喀斯特石漠化皆伐迹地不同微地形和小生境下的土壤侵蚀差异

殷清慧[1,2], 谢世友[1,3], 蔡先立[4]

(1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715; 2. 安顺学院 资源与环境工程学院, 贵州 安顺 561000; 3. 西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 4. 贵州省普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州 普定 562100)

摘 要: [目的] 探讨喀斯特山区皆伐迹地不同微地形、小生境下土壤侵蚀的差异,为喀斯特皆伐迹地生态修复及防治提供依据。[方法] 研究区采用铁栏围成封闭区域,用测钎法以 1m×1m 的距离布设测钎,对山地不同微地形、小生境的土壤侵蚀进行原位年监测,用箱图比较其土壤侵蚀深度差异,并作显著性分析。[结果] 研究区不同微地形、不同小生境在土壤侵蚀程度上差异明显,微地形土壤侵蚀深度总体呈现为:凸形>平直形>凹形,微地形与土壤侵蚀呈显著相关。小生境土壤侵蚀平均深度表现为:石沟>石土面>石侧>土面>石缝,组间小生境与土壤侵蚀无明显相关,但石沟与土面呈现显著相关。[结论] 岩溶区山地皆伐迹地应据微地形、小生境不同,实施差异化生态修复及防治工作,凸形微地形和石沟、石土面小生境是防治的关键。

关键词: 石漠化; 皆伐迹地; 微地形; 小生境; 土壤侵蚀

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2019)04-0044-04 **中图分类号**: S157.1, X157.1

文献参数: 殷清慧, 谢世友, 蔡先立. 喀斯特石漠化皆伐迹地不同微地形和小生境下的土壤侵蚀差异[J]. 水土保持通报,2019,39(4):44-47. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.04.007; Yin Qinghui, Xie Shiyou, Cai Xianli. Differences of soil erosion between micro-topography and microhabitat in clear-cutting site of karst rocky desertification area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(4):44-47.

Differences of Soil Erosion Between Micro-topography and Microhabitat in Clear-cutting Site of Karst Rocky Desertification Area

Yin Qinghui[1,2], Xie Shiyou[1,3], Cai Xianli[4]

(1. *School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*;
2. *School of Resource and Environment Project, Anshun University, Anshun, Guizhou* 561000, *China*;
3. *Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment (Ministry of Education), Southwest University, Chongqing* 400715, *China*; 4. *Puding Karst Ecosystem Research Station, Puding, Guizhou* 561000, *China*)

Abstract: [Objective] The differences of soil erosion between micro-topography, microhabitat in clear-cutting site of the karst region were studied in order to provide suggestions for ecological restoration and control in clear-cutting site of the karst region. [Methods] Soil erosion monitoring method of pin was employed to monitor annually soil erosion in situ (differentmicro-topography, microhabitat) at a distance of 1 m×1 m within a research area enclosed by iron bars, and box chart and significance test were utilized to compare the difference of soil erosion between them. [Results] It was found that significant difference in the degree of soil erosion of different micro-topography and microhabitats in the study area. More specifically, depth of soil erosion of micro-topography manifested an overall scale of convex>flat>concave, while depth of soil erosion of microhabitat demonstrated an overall scale of stone-drain> stone soil surface> the side of stone>soil surface> rock tunnels. There was a significant correlation between micro-topography and soil erosion, while no significant

收稿日期:2018-10-12 **修回日期**:2018-11-15

资助项目:国家科技支撑计划项目"重庆北碚中梁山喀斯特槽谷石漠化综合治理技术与示范"(2011BAC09B01),"重庆地区喀斯特山地退化生态系统恢复与重建技术开发"(2006BAC01A16); 贵州省科技厅联合基金项目(黔科合 J 字(2013)13 号)

第一作者:殷清慧(1976—),女(汉族),重庆市人,博士研究生,副教授,主要从事岩溶环境与土地利用研究。E-mail:qinghui108@sina.com。

通讯作者:谢世友(1960—),男(汉族),江苏省徐州市人,教授,博士生导师,主要从事岩溶环境与生态修复研究。E-mail:xiesy@swu.edu.cn。

correlation existed between microhabitats and soil erosion in groups, but stone-drain and soil surface were respectively correlate to each other significantly. [Conclusion] Ecological restoration and control should be carried out according to different micro-topography and microhabitat in karst mountain clear cutting site, and the key of control lied in the convex micro-topography, the microhabitat of stone-drain and stone soil surface.

