

玉溪市尖山河小流域侵蚀性降雨的特征

林春蕾¹, 王克勤¹, 陈若君², 张继辉¹, 张伯浩¹, 卢锦钊¹

(1. 西南林业大学 生态与水土保持学院, 云南 昆明 650000; 2. 重庆大地建设监理有限责任公司, 云南 昆明 650000)

摘要: [目的] 分析侵蚀性降雨特征及其与产沙之间的关系, 为水土保持生态建设提供参考依据。[方法] 基于尖山河小流域降雨资料和径流小区监测资料, 选取 2014—2016 年的降雨历时、降雨量、平均雨强、最大 30 min 雨强和最大 60 min 雨强 5 个指标, 分析不同降雨量级别和不同降雨强度等级下的降雨场次、侵蚀性降雨量、侵蚀性降雨频率、各侵蚀性降雨特征指标与产沙的相关性。[结果] ①从 3 a 的降雨情况来看, 大体变化类似正态分布。研究区的降雨主要集中于 5—10 月, 汛期在 9 月; 从 10 月开始, 降雨量逐渐减少, 而从季节分布来看, 降雨集中在夏秋两季, 干湿季节明显。这一规律与大陆性季风气候特点有关。②玉米地和烤烟地径流小区的平均产沙模数均显著高于次生林、人工林地和灌草地径流小区。③在一定降雨强度范围内(0~5 mm/h), 次生林径流小区的产沙量与降雨量和最大 60 min 雨强呈显著正相关关系, 烤烟地径流小区的产沙量与降雨量呈显著相关关系。[结论] ①降雨特征与大陆性季风气候相吻合, 集中在夏秋两季, 呈正态分布; ②覆盖度不同的土地利用方式在拦截泥沙和径流等方面存在很大差异, 耕作方式和农作物对土壤流失也有不同程度的影响。

关键词: 土壤侵蚀; 侵蚀性降雨特征; 产沙; 尖山河小流域; 玉溪

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)01-0235-06

中图分类号: S157.1

文献参数: 林春蕾, 王克勤, 陈若君, 等. 玉溪市尖山河小流域侵蚀性降雨的特征[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 235-240. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.041. Lin Chunlei, Wang Keqing, Chen Ruojun, et al. Characteristics of erosive rainfall in Jianshan river watershed of Yuxi City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 235-240.

Characteristics of Erosive Rainfall in Jianshan River Watershed of Yuxi City

LIN Chunlei¹, WANG Keqing¹, CHEN Ruojun²,
ZHANG Jihui¹, ZHANG Bohao¹, LU Jinzhao¹

(1. College of Ecology and Soil and Water Conservation, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650000, China; 2. Chongqing Dadi Construction Supervision Limited Liability Company, Kunming, Yunnan 650000, China)

Abstract: [Objective] To analyze the characteristics of erosive rainfall and its relationship with sediment production in order provide a basis for soil and water conservation and ecological improvement. [Methods] Based on rainfall data of Jianshan river watershed and monitoring data of runoff plot from 2014 to 2016, we selected rainfall duration, rainfall, average rainfall intensity, the maximum rainfall intensity within 30 minutes and 60 minutes to analyze rainfall events, the amount and frequency of erosive rainfall under different level of rainfall and rainfall intensity, and then we analyzed the relationships between sediment yield and various erosive rainfall indexes. [Results] ① Three years data showed that monthly change of rainfall generally conformed to Gaussian distribution and the rainfall in research area was mainly concentrated in May, June, Junly, August, September and October. The flooding season was in September. After October, the rainfall gradually decreased. In terms of the seasonal distribution, the rainfall was mainly concentrated in summer and autumn, and wet and dry season was clear. This pattern relates to continental monsoon climate. ② The mean sediment yield of corn field and tobacco field runoff plot was significantly higher than that in

