

福建省长汀县不同土地利用方式降雨产流产沙特征

卜建霞¹, 叶功富², 尤龙辉², 封晓然¹, 李 蝶¹

(1. 福建农林大学 林学院, 福州 350002; 2. 福建省林业科学研究院, 福州 350012)

摘 要:通过布设标准径流小区,定位监测 2014 年长汀水土保持科教园不同土地利用方式的降雨和产流产沙特征,并对其进行了回归分析。结果表明:年径流深大小依次为自然裸露坡面模式(403 mm)>人工播草模式(93.7 mm)>农田管理模式(92 mm)>封禁管理模式(75.2 mm)>马尾松纯林(69.6 mm)>果园管理模式(60.8 mm),年土壤流失量大小依次为自然裸露坡面模式(30.97 t/hm²)>农田管理模式(5.44 t/hm²)>封禁管理模式(2.71 t/hm²)>马尾松纯林(2.43 t/hm²)>果园管理模式(1.6 t/hm²)>人工播草模式(0.47 t/hm²);小雨和中雨是主要的下雨类型,中雨和暴雨是造成水土流失的主要降雨类型;降雨量和 I_{30} 是与产流产沙相关性相对较强的两个降雨因子;自然裸露地和封禁管理模式的径流深—降雨量线性回归拟合效果较好,其他模式均表现为较好的幂函数回归;除了人工播草模式外,其他土地利用模式的径流深—土壤流失量线性回归拟合效果均较好。相较于其他土地利用方式,果园管理模式的水土保持效益较好。

关键词:径流小区;水土保持措施;降雨量;径流深;土壤流失量

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)04-0001-05

Characteristics of Runoff and Sediment Yield of Different Land Use Patterns in Changting County, Fujian Province

BU Jianxia¹, YE Gongfu², YOU Longhui², FENG Xiaoran¹, LI Die¹

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350001, China; 2. Fujian Academy of Forestry Sciences, Fuzhou 350012, China)

Abstract: The characteristics of rainfall and runoff and sediment yield of different land use patterns in Changting Soil and Water Conservation Science Park in 2014 were analyzed by setting the standard runoff plot. The results showed that the annual runoff decreased in the sequence: natural slopes model (403 mm) > artificial grass pattern (93.7 mm) > farmland management mode (92 mm) > banned management model (75.2 mm) > pure forest of *Pinus massoniana* (69.6 mm) > orchard management model (60.8 mm). Annual soil loss decreased in the order: natural bare slopes mode (30.97 t/hm²) > farmland management mode (5.44 t/hm²) > banned management model (2.71 t/hm²) > pure forest of *Pinus massoniana* (2.43 t/hm²) > orchard management mode (1.6 t/hm²) > artificial grass model (0.47 t/hm²). Rain is the main reason for soil erosion, the main types of rainfall causing soil and water losses are rain and torrential rain; rainfall and I_{30} are the key factors relatively correlating with runoff. The relationship between runoff depth and rainfall could be well fitted by linear regression in natural bare land and banned the management mode. The relationship between runoff depth and rainfall could be well described by power function in the other management modes. In addition to the artificial grass model, the relationship between runoff depth and soil loss in other land use patterns could be well fitted by using linear regression. Compared with other land use types, benefit of soil and water conservation was the best in the orchard management mode.

Keywords: runoff plot; soil and water conservation measures; rainfall; runoff depth; soil loss

福建省长汀县地处我国南方丘陵地区,土壤贫瘠,植被稀疏,气候炎热,降雨丰富,且降雨季节性强,

是我国南方红壤丘陵区水土流失严重的地区之一,从 20 世纪 40 年代初,长汀县就被确立为全国水土保持

重点试验区,开始进行水土保持治理工作,但一直收效甚微^[1],直到 20 世纪 80 年代,福建省政府把长汀河田定为全省治理水土流失的试点,2000 年又将其水土流失综合治理列为全省为民办实事项目,经过 20 多年的整治,长汀县的水土流失治理才取得了初步成效^[2]。因此,分析长汀产生水土流失的主要原因,如何有效改善水土流失现状仍然是长汀县长期治理水土流失的主要工作之一。

