

石质丘陵山地水土流失时空变化初步研究

方天纵, 张贤瑞, 刘秀芹
(天津市水利局农水处, 天津 300074)

摘要: 根据蓟县白马泉小流域资料, 对水土流失规律进行初步研究。降雨是该地区水土流失产生的主要动力成因之一, 在同一降雨条件下, 试验小区产流量的顺序为, 荒坡 > 松树 > 梯田 > 紫穗槐; 年降雨量与径流量呈线性相关关系; 有效降雨量与径流量呈幂指数关系; 年降雨量与输沙量亦呈幂指数关系。

关键词: 小流域; 降雨; 径流; 模拟方程

中图分类号: S 157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)02-0024-03

Study on Spatial and Temporal Variation of Soil and Water Loss in Rock Hilly Area

FANG Tian-zong, ZHANG Xian-rui, LIU Xiu-qin

(Dept. of Farmland Irrigation Management, Tianjin Water Resources Bureau, Tianjin 300074, China)

Abstract: Based on experimental data from Baimaquan Monitoring Station, it showed that the rainfall is one of the factors to cause the loss of soil and water. Under the same rainfall conditions, the runoff amount in sequence as follow: barren slope, slope with pine, terrace, slope with amompha; annual rainfall change is linear with runoff change; the effective rainfall is power exponent with runoff and annual rainfall is also power exponent with sediment.

Key words: small watershed; rainfall; runoff; simulated equation

对生产和实践具有更直接的指导意义是小流域地面水土流失监测分析^[1-3]。白马泉小流域位于于桥水库周边, 是石质山地中度侵蚀类型区, 属于天津市水土流失“三区”划分中的重点监测区。白马泉小流域水土流失监测数据及研究, 对于桥水库周边水土流失治理具有重要意义。

1 研究地区概况

白马泉小流域地处北纬 40°03'28" ~ 40°04'10", 东经 117°23'30" ~ 117°24'12" 之间。该面积 0.40 km², 纵长 1 280 m, 宽 400 m; 坡度大于 35° 的占总面积的 21%, 16°~20° 的坡占 41%, 8°~15° 占 17%, 0°~3° 的占 21%。土壤类型属山地淋溶褐土, 土质的结构性差; 土层厚度大于 30 cm 的占总面积 25%, 其余不足 30 cm。

1985~1986 年间修建 12 座浆砌石谷坊, 分别用于固定和抬高侵蚀基准面, 减缓沟道的纵坡, 使沟道逐渐淤平, 形成坝阶地。有四个坡度均为 22.5° 面积为 5 m × 20 m 的标准径流场, 分别为松树、槐树、石埂梯田、荒坡径流小区。小区四周设截水墙, 小区两端连有倒梯形集流槽(上部宽 5 m, 下部宽 1 m, 长 2.2 m), 集流槽下面连有集流池(3 m × 1.5 m × 1.5 m), 集流池中部安装用钢板制作的直角三角堰, 集水池零水位通过引水管与仪器室内的自记水位计零水位相通。小流域的观测设施有卡口站, 径流小区。卡口站采用巴歇测槽结合直角三角堰形式。

2 研究方法

(1) 采用自记雨量计进行降雨观测, 同时用雨量筒校核, 计算侵蚀性降雨量和各时段的降雨强度等。

(2) 用自记水位计, 记录积流槽内水位和产流过程, 据此推算径流总量, 用巴歇尔测流槽与直角三角堰联合测径流量。

3 结果与分析

3.1 降雨规律

3.1.1 年降雨量分布规律

表 1 白马泉小流域逐年降雨量表 mm

年份	1984	1985	1987	1988	1989	1990	1991
雨量	665.7	584.7	692.3	517.8	335.5	424.7	568.2
年份	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
雨量	407.5	435.2	598.8	636.6	842.8	322.6	632.1

从表 1 得知, 该流域多年平均降雨量为 600 mm, 降雨量最多的是 1996 年, 达 842.8 mm, 比多年平均值高出 40%; 最少的是 1997 年, 只有 322.6 mm, 比多年平均值低 46%, 最多年是最少年的 2.6 倍。如果是丰水年, 特别是暴雨多发年, 降水是造成严重水土流失的主要动力因子。

