

文章编号: 1001-1498(2001)01-0078-07

滇中华山松人工林的水文特征及水量平衡

孟广涛, 郎南军, 方向京, 李贵祥, 袁春明, 温绍龙

(云南省林业科学院, 云南 昆明 650204)

摘要:根据滇中高原的华山松林集水区径流场连续3 a的降雨和径流观测数据,进行了华山松人工林的水文特征及水量平衡的研究。结果表明:(1)本区域降水量的季节分配不均,湿季(6~10月)降水量占全年的80%,降水量主要由大于10 mm以上的降雨带来,且降雨强度大部分小于 $5.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。(2)集水区年平均降雨量1 005.6 mm,在林冠作用面降雨量的分配中,林冠截留雨量210.6 mm,截留率20.9%;穿透林冠层的降雨745.3 mm,树干茎流量49.7 mm,分别占降雨量的74.2%和4.9%。(3)集水区径流的月变化滞后于降雨,总径流量172.29 mm,总径流系数17.13%,其中,地表径流8.03 mm,地下径流164.26 mm;地表径流主要集中在雨季产生,一次性降雨对地表径流的影响显著($R=0.91$)。(4)土壤蓄水年变化量11.2 mm,约占年降水量的1.1%,但月变化较大;系统水量最大的输出是蒸散,每年以气态形式返回大气的水量822.1 mm,占降水量的81.8%;在蒸散的水量中,林冠截留雨量的直接物理蒸发量210.6 mm,占总蒸散量的25.6%。

关键词: 华山松人工林; 林冠截留; 径流; 水量平衡

中图分类号: S715

文献标识码: A

森林生态系统的水分流动和养分循环,不可分割地交织在一起,维持着系统功能的正常运转和有机物质生产的基本过程。彻底查清水分的输入、分配和内部的转移及运输过程中的定性与定量的分配规律,才能明了森林水分在运动过程中错综复杂的关系,以便寻找最优调控措施和预测水量平衡变化给予系统带来的干扰。本文报道了作者于1997~1999年在滇中典型的防护林类型——华山松(*Pinus armandi* Franch.)人工林内,应用大集水区技术进行生态系统水文功能定位研究的结果,旨在探讨华山松人工林生态系统的降水、径流、蒸散特征及水量平衡规律,为该森林的科学经营管理提供理论依据^[1]。

1 试验地概况

试验地位于云南省会泽县中部,103°24' E,26°27' N,属典型的西部季风气候,处昆明准静止锋南北移动地区,年平均气温12.8℃,全年10℃以上的有效积温3 950 h,1月平均气温4.6℃,7月平均气温19.1℃。年平均日照时数为2 077.1 h,多年平均降雨量为900 mm左右,但全年降水分配不均匀,干湿季明显,湿季在每年的6~10月之间,其降雨量占全年的80%左右。

收稿日期: 2000-09-10

基金项目: 国家“九五”科技攻关项目“云贵高原西部山地防护林体系建设综合配套技术研究”(96-007-02-05-02)和“生态林业工程的生态功能观测网络及生态功能研究”(96-007-04-06-02)

作者简介: 孟广涛(1969-),男,湖南新邵人,助理研究员。

年平均相对湿度 71 % ,年平均蒸发量 1 861.9 mm。

华山松人工林集水区面积 4.89 hm² ,林龄 17 a ,平均树高 5.4 m ,平均胸径 6.7 cm ,密度 4 900 株 hm⁻² ,叶面积指数 12.80 ,郁闭度 0.85 ,林分蓄积量 124.14 m³ hm⁻²。

2 研究方法

2.1 华山松林地集水区的水量平衡方程

森林流域水量平衡,如果是闭合流域,它没有水量的内外交换,系统任一时段内的水量平衡方程如下:

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

式中: P 为大气降水; R 为系统流出的径流量,包括地表(R_s)和地下径流(R_g)两部分; W 为系统蓄水变化,在森林生态系统中植物和空气蓄水量的变化,与降水量相比非常小,可以忽略不计,因此 W 即为土壤蓄水变化量; E 为系统蒸散量,可通过方程(1)求得。

