

宜川县油松人工林集水区 水文状况分析*

吴钦孝 刘向东 赵鸿雁 韩 冰

(中国科学院西北水土保持研究所
水利部)

摘 要

通过对人工油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林集水区水文特征与产流特征的分析发现, 人工油松林集水区产流有三种类型: 坡面和沟道不发生径流, 沟道产生径流, 坡面和沟道均产生径流。

关键词 人工油松林 集水区 水文特征 径流

AN ANALYSIS ON HYDROSTATUS OF CATCHMENT IN ARTIFICIAL CHINESE PINE FOREST IN YICHUAN COUNTY

Wu Qinziao Liu Xiangdong Zhao Hongyan Han Bing
(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, The
Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy)

Abstract

3 types of the runoff in artificial *Pinus tabulaeformis* forest catchments were found by analysing the hydrological characteristics of the catchment. They are no runoff, runoff formed only in gully and runoff produced both in sloping face and gully.

Key words *Pinus tabulaeformis* forest catchment hydrological characteristics runoff

1 引 言

林冠截留降水、地被物滞留地表径流、根系固持土壤等都是森林的水土保持作用^[1]。

*国家自然科学基金资助项目。

对小流域来说,这种作用都综合地反映在森林流域的水文特征上。森林对流域产水量的影响一直是人们关心的问题。国外对这方面的研究较多,开始较早^[2]。如苏联提出了中等流域森林覆被率对产流量影响显著,森林覆被率每增加10%,河川流量约递增 19mm/a。美国研究认为,有林地的产流量总是低于其它类型和空旷地。瑞典曾对两个流域作了这样的处理,一个流域皆伐后作了清林,另一个采伐后将剩余物堆放原地,结果前者径流量增加了137%,后者只增加了87%。国内森林水文研究起步较晚,但也取得了一批成果,如林冠截留、根系固持土壤、中小型流域的产流预报方程等。目前对森林流域的产流研究正在深入地进行。

2 研究区自然概况与研究方法

2.1 研究区自然概况 (略)

2.2 集水区的基本特征

一号集水区(简称No₁):人工油松林占50%,1990年春进行抚育间伐,强度50%,伐后每公顷保留1 000~1500株,郁闭度0.4~0.5;山杨林间伐强度30%,郁闭度0.7。

二号集水区(简称No₂):人工油松林占50%,其余为山杨林,未进行抚育间伐,森林覆被率90%,郁闭度0.7~0.8。

两集水区的基本状况见表1。

表1 集水区基本情况及沟道特征

集 水 区 号	No ₁	No ₂
集水区面积(km ²)	0.358	0.24
主沟道长(m)	400	440.5
主沟道比降	0.125	0.25
沟道面积(km ²)	0.0012	0.0028
沟道走向	北	北
岩石类型	页岩	页岩
土壤类型	褐土	褐土

2.3 研究方法

国外进行森林水文研究的方法各有特点,国内所用方法也不尽相同。我们采用的是相对基准集水区法,即在每个沟道设置一个三角形量水堰,配有降水自动记录装置和量水自动记录装置,能自动观测记录每日的水文情况。

3 结果与分析

3.1 集水区的产流特征

3.1.1 集水区的产流类型

按坡面和沟道产流情况,将集水区的产流归为三个类型: I. 由于林冠截留降水,

枯枝落叶滞蓄地表径流以及土壤的下渗作用，当降雨强度不超过一定的量时，天然降雨被完全拦蓄，坡面和沟道均不产生径流，其最大降水量为4.5mm。Ⅱ. 由于坡面产生径流的降雨量大于沟道，所以当降雨量小于某一量时，沟道可产生径流，而坡面不产生径流。这一测值的最大降雨量为10.7mm。沟道乃至坡面产生径流不仅受森林郁闭度的影响，同时受前期降水量或者土壤水分的影响^[3]。Ⅲ. 林冠、枯枝落叶截留和土壤下渗

