

# 太行山区不同人工林林冠截留降水的比较研究

钱金平<sup>1</sup>, 王仁德<sup>2</sup>, 白洁<sup>3</sup>, 张广英<sup>4</sup>

(1. 河北师范大学 资源与环境科学学院, 河北 石家庄 050016; 2. 河北省科学院地理科学研究所, 河北 石家庄 050011; 3. 河北政法职业学院, 河北 石家庄 050067; 4. 保定市水土保持试验站, 河北 易县 074200)

**摘要:** 林冠截留降水是林地水分循环中重要的水文过程。通过穿透降雨和树干径流自动采集系统对太行山区油松和侧柏两种典型人工林在天然降雨条件下林冠截留降水的生态水文过程进行了分析。结果表明, 两种林分林冠截留和树干径流的过程都与林外降雨呈正相关关系。油松林冠截留降水的能力明显强于侧柏, 而截留降水转化为树干径流流量则小于侧柏。油松林冠次降雨截留降水率约为 18.9%, 其中大约 3.5% 的截留降水转化为树干径流, 大约 81.7% 的降水到达地面; 侧柏林冠次降雨截留降水率约为 13.3%, 其中大约 8.9% 的截留降水转化为树干径流, 大约 88.9% 的降水达地面。从林冠截留功能的角度分析, 在太行山区进行人工造林时, 坡度较缓山丘地区适宜种植侧柏, 坡度较陡的山岭地区适宜种植油松。

**关键词:** 林冠截留; 油松; 侧柏; 太行山区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0164-04

中图分类号: S157.1

## Canopy Rainfall Interception of Different Planted Forests in Taihang Mountainous Region

QIAN Jin-ping<sup>1</sup>, WANG Ren-de<sup>2</sup>, BAI Jie<sup>3</sup>, ZHANG Guang-ying<sup>4</sup>

(1. College of Resource and Environmental Science, Hebei Normal University, Shijiazhaung, Hebei 050016, China; 2. Institute of Geographical Sciences at Hebei Science College, Shijiazhaung, Hebei 050011, China; 3. Hebei Vocational College of Politics and Law, Shijiazhaung, Hebei 050067, China; 4. Water and Soil Conservation Station of Baoding, Hebei Prov., Baoding, Hebei 074200, China)

**Abstract:** Canopy rainfall interception is an important hydrological water cycle process in the forest. Canopy interception of planted pine and oriental arborvitae forests was studied in Taihang Mountain region under natural rainfall conditions using a rainfall and stem flow automated acquisition system. The results show that the canopy interception and stem flow of the two forests were positively correlated with total rainfall. Canopy rainfall intercepting capacity of pine was substantially greater than that of oriental arborvitae, but the volume of flowing into the trunk from the interception precipitation is smaller than oriental arborvitae. Specifically, the canopy of pine intercepted 18.9% of the rainfall by average, of which about 3.5% turned into stem flow, and approximately 81.7% of the precipitation reached the ground. The canopy of oriental arborvitae intercepted about 13.3% of the rainfall, of which 8.9% conversed into stem flow, and about 88.9% of the precipitation fell onto the ground. With consideration of canopy interception features, oriental arborvitae is suitable for planting on gentle slopes, while pine is suitable for planting on steep slopes.

**Keywords:** canopy interception; pine; orientalis; Taihang Mountainous region

大气降水在输入森林植被系统时, 由于林冠的影响, 被分配为截留量、透流量和干流量 3 部分<sup>[1]</sup>。林冠截留降水既是森林的第一水文效应, 也是林地水分循环过程中的重要水文现象, 长期以来一直受到关注, 国内外学者进行了很多研究<sup>[2-5]</sup>。根据以往的研

究资料<sup>[6-8]</sup>, 在茂密的森林中, 林冠层的年截留量可以达到年降水量的 15%~45%。林冠截留降水具有两方面的生态水分效应, 一方面使进入林内的水分减少, 降低了降水对地表的冲刷作用, 有利于保护土壤, 防止水土流失; 另一方面林冠截留的降雨消耗于蒸

收稿日期: 2011-07-08

修回日期: 2011-10-05

资助项目: 河北省科技支撑项目“山区水土资源综合可持续利用技术研究”(04230702); 国家自然科学基金项目(41101251)

作者简介: 钱金平(1963—), 男(汉族), 山东省滕州市人, 教授, 主要从事生态环境与生态水文方面的科研与教学工作。E-mail: qianjinping2010@163.com。