收稿日期: 2017-08-06

修回日期: 2017-09-19

资助项目: 国家自然科学基金项目“微区域集水系统控制云南山地农业面源污染的机理研究”(30660037); 云南省高校优势特色重点学科(生态学)建设项目

第一作者: 林春蕾(1993—), 女(汉族), 云南省昭通市人, 硕士研究生。研究方向为农业生态工程。E-mail: 504373478@qq.com。

通讯作者: 王克勤(1964—), 男(汉族), 甘肃省庄浪县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事山区小流域环境综合治理的理论与技术研究。E-mail: wangkeqin7389@sina.com。

secondary forest, artificial forest and shrub-grass land runoff plot. ③ Within a certain range of rainfall intensity (0~5 mm/h), the sediment yield and rainfall of secondary forest runoff plots showed a significantly positive correlation with rainfall and I_{60} , and sediment yield of tobacco field runoff plots had a significantly correlation with rainfall. [Conclusion] ① The characteristics of rainfall is coincident with continental monsoon climate, with rainfall concentrated in summer and autumn and Gaussian distribution; ② The land use with different coverage produced big differences in intercepting sediment and runoff. Tillage methods and crop species also have different effects on soil loss.

Keywords: soil erosion; characteristics of erosive rainfall; sediment yield; Jianshan river watershed; Yuxi City

玉溪抚仙湖是中国最大的深水型贫营养淡水湖泊,相应湖容水量 $2.06 \times 10^{10} \text{ m}^3$,占云南省 9 大高原湖泊总蓄水量的 72.8%^[1]。其淡水资源是玉溪人民的灌溉、工业用水、生活用水以及工业用水等的主要源泉,并且抚仙湖的优美环境给玉溪人民带来了宝贵的旅游资源,其丰富的渔业资源和旅游资源是当地人民的收入来源之一。但是随着沿湖经济的快速发展,抚仙湖的营养状态明显上升,水质状况呈现下降趋势,湖泊的污染主要来自流域人类活动产生的含氮、磷等的污染物,尤其是尖山河流域,在暴雨时产生的污染物超标情况比较严重^[1-3]。

引起水土流失的因素有人为因素和自然因素,自然因素是水土流失发生的先决条件。自然因素又包括下垫面条件和气候因子,其中降雨是土壤侵蚀的重要影响因子^[4]。降雨的各特征因子也不同程度的影响土壤侵蚀,如降雨量、降雨历时、平均降雨强度、最大 30 min 雨强等。而对于不同土地利用方式下降雨因素与土壤侵蚀的关系,前人的研究主要局限于北方丘陵沟壑区、黄土高原区^[5-6],红壤土区的抚仙湖流域的研究较少。本文拟研究不同雨量级别和不同雨强级别下的侵蚀性降雨特征与产沙关系,以期揭示土壤侵蚀规律,为西南岩溶区的水土流失综合治理提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于云南省玉溪市澄江县尖山河小流域内,位于北纬 $24^{\circ}32'00''$ — $24^{\circ}37'38''$,东经 $102^{\circ}47'21''$ — $102^{\circ}52'02''$ 。北接龙街镇广龙村委会,南接禄充管委会,东临抚仙湖,西接晋宁县。最高海拔在流域北部,为 2 347.4 m,最低海拔在尖山河入抚仙湖的入口处,为 1 722 m,相对高差 625.4 m。监测点的监测设施主要布设在流域的下游。流域地处低纬度高原,土壤主要是红紫泥土和红壤,红紫泥土主要分布在尖山大河上游河道顺流左岸方向。多年平均降雨量 1 050 mm,雨季为 5 月下旬至 10 月下旬,降雨量占全年总降雨量的 75%,旱季为 11 月上旬至次年 5 月中旬,

降雨量占全年降雨量的 25%。暴雨基本出现在雨季。

1.2 研究方法

1.2.1 试验区布置 根据水土保持措施类型和项目区自然环境条件,共设坡耕地(2 个)、云南松天然次生林、灌草丛、人工幼林和经济林共 6 个标准径流小区(表 1)。

