

# 秦岭火地塘林区森林生态系统水量平衡研究

张胜利, 雷瑞德, 吕瑜良, 马玉花

(西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:** 采用水量平衡的方法研究了火地塘林区混交林对降雨的再分配状况。研究结果表明, 7-10 月份, 试验区内林冠截留量 126.58 mm, 树干茎流量 11.69 mm, 透过雨量 588.2 mm, 分别占同期降雨总量的 17.43%, 1.61% 和 80.96%。大部分降水以林内雨的形式进入林下; 枯落物截留水量 85.01 mm, 占同期降雨总量的 11.75%, 在蓄留降水方面有着重要的作用; 林地土壤蓄水量变幅为 53.45 mm, 对削减洪峰流量、调节河川径流、缩短枯水期有重要意义; 在林分水量平衡中, 蒸发散量为 521.01 mm, 径流总量为 155.24 mm, 土壤贮水量变化量为 +50.09 mm, 分别占同期降雨总量 726.34 mm 的 71.73%, 21.37% 和 6.9%, 蒸发散是森林生态系统水分输出中最重要的一项。

**关键词:** 水量平衡; 混交林; 截留; 蒸发散; 树干茎流; 贮水量; 透过雨量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2000)06-0018-05

中图分类号: S715.5

## Water-Balance of Forest Eco-system in Huoditang Area of Qinling Mountain

ZHANG Sheng-li, LEI Rui-de, LU Yu-liang, MA Yu-hua

(Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling District 712100, Shaanxi Province, PRC)

**Abstract** Used the method of water-balance, the redistribution of rainfall by mixed forest in Huoditang area of Qinling mountain is studied. The results are as follows (1) Woods canopy's interception of rainfall, runoff of woods stems and the rainfall under the woods are 126.58, 11.69 and 588.2 mm, which account for 17.43, 11.61 and 80.96 percent of the total rainfall respectively during July to October in experimental area. Most of precipitation falls into forest by the rainfall under woods. (2) Dead leaves and branches under the woods intercept 85.01 mm rainfall, which account for 11.75 percent of the total rainfall. They play important roles in retaining water. (3) Changing amplitude of water storage in woodland is 53.45 mm. Woodland is very important for reducing the crest of runoff, adjusting runoff and shortening dry season. (4) The results of forest eco-system water-balance are that forest evapotranspiration is 521.01 mm, the runoff is 155.24 mm, and the change of woodland soil water storage is +50.09 mm. They make up 71.73, 21.37 and 6.9 percent of the total rainfall, 726.34 mm of the same period. Forest evapotranspiration is the most part of woods water output.

**Keywords** water-balance; mixed forest; interception; evapotranspiration; runoff of woods stems; water storage; rainfall under woods

秦岭山脉是长江和黄河众多支流的发源地, 秦岭林区属水源涵养林区。该林区的水源供给对周边及其下游地区社会和经济影响重大。因此, 研究该林区内森林对降水的再分配状况, 在理论上和生产实践上都具有十分重要的意义。本文以秦岭火地塘林场为试验区, 采用水量平衡的方法, 就森林对降水的再分配状况进行了探讨。

秦岭火地塘林区位于秦岭南坡中山地带, 地处北纬 33°18'—33°28', 东经 108°20'—108°39', 属长江水系汉江流域。林区海拔范围 900—2450 m, 年平均气

温 8°C—10°C, 年平均降水 900—1200 mm, 年水面蒸发量 800—950 mm, 年总日照时数为 1100—1300 h。土壤以棕色森林土为主, 平均厚度为 50 cm, 腐殖质层厚 7—10 cm, 森林覆盖率 91.8%, 郁闭度 0.5 左右。主要成林树种有锐齿栎、华山松、油松、红松、红桦、云杉等。

### 1 研究原理和方法

#### 1.1 研究原理

本研究采用水量平衡的方法。水量平衡原理是指

在一定的时空内,水分的运动保持着质量守恒,或输入的水量和输出的水量之间的差额等于系统内蓄水量的变化量。森林生态系统无疑也遵循这一规律。在闭合流域或集水区内,一般把大气降水视为森林生态系统的水分输入量,把林地的蒸发蒸腾及各种径流作为水分的输出量。此时,林分水量平衡方程式如下:

$$P = E + \Delta W + R \quad (1)$$

式中:  $P$ ——大气降水量 (mm);  $E$ ——蒸发散量 (mm),  $E = E_t + E_{a+} + E_{b+} + E_c$ ,  $E_t, E_a, E_b, E_c$ ——分别为植物蒸腾、树冠及林下植被截留蒸发、枯落物截留蒸发及土壤水分蒸发;  $\Delta W$ ——土壤贮水变化量 (mm);  $R$ ——径流量 (mm);  $R = R_a + R_b + R_c$ ,  $R_a, R_b, R_c$ ——分别表示地表径流、壤中流及地下径流。另外,根据水分运动质量守恒原理,对于一次降水,在林冠层次内,又有如下平衡方程:

$$P = I + T + S \quad (2)$$

式中:  $I$ ——林冠截留量 (mm);  $T$ ——透过雨量 (或林内雨量, mm);  $S$ ——树干茎流 (mm)