降雨是我国南方土壤侵蚀的主要驱动力^[3],而土地利用和地表植被变化是引起坡面水土流失的主要因素^[4-5]。目前,多数学者研究的课题以黄土高原和西南喀斯特地貌的水土流失问题为主^[6-8],对南方红壤丘陵区水土流失的研究仍然不足,并且多数研究集中于坡地对土地利用方式产流产沙^[9-10]的影响,而对土地利用方式的不同引起的水土流失、降雨因子—水土流失之间的关系研究仍然较少。因此,本文选择长汀县作为试验区,选取 6 种具有典型代表性的土地利用方式,分析不同土地利用方式对径流深和土壤流失量的影响,并对降雨因子与水土流失进行回归分析,

以期为南方丘陵地区土地利用方式的选择、治理水土流失提供有效的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于福建省长汀县水土保持科教园内(116°27′06″E,25°38′28″N),低山丘陵地貌,土壤类型为红壤,基岩为花岗岩,属于中亚热带季风性湿润气候,年均气温 17~18℃,年均降水量 1 697 mm,年均日照时数 1 900 h,无霜期平均 270 d。

1.2 研究方法

2006 年在研究区内选择坡度 15°,坡向 270°,坡长约 100 m 的坡面,在其中坡位处模拟南方典型土地利用模式建成不同经营生态系统小区,自然裸露地为标准小区,其他 5 个径流小区分别有进行水土保持措施处理,各小区垂直投影面积为 300 m²(20 m×15 m),小区内布设垂直投影面积为 100 m²(20 m×5 m)的标准径流小区,用于监测不同土地利用模式的产流产沙特征,基本情况见表 1。

表 1 6 种坡地利用方式基本情况

类型	小区特征						水土保持措施			
	土壤	土层	有机质	基岩	植被	植被覆	工程措施			生物措施
	类型	厚度/cm	含量/%	种类	种类	盖度/%	类型	规格	种类	苗木数量
自然裸露地(ZR)	红壤	50	0.15	花岗岩	无	0	无	—	无	0
人工播草模式(BC)	红壤	50	0.30	花岗岩	百喜草	90	全坡面整地、撒播	—	播草	0
农田管理模式(NT)	红壤	50	0.18	花岗岩	地瓜	50	整畦	畦宽 70 cm	种植农作物	0
果园管理模式(GY)	红壤	50	0.34	花岗岩	杨梅、芒萁等	70	小平台	1 m×1 m	种果	5
封禁管理模式(FJ)	红壤	50	0.36	花岗岩	马尾松、芒萁等	75	无		封禁	23
马尾松纯林(MWS)	红壤	50	0.20	花岗岩	马尾松、茅草、五节芒等	60	无		马尾松纯林	10

降雨量:将 Onset HOBO RG3-M 自计雨量计架设在离径流小区 50 m 处的空旷地,于 2014 年 1 月 1 日至 2014 年 12 月 31 日期间对降雨进行连续观测记录,仪器自动记录时间间隔设置为 5 min/次,根据降雨记录计算出 I_{30} , $I_{平均}$,降雨历时。地表径流量:测量并记录每个径流小区集流池每场降雨(以间歇超过 12 h 计)的集水总量。泥沙量:径流结束后,将集水池和分流池内的径流液排出,剩余底部泥沙取回实验室内烘干称重。

1.3 数据处理

根据监测数据,选取监测期 2014 年 1 月 1 日至 2014 年 12 月 31 日的数据,径流小区共降雨 120 场,产流降雨 35 场,统计分析不同降雨类型的月降雨量,不同降雨类型对径流小区产流产沙的影响,径流小区产流产沙与降雨量,降雨历时, I_{30} , $I_{平均}$ 指标进行相关性分析,对径流小区降雨量—产流量、产流量—产沙量进行回归分析。通过 Excel 2003 以及 SPSS 20.0 对数据进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 区域降雨特征

通过对降雨的观测记录可以看出,2014 年研究区的年降雨总量为 1 255.5 mm,低于该地多年平均降雨量(1 697 mm),共计降雨 120 场次,其中产流总降雨量为 976.0 mm,产流降雨 35 场次,总产流率为 77.7%。根据降雨月分布特征可以看出,2—8 月份降雨量最多,占全年降雨总量的 92.6%,其余各月份降雨量均较小,说明研究区干湿季节交替明显。

