

不同土地利用方式对红壤坡地水土流失的影响

王飞^{1,2}, 陈安磊¹, 彭英湘³, 谢小立¹, 尹春梅¹, 王卫¹

(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, 中国科学院桃源农业生态试验站, 湖南 长沙 410125; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 湖南省环境监测中心站, 湖南 长沙 410014)

摘要: 以红壤坡地长期定位试验(1998—2011年)为研究对象, 研究自然林、草地、农作、油茶林和湿地松 5 种土地利用方式对坡地径流量和泥沙流失量的影响, 以及不同坡地径流量和泥沙流失量的变化趋势。结果表明: 观测年限内 5 种土地利用方式的产流量大小顺序为农作区>油茶林区>湿地松区>草地区>自然林区, 年均产流量分别为 287.4, 124.7, 85.7, 51.2, 21.3 m³/hm²。泥沙流失量大小顺序为农作区>湿地松区>油茶林区>草地区>自然林区, 年均产沙量分别为 117.7, 16.7, 15.3, 6.9, 5.4 kg/hm²。5 种红壤坡地土地利用方式年际径流量都呈现下降趋势, 农作区下降幅度最大(年均 33.8 m³/hm²), 自然林、草地利用方式下降幅度平缓。农作区的泥沙流失量与径流量的规律并不一致, 年际间波动较大, 自然林、草地、油茶林和湿地松 4 种方式在试验后期(2001—2011年)年泥沙流失量较小, 稳定保持在 0~50 kg/hm²。从水土保持角度出发, 红壤坡地采用油茶林和湿地松利用方式, 短期内(5年)水土流失就可降低到较稳定阶段; 采用自然植被恢复或者草地利用方式, 1~2年内水土流失量就降低到较低水平; 农作区径流量虽然随着试验年限的延长呈现显著降低趋势, 但是泥沙的流失风险较大(年际波动较大), 不适宜在坡地耕作。

关键词: 红壤坡地; 土地利用方式; 坡地径流量; 泥沙流失量; 年际变化趋势

中图分类号: S157.1 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2013)01-0022-05

Effects of Red Soil Slope Field Under Different Land-use Patterns on Surface Runoff and Soil Erosion

WANG Fei^{1,2}, CHEN An-lei¹, PENG Ying-xiang³, XIE Xiao-li¹, YIN Chun-mei¹, WANG Wei¹

(1. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Taoyuan Station of Agro-Ecology Research, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan 410125; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Environmental Monitoring Center of Hunan Province, Changsha, Hunan 410014)

Abstract: Based on long-term observation data from 1998 to 2011 in red soil slope field experiment, surface runoff and soil erosion and their variation trends with five land use patterns(natural recuperation, grassland, farmland, sasanqua plantation, slash pine) were investigated. The results showed that the order of runoff was farmland > sasanqua plantation > slash pine > grassland > natural recuperation, with a quantity of 287.4, 124.7, 85.7, 51.2, 21.3 m³/hm², respectively. The order of soil erosion amount was farmland > slash pine > sasanqua plantation > grassland > natural recuperation, with a quantity of 117.7, 16.7, 15.3, 6.9, 5.4 kg/hm², respectively. The surface runoff of all the land uses was trending downward from 1998 to 2011, which decreased quickly by 33.8 m³/hm² per year in farmland use type, while it decreased lightly in natural recuperation and grassland use patterns. The soil erosion in farmland was highly inter-annual variability while in the other four land uses it remained stable at 0 to 50 kg/hm² per year since 2001. To take soil and water conservation into consideration, the red soil slope field was unsuitable for farming for it highly inter-annual variation, although the surface runoff and soil erosion remained decreasing trend from 1998—2011. The land use pattern of natural recuperation and grassland were good management strategies in red soil slope field, for their surface runoff and soil erosion decreased sharply and remained stable in a short time(about 2 years), it took about 5 years for sasanqua plantation and slash pine to reduce surface runoff and soil erosion to a low and stable level, which made both of the patterns appropriate for red soil slope use.