表 1 试验小区布置

小区编号	土地利用类型	坡度/(°)
2 [#]	次生林	24.62
3 [#]	玉米地	18.58
4 [#]	人工林地	18.58
5 [#]	灌草地	20.84
6 [#]	烤烟地	18.58

1.2.2 数据获取和研究方法

(1) 降雨量资料。采用自记雨量计和人工观测结合观测降雨量,在径流小区附近安置自记雨量计(型号:JDZ-1,重庆水问仪器厂)一个,观测降雨量。同时同地安装标准雨量筒一个,用于校对自己记雨量计。将雨量计中获取的资料,以 6 h 为间隔划分次降雨。利用 RainRecordSetup 1.06.exe 软件分析出次降雨量、降雨历时、降雨强度、 I_{30} 、 I_{60} 等降雨特征因子。

(2) 产沙量的获取。泥沙含量采用 Model 711 悬移质泥沙测定仪测量,在降雨后小区产流时及时进行测定。

2 结果与分析

2.1 次降雨量的年变化特征

由图 1 和表 2 可知,尖山河小流域 3 a 共降雨 371 场,2014 年降雨总量为 834.9 mm,侵蚀性降雨量 524.8 mm,占全年降雨量的 62.86%。2015 年的降雨总量是 838.4 mm,侵蚀性降雨量为 306.8 mm,占全年降雨量的 36.59%。2016 年总降雨量 1035.8 mm,侵蚀性降雨量 742.2 mm,占全年降雨量的 71.65%。

根据月变化特征图 1 可以看出,从年内的降雨变

化看,3 a 中的 2 月均无降雨事件发生,2014 年降雨主要集中于 5—9 月,3,4,11 和 12 月基本没有降雨,1 和 2 月无降雨事件,大体变化趋势类似正态分布,6 月降雨量达最大。2015 年的降雨从 1 月开始,3 月无降雨事件,4 月的降雨量是全年最小的,全年降雨都很频繁,8 月降雨量达到全年的最大值。2016 年的降雨主要集中于 5—11 月,9 月的降雨量达到全年最大。从年际变化来看,每年的 4 月降雨量差异最小,9 月的降雨量年际变化幅度较大;就季节变化来看,3 a 的降雨量集中于夏秋两季。

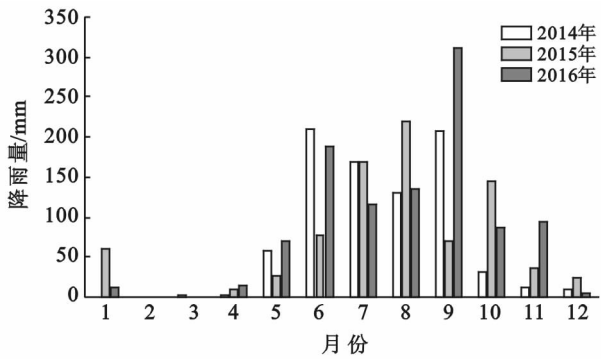


图 1 不同年限的降雨量年变化

2.2 侵蚀性降雨量等级划分

2.2.1 不同降雨量级别的降雨事件分析 如表 2 所示,将尖山河小流域 3 a 的降雨量数据划分为 7 个降雨量等级,分别为 $H < 5 \text{ mm}$, $5 \text{ mm} \leq H < 10 \text{ mm}$, $10 \text{ mm} \leq H < 15 \text{ mm}$, $15 \text{ mm} \leq H < 25 \text{ mm}$, $25 \text{ mm} \leq H < 50 \text{ mm}$, $50 \text{ mm} \leq H < 100 \text{ mm}$ 和 $100 \text{ mm} \leq H < 150 \text{ mm}$ 。3 a 的降雨中,2# 径流小区共侵蚀 53 次,侵蚀性降雨共 1 424.2 mm,3# 径流小区共侵蚀 58 次,侵蚀性降雨共 1 529.2 mm,4# 径流小区共侵蚀 32 次,侵蚀性降雨为 1 047.2 mm,5# 径流小区侵蚀 43 次,侵蚀性降雨 1 356.8 mm,5# 径流小区侵蚀 28 次,侵蚀性降雨 620.4 mm。