Keywords: rocky desertification; clear-cutting site; micro-topography; microhabitat; soil erosion

土壤侵蚀可导致土壤肥力下降,造成土壤贫瘠化、生态恶化,严重时山地区域易诱发滑坡、泥石流等灾害[1-2]。我国西南岩溶区,土地生态极其脆弱,土层薄,成土慢,林带砍伐易加速土壤侵蚀而促使石漠化的形成,新中国成立以来,我国西南岩溶区因砍伐林地而形成的土地石漠化面积达 1.30×10^6 hm^2[3]。西南岩溶区石漠化的发展尤以贵州省最为严重[4]。据中华人民共和国水利部 2013 年 5 月发布的第一次全国水利普查水土保持情况公报,贵州省土壤侵蚀主要为水力侵蚀且严重程度居全国第十。因此,岩溶区山地皆伐后土壤侵蚀状况必须得到足够的重视。森林采伐后,由于地表裸露增加了降雨对土壤侵蚀的机会,坡度是影响采伐迹地土壤侵蚀的重要因素,山地坡度为 20°～26°的土壤流失较重,年流失深度为 0.7 cm,而坡度小于 10°的山地土壤流失较小[5]。在同等条件下,皆伐迹地的水土流失量是有林地的 10 倍[6]。采伐强度与迹地地表径流量成正比,皆伐迹地的地表径流总量远高于保留林和疏伐林的地表径流总量[7]。石漠化皆伐迹地在皆伐后的 4.5 a 恢复过程中,测钎法结果显示总体侵蚀趋势,自然恢复 1 a 内土壤侵蚀量波动较大,在 1 a 之后则波动减小,3.5 a 后趋于稳定[8]。目前土壤侵蚀野外监测方法众多,常用的有 ^{137}Cs同位素示宗法[9]、标准径流场观察法[10-11]、测钎法[12-14]、遥感监测[15-16]、自动观测[17]等。岩溶石漠化山地由于土壤与岩石的交替分布以及地上地下二元三维结构,导致通常情况下降雨无法在坡面上产生连续的地表径流,土壤主要以蠕滑等形式进行短距离渐进式迁移,测钎法能有效进行原位监测土壤蠕滑及地下漏失的监测[8]。针对岩溶石漠化山地皆伐迹地不同微地形、小生境下土壤侵蚀的监测及研究还较欠缺,同时介于前人研究认为坡形、坡度等均可能会对侵蚀产生影响,但是没有原位监测结果支持,所以本文采用测钎法进行原位监测,探究岩溶石漠化山地皆伐迹地自然恢复过程中不同土微地形、小生境下土壤侵蚀的差异,以期为岩溶石漠化山地皆伐后的生态修复提供理论参考。

1　研究区概况

本文以贵州省安顺市普定县城关镇赵家田村为研究区域,地理坐标 105°47′14″E,26°16′4″N,平均海拔 1 440 m。气候属于亚热带季风湿润气候,季风交替明显,全年天气温和,冬无寒冷,夏无炎暑,春干秋凉,无霜期长,雨量充沛,日照少,辐射能量低,年均气温 14.2 ℃,7 月最热,平均气温 22.6 ℃,年平均日照时数 1 164.9 h,无霜期 301 d,多年平均降水量 1 378.2 mm,主要集中在 5—9 月,属贵州省三大降雨心地区之一。植被茂盛以亚热带种类为主,主要有杉,香樟、枇杷、青冈、楸、椿、白杨等。基岩为泥灰岩,土壤为石灰土,由于部分区域岩石裸露,山体土层呈现厚度不一且不连续分布,土层平均厚度 30 cm,部分区域土层较薄不足 10 cm,土层缺失仅有 A 层。土层较厚区域可达 42 cm,有 A,B 两层。为研究岩溶石漠化山地林地皆伐后植被群落自然恢复及水土流失情况,2012 年 6 月对样地进行皆伐,砍伐面积为 1 000 m^2(顺坡向 40 m×横坡向 25 m)。因旨在观察林地皆伐后植被群落自然恢复能力和土壤侵蚀情况,皆伐后仅对地上植被采用人工伐除,并将植被及其土壤表层枯枝落叶全部清除移出样地,露出样地土面。

