

黄土高原不同植被覆盖对流域水文的影响

张建军^{1,2}, 纳 磊¹, 董煌标¹, 王 鹏¹

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 山西吉县落叶阔叶林生态系统国家野外站, 山西吉县 042200)

摘要:以山西省吉县蔡家川流域为对象,研究了植被覆盖类型对流域水文的影响。结果表明:不同植被覆盖的流域年径流系数分别为:林地流域 1.6% ~ 2.3%,以农、牧为主的流域 3.1% ~ 3.9%;各流域基流系数差异显著,人工林流域为零,次生林为主的流域 1.0% ~ 1.5%,以农、牧为主的流域 2.5% ~ 2.8%;在雨季人工林流域的径流总量是次生林流域的 3.37 倍、农地流域的 1.9 倍,而农地流域的基流量是次生林流域的 2.2 倍;短历时高强度降雨条件下,人工林流域、次生林流域地表径流量分别是农地流域的 10.8 倍和 2.2 倍;在历时较长的暴雨条件下,人工林流域单位面积上的洪峰流量是农地流域的 3.4 倍,次生林流域的 6.9 倍;在长历时、大雨量条件下,农地流域的径流量是次生林流域的 1.8 倍。水平梯田的水源涵养功能与次生林植被相当,次生林植被的水源涵养功能远好于人工植被,在水资源短缺的黄土高原应提倡植被的自然恢复。

关键词:植被覆盖;径流;流域;黄土高原

文章编号:1000-0933(2008)08-3597-09 中图分类号:S715 文献标识码:A

Hydrological response to changes in vegetation covers of small watersheds on the Loess Plateau

ZHANG Jian-Jun^{1,2}, NA Lei¹, DONG Huang-Biao¹, WANG Peng¹

1 College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Chinese National Ecosystem Observation and Research Station, Ji County 042200, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3597 ~ 3605.

Abstract: The study was conducted in the Caijiachuan watershed in Ji County, Shanxi Province. The primary objective was to quantify streamflow differences among small watersheds with different vegetation covers. Annual runoff coefficient ranged 1.6%—2.3% and 3.1%—3.9% in the forested and the non-forested watersheds, respectively. Baseflow was negligible in artificial forest watershed, and but baseflow ratio (baseflow/total flow) was higher (1.0%—1.5%) in other forest watersheds. In the non-forested watersheds, base runoff coefficient was highest (2.5%—2.8%). During the rainy season in June–September, total runoff from the artificial forest watershed was highest, about 3.4 times of the natural forest watershed, or 1.9 times of the agricultural watershed. The baseflow in the agricultural watershed was highest, about 2.2 times of the natural forest watershed. For storm events with short duration and high intensity, runoff from the artificial forest watershed was highest, about 10.8 times of agricultural watershed. For storm events with a long duration, peak discharge per unit area in the artificial forest watershed was highest, about as 6.9 times of the natural forest watershed. For large storm events with a long duration, runoff in the agricultural watershed was highest, about 1.8 times of the natural forest watershed. Compare with all landuses and vegetation covers, bench terraces and natural forests could greatly reduce

基金项目:国家十一五课题资助项目(2006BAD03A1204);国家重点基础研究发展计划资助项目(2002CB2002CB111503)

收稿日期:2007-07-02; 修订日期:2007-10-22

作者简介:张建军(1964~),男,甘肃天水人,博士,副教授,主要从事森林水文和森林生态研究. E-mail: zhangjianjun@bjfu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by the National Science and Technology Advancement Project of the Eleventh Five-year Plan of China (No. 2006BAD03A1204) and China Key Basic Research Program (973 Program) (No. 2002CB111503)

Received date: 2007-07-02; **Accepted date:** 2007-10-22

Biography: ZHANG Jian-Jun, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in forest hydrology and forest ecology. E-mail: zhangjianjun@bjfu.edu.cn

overland flow and had large water storing capacity. We found the artificial forests did not have the hydrologic functions to reduce peakflows. We conclude that natural vegetation recovery had the best hydrologic benefits in soil conservation and thus should be promoted in the Loess Plateau area.