通过表 2 看出小雨和中雨是主要的下雨类型,小雨次数多达 76 次,比中雨多了 46 场,大雨多了 65 场,暴雨多了 73 场,大雨和暴雨的降雨次数虽只有 14 次,仅占年降雨次数的 11.7%,但大雨和暴雨产生的降雨量占全年总降雨量的 43.9%。

2.2 不同土地利用方式的产流产沙量特征

2.2.1 年产流产沙特征 采用径流深表示径流量,土壤流失量表示产沙量。通过表 3 可以看出,6 个径流小区

的年产流次数都是 35 次,总产流量分别为 403.00,93.70,92.00,60.80,77.40,69.60 mm,与 ZR 相比,其他径流小区分别下降了 76.749%,77.171%,84.913%,81.340%,82.730%。6 个径流小区的年产流次数分别为 35,16,32,30,33,30,总土壤流失量分别为 30.97,0.47,5.44,1.6,2.8,2.43 t/hm²,从大到小依次为 ZR>NT>FJ>MWS>GY

>BC,与 ZR 相比,其他 5 种土地利用模式的年产沙量减少了 82.4%~98.5%,BC 的年产沙次数最少,只有 17 次,年总径流深下降幅度最大,达到 98.5%,其中中雨产生的产沙次数从其他的 21 场下降到了 5 场,说明 BC 在减少中雨产生的土壤流失方面效果显著,大雨和暴雨效果不明显;NT 下降幅度最小,为 82.4%。

表 2 降雨量月统计

月份	降雨量/ mm	降雨 场数/场	小雨		中雨		大雨		暴雨	
			降雨量/mm	场数/场	降雨量/mm	场数/场	降雨量/mm	场数/场	降雨量/mm	场数/场
1 月	4	2	4	2						
2 月	78.5	10	29	8	16	1	31.5	1		
3 月	138.5	18	19	11	90	6	29.5	1		
4 月	93	12	32	9	61	3				
5 月	349.5	22	32	9	97	7	162	5	58.5	1
6 月	220	14	14	5	110.5	7	39.5	1	56	1
7 月	120.5	15	39	12	35	2	44.5	1		
8 月	162	14	27	10	37	2	48	1	50	1
9 月	0	0								
10 月	4	1	4	1						
11 月	45.5	9	14.5	7	31	2				
12 月	40	3	7.5	2			32.5	1		
总计	1255.5	120	222	76	477.5	30	387.5	11	164.5	3

注:降雨类型的划分标准是按 1986 年 10 月,农业出版社的《中国农业百科全书》农业气象卷的划分标准:小雨<10 mm/24 h,中雨 10~24.9 mm/24 h,大雨 25~49.9 mm/24 h,暴雨 50~99.9 mm/24 h。

不同的土地利用方式,下垫面因素存在差异,不同的植被覆盖度,地表凋落物层以及整地方式等对径流深和土壤流失量存在显著差异,ZR 缺少植被,土壤结构疏松,雨滴垂直溅落极易形成地表径流,造成水土流失,这与武卫国等^[2]对华西雨屏区 5 种坡地利用方式产流产沙与养分流失特征的研究表明,地表草本层与保存完好的枯落叶层对径流和产沙有很好的拦截作用的研究结论一致;李静苑等^[11]对紫色土地坡面整地和植被调整前后产流产沙对比,认为植被措施和耕作措施结合能有效减少产流产沙的研究结论一致。

2.2.2 不同降雨类型对不同土地利用方式产流产沙特征 通过表 3 可以看出,6 种不同土地利用方式共有 35 场降雨产生了水土流失,中雨 21 场,大雨 11 场,暴雨 3 场,小雨未产生地表径流,其中大雨产生的水土流失最为严重,6 个径流小区大雨产生的径流深占年总径流深分别为 50.84%,58.16%,41.09%,55.59%,45.09%,58.48%,土壤流失量占年总土壤流失量分别为 58.44%,61.70%,60.85%,65.0%,50.36%,62.55%,其次是中雨,径流深分别为 37.15%,28.28%,36.09%,31.74%,38.50%,30.17%,土壤流失量分别为 35.39%,31.91%,23.90%,31.88%,37.5%,29.63%,暴雨因为发生频率低,因此,产流产沙总年总产流产沙相对最少。

