

苍梧县崩岗洪积扇不同培肥模式土壤肥力特征研究

邓羽松¹, 丁树文¹, 蒋代华², 吴菲¹, 李瑶瑶¹, 杜贇¹, 马媛¹

(1. 华中农业大学 资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 广西大学 农学院, 南宁 530004)

摘要:崩岗是我国南方危害性极大的一种土壤侵蚀类型,尤其是产生的大量洪积物冲入农田,严重影响洪积扇农田质量。以苍梧县崩岗洪积扇为研究区域,采集洪积扇柑桔园不同培肥模式土样对其进行分析,探讨该地区沙化农田恢复过程中土壤颗粒组成及土壤养分的变化。结果表明:不同的培肥模式均能改良洪积扇土壤性质,土壤中的粉粒和黏粒含量有显著增加,养分含量也有显著提高。采用修正的内梅罗综合指数法对洪积扇土壤进行肥力评价可知,施化肥、施农家肥、种植绿肥+秸秆还田土壤肥力等级系数 P 值比对照区分别增加了 42.11%, 139.47%, 135.53%, 施肥模式以农家肥效果最佳。相关分析显示,土壤肥力指标与土壤砾石和砂粒含量呈显著负相关,而与粉粒和黏粒含量呈显著正相关。研究结果对改良崩岗洪积扇农田土壤,提高农业生产力 and 效益有重要的科学意义。

关键词:崩岗; 洪积扇; 培肥模式; 土壤肥力

中图分类号:S157.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)01-0056-05

Soil Fertility Characteristics of Different Fertilization Patterns in Collapsed Gully Alluvial Fan in Cangwu County

DENG Yusong¹, DING Shuwen¹, JIANG Daihua², WU Fei¹, LI Yaoyao¹, DU Yun¹, MA Yuan¹

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University,

Wuhan 430070, China; 2. College of Agronomy, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: The collapse hills are a great danger of soil erosion types in southern China, especially, large quantities of alluvial material moving into the farmland seriously affect the quality of farmland alluvial fan. In this paper, Cangwu collapse of Gang alluvial fan area was studied. Soil samples were collected from different fertilization patterns under alluvial fan citrus groves for the analysis of farmland desertification in the region to explore the process of the composition change of the soil particles and soil nutrient recovery. The results showed that different fertility patterns could improve alluvial fan soil properties. Soil silt and clay contents and nutrient contents increased significantly. Nemerow composite index using the modified method of alluvial fan soil fertility evaluation showed that fertilizer, manure, green manure + straw soil fertility level coefficient P values increased by 42.11%, 139.47%, 135.53%, compared to the control area, the manure fertilization mode was the best practice. Correlation analysis showed that soil fertility index was significantly negatively correlated with and soil gravel and sand contents, and was significantly positively correlated with silt and clay contents. The results are of great significance to improve agricultural soils in collapse Gang alluvial fan, promote the understanding of agricultural productivity and efficiency.

Keywords: collapse hills; alluvial fan; fertilization patterns; soil fertility

崩岗是我国南方红壤区特有的侵蚀现象^[1],主要分布在长江以南的湖北、湖南、江西、安徽、福建、广东、广西等省(自治区)。我国南方发生崩岗共有 23.91 万个,总面积达 1 220 km²^[2]。单个崩岗年侵蚀量可达

35.0 万 t^[3],崩岗侵蚀损毁和淤埋农田,淤塞河库渠道,破坏水利设施,加剧干旱和洪涝灾害,造成区域生态环境恶化。同时沙化导致农田有机质含量降低,碱解氮,有效磷,有效钾含量降低,肥力水平下降,在土壤

收稿日期:2014-04-10

修回日期:2014-05-10

资助项目:国家科技支撑计划子课题“红壤崩岗侵蚀区农田质量保护与崩岗治理技术与示范”(2011BAD31B04);国家自然科学基金“干湿循环效应下胀缩裂隙发育机理及其对崩岗岩土力学特性的影响”(41201271);华中农业大学国家级大学生创新创业训练计划“崩岗洪积扇沙化农田质量恢复技术研究”(201410504021)