根据以上方程,通过测定某些易于测定项目的方法,便可求出难于测定的项目的数值,从而达到了解森林生态系统中降水分配情况的目的。

## 1.2 研究方法

我们在秦岭火地塘林区内选择主沟火地沟一个支沟的集水面积作为试验地,该集水区属闭合流域,面积  $9 \text{ hm}^2$ ,海拔  $1620 \sim 1880 \text{ m}$ ,林分为锐齿栎混交林,郁闭度  $0.49 \sim 0.56$ 。该支沟林下植被较为稀疏,土层平均厚度约  $0.5 \text{ m}$ 。在试验地内外布设了仪器设备,观测大气降水、林内雨量、树干茎流、枯落物层截留量、土壤贮水量及沟口径流等因子。

(1) 大气降水观测: 通过遥测式雨量计直接测得,试验地中心距观测站约  $300 \text{ m}$ 。

(2) 透过雨量的测定: 在试验区随机布设直径为  $14.7 \text{ cm}$  的雨量筒 5 个,测定林内透过雨量。

(3) 树干茎流量的测定: 在试验区选择 6 株平均木,其中鹅耳枥 1 株,锐齿栎 2 株,青麸杨 2 株,漆树 1 株,将切开的橡胶管用胶螺旋式粘于树干基部,再用管子将干流导入雨量筒中进行观测。

(4) 土壤水分的测定: 采用环刀法按  $0 \sim 10 \text{ cm}$ ,  $10 \sim 20 \text{ cm}$ ,  $20 \sim 30 \text{ cm}$ ,  $30 \sim 50 \text{ cm}$  分层采取土样,再用烘干法分别测定各层土壤含水量,则土壤贮水量可由下面公式计算:

$$W = \sum W_i = 0.1k_i V_{di} h_i$$

式中:  $W$ ——土壤贮水量 (mm);  $k_i$ ——第  $i$  层土壤

含水量 (%);  $V_{di}$ ——第  $i$  层土壤干容重 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $h_i$ ——第  $i$  层土层厚度 (cm)

(5) 枯落物层透过水的测定: 在试验地内取原状的枯落物层置于直径  $11.1 \text{ cm}$  的雨量筒上,每次降雨后,测定雨量筒中的集水量。

枯落物层截留量 = 透过雨量 - 雨量筒中水量

(6) 径流的测定: 因流域的基底为不透水的基岩层,故在流域出口处修建三角形量水堰,堰板为钢板,厚  $0.5 \text{ cm}$ ,堰体由浆砌石构筑而成,截水齿墙与翼墙深至基岩层,使流域内的所有径流 (包括地表径流、壤中流、地下径流) 都经过堰口流出。在堰口设置自计水位计,记录水位值,根据水位与流量之间的关系计算流量及径流总量。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 混交林林冠对降水的分配

到达林地上空的雨水  $P$  在通过森林进入土壤前被重新分配,分成透过雨量  $T$ ,树干径流量  $S$  和林冠截留量  $I$  3 部分。

2.1.1 透过雨量 透过降雨是林地土壤水分及径流的主要来源,其大小除与林分密度、类型等有关外,还与大气降水量及其降雨强度有关。根据观测结果 (见表 1),当降雨量很小时 ( $P < 1.3 \text{ mm}$ ),基本无透过降雨发生,而当  $P > 1.3 \text{ mm}$  时,透过降雨有随降雨的增大而增大的趋向。这一趋向可用透过雨量与大气降雨量之间的回归方程来表示,即

$$y = 0.8876x - 1.3228 \quad (R^2 = 0.9987)$$

表 1 不同降雨量下的透过雨量及树干茎流量 mm

降雨量 $P$	透过雨量		树干茎流量		林冠截留量	
	$T$	占降雨 %	$S$	占降雨 %	$I$	占降雨 %
0.80	0	0	0	0	0.80	100.00
1.30	0	0	0	0	1.30	100.00
1.60	0.03	1.88	0	0	1.57	98.13
3.30	1.54	45.76	0	0	1.79	54.24
10.20	7.55	74.00	0.13	1.27	2.52	24.71
12.49	9.55	76.46	0.11	1.12	2.80	22.42
42.70	35.96	84.20	0.77	1.80	5.97	13.98
92.69	82.41	88.91	1.39	1.49	8.89	9.60