收稿日期: 2012-11-26

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203030); 国家自然科学基金项目(31200339)

作者简介: 王飞(1986—), 女, 硕士研究生, 主要从事坡地水土与养分流失研究。E-mail: wangfei_2521@163.com

通讯作者: 谢小立(1958—), 男, 研究员, 主要从事区域水管理科学研究。E-mail: xlx@isa.ac.cn

Key words: red soil slope field; land use pattern; surface runoff amount; soil erosion amount; interannual variation trend

自从 20 世纪 20 年代 Hugh Bennett 在美国引领了一场水土保持运动后,水土流失问题逐渐受到重视,在我国水土流失已经成为重要的环境问题之一^[1]。水土流失会直接或间接导致土壤肥力下降、土质恶化、生态破坏,进而影响当地居民经济与生活^[2-4]。南方红壤区总面积 118 万 km²,约占国土面积的 12.3%,是我国重要的土地资源,但该区丘陵交错、地形起伏、降雨量多而集中、暴雨强度大等,导致水土流失严重且呈现季节性动态变化^[5-6]。研究表明,不同坡地利用方式和耕作措施对红壤区水土流失的影响不同,农林间作、林果梯田等用地方式利于坡地水土保持^[7-8]。但这些研究多采用单次或短期数据,时间尺度小,笔者通过对已设置 16 年(1995 年至今)的坡地进行长年监测,连续采用 14 年径流数据与 12 年泥沙流失数据,研究不同土地利用方式对地表径流、泥沙与植物残体流失的影响,以及水土流失随年份的变化趋势,旨在为合理利用红壤坡地提供依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验在中国科学院桃源农业生态试验站农田生态系统综合观测试验场进行。该试验场地处湖南省桃源县漳江镇宝洞峪村(111°30'E,28°55'N),位于武陵山区向洞庭湖平原过渡的丘岗地带,海拔 89.0~121.8 m,面积 11.8 hm²,其中有坡地 6.06 hm²,为一典型的自然集雨区。年均气温 16.5℃,年蒸发量 1 190 mm,年降雨量 1 463.3 mm,平均相对湿度 82%,年日照时数 1 531 h,为典型亚热带季风气候。土壤类型为第四纪红土发育的红壤,质地为粉砂质粘壤土。

1.2 研究方法

1995 年秋在试验场选一坡面(南偏东 15°,坡长 62 m,坡度 8°~11°),作为坡地不同经营生态系统长期定位观测试验区,模拟南方典型土地利用模式建成不同经营生态系统小区,每个小区投影面积为 1 000 m²(20 m×50 m),上方及两侧用地上 30 cm,地下 50 cm 的钢筋混凝土板围隔,底线是地下 50 cm 的钢筋混凝土板,外方建导流沟,沟深 10~20 cm,两头向中部倾斜。中部下方建沉沙池(1 m×1 m×1 m)、标准池(3 m×3 m×1 m)等集水测流设施^[9]。选取 5 种土地利用方式作为研究对象,基本情况见表 1。

表 1 5 种坡地利用方式基本情况

处理区	代表垫面	代表用地类型	处理方式
自然林区	自然植被演替	自然植被恢复用地	建场时清除地表植被,之后停止干预,植被自然恢复
草地区	原始利用的自然植被演替	原始利用的自然植被用地	每年 5 月和 11 月将地表植被砍光移出试验区
农作区	耕地利用,季节作物植被	耕地	梯土不撩壕,每年栽种 2 茬旱作物,常规管理
油茶林区	常绿阔叶乔木	经济林用地	梯土撩壕,条植,常规管理
湿地松区	针叶林	木材林地	梯土撩壕,3 m×4 m 栽种,常规管理