侵蚀性降雨次数随着降雨量级别的增加,出现跳跃式变化。当降雨量小于 50 mm 时,降雨量级别与侵蚀性降雨次数和侵蚀性降雨量呈正相关关系,随着降雨量级别的增加,降雨场次减少,但侵蚀性降雨次数增多,造成一次严重土壤侵蚀的降雨为一次短历时的大暴雨。当降雨量大于 50 mm 时,侵蚀性降雨次数随着降雨量级别增加而减少,这一趋势与降雨特征有关,但是大于 50 mm 的降雨引起土壤侵蚀的几率几乎是百分之百。对于 2#, 3#, 4# 和 5# 径流小区而言,对土壤侵蚀性贡献最大的降雨量级别为 15~25 和 25~50 mm,4 个径流小区的侵蚀性降雨场次分别

是 26, 28, 16 和 23, 分别占总的侵蚀性降雨场次的 49.06%, 44.83%, 46.88% 和 53.49%。而对于 6# 径流小区而言,当降雨量大于 10 mm 便开始引起严重的土壤侵蚀。

表 2 不同降雨量等级的侵蚀性降雨的分析

土地利用方式	降雨量级别/mm	侵蚀性降雨场/次	占总的侵蚀性降雨场次比例/%	侵蚀性降雨量/mm	占总的侵蚀性降雨量比例/%
次生林	0~5	5	9.43	20.8	1.46
	5~10	7	13.21	54.2	3.81
	10~15	8	15.09	105.8	7.43
	15~25	13	24.53	259.2	18.20
	25~50	13	24.53	458	32.16
	50~100	6	11.32	405.6	28.48
	100~150	1	1.89	120.6	8.47
玉米地	0~5	5	8.62	21.4	1.40
	5~10	9	15.52	66	4.32
	10~15	10	17.24	130.2	8.51
	15~25	12	20.69	241.8	15.81
	25~50	14	24.14	483.2	31.60
	50~100	7	12.07	466	30.47
	100~150	1	1.72	120.6	7.89
人工林地	0~5	3	9.38	13	1.24
	5~10	3	9.38	23.4	2.23
	10~15	4	12.50	48.4	4.62
	15~25	5	15.63	98.2	9.38
	25~50	10	31.25	338	32.28
	50~100	6	18.75	405.6	38.73
	100~150	1	3.13	120.6	11.52
灌草地	0~5	3	6.98	13	0.96
	5~10	4	9.30	29.2	2.15
	10~15	5	11.63	63.2	4.66
	15~25	9	20.93	181.6	13.38
	25~50	14	32.56	483.2	35.61
	50~100	7	16.28	466	34.35
	100~150	1	2.33	120.6	8.89
烤烟地	0~5	5	17.86	21.6	3.48
	5~10	3	10.71	23.4	3.77
	10~15	7	25.00	92.2	14.86
	15~25	7	25.00	141.2	22.76
	25~50	2	7.14	74.2	11.96
	50~100	4	14.29	267.8	43.17
	100~150	0	0	0	0

2.2.2 不同降雨量级别的产沙量变化 影响坡面产沙的主要因素是下垫面和降雨,而降雨则是产沙的主要来源。如图 2 所示,从总体上来看,玉米地和烤烟

地径流小区的平均产沙模数均显著高于次生林、人工林地和灌草地径流小区。当降雨量小于 50 mm 时, 次要和灌草地径流小区的产沙量变化幅度不大, 而烤烟地径流小区的平均产沙模数随降雨量级别的增加而增大, 玉米地径流小区的平均产沙模数大致符合正态分布, 随着降雨量级别的变化, 人工林地径流小区的平均产沙模数呈现不稳定变化规律, 但随降雨量的增大, 平均产沙模数呈现增大趋势。综上所述, 对于坡耕地而言, 大于 10 mm 的降雨会引起严重土壤侵蚀, 而大于 50 mm 的降雨对灌草地和人工林的土壤侵蚀有显著影响, 次生林有较好的水土保持效果。

