

周福健,严友进,戴全厚,等.喀斯特石漠化治理措施的土壤养分响应——以贵州省六枝特区为例[J].江苏农业科学,2016,44(5):469-472.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.134

# 喀斯特石漠化治理措施的土壤养分响应 ——以贵州省六枝特区为例

周福健<sup>1,2</sup>, 严友进<sup>2</sup>, 戴全厚<sup>2</sup>, 彭旭东<sup>2</sup>

(1. 贵州省水土保持科技示范园管理处, 贵州贵阳 550002; 2. 贵州大学林学院, 贵州贵阳 550025)

**摘要:**采用野外调查结合室内分析的方法研究典型喀斯特石漠化治理区不同治理措施及治理时间条件下的土壤养分效应。结果表明:林地措施中封育措施对土壤养分贮量及养分有效态的转化效果最佳,抚育措施次之,人工造林最小;耕地措施中,与无治理措施的常规坡耕地相比,坡改梯具有显著的固土保肥作用,能更好地促进土壤养分的有效态转化。治理时间对林地及耕地的土壤养分贮量及养分供应能力的影响显著,治理时间长的林地,其土壤养分含量最高,养分更多地转化为有效态;治理时间对耕地的影响表现为治理时间越早,土壤养分的供应能力越好。

**关键词:**石漠化治理;土壤养分;养分供应;治理措施

**中图分类号:** S157      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0469-04

我国南方以贵州高原为中心的黔、云、桂、川、渝、湘、鄂、粤等 8 省(市、区)是世界上最大的喀斯特连续带,该地区的碳酸盐岩类岩石出露面积占全国的 80% 以上<sup>[1-2]</sup>。喀斯特地区最显著、最严重的问题是石漠化,严重的石漠化对当地的社会经济发展、人民生活及生态安全造成严重威胁<sup>[3]</sup>。喀斯特石漠化的发生导致该地区出现土地生产力下降、基岩大面积出露、土层浅薄、土被不连续、系统水源涵养能力削弱、地表水源枯竭、自然植被景观受到破坏的喀斯特地区生态脆弱性<sup>[4]</sup>。此外,西南喀斯特地区位于长江和珠江上游,其生态屏障作用不容忽视,一旦生态屏障的功能消失,将对长江、珠江中下游地区的生态安全形成严重威胁<sup>[5]</sup>。为了实现该区可持续发展,遏制该区石漠化的趋势,改善生态环境,国家有关部门组织编制了《岩溶地区石漠化综合治理规划大纲(2006—2015 年)》,六枝特区在 2008 年被纳入岩溶地区石漠化综合治理试点工程的试点区之一。

石漠化最基本的问题就是土壤流失,土壤是万物生长的基础,是所有植物生长的营养来源及基质<sup>[6]</sup>。因此,石漠化治理的目的,不仅是要保存土壤,更重要的是保住土壤可供植物营养的养分。作为石漠化治理的核心问题,目前对土壤的相关研究报道已屡见不鲜,但关于相应石漠化治理工程后土壤肥力特征的研究较少。在生态恢复建设过程中,土壤养分与周围环境的协调效应关系及土壤养分特性的演变规律等都是亟需探讨的问题。生产实践中常用土壤有机质、氮、磷、钾等养分含量评判土壤养分状况<sup>[7]</sup>。因此,本研究以六枝特区

石漠化治理区为研究对象,采用野外调查结合室内分析的方法研究不同石漠化治理措施及治理时间的土壤养分效应,以期对石漠化治理工程的效应评价及石漠化治理工作的开展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

六枝特区位于贵州省西部,地处珠江、长江上游 56 km,国土总面积 1 792.1 km<sup>2</sup>。该地地势由西北向东南逐渐倾斜,形成西北高、东南低的阶梯构造。境内岩性以石灰岩、白云质灰岩为主,占总面积的 70% 以上。地貌以山地为主,约占 83%,最高点海拔 2 126.9 m,最低点海拔 581.0 m。属亚热带季风气候,雨量充沛,多年平均降水量 1 467 mm。

