

# 黔中喀斯特区典型土地利用方式及耕作措施的水土流失调控效应

李瑞<sup>1,2</sup>, 李勇<sup>3</sup>, 熊康宁<sup>1,2</sup>, 张弛<sup>4</sup>, 文雅琴<sup>1,2</sup>

(1. 贵州师范大学 喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001; 2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001; 3. 贵州省水土保持监测站, 贵州 贵阳 550002; 4. 盘州市老厂国有林场, 贵州 盘州 553537)

**摘要:** [目的] 探讨贵州省中部喀斯特地区坡面几种典型土地利用类型及耕作措施对土壤水分、土壤侵蚀及坡面径流的调控效应, 探明其差异显著性, 为区域坡面水土流失防治提供参考。[方法] 采用野外径流小区定位观测法, 以贵州省龙里县羊鸡冲小流域及贵阳修文龙场小流域为研究对象, 开展坡面不同土地利用及耕作方式水土流失调控效应的研究。[结果] 林地、撂荒地及农耕地对土壤水分的调控效应差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 对土壤侵蚀的调控效应差异显著 ( $p < 0.05$ )。3 种土地利用方式对径流的调控效应相对复杂, 具体为撂荒地显著低于林地 ( $p < 0.05$ ), 但林地与农耕地间、撂荒地与农耕地间均无显著差异 ( $p > 0.05$ ); 两种典型耕作措施研究结果显示, 蔬菜种植(春甘蓝)对土壤水分、水土流失的调控效应优于玉米种植(单作), 但两者对土壤水分及水土流失的调控效应均无显著差异 ( $p > 0.05$ )。[结论] 黔中喀斯特区 3 种土地利用方式中, 撂荒地水土流失调控效应显著高于林地和耕地; 蔬菜种植水土流失调控效应高于玉米单作, 但是两者无显著差异 ( $p > 0.05$ )。

**关键词:** 喀斯特; 土地利用类型; 耕作措施; 水土流失; 调控效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)06-0136-05

中图分类号: S157.1

**文献参数:** 李瑞, 李勇, 熊康宁, 等. 黔中喀斯特区典型土地利用方式及耕作措施的水土流失调控效应[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 136-140. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.022; Li Rui, Li Yong, Xiong Kangning, et al. Regulating effects on soil and water loss of typical slope land use patterns and tillage methods in karst area of Central Guizhou Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 136-140. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.022

## Regulating Effects on Soil and Water Loss of Typical Slope Land Use Patterns and Tillage Methods in Karst Area of Central Guizhou Province

LI Rui<sup>1,2</sup>, LI Yong<sup>3</sup>, XIONG Kangning<sup>1,2</sup>, ZHANG Chi<sup>4</sup>, WEN Yaqin<sup>1,2</sup>

(1. Karst Research Institute, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China;

2. National Engineering Research Center for Karst Rocky Desertification Control, Guiyang,

Guizhou 550001, China; 3. Guizhou Provincial Monitoring Station of Soil and Water Conservation,

Guiyang, Guizhou 550002, China; 4. National Forest Farm of Laochang, Panzhou, Guizhou 553537, China)

**Abstract:** [Objective] This study aimed to explore the regulating effects of different slope land use patterns and tillage methods on soil moisture and soil & water loss in karst area of Central Guizhou Province, and to provide references for soil & water conservation on karst hillslope. [Methods] Yangjichong small watershed in Longli County, Longchang small watershed in Xiuwen County were taken as the research areas, and the soil moisture, runoff and soil erosion were observed by using runoff plot method. [Results] The soil moisture among forestland, abandoned land and farmland were not significantly different ( $p > 0.05$ ), though soil erosion was significantly different ( $p < 0.05$ ). The effects on runoff among forestland, abandoned land and