2.2 大气降水量测定

在华山松人工林集水区沟口林外裸地建立固定雨量点,用虹吸雨量计记录大气降水过程。

2.3 穿透、树干茎流测定

穿透降水量采用沟槽状的受雨器测定,受雨器在样地内随机设置;茎流量观测:在林分内按每个径级选择 1~2 株标准木,共选择 7 株样木树干的 0.5 m 高处,安装茎流环;每次降雨后测量林下雨、茎流量^[2]。林冠截留量 = 林外降雨量 - 林内降水量 - 树干茎流量^[2]。

2.4 径流量测定

采用“小集水区径流场”技术,选择地形完整、具有不漏水层的闭合集水区,华山松人工林边界与小集水区的边界重合,在集水区出口处修建三角堰,用 40 型水位计记录径流水位过程。

总径流量包括地表径流和地下径流,地下径流的计算方法采用目前国内外森林水文学中常用的斜线分割法。

2.5 土壤含水量和土壤蓄水量测定

用烘干称重法,每月 3 次,分层取样测定,土层分 0~10、10~20、20~40 cm 和 40 cm 以下 4 个层次,并分山上部、山下部 2 个部位进行。土壤蓄水量由下式求出:

$$W = 0.1 \sum h_i \cdot f_i \cdot d_i \quad (2)$$

式中 W 为土壤蓄水量, h_i 为 i 土层厚度, f_i 为 i 土层土壤含水量, d_i 为 i 层土壤容重。

2.6 蒸散量测定^[3]

应用水量平衡法,在水量平衡方程(3)式中,降水、径流量和土壤蓄水量及其变化都可以直接测定,其具体方法见前。

$$E = P - R - W \quad (3)$$

3 结果与分析

3.1 大气降水及其特征

大气降水特征包括降水量、降水强度、降水分布等因素。本文有关资料来自于雨量点(1997~1999年)降水记录,其间平均每年降水量 1 005.6 mm。在 1 a 中,降水量的 80 % 集中在雨季的 6~10 月份,旱季仅占 20 %。年内降水量分配不均,一方面在冬季后形成春旱,另一方

面,夏季降水的过分集中易形成大雨或暴雨,导致产生大的地表径流并冲刷地表,造成水土流失。

在全部降水日数中 57.04% 的日降水量低于 5.0 mm。由图 1 可知,量级在 10 mm 以上的降雨日数的降水量占总降水量的 70.96%。从图 2 可以看出,降水强度低于 5.0 mm·h⁻¹ 的降水量占总降水量的 79.23%,降雨强度超过 10.0 mm·h⁻¹ 的仅占 5.25%。由此可以看出本地日降雨持续时间长,而平均降雨强度不大。

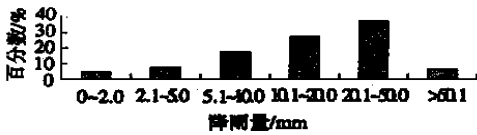


图 1 日降水量的雨量分布特征

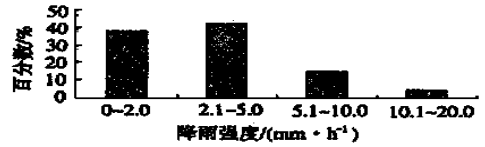


图 2 日降水的雨强频度分布

3.2 林冠的水文生态功能

降落到森林上部的降水,由于存在树枝和树叶对降雨的截留作用,降雨到达地面的数量、速度、时间发生了变化,降雨量进行第 1 次分配^[4]。表 1 反映了华山松人工林生态系统林冠作用面上降水量分配的月变化。从中可以看出,林内净降水量和林冠截流量的变化基本上与降雨量的变化一致的,即降雨量大的月份,林内净降水量和林冠截流量也大,反之亦然。但是,林内净降水率和林冠截流率并非如此。冬春季月份降雨量小,而林冠月截流率都大,均超过 30%,雨量最小的 12 月高达 82.8%;在雨季,林冠截流率较低,雨量最大的 7 月仅为 11.0%。其原因在于雨季降水频度大,林内湿度长期保持在一个较高水平,且每次降雨的雨量较大,持续时间长,林冠容量处于饱和状态的时间长,因而其林冠截流率低。而在干季降雨日数少、雨量小,林冠干燥度大,因而林冠容量经常处于非饱和状态,其林冠截流率较高。就年平均来说,林冠截流量 210.6 mm,截流率 20.9%。到达林地的树干茎流有 49.7 mm,占降雨量的 4.9%,其中的水分和养分易于被植物所吸收,对树木生长起着重要作用。

