部位不同利用方式施肥量和施肥方式(或种类)以及侵蚀过程的差异较大有关。当然,不同利用方式样地数量的差异也是重要原因。SOM, TK, AK, AP 的变幅较大,最大值都是最小值的 10 倍以上。SOM 的变化范围为 8.19~

82.54 g/kg, 最大值是最小值的 10.1 倍。TK 的变化范围为 1.72~ 27.06 g/kg, 最大值是最小值的 15.7 倍。AK 的变化范围为 8.68~ 227.37 mg/kg, 最大值是最小值的 26.2 倍。AP 的变化范围为 0.05~ 67.86 mg/kg, 最大值是最小值的 1 357.2 倍。TN, TP, AN 的变化范围较小, 最大值分别为最小值的 7.5, 4.6 和 6.7 倍。

表 1 环境移民迁入区土壤养分描述性统计特征

土壤性质	样本数	均值	最大值	最小值	标准差 SD	变异系数 C_v
SOM/(g·kg ⁻¹)	186	29.39	82.54	8.19	10.99	0.37
TN/(g·kg ⁻¹)	186	1.50	3.92	0.52	0.56	0.37
TP/(g·kg ⁻¹)	188	0.75	1.55	0.34	0.21	0.28
TK/(g·kg ⁻¹)	188	8.63	27.06	1.72	5.29	0.61
AN/(mg·kg ⁻¹)	185	108.03	256.74	38.34	38.76	0.36
AP/(mg·kg ⁻¹)	188	10.61	67.86	0.05	11.97	1.13
AK/(mg·kg ⁻¹)	189	56.26	227.37	8.68	32.49	0.58

2.2 土壤养分的概率分布

根据第二次全国土壤普查各养分的分级标准(表 2), 环境移民迁入区土壤养分的概率分布如图 1 所示。如果单纯从各养分平均含量来看, SOM 和 TN 含量处于较高水平, AN 和 AP 含量处于中等水平, TP 和 AK 处于偏低水平, 而 TK 处于低水平。这表明研究区土壤养分的主要限制因子是磷和钾, 今后应该继续重视磷、钾肥料的施用。但是, 从各级养分的具体分布看, SOM 和 TN 主要分布于 1—4 级(占 95% 以上), 其中第 3 级比例最高(分别占 45.7% 和 40.3%), 2 级次之(分别占 22.6% 和 24.2%)。AN 也主要分布于 1—4 级, 但以 2—4 级为主(约占 82%), 其中 3 和 4 级分别占 28.1% 和 30.3%。TK 和 AK 主要分布于 4—6 级, 分别占 87.2% 和 90.5%, 其中 5 和 6 级占 50% 以上。TP 主要分布于 3—5 级, 但以 4 和 5 级为主, 分别占 43.1% 和 44.7%。AP 主要分布于 2—6 级,

但以 3, 4 和 6 级为主, 其中 6 级占 30% 以上, 3 和 4 级都占 20% 以上。从极高、极低级别养分分布来看, SOM, TN, AN 第 1 级都占 10% 以上, 分别为 15.1%, 16.1% 和 11.9%; TK, AP, AK 第 6 级都占 20% 以上, 分别为 30.3%, 31.9% 和 22.2%。这与不同利用方式样地数量和侵蚀程度的差异以及土壤钾主要受母质影响等因素有很大的关系。