近年来,六枝特区以经济发展为首要目标,经济综合排名从 2007 年的全省第 68 位上升到 2011 年的第 34 位。伴随着社会经济的发展,环境问题也更加突出了,在脆弱的自然因素和不合理的人类经济活动综合作用下,六枝特区喀斯特面积总和为 1 380.16 km<sup>2</sup>,占国土总面积的 77%,石漠化程度在轻度以上的总面积占比高达 45.62%,其中轻度石漠化占 21.40%,中度石漠化占 15.59%,重度石漠化占 6.69%,极重度石漠化占 1.95%。

### 1.2 土样采集

**1.2.1 试验设计及样地设置** 在六枝特区典型石漠化治理区选择不同治理措施(林地措施、耕地措施)及不同治理时间(1 年、3 年)的样地开展试验,其中林地措施包括封育措施、抚育措施和人工林措施,耕地措施包括坡改梯、无治理措施的坡耕地。各样地基本信息如表 1 所示。

**1.2.2 土样采集及处理方法** 土样采集采用分层采样法,先挖 1 个深度大于 30 cm 的剖面,然后剖去土层 I(约 0~10 cm),用土壤环刀采集土层 II(约 10~30 cm)的土壤作为供试土样。每个样地随机布置 3 个样方,每个样方采集 3 份土样,每份土样约 500 g,并用自封袋盛装。共采集 63 份土样。

收稿日期:2015-12-09

基金项目:国家自然科学基金(编号:41461057、41061029);贵州省重大专项(编号:黔科合 JZ 字[2014]2002)。

作者简介:周福健(1985—),男,贵州贵阳人,硕士研究生,中级工程师,主要从事水土保持工作。E-mail:297311534@qq.com。

通信作者:戴全厚,博士,教授,主要从事水土保持与生态恢复重建研究。E-mail:qhdaier@163.com。

表 1 样地信息

样地	样地编号	海拔(m)	坡度	土壤类型	治理时间(年)	植被、作物
封育林地	L1	1 257	26°	黄壤	3	喜树( <i>Camptotheca acuminata</i> Decne.)
封育林地	L2	1 279	28°	黄壤	1	喜树( <i>Camptotheca acuminata</i> Decne.)
抚育林地	L3	1 265	27°	黄壤	3	喜树( <i>Camptotheca acuminata</i> Decne.)
人工林地	L4	1 269	26°	黄壤	3	喜树( <i>Camptotheca acuminata</i> Decne.)
坡改梯	G1	1 305	21°	黄壤	3	玉米( <i>Zea mays</i> )
坡改梯	G2	1 297	19°	黄壤	1	玉米( <i>Zea mays</i> )
坡耕地	G3	1 295	20°	黄壤		玉米( <i>Zea mays</i> )

1.3 土壤养分测定项目与方法

将采集的土样于室内风干后去除石块、根系等杂质,磨碎过 100 目筛。本研究采用常规的土壤农化分析方法测定土壤有机质、速效钾(TK)、全钾(TK)、全磷(TP)、速效磷(AP)、水解性氮(AN)和全氮(TN)含量,其中有机质含量测定采用重铬酸钾-硫酸氧化法,速效钾含量测定采用 1 mol/L NH<sub>4</sub>Ac 溶液浸提-火焰光度计法,全钾含量测定采用 NaOH 熔融-火焰光度计法,速效磷含量测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,全磷含量测定采用硫酸-高氯酸消煮法,水解性氮(即速效氮)含量测定采用碱解扩散法,全氮含量测定采用半微量凯氏法<sup>[8]</sup>。

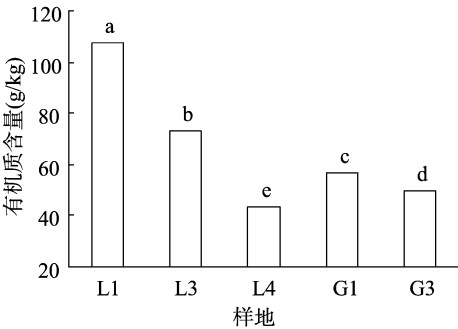
土壤养分数据采用 SPSS 19.0 统计分析和 Excel 2013 进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同治理措施对土壤有机质及氮磷钾含量的影响