表 2 集水区降雨量(P)与洪峰流量(Q_{peak})和洪水径流量(RQ)的关系

降雨次数	降雨日期	No ₁			No ₂					坡面径流小区产流状况
		P	Q _{peak}	RQ	T	P	Q _{peak}	RQ	E	
		mm	m ³ /min	mm	(h)	mm	m ³ /min	mm	mm/min	
1	6.17	16.3			6.83	17.2			0.042	无
2	6.23	11.4	0.0082	0.002	16.0	10.7	0	0	0.011	无
3	6.25	6.7	0.005	0.001	7.0	7.1	0.0005	0.00001	0.017	无
4	6.27	5.6	0.004	0.0006	3.23	5.8	0.005	0.006	0.030	无
5	7.1	2.3	0	0	3.0	2.7	0	0	0.015	无
6	7.6	44.0			6.0	50.0			0.139	有
7	7.9	8.4			0.58	5.8			0.167	无
8	7.10	2.5	0	0	0.33	3.1	0	0	0.157	无
9	7.21	47.0	0.047	0.062	9.50	47.4	0.032	0.0128	0.083	有
10	7.26	7.0	0.0013	0.0005	3.0	7.6	0.001	0.0008	0.042	无
11	7.29	8.6	0.0083	0.0024	2.25	6.2	0.084	0.0131	0.046	有
12	7.31	19.1	0.087	0.017	6.0	31.3	0.428	0.0582	0.087	有
13	8.12	36.7	0.047	0.042	13.0	38.0	0.077	0.032	0.049	有
14	8.14	33.5	0.007	0.0077	18.8	34.3	0.0286	0.03	0.030	有
15	8.26	4.5	0	0	18.0	5.3	0	0	0.005	无
16	8.27	27.3	0.045	0.023	3.50	28.3	0.027	0.0142	0.135	有
17	8.31	1.2	0	0	1.0	1.8	0	0	0.03	无
18	9.3	12.9	0.036	0.006	4.0	11.2	0.054	0.0089	0.047	有
19	9.7	25.4	0.024	0.017	0.5	24.9	0.04	0.0111	0.83	有
20	9.8	14.1	0.001	0.0017	6.0	14.9	0.005	0.0045	0.041	有
21	9.9	12.0	0.002	0.0025	17.0	12.0	0.008	0.0029	0.012	有
22	9.13	6.4	0.001	0.0004	1.33	4.2	0.0016	0.0023	0.053	无
23	9.20	6.5			1.0	5.0			0.083	
24	9.22	42.9			2.0	43.1			0.0359	有
25	10.2	5.2			1.0	5.4			0.09	

降水是一个动态过程，即它们拦截的降水量与时间有关。随着时间的增加，拦截、下渗的最大容量才能显示出来^[4]。若降水量大、但历时短，林冠、枯枝落叶截留降雨和土壤下渗的作用不能充分实现，此时坡面可发生径流。在不同季节，坡面和沟道产生径流的最小降水量不同，在7月以前大约需要40mm降水；7月以后，产生径流的降水量变小，如9月9号，12mm的降水即能产生径流。应该指出的是：产流所需的最小最大降

水量受许多因子制约，有待于进一步研究。

由表3我们计算了坡面有径流时流域的径流系数。 No_1 集水区的径流系数为0.000 96； No_2 集水区的径流系数为0.001，可见二者的径流系数都很小，说明森林的保水作用很大。

从径流小区的观测看，当坡面发生径流时，一般含有一定量的泥沙。但到沟道有洪水时，却为清水，主要原因是坡面产生的径流经过两条途径汇入沟道，一是经过枯枝落叶层；另一个是壤中流。由于林地一般有2~3 cm厚的枯枝落叶，径流从枯枝落叶层中流入沟道，经过一定距离后，泥沙被过滤到林地，使得洪水中含沙量大大减少，成为清水。