第一作者:邓羽松(1988—),男(瑶族),广西桂林人,硕士研究生。研究方向:水土保持与农田质量保护。E-mail:dennysus@163.com

通信作者:丁树文(1964—),男,湖北孝感人,副教授,主要从事水土保持与农业生态研究。E-mail:dingshuwen@mail.hzau.edu.cn

环境质量和肥力水平的双重恶化作用下,农作物产量降低,品质下降,最终威胁了我国的粮食安全^[4-7]。

我国过去对南方崩岗的研究侧重于成因机制以及体系治理等方面,对于崩岗沙化农田质量恢复方面研究较少。相关研究表明:施用不同的肥料能够改善土壤肥力,对土地质量提升有一定的作用^[8-11]。因此,选取苍梧县崩岗洪积扇为研究对象,分析不同培肥模式改良崩岗洪积扇的土壤理化性质,包括土壤颗粒组成、有机质含量、阳离子交换量以及氮磷钾含量等指标,旨在阐明崩岗沙化农田质量恢复的土壤理化特征的空间分布规律,探讨不同培肥模式对崩岗洪积扇生态恢复的效果,为崩岗侵蚀沙化农田质量恢复技术手段途径提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

苍梧县地处广西壮族自治区东部,位于东经 110°51′—111°40′,北纬 22°58′—24°10′,属亚热带季风气候区,气候温和,雨量充沛,资源丰富,年平均温度 21.12℃,平均降水量 1 500 mm,年均日照时数

1 815 h。该地地形以丘陵、低山为主,土壤以花岗岩发育的红壤为主。由于特殊的自然条件,苍梧县崩岗侵蚀严重,2005 年调查数据显示,全县崩岗总面积达 3.42 km²,共有 240 hm² 农田因崩岗侵蚀产生水土流失危害而不同程度地遭受泥沙压埋,部分水田改旱作,沙积严重的已弃耕,9 座小(二)型水库,1 座小(一)型水库也因严重淤积而影响灌溉^[12]。苍梧县崩岗最集中和数量最多的分布在龙圩镇,有崩岗 580 个。

1.2 土样采集与处理

2014 年 1 月对龙圩镇崩岗进行了调查,该地发生崩岗已接近 10 a,该地农户大部分在崩岗洪积扇种植沙糖桔。本研究选择崩岗洪积扇种植果树的三种不同培肥模式区域采集土样,共采集 4 个区域土样:施化肥;施农家肥;种植绿肥+秸秆还田;对照区。该区域种植沙糖桔以及采用各种施肥措施均以达 6 a 以上,具体采样信息见表 1。在选定的代表性地块上,先除去土样表面的杂物,每个样地按“S”型样线采集 20 个耕作层(0—20 cm)土样混合为 1 个样,将其混合,然后采用四分法分取样品 1~2 kg,带回室内风干并进行测定。

表 1 采样地点基本情况

施肥方式	经度	纬度	样地基本情况
化肥	111°17′54.6″	23°17′48.4″	种植沙糖桔,长期施用化肥处理
农家肥	111°17′55.2″	23°17′47.3″	种植沙糖桔,长期施用农家肥处理,土质颜色偏暗
绿肥+秸秆	111°17′56.5″	23°17′49.2″	种植沙糖桔,地表种植绿肥,同时残留许多秸秆覆盖的残渣
对照	111°17′53.3″	23°17′47.6″	洪积扇撂荒区域,植被覆盖度较低,主要生长铁芒萁等蕨类植物

1.3 指标测定方法

土壤理化性质均按常规方法进行测定^[13]。土壤颗粒组成测定采用吸管法;土壤含水率测定采用烘干法;pH 测定采用电位计法[水:土=2.5:1];土壤有机质测定采用重铬酸钾外加热法;土壤全氮测定采用半微量凯氏法;土壤全磷测定采用硫酸—高氯酸—钼锑抗比色法;土壤全钾测定用火焰光度法;土壤碱解氮测定采用碱解扩散法;土壤速效磷(AP)测定采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法;速效钾采用醋酸铵浸提—火焰光度法;阳离子交换量采用乙酸铵交换法。