2　数据与方法

2.1　试验设计及监测方法

研究区域地处岩溶区,坡面土地浅薄,部分基岩裸露,土壤破碎且分布不连续,土壤侵蚀主要以水力侵蚀为主。土壤与岩石的交替分布,土壤主要以蠕滑形式,为减少人与大型动物的扰动,采用铁栏将样地围成封闭区域,以 1 m×1 m 进行格网式布设测钎(外径 18 mm 的 PVC 管)在坡面上垂直于坡面均线打入测钎直至稳固为止,如插入点分布在石面上则跳过,插入后对每一颗测钎编号入册,记录各测钎点坡度、微地形和小生境,并用钢卷尺测定测钎顶部到土壤表面的距离作为本底值,下次监测时测定各测钎顶部到地面的距离,两次测量值相减获取土壤侵蚀的,正值为向下侵蚀,负值则发生沉积。

2.2　数据处理

数据选取时间为 2013 年 8 月至 2014 年 8 月,此期间总降雨量为 1 296.10 mm,最大次降雨量为 92.71 mm,在样地收集数据整理后,有效测钎共计 410 颗钎。样地内按坡形将微地形分为凹形、凸形、平直形;因本文考虑石头可能起到集雨的作用,从而影响到周围土壤的侵蚀,因此在样地区增加了石侧小

生境，并将石侧定义为测钎的左、右、上三个面的任何一个面有面积大于 0.09 cm^2（即 0.3 cm×0.3 cm）的石头分布的小生境，因此样地区小生环境类型分为土面、石土面、石侧、石沟、石缝 5 类。据测钎布设位置，整个 1 000 m^2 的样地内微地形以平直形和凹形为主，凸形区域大多为岩石裸露且突出地表，少部分区域有土层覆盖，因此测钎统计平直形 170 颗、凹形 178 颗、凸形 62 颗；区域内小生境主要以土面居多，石沟、石缝、石土面有零星分布，测钎统计中土面 309 颗、石侧 50 颗、石沟 26 颗、石缝 14 颗、石土面 11 颗。运用 SPSS 软件对收集数据进行单因素方差分析，比较分析样地区不同微地形、小生境下土壤侵蚀差异。

3 结果与分析

3.1 坡度与土壤侵蚀

坡度是地形中影响土壤侵蚀的关键因子，坡度与土壤侵蚀密切相关，在一定坡度范围内坡度与土壤侵蚀成正比，当边坡坡度达到土壤侵蚀的一个稳定值的临界值，继续增加坡面土壤侵蚀减少[18-19]。将皆伐迹地样地 410 颗测钎所在不同坡度的土壤侵蚀深度求平均值后作相关性分析（图 1），得出该样地区内坡度与土壤侵蚀呈正比，随坡度的升高土壤侵蚀深度越深，但因岩溶石漠化山地影响土地侵蚀深度的因素十分复杂，如坡面微地形、小生境、及土壤质地、土层厚度、降雨量等诸多因素，所以样地区并未出现土壤侵蚀的临界值，从形成的散点轨迹上看虽有一定的上下波动，但仍呈现直线上升的趋势。通过坡度与土壤侵蚀做单因素方差分析，显著性为 0.002 26，说明两者这间显著相关，由此可见坡度是影响皆伐迹地样地内土壤侵蚀深度的重要因素之一。