3.1.2 降水量与洪峰流量、洪水径流量的分析

从两集水区降水量与洪峰流量的关系看：洪峰流量不仅受降水量的影响，更重要的是受前期降水或土壤水分的影响。降水量大，洪峰流量不一定大；降水量小，洪峰流量也不一定小。如 No_1 集水区7月21日降水量47mm，洪峰流量为 $0.047\text{ m}^3/\text{min}$ ，7月31日降水量为19.1mm，洪峰流量却为 $0.087\text{ m}^3/\text{min}$ 。 No_2 也是如此，8月12日降水量为31.3mm，洪峰流量为 $0.077\text{ m}^3/\text{min}$ ，7月29日降水量为6.2mm，洪峰流量为 $0.084\text{ m}^3/\text{min}$ 。由图1可见， No_1 和 No_2 两集水区降水量与洪峰流量的关系并不一致。可见，降水量对洪峰流量的影响比较复杂。

平均雨强与洪峰流量的关系也一样：平均雨强大，洪峰流量不一定大，平均雨强小，洪峰流量不一定小（见图2）。这里，降雨强度对洪峰流量的影响，不仅受前期降水、土壤水分的影响，而且还受森林郁闭度等因子的制约。

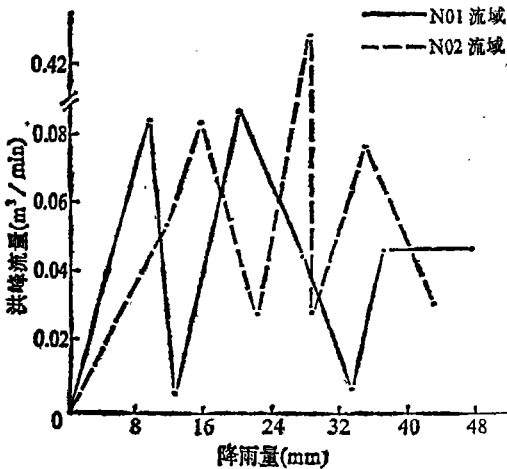


图1 降雨量与洪峰流量的关系

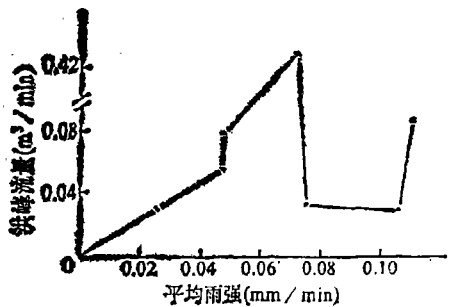


图2 流域平均雨强与洪峰流量的关系

降雨量与洪水径流量的关系基本是：降雨量大，洪水径流量大；降雨量小，洪水径流量小。如 No_1 集水区降水量为47mm时，洪水径流量为0.062mm；降水量为27.3mm时，洪水径流量为0.023mm； No_2 集水区降水量为38mm时，洪水径流量为0.032mm，降水量为11.2mm，洪水径流量为0.008 9mm。即使如此也不能排除前期降水和土壤水分的影响。把降水量与洪水径流量进行单相关回归，得回归方程式是：

$$No_1: RQ = 0.0015P - 0.0164 \quad r = 0.98 \quad n = 9$$

$$No_2: RQ = 0.001P - 2.722 \quad r = 0.67 \quad n = 9$$

3.2 No_1 、 No_2 两集水区水文特征分析

3.2.1 水文过程线的分割方法

基流与洪流分割的正确与否主要取决于水文过程的分割。从1967年以来, Hewlett和Hibbert一直从事这项研究, 并提出了一种分割方法, 称斜线分割法。与此并存的还有另一种方法, 即直线分割法。这两种方法各有优缺点, 就象Hewlett, J. D. 曾经指出的那样, 没有任何图形处理或数学方法能从水文过程线中分出真正的基流与洪水径流。任何分割方法都是任意的。因此, 无论方法的优缺点如何, 只要对比较的集水区采用相同的方法, 都能取得相同的效果。本文采用了直线分割法。