3.1.2 年内月降雨量分布

表 2 是各统计年中 4~10 月的降雨量。

① 收稿日期: 2004-02-10

作者简介: 方天纵(1963-), 男, 高级工程师, 博士, 毕业于北京林业大学水土保持学院, 现在天津市水利局工作。

1995 年和 1996 年的 10 月份有降雨, 降雨量分别占全年的 5.17% 和 1.55%, 4 月份降雨的只有 1997 年, 降雨量占全年的 2.42%。降雨一般在 5~9 月, 其中 5 月和 9 月的降雨量相对少一些, 分别占 3.52% 和 9.4%。集中降雨期是 6~8 月, 降雨量分别占 13.6%、39.2%、32.5%。6 月份的降雨量比较稳定, 平均降雨量为 71.4 mm, 7 月和 8 月的起伏比较大, 例如 1991 年, 7 月降雨量达 406.8 mm, 占全年的 71.6%, 相当于 1992 年全年降雨量, 比 1989 年全年降雨量 335.5 mm 和 1997 年全年降雨量 322.6 mm 分别多出 71.3 mm 和 84.2 mm; 7 月份的降雨量最少的一次是 1998 年, 只有 11.2 mm, 占全年的 3.5%。8 月份降雨最多的是 1996 年, 降雨量为 298.7 mm, 占全年的 35.4%; 最少的是 1990 年的 8 月, 只有 61 mm, 占该年的 14.4%。

表 2 白马泉小流域年内降雨量表 mm

年份	1987	1988	1989	1990	1991	1992
次数	24	22	17	29	23	28
4 月份	0	0	0	0	0	0
5 月份	25.7	0	0	68.3	54.2	6.5
6 月份	114.8	45	33.4	84.5	82.4	97.7
7 月份	160.6	97.4	142.3	210.9	406.8	82.9
8 月份	269.2	273.1	106	61	24.8	138.1
9 月份	122	102.3	53.8	0	0	82.4
10 月份	0	0	0	0	0	0
年总量	629.3	517.8	335.5	424.7	568.2	407.5
年份	1993	1994	1995	1996	1997	
次数	26	28	36	39	32	
4 月份	0	0	0	0	7.8	
5 月份	0	0	12.3	7.7	28.7	
6 月份	80.6	27.7	102	70.6	46.4	
7 月份	270.3	351.2	147.7	386.8	11.2	
8 月份	134.2	219.9	276.5	298.7	78.5	
9 月份	0	0	65.2	65.9	50	
10 月份	0	0	32.9	13.1	0	
年总量	435.2	598.8	636.6	842.8	322.6	

注: 表中为零的月份均是该月没有降雨量, 1984 年、1985 年、1998 年的降雨资料不全。

3.2 产流分析

如果降雨量小于入渗量, 不会发生径流, 否则将会发生径流, 并且要受到前期降雨的影响^[3,4]。该流域的径流主要由天然降雨形成, 流域的持水功能低, 调节径流能力弱, 主要是年内调节。

3.2.1 径流小区

表 3 白马泉各径流小区不同年份的径流量表 m³

年份	松树	紫穗槐	梯田	荒坡	降雨量/mm
1984	0.594	0.4185		1.204	665.7
1988	3.6294		3.1726	4.9274	517.8
1989	0.01949			0.01499	335.5
1990	1.03105		0.405	15.9317	424.7
1991	0.8775			10.7775	568.2
1992				0.23	407.5
1993				0.694	435.2
1994	4.42			3.049	598.6
1995				1.44	636.6
1996	4.478	0.385	2.04	10.7899	842.8
1998				1.2758	632.1

注: 表中空的为没有径流产生。

(1) 同一小区, 降雨与产流关系根据表 3。槐树小区径流量最小, 统计年代只有两年产生径流, 1984 年, 槐树林龄较小, 防护功能低, 产流量为 0.4185 m³; 1996 年降雨量很高, 达 842.8 mm 时, 产生径流, 为 0.385 m³。两次产流中, 泥沙含量很高, 分别为 2.945 kg/m³ 和 6.332 kg/m³。紫穗槐的郁闭度比较好, 林冠具有截流作用。当降雨量大于林冠截流量时, 才会产生径

流。松树径流小区的径流量随降雨量的增加而增加。但是, 1988 年降雨量减少而径流量增加, 1995 年降雨量增加而径流量减少, 原因是在开始设置径流小区时, 扰动土壤, 径流增加; 随着松树逐年生长, 郁闭度会增加, 径流减少。梯田的径流量比松树径流小区的少, 说明梯田的防护功能较好。荒坡径流小区随着降雨量增加, 径流量相应增加, 并且产生的径流量比其它几个小区的都大。荒坡反映了流域中没有治理措施的情况。

(2) 同一降雨情况下, 不同小区产流比较在 1992 年、1993 年、1995 年、1998 年, 降雨量分别为 407.5、435.2、636.6、632.1 mm。只有荒坡小区有径流产生, 相对其它年份来说, 径流量也不大。在 1996 年降雨量高达 842.8 mm, 各个径流小区都产生径流, 其流量分别为: 荒坡小区 10.790 m³、松树小区 4.478 m³、梯田小区 2.040 m³、紫穗槐小区 0.385 m³。产流量的顺序为, 荒坡> 松树> 梯田> 紫穗槐。