Key Words: vegetation cover; runoff; watershed; the Loess plateau

由降雨形成的、沿地表或地下运动汇入河网向着流域出口断面汇集的水流称之为降雨径流^[1,2]。黄土高原水资源匮乏,作为水资源重要组成部分的地表径流已成为限制当地经济发展的主要因素之一。因此,研究不同植被覆盖流域的水文效应,对于防治黄土区水土流失、合理利用地表水资源具有重要意义。

20 世纪以来,世界各国专家对径流与植被覆盖的相互关系进行了一系列的研究^[3~7]。Sauer^[8]在径流小区上利用水量平衡方法研究了地表特征、暴雨特性对产流的影响,认为降雨强度是影响径流的主要因素。Basic^[9]对不同土地利用方式下的径流量对比后指出,农地径流量最高。Kang^[10]研究了裸地、不同植被覆盖类型、不同农业耕作方式下各种坡度、坡长上的径流情况。赵文武^[11]等研究认为,在黄土丘陵沟壑区土地利用格局的变化会明显改变该地区降雨-径流关系。张志强^[12]在总结了植被变化对径流的影响认为,植被通过改变流域下垫面性质以及降雨的再分配过程对径流过程产生影响。王礼先^[13]对森林与流域径流关系进行研究后指出,在干旱地区随森林植被覆盖率的增加,流域径流量和洪峰流量减少,枯水径流量增加。卫伟^[14]等利用径流小区对黄土区不同下垫面的水土流失进行了研究,结果表明受干扰最严重的农田和人工草地产生了较严重的水土流失,而灌丛和荒草地的保水、保土效果最佳。

刘昌明^[15]指出黄土高原的河川径流量、地表径流量随森林覆盖度增加而降低,地下径流则有微弱增加,地下径流的增加量在一定程度上弥补了地表径流的减少量。大多数研究揭示了单一下垫面对流域水文效应的影响。本文在晋西黄土残塬沟壑区的山西吉县蔡家川流域内选择典型嵌套流域,修建量水堰,布设超声波水位计,对不同植被覆盖的嵌套小流域降雨、径流状况进行长年高密度的实时监测,以期揭示黄土高原地区不同植被覆盖类型对流域水文状况的影响。

1 研究区概况

研究区是北京林业大学所属的山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站所在地,位于吕梁山南端山西省吉县蔡家川流域。地理坐标为东经 110°39'45"~110°47'45"、北纬 36°14'27"~36°18'23"。属于晋西黄土残塬沟壑区,流域大体上为由西向东走向,长约 14km,面积 38km²,海拔 900~1 513m(图 1)。年降水量为 575.9mm,6~9 月降水占全年降水量的 70%左右。年平均水面蒸发量为 1 732.9mm。年均气温 10℃。土壤为褐土,黄土母质。森林覆盖率 39.8%,流域中上游植被主要为白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、丁香(*Syzygium aromaticum*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)等组成的天然次生林,中游为刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等树种组成的人工林,下游为荒草坡和农地。

2 研究方法

2.1 试验流域的选择

在蔡家川流域内以不同土地利用类型作为小流域分类的基础,选择农地小流域、人工林小流域、封禁小流域、半人工林半次生林小流域、次生林小流域、半农半牧小流域作为不同植被覆盖类型的研究流域,蔡家川流域作为控制流域,共计 7 个流域为研究对象。各流域基本情况见表 1。

2.2 试验方法

在蔡家川流域和不同植被覆盖类型的研究流域内布设长期自记雨量计测定降雨,共布设雨量计 11 台;在各小流域出口及蔡家川主沟修建复合型测流槽,布设超声波水位计,每 5min 测定水位一次,同时利用长期自计水位计(日产水研 62 型)进行校正;利用观测到的水位值根据已标定的水位流量关系曲线求算径流量,采