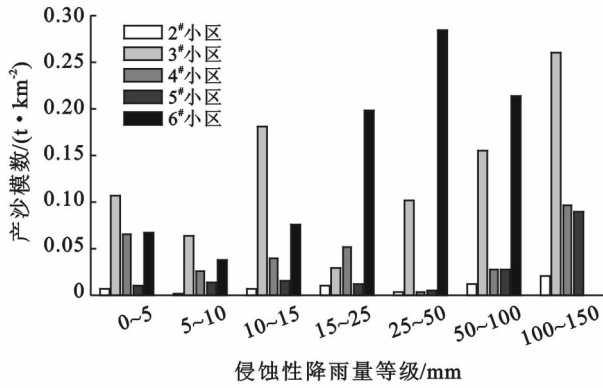


图 2 研究区不同降雨量级别的产沙量变化

从图 2 可知, 在同一降雨, 同一坡度条件下, 影响土壤侵蚀性的因素主要是地表覆盖类型, 不同的地表覆盖对拦截雨水和入渗存在很大的差异性, 这样必然导致土壤侵蚀的差异性, 顺坡种植烤烟最容易引起土壤侵蚀, 其次是玉米坡耕地, 顺坡种植不宜拦截雨水, 但对泥沙的冲刷作用不是太大。

2.3 侵蚀性降雨强度等级划分

将尖山河小流域 3 a 的降雨量数据划分为 7 个降雨强度等级, 分别为 0~5, 5, 10~20, 20~40, 40~60, 60~80 和 80~1 200 mm/h。

由表 3 可知, 随着降雨强度等级的增加, 5 个径流小区的侵蚀性降雨场次均呈逐渐减少趋势, 降雨强度越大, 发生土壤侵蚀的频率就越低, 但是引起的土壤侵蚀更为严重。雨强级别为 0~5 mm/h 的侵蚀性降雨次数最多, 5 个径流小区的侵蚀性次数分别是 42, 47, 24, 34 和 22, 分别占总的侵蚀性降雨场次的 79.2%, 81.03%, 75%, 79.1% 和 78.6%。易发生土壤侵蚀的雨强级别是降雨强度大于 20 mm/h, 20~40 的降雨总发生 4 场, 其中 1 场导致土壤侵蚀, 历时仅 1 min, 侵蚀性降雨量为 18.6 mm。不同降雨强度级别的产沙量变化详见图 3。

表 3 不同降雨强度等级的侵蚀性降雨的分析

土地利用方式	降雨强度级别/ (mm·h ⁻¹)	侵蚀性降雨场/次	占总的侵蚀性降雨场次比例/%	侵蚀性降雨量/mm	占总的侵蚀性降雨量比例/%
次生林	0~5	42	79.20	1 081.0	75.90
	5~10	6	11.30	244.0	17.13
	10~20	3	5.70	66.0	4.63
	20~40	1	1.90	14.6	1.03
	40~60	0	0	0	0
	60~80	0	0	0	0
	80~1200	1	1.90	18.6	1.31
玉米地	0~5	47	81.03	1 195.4	78.17
	5~10	6	10.34	244	15.96
	10~20	3	5.17	56.6	3.70
	20~40	1	1.72	14.6	0.95
	40~60	0	0	0	0
	60~80	0	0	0	0
	80~1200	1	1.72	18.6	1.22
人工林地	0~5	24	75.00	762.0	72.77
	5~10	5	15.63	222.0	21.20
	10~20	2	6.25	44.6	4.26
	20~40	0	0	0	0
	40~60	0	0	0	0
	60~80	0	0	0	0
	80~1200	1	3.13	18.6	1.78
灌草地	0~5	34	79.10	1049.6	77.36
	5~10	6	14.00	244.0	17.98
	10~20	2	4.70	44.6	3.29
	20~40	0	0	0	0
	40~60	0	0	0	0
	60~80	0	0	0	0
	80~1200	1	2.30	18.6	1.37
烤烟地	0~5	22	78.60	426.0	68.67
	5~10	2	7.10	116.6	18.79
	10~20	2	7.10	44.6	7.19
	20~40	1	3.60	14.6	2.35
	40~60	0	0	0	0
	60~80	0	0	0	0
	80~1200	1	3.60	18.6	3.00