3.2.2 流域

(1) 年降雨量与径流量的关系流域的水文过程与降雨时间、降雨强度、当地的植被、地形地貌等有密切关系^[4-6]。根据表 4。1989 年、1993 年和 1997 年无径流, 原因可能是降雨量少, 降雨强度低。当所有的降雨都入渗, 则无径流产生, 或虽有径流产生, 但流量不大, 不至于流到沟口。

表 4 白马泉小流域的年降雨量与径流量表

年份	1987	1988	1989	1990	1991	1992
降雨量 / mm	692.3	517.8	355.5	424.7	568.2	407.5
径流量 / m ³	20381.062	3505.8974	无产流	13866.567	12000.26	2805.131
年份	1993	1994	1995	1996	1997	
降雨量 / mm	435.2	598.8	636.6	842.8	322.6	
径流量 / m ³	无产流	12539.532	233.3525	29808.02	无产流	

根据表 4。年降雨量与径流量线性正相关, 模拟方程为:

$$y = 46.402x - 9235.8, R^2 = 0.7906。$$

若增加 1990 年的降雨与径流数据, 模拟方程为:

$$y = 40.545x - 5423.8, R^2 = 0.6656。$$

通过比较, 剔除 1990 年的数据后, 回归方程的 R² 由 0.6656 提高到 0.7906, 说明 1990 年为异常数据, 经过现场调查, 1989 年在该流域的沟头大面积开山取石, 降低了山地生态系统水源涵养能力, 导致径流量的急剧增加。

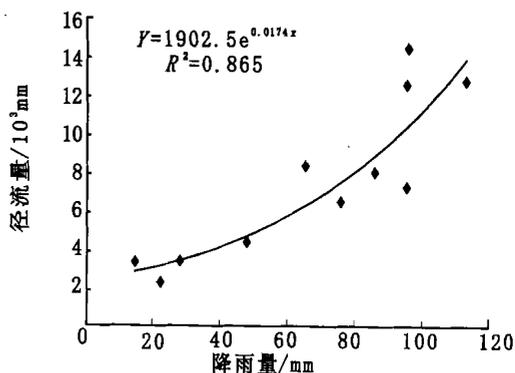


图 1 有效降雨量与径流量的关系

(2) 产生径流的降雨总量与径流量关系。从图 1 可以看出, 产生径流的降雨总量与径流量呈幂指数关系模拟方程为:

$$y = 1902.5e^{0.0174x}, R^2 = 0.865$$

由于降雨前期土壤水分等因素的不同组合, 流域洪水可

归纳为以下两类：一类洪水陡涨陡落，历时短，一般与降雨强度及高降雨强度持续时间有关系；洪水涨落急剧，但是洪水消落缓慢，历时长，全部过程有两个阶段组成，第一阶段涨落急剧的与第一类洪水相同。二类洪水由地面水与地下水组合而成，产生该类洪水的多数暴雨其雨量和雨强都很大，有的雨量虽不突出，但前期多雨，林地土壤潮湿。

对表 5 降雨-径流过程分析，该次降雨历时 13 h 50 min，在这次降雨之前的 7. 31, 7. 29, 7. 24 都有降雨，而且 7. 24 还有产流，所以此次降雨与径流的关系要考虑前期降雨影响。该次降雨过程最大雨强为 1 mm/min，洪峰出现时间滞后于最大降雨强度出现时间 45 min，说明土壤水分已经饱和。前期土壤含水量越大，产流滞后时间越短，入渗雨量越小，越易产生径流导致水土流失^[6, 7]。