用直线切割法^[1] 求算基流量。

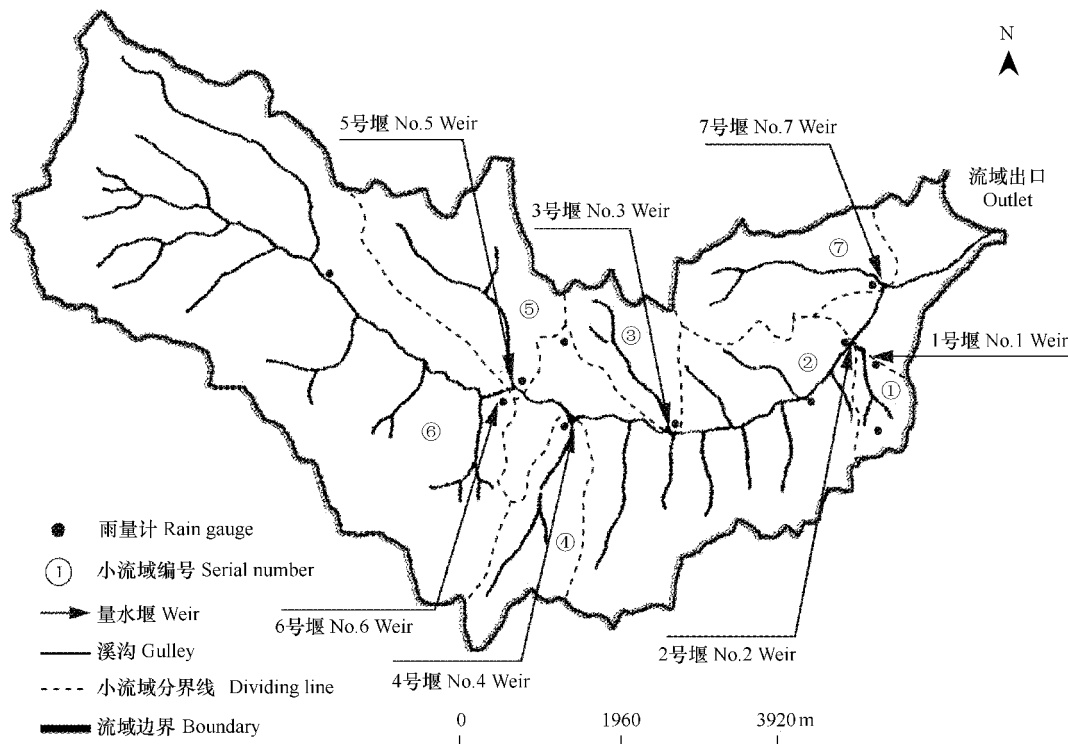


图1 研究区地理概况
Fig. 1 Geographical features of the study area

表1 试验流域概况

Table 1 The basic information of experimental watersheds									
编号 No.	流域名称 Name	流域面积 Area	森林覆盖率 Forest cover rate	流域长度 Length	流域宽度 Width	形状系数 Shape coefficient	沟壑密度 Gulley intensity	沟道比降 Gradient	植被类型 Vegetation cover
1	农地流域	0.71	0.0	1.38	0.54	2.54	1.81	8.7	以水平梯田为主
2	蔡家川流域	34.23	80.0	14.50	1.25	6.14	1.53	1.9	流域上游以次生林为主,中游以人工林为主,下游以农地、荒草地为主
3	人工林流域	1.50	92.5	2.18	0.72	3.03	3.00	12.1	以15年生人工刺槐林、油松林、侧柏林为主
4	封禁流域	1.93	99.9	3.00	0.68	4.40	4.10	8.4	封禁26年,以山杨、辽东栎、油松、侧柏、丁香、虎榛子等组成的次生林
5	半人工林半次生林流域	3.62	81.7	3.30	1.10	3.00	0.91	8.9	以山杨、辽东栎等组成的次生林,以刺槐、油松等组成的人工林
6	次生林流域	18.57	82.0	7.25	2.67	2.72	25.90	7.1	以山杨、白桦、辽东栎、丁香等组成的天然次生林
7	半农半牧流域	2.63	15.2	2.88	0.91	3.55	1.09	12.1	以水平梯田、荒草地为主

流域名称及植被覆盖类型 Vegetation covers of the watersheds; 1号农地流域 No.1Farmlands; 2号蔡家川流域 No.2 Integrated with natural forests, artificial forests, farmland and grass lands; 3号人工林流域 No.3 Artificial forests (15a) of *Robinia*, *Pinus* and *Platycladus*; 4号封禁流域No.4 Being closed for 26 years; 5号半人工林半次生林流域 No.5 Natural forests and artificial forests; 6号次生林流域 No.6 Natural forests of *Betula*, *Populus*, *Syzygium*, and *Ostryopsis*; 7号半农半牧流域 No.7 Farmlands and grasslands; 下同 the same below

3 结果与分析

3.1 不同植被覆盖流域年径流量分析

年径流量是评价流域水资源状况的主要参数^[16]。为了探讨不同植被覆盖对流域年径流量的影响,以 2006 年各流域的观测结果进行分析,结果见表 2。

从表 2 可以看出,半农半牧流域、农地流域 2006 年的年总径流量、径流系数明显高于其它流域。人工林流域无降雨时,无径流流出,年总径流量、径流系数均低于半农半牧流域和农地流域,但高于其它森林流域。封禁流域、半人工林半次生林流域、次生林流域的年径流量相近。蔡家川主沟道年总径流量、径流系数与人工林流域相当。年地表径流量最大的是人工林流域,其次是半农半牧流域,次生林流域和农地流域的地表径流量最小。年基流量最大的是农地流域,其次是半农半牧流域,蔡家川流域、次生林流域、封禁流域和半人工林半次生林流域的年基流量较小,人工林流域没有基流量。

