

## 三峡库区森林植被坡面产流特性\*

王晓东<sup>1</sup>,张洪江<sup>1</sup>,程金花<sup>1</sup>,孙艳红<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院,北京 100083;2. 延庆县水务局,北京 延庆 102100)

**摘要:**以重庆缙云山 4 种不同植被类型坡面为研究对象,对 2002 年降雨和地表产流实测值进行对比分析,结果表明:三峡库区 4 种坡面在相同的降雨条件下,产流量依次为:混交林地(65.18 mm) > 毛竹林地(64.72 mm) > 灌木林地(30.52 mm) > 阔叶林(18.71 mm),并且产流量集中分布在 4-9 月,其中阔叶林的产流量为 4 种植被类型坡面中最低,表明阔叶林相对于其它坡面在调节径流方面的作用最大;地表特性各因素与产流量间的灰关联度大小依次为:土层厚度 > 枯落物量 > 林分郁闭度 > 坡度,地表特性各因素对产流量的影响均较大,其中土层厚度对产流量的影响最大,而坡度对产流量的影响最小;产流量与降雨量都表现出较好的线性相关关系,且土层厚度直接影响着起始产流雨量。

**关键词:**长江三峡库区;森林植被;坡面产流

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)01-0001-03

## Characteristics of Runoff on Forest Vegetation Slopes in Three Gorges Area

WANG Xiao-dong<sup>1</sup>, ZHANG Hong-jiang<sup>1</sup>, CHEN G Jin-hua<sup>1</sup>, SUN Yan-hong<sup>2</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Yanqing Water Authority, Yanqing, Beijing 102100, China)

**Abstract:** Four different vegetation stand slopes in Jinyun Mountain in Chongqing city were studied. By contrasting the rainfall and the surface runoff in 2002, the results showed that, with the same precipitation, the amount of runoff in the mixed forest was the maximum (65.18 mm), the second was the *Phyllostachys pubescens* forest (64.72 mm), the third was the shrub forest (30.52 mm), the fourth was the broad-leaved forest (18.71 mm). The amount of runoff concentrated mainly from April to September. In this period the amount of runoff in the broad-leaved forest was the minimum in all the vegetation stand slope. The results showed that effects of the broad-leaved forest on the regulation of slopes runoff were the maximum. Between all the surface conditions and the amount of runoff grey relation of soil thickness was the maximum, the second was litter amount, the third was canopy closure extent, the fourth was slope. Effects of all the surface conditions on the amount of runoff were all great. Effects of soil thickness on the amount of runoff were the maximum, and effects of slope were the minimum. The correlativity between the amount of rainfall and the amount of runoff was remarkable, and soil thickness directly affected the amount of rainfall of initiative runoff.

**Key words:** Three Gorges area; forest vegetation; runoff of slopes

长江是我国最大、世界第三大河。长江流域幅员辽阔,人口众多,流域地处中亚热带气候区,雨量充沛。三峡大坝建成后,倍受世人关注,大坝以库周分水岭为界,库面面积达 5.42 万 km<sup>2</sup>,这一区域山地面积占总面积的 74%。随着库区生态建设工程的迅速开展,降雨时空分布、森林植被对降雨的调节作用越来越为人们所关心。因此研究三峡库区的坡面产流特性,对于认识其水土资源特点和土壤流失规律,据以采取相应防治对策具有重要意义<sup>[6]</sup>。

### 1 试验区概况

试验区位于重庆市缙云山国家级自然保护区内,地理位置东经 106°17'43" - 106°24'50",北纬 29°41'08" - 29°52'03",总面积为 7 600 hm<sup>2</sup>。该地具有热带季风湿润性气候特征,年平均气温 13.6℃,年平均相对湿度 87%,年平均降水量 1 611.8 mm,最高年降水量 1 783.8 mm,10 月至次年 3 月

降水量 368.0 mm,占全年降水量的 22.8%,4-9 月降水量为 1 243.8 mm,占全年的 77.2%。主要土壤类型为黄壤和水稻土,并分布有零星的紫色土。缙云山有常绿阔叶林、暖性针叶林、竹林、暖性阔叶灌丛和水生植被 5 种主要植被类型,针叶树以亚热带森林先锋树种马尾松(*Pinus massoniana* Lamb)和栎类(*Lithocarpus glaber*)为主,兼有部分毛竹(*Phyllostachys pubescens*)。