表 5 1996 年 8 月 2 日的降雨过程与径流过程表

时间	降雨量/mm	雨强/(mm·min ⁻¹)	瞬时流量/(m ³ ·s ⁻¹)
20:00	0	0	0
21:20	1	0.05	0
20:30	2	0.1	0
21:00	4.5	0.083	0
21:20	6.0	0.075	0
21:40	6.1	0.005	0.00204
22:00	6.2	0.0025	0.00173
23:00	6.3	0.0017	0.00109
24:00	7	0.014	0.00093
24:50	7.5	0.01	0.00056
1:00	10	0.25	0.0005
1:10	20	1	0.00045
1:20	21	0.1	0.0182
1:30	23.6	0.26	0.0264
1:40	24	0.04	0.0706
2:00	24.5	0.025	0.0431
2:15	26	0.1	0.0243
2:30	27.4	0.1	0.018
2:40	29.6	0.22	0.0232
3:00	29.7	0.005	0.0271
3:55	30	0.006	0.0862
4:15	40	0.5	0.129
4:30	42.4	0.16	0.158
5:05	50	0.22	0.0562
5:50	60	0.22	0.1301
6:00	70	1	0.327
6:20	80	0.5	0.667
6:45	84	0.16	0.8872
7:00	86.8	0.18	0.531
7:18	90	0.2	0.337
7:45	94	0.15	0.2938
7:50	100	1.2	0.342
8:00	101	0.1	0.4646
8:10	102	0.1	0.4206
8:20	106	0.4	0.4672
8:32	110	0.33	0.3721
8:50	110.2	0.011	0.5182
9:00	110.4	0.02	0.5041
9:40	113.8	0.085	0.3117
9:50	114.2	0.04	0.2641

3.3 降雨与输沙量

通过分析水样的理化性质，得到在水样中的总氮、总磷、泥沙量。见表 6。

表 6 不同年份流域径流统计

年份	总氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)	泥沙量 (kg·m ⁻³)	径流量 /m ³	每次输 沙量/kg
1987	10.35	0.444	1.863	20381.0	8130.73
1988	4.01	0.471	5.563	3491.8	15665.50
1990	0.94	0.636	1.994	9958.4	5590.59
1991	1.34	0.853	1.688	12000.2	10330.50
1994	4.77	0.546	1.371	15815.5	6844.32
1996	4.27	0.335	2.317	29808.4	26040.30

图 2 所示的是年降雨量与输沙量呈幂指数关系，降雨增加，输沙量增加。模拟方程为 $y = 13.488x^{1.3634}$, $R^2 = 0.7566$ 。

通常 10 月至翌年 4 月间，降水很少，一般不产生地表径流。4 月中旬松土播种使土壤经常处于疏松状态。5~6 月份是作物幼苗生长期，作物覆盖度差，天然草被，未达到茂密阶段，进入雨季即造成泥土大量流失。7 月后，地表植被覆盖度较高，拦蓄地表径流能力提高，故土壤流失量也在减少。

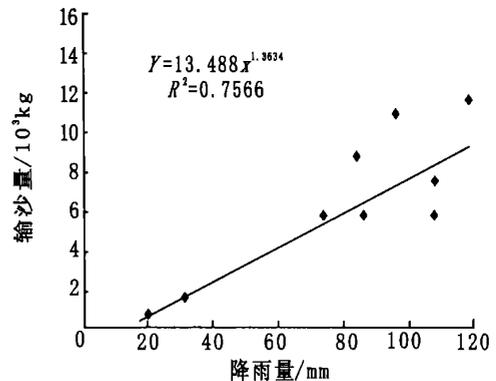


图 2 降雨量与输沙量关系图

4 结论与建议

(1) 试验小区产流量的顺序：荒坡 > 松树 > 梯田 > 紫穗槐小区；治理措施对控制地表径流有明显作用。

(2) 年降雨量与径流量线性正相关，模拟方程为： $y = 46.402x - 9235.8$, $R^2 = 0.7906$ ，降雨是该地区主要的土壤侵蚀动力因子。

(3) 产生径流的降雨总量与径流量呈幂指数关系，模拟方程为：

$$y = 1902.5e^{0.0174x}, R^2 = 0.865.$$

(4) 年降雨量与输沙量呈幂指数关系，模拟方程为：

$$y = 13.488x^{1.3634}, R^2 = 0.757.$$

(5) 沟头大面积开山取石，降低了山地生态系统水源涵养能力，导致径流量的急剧增加。

参考文献：

- [1] 高鹏. 人工刺槐林地产流、产沙规律的研究[J]. 福建水土保持, 1994, (4): 39-41.
- [2] 易文明, 李正南. 湘中丘陵典型小流域治理前期水土流失规律研究[J]. 中国水土保持, 2002, (5): 15-17.
- [3] 何贵平, 陈益泰, 等. 杉木新造林地水土流失规律研究初报[J]. 林业科学研究, 1993, (12): 686-690.
- [4] 张奇, 杨文元, 等. 川中丘陵小流域水土流失特征与调控研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 10(3): 38-45.
- [5] 杨玉盛, 何智英. 杉木幼林地水土流失规律的研究[J]. 林业科学, 1993, (1): 25-31.
- [6] 李占斌, 符素华, 等. 流域降雨侵蚀产沙过程水沙传递关系研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 10(4): 44-49.
- [7] 朱兴平. 黄丘五副区小流域水土流失的时空变化[J]. 中国水土保持, 1995, (12): 12-15.