表 2 2006 年各实验流域年径流量

Table 2 Yearly runoff of experimental watersheds in 2006

编号 No.	流域名称 Name	年降雨量 Annual rainfall amount	年总径流量 Annual total runoff depth	年径流系数 Annual runoff coefficient	年地表径流量 Annual overland runoff depth	年地表径流系数 Overland runoff coefficient	年基流量 Annual base runoff depth	年基流系数 Base runoff coefficient
1	农地流域	543.50	16.89	3.11	1.56	0.29	15.33	2.82
2	蔡家川流域	521.10	12.88	2.47	3.91	0.75	8.97	1.72
3	人工林流域	575.50	13.16	2.29	13.16	2.29	0.00	0
4	封禁流域	512.5	9.98	1.95	3.15	0.61	6.83	1.33
5	半人工林 半次生林流域	528.40	8.40	1.59	3.00	0.57	5.40	1.02
6	次生林流域	516.20	8.89	1.72	1.40	0.27	7.49	1.45
7	半农半牧流域	574.00	22.23	3.87	7.83	1.36	14.40	2.51

本研究中各森林流域的年径流量、基流量明显小于农地流域,这与刘昌明等^[15]的研究结果一致。次生林流域、半人工林半次生林流域、人工林流域森林覆盖率高,在林冠截留的作用下,近 30% 的降雨以蒸发形式返回大气^[17~19],从而减少了到达地表的降雨量。另一方面,黄土层深厚,渗入地表的水分尚未进入地下水便被蒸发、林木蒸散所消耗,从而导致森林流域年径流量的减少。人工植被蒸散耗水量大,年基流量为零。

3.2 不同植被覆盖流域雨季径流分析

研究区降雨主要集中在 6~9 月份,雨季降雨量占全年流域总降雨量的 70% 左右^[18,19]。为了研究雨季不同植被类型流域径流特征,对 2004~2006 年各实验流域雨季径流(6~9 月份)数据进行统计分析,结果见表 3。

从表 3 可以看出,在雨季各流域径流总量由大到小的次序为:人工林流域>半农半牧流域>农地流域>半人工林半次生林流域>封禁流域>蔡家川主沟>次生林流域。人工林流域的径流总量是次生林流域的 3.37 倍,是农地流域 1.92 倍。

地表径流量的次序为:人工林流域>半农半牧流域>蔡家川主沟>封禁流域>半人工林半次生林流域>次生林流域>农地流域。农地流域的地表径流量最小,只有人工林流域的 7.74%。次生林流域的地表径流量只有人工林流域的 9.50%。

各流域基流量由大到小的次序为农地流域>半农半牧流域>半人工林半次生林流域>封禁流域>次生林流域>蔡家川主沟,人工林流域的基流量等于零。农地流域的基流量是次生林流域的 2.2 倍。

人工林流域地表枯枝落叶少,草本植被覆盖较低,降雨时易形成地表径流,地表径流系数高于农地流域和半农半牧流域,这与孟庆华、傅伯杰^[20]等人的研究结果一致。正因为人工林流域易形成地表径流,很少有雨水渗入地下形成基流。另外,人工植被蒸散耗水量大,因此,人工林流域的基流量为零。半农半牧流域森林覆

盖率低,放牧活动频繁,地表破坏严重,降雨过程中易形成地表径流。农地流域的坡耕地均改造成梯田,起到了拦蓄地表径流的作用,拦蓄的地表径流渗入地下后以基流形式流出,基流量较大。封禁流域、半人工林半次生林流域、次生林流域森林覆盖率高,地表枯枝落叶和草本植物量大,可拦蓄降雨和径流,增加雨水入渗量^[20~22],从而减少了地表径流量,雨季径流系数低。

表 3 2004~2006 年各实验流域雨季径流量

Table 3 Amounts rainy-season flow of experimental watersheds from 2004 to 2006

编号 No.	流域名称 Name	年份 Year	降雨量 Rainfall amount	径流量 Runoff depth	地表径流量 Overland runoff depth	径流系数 Runoff coefficient	基流量 Base runoff depth
1	农地流域	2004	296.0	7.44	0.76	2.51	6.68
		2005	261.0	2.65	0.42	1.02	2.23
		2006	475.5	7.68	1.47	1.62	6.21
		平均值 Mean	344.2	5.92	0.88	1.72	5.04
2	蔡家川流域	2004	311.6	3.90	2.18	1.25	1.72
		2005	244.3	2.00	0.88	0.82	1.12
		2006	450.0	7.50	3.84	1.67	3.66
		平均值 Mean	335.3	4.47	2.30	1.25	2.17
3	人工林流域	2004	306.5	15.95	15.95	5.20	0.00
		2005	225.0	5.56	5.56	2.47	0.00
		2006	506.5	12.95	12.95	2.56	0.00
		平均值	346.0	11.37	11.37	3.41	0.00
4	封禁流域	2004	312.0	3.52	1.73	1.13	1.79
		2005	259.5	2.74	1.12	1.06	1.62
		2006	449.5	7.87	3.03	1.75	4.84
		平均值	340.3	4.71	1.96	1.31	2.75
5	半人工林 半次生林流域	2004	318.3	8.92	2.20	2.80	6.72
		2005	255.8	0.81	0.47	0.32	0.34
		2006	463.5	5.83	2.95	1.26	2.88
		平均值	345.9	5.19	1.88	1.46	3.31
6	次生林流域	2004	310.6	2.98	1.43	0.96	1.55
		2005	242.1	1.41	0.43	0.58	0.98
		2006	442.8	5.72	1.37	1.29	4.35
		平均值	331.8	3.37	1.08	0.94	2.29
7	半农半牧流域	2004	306.5	5.90	2.20	1.92	3.70
		2005	263.0	5.08	1.80	1.93	3.28
		2006	506.5	20.25	12.43	4.00	7.82
		平均值	358.7	10.41	5.48	2.62	4.93