表 1 华山松林林冠作用面上降水量的分配

月份	降水量/ mm	穿透降水 量/mm	树干茎流 量/mm	林下净降 水量/mm	林冠截流 量/mm	林冠截留 率/%	穿透水量 占降水量/ %	树干茎流量 占降水量/ %	净降水率/ %
1	25.3	16.2	1.2	17.4	7.9	31.2	64.0	4.8	68.2
2	14.2	5.2	0.1	5.3	8.9	62.7	36.6	0.7	37.3
3	22.2	12.1	0.7	12.8	9.4	42.3	54.5	3.2	57.7
4	29.8	15.1	0.8	15.9	13.9	46.6	50.7	2.7	53.4
5	78.3	57.4	4.7	62.1	16.2	20.7	73.3	6.0	79.3
6	151.9	113.8	8.4	122.2	29.7	19.6	74.9	5.5	80.4
7	239.0	199.5	13.1	212.6	26.4	11.0	83.5	5.5	89.0
8	196.5	156.7	10.5	167.2	29.3	14.9	79.7	5.4	85.1
9	142.2	113.2	6.0	119.2	23.6	16.2	79.6	4.2	83.8
10	61.6	36.5	2.6	39.1	22.5	36.5	59.3	4.2	63.5
11	35.9	18.3	1.4	19.7	16.2	45.1	51.0	3.9	54.9
12	8.7	1.3	0.2	1.5	7.2	82.8	14.9	2.3	17.2
合计	1 005.6	745.3	49.7	795.0	210.6	20.9	74.2	4.9	79.1

3.3 径流特征

净降水到达林地时,又进行一次再分配。由表 2 看出,集水区年平均径流量 172.29 mm,径流系数 17.13%。地下径流 164.26 mm,其茎流系数 16.33%。径流量的月变化过程中,最小值出现在雨季前期的 4 月,多年平均仅 0.92 mm,而径流系数的最小值出现在 5 月,为 1.8%。最大值出现在 8 月,为 32.55%。径流量峰值出现时间不同步,较降水量峰值滞后 1 个月出现,这说明径流量与降雨量有关,但并不是唯一的决定因素,它还与降水强度、土壤前期含水量、植物湿润程度、降水时空分布等多种因素有关。

表 2 华山松林地的径流特征

月份	降水量/ mm	净降水 量/mm	地表径 流/mm	地下径 流/mm	总径流/ mm	地表径流 系数/%	地下径流 系数/%	总径流 系数/%
1	25.3	17.4		2.46	2.46		9.7	9.7
2	14.2	5.3		1.85	1.85		12.7	12.7
3	22.2	12.8		1.18	1.18		5.3	5.3
4	29.8	15.9		0.91	0.91		3.0	3.0
5	78.3	62.1	0.27	1.12	1.39	0.3	1.5	1.8
6	151.9	122.2	0.72	3.23	3.95	0.5	2.1	2.6
7	239.0	212.6	2.36	33.66	36.02	1.0	14.1	15.1
8	196.5	167.2	3.11	60.86	63.97	1.6	30.6	32.6
9	142.2	119.2	1.39	34.11	35.50	1.0	23.9	24.9
10	61.6	39.1	0.18	14.53	14.71	0.3	23.6	23.9
11	35.9	19.7		7.59	7.59		21.1	21.1
12	8.7	1.5		2.76	2.76		31.7	31.7
合计	1 005.6	795.0	8.03	164.26	172.29	0.8	16.33	17.13