注:农作区种植玉米、油菜、红薯、萝卜,两年四熟轮作,每年根据种植作物常规施用混合肥。

降雨量:利用试验场气象园(AMRS-1 气象辐射自动观测系统)的观测数据。**产流降雨量:**产生地表径流的降雨量。**地表径流量:**周年连续径流场实测,记载降雨起止时间,对每一降雨过程(间歇超过 12 h)测量并记载沉沙池中的集水总量。**径流深度:**沉沙池中集水量与观测小区投影面积的比值。**泥沙量:**于径流结束后,放完径流液,取出底部泥沙,烘干称重。**植物残体量:**径流结束后,由降雨引起的植物枝、叶随径流流失至导流沟和沉沙池,收集后烘干称重。**产流降雨率=产流降雨量/降雨量×100。****径流系数=径流深度/降雨量×100。****径流量变异系数=S/X×100,**式中:S 为观测值标准差;X 为观测值平均值。

所有数据用 SAS 8.2 软件进行方差分析(one-way ANOVA)、LSD 多重比较、相关分析,用 Excel 2010 软件作图分析。

2 结果与分析

2.1 区域降雨特征

区域年际降雨动态和月季雨水分布特征是研究地表径流变化的基础。1998—2011 年的 14 年观测时间里,试验场总降雨 20 917.3 mm,产流总降雨量为 17 259.1 mm,总产流率为 81.3%。根据试验区(桃源县)1961—2011 年年均降雨量为 1 463.3 mm,将高于平均降雨量 20%的年份定为多雨年,低于平均降雨量 20%的年份定为少雨年,降雨量为二者之间定为平雨年^[10]。由表 2 可知,1998,1999,2002,2010 年为多雨年;

2001,2007,2009,2011 年为少雨年;2000,2003—2006,2008 年为平雨年。1998—2011 年降雨按月份分布见表 2,方差分析表明,不同月份间降雨量差异显著 ($P < 0.05$),降雨季节分布明显,其中 4—7 月显著高于其他月份,为多雨月,3,8,10 月为平雨月,1,2,9,11,12 月为少雨月。4,5 月主要降雨特征是历时长,6,7,8 月主要特征是雨强大。

2.2 不同坡地利用方式地表产流特征

2.2.1 不同坡地利用方式下径流量年际与月份分布特征 研究表明,1998—2011 年 5 种坡地利用方式间产流差异较大(表 3)。不同坡地利用方式多年平均径流量为 $114.1 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,变幅为从自然林区的 $21.3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 到农作区的 $287.4 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,草地区、油茶林区、湿地松区分别为 $51.2, 124.7, 85.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。5 种利用方式年际径流量差异显著($P < 0.05$),其中农作区最大径流量为 $1\ 250.5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,显著高于其他土地利用类型,分别是自然林区和草地区的 21.2,10.7 倍,是油茶林区和湿地松区的 2.2,4.4 倍。农作区在观测年限内的累计径流量($4\ 024 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)也显著高于其他利用方式,是其他利用方式的 2.3~13.5 倍。从年际间径流的变异系数(表 3)可以看出,农作区的变异系数(116.6%)最大,其次为油茶林区,变异最小的是草地区和自然林区,与土地利用方式下的人类干扰程度规律相一致,可见人类活动干扰越大的土地利用方式其产流对降雨的响应越敏感。

1998—2011 年坡地各月份径流量动态趋势(图 1)表明,各种利用方式最高径流量出现在 5—7 月份,农作区 5—7 月份径流量占全年径流量的 68.6%,油茶林区占 57%,自然林区、草地区、湿地松区 3 个区年内径流量变化相对平缓,分别占全年径流量的 46.8%,49.6% 和 51.4%。方差分析表明,年内各月平均径流量差异显著,其中 5 月和 7 月显著高于 1,9,11,12 月($P < 0.05$)。相关分析表明,1—12 月的径流量与降雨量呈极显著相关($r = 0.88, P < 0.05$)。其中农作区 5 月和 7 月径流量比 6 月大,可能原因是:6 月份是农作物生长时期,雨水容易下渗被吸收利用,从而减小径流量;5 月是 2 种作物交接时期,有半个月为裸地,较大的降雨量容易产生径流;7 月对红薯地翻耕、锄草导致农作区土质松散,强降雨冲刷从而容易产生径流。