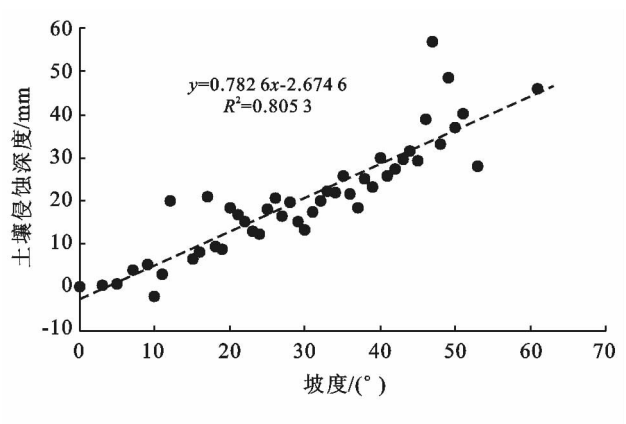


图 1 坡度与土壤侵蚀深度

3.2 微地形与土壤侵蚀

微地形是指小尺度范围的地形形态，日本学者[20]将丘陵地区微地形分为顶坡、上边坡、谷头凹地、下边坡、麓坡、泛滥性阶地和谷床 7 类，本样地区域按坡地地形特点将微地形分为平直形、凹形和凸形。通过对微地形与土壤侵蚀作箱图分析（图 2），得出不同微地形下土壤侵蚀平均深度为凸形＞凹形＞平直形，而主要发生沉积的微地形为凹形和平直形，凸形只有个别区域发生了沉积。通过微地形与土壤侵蚀做单因素方差分析，组间显著性＝0.049，小于 0.05，说明微地形与土壤侵蚀间呈现显著相关，微地形是土壤侵蚀呈现差异性的因素之一。

凸形土壤侵蚀平均深度为 17.02±13.06 mm，最小值为－29.20 mm，最大值为 50.00 mm。凸形 62 颗，其中 57 颗发生了侵蚀，仅 5 颗发生了沉积。样地区凸形多有岩石裸露于地表，有土层覆盖的区域较少，由于失去了高大乔木的树冠截流作用，土壤层受降雨的侵蚀极易发生迁移，土壤侵蚀平均深度明显大于凹形和平直形。平直形土壤侵蚀平均深度为 14.04±14.61 mm，最小值为－39.10 mm，最大值为 59.70 mm。平直形 170 颗，其中 149 颗发生了侵蚀，21 颗发生了沉积。平直形是样地区域仅次于凹形的主要土壤覆盖的区域，土层较凹形平均土壤层薄，由于坡度较缓，土壤平均侵蚀深度小于凸形。凹形土壤侵蚀平均深度为 11.84±14.93 mm，最小值为－45.80 mm，最大值为 65.60 mm；凹形 178 颗，其中 154 颗发生了侵蚀，24 颗发生了沉积。凹形区域是石漠化山地主要的土壤堆积区域，土壤层相对平直形和凸形较厚，坡面草本植物恢复生长最为茂盛，也是皆伐后植被恢复最快的区域，因此受土壤侵蚀的危害较凸形和平直形小。