地表径流是引起流域水文变化的主要因子,是造成水土流失、土壤侵蚀的一个重要因素。森林对地表径流具有良好的调节作用,随着森林覆被率的增加,地表径流的形成和土壤侵蚀明显减少。华山松林地地表径流很小,全年仅 8.03 mm,雨季占 7.76 mm,旱季只在 5 月份有 0.27 mm,全年地表径流系数为 0.8%。可见地表径流受降水量和植被因素的影响极大,华山松林地具有明显的削减地表径流的能力。

华山松林地地表径流与一次性降雨量之间存在着较为明显的线性关系,而受降雨强度的影响远没有降雨量大,这与本区域降雨的特征有关,单点暴雨的降水量普遍不大,单场降水量大的降雨平均降雨强度一般不大于 10.0 mm h^{-1} ,从而导致在降雨量较小时,由于包气带的蓄水作用,几乎所有降水都可以被土壤吸收加入到渗透的行列中;在降雨量较大时,包气带又几乎被蓄满,稳渗以外的所有降水都可以以地表径流的形式流走,都可能导致与降水强度关系不大。地表径流与一次性降雨量的回归方程:

$$Y = -0.6764 + 0.03025P \quad (r=0.9158, n=26, F=261.28^{**}) \quad (4)$$

式中 Y 为林地的地表径流量(mm), P 为一次性降雨量(mm)。

3.4 水量平衡

在水量平衡的研究中,一般是以水文年划分时间,本文则是以 1997~1999 年各月及年的平均值来推算的。大气降水为集水区华山松人工林提供了水汽源。径流、土壤蓄水量变化(林分和空气的蓄水变化量忽略不计)和蒸散则是这个系统水量支出的主要形式。

3.4.1 径流支出 集水区年平均降水输入 1 005.6 mm,年径流量 172.29 mm,其中 8.03 mm 是

在降雨过程中形成的地表径流输出系统,其余 164.26 mm 是入渗到土壤的水量渗到土壤深层成为地下径流流出。总之,集水区以径流这种液态水形式支出的水量不多,只有大气降水的 17.13%,这是因为华山松林的冠层、林地凋落物层和土壤蓄水性能等因素综合影响的结果。

3.4.2 土壤蓄水变化量 土壤蓄水量的变化主要决定于气象条件,因而也随季节呈周期性变化,以 3 a 平均的结果来看,土壤蓄水年变化量只有 11.2 mm,约占年降雨量 1.1%。但是其月变化较大,干季几个月中土壤蓄水变化量多为负或稍正(相对于湿季来说),而径流和蒸散依然维持在一定的水平,说明这几个月土壤失水以弥补径流和蒸散支出。春季 2 至 4 月气温回升,植物生命活动日趋旺盛,系统蒸散量增加,但降水量很少,因此出现土壤蓄水变化量为负值的情况,即土壤失水。入 5 月后,降水量显著增加,土壤蓄水变化量呈正值,降水量大于蒸散量,土壤处于蓄水阶段。8 至 10 月,这时期气温高,系统的蒸散能力强,径流量较大,致使水分丢失,以弥补系统蒸散与茎流耗水。11 月以后,大气温低,蒸散能力弱,加上此时降雨较少,土壤水分变化趋向平稳。从上看出,土壤蓄水变化由于降雨的干湿季而呈现明显的周期性,其次,年内各月间水量的相互影响是非常明显的,尤其是湿季降水对干季的补给作用不容忽视。

3.4.3 蒸散支出 根据实测大气降雨、径流量和土壤蓄水变化量,通过方程(3)式就得到集水区的总蒸散量(表 3)。结果表明华山松林集水区年平均蒸散量为 822.1 mm,意味着集水区降水量收入中的 81.8%的水量以气态形式散发返回到了大气,是系统水分支出的最大部分,是集水区水量平衡的最重要因子。