3.2.2 水文过程线的分析

在产流的所有水文过程线中, 基本可概括为两种类型的曲线: I. 单峰水文线过程; II. 多峰水文过程线。如图3、4所示, 由于 No_1 和 No_2 集水区有同样的曲线, 所以仅画出 No_2 的水文过程线。

图3是1990年7月30日的一次降雨, 这次降水量为25.6mm, 平均雨强0.071mm/min; 图4是同年8月14~15日的一次降雨, 降雨量是28.7mm, 平均雨强为0.025mm/min。虽然 No_1 、 No_2 两集水区林分的郁闭度不同、 No_2 比 No_1 高20%, 但是水文过程线却相同, 可见林分郁闭度对水文过程线的影响较小。

将降雨过程线与水文过程线对比, 可见降雨过程线与水文过程线基本一致, 且有以下特点: 当降雨量大, 历时短时, 洪峰流量出现的最高峰与降雨几乎相同; 若降雨量小, 历时长, 则最大洪峰流量约比最大降雨量迟出现约2h左右(图4)。由此可见, 水文过程线与降雨过程线吻合较好。前面已经讨论过降水被截留的机制, 也分析了产流的类型。现在可以看出: 降雨量大, 历时短, 林冠截留降水, 地被物吸收地表径流, 土壤入渗等作用都得不到充分的实现, 沟道和坡面同时产生径流流向沟口, 使最大降水和洪峰几乎同时出现。当降水量小, 历时长时, 森林各部分拦截降水的作用充分发挥, 这时就出现了上述迟滞的现象。

3.2.3 两集水区的水文特征分析

目前森林水文的研究内容丰富, 洪水特征值是其中之一。洪水特征值较多, 本文采用下面的洪水特征值来说明两集水区的产流特征。

用洪水起伏量(V)说明单位时间内洪峰的起落程度。

$$V = \text{洪峰流量} / \text{洪水历时} = Q_{\text{peak}} / h$$

用水文响应(Re)表示流域洪水转换率。

$$Re = \text{洪水径流量} / \text{降雨量} = RQ / p$$

用 Q_s 值表示单位面积上的洪水量。说明流域自然条件的差异引起洪水径流的差异。

$$Q_s = \text{洪水量} / \text{流域面积} = Q / s$$

根据上述洪水特征值对观测资料进行处理所得结果见表3。由表可见, No_1 集水区洪水流量在23.867~2.493 m^3 之间, 平均值为9.654 m^3 , 产生的洪水总量67.57 m^3 ; No_2 洪水流量在13.961~2.137 m^3 , 平均值为5.802 m^3 , 洪水总量40.611 m^3 。由此可见 No_1 洪

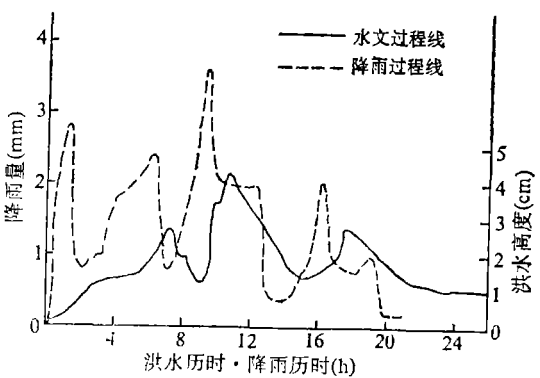
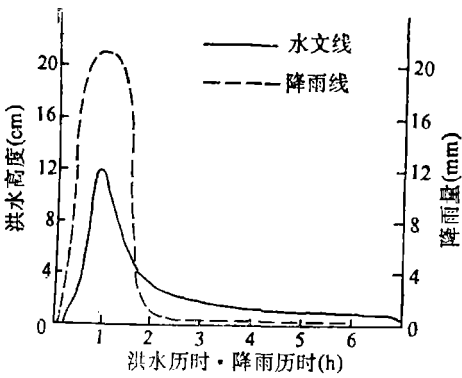