收稿日期: 2017-04-17

修回日期: 2017-05-22

资助项目: 国家自然科学基金项目“喀斯特区典型石漠化坡耕地覆盖措施水土流失调控效应”(31760243); 贵州省科技计划项目(黔科合社 G 字[2012]4008); 贵州省林业厅科研课题(黔林科合[2017]13 号); 贵州师范大学 2017 年博士科研启动项目

第一作者: 李瑞(1979—), 男(彝族), 贵州省盘州市人, 博士, 研究员, 主要从事土壤侵蚀与水土保持等方面的研究。E-mail: rlfer@126.com。

farmland were relatively complicated; runoff on abandoned land was significantly lower than the ones on forestland ( $p < 0.05$ ); while there were no significant differences between forestland and farmland, and between abandoned land and farmland ( $p > 0.05$ ). The study results of 2 typical tillage methods on soil moisture and soil & water loss indicated that the regulating effects of vegetable planted (spring cabbage) were better than the one of corn planted (monocrop), however, there were no significant differences between these 2 tillage methods on soil moisture and soil & water loss ( $p > 0.05$ ). [Conclusion] Among the 3 different land use patterns, abandoned land had significant effect on soil and water conservation as compared to the ones of forestland and farmland in karst area of central Guizhou Province, and there was no significant difference between vegetable planted and planted corn.

**Keywords:** karst; land use patterns; tillage methods; soil and water loss; regulating effect

中国是世界喀斯特地貌最为发育的国家之一,主要分布在以贵州高原为中心的西南片区,在自然因素和人为因素的双重影响下,土地退化严重,石漠化问题突出,是中国当前面临的 3 大生态问题之一<sup>[1-3]</sup>。从本质上来讲,石漠化是喀斯特区水土流失的结果。目前国家石漠化治理专项也是以治理区域侵蚀驱动的退化土地为重点,因此水土流失防治是喀斯特区石漠化治理的关键。从目前喀斯特区相关报道来看,水土流失防治的试验示范主要集中在林草措施与工程措施等方面。高原山地坡耕地在实施坡改梯后减沙率达 92.98%,经果林和水保林在种植初期可能因翻耕短期内流失严重,但随着植被生长,侵蚀量逐年稳定下降<sup>[2]</sup>;在贵州省喀斯特区坡面几种典型植被类型中撂荒地由于天然植被的恢复,较林地、耕地等具有较好的水土保持功能<sup>[4]</sup>;玉米间作紫花苜蓿可保持喀斯特区坡耕地全年覆盖,在整个雨季保持较高的覆盖度,有较好的保水保土及保肥效果<sup>[5]</sup>,而混农林业较人工草地及纯林模式(经果林)等水土保持治理模式生态效应更佳<sup>[6]</sup>。目前,由于投资强度等原因,国家水土流失治理专项治理范围较为有限,因此开展野外试验,探索林草措施、耕作措施等非工程措施水土流失调控效应具有重要的现实意义。本研究基于野外定位观测试验,探讨黔中喀斯特区坡面几种典型土地利用及耕作方式水土流失调控效应,探明其水土流失调控效应的差异显著性,为区域水土流失防治提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 观测站点概述

本研究以地处黔中地区的龙里羊鸡冲小流域水土保持监测站点及修文龙场小流域水土保持监测站点为试验观测点。这 2 个站点均属贵州省水土保持监测网络。龙里县位于贵州省中部地区,隶属于黔南布依族苗族自治州,该县喀斯特面积占国土面积的

59.4%。羊鸡冲水土保持监测站点位于龙里县东郊的羊鸡冲小流域,东经 107°00'53",北纬 26°26'58",该小流域控制面积 11.89 km<sup>2</sup>,始建于 2004 年,2009 年开始观测,设有 18 个坡面种植措施径流小区,主要种植措施包括水保林、经果林、撂荒地及农耕地等;修文县隶属贵阳市,全县喀斯特面积占国土面积的 49.4%。龙场水土保持监测站点位于修文县城北 3.5 km 处,东经 106°37',北纬 26°52'。该监测点始建于 2010 年 12 月,2013 年开始观测,建有坡面种植措施径流小区 5 个,包括林地、园地及灌草地小区各 1 个,农耕措施小区 2 个(玉米及蔬菜种植小区各 1 个)。