### 2 研究方法

#### 2.1 样地布设

选取重庆缙云山 4 种不同森林植被类型坡面作为试验样地,分别为针阔混交林、阔叶林、毛竹林、灌木林和坡耕地,并分别布设径流观测场,观测场面积均为 5 m × 20 m。并对观测场内 4 种样地地表条件和植被状况进行实地调查,结果如表 1 和表 2 所示。

\* 收稿日期:2006-09-29

基金项目:国家重点研究发展计划(973 计划)“长江上游环境变化与水产产沙作用机理”(2003CB415202-3)

作者简介:王晓东(1981-),男,博士生,主要从事流域管理研究。

通信作者:张洪江,教授,博导。

表 1 不同样地地表条件

样地特征	针阔混交林	阔叶林	毛竹林	灌木林
林分郁闭度	0.80	0.85	0.75	0.90
海拔/m	828	833	820	840
平均坡度/(°)	21	27	13	10
土层厚度/cm	55	53	39	86
坡位	中上	中上	中上	中上
坡向	N	N	N	W

表 2 不同样地植被条件

植被类型	主要植被种类	平均树高/m	平均冠幅/m <sup>2</sup>	枯落物蓄积量/(kg·m <sup>-2</sup> )
针阔混交林	大头茶、马尾松、白毛新木姜子、桉木、山矾	8.7	14.15	1.598
阔叶林	大头茶、白毛新木姜子、桉木	10.3	13.30	2.456
毛竹林	毛竹	14.3	1.41	1.521
灌木林	广东钓樟、白毛新木姜子、四川山矾、喜树	4.6	5.70	1.689

2.2 降雨量和产流量测定

2002 年全年产流观测期内,采用自记雨量计对每场降雨进行记录,结果见表 3。产流量的测定由翻斗式流量计完成,地表产流从水量平衡场由内径为 14 cm 的铁管导入观测房,在暴雨季节先通过多孔分水箱分流后再注入翻斗式自记流量计,由多通道微电脑数据采集系统进行记录。

表 3 2002 年样地降雨量

月份	1	2	3	4	5	6
降雨量/mm	46.2	53.1	92.05	244.33	311.93	96.78
占全年比/%	3.24	3.72	6.45	17.11	21.84	6.73
月份	8	9	10	11	12	总计
降雨量/mm	286.24	99.84	68.64	71.76	57.2	1428.07
占全年比/%	20.04	6.99	4.81	5.02	4.05	100.00

3 结果与分析

3.1 产流量

根据 2002 年全年 11 个月对径流小区的连续观测,样地的月产流量如表 4 所示。

表 4 2002 年样地月径流量 mm

月份	混交林	阔叶林	毛竹林	灌木林
1 月	1.41	0.39	1.10	0.31
2 月	2.64	0.48	1.28	0.55
3 月	2.00	0.99	3.13	1.09
4 月	10.13	3.58	9.28	1.66
5 月	13.30	3.15	10.89	7.23
6 月	12.20	2.89	19.91	9.23
8 月	13.06	3.53	10.65	5.85
9 月	4.58	1.22	3.69	2.22
10 月	2.07	0.68	1.32	0.66
11 月	2.68	0.89	2.18	1.03
12 月	1.13	0.90	1.30	0.72
合计	65.18	18.71	64.72	30.52

从表 4 中可看出不同坡面地表产流量不同,其中以混交林和毛竹林最大,分别为 65.18 mm 和 64.72 mm,灌木林次

之,阔叶林最小仅为 18.71 mm。

进一步分析表 4 可知,由于全年降雨量主要集中在 4-9 月,4 种坡面的产流量也集中分布在这一时期(图 1),但不同坡面在全年产流量中所占比例不同,分别为:混交林 81.72%、阔叶林 76.84%、毛竹林 84.07%、灌木林 85.78%,其中阔叶林为 4 种坡面中最低,表明阔叶林相对于其他 4 种坡面在调节径流方面的作用最大。

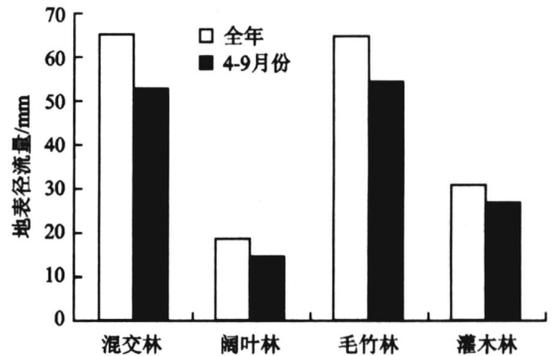


图 1 不同地表径流量产量

3.2 地表特性对产流量的影响

为探索影响地表产流各因素的主次关系,利用灰色理论,对重庆缙云山不同林地类型的地表状况影响地表产流因素进行灰关联分析。灰关联分析是基于行为因子序列的微观或宏观几何接近,以分析和确定因子间的影响程度或因子对主行为的贡献测度,而进行的一种分析方法。