3.3 场降雨统计和分类

根据王万忠^[23]等人在黄土区的研究,黄土区的降雨可根据降雨量、降雨历时、平均降雨强度、10min 最大雨量、30min 最大雨量、60min 最大雨量等指标,划分为短时局地雷暴雨(A 型)、锋面性降雨夹有雷暴性质的暴雨(B 型)、长历时锋面降雨(C 型)。本研究利用以上指标将 2004~2006 年 18 场全流域降雨进行了聚类分析,结果见表 4。

聚类分析的显著性 Sig 值在 0.0001~0.031 之间,表明聚类效果较好,聚类结果与王万忠等人的研究结果基本一致。在 18 场降雨中,A 型降雨 11 场,累计降雨量 158.3mm,占降雨场次和降雨总量的 61.11%、34.58%;B 型降雨共 3 场,累计降雨量 74.5mm,占降雨场次和降雨总量的 16.67%、16.27%;C 型降雨共 4 场,累计降雨量 225mm,占降雨场次和降雨总量的 22.22%、49.15%。

表 4 场降雨特征值聚类统计结果
Table 4 Statistics of characteristics of rainfall events

日期 Date	降雨量 Rainfall amount	降雨历时 Rainfall continuously time	平均降雨强度 Average rainfall intensity	10min 最大雨量 The biggest rainfall amount in 10mins	30min 最大雨量 The biggest rainfall amount in 30mins	60min 最大雨量 The biggest rainfall amount in 60mins	降雨类型 Type
2004-07-15	23.8	270	0.09	5.80	13.30	15.80	A
2004-07-29	8.0	70	0.11	3.80	4.80	7.80	A
2004-08-10	10.6	160	0.07	4.60	6.40	9.90	A
2005-08-16	65.5	1890	0.03	3.00	8.50	12.50	C
2005-09-15	12.0	195	0.06	2.00	5.00	9.00	A
2005-09-19	76.0	1990	0.04	2.00	4.50	7.50	C
2005-09-27	40.1	2120	0.02	1.50	2.80	4.60	C
2006-04-20	19.0	405	0.05	2.00	4.20	5.50	B
2006-05-26	5.3	150	0.04	1.00	2.40	4.00	A
2006-07-31	18.4	110	0.17	7.10	12.80	15.70	A
2006-08-3	23.8	80	0.30	6.40	13.50	23.40	A
2006-08-15	5.0	25	0.20	3.60	5.00	5.00	A
2006-08-25	34.2	250	0.14	9.40	19.80	24.60	A
2006-08-28	46.4	1610	0.03	4.50	8.50	11.40	C
2006-08-30	13.0	230	0.06	2.80	4.20	7.30	A
2006-09-4	38.3	730	0.05	1.70	4.50	8.30	B
2006-09-18	4.2	25	0.17	2.20	4.20	4.20	A
2006-09-21	17.2	625	0.04	3.10	5.30	7.60	B

可见,A 型降雨的次数明显多于 B 型和 C 型,但 A 型降雨的场降雨量较小,累计降雨量约占总降雨量的 1/3;C 型降雨场次较少,场降雨量较大,累计降雨量约占总降雨量的 1/2,比例最高;B 型降雨次数与 C 型降雨相近,场降雨量也不大,累计降雨量约占总降雨量的 1/6。

3.4 A 型降雨条件下不同植被覆盖流域的地表径流

2006 年 7 月 31 日是较为典型的 A 型降雨,以此降雨为例对各实验流域降雨径流数据进行统计分析得到表 5。

表 5 实验流域 A 型降雨径流特征值
Table 5 Characteristics of runoff during type A rainfall event from experimental watersheds