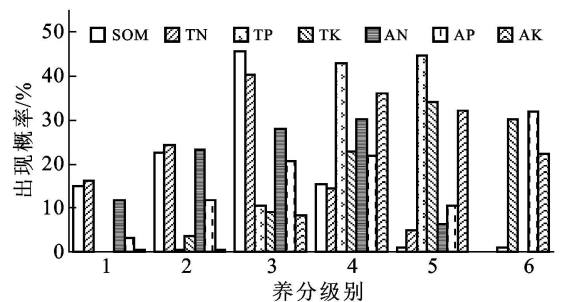


图 1 环境移民迁入区土壤养分的概率分布

表 2 第二次全国土壤普查各养分分级标准

养分级别	SOM/(g·kg ⁻¹)	TN/(g·kg ⁻¹)	TP/(g·kg ⁻¹)	TK/(g·kg ⁻¹)	AN/(mg·kg ⁻¹)	AP/(mg·kg ⁻¹)	AK/(mg·kg ⁻¹)	级别水平
1	> 40	> 2	> 2	> 30	> 150	> 40	> 200	极高
2	30~ 40	1.5~ 2	1.5~ 2	20~ 30	120~ 150	20~ 40	150~ 200	高
3	20~ 30	1~ 1.5	1~ 1.5	15~ 20	90~ 120	10~ 20	100~ 150	中
4	10~ 20	0.75~ 1	0.7~ 1	10~ 15	60~ 90	5~ 10	50~ 100	偏低
5	6~ 10	0.5~ 0.75	0.4~ 0.7	5~ 10	30~ 60	3~ 5	30~ 50	低
6	< 6	< 0.5	< 0.4	< 5	< 30	< 3	< 30	极低

2.3 不用土地利用方式土壤养分的对比

由表 3 可知, 不同利用方式表层土壤 SOM 含量从高到底依次为灌丛> 荒草地> 次生林> 旱地> 果

园, 灌丛 SOM 含量(约 40 g/kg) 分别较荒草地、次生林、旱地、果园高出 7.4%, 26.6%, 48.6% 和 70.5%。统计分析结果表明, 灌丛和荒草地与次生林、旱地、果

园的 SOM 含量差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。不同利用方式 TN 和 AN 含量从高到底依次为: 灌丛 > 荒地 > 旱地 > 果园 > 次生林, 但灌丛与荒地无显著差异, 旱地与果园、次生林也无显著差异。灌丛 TN 含量 (1.83 g/kg) 分别较荒地、次生林、旱地、果园高出 7.0% , 38.6% , 28.0% 和 36.6% ; AN 含量 (约 131 mg/kg) 分别较荒地、次生林、旱地、果园高出 9.3% , 52.6% , 22.6% 和 34.2% 。整体而言, 灌丛、荒地、次生林 SOM 含量处于高水平, 旱地和果园处于中等水平; 灌丛和荒地 TN 处于高水平, 旱地、果园和次生林处于中等水平; 灌丛和荒地 AN 处于高水平, 次生林处于偏低水平, 旱地和果园处于中等水平。

灌丛地和荒地表层土壤 SOM, TN 和 AN 的含量都显著高于其它类型, 这是因为灌丛地和荒地的人为干扰与土壤侵蚀都比较弱, 表层有大量枯枝落叶物的缘故。Schlesinger 等^[14-15]也研究发现, 在脆弱生境中土壤 SOM 和 N 等养分的空间分布与灌丛植被的出现高度相关。虽然次生林地土壤表层也有大量的枯枝落叶, 但因为主要树种为马尾松, 凋落的松枝腐殖化作用不明显, 加上没有人工施肥, 所以其表层土壤 SOM, TN 和 AN 含量相对较低。旱地和果园虽然有施肥投入, 但是人为干扰相对较大, 表层没有残茬覆盖, 加上耕作、侵蚀等的影响, 表层土壤 SOM, TN, AN 含量较低。

受磷素本身特性的影响, 不同土地利用方式土壤 TP 的变异程度很小, 但 AP 的变异程度却都很大。不同利用方式土壤 TP 和 AP 含量从高到低依次为果园 > 旱地 > 荒地 > 灌丛 > 次生林, 这与果园、旱地施用磷肥较多有关。果园和旱地与灌丛、荒地、次生林的 TP 含量差异达到显著水平, 果园与旱地、灌丛、荒地、次生林的 AP 含量差异达到显著水平。果园 TP 含量 (0.82 g/kg) 分别较旱地、荒地、灌丛、次生林高出 2.5% , 24.2% , 26.2% 和 49.1% ; AP 含量 (16.23 mg/kg) 分别较旱地、荒地、灌丛、次生林高出 51.0% , 127.6% , 253.6% 和 376.0% 。不同利用方式土壤 TK 含量由高到底依次为旱地 > 果园 > 灌丛 > 荒地 > 次生林, 其中旱地与次生林 TK 含量差异显著。旱地 TK 含量 (10.12 g/kg) 分别较果园、灌丛、荒地、次生林高出 24.9% , 30.9% , 35.3% 和 62.2% 。旱地、果园 TK 含量较高与钾肥的施用较多有关。不同利用方式土壤 AK 含量由高到底依次为果园 > 灌丛 > 荒地 > 旱地 > 次生林, 果园与其它土地利用方式有显著差异。果园 AK 含量分别较旱地、灌丛、荒地、次生林高出 40.9% , 30.4% , 30.0% 和 156.5% 。果园 AK 含量较高与水土流失较弱有关, 而旱地 AK 含量较低可能与水土流失较强有关。整体而言, 除旱地和果园 AP 含量处于中等水平外, 不同利用方式 TP, TK, AP, AK 含量处于低或偏低水平, 表明需要增加磷钾肥的施用量。