表 3 不同土地利用模式不同降雨类型下的水土流失量

土地利用类型	项目	中雨	大雨	暴雨	合计
ZR	产流次数/场	21	11	3	35
	径流深/mm	149.7	204.9	48.4	403
	产沙次数/场	21	11	3	35
	土壤流失量/(t·hm ⁻²)	10.96	18.1	1.91	30.97
BC	产流次数/场	21	11	3	35
	径流深/mm	26.5	54.5	12.7	93.7
	产沙次数/场	5	9	3	17
	土壤流失量/(t·hm ⁻²)	0.15	0.29	0.03	0.47
NT	产流次数/场	21	11	3	35
	径流深/mm	33.2	37.8	21	92
	产沙次数/场	18	11	3	32
	土壤流失量/(t·hm ⁻²)	1.3	3.31	0.83	5.44
GY	产流次数/场	21	11	3	35
	径流深/mm	19.3	33.8	7.7	60.8
	产沙次数/场	16	11	3	30
	土壤流失量/(t·hm ⁻²)	0.51	1.04	0.05	1.6
FJ	产流次数/场	21	11	3	35
	径流深/mm	29.8	34.9	12.7	77.4
	产沙次数/场	19	11	3	33
	土壤流失量/(t·hm ⁻²)	1.05	1.41	0.34	2.8
MWS	产流次数/场	21	11	3	35
	径流深/mm	21	40.7	7.9	69.6
	产沙次数/场	16	11	3	30
	土壤流失量/(t·hm ⁻²)	0.72	1.52	0.19	2.43

2.3 降雨因子对不同土地利用类型产流产沙的相关性分析

径流小区降雨因子—径流量—土壤流失量相关指标 Pearson 相关性分析(表 4)可以看出,不同降雨因子与不同土地利用方式产流产沙的相关程度存在很大的差异,降雨量和 I_{30} 是与产流产沙相关性相对较强的两个降雨因子,降雨历时和 $I_{\text{平均}}$ 均无显著相关性,径流深—降雨因子相关系数最高的是降雨量对 ZR 径流深的影响,达到 0.774(<0.01),显著相关,最低的是降雨历时对 NT 的影响,为 $-0.107(>0.05)$,显著不相关,土壤流失量—降雨因子相关系数最高的是降雨量对 GY 的影响,达到 0.503(<0.01),显著相关,最低的是降雨历时对 ZR 的影响,为 $-0.088(>0.05)$,显著不相关,降雨历时、 $I_{\text{平均}}$ 的相关性不显著,综合四个不同因子的相关系数来看,降雨量是与产流产沙相关性较强的因子。这与杜波等^[12]对喀斯特小流域坡面与流域产流产沙特征得出径流小区降雨量与产流产沙量关系最强,其他因素和产流产沙关系不明显,与本文结论一致。

表 4 不同土地利用方式产流产沙与降雨因子的相关分析结果

项目	径流小区	降雨量	降雨历时	I_{30}	$I_{\text{平均}}$
径流深	ZR	0.774**	0.148	0.605**	-0.060
	BC	0.464**	-0.089	0.508**	0.250
	NT	0.324	-0.107	0.461**	0.215
	GY	0.438**	-0.001	0.393*	0.171
	FJ	0.400*	-0.066	0.477**	0.233
	MWS	0.433**	-0.099	0.400*	0.328
土壤流失量	ZR	0.397*	-0.088	0.361*	0.128
	BC	0.301	0.401*	-0.054	0.001
	NT	0.398	-0.014	0.410*	0.149
	GY	0.503**	0.252	0.107	0.002
	FJ	0.382*	0.045	0.326	0.159
	MWS	0.391*	-0.05	0.199	0.111

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关, * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

2.4 不同土地利用方式降雨量与径流深和土壤流失量的回归分析

对不同土地利用方式的降雨量—径流深作散点图,用线性回归和幂函数进行回归拟合(见表 5),结果显示,降雨量—径流深均呈正相关,ZR 正相关性最强。ZR 和 FJ 的线性回归拟合效果优于幂函数,其他模式均表现较好的幂函数回归。ZR 的线性回归和幂函数回归可决系数 r^2 均较大,分别为 0.600, 0.458,而 NT 的线性回归和幂函数回归可决系数 r^2 均较小,分别为 0.105,0.111。这与田日昌等^[13]对南方红壤坡地的柑橘园、茶园等用地类型中降雨量—径