### 1.2 数据获取及处理

资料来源于上述 2 个水土保持监测站点 2014 年逐次监测数据,包括次降雨土壤侵蚀、径流、次降雨及土壤含水量等,其中坡面不同土地利用类型水土流失观测资料来源于龙里羊鸡冲站点,坡耕地耕作措施观测资料来源于修文龙场站点。土壤雨前含水量取自表土层以下 12 cm,雨前含水量为次降雨前 12 h 观测结果,雨后含水量为次降雨后 12 h 观测结果,径流小区径流、泥沙及相关气象指标观测方法已有很多报道,本文不再累述,具体可参考相关文献<sup>[7]</sup>。数据整理、基础统计及制图等采用 Excel 2010 软件完成,显著性分析等采用 SPSS 19.0 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土地利用方式水土流失调控效应

2.1.1 土壤水分调控效应 针对羊鸡冲小流域坡面林地、耕地及撂荒地土壤水分动态,开展了雨前、雨后各 24 次,计 48 次观测,显著性检验表明,无论是雨前含水量还是雨后含水量,3 种土地利用方式土壤含水量差异不显著 ( $p > 0.05$ ),详见表 1。针对上述结果,对全年降雨量进行分析,发现 2014 年龙里县观测记录的全年降雨总量为 1 161.7 mm,降雨总日数达 98 d,且各月份降雨天数分配相对均衡,因此 3 种土

地利用方式土壤含水量无显著差异,而连续干旱情况下,不同土地利用方式对土壤含水量是否有显著影响有待进一步研究。从全年雨前、雨后土壤含水量平均值来看(图 1),无论是雨前还是雨后含水量,均呈现耕地>林地>撂荒地的趋势,即在全年降水量较为丰富,且分配相对均衡的条件下,坡耕地保水效应高于林地和撂荒地。

表 2 羊鸡冲小流域 2014 年降雨量及降雨日数月统计

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
降水量/mm	6.6	27.4	83.6	35.6	71.7	203.1	379.8	165.1	98	58.6	22	10.2	1 161.7
降水日数/d	7	13	6	7	9	10	14	7	5	7	5	8	98

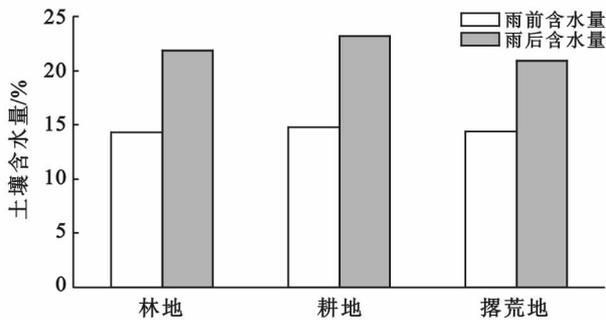


图 1 羊鸡冲小流域坡面 3 种土地利用方式土壤含水量

2.1.2 水土流失调控效应 图 2 为 2014 年羊鸡冲小流域 3 种土地利用类型逐次土壤侵蚀观测结果,全年单位面积土壤侵蚀总量分别为:坡耕地 629.5 t/km<sup>2</sup>,林地 91.3 t/km<sup>2</sup>,撂荒地 4.7 t/km<sup>2</sup>。可以看出,在正常耕作活动的影响下(翻耕、中耕除草等),坡耕地土壤侵蚀量明显高于林地和撂荒地。全年逐次观测数据差异显著性检验结果表明,在 0.05 的水平上,坡耕地土壤侵蚀显著高于林地和撂荒地(表 1)。基于上述结果不难看出,坡耕地撂荒可大幅度降低土壤侵蚀风险,具有显著的土壤侵蚀调控效应,我们前期的研究也证实了这一结论<sup>[4]</sup>,但我们知道,喀斯特区耕地资源极为有限,一般情况下农民不会轻易撂荒地,对此,研究者应针对喀斯特区地形破碎、耕地分散等特点,通过试验示范等途径引导农民改变传统耕作方式,在保证产量的基础上采取水土保持耕作措施。