2.2.2 不同坡地利用方式下径流系数变化特征 径流系数是径流量占降雨量的比值,是综合反映流域内自然地理要素对降水—径流关系影响的重要参数。从图 2 可看出,在观测年限内自然林区和草地区径流系数年际变化平缓,一直在 1% 以下。油茶林区和湿地松区的变化分为 2 个阶段:第一阶段为 1998—2001 年的快速下降期,径流系数降低明显,2001 与 1998 年相比分别降低了 2.69% 和 1.25%;第二阶段为 2001—2011 年的稳定期,径流系数在该期间变化平缓,一直保持在 1% 以下。农作区径流系数年际波动较大,变化幅度为 0.34%~5.54%。整体来看,坡地径流系数大小为农作区 > 油茶林区 > 湿地松区 > 草地区 > 自然林区。

表 2 1998—2011 年降雨量年际与月份分布

年降雨量		每月累计降雨量	
年份(年)	降雨量/mm	月份(月)	降雨量/mm
1998	2077.4	1	1007.1
1999	1867.3	2	1189.8
2000	1487.5	3	1532.0
2001	1198.2	4	2372.8
2002	2255.5	5	2933.2
2003	1475.4	6	3049.1
2004	1581.6	7	2754.7
2005	1318.3	8	1812.1
2006	1395.6	9	1114.7
2007	1129.8	10	1494.2
2008	1351.0	11	1123.3
2009	1213.2	12	534.3
2010	1701.4		
2011	865.1		

表 3 不同坡地利用方式 1998—2011 年径流量年际变化

处理区	年均径流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	最大径流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	累计径流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	变异 系数/%
自然林区	$21.3 \pm 0.4c$	58.9	297.7	71.1
草地区	$51.2 \pm 0.8bc$	117.3	717.5	60.2
农作区	$287.4 \pm 9.0a$	1250.5	4024.0	116.6
油茶林区	$124.7 \pm 3.6b$	560.3	1745.8	108.5
湿地松区	$85.7 \pm 2.0bc$	286.4	1200.0	85.6