日期 Date	编号 No.	流域名称 Name	降雨量 Rainfall amount	地表径流量 Overland runoff depth	径流系数 Overland runoff coefficient	单位面积洪峰流量 The peak discharge in unit area
2006-07-31	1	农地流域	16.0	0.025	0.15	0.08
	2	蔡家川流域	18.4	0.14	0.77	0.13
	3	人工林流域	26.0	0.27	1.04	1.43
	4	封禁流域	25.0	0.13	0.54	0.31
	5	半人工林半次生林流域	24.0	0.18	0.73	0.29
	6	次生林流域	25.6	0.055	0.21	0.08
	7	半农半牧流域	21.5	0.16	0.74	0.27

在短历时高强度的 A 型降雨条件下,人工林流域的地表径流量、径流系数和单位面积洪峰流量最大。农地流域的地表径流量、径流系数和单位面积洪峰流量最小。人工林流域在场降雨条件下的地表径流量是农地流域的 10.8 倍。次生林流域的地表径流量是农地流域的 2.2 倍。半人工林半次生林流域、半农半牧流域、封禁流域的地表径流量相近。

农地流域在雨季时庄稼生长茂盛,地表覆盖度高,且全部为梯田,只有沟坡和一些不透水的部位才能形成地表径流,因此,径流量、径流系数、单位面积洪峰流量均低于其他流域,可见,农业措施中的梯田能够拦蓄短历时、高强度的暴雨,次生林流域也具有同样的功能。因此,在黄土区修建水平梯田或恢复自然植被,均能防

治短历时、高强度暴雨引起的水土流失,这与穆兴民等^[24]的研究结论一致。

3.5 B 型降雨条件下不同植被覆盖流域的地表径流

2006 年 9 月 4 日的降雨是较为典型的 B 型降雨,这场降雨条件下各实验流域降雨径流数据的统计分析结果见表 6。

表 6 实验流域 B 型降雨径流特征值

Table 6 Characteristics of runoff during type B rainfall event from experimental watersheds

日期 Date	编号 No.	流域名称 Name	降雨量 Rainfall amount	地表径流量 Overland runoff depth	径流系数 Overland runoff coefficient	单位面积洪峰流量 The peak discharge in unit area
2006-09-04	1	农地流域	44.5	0.23	0.52	0.14
	2	蔡家川流域	38.3	0.41	1.06	0.11
	3	人工林流域	45.0	0.46	1.01	0.48
	4	封禁流域	45.0	0.40	0.88	0.20
	5	半人工林 半次生林流域	44.5	0.36	0.81	0.16
	6	次生林流域	40.9	0.20	0.50	0.07
	7	半农半牧流域	47.0	0.87	1.85	0.36

从表 6 可以看出,在历时较长的暴雨条件下,各流域地表径流量的排序为:半农半牧流域>人工林流域>蔡家川主沟>封禁流域>半人工林半次生林流域>农地流域>次生林流域,半农半牧流域的径流量是农地流域的 3.78 倍,是次生林流域的 4.35 倍。可见,对于较长历时的暴雨,农地和次生林流域也具有较强的拦蓄能力。在历时较长的暴雨条件下,各流域单位面积上的洪峰流量的排序为:人工林流域>半农半牧流域>封禁流域>半人工林半次生林流域>农地流域>蔡家川主沟>次生林流域。人工林流域单位面积上的洪峰流量是农地流域的 3.43 倍,是次生林流域的 6.86 倍。可见,在历时较长的暴雨条件下,次生林流域、农地流域不但径流量小,单位面积上形成的洪峰流量也小。

半农半牧流域中一半是农业用地,另一半是荒草坡,用于放牧。虽然农业用地已经改造为水平梯田,但荒草坡在山羊、牛的踩踏下,表层土壤紧实,土壤的蓄水能力下降,尤其是牛羊行走时形成的小路,更是降雨时易产生地表径流的场所。因此,半农半牧流域在降雨量较大时易形成地表径流。

3.6 C 型降雨条件下不同植被覆盖流域的径流

选取 2005 年 8 月 16 日长历时、大雨量的 C 型降雨为例,对各实验流域降雨径流数据进行统计分析得表 7。

表 7 实验流域 C 型降雨径流特征值

Table 7 Characteristics of runoff during type C rainfall event from experimental watersheds

日期 Date	编号 No.	流域名称 Name	降雨量 Rainfall amount	地表径流量 Overland runoff depth	径流系数 Overland runoff coefficient	单位面积洪峰流量 The peak discharge in unit area
2006-08-28	1	农地流域	43.0	0.35	0.81	0.66
	2	蔡家川流域	43.9	0.39	0.89	0.52
	3	人工林流域	50.0	0.91	1.81	1.59
	4	封禁流域	50.0	0.46	0.93	1.10
	5	半人工林 半次生林流域	52.0	0.43	0.83	0.97
	6	次生林流域	48.6	0.20	0.41	0.24
	7	半农半牧流域	51.5	1.02	1.97	2.80