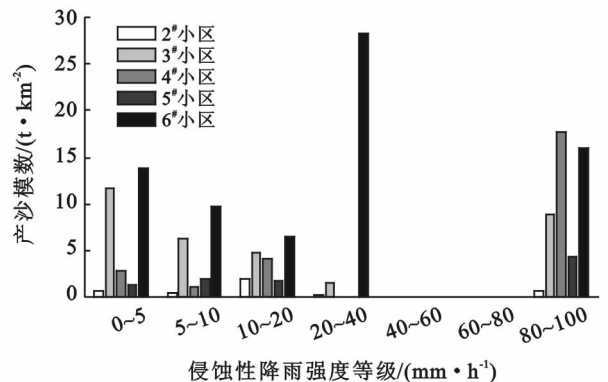


图 3 研究区不同降雨强度级别的产沙量变化

从图 3 可以明显的看出,土地利用类型和平均雨强对产沙模数的影响显著,随着侵蚀性降雨强度等级的变化,3[#] 和 6[#] 径流小区的平均产沙模数呈现先减少后增加的趋势,符合二次函数的性质,而研究区的降雨类型多为长历时的小型降雨,极少部分高强度的大暴雨。4[#] 径流小区随着平均雨强的增加而增大,2[#] 和 5[#] 径流小区的平均产沙模数在雨强的变化下无显著差异。

由此可见,极少的大暴雨引起的土壤侵蚀量高于频繁的小型降雨引起的土壤侵蚀,在制定水土流失防治措施要注意大暴雨对土壤侵蚀的影响。由于坡耕地土壤扰动比较大,因此在不同雨强级别下的产沙量均高于其他土地利用方式。

2.4 产沙与侵蚀性降雨特征指标的相关性分析

利用 SPSS 分析软件对不同降雨强度级别的产沙和降雨特征指标进行相关性分析,20~40 mm/h 的降雨强度等级下,仅发生一次土壤侵蚀,因此剔除这一次数据,不列入进行分析(表 4)。

表 4 不同降雨强度级别的产沙和降雨特征指标的相关系数

样地编号	降雨强度级别/ (mm·h ⁻¹)	历时/ min	降雨量/ mm	降雨强度/ (mm·h ⁻¹)	I ₃₀ / (mm·h ⁻¹)	I ₆₀ / (mm·h ⁻¹)
2 [#]	0~5	0.074	0.364*	0.183	0.387	0.380*
	5~10	-0.200	-0.600	-0.754	-0.543	-0.600
	10~20	0	0.500	0.500	-0.500	-0.500
3 [#]	0~5	0.230	0.145	-0.074	0.063	-0.008
	5~10	0.962**	0.959**	-0.117	0.840*	0.946**
	10~20	1.000**	1.000**	-0.500	-0.500	0.500
4 [#]	0~5	-0.252	-0.043	0.219	0.062	0.001
	5~10	0.600	0.500	-0.359	-0.200	0.500
5 [#]	0~5	0.204	0.549**	0.183	0.198	0.156
	5~10	0.753	0.798	-0.043	0.563	0.842*
6 [#]	0~5	0.394	0.485*	0.175	0.191	0.378