1.4 综合因素评价方法

综合评价同时考虑了土壤属性中所有因子的综合作用,主要分为以下几类:指数评价法、模糊评价法、灰色评价法、物元分析法、人工神经网络评价法等^[14-15]。其中指数评价法对土壤肥力做出定量描述,指数评价法常用的有内梅罗指数法。因此,本文拟用修正的内梅罗指数法对土壤肥力进行综合评价^[16]。

参数间由于量纲的差别应进行标准化,以方便因子的综合计算。由于参评因子都具有具体的测定数

值,如阳离子交换量等。根据模糊数学的原理,在上述指标等级划分的基础上引入评价因子对土壤肥力质量的隶属度概念,用区间[0,3]上的数 Y 来表示单因子质量指数的大小,处理的方法如下^[16]:

当属性值属于差一级,即 $c_i < x_a$ 时:

$$p_i = c_i / x_a \quad (p_i \leq 1)$$

当属性值属于中等一级,即 $x_a \leq c_i \leq x_c$ 时:

$$p_i = 1 + [(c_i - x_a) / (x_c - x_a)] \quad (1 < p_i \leq 2)$$

当属性值属于较好一级,即 $x_c < c_i < x_p$ 时:

$$p_i = 2 + [(c_i - x_c) / (x_p - x_c)] \quad (2 < p_i \leq 3)$$

当属性值属于好一级,即 $c_i \geq x_p$ 时: $p_i = 3$

式中: p_i ——分肥力系数; c_i ——该属性测定值; x_a ——分级标准值(表 2)。标准化后,同一级别的各属性分肥力系数比较接近,便于对比分析。土壤各选取属性分级标准值见表 2^[16]。

由于耕层质地是定性指标,其标准化主要采用以下方式:当耕层质地为中壤时,单因子质量指数 $p_i = 3$;当耕层质地为重壤或者轻壤时,单因子质量指数 $p_i = 2$;当耕层质地为黏土或者砂土时,单因子质量指数 $p_i = 1$ 。

表 2 土壤各属性分级标准值

土壤属性	x_a	x_c	x_p
有机质/(g·kg ⁻¹)	10	20	30
全氮/(g·kg ⁻¹)	0.5	1.0	1.5
全磷/(g·kg ⁻¹)	0.4	0.6	0.8
全钾/(g·kg ⁻¹)	5	10	15
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	60	120	180
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	10	20	40
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	50	100	200
CEC/(cmol·kg ⁻¹)	5	10	15
pH 值(<7.0)	4.5	5.5	6.5

评价模型的选择采用修正的内梅罗(Nemoro)公式计算综合肥力系数:

$$P=\sqrt{\frac{(p_i^2)+(p_i\min)^2}{2}}\cdot(\frac{n-1}{n})$$

式中: P ——土壤肥力系数; $\overline{p_i^2}$ ——土壤各属性分肥力系数平均值; $p_{i\min}$ ——土壤各属性分肥力系数中的最小值; n ——参与评价的土壤属性个数。为了突出土壤属性中最差一项指标对肥力的影响,采用 p_i 最小代替原内梅罗公式中的 p_i 最大;为了反映可信度,增加修正项 $(n-1)/n$,即参评土壤属性项目(n)越多,可信度越高。

1.5 数据处理与分析

采用 Excel 软件进行数据统计和简单的分析,并绘制相应的图表利用 SPSS 16.0 进行方差分析和相关性分析等,应用最小显著性差异(LSD)检验不同处理之间的差异。