3.4.4 水量平衡 表 3 中的这种水量平衡是对降水量收入而平衡的,也就是说某月降水量有多少,它的总支出就有多少。如表 3 中,各月的径流量、蒸散量和土壤蓄水变化的总支出量正好等于各月的降水量。但从表中可以看出,在干季的月份,系统的径流与蒸散两项输出总和超过了当月的降雨量,而在 5 至 7 月份,降雨收入却远大于其径流和蒸散输出,这一点揭示了剩余水量的去向和超支水量的来源,即系统蓄水的变化,主要是土壤系统。在降水量很大时,系统储存了一部分水分;降雨量很小时,系统又释放部分水分以补支出,反映出从降水输入到全部支出的时滞性^[5,6]。

表 3 集水区的水量平衡

月份	收入/ mm	支 出			径流系数/ %	蓄水变化 率/ %	蒸散系数/ %
		总径流量/ mm	土壤蓄水变化 量/ mm	蒸散量/ mm			
1	25.3	2.46	3.8	19.04	9.7	15.0	75.3
2	14.2	1.85	- 2.1	14.45	12.7	- 14.8	101.8
3	22.2	1.18	- 6.4	27.42	5.3	- 28.8	123.5
4	29.8	0.91	- 19.1	47.99	3.0	- 64.1	161.0
5	78.3	1.39	34.4	42.51	1.8	43.9	54.3
6	151.9	3.95	19.5	128.45	2.6	12.8	84.6
7	239.0	36.02	20.7	182.28	15.1	8.7	76.3
8	196.5	63.97	- 11.1	143.63	32.6	- 5.6	73.1
9	142.2	35.50	- 7.6	114.30	24.9	- 5.3	80.4
10	61.6	14.71	- 11.8	58.69	23.9	- 19.2	95.3
11	35.9	7.59	- 2.4	30.71	21.1	- 6.7	85.5
12	8.7	2.76	- 6.7	12.64	31.7	- 77.0	145.3
合计	1 005.6	172.29	11.2	822.11	17.1	1.1	81.8

对不同土壤含水量情况的水量平衡作具体分析(表 4),土壤蓄水变化量为增量时,增加的水量来源于大气降水,这部分水量将用于补给,是支出项;若为减量时,系统失水,这部分水量又需要补给,是应收入的水量^[3]。从表 4 看出集水区年平均水量总输入 1 072.8 mm,实际输入为 1 005.6 mm(降水量),其中 67.2 mm 由土壤蓄水变化而产生的。支出的总水量 1 072.8 mm,实际支出 994.4 mm(径流和蒸散量),有 78.4 mm 是由土壤蓄水变化而引起的。实际支出中,径流量 172.3 mm,蒸散量 822.1 mm,两项之和占实际收入水量的 98.9%,收入略大于输出,这也是华山松人工林集水区能够长年有径流流出根源所在。由于忽略了林分和空气蓄水变化,实际蒸散量可能少于 822.1 mm。

表 4 集水区的水量平衡

月份	收 入			支 出			支出 收入/ %
	降水量/ mm	土壤蓄水 变化量/mm	总收入/ mm	径流和蒸 散量/mm	土壤蓄水 变化量/mm	总支出/ mm	
1	25.3		25.3	21.5	3.8	25.3	100
2	14.2	2.1	16.3	16.3		16.3	100
3	22.2	6.4	28.6	28.6		28.6	100
4	29.8	19.1	48.9	48.9		48.9	100
5	78.3		78.3	43.9	34.4	78.3	100
6	151.9		151.9	132.4	19.5	151.9	100
7	239.0		239.0	218.3	20.7	239.0	100
8	196.5	11.1	207.6	207.6		207.6	100
9	142.2	7.6	149.8	149.8		149.8	100
10	61.6	11.8	73.4	73.4		73.4	100
11	35.9	2.4	38.3	38.3		38.3	100
12	8.7	6.7	15.4	15.4		15.4	100
合计	1 005.6	67.2	1 072.8	994.4	78.4	1 072.8	100

4 结 论

(1) 本区域年平均降水量 1 005.6 mm,大部分集中在湿季(6~10月),其降水量占全年的 80%;日降水量大于 10 mm 的降水量占总降水量的 70.96%;降雨强度普遍较小,79.23%的降雨量以小于 5.0 mm h^{-1} 的雨强产生。