2.1.1 不同治理措施对土壤有机质影响 石漠化过程中的土壤流失会造成土壤养分的缺失和肥力下降。土壤有机质是鉴别土壤肥力的一个重要标志,其对土壤的耕性、耐肥性、保墒性和通气状况等有直接影响。对于林地措施而言,3 种林地治理措施中封育措施(L1)的有机质含量最高(107.12 g/kg),抚育措施(L3)的有机质含量次之(73.29 g/kg),人工林地(L4)的有机质含量最低(43.47 g/kg)(图 1)。这主要是由于林地地表覆盖有枯枝落叶层,枯枝落叶分解使土壤有机质含量增加。3 种措施中封育措施受到的人工干预最低,抚育措施次之,人工林地受到的干预最高,而人工干预越低,林内地表的枯枝落叶层越得到保护,土壤中的有机质也更少地受人为活动破坏而流失。对耕地措施而言,将坡改梯(G1)与坡耕地(G3)进行比较可知,坡改梯的土壤有机质含量相对无治理措施的坡耕地高,这是由于该地区降水充沛,在降水的侵蚀作用下发生土壤流失,土壤中所蕴含的有机质也随之流失,坡改梯对坡地土壤有拦固作用,土壤的有机质得到保护,因此坡改梯相对于无治理措施的耕地而言,有显著的治理效果。

2.1.2 不同治理措施对土壤氮素影响 自然因素及土地利用措施是影响土壤中氮含量的主要因素<sup>[9]</sup>。土壤速效氮能够反映土壤近期氮素的供应情况,与植物的生长息息相关。由图 2 可知,不同治理措施对土壤全氮、速效氮含量影响显著,其中土壤全氮含量在不同治理措施下排序为:封育林地(L1) > 抚育林地(L3) > 人工林地(L4),坡改梯(G1) > 坡耕地(G3)。土壤速效氮含量排序为:封育林地(L1) > 抚育林地(L3) > 人工林地(L4),坡改梯(G1) > 坡耕地(G3)。地表



不同小写字母代表差异显著 ( $P<0.05$ )。下图同  
图1 治理措施对土壤有机质含量的影响

枯枝落叶分解的氮素能够进入土壤成为土壤氮来源的一部分,而林地类型中受人类活动干扰越小,枯枝落叶的量越多,分解进入土壤的氮含量就越高,该部分的氮素形成水解性氮。在坡改梯田面中,土壤氮含量受耕作作用或雨水冲刷流失的量相对较小,而常规的坡耕地在耕作过程中或降水的冲刷过程中土壤受到扰动发生运移,土壤中的氮素随土壤发生流失,同时由于坡耕地无机肥和有机肥的施用增加了土壤速效氮的含量,因此坡改梯田面的土壤全氮含量高于常规坡耕地。综上可知,林地治理措施中封育措施对土壤全氮及速效氮促进性最强,抚育措施次之,人工造林最低,耕地措施中坡改梯能够固持土壤全氮。

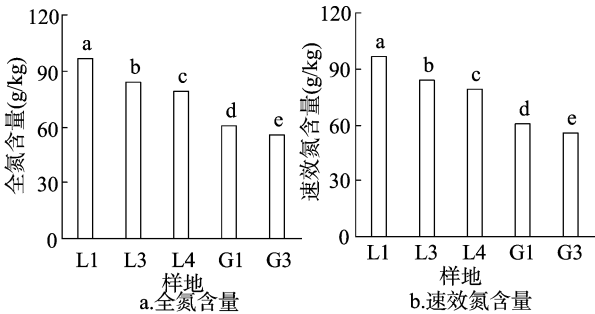


图2 治理措施对土壤全氮、速效氮含量的影响

2.1.3 不同治理措施对土壤磷素影响 土壤有效磷含量是土壤磷素养分供应水平高低的指标,而土壤全磷含量则在一定程度上反映了土壤中磷素的贮量和供应能力<sup>[10]</sup>。由图 3 可知,不同治理措施对土壤全磷含量的差异显著,林地措施中,封育措施(L1)的全磷含量最高,抚育措施(L3)次之,人工林(L4)最低;在耕地措施中,坡改梯(G1)的全磷含量显著高于坡耕地(G3)。可以看出,封育措施对促进土壤全磷积累量作用最大,坡改梯对土壤磷素的积累有促进作用。土壤速效磷含量在不同林地治理措施间差异相对较小,其中封育措施(L1)的速效磷含量最高,人工林次(L4)之,抚育措施(L3)的