表 3 不同培肥模式土壤颗粒组成

处理方式	砾石	极粗砂粒	粗砂粒	中砂粒	细砂粒	极细砂粒	粉粒	黏粒	质地
化 肥	25.52±0.87b	21.52±0.50b	6.56±0.64c	7.95±0.06a	12.35±0.21b	6.19±0.79a	29.93±0.42c	15.50±0.42c	砂壤土
农家肥	19.13±0.66c	13.58±0.06d	4.80±0.08d	5.72±0.09b	8.58±0.22c	6.96±0.72a	39.91±0.08a	20.44±0.52a	壤土
绿肥+秸秆	16.03±0.56d	16.61±0.26c	7.74±0.17b	8.56±0.13a	7.91±0.03d	4.83±0.60b	35.45±0.48b	18.90±0.11b	壤土
对 照	30.09±1.32a	24.01±0.21a	14.73±0.23a	8.04±0.61a	14.53±0.14a	6.87±0.12a	20.80±0.42d	11.03±0.16d	砂壤土

注:表中数据为平均值±标准差,同列相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。下同。

2.2 不同培肥模式土壤养分特征

2.2.1 土壤 pH 值 由表 4 可知,施化肥、施农家肥、种植绿肥+秸秆还田的土壤 pH 值比对照区分别增加了 8.58%,15.98%,12.87%。经检验,各种施肥模式的土壤 pH 值均有显著性增加,这可能是由于崩岗洪积扇沙化农田导致土壤酸性增强,而不同的施肥模式有利于降低土壤酸度。

2.2.2 土壤阳离子交换量 土壤阳离子交换量的大小是衡量土壤保肥能力以及缓冲能力的重要标志^[17]。对不同培肥模式洪积扇土壤阳离子交换量进行分析和差异性检验(表 4)可知,施化肥、施农家肥、种植绿肥+秸秆还田的土壤阳离子交换量比对照区

2 结果与分析

2.1 不同培肥模式土壤颗粒组成变化

研究崩岗洪积扇不同培肥措施土壤颗粒组成特征见表 3。由表 3 可以看出,按照美国土壤粒级分类制,施化肥、施农家肥、种植绿肥+秸秆还田的砾石含量比对照区分别减少了 15.19%,36.42%,46.73%;极粗砂粒含量比对照区分别减少了 10.37%,43.44%,30.82%;粗砂粒比对照区分别减少了 55.47%,67.41%,47.45%;细砂粒比对照区分别减少了 15%,40.95%,45.56%;施化肥、施农家肥的中砂粒含量比对照区分别减少了 1.12%,28.86%;施化肥、种植绿肥+秸秆还田的极细砂粒含量比对照区分别减少了 9.9%,29.7%;施化肥、施农家肥、种植绿肥+秸秆还田的粉粒含量比对照区分别增加了 43.9%,91.88%,70.43%;黏粒含量比对照区分别增加了 40.53%,85.31%,71.35%。经过差异性检验可知,除种植绿肥+秸秆还田和对照区的中砂粒含量无显著性差异、施农家肥和对照区的极细砂粒无显著性差异外,其他各施肥模式之间差异达到显著水平。以上分析结果说明各培肥模式均有助于降低崩岗侵蚀区茶园土壤砾石以及砂粒各粒级含量,而增加粉粒和黏粒含量。这是可能由于崩岗洪积扇土壤中主要成分为石英、长石或其它矿物颗粒,种植沙糖桔并培肥之后,土壤结构会由于耕作产生机械性破坏,同时耕作培肥也加速了长石等矿物的分解。

分别增加了 119.96%,127%,155.64%。各施肥模式与对照区相比均有显著性增加,说明施肥改良土壤增强了土壤的保肥能力。

2.2.3 土壤有机质 土壤有机质是土壤的重要组成部分,是植物的养分来源和土壤微生物生命活动的能量来源^[17]。从表 4 可以看出,施用不同肥料改良崩岗洪积扇土壤均可增加有机质含量。有机质含量差异表现为施农家肥>种植绿肥+秸秆还田>施化肥>对照区,各种施肥模式之间有机质差异性均达到了显著水平,说明施肥改良崩岗洪积扇土壤能够有效增加有机质含量,其中施用农家肥改良土壤的效果最明显。