(2) 集水区年平均降雨量 1 005.6 mm,林冠截留雨量 210.6 mm,截留率 20.9%;穿透过林冠层的降雨 745.3 mm,树干茎流量 49.7 mm,分别占降雨量的 74.2%和 4.9%。华山松人工林的林冠对降雨的反应效应较大。集水区径流的月变化滞后于降雨,总径流量 172.29 mm,总径流系数 17.13%,其中,地表径流 8.03 mm,地下径流仅 164.26 mm;地表径流主要集中在雨季产生,一次性降雨对地表径流的影响显著($R=0.91$)。该群落具有良好的水文效应。

(3) 在集水区水量平衡中,降水量收入 1 005.6 mm,支出水量 994.4 mm,占实际收入水量的 98.9%,土壤蓄水年变化量 11.2 mm,约占年降水量的 1.1%。集水区水量平衡是一种支出对收入的滞后性和收支项目中的可变性的动态平衡。

(4) 集水区水量最大的输出项是蒸散,年平均蒸散量 822.1 mm,为年降水量的 81.8%;在蒸散的水量中,林冠截留雨量的直接物理蒸发量 210.6 mm,占总蒸散量的 25.6%。

参考文献:

- [1] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994. 143~173.
- [2] Hewlett J D, Hibbert A R. Factors affecting the response of small watershed to precipitation in humid areas [J]. Inter Symp on Forest Hydrology. Pergamon Press, 1967. 275~290.
- [3] 康文星. 杉木人工林水量平衡和蒸散的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报,1992,16(2):187~195.
- [4] 刘世荣,温远光,王兵,等. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京:中国林业出版社,1996. 149~180.
- [5] 潘维涛,田大伦,谌小勇,等. 亚热带杉木人工林生态系统中的水文学过程和养分动态. 中南林学院学报,1989,9(增刊):1~10.
- [6] 周国逸. 小良试验站三种生态系统水量平衡的研究. 生态学报,1995,15(增刊A):223~229.

Hydrological Properties and Water Balance of *Pinus armandii* Plantation in Central Dian Plateau, Yunnan Province

*MENG Guang-tao, LANG Nan-jun, FANG Xiang-jing,
LI Gui-xiang, YUAN Chun-ming, WEN Shaolong*
(Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, Yunnan, China)

Abstract: According to the 3 years' observation on the precipitation and runoff in *Pinus armandii* forest watershed runoff observation station in Central Dian Plateau, the study on hydrological properties and water balance of plantation was conducted, and some analysis results are as follows: (1) The seasonal distribution precipitation in this area is uneven, the rainfall of wet season (from Jun. to Oct.) accounts for 80% of the yearly total, the precipitation is mainly brought by rainfall that is more than 10 mm, and most of the rain intensities are less than 5.0 mm·h⁻¹. (2) The annual precipitation of the watershed is 1 005.6 mm. Regarding to the precipitation distribution of crown acting surface, crown interception is 210.6 mm, and the ratio is 20.9%; the through fall precipitation is 745.3 mm, stemflow precipitation is 49.7 mm, and account for 74.2% and 4.9%, respectively. (3) Monthly change lags behind the precipitation, and the total runoff is 172.29 mm, total runoff coefficient is 17.13%, in which the surface runoff is 8.03 mm, the underground runoff is 164.26 mm; the surface runoff mainly centralizes in wet season, and one-off rainfall obviously affects surface runoff ($R = 0.91$). (4) Annual soil moisture variation is 11.2 mm, accounting for 1.1% of the total annual precipitation. But the monthly change is relatively large; the evapotranspiration is the biggest output of the system water flow, 822.1 mm water returns to the air in the form of gas phase, accounting for 81.8% of the total precipitation; among the evapotranspiration water, the direct physical evaporation capacity of crown interception is 210.6 mm, accounting for 25.6% of the total evapotranspiration.

Key words: *Pinus armandii* plantation; crown interception; runoff; water balance