表 3 环境移民迁入区不同土地利用方式土壤养分 (Mean \pm SD) 比较

利用方式	样本数	SOM/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	TN/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	TP/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	TK/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	AN/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	AP/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	AK/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
旱地	57	26.89 ± 7.76^c	1.43 ± 0.42^b	0.80 ± 0.18^a	10.12 ± 5.26^a	106.82 ± 32.21^{bc}	10.75 ± 9.05^b	52.53 ± 24.84^b
果园	58	23.44 ± 6.55^c	1.34 ± 0.46^b	0.82 ± 0.22^a	8.10 ± 5.44^{ab}	97.60 ± 41.27^c	16.23 ± 13.96^a	74.02 ± 40.05^a
灌丛	26	39.97 ± 11.56^a	1.83 ± 0.55^a	0.65 ± 0.12^{bc}	7.73 ± 5.04^{ab}	130.99 ± 40.76^a	4.59 ± 4.86^c	56.77 ± 25.81^b
荒地	19	37.22 ± 15.29^a	1.71 ± 0.56^a	0.66 ± 0.11^b	7.48 ± 4.65^{ab}	119.85 ± 39.35^{ab}	7.13 ± 9.16^{bc}	56.93 ± 34.08^b
次生林	16	31.56 ± 10.24^b	1.32 ± 0.61^b	0.55 ± 0.15^c	6.24 ± 5.73^b	85.82 ± 29.80^c	3.41 ± 3.02^c	28.86 ± 17.65^c

注: 多重比较采用最小显著性差异法 (LSD), 每列含有相同字母的平均值没有显著差异 ($P < 0.05$)。

3 讨论

研究区土壤的 SOM, TN, TK, TP 呈中等变异, 这与郑华^[8]等在环江县临近地区 (喀斯特峰林谷地) 所得结果类似。至于 AP 为强变异, 与张伟等^[12]在古周环境移民迁出区 (喀斯特峰丛洼地) 的测定结果不同。这可能与不同利用方式样地数量的差异有关。除灌丛和荒地 AP 为强变异外, 旱地、果园、次生林都为中等变异, 但变异系数都在 0.8 以上。整体而言, 因为施肥方式和施肥量较为统一, 旱地土壤养分

的变异系数都相对较小, 而次生林全量养分 (TN, TP, TK) 和 AK、荒地 SOM 和 AP 以及果园 AN 变异系数相对较大。

根据不同利用方式土壤养分含量大小推断, 研究区灌丛、荒地开垦为旱地和果园后, 土壤表层 SOM, TN, AN 含量将降低; 但受施用磷、钾肥的影响, 旱地、果园 TP, TK, AP, AP 含量呈增加趋势 (表 3)。与环境移民迁入区本底调查 (1997 年 1—2 月) 时表层土壤养分 (总样本数为 88) 的测定结果相比^[16], 由于采取了较好的水土保持措施, 较大规模的土地利

用变化没有导致明显的土地退化,甚至部分指标还有一定程度的增加。这一方面与总样本数和各土地利用方式的样本数差异有一定的关系,另一方面与旱地和果园磷、钾肥施用较多有关。当然,由于研究区近来移民数量还在少量增加,陡坡开垦等不合理的土地利用方式时有发生,如果不注意统一规划和合理施肥,较大规模的土地退化也有可能发生。