2.2.4 土壤全氮、全磷和全钾 从表 4 中可知,崩岗洪积扇经过不同的培肥模式改良之后,施化肥、施农家肥、种植绿肥+秸秆还田土壤的全氮含量均有了不同程度增加,分别增加了 172.22%,255.56%,222.22%,且各施肥方式与对照区差异达到显著水平。说明不同培肥措施对崩岗洪积扇土壤全氮含量增加的作用明显,且增加的趋势为施农家肥>种植绿肥+秸秆还田>施化肥>对照区。与对照区相比,施化肥、施农家肥、种植绿肥+秸秆还田土壤全磷含量分别增加了 79.07%,79.07%,23.26%,施化肥和农家肥的果园全磷含量显著高于种植绿肥+秸秆还田和对照区。各个施肥模式间全钾含量的差异达到显著水平,表现为施农家肥>种植绿肥+秸秆还田>施化肥>对照区,说明施肥改良土壤可以显著增加土壤全钾含量。总体来看,不同的培肥模式对崩岗洪积

扇土壤全量养分的恢复均有明显的效果。

2.2.5 土壤碱解氮、速效磷和速效钾 土壤速效氮、速效磷、速效钾是作物生长发育所必需的三大基本元素直接来源,研究土壤速效养分能够直接反映作物的生长能力状况^[18],因此对土壤的速效养分进行测定分析能够对崩岗洪积扇土壤恢复效果有个更直观的认识。对崩岗洪积扇不同培肥模式土壤速效养分进行分析(表 4)可知,施化肥、施农家肥、种植绿肥+秸秆还田土壤碱解氮含量分别增加了 124.14%,186.82%,195.78%,施农家肥和种植绿肥+秸秆还田之间差异不显著;速效磷含量分别增加了 152.73%,24.5%,209.57%,施化肥和种植绿肥+秸秆还田之间差异不显著;速效钾含量分别增加了 98.27%,196.99%,231.76%,各施肥模式与对照区均达到显著性差异水平。

表 4 不同培肥模式土壤养分含量分布

处理方式	pH	阳离子交换量/ (cmol·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全量养分/(g·kg ⁻¹)			速效养分/(mg·kg ⁻¹)		
				全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾
化 肥	5.57±0.12c	21.27±2.49b	14.73±0.57c	0.98±0.13b	0.77±0.09a	3.16±0.14c	105.12±2.94b	50.95±3.03c	57.18±2.88c
农家肥	5.95±0.06a	21.95±0.34b	29.45±0.80a	1.28±0.14a	0.77±0.02a	5.79±0.14a	134.52±1.80a	25.10±2.81b	85.65±2.89b
绿肥+秸秆	5.79±0.03b	24.72±0.39a	22.74±0.90b	1.16±0.13ab	0.53±0.08b	5.16±0.07b	138.72±3.51a	62.41±2.81c	95.68±5.79a
对 照	5.13±0.12d	9.67±0.38c	11.09±0.16d	0.36±0.02c	0.43±0.03b	1.69±0.03d	46.90±1.26c	20.16±2.43a	28.84±5.01d

2.3 不同培肥模式土壤颗粒组成与养分的相关性

从表 5 可以看出,土壤 pH 值与砾石和砂粒呈显著负相关,与粉粒和黏粒呈正相关,表明崩岗侵蚀沙化农田导致了农田酸化。除了全磷含量和极细砂粒、粉粒、黏粒,速效磷含量和中砂粒、粉粒、黏粒相关性不明显外,土壤阳离子交换量、有机质、全氮、全磷、全

钾、碱解氮、速效钾与砾石和砂粒含量均呈负相关,而与粉粒和黏粒含量呈显著正相关。这些结论说明土壤的颗粒组成能够影响土壤肥力。农田里如果砾石和砂粒的含量高,则土壤保持养分、水分和供给养分的能力较弱。然而,粉粒和黏粒的含量越高,土壤水土保持的性能就越强。