另外,当降雨量相近时,透过雨量有随降雨强度增大而增大的趋势 (见表 2)。

2.1.2 林冠截留降雨 林冠截留量包括了林冠蓄水量和降雨过程中的水分蒸发,它是林冠截留降水功能的指标。因其不易测定,故可用公式 (2) 反推。林冠

截留量大小除受林分结构、树种、密度等的影响外,还受降雨量、雨强及雨前林冠湿润程度的影响。一般情况下,林冠截留量随林外雨量的增大而增大(见表 1)。这是因为最初到林冠的降水,先蓄留在林冠表面,只有降雨量足够多时才会透过林冠落到林下,故开始时林冠截留量随降雨量的增大而逐渐增大,但当截留量达到一定值后,降雨量再增加,截留量则几乎不再增加。

表 2 不同降雨强度下的透过雨量及林冠截留量 mm

降雨量	5.2	5.3	5.9	4.7	4.3	4.4	4.7
雨强	0.578	0.76	0.81	2.04	1.30	2.20	0.29
透过雨量	3.04	3.16	3.79	2.74	2.15	3.10	1.52
林冠截留量	2.16	2.14	2.11	1.9	2.15	1.30	3.18

注:表中雨强单位为  $\text{mm} \cdot \text{hr}^{-1}$

雨强对截留量的影响表现为降水强度大,截留量小(见表 2)。这可能是因为雨强大,则雨滴直径大,雨滴对树叶的冲击动能就大,从而影响截留量。另外,大雨常伴随着大风,当风吹树叶晃动时,被截于其上的雨水将会成为林内第 2 种降水而落下,截留量便减小。降雨前林冠湿润程度对林冠截留量的影响表现

表 4 7—10 月林冠对降水的再分配

月 份	7 月	8 月	9 月	10 月	合 计
大气降水 /mm	237.98	138.11	161.05	189.20	726.34
透过雨量 $T$ /mm	198.38	112.03	124.82	152.79	588.02
占同期降雨总量 %	83.36	81.12	77.50	80.76	80.96
树干茎流量 $S$ /mm	3.61	2.12	3.22	2.74	11.69
占同期降雨总量 %	1.52	1.54	2.00	1.45	1.61
林冠截留量 $I$ /mm	35.99	23.96	33.01	33.67	126.58
占同期降雨总量 %	15.12	17.34	20.50	17.79	17.43

## 2.2 枯落物层对降水的蓄留及土壤贮水

2.2.1 枯落物层对透过降水的蓄留 经试验测定,在 7—10 月,枯落物总截留水量为 85.01 mm,占大气总降水的 11.7% (见表 5)

表 5 枯落物层截留水量 mm

月 份	7	8	9	10	合 计
降雨量	237.98	138.11	161.05	189.20	726.34
枯落物截留量	23.74	23.84	20.21	17.39	85.01
截留率 %	9.98	17.26	12.42	9.19	11.70

因此,枯落物在蓄留降水方面有着很重要的作用。枯落物的蓄留量除与其累积量、湿度及分解程度有关外,还与降雨量有关。初期,随降雨量的增加,截留量也增加,但随着降雨过程的继续,其截留量增加的速度逐渐减缓,最后达到稳定值,即最大截留量。此

为:林冠较干燥,则截留降水的能力就较强;反之,则较弱。

2.1.3 树干茎流 树干茎流亦为林地土壤水分来源之一,其大小与降雨量有关。试验结果(表 3)表明:树干茎流在单次降雨中所占比例很小,且只有降雨大于 6 mm 时绝大多数林木才会发生。经回归分析,试验区内树干茎流量与大气降雨量之间的关系为

$$y = 0.0189x - 0.0494, R^2 = 0.9788, P \geq 6 \text{ mm}$$

表 3 不同降雨量下的树干茎流量 mm

降雨量	1.3	2.0	2.5	3.3	5.3	5.9	6.7	7.5	7.9
树干茎流	0	0	0	0	0	0	0.07	0.11	0.15
径流率 %	0	0	0	0	0	0	1.04	1.47	1.90

2.1.4 林冠层的水量平衡 林冠对降水的再分配状况,我们利用水量平衡方程式(2)推求。平衡结果见表 4。在林冠这一层次内,7—10 月林冠截留量 126.58 mm,占同期降雨总量的 17.43%;树干茎流量很小,仅为 11.69 mm,占同期降雨总量的 1.61%;透过雨量 588.02 mm,占同期降雨总量的 80.96%。因此,大部分降雨以林内雨的形式进入林下。