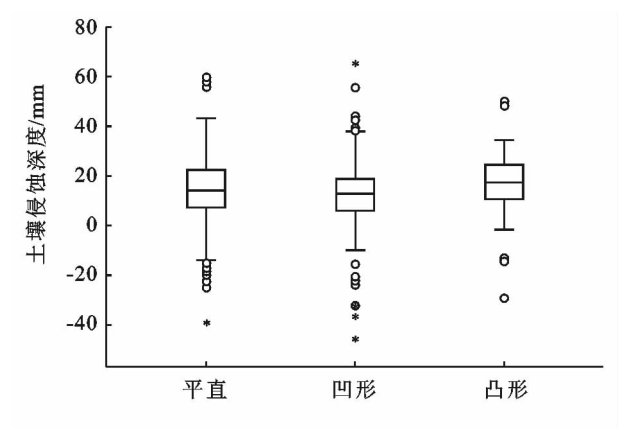


图 2 微地形与土壤侵蚀深度

3.3 小生境与土壤侵蚀

喀斯特地貌小生境类型多样，研究喀斯特皆伐迹地小生境下土壤侵蚀的差异，对水土流失治理中水土保持措施配置、生态植被重建都具有重要意义。土壤

侵蚀是复杂的人文和自然地理过程,受诸多因素的影响,由于侵蚀过程及其复杂,因而土壤侵蚀环境也是十分繁杂[21]。本文通过对小生境与土壤侵蚀深度绘制箱图(图 3),得到不同小生境下土壤侵蚀深度为:石沟>石土面>石侧>土面>石缝。小生境中除石缝外,其它小生境均出现沉积现象。石沟土壤侵蚀平均深度为 20.25±16.49 mm,最大值为 56 mm;石土面土壤侵蚀平均深度为 14.54±19.43 mm,最小值为-17.60 mm,最大值为 58.00 mm。石侧的土壤侵蚀平均深度为 13.57±15.38 mm,最小值为-24.90 mm,最大值为 59.70 mm;土面土壤侵蚀平均深度为 13.23±14.83 mm,最小值为-45.80 mm,最大值为 65.6 mm。石缝土壤侵蚀平均深度为 11.84±9.48 mm,最小值为 2.60 mm,最大值为 33.50 mm。其它最大值和最小值以外的值大概是小动物外出觅食时产生的值。通过单因素方差显著性分析,小生境组间显著性为 0.237,大于 0.05,表明小生境组间无显著相关。而多重比较组间显著相关分析发现,土面和石沟小生境间呈显著相关,显著性为 0.022。

小生境土壤侵蚀平均深度总体上呈现石沟和石土面最深,石测的土壤侵蚀次之,最浅的是石缝。石沟主要是因为在降雨过程中,当降雨达到一定强度时,两侧的石面形成集水面,雨水汇集后沿石沟向下流动,导致石沟地表土壤侵蚀严重;石土面的土壤底层为石面,雨水下渗受阻,在连续降雨后,土体处于过渡饱和状态,导致侵蚀深度较深;石侧主要是因为在石土交界处形成一个雨水下渗带,所以土壤侵蚀深度浅;石缝小生境是喀斯特岩溶石漠化山地土壤良好的聚集地,因地下岩溶管道的存在,区域内多发生土壤随岩溶石缝向下缓慢移动的现象,未出现沉积现象。地表则呈现周边为裸露岩石,石缝处有少许土出露地表,而地下则有 1 m 至数米深度的土层,由于石缝处地表土壤较少,相对于其他小生境的侵蚀深度较浅。

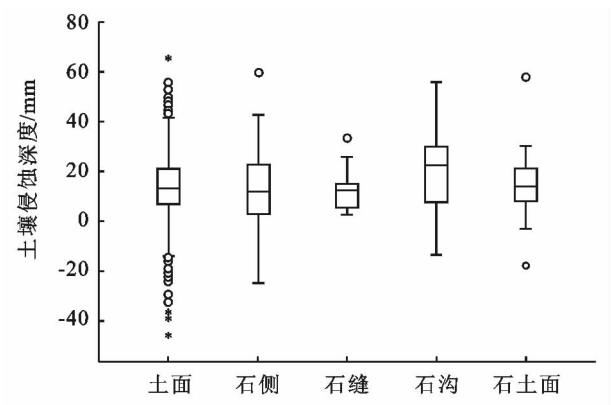


图 3　小生境与土壤侵蚀深度

4　结论

(1) 土壤侵蚀平均深度与山体坡度呈正相关。另由于贵州喀斯特岩溶石漠化山地微地形、小生境较复杂,同时石漠化区山地阻隔作用,土壤侵蚀平均深度虽有一定的上下波动,但仍呈现直线上升的趋势。

(2) 不同微地形土壤侵蚀深度具有显著差异,土壤侵蚀平均深度总体呈现为:凸形>平直形>凹形。

(3) 不同小生境类型间土壤侵蚀呈现明显差异,就土壤侵蚀平均深度而言,总体上呈现石沟和石土面最深,侵蚀最严重,石测次之,最浅的是石缝。因此小生境中石沟和石土面是水土保持防治的关键。