设  $x_1, x_2, \dots, x_N$  为  $N$  个因素,反映各因素变化特性的数据列分别为  $\{x_1(t)\}, \{x_2(t)\}, \dots, \{x_N(t)\}, t=1, 2, \dots, M$ 。因素  $x_j$  对  $x_i$  的关联系数为

$$ij(t) = \frac{\min_i \min_j ij(t) + \max_i \max_j ij(t)}{ij(t) + \max_i \max_j ij(t)} \quad (1)$$

式中:  $ij(t)$  ——关联系数;  $ij(t)$  ——比较数列与参考数列各对应点的绝对差值; ——分辨系数,越小,分辨率越大,一般取  $\alpha = 0.5$  (徐建华, 2002)。在该研究中  $N = 1, 2, 3, \dots, 6; t = 1, 2, 3, 4$ 。灰关联度平权法求得,计算式为

$$ij = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n ij(t) \quad (2)$$

研究选取的地表特性对产流量的影响因素有林分郁闭度、平均坡度、土层厚度及枯落物量,为了消除参数间量纲的不同,采用最大值化的处理方法对各参数数列进行生成处理,然后将新的参数序列根据公式(1)计算后,得到各因素与产流量间的灰关联系数(表 5)。

表 5 地表特性各因素与产流量间的灰关联系数

植被类型	林分郁闭度	坡度	土层厚度	枯落物量
混交林	1	0.816297	0.950329	0.790324
阔叶林	0.4460165	0.441717	1	0.521672
毛竹林	0.9008501	0.544339	0.740281	0.764230
灌木林	0.5220514	1	0.764473	1

通过表 5 中的灰关联系数,根据公式(2)计算得到各因素与产流量的灰关联度。林分郁闭度灰关联度为 0.717 2,坡度的灰关联度为 0.700 5,土层厚度的灰关联度为 0.863 8,枯落物量的灰关联度为 0.769 0,地表特性各因素与产流量间的灰关联度大小依次为:土层厚度 > 枯落物量 > 林分郁闭度 > 坡度。结果表明,地表特性各因素产流量的影

响均较大,其中土层厚度对产流量的影响最大,而坡度对产流量的影响最小。

### 3.3 降雨量对产流量的影响

为了探讨坡面年内产流与降雨量之间的关系,试验在 2002 年全年降雨中选取有代表性的 50 次降雨,分别对 4 种坡面做降雨量与产流量的相关性分析,结果表明:4 种坡面年内产流与降雨量均表现出较明显的线性相关关系。根据 2002 年全年降雨和产流量数据回归计算得出 4 种样地的回归方程。如混交林,其降雨量与产流量的相关关系方程为

$$Y = 0.067X - 0.147 \quad (R = 0.8583)$$

式中:Y——产流量(mm);X——次降雨量(mm); $X_s$ ——坡面产流起始降雨量(mm)。

令回归方程  $Y = 0$ , 并解之,并令此时 X 的解为  $X_s$ , 则有:  $X_s = 2.2$ , 也就是说当次降雨量小于 2.2 时混交林地坡面有可能不产生径流。