注:表中不同字母表示年均径流量在不同坡地利用方式间有显著性差异($P < 0.05$)。

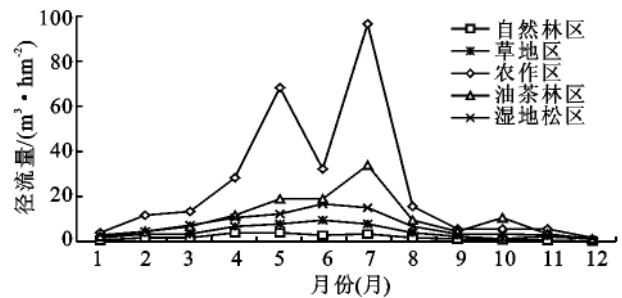


图 1 1998—2011 年不同坡地利用方式月均地表径流量

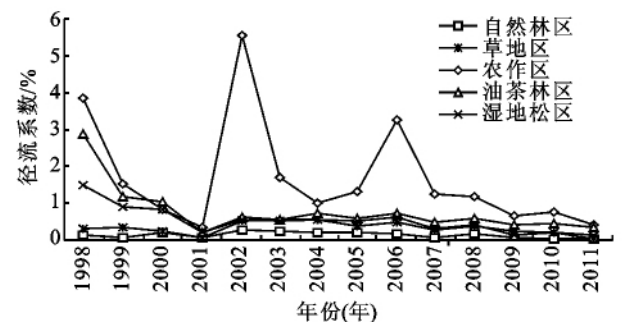


图 2 不同坡地利用方式年际地表径流系数

2.2.3 不同土地利用方式下产流降雨率变化特征 产流降雨率表示产生径流的降雨量与总降雨量的比值,是反映流域内自然地理要素对降水—径流关系影响的另一重要参数。图 3 显示了坡地在不同月份之间的产流降雨率动态变化,草地、农作、油茶林、湿地松 4 种利用方式在月份之间的变化趋势相似,自然林区年均产流率(69.9%)显著小于其他区($P < 0.05$),而 7、8 月自然林区产流降雨率与其他区持平,这主要与降雨特征有关,研究区地处湘北地区,降雨季节分布明显,7、8 月份降雨次数少,但多为暴雨与大雨,自然林区和其他坡地利用方式一样,降雨强度大于其土壤下渗强度,从而产生超渗产流^[11]。其他月份多为中小雨,自然林区由于植被覆盖度大,各层植被对雨水充分利用,雨水入渗量比其他利用方式大,只有在降雨达到一定时间后才会产生蓄满产流。

2.3 不同土地利用方式地表泥沙与植物残体流失

不同土地利用方式所构建的垫面对地表径流过程泥沙流失有不同程度的影响。图 4 显示了各利用方式 2000—2011 年的每 1 hm² 的坡地年均泥沙流失量,方差分析可知,随着对坡地利用程度的增加,泥沙流失量也明显增加。人为干扰最频繁的农作区年均流失量为 117.7 kg/hm²,极显著地高于其他土地利用方式,其次为油茶林区和湿地松区,分别为 15.3、16.7 kg/hm²,自然林区和草地区最小,分别为 5.4、6.9 kg/hm²。从整个坡地泥土流失量来看,每年泥沙流失量主要贡献者是农作区,占总流失量的 72.7%。另外,植物残体流失量也不容忽视(图 5),其流失量及占总流失量的比例因坡地利用方式的不同而异,自然林区和草地区的植物残体流失量都高于泥沙流失量,自然林区流失的植物残体量是泥沙量的 8 倍,草地、油茶林、湿地松 3 种土地利用方式流失的泥沙量与植物残体量大约各占 50%,农作区流失的植物残体量仅占泥沙量的 1/24。5 种土地利用方式流失量排序为农作区 > 自然林区 > 湿地松区 > 油茶林区 > 草地区。

3 讨论

同一质地与地形的土地利用方式对水土流失的影响差异主要来自于植被覆盖与管理方式^[12]。从不同坡地利用方式地表径流量随年份的变化趋势线性回归图(图 6)可看出,5 种利用方式的径流量都随着年份增加呈减小的趋势,其中农作区减小的趋势最明显,年均减小幅度为 33.8 m³/hm²,其次为油茶林区和湿地松区,草地区和自然林区变化最缓慢。5 种土地利用方式径流量随年份增加而减小,一方面与观测期降雨量减小有关,相关分析表明,1998—2011 年径流量与降雨量显著相关($r = 0.87, P < 0.05$);另一方面与不同坡地利用方式的植被覆盖度和土壤扰动程度有关^[12-13]。由于降雨和植被覆盖度与径流量呈正相关,不同植被类型对地表径流影响较大,南方植被恢复快,坡地自然林开始就表现出较强的截留雨水功能,14 年间径流量一直处于最低水平。草地区处理对植被地下根系干扰较小,也保持了较强的雨水截留功能。结构单一比结构复杂的农业模式径流流失严重^[14],农作区开垦前期流失量较大,随着开垦年限的增加,扰动土壤逐渐