注: ** 表示极显著相关; * 表示显著相关; I₃₀ 为最大 30 min 雨强; I₆₀ 为最大 60 min 雨强。

从表 4 看出,4[#] 径流小区与各降雨特征指标无相关关系;当平均降雨强度小于 5 mm/h 时,2[#] 径流小区的产沙量仅与降雨量和 I₆₀ 呈现显著相关关系,其他降雨特征指标均与产沙无显著相关关系;3[#] 和 4[#] 径流小区的产沙与各降雨特征指标都无显著相关关系;5[#] 径流小区与降雨量呈极显著相关关系,6[#] 径流小区与降雨量呈现显著相关关系,这可能是由于 6[#] 径流小区长期以顺坡沟垄方式种植烤烟,一旦降雨便会发生水土流失,而 3[#] 径流小区种植玉米。随着玉米的生长,植被覆盖度增加,对小型降雨具有一

定的拦截作用。当降雨强度为 5~10 mm/h 时,影响 3[#] 径流小区产沙量的因素主要是降雨历时、降雨量、I₃₀ 和 I₆₀,产沙量与降雨历时、降雨量和 I₆₀ 呈极显著正相关关系。

总体上看,在一定降雨强度范围内(0~5 mm/h),2[#] 径流小区的产沙量与降雨量和最大 60 min 雨强呈显著正相关关系,6[#] 径流小区的产沙量与降雨量呈显著相关关系。对于 3[#] 玉米坡耕地而言,当雨强小于 5 mm/h 时,影响玉米坡耕地土壤侵蚀的因素是降雨历时,当降雨强度为 5~10 mm/h 时,产沙量与降雨历时、降雨量和最大 60 min 雨强呈极显著正相关关系。对于 5[#] 径流小区而言,当降雨强度为 0~5 mm/h 时,产沙量与降雨量呈极显著相关关系,当降雨强度为 5~10 mm/h 时,产沙量与最大 60 min 雨强呈显著相关关系,而 4[#] 径流小区与各降雨特征指标无相关关系。说明影响 4[#] 径流小区的因素可能是下垫面条件或其他因素,由高大乔木组成的人工林具有很强的林冠截留作用,灌草地的拦截泥沙的效应有限,随着降雨量的增大,灌草地的水土保持作用逐渐降低,因此在降雨极为频繁的南方地区而言,乔木林的水土保持效应较灌草地好。

3 讨论与结论

(1) 从 3 a 的降雨情况来看,大体变化类似正态分布,研究区的降雨主要集中于 5—10 月,汛期在 6—9 月;从 10 月开始,降雨量逐渐减少,而从季节分布来看,降雨集中在夏秋两季,干湿季节明显。这一规律与大陆性季风气候特点有关。

(2) 覆盖度不同的土地利用方式在拦截泥沙和径流等方面存在很大差异,耕作方式和农作物对土壤流失也有不同程度的影响。同一降雨,同一坡度条件下,影响土壤侵蚀性的因素主要是地表覆盖类型,不同的地表覆盖对拦截雨水和入渗存在很大的差异性,这样必然导致土壤侵蚀的差异性,顺坡种植烤烟最容易引起土壤侵蚀,其次是玉米坡耕地,顺坡种植不宜拦截雨水,但对泥沙的冲刷作用不是太大。王占礼等^[7],潘声旺等^[8]究结果中,旱地不同土地利用方式下,玉米—油菜轮作的土壤侵蚀量最大。

(3) 极少的大暴雨引起的土壤侵蚀量高于频繁的小型降雨引起的土壤侵蚀,在制定水土流失防治措施要注意大暴雨对土壤侵蚀的影响。由于坡耕地土壤扰动比较大,因此在不同雨强级别下的产沙量均高于其他土地利用方式;而在黄土高原区,大暴雨出现频率较高,造成水土流失的雨型主要是大型暴雨,大多数的降雨一般不产生地表径流^[11]。