图 3 为羊鸡冲小流域 2014 年 3 种土地利用方式坡面径流逐次观测结果,全年平均次径流深分别为:林地 5.86 mm,耕地 5.55 mm,撂荒地 2.96 mm。从坡面产流观测结果知,3 种土地利用类型中,径流调控效应最好的为撂荒地,同上述土壤侵蚀调控效应观测结果一致,其次为耕地,而径流调控效应最差的为林地,同上述土壤侵蚀观测结果不一致。进一步的显

表 1 3 种土地利用方式水土流失及土壤含水量差异显著性检验

土地利用方式	次侵蚀量均值/ (t·km <sup>-2</sup> )	次径流深 均值/mm	雨前平均 含水量/%	雨后平均 含水量/%
耕地	34.97 <sup>aA</sup>	5.35 <sup>abAB</sup>	8.4 <sup>aA</sup>	23.2 <sup>aA</sup>
林地	5.07 <sup>bAB</sup>	5.86 <sup>aA</sup>	7.5 <sup>abAB</sup>	21.8 <sup>abAB</sup>
撂荒地	0.5 <sup>cBC</sup>	2.96 <sup>cBC</sup>	6.5 <sup>acAC</sup>	20.9 <sup>acAC</sup>

注:不同小写字母表示 0.05 水平;不同大写字母表示 0.01 水平。

著性检验显示,在 0.05 显著性水平上,林地及坡耕地产流量均显著大于撂荒地,而林地和坡耕地之间产流差异不显著;在 0.01 水平上,林地产流量显著大于撂荒地(表 1)。

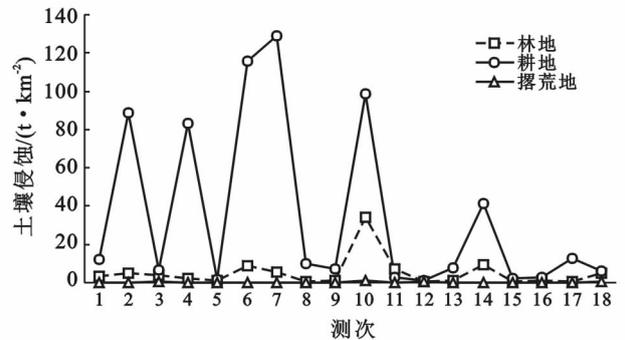


图 2 羊鸡冲小流域 3 种土地利用方式土壤侵蚀

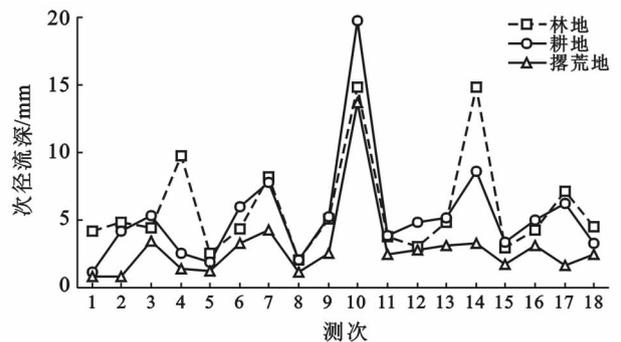


图 3 羊鸡冲小流域 3 种土地利用类型坡面径流

为探明本研究坡面林地和耕地土壤侵蚀和径流结果不一致的原因,我们测试了羊鸡冲小流域相应林地径流小区和耕地径流小区土壤容重及土壤孔隙度,结果显示,林地土壤孔隙度为 43.77%,小于耕地的 53.44%,表明耕地入渗能力大于林地;林地土壤容重大于耕地土壤容重,分别为 1.45, 1.21 g/cm<sup>3</sup>。根据沈奕彤等人的研究结论,随着土壤容重的增加径流强