最低;在耕地措施中,坡改梯(G1)的速效磷含量低于坡耕地(G3),这是由于人工林是原有林迹地上营造的林种,在造林过程中为保证苗木的成活率施用了一定的无机肥或有机肥以促进苗木生长,因此出现人工林措施的速度磷含量仅次于封育措施;前面已分析坡改梯对地块土壤的固持作用,由于坡改梯对土壤养分的固持使得该地块在耕作过程中无需施用更多的人工肥,而常规坡耕地由于土壤肥力的流失,在保证收成的基础上,人们在每个季度均播洒一定量的人工肥,使得该地块土壤速效磷含量远高于坡改梯。

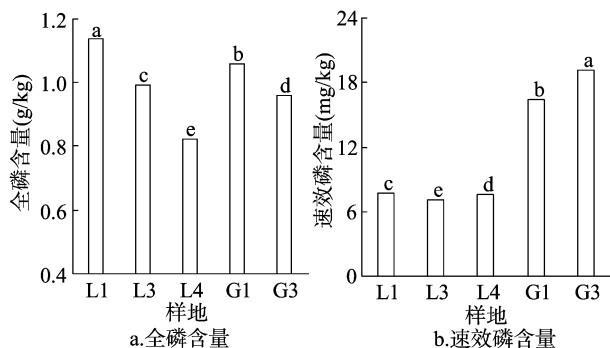


图3 治理措施对土壤全磷、速效磷含量的影响

2.1.4 不同治理措施对土壤钾素影响 由图4可知,土壤全钾、速效钾含量在不同治理措施间的变化趋势大致相同,全钾含量排序为封育措施(L1) > 抚育林措施(L3) > 人工林措施(L4),速效钾含量排序为封育措施(L1) > 人工林措施(L4) > 抚育林措施(L3),人工林地的速效钾含量大于抚育林的原因是由于在造林初期人为施用肥料造成土壤速效钾含量增多。由此可见,林地措施中封育措施及抚育措施对土壤钾的积累均有促进作用,封育措施的速效钾生成速率最佳。坡改梯(G1)的全钾、速效钾含量均高于坡耕地(G3),因此耕地措施中坡改梯能够促进土壤钾的积累及速效钾的生成。

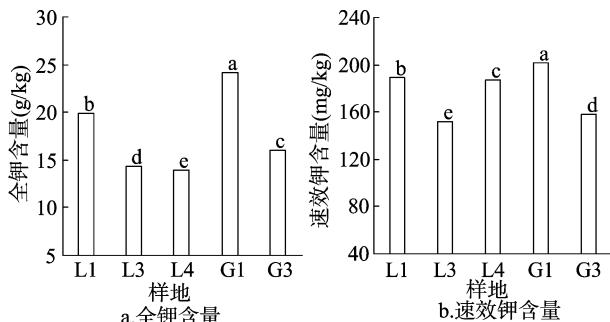


图4 治理措施对土壤全钾、速效钾含量的影响

## 2.2 不同治理时间对土壤有机质及氮磷钾含量的影响

2.2.1 不同治理时间对土壤有机质影响 对比治理时间为3年、1年的封育林地(L1、L2)及治理时间为3年、1年的坡改梯(G1、G2)和无治理的坡耕地(G3)以分析治理时间对土壤肥力变化的影响。由图5可知,治理时间对土壤有机质含量影响显著,治理时间为3年(L1)的有机质含量明显高于治理时间为1年的封育林地(L2);耕地措施中土壤有机质含量在坡改梯(G1、G2)措施中差异不明显,但是与坡耕地(G3)相比,治理时间为3年的与治理时间为1年的坡改梯(G1、G2)有机质含量均有显著的提高。可见封育时间增长,对林地有