后,枯落物层就丧失了继续截留的能力(表 6)。当林内透过雨量大于最大截留量时,最大截留量的大小便与枯落物的雨前含水量有关,或者在某种程度上可以说与降雨间隔时间的长短有关,降雨间隔期愈长,则截留降水的能力越强(见表 7)。但因火地塘林区内蒸发在生长季节受地上植被的抑制,加之又处于雨季,实际上枯落物常处于湿润状态,故降雨间隔时间对其截留量的影响并不大。经回归分析得出枯落物截留量与降雨量的关系为:

$$Y = 1.2987 \ln x - 0.5266$$

$$R^2 = 0.8518 \quad (x > 1.5 \text{ mm})$$

2.2.2 林地土壤贮水 大气降水经过林冠及枯落物层的层层截留和拦蓄,最后到达林地土壤中,因此输入土壤中的水量根据水量平衡原理可用下式表示:

$$W = P - I - L \quad (3)$$

表 6 不同降雨量时的枯落物截留量

mm

降雨量	1.30	2.50	6.70	9.30	12.49	19.20	28.00	42.70	92.69
枯落物截留量	0	0.21	2.01	2.71	2.66	2.88	3.48	4.31	5.43
截留率 %	0	8.40	30.00	29.10	21.30	15.00	12.40	10.10	5.86

表 7 不同前期降水状况时的枯落物截留量

上一次降雨量 /mm	42.70	55.70	4.40	0.60	19.20	92.69	4.70
降雨间隔时间 /h	68.67	123.00	11.33	132.00	198.33	21.00	63.50
本次降雨量 /mm	12.49	9.30	10.20	9.10	10.70	42.70	46.07
枯落物截留量 /mm	2.66	2.71	2.31	2.73	2.88	4.31	5.41

式中:  $W$ — 输入土壤中的水量 (mm);  $P$ — 大气降水 (mm);  $I$ — 林冠截留量 (mm);  $L$ — 枯落物层截留量 (mm)

进入林地土壤中的水分,除一部分补充土壤水分外,其余则以林地蒸发、林木蒸腾、地表径流、壤中流和地下径流的方式输出。

森林土壤是生态系统中主要的水分贮藏所和调节器,贮藏和调节能力的大小除与土层厚度、土壤物理性质及植物根系在土壤中的分布有关外,还受前期降水状况等的影响。由表 8 可看出:降水间隔期越长,土壤含水量越低,则调节能力愈大。另外,林地土壤的贮水量受多种因素的影响在发生着不停的波动(见表

9)。试验期间,混交林地土壤贮水量波动的变幅为 53.45mm。由此可见林地土壤对削减洪峰流量、调节河川流量、缩短枯水期等方面具有重要意义。

表 8 不同降雨间隔期对土壤含水量的影响

mm

上次降雨量	降雨间隔期 /h	本次降雨量	不同土层 /cm			
			0-10	10-20	20-30	30-50
4.7	132.0	0	10.74	11.07	10.18	25.06
4.7	28.5	0	14.01	14.65	13.31	22.46
5.2	12.5	0	16.74	17.07	16.18	23.06
5.9	0.0	5.9	12.27	10.55	7.45	16.67
6.7	35.0	0	13.30	13.95	12.64	21.84
7.9	21.0	0	14.39	13.81	12.92	21.88

表 9 林地土壤贮水量

mm

土层深度 /cm	-0719	-0730	-0809	-0830	-0909	-0930	-1009	-1030
0-10	10.33	13.30	11.44	10.33	12.27	18.49	16.74	22.21
10-20	10.25	13.95	10.73	9.71	10.55	17.82	17.07	21.79
20-30	7.98	12.64	10.06	8.43	7.45	16.92	16.18	21.13
30-50	16.00	21.84	20.72	12.73	16.67	25.88	23.06	29.52

### 2.3 林分中径流水量的输出

降落到林地的雨水经过森林的各种理水作用之后,有一部分便以径流的形式进入林区内的河流,构成水量平衡中的径流输出部分,它是林分水量平衡中水分输出的另一重要组成部分,同时也是河川水的直接补给源。

林分中的输出径流可分为地表径流、壤中流及地下径流 3 种。秦岭火地塘林区由于土层较浅薄,且其下为岩石,加之林冠截留、地表枯落物的蓄水及林地土壤渗透性良好,坡面上一般很少发生地表径流。径流多通过土壤间隙沿坡面土层运动,形成壤中流,然后在沟道中下游出露汇流。