度呈增加趋势,而土壤产沙量随容重增加呈先增加后下降的趋势<sup>[8]</sup>。上述前人的研究结论从土壤容重的角度解释了本研究林地和耕地径流、土壤侵蚀调控效应结论不一致的原因,但应当指出,天然降雨条件下,水土流失是一个复杂的过程,受诸多因子的影响,除上述土壤容重、孔隙度等土壤因子外,还受地表覆盖(覆盖度及覆盖类型)、耕作活动以及喀斯特区特殊的岩溶环境等影响,上述影响因子需在今后的研究工作中进一步探讨。

综上所述,在 3 种坡面土地利用类中,撂荒地由于天然植被的覆盖,同时免于田间种植活动的扰动,其土壤侵蚀及径流调控效应均显著优于林地和耕地( $p < 0.05$ )。

## 2.2 耕作措施水土流失调控效应

### 2.2.1 土壤水分调控效应

修文龙场小流域 2014 年玉米地(单作)及蔬菜地(春甘蓝)平均土壤含水量分别为:玉米地 24.34%,菜地 25.54%,菜地土壤含水量略高于玉米地。图 4 为土壤水分动态曲线,从图 4 可以看出,菜地土壤水分含量曲线大部分位于玉米地上方,表明春甘蓝种植较玉米单作具有更好土壤水分调控效应。显著性检验结果显示,两种坡耕地耕作方式土壤含水量无显著差异( $p = 0.187 > 0.05$ )。

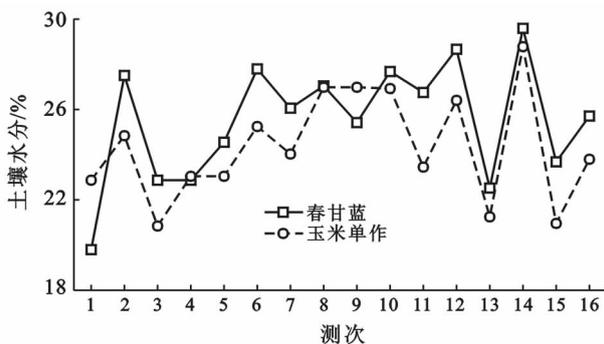


图 4 龙场小流域 2 种耕作措施土壤水分动态

### 2.2.2 水土流失调控效应

图 5 为龙场小流域 2014 年两种耕作措施单位面积土壤侵蚀总量,从图知,菜地和玉米单作小区全年土壤侵蚀总量分别为 18.79, 395.79 t/hm<sup>2</sup>,从侵蚀总量来看,菜地种植较玉米单作大幅度降低了土壤侵蚀风险,但显著性检验却发现 2 种耕种方式在 0.05 水平上并无显著差异。针对上述情况,对全年观测记录的数据进行逐一分析,发现 2014 年 7 月 15 日次降雨量达 125 mm,该次大暴雨条件下,玉米单作小区侵蚀量达 262 t/hm<sup>2</sup>,占全年土壤侵蚀总量的 67%,而春甘蓝种植小区仅为 2.8 t/hm<sup>2</sup>,因此,本次大暴雨条件下,2 种耕作方式土壤侵蚀量差异非常大,从而导致全年土壤侵蚀量差异不显