图3 No₂集水区水文和降雨过程线(7月31日) 图4 No₂集水区水文和降雨过程线(8月14日)

水流量比No₂洪水流量平均值大0.67倍,洪水总量也大。这是由于No₁的郁闭度小,拦蓄的降水量少所致。

表3 集 水 区 产 流 特 征 值

集水区号	洪峰流量 m ³ /min	洪水流量 m ³	洪水径流量 mm	洪水起伏量 m ³ /min/hour	Qs值 m ³ /km ²	水文响应 Re
No ₁	0.047	23.867	0.062	0.001	61.99	0.001 3
No ₂	0.032	3.077	0.013	0.002	12.82	0.000 3
No ₁	0.008	6.545	0.017	0.001	17.00	0.002 0
No ₂	0.084	3.149	0.013	0.004	13.12	0.002 0
No ₁	0.087	6.712	0.017	0.004	17.44	0.000 9
No ₂	0.428	13.961	0.058	0.006	58.17	0.001 8
No ₁	0.047	16.008	0.042	0.002	41.58	0.001 0
No ₂	0.077	7.682	0.032	0.003	32.00	0.000 8
No ₁	0.007	2.955	0.008	0.000	7.68	0.000 2
No ₂	0.028	7.206	0.030	0.001	30.02	0.000 8
No ₁	0.045	8.996	0.023	0.003	23.36	0.000 8
No ₂	0.027	3.399	0.014	0.005	14.16	0.000 5
No ₁	0.036	2.493	0.006	0.002	8.91	0.000 5
No ₂	0.054	2.137	0.009	0.003	17.11	0.000 8

No₁集水区的洪水径流量在0.062~0.006mm之间,平均值为0.025mm。No₂集水区洪水径流量在0.058~0.009mm之间,平均值为0.024mm。可见洪水径流量两者相差不大。因为No₂的郁闭度虽然大于No₁,但No₁间伐时间不长,No₁林地的性质几乎和No₂相同。故在洪水径流量方面表现的差异较小。

No₁集水区的洪水起伏量在0.004~0.0003m³/min/h间,平均值0.002m³/min/h; No₂集水区的洪水起伏量在0.006~0.002m³/min/h间,平均值为0.003 3m³/min/h。可见由于流域面积小,汇流时间短,洪峰增减快,洪水起伏量大。

No₁集水区的Qs值在61.99~8.91m³/min/km²间,平均值为25.42m³/min/km²;

No_2 集水区在 $58.17 \sim 13.12 m^3/min/km^2$ 间, 平均值为 $25.34 m^3/min/km^2$ 。可见两集水区 Q_s 值的最大和最小值有差别, 而平均值差异不大。

从水文响应看, No_1 集水区在 $0.0020 \sim 0.0002$ 之间, 平均值为 0.00096 , No_2 集水区在 $0.0020 \sim 0.0003$ 之间, 平均值为 0.001 。可见, 两者 Re 值的变化范围及平均值均近似, 这主要是由于林地性质相似所致。

总之, 由于森林郁闭度和流域自然状况的差别, No_1 、 No_2 集水区的洪水特征值都有一定的差别。据孙阁等人在江西修水对杉木林两个小流域进行观测(面积分别为 $0.268 km^2$ 和 $0.300 km^2$, 森林覆被率分别为 75.27% 和 58.46%), 当降水量为 $40 mm$ 时, 洪峰流量分别为 $11.43 m^3/min$ 和 $11.76 m^3/min$, 比我们同样降水量(7月21日)的洪峰流量大几十倍。可见自然类别之差对洪峰的影响是很大的。

3.2.4 No_1 和 No_2 集水区的产流模型

由上述分析可知, 洪水径流量不仅受前期降水量或者土壤水分的影响, 而且与降雨量、平均雨强有关, 据此, 我们提出以下模型:

$$RQ = K \cdot P^a \cdot I^b \cdot h^c$$

式中, RQ 为洪水径流量(mm);