采用同样的方法对其它坡面次降雨量和产流量的资料进行回归计算,得到相应的相关关系方程分别为

毛竹林  $Y = 0.070X - 0.103 \quad (R = 0.8450)$

阔叶林  $Y = 0.012X - 0.204 \quad (R = 0.8567)$

灌木林  $Y = 0.031X - 0.109 \quad (R = 0.8350)$

同时描绘了 4 种坡面的相关关系散点图(图 2)。

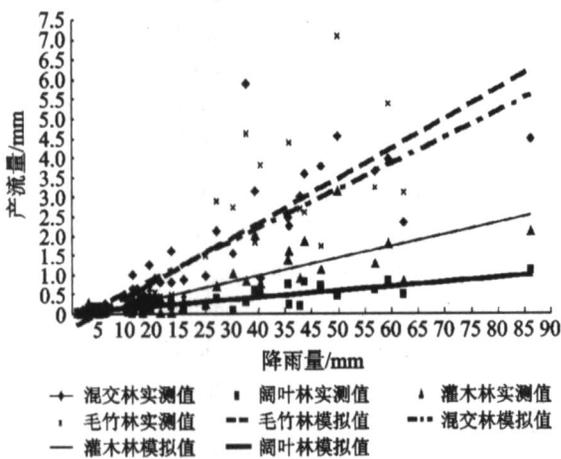


图 2 降雨量与产流量相关关系

由图 2 看出,4 种坡面在相同的降雨条件下不仅产流量不相同,而且由于土层厚度的不同产流起始雨量也不同。混交林和阔叶林的土层厚度相差很小分别为:55,53 cm,混交林的产流起始雨量  $X_s$  值为 2.20 mm,阔叶林的产流起始雨量为 2.07 mm。毛竹林的土层厚度最小为 39 cm,产流起始雨量  $X_s$  值也最小为 1.47 mm。由此可知,土层厚度对产流起始雨量有着直接的影响,土层厚度较大的样地产流起始雨量也大,反之土层厚度较小的样地产流起始雨量也小。

### 4 结论

4 种植被类型坡面在相同的降雨条件下,其产流量不同。阔叶林地的总产流量最小为 18.71 mm,其它依次为:混交林地(65.18 mm) > 毛竹林地(64.72 mm) > 灌木林地(30.52 mm)。由于降雨集中到 4 - 9 月,所以产流量集中分布在 4 - 9 月,其中阔叶林这一时期的产流量所占比例 76.84%,为 4 种植被类型坡面中最低,混交林次之,毛竹林、

灌木林、坡耕地相当,表明阔叶林相对于其它坡面在调节径流方面的作用最大。

地表特性各因素产流量的影响均较大,其中土层厚度对产流量的影响最大,而坡度对产流量的影响最小,地表特性各因素与产流量间的灰关联度大小依次为:土层厚度 > 枯落物量 > 林分郁闭度 > 坡度。

产流量与降雨量都表现出较好的线性相关关系。由相关关系图可以看出土层厚度直接影响着产流起始雨量,土层厚度较大的样地产流起始雨量也大,反之就小。

### 参考文献:

- [1] 张洪江,王礼先.花岗岩坡面土壤流失特性及其系统动力学仿真[M].北京:中国林业出版社,1997:15-19.
- [2] 张洪江,王礼先,解明曙.长江三峡花岗岩地区土壤流失时间分布特性[J].Resources and Environment in the Yangtze Valley,1997,4:368-373.
- [3] 胡兴林.甘肃省主要河流径流时空分布规律及演变趋势分析[J].地球科学进展,2000,15(5):516-521.
- [4] 曲小红,石生新,荣丰涛.降雨径流系列的一致性分析[J].山西水利科技,1999(1):34-37.
- [5] 丁文峰,李占斌,丁登山,等.坡面细沟侵蚀产沙时空分布规律试验研究[J].水科学进展,2004,15(1):19-23.
- [6] 徐之华,黄健民.长江三峡库区气候特征与生态环境[J].四川气象,2002(3):22-24.
- [7] 王云琦,王玉杰,张洪江,等.重庆缙云山几种典型植被枯落物水文特性研究[J].水土保持学报,2004,18(3):41-44.
- [8] 蔡新广.石匣小流域水土保持措施蓄水保土效益试验研究[J].资源科学,2004,26(8):144-150.
- [9] 符素华,吴敬东,段淑怀,等.北京密云石匣小流域水土保持措施对土壤侵蚀的影响研究[J].水土保持学报,2001,15(2):21-24.
- [10] 阮伏水,周伏建.花岗岩不同土地利用类型坡地产流和入渗特征[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(3):1-7.
- [11] 刘思峰,等.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2002.
- [12] 罗庆成,徐国心.灰色关联分析与应用[M].南京:江苏科学技术出版社,1989.
- [13] 张恒喜,等.小样本多元数据分析方法及应用[M].西安:西北工业大学出版社,2002.
- [14] 李香云,王玉杰.缙云山两种植被类型对坡面产流的影响[J].北京林业大学学报,2003,25(5):81-84.
- [15] Richard L, Granillo A B. Soil protection by natural vegetation on clearcut forest land in Arkansas[J]. Journal of Soil and Water Conservation,1985,40(4):379-382.
- [16] Dabne Seth M. Cover crop impacts on watershed hydrology[J]. Journal of Soil land Water Conservation, 1998,53(3):207-213.