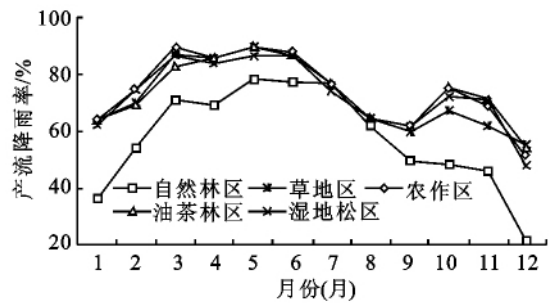
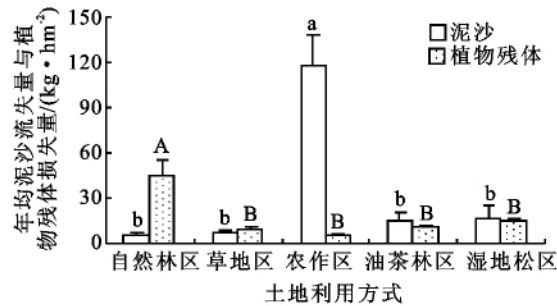
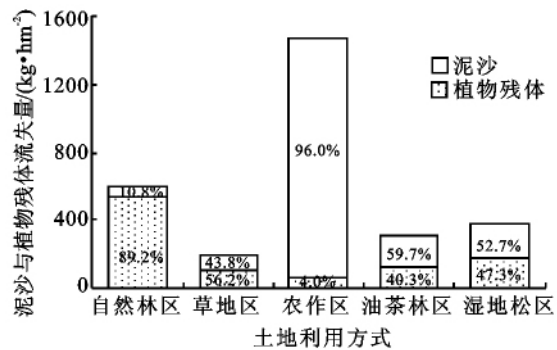


图 3 1998—2011 年不同坡地利用方式月均产流降雨率



注:图中不同大、小写字母分别表示泥沙、植物残体流失量在不同坡地利用方式间有显著性差异($P < 0.05$)。

图 4 2000—2011 年不同坡地利用方式年均泥沙流失量与植物残体流失量



注:图中百分比为泥沙流失量和植物残体流失量分别占总流失量的百分比。

图 5 不同坡地利用方式泥沙与植物残体流失量

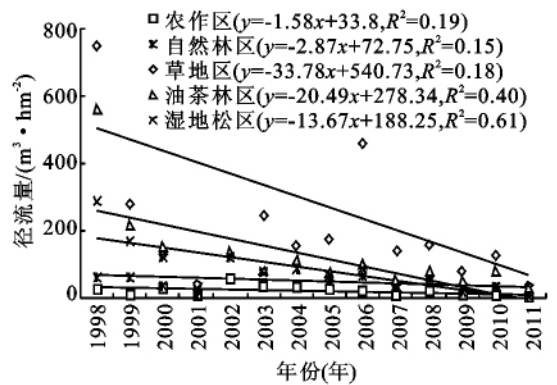


图 6 不同坡地利用方式地表径流量随年份的线性变化趋势

稳定,长期单一的土地利用方式土地覆盖与土壤扰动趋于稳定^[15],流失量也逐渐减小并趋于稳定,但径流量相对其他土地利用方式还是处于较高水平。油茶林和湿地松作为红壤坡地的经济林用地,相对于农田用地试验初期出现减少径流的功能,随着经济林林冠的形成径流量也快速下降。

当人工林覆盖度超过 60% 时,林地拦蓄效益发挥作用,削减土壤侵蚀作用并逐渐稳定,此时径流和泥沙流失都会急剧减少^[16]。相对于农作区,坡地经济林(油茶区和湿地松区)在开垦初期由于土地改造(修梯和撩壕)一定程度上破坏了土壤原有的稳定结构,同时林冠的土地覆盖度较小,泥沙流失量都较高,但随着林木冠层覆盖度的提高,到 2001 年泥沙流失量呈现显著降低趋势,随后保持在 0~50 kg/hm² 范围内(图 7)。对于自然林区和草地区,由于南方的植被恢复较快,长年植被覆盖度较高,同径流规律一致,从试验开始时泥沙流失量基本稳定。农作区由于种植农作物的生长周期性,地表覆盖度变化较大,导致泥沙流失量年际间波动较大,与年际径流量的规律不一致,对单次降雨的雨强和历时反应更为敏感。从径流量和泥沙流失量的年际变化趋势(图 6,7)可以看出,红壤坡地采用自然恢复、草地利用方式 1~2 年内就能达到稳定状态,经济林用地(油茶林、湿地松)约 5 年后可达到稳定,而坡地耕作径流量虽然随着试验年限的延长呈现快速下降的趋势,但泥沙流失的风险依然很大。