著。图 6 为龙场小流域 2014 年两种耕作措施平均次径流深,春甘蓝种植小区为 1.1 mm,玉米单作小区为 2.3 mm,春甘蓝种植径流调控效应优于玉米地,这一结果同上述土壤侵蚀观测结果一致。显著性检验结果同样为不显著( $p > 0.05$ )。综上所述可知,坡耕地蔬菜种植较玉米种植具有更好的水土流失调控效应,可有效降低坡耕地水土流失风险,一方面菜地种植可大幅度提高地表覆盖度,从而减少水土流失;另一方面玉米单作导致作物冠层以下存在裸露地表,雨滴可穿透玉米叶片溅击裸露地表,从而加大水土流失风险。

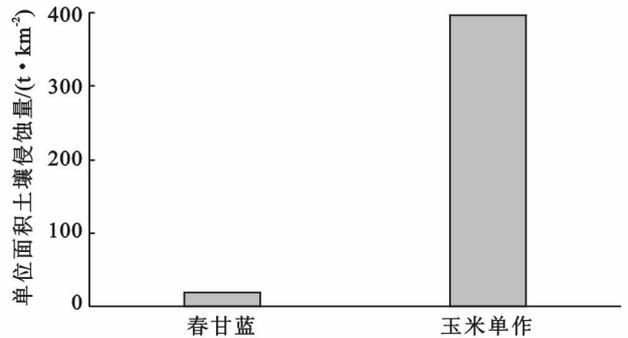


图 5 龙场小流域两种耕作措施土壤侵蚀

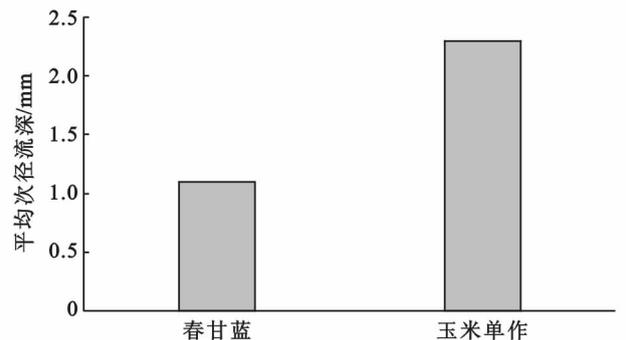


图 6 龙场小流域两种耕作措施坡面产流

## 3 结论

黔中喀斯特区较为常见的几种土地利用类型中,土壤水分调控效应表现为:耕地>林地>撂荒地,但不同土地利用方式间土壤水分并无显著差异;土地利用方式对坡面土壤侵蚀及径流的调控效应差异较为显著,无论是土壤侵蚀量还是径流量,撂荒地均显著低于林地和坡耕地( $p < 0.05$ );蔬菜种植(春甘蓝)对土壤水分及水土流失的调控效应均优于玉米种植(单作),但两种耕种方式对土壤水分及水土流失调控效应无显著差异( $p > 0.05$ )。从本研究结果来看,坡耕地土壤侵蚀风险最大,撂荒地最小,但如前文所述,耕地是区域农民主要生存基础,一般情况不会撂荒,因

此应积极探索其他坡耕地水土流失调控措施。水土保持耕作措施,如本文所述的不同作物种植方式,以及农林复合种植<sup>[9-10]</sup>、农牧间作<sup>[11-13]</sup>以及秸秆还田种植<sup>[14-16]</sup>等已被广泛证实了调控水土流失的有效性,贵州省喀斯特区针对少耕、免耕及秸秆还田等保护性耕作措施水土流失调控效应相关试验开展相对较少,尤其秸秆还田水土流失调控相关试验目前尚未见到报道。本研究由于前期试验条件限制,未能开展免耕、少耕、农牧间作及秸秆还田等保护性耕作措施相关试验,但在未来的水土保持研究工作中,应针对喀斯特区坡面地形破碎、坡改梯难度大等特点,开展水土保持耕作措施相关试验与示范,为农民提供技术支撑,引导他们改变传统耕作方式。