在长历时、大雨量的条件下,各流域地表径流量和单位面积上洪峰流量的排序为:半农半牧流域>人工林

流域 > 封禁流域 > 半人工林半次生林流域 > 农地流域 > 蔡家川主沟 > 次生林流域。半农半牧流域的径流量是农地流域的 2.91 倍,是次生林流域的 5.1 倍。农地流域的径流量是次生林流域的 1.75 倍。可见主要由水平梯田组成的农地流域和次生林流域同样也能防止由大雨量降雨造成的水土流失,但次生林流域的作用更为显著,人工植被的水源涵养功能远小于次生林植被。

4 结论

(1) 森林流域的年径流量明显小于农地流域和半农半牧流域。农地流域、半农半牧流域、次生林流域的基流量显著高于人工林流域和其他植被覆盖的流域。

(2) 在雨季人工林流域的径流总量是次生林流域的 3.37 倍,是农地流域 1.92 倍。农地流域的地表径流量只有人工林流域的 7.74%。次生林流域的地表径流量只有人工林流域的 9.50%。人工林流域的基流量等于零。农地流域的基流量是次生林流域的 2.2 倍。

(3) 在短历时高强度的 A 型降雨条件下,人工林流域的地表径流量最大,农地流域最小。人工林流域、次生林流域的地表径流量分别是农地流域的 10.8 倍和 2.2 倍。在历时较长的暴雨条件下,半农半牧流域的地表径流量最大,是农地流域的 3.78 倍,是次生林流域的 4.35 倍。在长历时、大雨量的条件下,半农半牧流域的径流量最大,是农地流域的 2.91 倍,次生林流域的 5.1 倍。

在黄土区的小流域内修建水平梯田,能够显著减少地表径流量,拦蓄的地表径流将转化为基流流出,但梯田拦蓄径流的作用小于次生林植被。

森林植被具有很好的防治水土流失和水源涵养功能,次生林植被的水土保持和水源涵养功能远好于人工植被,因此,在干旱半干旱的黄土高原区,应通过封山育林等方式促进植被的自然恢复,形成次生植被。

References:

- [1] Huang X Q. Hydrology. Beijing: Higher Education Press, 1993.
- [2] Nakano. Forestry Hydrology. Beijing: China Forestry Press, 1983.
- [3] Hibbert A R. Water yield changes after converting a forested catchment to grass. *Water Resource*, 1969, 5:634—640.
- [4] Hudson N W. Soil Conservation. Dou B Z Translate. Beijing: Scientific Press, 1975. 2—3.
- [5] Stednick J D. Monitoring the effects of timber water yield harvest on annual. *Journal of Hydrology*, 1996, 176:79—95.
- [6] Sun G, H Riekerk, N. B. Comerford. Modeling the hydrologic impacts of forest harvesting on flat woods. *Journal of American Water Resources Association*, 1998 34: 843—854.
- [7] Sun G S G McNulty, Lu J, Amatya D M, Liang Y, Kolka R K. Regional annual water yield from forest lands and its response to potential deforestation across the Southeastern United States. *Journal of Hydrology*, 2005, 308: 258—268.
- [8] Sauer T J. Seasonal water balance of an Ozark hill slope. *Agricultural Water Management*, 2002, 55 (1): 71—82.
- [9] Basic F. Run off and soil loss under different tillage methods on Stagnic Luvisols In Central Croatia. *Soil& Tillage Research*, 2001, 52 (3-4): 145—151.
- [10] Kang S Z. Rainfall and land runoff and sediment loss responses use in two agriculture catchments on the Loess Plateau of China. *Hydrological Processes*, 2001, 15 (6): 977—988.
- [11] Zhao W W, Fu B J, Chen L D, Li Y H, Liu Y Q. Effects of land-use pattern change on soil and water loss at the catchments scale in the hilly and gully area of the Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (7): 1359—1364.
- [12] Zhang Z Q, Wang S P, Sun G, Xie B Y. Runoff and sediment yield response to vegetation change at multiple scales: A review. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (7): 2356—2364.
- [13] Wan L X, Zhang Z Q. Impacts of forest vegetation on watershed runoff in dry areas. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16 (5): 439—444.
- [14] Wei W, Chen L D, Fu B J, Gong J. Mechanism of soil and water loss under rainfall and earth surface characteristic sin a semi-arid loess hilly area. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (11): 3847—3853.
- [15] Liu C M, Zhong J X. The influence of forests upon yearly runoff in the Loess Plateau. *Journal of Geography*, 1978, 33 (2): 112—126.
- [16] Wang L X. Water and soil conservation. Beijing. China Forestry Press, 2005.
- [17] Zhang J J, He K N, Zhu J Z. The study on the Crown Interception of Soil and Water Conservation Forests in the Loess Plateau of Western Shanxi. *Journal of Beijing Forestry University*, 1995, 17 (2): 27—31.