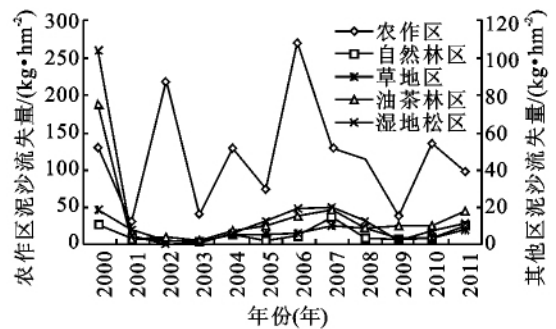


图 7 不同坡地利用方式泥沙流失量的年际变化

4 结论

(1) 5 种土地利用方式产流量大小顺序为农作区>油茶林区>湿地松区>草地区>自然林区,年均产流量分别为 287.4,124.7,85.7,51.2,21.3 m³/hm²。1998—2011 年不同坡地利用方式年际径流量都呈现下降趋势,农作区下降幅度最大(年均 33.8 m³/hm²),自然林、草地区利用方式下降幅度平缓。

(2) 泥沙流失量大小顺序为农作区>湿地松区>油茶林区>草地区>自然林区,而植物残体流失量规律不同,大小顺序为自然林区>湿地松区>油茶林区>草地区>农作区。农作区的泥沙流失量与径流量的规律并不一致,年际间波动较大,自然林、草地、油茶林和湿地松 4 种方式在试验后期(2001—2011 年)年均泥沙流失量较小,稳定保持在 0~50 kg/hm²。

(3) 从水土保持角度出发,红壤坡地采用油茶林和湿地松利用方式,短期内(5 年)水土流失就可降低到较稳定阶段;采用自然植被恢复或者草地利用方式,1~2 年内水土流失量就可降低到较低水平;农作区径流量虽然随着试验年限的延长呈现显著降低趋势,但是泥沙的流失风险较大(年际波动较大),不适宜坡地利用。

参考文献:

- [1] Morgan R P C. Soil erosion and conservation[M]. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd., 2005: 1-5.
- [2] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 47-80.
- [3] Nunes A N, De Almeida A C, Coelho C O A. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal[J]. Applied Geography, 2011, 31(2): 687-699.
- [4] Liu Y, Fu B, Lv Y, et al. Hydrological responses and soil erosion potential of abandoned cropland in the Loess Plateau, China [J]. Geomorphology, 2012, 138(1): 404-414.
- [5] 梁音, 杨轩, 潘贤章, 等. 南方红壤丘陵区水土流失特点及防治对策[J]. 中国水土保持, 2009(12): 50-53.
- [6] 杨洁, 莫明浩, 宋月君, 等. 红壤坡地水土保持植物措施下柑橘林地水文生态效应[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(8): 994-999.
- [7] 付斌, 胡万里, 屈明, 等. 不同农作措施对云南红壤坡耕地径流调控研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 17-20.
- [8] 俞巧钢, 叶静, 马军伟, 等. 山地果园套种绿肥对氮磷径流流失的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 6-10, 20.
- [9] 谢小立, 王凯荣. 湖北红壤坡地雨水过程的水土流失及其影响[J]. 山地学报, 2003, 21(4): 466-472.
- [10] 谢小立, 王凯荣. 红壤坡地雨水产流及其土壤流失的垫面反应[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 37-40.
- [11] 胡实, 谢小立, 王凯荣. 红壤坡地不同土地利用类型地表产流特征[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(4): 24-28.
- [12] 王效科, 欧阳志云, 肖寒, 等. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 14-19.
- [13] 张喜, 薛建辉, 许效天, 等. 黔中喀斯特山地不同森林类型的地表径流及影响因素[J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15(6): 527-537.
- [14] 汪邦稳, 肖胜生, 张光辉, 等. 南方红壤区不同利用土地产流产沙特征试验研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 239-243.
- [15] 马琨, 王兆骞, 陈欣. 不同农业模式下水土流失的生态学特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 187-191.
- [16] 刘斌, 罗全华, 常文哲, 等. 不同林草植被覆盖度的水土保持效益及适宜植被覆盖度[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 68-73.