本研究基于贵州省水土保持监测数据,数据来源可靠,但从监测实践来看,坡面径流小区监测仍存在一些问題,如监测队伍不稳定,径流小区较为分散,设施设计欠合理<sup>[17]</sup>,小区管理不规范等<sup>[18]</sup>,此外,就羊鸡冲站点而言,存在林地小区种植密度过大、耕地小区未能完全按照当地耕作制度进行管理等问题。针对贵州省水土保持监测站点目前存在的问题,应当加强监测站点整改力度,加大运行管理费用投入、完善规章制度、规范数据取样以及加强观测设施管理与维护等<sup>[18]</sup>。近年来贵州省水土保持监测网络逐渐完善,监测队伍和经费也逐渐得以加强,监测管理也逐步规范。

#### [参 考 文 献]

- [1] 熊康宁,朱大运,彭韬,等.喀斯特高原石漠化综合治理生态产业技术与示范研究[J].生态学报,2016,36(22):7109-7113.
- [2] 熊康宁,李晋,龙明忠.典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J].地理学报,2012,67(7):878-888.
- [3] 袁道先,章程.岩溶动力学的理论探索与实践[J].地球学报,2008,29(3):355-365.
- [4] 李瑞,刘瑞禄,吕涛,等.贵州省喀斯特地区典型小流域不同种植模式坡面径流产沙研究[J].水土保持通报,2012,32(5):132-135.
- [5] 朱青,陈正刚,李剑,等.贵州坡耕地三种种植模式的水土保持效果对比研究[J].水土保持研究,2012,19(4):22-25.
- [6] 颜萍,熊康宁,檀迪,等.喀斯特石漠化治理不同水土保持模式的生态效应研究[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2016(01):1-7,21.
- [7] 赵一鹤,杨时宇,周祥,等.巨尾桉工业原料林地与不同土地利用类型坡面产流产沙特征对比分析[J].水土保持通报,2012,32(1):77-81,88.
- [8] 沈奕彤,郭成久,金珊,等.土壤容重对黑土坡面养分流失的影响[J].水土保持学报,2016,30(1):26-30.
- [9] Newaj R, Chaturvedi O P, Handa A K. Recent development in agroforestry research and its role in climate change adaptation and mitigation[J]. Indian Journal of Agroforestry, 2016,18(1):1-9.
- [10] Sepúlveda R B, Carrillo A A. Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee(*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015,210(6):25-35.
- [11] Murungu F S, Chiduzo C, Muchaonyerwa P, et al. Mulch effects on soil moisture and nitrogen, weed growth and irrigated maize productivity in a warm-temperate climate of South Africa[J]. Soil and Tillage Research, 2011,112(1):58-65.
- [12] Mwangi S, Msanya B, Mtakwa P W, et al. Effectiveness of mulching under miraba in controlling soil erosion, fertility restoration and crop yield in the usambara mountains, Tanzania[J]. Land Degradation & Development, 2014,27(4):1266-1275.
- [13] Salah A M A, Prasse R, Marschner B. Intercropping with native perennial plants protects soil of arable fields in semi-arid lands[J]. Journal of Arid Environments, 2016,130(7):1-13.
- [14] Prosdocimi M, Jordán A, Tarolli P, et al. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards[J]. Science of the Total Environment, 2016,547(5):323-330.
- [15] Kairis O, Karavitis C, Kounalaki A, et al. The effect of land management practices on soil erosion and land desertification in an olive grove[J]. Soil Use and Management, 2013,29(4):597-606.
- [16] Zhang Shulan, Li Pingru, Yang Xueyun, et al. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize[J]. Soil and Tillage Research, 2011,112(1):92-97.
- [17] 顾再柯,刘凤仙.贵州省水土保持监测点径流小区存在问题与优化对策[J].水土保持通报,2009,29(2):18-20.
- [18] 刘凤仙,覃莉,顾再柯.贵州省水土保持监测点的运行和管理[J].中国水土保持,2012(6):59-61.