(4) 许多学者认为降雨量、最大 30 min 降雨强度和降雨历时对山区坡面产流产沙均存在显著的相关性,并且一些学者认为种植花生的坡耕地与降雨历时无显著相关关系^[9-11],而笔者的结论中,不同的降雨强度级别下,不同土地利用方式的产沙量与降雨特征指标之间的关系也是存在差异性,灌草地的拦截泥沙效应有限,对小型降雨有一定的抗冲能力,而较大暴雨则需要群落层次较多的乔木林,较高的林冠层能够截留一部分雨水,而较低的草木层和枯枝落叶层可降低降雨动能,减小降雨的激溅侵蚀。并且有些植被覆盖度较高的降雨也有一定的抗侵蚀能力,但对于坡度较大的坡耕地而言,仍然建议进行退耕还林措施。

[参 考 文 献]

- [1] 杨加林,李杰,李经纬等.抚仙湖一星云湖水生生物与水环境研究综述[J].云南地理环境研究,2012,24(2):1001-7852.
- [2] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1990,291-294.
- [3] 曹建华,蒋忠诚,杨德生,等.我国西南岩溶区土壤侵蚀强度分级标准研究[J].中国水土保持科学,2008,6(6):1-7.
- [4] 马良,左长清,邱国玉.赣北红壤坡地侵蚀性降雨的特征分析[J].水土保持通报,2010,30(1):74-79.
- [5] 纪启芳,张兴奇,张科利,等.贵州省喀斯特地区坡面产流产沙特征[J].水土保持研究,2012,19(4):1-5.
- [6] 高超,朱继业,朱建国,等.不同土地利用方式下的地表径流磷输出及其季节性分布特征[J].环境科学学报,2005,25(11):1543-1549.
- [7] 王占礼,邵明安,常庆瑞.黄土高原降雨因素对土壤侵蚀的影响[J].西北农业大学学报,1998,26(4):101-105.
- [8] 潘声旺,雷志华,杨丽娟,等.几种典型边坡植被的产流、产沙特征[J].生态环境学报,2013,22(7):1167-1172.
- [9] 林锦阔,李子君,许海超,等.降雨因子对沂蒙山区不同土地利用方式径流小区产流产沙的影响[J].水土保持通报,2016,36(5):7-12.
- [10] 郑海金,杨洁,左长清,等.红壤坡地侵蚀性降雨及降雨动能分析[J].水土保持研究,2009,16(3):30-33.
- [11] 焦菊英,王万忠,郝小品.黄土高原不同类型暴雨的降水侵蚀特征[J].干旱区资源与环境,1999,13(1):35-41.
- [12] 吕殿青,邵明安,潘云.容重变化与土壤水分特征的依赖关系研究[J].水土保持学报,2009,23(3):209-212.
- [13] 张凤华,王建军.不同轮作模式对土壤团聚体组成及有机碳分布的影响[J].干旱地区农业研究,2014,3(4):113-116,139.
- [14] 信乃检.中国北方旱区农业研究[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [15] 李亚莉,杨永岗,张化生.轮作与连作对高原夏季甜脆豆病虫害发生及产量的影响[J].北方园艺,2012(2):17-20.
- [16] 胡守林,贾志宽,万素梅.陇东黄土高原苜蓿草地土壤水分消耗及水分生态效应[J].农业工程学报,2009,25(8):48-53.
- [17] 韩丽娜,丁静,韩清芳.黄土高原区草粮(油)翻耕轮作的土壤水分及作物产量效应[J].农业工程学报,2012,28(24):129-137.
- [18] 李明,郝建平,杜天庆,等.半干旱区3a不同轮作组合系统的综合评价[J].山西农业科学,2014,42(10):1090-1094.
- [19] 李承力,杨特武,徐君驰,等.丹江口库区坡耕地不同轮作模式作物生产力及农田养分流失比较[J].水土保持学报,2011,25(4):83-87.
- [20] 周少平,谭广洋,沈禹颖,等.保护性耕作下陇东春玉米(冬小麦)夏大豆轮作系统土壤水分动态及水分利用效率[J].草业学报,2008,25(7):69-76.
- [21] 姚致远,王峥,李婧,等.旱地基于豆类绿肥不同轮作方式的经济效益分析[J].植物营养与肥料学报,2016,22(1):76-84.

(上接第234页)