表 5 不同培肥模式下土壤颗粒组成与土壤养分的相关分析

相关因子	砾石	极粗砂粒	粗砂粒	中砂粒	细砂粒	极细砂粒	粉粒	黏粒
pH	-0.887**	-0.946**	-0.919**	-0.506	-0.929**	-0.246	0.994**	0.987**
CEC	-0.794**	-0.816**	-0.959**	-0.430	-0.820**	-0.315	0.930**	0.923**
有机质	-0.845**	-0.993**	-0.762**	-0.655**	-0.905**	-0.094	0.953**	0.944**
全氮	-0.835**	-0.857**	-0.930**	-0.414	-0.865**	-0.278	0.941**	0.937**
碱解氮	-0.933**	-0.885**	-0.898**	-0.293	-0.949**	-0.420	0.955**	0.970**
全磷	-0.246	-0.443	-0.810**	-0.575	-0.309	0.113	0.592*	0.552
速效磷	-0.547	-0.152	-0.393	0.552	-0.456	-0.828**	0.314	0.360
全钾	-0.932**	-0.985**	-0.826**	-0.487	-0.973**	-0.261	0.983**	0.988**
速效钾	-0.972**	-0.894**	-0.777**	-0.248	-0.980**	-0.497	0.924**	0.946**

注:*表示处理间具有显著的相关性(P<0.05);**表示处理间具有极显著的相关性(P<0.01)。

2.4 崩岗洪积扇不同培肥模式土壤肥力评价

从表 6 可知,崩岗洪积扇柑桔园土壤肥力等级系数 P 表现为施农家肥>种植绿肥+秸秆还田>施化肥>对照区,且施化肥、施农家肥、种植绿肥+秸秆还田 P 值比对照区分别增加了 42.11%,139.47%,135.53%。各农用地经过肥力评价(表 7)可知,施农家肥改良的柑桔园土壤肥力属于二等,土壤肥沃;施

化肥和种植绿肥+秸秆还田柑桔园土壤肥力均属于三等,土壤肥力一般;而对照区土壤肥力属于四等,土壤较为贫瘠。说明不同培肥模式可以提高崩岗洪积扇土壤肥力,其中,施农家肥的效果最明显。同时,分析研究发现, p_i 最小值很大程度上决定了土壤肥力系数大小,因此,在崩岗侵蚀区进行土地利用的时候可以根据土壤限制条件提出改良措施。

表 6 土壤肥力综合评价结果

处理方式	p_i										p_i 平均	P
	pH	CEC	有机质	全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾	质地		
化肥	2.07	3	1.47	1.96	2.85	0.63	1.75	3	1.14	2	1.99	1.08
农家肥	2.45	3	2.95	2.56	2.85	1.16	2.24	2.26	1.71	3	2.42	1.82
绿肥+秸秆	2.29	3	2.74	2.32	1.65	1.03	2.31	3	1.91	3	2.33	1.79
对照	1.63	1.93	1.11	0.72	1.15	0.34	0.78	1.01	0.58	2	1.13	0.76

表 7 土地肥力等级划分

肥力等级	一等 (很肥沃)	二等 (肥沃)	三等 (一般)	四等 (贫瘠)
肥力系数范围	>2.7	2.7~1.8	1.8~0.9	<0.9

3 结论与讨论

(1) 不同培肥模式能够改变崩岗洪积扇土壤颗粒组成,土壤经培肥后砾石和砂粒含量比对照区均显著减少;而粉粒和黏粒含量跟对照区相比呈增加趋势。各施肥模式中土壤 pH 值、阳离子交换量、有机质、氮磷钾含量比对照区均有显著性增加。

(2) 经过相关性分析显示,土壤各化学养分指标与土壤颗粒组成之间存在着极显著的相关性,样地土壤中砾石和砂粒的含量与土壤养分均呈显著负相关,而粉粒和黏粒含量则与土壤养分呈显著正相关。此外,各样地土壤养分指标均呈极显著的正相关。相关性研究结果跟前人的研究成果接近^[19-20],因此,恢复崩岗洪积扇土壤可以考虑改变土壤颗粒组成,加快长石的风化,达到改良土壤质地与肥力的效果。