4 结论

(1) 整体而言,环境移民迁入区表层土壤 SOM、TN 含量处于较高水平,AN 和 AP 含量处于中等水平,TP 和 AK 处于偏低水平,而 TK 处于低水平。SOM 和 TN 主要分布于 1—4 级(占 95% 以上),其中 3 级比例最高(分别占 45.7% 和 40.3%),2 级次之(分别占 22.6% 和 24.2%)。AN 也主要分布于 1—4 级,但以 2—4 级为主(约占 82%),其中 3 和 4 级分别占 28.1% 和 30.3%。TK、AK 主要分布于 4—6 级,分别占 87.2% 和 90.5%,其中 5 和 6 级占 50% 以上。TP 主要分布于 3—5 级,但以 4 和 5 级为主,分别占 43.1% 和 44.7%。AP 主要分布于 2—6 级,但以 3,4,6 级为主,其中 6 级占 30% 以上,3 和 4 级都占 20% 以上。

(2) 不同土地利用方式表层土壤养分有较大的差异。灌丛和荒草地 SOM、TN、AN 处于较高水平,果园和旱地则处于中等水平。次生林 SOM 处于较高水平,TN 处于中等水平,而 AN 处于偏低水平。除旱地和果园 AP 含量处于中等水平外,不同利用方式 TP、TK、AP、AK 含量处于低或偏低水平,表明旱地和果园仍需要增加磷、钾肥的施用量。

(3) 土地利用方式变化对土壤养分有较大的影响。灌丛、荒草地开垦为旱地和果园后,表层土壤 SOM、TN、AN 含量将降低;但受施用磷钾肥的影响,旱地、果园 TP、TK、AP、AK 含量呈增加趋势。与环境移民迁入区本底调查时表层土壤养分的测定结果相比,由于采取了较好的水土保持措施,较大规模的土地利用变化没有导致明显的土壤退化。

致谢 感谢苏以荣研究员和王久荣高级工程师在土样采集和测试过程中的帮助。

[参 考 文 献]

[1] 王克林,刘新平,章春华.资源约束型贫困地区农业产业化战略研究[J].资源科学,1998,20(4):70-76.

- [2] 中国科学院学部.关于推进西南岩溶地区石漠化综合治理的若干建议[J].地球科学进展,2003,18(4):489-492.
- [3] 蔡运龙.中国西南岩溶石山贫困地区的生态重建[J].地球科学进展,1996,11(6):602-606.
- [4] 王克林,章春华.湘西喀斯特山区生态环境问题与综合整治战略[J].山地学报,1999,17(2):125-130.
- [5] 张明阳,王克林,陈洪松.基于 RS 和 GIS 的喀斯特区域水土流失动态监测与分析:以广西环江县为例[J].资源科学,2007,29(3):124-131.
- [6] 龙健,邓启琼,江新荣,等.贵州喀斯特石漠化地区土地利用方式对土壤质量恢复能力的影响[J].生态学报,2005,25(12):3188-3195.
- [7] Templer P H, Groffman P M, Flecker A S, et al. Land use change and soil nutrient transformations in the Los Haitises region of the Dominican Republic[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005,37: 215-225.
- [8] 郑华,苏以荣,何寻阳,等.土地利用方式对喀斯特峰林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.
- [9] 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.
- [10] 蒋勇军,袁道先,章程,等.典型岩溶农业区土地利用变化对土壤性质的影响:以云南小江流域为例[J].地理学报,2005,60(5):751-760.
- [11] 李阳兵,高明,魏朝富,等.土地利用对岩溶山地土壤质量性状的影响[J].山地学报,2003,21(1):40-49.
- [12] 张伟,陈洪松,王克林,等.喀斯特峰丛洼地土壤养分空间分异特征及影响因子分析[J].中国农业科学,2006,39(9):1828-1835.
- [13] 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.
- [14] Schlesinger W H, Abrahams A D, Parsons A J, et al. Nutrient losses in runoff from grassland and shrubland habitats in southern New Mexico: I, rainfall simulation experiments[J]. Biogeochemistry, 1999, 45(1): 24-34.
- [15] Schlesinger W H, Raikes J A, Hartley A E, et al. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems[J]. Ecology, 1996, 77(2): 364-374.
- [16] 苏以荣,黄宇,王克林.桂西北环境移民安置区的土壤质量与可持续利用研究:土壤肥力特征[J].土壤通报,2002,33(1):14-16.