机质含量的积累有促进作用,而耕地受人类活动影响,在种植相同的作物、采取的耕作措施一致时,坡改梯能够积累更多的有机质。

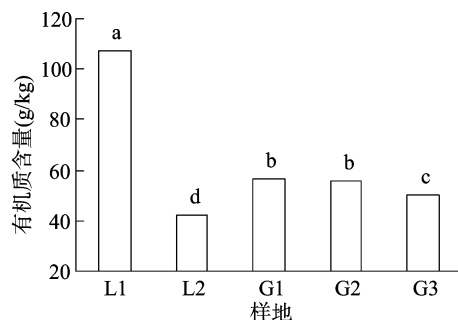


图5 治理时间对土壤有机质的影响

2.2.2 不同治理时间对土壤氮素影响 由图6可知,林地治理措施中,封育3年的林地(L1)的土壤全氮含量低于封育1年的林地(L2),但是其土壤速效氮含量显著高于封育1年的林地(L2)。可见,治理时间的增加有助于促进林地土壤氮素分解成速效氮,以便更好地供给林木生长。在耕地措施中,治理1年的坡改梯(G2)土壤全氮含量最高,治理3年的坡改梯(G1)次之,无治理措施的坡耕地(G3)最低;无治理措施的坡耕地(G3)土壤速效氮含量远远高于2个坡改梯样地(G1、G2);同时,治理1年的坡改梯(G2)的土壤速效氮含量大于治理3年的坡改梯(G1)。不同耕地措施间氮素含量存在差异的原因在于随着治理时间的延长,土壤中积累的氮素含量增加,氮素的供应能力增强,在获得相同经济作物的情况下,无治理措施的坡耕地则需要施用更多的有机肥或无机肥;而坡改梯在治理后随着时间的延长,氮素的积累量增多、供应能力增强,同时由于人工肥的施用容易使土壤板结,导致土壤无效态养分积累,因此出现治理时间短的地块全氮、速效氮含量高的情况。

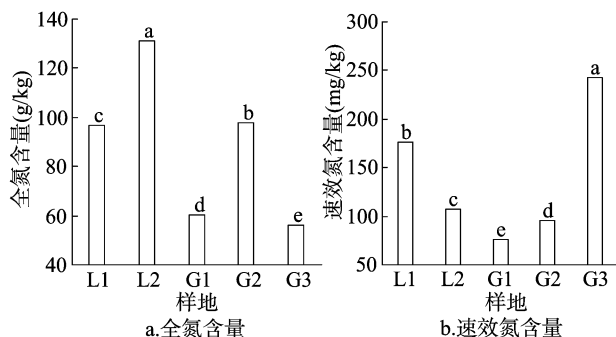


图6 治理时间对土壤全氮、速效氮含量的影响

2.2.3 不同治理时间对土壤磷素影响 由图7可知,林地类型中,封育3年的林地(L1)土壤全磷、速效磷含量均高于封育1年的林地(L2),封育时间愈长,地表累积的枯枝物量增多,能够分解产生更多的无机态磷,使得土壤全氮、速效磷含量升高,可见封育时间对土壤磷的积累量与供应能力有促进作用。在耕地类型中,全磷含量排序为治理3年的坡改梯(G1) > 无治理的坡耕地(G3) > 治理1年的坡改梯(G2),速效磷含量排序为治理3年的坡改梯(G1) < 无治理的坡耕地(G3) < 治理1年的坡改梯(G2)。人工肥的施用会导致土壤

板结,降低土壤养分有效态的转化率。坡改梯措施随着治理时间的增加,土壤磷素含量增多,所需施用的无机肥、有机肥量减少。对比治理3年与治理1年的坡改梯全磷、速效磷含量可知,其差异在于,治理时间长的坡改梯土壤理化性状得到改善,保肥、供肥能力增强,所需施用的人工肥量减少,因此出现全磷含量增加,但是速效磷含量降低。