(4) 贵州省喀斯特皆伐迹地地区易受土壤侵蚀的影响造成土壤流失,应及时做好皆伐迹地的生态修复工作,因坡度、微地形及小生境的存在,使皆伐迹地的土壤侵蚀呈现复杂性,因此应据坡度、微地形及小生境与土壤侵蚀的关系,作好不同坡度、不同微地形、不同小生境的差异化生态保护工作,凸形微地形和石沟、石土面小生境是防治的关键。

[参 考 文 献]

[1] 吴发启,张洪江. 土壤侵蚀学[M]. 北京:科学出版社,2012.

[2] Morgan R P C. Soil Erosion and Conservation[M]. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.,2005.

[3] 刘拓,周光辉,但新球,等. 中国岩溶石漠化:现状、成因与防治[M]. 北京:中国林业出版社,2009.

[4] 王明章,况顺达,王伟,等. 岩溶石漠化治理的地学模式研究[M]. 北京:地质出版社,2010.

[5] 满秀玲,刘吉春,李传荣,等. 小兴安岭森林采伐对土壤侵蚀和河流泥沙量的影响[J]. 东北林业大学学报,1997,25(4):35-38.

[6] 赵秀海,范秀华,唐景义,等. 论采伐对迹地的影响[J]. 吉林林学院学报,1993,9(4):1-8.

[7] 赵永泉,孙锡宏,李耀翔,等. 森林采伐对迹地地表径流的影响[J]. 森林工程[J]. 2000,16(3):9-10.

[8] 石燕金,周运超. 石漠化喀斯特皆伐迹地的土壤侵蚀特征[J]. 中国水土保持科学,2018,16(5):114-119.

[9] 张一澜,文安邦,严冬春. 赤水河流域不同土地利用类型土壤侵蚀的^{137}Cs 法研究[J]. 地球与环境,2014,42(2):187-192.

[10] 段文军,李海防,王金叶,等. 漓江上游典型森林植被对降水径流的调节作用[J]. 生态学报,2015,35(3):663-669.

[11] 周耀华. 径流场监测结果在武汉黄陂区水土流失预测中的应用[J]. 水土保持研究,2013,20(6):10-13.

[12] 马述萍,张建军,孟霞. 浅探测钎法在水土流失监测中的运用[J]. 内蒙古水利,2010(5):86-87.

(下转第 53 页)