P 为降水量(mm);

I 为平均降雨强度 mm/min ;

h 为降水前量水堰的水位高度(cm)。

因前期降水量和土壤含水量的高低与水位高关系紧密, 所以用 h 表示前期降水或土壤水分对产流的影响。

k 、 a 、 b 、 c 为常数和指数。

对上式取自然对数, 换成

$$\ln RQ = \ln K + a \ln P + b \ln I + c \ln h$$

利用电子计算机求解: 得 No_1 、 No_2 集水区的产流模型如下:

$$No_1: RQ = 0.00006 \cdot P^{1.79} \cdot h^{0.48} \cdot I^{0.26} \quad n = 8, R = 0.83$$

$$No_2: RQ = 0.00007 \cdot P^{1.67} \cdot h^{-1.18} \cdot I^{-0.20} \quad n = 8, R = 0.89$$

从回归方程看, No_1 和 No_2 的产流模型差异较大。 No_1 的产流量与降雨量、降雨前期沟道基流、平均雨强都成正相关, No_2 则仅与降雨量成正相关, 与其它两个因子成负相关。据分析, 这主要是由于 No_2 集水区的森林郁闭度高, 对产流的影响较复杂的缘故。

为考虑森林郁闭度对产流的影响, 对 No_1 、 No_2 集水区进行统一回归, 得总产流模型如下:

$$RQ = 0.0001 P^{1.69} \cdot h^{-0.31} \cdot I^{0.06} \cdot C^{0.61}$$

$$n = 16, R = 0.83, C \text{ 为郁闭度。}$$

鉴于 No_1 、 No_2 的自然类型基本相同, 只是郁闭度不同, 因此上式也可用于确定其它类似集水区的产流量。应当说明, 由于观测资料所限, 在流域产流方面还有待进一步研究。

4 结 论

4.1 油松人工林集水区, 无论是否经过间伐, 其产流特征基本相同。产流类型有

三种: 即坡面和沟道都没有径流; 坡面无径流, 沟道有径流; 坡面和沟道都产生径流。产流特点是径流系数小, 洪水含沙量低, 在已有观测资料中, 沟道出现的洪水都为清水。

4.2 在两集水区的水文特征值中, 洪峰流量和洪水起伏量变化大, 洪水量、径流量和水文响应差异较小。影响洪峰流量和洪水径流量的因子, 主要是森林郁闭度、前期降水量和土壤水分等。

4.3 水文过程线主要取决于降雨过程线, 与其它因子关系不大。降雨过程线与水文过程线吻合较好。

4.4 两集水区的产流方程式分别为:

$$No_1: RQ = 0.000\ 06 P^{1.79} \cdot h^{0.48} \cdot I_0^{.26}$$

$$No_2: RQ = 0.000\ 07 P^{1.67} \cdot h^{-1.18} \cdot I^{-0.20}。$$

含森林郁闭度的产流模型为:

$$RQ = 0.000\ 1 P^{1.69} \cdot h^{-0.31} \cdot I^{0.06} \cdot C^{0.61}。$$

参 考 文 献

- [1] 中野秀章, 李云森译. 《森林水文学》, 中国林业出版社, 1983年
- [2] Hewlett J.D., Hibbert A.R. Factors affecting the response of watersheds to precipitation in humid areas, Inter.Symp.on forest hydrology.pergamon.press, 1967(6)768~781
- [3] 孙阁. 杉木植被小流域产流特征研究, 《国际森林水文模型培训班讲义》, 北京林业大学印刷厂, 1990(10), 96~103
- [4] 刘昌明. 森林拦蓄降雨极限容量模型. 《国际森林水文模型培训班讲义》, 北京林业大学印刷厂, 1990(10), 81~86

注: 本刊13期内文章“植物根系轴向水流阻力的研究”作者为邵明安; “预报植物叶水势的阻—容网络法”作者为邵明安、康绍忠、蔡焕杰, 特此更正。