2.2.4 不同治理时间对土壤钾素影响 由图8可知,林地措

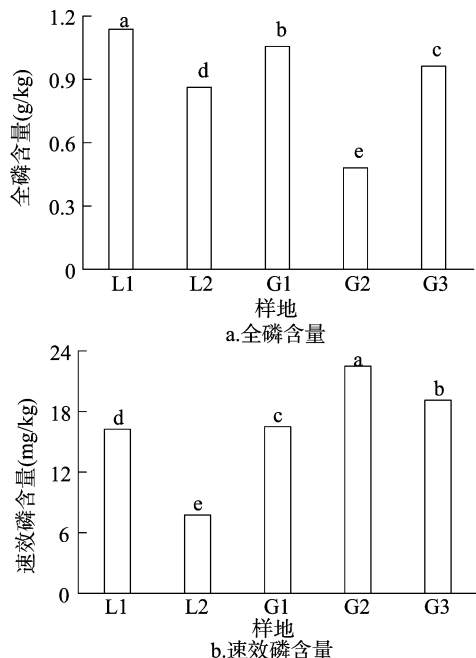


图7 治理时间对土壤全磷、速效磷含量的影响

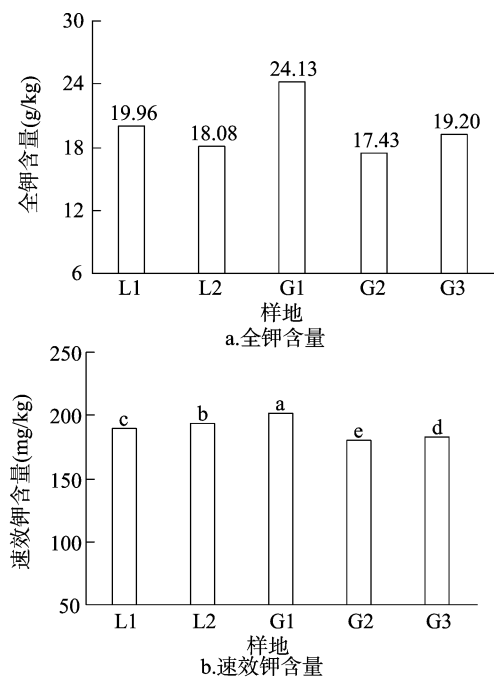


图8 治理时间对土壤全钾、速效钾含量的影响

施中治理3年的封育地(L1)的全钾含量低于治理1年的封育地(L2),而速效钾含量表现为治理3年的封育地(L1) > 治理1年的封育地(L2)。可以看出,虽然治理3年的封育地(L1)全钾含量较低,但是封育时间长的地块的速效钾供给能力得到提高,说明较长的封育时间能够提高土壤速效钾的供给能力。在不同耕地措施中,治理3年的坡改梯(G1)的全钾、速效钾含量均远高于治理1年的坡改梯(G2)、无治理的坡耕地(G3),可见坡改梯对土壤钾固持有积极的作用。对比治理1年的坡改梯与无治理的坡耕地之间的差异在于,治理1年的坡耕地有一定的固土保肥作用,但是治理效果不是很显著,在耕作过程中仍需施用一定量的人工肥,以保证其获得与无治理的坡耕地等同的经济效益。

### 3 结论与讨论

不同石漠化治理措施及治理时间对土壤肥力影响显著,各措施对土壤肥力促进作用大小为:封育措施 > 抚育措施 > 人工林,表现为受人类活动影响最低的封育措施对土壤有机质、氮、磷、钾的积累效果最好,同时其能够更好地促进各元素转化为速效态供给植物吸收利用。不同耕地措施中,坡改梯的固土保肥能力显著强于无治理措施的坡耕地,该处理对土壤有机质、氮、磷、钾的积累作用及速效态元素转化的促进作用效应明显。研究结果表明,治理时间对土壤肥力也有显著的效果,较长的治理时间能显著提高土壤有机质、氮、磷、钾的贮量,同时能显著提高土壤的养分能力。

### 参考文献:

- [1] 袁道先. 评《地质生态环境与可持续发展——中国西南及邻近岩溶地区发展途径》[J]. 水资源保护, 2004(2): 63.
- [2] 苏维词, 杨 华, 李 晴, 等. 我国西南喀斯特山区土地石漠化成因及防治[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 447-451.
- [3] 黄秋昊, 蔡运龙, 王秀春. 我国西南部喀斯特地区石漠化研究进展[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(2): 106-111.
- [4] 袁道先. 我国西南岩溶石山的环境地质问题[J]. 大自然探索, 1996, 15(4): 21-23.
- [5] 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): 573-582.
- [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] 王振忠, 李庆康, 吴敬民, 等. 稻麦秸秆全量直接还田技术对土壤的培肥效应[J]. 江苏农业科学, 2000(4): 47-49.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-101.
- [9] 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.
- [10] 孙桂芳, 金继运, 石元亮. 土壤磷素形态及其生物有效性研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2011, 2(2): 1-9.