表 10 试验区内降水的径流水位过程

时段	22:00~ 1:00	1:00~ 2:00	2:00~ 10:00	10:00~ 11:00	11:00~ 12:00	12:00~ 13:00	13:00~ 14:00	14:00~ 17:00
雨量 /mm	8.10	5.50	1.10	2.00	3.40	7.80	4.00	3.30
水位 /cm	1.25	1.27	1.29	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30

林地产流首先是由于大气降水而致。在一定的林分状况下,林地径流随着降雨量的增加而缓缓增加(见表 10)。这主要与降雨初期的各种截留有关,另外

汇流也需要一定的时间。随着降雨的继续,各种耗水逐渐被满足,径流则缓缓上升,达到峰值后,又缓慢减小并逐渐趋于稳定。在试验区 9hm<sup>2</sup>集水区内,一般

径流峰值出现在降雨峰值后 4~15 h,随后,径流缓慢减少,这种减小有时持续 10 d

## 2.4 林分蒸散耗水

林分的蒸散耗水包括林冠截留蒸发、林木蒸腾、林地蒸发等,主要受蒸腾强度、叶量大小、蒸发面的水量状况及温湿度、土壤水分状况等的制约,是水量平衡要素中很难直接测定的因子。故我们通过水量平衡公式:  $E = P - R + \Delta W$  确定其蒸散量的大小。根据平

衡结果(见表 11),混交林在测定期间的蒸散总量为 521.01 mm,占同期降雨总量的 71.73%。可见蒸散是整个系统中水分输出最重要的一项。由于林冠蒸发蒸腾及林地土壤蒸发等消耗了大量的水分,从而使径流量减少,降低了洪水发生的可能性;另外蒸散的大量水分也使林区及其周围的空气湿度相对较大,这对改善当地小气候环境,促进地方性降雨及调节林地径流均具有重要意义。

表 11 林分水量平衡

月 份	7月	8月	9月	10月	合 计
大气降水 /mm	237.98	138.11	161.05	189.20	726.34
径流总量 R /mm	43.63	30.07	35.98	45.56	155.24
占大气降水 %	18.33	21.77	22.34	34.08	21.37
土壤贮水变化量 /mm	+ 17.27	- 11.75	+ 34.17	+ 26.77	+ 50.09
占大气降水 %	+ 7.21		+ 21.22	+ 14.15	+ 6.90
蒸发散 E /mm	177.18	119.79	90.90	116.87	521.01
占大气降水 %	74.45	86.74	56.44	61.77	71.73

## 3 结 论

通过对锐齿栎混交林的水量平衡研究,得出如下结论

(1) 对于单次降水,只有当降雨量大于 1.3 mm 时才会发生林内透过降雨,此时透过雨量随林外降雨量的增大而增大,当降雨量接近时,透过雨量有随雨强增大而增大的趋势;林冠截留量随降雨量的增大而增大,但达到一定值时,则几乎不再增大;树干茎流只有当降雨量大于 6 mm 时才会发生。

(2) 7—10 月份,试验区内,林冠截留量 126.58 mm,占同期降雨总量的 17.43%;树干茎流量很小,仅为 11.69 mm,占降雨总量的 1.61%;透过雨量 588.2 mm,占降雨总量的 80.96%。大部分降水以林内雨的形式进入林下。

(3) 单次降水枯落物层截留量变化不大,在 0.21~4.31 之间,7—10 月枯落物总截留量 85.01 mm,占同期降雨总量的 11.73%。因此,枯落物在蓄留降水

方面有着很重要的作用。

(4) 7—10 月份混交林林地土壤贮水量的变幅为 53.45 mm,对削减洪峰流量、调节河川径流、缩短枯水期有重要意义。

(5) 在试验期内,林分水量平衡结果为:蒸发散量为 521.01 mm,径流总量为 155.24 mm,土壤贮水量变化为 + 50.09 mm,分别占同期降雨总量 726.34 mm 的 71.73%, 21.37% 和 6.9%。可见蒸发散是森林生态系统中水分输出最重要的一项。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 森林生态系统定位研究方法 [M],林业部科技司编.北京:中国科技出版社.1994.
- [2] 崔启武,等.林冠对降水的截留作用 [J].林业科学.1980(2): 141—146.
- [3] 雷瑞德.秦岭火地塘林区华山松林水源涵养功能的研究 [J].西北林学院学报.1984(1): 19—32.
- [4] 蔡体久,等.落叶松人工林土壤水分平衡的研究 [J].东北林业大学学报.1996(1): 62—67.