流深的回归拟合研究结论一致,与陈月红等^[14]和曾立雄等^[15]分别对黄土高原吕二沟流域和三峡库区流域不同退耕还林模式的研究结果降雨量—径流深之间呈指数函数关系不一致,这种结果的差异可能是由于南方的土壤粘性大,渗透性差,因而早期产流量大,而黄土高原吕二沟流域和三峡库区流域的土壤沙粒含量较高,渗透性好,降雨早期不易形成地表径流。

表 5 不同土地利用方式降雨量与径流深的相关回归方程

土地利用方式	回归方程	Sig.	r^2
ZR	$y=0.387x+0.695$	0.000	0.600
	$y=0.339x^{1.031}$	0.000	0.485
BC	$y=0.103x-0.200$	0.004	0.215
	$y=0.025x^{1.292}$	0.000	0.336
NT	$y=0.085x+0.252$	0.054	0.105
	$y=0.079x^{0.845}$	0.047	0.111
GY	$y=0.054x+0.226$	0.008	0.192
	$y=0.035x^{1.088}$	0.000	0.305
FJ	$y=0.060x+0.513$	0.016	0.160
	$y=0.140x^{0.714}$	0.049	0.109
MWS	$y=0.062x+0.288$	0.013	0.174
	$y=0.039x^{1.084}$	0.001	0.280

对不同土地利用方式径流深—土壤流失量进行线性回归(见表 6),结果表明,除了 BC 外,其他土地利用模式的拟合效果均较好。其中 MWS 的回归可决系数 r^2 最大,达到 0.581,GY 最小,为 0.401。总之,6 种不同土地利用方式均呈不同程度的正相关性,但总体相关性偏低,这与周璟等^[16]对湘西北小流域坡面尺度地表径流与侵蚀产沙特征及其影响因素的研究,拟合得出径流深—土壤流失量呈幂函数关系不一致,因为产流产沙之间的关系受到所在径流小区植被群落特征、小区的地形因素以及人为干扰等多种因素的综合作用。结果看出,人工播草模式($r^2=0.084$)和果园管理模式($r^2=0.255$)两者之间的相互影响较弱,受植被覆盖度季节差异大、人为干扰影响强等因素综合影响。

表 6 不同径流小区径流深与土壤流失量之间线性回归分析

径流小区	回归方程	Sig.	r^2
ZR	$y=0.069x+0.083$	0.000	0.401
BC	$y=0.002x+0.007$	0.085	0.084
NT	$y=0.053x+0.017$	0.000	0.549
GY	$y=0.006x+0.034$	0.038	0.255
FJ	$y=0.031x+0.010$	0.000	0.578
MWS	$y=0.030x+0.009$	0.000	0.581

3 讨论

本研究表明,在其他条件相同的情况下,6 种不同土地利用方式之间的径流深和土壤流失量差异显

著,说明不同植物水土保持效果存在显著差异,就该地区目前6种不同模式而言,GY减流减沙效果最优,ZR最差,这与地表植被的郁闭度、凋落物厚度、土壤结构等有很大的关系。6种不同土地利用方式降雨量—径流深和径流深—土壤流失量之间的回归分析可看出,整体相关性偏低,还存在NT的降雨量—径流深和BC的径流深—土壤流失量呈显著不相关(>0.05),可能原因是植物有生长周期,降雨量有季节变化,两者的变化趋势并不完全一致,NT种植地瓜,5—9月正是地瓜长枝的时候,此时正是降雨量的高峰期,但地瓜较高的植被覆盖度会截拦雨水,减少流失,BC在初春的时候播种,夏季生长繁盛,且草本植物根系发达,强降雨的时候也能很好的保持水土,但是,草本植物更新快,进入秋冬季凋零,需要第二年才能再次保持水土,季节性明显,从长远角度来看不利于水土保持。本研究也存在一定问题,缺少林草混交模式的径流小区,今后的研究中可加入混交模式进行比较,能够更全面的反映不同土地利用方式对水土保持的效果,进一步揭示不同土地利用方式下产流产沙机理。