207,213.
[2] 郭小云,刘志辉,姚俊强,等.天山北坡中小流域输沙量变化及其影响因素:以呼图壁河流域为例[J].水土保持研究,2016,23(1):145-149.
[3] 王昱,连运涛,范严伟,等.黑河流域上游水沙变化特征及成因分析[J].水土保持通报,2018,38(2):1-7.
[4] 刘惠英.赣江上游章水流域水沙变化的驱动力分析[J].长江流域资源与环境,2018,27(3):615-623.
[5] 张晓明,曹文洪,余新晓,等.黄土丘陵沟壑区典型流域径流输沙对土地利用/覆被变化的响应[J].应用生态学报,2009,20(1):121-127.
[6] 余钟波.流域分布式水文学原理及应用[M].北京:科学出版社,2008.
[7] 韩莉,刘素芳,黄民生,等.基于 HSPF 模型的流域水文水质模拟研究进展[J].华东师范大学学报:自然科学版,2015,2015(2):40-47.
[8] Ficklin D L, Luo Yuzhou, Luedeling E, et al. Climate change sensitivity assessment of a highly agricultural watershed using SWAT [J]. Journal of Hydrology, 2009,374(1):16-29.
[9] Liu Z, Tong S T Y. Using HSPF to model the hydrologic and water quality impacts of riparian land-use change in a small watershed [J]. Journal of Environmental Informatics, 2011,17(1):1-14.
[10] Zhou Feng, Xu Youpeng, Chen Ying, et al. Hydrological response to urbanization at different spatio-temporal scales simulated by coupling of CLUE-S and the SWAT model in the Yangtze River Delta region [J]. Journal of Hydrology, 2013,485(485):113-125.
[11] 荣琨,陈兴伟,刘梅冰,等.晋江西溪流域土地利用变化对非点源污染影响的 SWAT 模拟[J].农业环境科学学报,2009,28(7):1488-1493.
[12] 王林,张明旭,陈兴伟.基于 SWAT 模型的晋江西溪流域径流模拟[J].亚热带资源与环境学报,2007,2(1):28-33.
[13] 杨柳.泉州山美水库集水区土地利用与覆被变化的水文响应[D].福建 福州:福建师范大学,2013.
[14] 李燕.基于 HSPF 模型的水文水质过程模拟研究[D].江苏 南京:南京农业大学,2013.
[15] 罗川,李兆富,席庆,等. HSPF 模型水文水质参数敏感性分析[J].农业环境科学学报,2014,33(10):1995-2002.
[16] 杨博,陈莹,陈兴伟,等.基于 PEST 的 HSPF 模型径流模拟优化[J].中国水土保持科学,2018,16(2):9-16.
[17] 汪水前.福建省安溪县水土流失动态监测变化分析及防治建议[J].亚热带水土保持,2014,26(2):35-38.
[18] 林道华.浅谈福建省泉州市山地茶果园水土流失防治对策[J].亚热带水土保持,2014,26(2):25-27.
[19] 陈小英,查轩,陈世发.山地茶园水土流失及生态调控措施研究[J].水土保持研究,2009,16(1):51-54.
[20] 颜沧波.泉州市果茶园土壤侵蚀原因及防治对策[J].亚热带水土保持,1999(3):23-25,52.
[21] 林文娇,陈兴伟.山美水库集水区植被恢复效应的 SWAT 模拟[J].水资源与水工程学报,2008,19(6):81-83.
[22] 唐丽霞.黄土高原清水河流域土地利用/气候变异对径流泥沙的影响[D].北京:北京林业大学,2009.
[23] 谢建华.浅谈福建省中央苏区县水土流失综合治理:以建宁县大南小流域为例[J].亚热带水土保持,2011,23(3):41-44.
[24] 吴彩莲,查轩.福建省土地利用/覆被变化对区域生态环境影响研究[J].水土保持通报,2004,24(6):41-44.
[25] 何绍浪,何小武,李凤英,等.南方红壤区林下水土流失成因及其治理措施[J].中国水土保持,2017(3):16-19.
[26] 周曼.南方红壤区强度开发小流域泥沙来源分析[D].福建 福州:福建农林大学,2018.

(上接第 47 页)

[13] 毕华兴,张建军.适用于测钎法的土壤侵蚀最低模数阈值探讨[J].中国水土保持科学,2016(5):119-122.
[14] 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.
[15] 赵晓丽,张增祥,刘斌,等.基于遥感和 GIS 的全国土壤侵蚀动态监测方法研究[J].水土保持通报,2002,22(4):29-32.
[16] 李智广,杨胜天,高云飞,严慕绥,曾红娟.土壤侵蚀遥感监测方法及其思考[J].中国水土保持科学,2008,6(3):7-12.
[17] 李恩.浅议水土流失监测与调查方法[J].水土保持应用技术,2006(6):19-20.
[18] 席有.坡度影响土壤侵蚀的研究[J].中国水土保持,1993(4):19-21.
[19] 刘青泉,陈力,李家春.坡度对坡面土壤侵蚀的影响分析[J].应用数学和力学,2001,22(5):449-457.
[20] Dai Nagamatsu, Osamu M. Soil disturbance regime in relation to micro-scale landforms and its effects on vegetation structure in a hilly area in Japan[J]. Plant Ecology, 1997,133(2):191-200.
[21] 武文波,姬翠翠,李晓松等.影响土壤水蚀的环境因子分析[J].中国水土保持,2010(5):36-38.