- [18] Liu H F, Zhu Q K, Wei T X, Impact of Forests on Runoff in Small Watershed in Western Shanxi of the Loess Plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(2): 5—9.
- [19] He K N, Zhang J J, Zhu J Z. The hill slope surface flow of the forests for soil and water conservation in Western Shanxi the Loess Plateau region. *Journal of Beijing Forestry University*, 1997, 19(4): 1—5.
- [20] Meng Q H, Fu B J, Qiu Y. Loss of P element from runoff under different land use types in loess gully area. *Progress of Natural Science*, 2002, 12(4): 393—397.
- [21] Yu X X, Zhang X M, Wu S H, *et al.* The effect of vegetation and precipitation upon runoff and sediment production in Sloping Lands of Loess Area. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(1): 19—26.
- [22] Jin Y H, Chai J H, Zhu Z H, *et al.* Researches of the effects of influence factors on surface flow in Hilly and Gully region of the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(5): 292—295.
- [23] Wang W Z, Jiao J Y. Statistic analysis on variation of rainfall and runoff-sediment yield process on slope surface in the Loess Plateau region. *Bulletin of Water and Soil Conservation*, 1996, 16(5): 21—27.
- [24] Mu X M, Wang W L, Xu X X. The influence of soil and water conservation on the surface runoff in the watersheds in the gully plateau region of the Loess Plateau. *Journal of Water Conservancy*, 1999, 2(2): 71—75.

参考文献:

- [1] 黄锡荃. 水文学. 北京:高等教育出版社,1993.
- [2] 中野秀章. 森林水文学. 北京:中国林业出版社,1983.
- [11] 赵文武, 傅伯杰, 陈立顶, 吕一河, 刘永琴. 黄土丘陵沟壑区集水区尺度土地利用格局变化的水土流失效应. *生态学报*, 2004, 24(7): 1359 ~ 1364.
- [12] 张志强, 王盛萍, 孙阁, 谢宝元. 流域径流泥沙多尺度植被变化响应研究进展. *生态学报*, 2006, 26(7): 2356 ~ 2364.
- [13] 王礼先, 张志强. 干旱地区森林对流域径流的影响. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 439 ~ 444.
- [14] 卫伟, 陈立顶, 傅伯杰, 巩杰. 半干旱黄土丘陵沟壑区降水特征值和下垫面因子影响下的水土流失规律. *生态学报*, 2006, 26(11): 3847 ~ 3853.
- [15] 刘昌明, 钟骏襄. 黄土高原森林对年径流影响的初步研究. *地理学报*, 1978, 33(2): 112 ~ 126.
- [16] 王礼先. 水土保持学. 北京:中国林业出版社,2005.
- [17] 张建军, 贺康宁, 朱金兆. 晋西黄土区水土保持林林冠截留的研究. *北京林业大学学报*, 1995, 17(2): 27 ~ 31.
- [18] 刘卉芳, 朱清科, 魏天兴, 晋西黄土区森林植被对流域径流的影响. *水土保持学报*, 2004, 18(2): 5 ~ 9.
- [19] 贺康宁, 张建军, 朱金兆. 晋西黄土区森林植被对流域径流的影响. *北京林业大学学报*, 1997, 19(4): 1 ~ 5.
- [20] 孟庆华, 傅伯杰, 邱扬. 黄土丘陵沟壑区不同土地利用方式的径流及磷流失研究. *自然科学进展*, 2002, 12(4): 393 ~ 397.
- [21] 余新晓, 张晓明, 武思宏, 等. 黄土区林草植被与降水对坡面径流和产沙的影响. *山地学报*, 2006, 24(1): 19 ~ 26.
- [22] 金雁海, 柴建华, 朱智红, 等. 内蒙古黄土丘陵区坡面径流及其影响因素研究. *水土保持研究*, 2006, 13(5): 292 ~ 298.
- [23] 王万忠, 焦菊英. 黄土高原坡面降雨产流产沙过程变化的统计分析. *水土保持通报*, 1996, 16(5): 21 ~ 27.
- [24] 穆兴民, 汪文龙, 徐选学. 黄土高原沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响. *水利学报*, 1999, 2(2): 71 ~ 75.