综上分析,果园管理模式是七个种植模式中最适合该小流域的模式,可以在该区继续观察和试验,并开始试点推广。

4 结论

(1) 年径流深大小依次为 $ZR(403\text{ mm}) > BC(93.7\text{ mm}) > NT(92\text{ mm}) > FJ(75.2\text{ mm}) > MWS(69.6\text{ mm}) > GY(60.8\text{ mm})$, 年土壤流失量大小依次为 $ZR(30.97\text{ t/hm}^2) > NT(5.44\text{ t/hm}^2) > FJ(2.71\text{ t/hm}^2) > MWS(2.43\text{ t/hm}^2) > GY(1.6\text{ t/hm}^2) > BC(0.47\text{ t/hm}^2)$ 。

(2) 小雨和中雨是主要的下雨类型,中雨和暴雨时造成水土流失的主要降雨类型;降雨量和 I_{30} 是与产流产沙相关性相对较强的两个降雨因子。自然裸露地和封禁管理模式的径流深—降雨量线性回归拟合效果较好,其他模式均表现较好的幂函数回归;除了人工播草模式外,其他土地利用模式的径流深—土壤流失量线性回归拟合效果均较好。

(3) 总之,植被在涵养水源,保持水土方面存在非常重要的作用,能有效的控制径流,减少土壤流失,保持水土,产生生态效益。

参考文献:

- [1] 武国胜,林惠花,朱鹤健,等. 典型红壤侵蚀景观的时空变化:以福建长汀为例[J]. 应用生态学报,2011,22(7):1825-1832.
- [2] 徐涵秋,何慧,黄绍霖. 福建省长汀县河田水土流失区植被覆盖度变化及其热环境效应[J]. 生态学报,2013,33(10):2954-2963.
- [3] 江森华,谢锦升,王维明,等. 闽北不同土地利用方式与不同降雨强度对水土流失的影响[J]. 中国水土保持科学,2012,10(4):84-89.
- [4] 武卫国,胡庭兴,唐天云,等. 华西雨屏区5种坡地利用方式产流产沙与养分流失特征[J]. 水土保持学报,2008,91(4):38-42.
- [5] Smets T, Poesen J, Knapen A. Spatial scale effects on the effectiveness of organic mulches in reducing soil erosion by water[J]. Earth-Science Reviews, 2008,89(1/2):1-12.
- [6] 张文源,王百田,杨光徽,等. 喀斯特黄壤区侵蚀性降雨及产沙特征分析[J]. 生态环境学报,2014,23(11):1776-1782.
- [7] 张兴奇,顾礼彬,张科利,等. 坡度对黔西北地区坡面产流产沙的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(4):18-22.
- [8] 方海燕,蔡强国,李秋艳. 黄土丘陵沟壑区坡向对产流产沙影响的研究[J]. 中国水土保持,2011(5):39-42.
- [9] 吕玉娟,彭新华,高磊,等. 红壤丘陵岗地区坡地产流产沙特征及影响因素研究[J]. 水土保持学报,2014,28(6):19-23.
- [10] 江森华. 闽北裸露坡地水土流失与降雨量的关系研究[J]. 梧州学院学报,2010,20(1):7-11.
- [11] 李静苑,蒲晓君,郑江坤,等. 整地与植被调整对紫色土区坡面产流产沙的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(3):81-85.
- [12] 杜波,唐丽霞,潘佑静,等. 喀斯特小流域坡面与流域降雨产流产沙特征分析[J]. 水土保持研究,2017,24(1):1-6.
- [13] 田日昌,陈洪松,王克林,等. 红壤坡地不同覆被类型地表径流对降水特征的响应[J]. 自然资源学报,2009,24(6):1058-1068.
- [14] 陈月红,余新晓,谢崇宝. 黄土高原吕二沟流域土地利用及降雨强度对径流泥沙影响初探[J]. 中国水土保持科学,2009,7(1):8-12.
- [15] 曾立雄,肖文发,黄志霖,等. 三峡库区不同退耕还林模式水土流失特征及其影响因素[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(1):146-152.
- [16] 周璟,张旭东,何丹,等. 湘西北小流域坡面尺度地表径流与侵蚀产沙特征及其影响因素[J]. 水土保持学报,2010,24(3):18-22.