(3) 对崩岗洪积扇柑桔园进行肥力评价,施化肥、施农家肥、种植绿肥+秸秆还田土壤肥力等级系数 P 值比对照区分别增加了 42.11%,139.47%,135.53%。肥力评价结果显示,对照区土壤肥力属于四等,施化肥和种植绿肥+秸秆还田柑桔园土壤肥力比对照区高 1 个等级,施农家肥柑桔园土壤肥力比对照区高 2 个等级。

结果阐明了不同的培肥模式均可以改良崩岗洪积扇土壤理化性质,其中以上的施肥模式中农家肥效果最佳,种植绿肥+秸秆还田和施化肥改良效果次之。因此,建议恢复崩岗洪积扇土壤可考虑采用农家肥或者种植绿肥、秸秆还田的模式,这些方式均能较快提高土壤有机质,同时土壤阳离子交换量的提高增加了土壤的保肥能力,而施化肥效果并不显著,可能与崩岗洪积扇保肥能力差,养分流失较快有关。

参考文献:

[1] 蒋芳市,黄炎和,林金石,等.坡度和雨强对花岗岩崩岗崩解体细沟侵蚀的影响[J].水土保持研究,2014,12(1):1-5.

[2] 冯明汉,廖纯艳,李双喜,等.我国南方崩岗侵蚀现状调

查[J].人民长江,2009,40(8):66-68.

[3] 梁音,宁堆虎,潘贤章,等.南方红壤区崩岗侵蚀的特点与治理[J].中国水土保持,2009(1):31-34.

[4] 丁光敏.福建省崩岗侵蚀成因及治理模式研究[J].水土保持通报,2001,21(5):10-15.

[5] 李思平.崩岗形成的岩土特性及其防治对策的研究[J].水土保持学报,1992,6(3):29-35.

[6] 赵其国.我国红壤的退化问题[J].土壤,1995,27(6):281-285.

[7] 龙莉,丁树文,蔡崇法,等.花岗岩红壤丘陵区崩岗侵蚀对农田的危害及治理[J].中国水土保持,2013(12):24-26.

[8] 王中堂,彭福田,唐海霞,等.不同有机物料覆盖对桃园土壤理化性质及桃幼树生长的影响[J].水土保持学报,2011,25(1):142-146.

[9] 王改兰,段建南,贾宁凤,等.长期施肥对黄土丘陵区土壤理化性质的影响[J].水土保持学报,2006,20(4):82-89.

[10] 王健鹏,李阿红,王会志.有机肥对土壤理化性质的影响[J].吉林蔬菜,2007(4):51-53.

[11] Guerrero C, Moral R, Gomez I, et al. Microbial biomass and activity of an agricultural soil amended with the solid phase of pig slurries[J]. Bioresource Technology,2007,98(17):3259-3264.

[12] 黄艳霞.广西崩岗侵蚀的现状、成因及治理模式[J].中国水土保持,2007(2):3-4.

[13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.

[14] 郑小佳.给予人工神经网络的耕作土壤肥力质量评价[D].成都:四川农业大学,2006.

[15] 骆东奇,白洁,谢德体.论土壤肥力评价指标和方法[J].土壤与环境,2002,11(2):202-205.

[16] 吴启堂,阚文杰.一个定量综合评价土壤肥力的方法初探[J].土壤通报,1994,25(6):245-247.

[17] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1981.

[18] Zhao J, Meng K, Sui Y Y, et al. Analysis for spatial heterogeneity of organic carbon and available nutrients in black soil region of Hailun County[J]. Chinese Journal of Soil Science,2005,36(4):487-491.

[19] 邹诚,徐福利,闫亚丹.黄土高原丘陵沟壑区不同土地利用模式对土壤机械组成和速效养分影响分析[J].中国农学通报,2008,24(12):424-427.

[20] 唐炎林,邓晓保,李玉武,等.西双版纳不同林分土壤机械组成及其肥力比较[J].中南林业科技大学学报:自然科学版,2007,27(1):70-75.