发,减少了地面的实际雨量和林下土壤水分的有效补充,是雨水资源的无益损失<sup>[9]</sup>。随着中国林业建设步伐的不断加快,在不同气候区及各林分之间进行比较或评判林冠截留降水作用的差异,据此选择合适的造林树种是非常值得探讨的问题。

太行山区是华北平原区地下水的主要侧向补给水源地,具有重要的水源涵养功能<sup>[10-11]</sup>。但由于历史上的严重破坏,目前区内森林覆盖率较低,草被稀疏,土层贫薄,水土流失严重,生态环境脆弱。为此,近年来大力实施了太行山绿化工程,在原来的灌草荒坡上大面积营造人工林,油松和侧柏是主要的造林树种。本研究通过对两种人工林林冠截留降水特征的分析,研究何种植被具有更好地保持水土、涵养水源功能,以便科学指导该地区今后的植树造林工作。

## 1 试验区概况

研究区地处太行山脉北段,大清河水系白洋淀上游,河北省易县境内的崇陵流域,属北易水支流旺龙河的一条支沟。地貌属低山丘陵区,面积 6 km<sup>2</sup>,海拔 85~300 m。山丘以花岗片麻岩构造为主,多呈浑圆状,坡度较缓,在 10°~25°之间;由石灰岩类构造的山岭,坡度较陡,多在 25°以上。气候属温带大陆性季风区气候,冬季干冷,夏季湿热。多年平均降水量为 641.2 mm,最大年降水量为 1 004.3 mm,最小年降水量为 217.0 mm;降雨大部分集中在雨季,7—9月的降水量占全年的 76.6%。年平均气温 11.6℃,最高气温 40℃,最低气温 -23.4℃。土壤以沙壤土为主、黄土为次,并集中分布在沟谷区,土层厚度 1~2 m。流域山坡植被覆盖度可达 70%~80%,植被类型丰富,主要为油松和侧柏成片的人工林,以及荆条、酸枣等小灌木和羊胡子草、披针苔草、白草等草本植物群落。流域自然条件在我国华北太行山区具有典型的代表性。

## 2 研究方法

### 2.1 标准样地设置

为研究油松和侧柏两种林木林冠截留降水作用的差异,在对林分调查的基础上,选择有代表性的区域作为标准样地。两种林木的标准样地大小均为 15 m×15 m,均位于山坡北侧中部,坡度约 15°,基岩为砾岩,土层平均厚度 15 cm。油松林标准样地(以下简称油松样地)有油松 54 株,株行距 2 m×2 m,郁闭度 65%左右。侧柏林标准样地(以下简称侧柏样地)有侧柏 51 株,株行距 2 m×2 m,郁闭度 80%左右。两标准样地相距仅 50 m,因此视降雨等气象条件相同。

### 2.2 试验方法

2.2.1 林外降雨量的测定 在所设标准样地附近的空地上布设口径 200 mm 的遥测雨量计 5 个,作为林外降雨量测定设备,测定每次的降雨量、降雨强度及降雨过程。

2.2.2 树干径流的测定 从两标准样地内选择具有代表性的标准木 6 株(油松 2 株,侧柏 4 株),通过自行设计的仪器进行树干径流的观测。在标准木的树干上安装截流装置,将沿树干产生的径流拦截后接入雨量桶,观察树干径流的过程。采用胶皮+铁丝的方法截取树干径流,在胶皮上开出豁口,接入导水管连到量水装置。量水装置采用标准雨量筒实时记录。根据实际标定的结果,雨量筒的翻斗每翻一次的水量为 3.4 ml。根据翻斗每翻一次的水量,加上标准木的树冠面积,就可以估算出降雨被树冠截流并转化为树干径流的水量。

2.2.3 林下雨量的测定 通过乔木林内外降雨过程的对比来得到乔木树冠的截留量。在林冠郁闭度较平均的地点使用自制的盛雨设备承接林下降雨,使用自制翻斗雨量筒观测林下降雨过程。每次降水每一样地内设 1 个观测点。盛雨盆使用白铁皮制成,开口为 1 m×1 m 的正方形,底面倾斜以保证上端尽量水平,在最低处有出水管,并加滤网防止堵塞。雨水经导水管引至量水装置。量水装置采用自制翻斗雨量筒实时记录。每两个盛雨盆接入一个翻斗,即每个翻斗计量的盛雨面积为 2 m<sup>2</sup>。根据标定结果,翻斗每翻一次的水量约为 50 ml,因此,林内降雨的记录精度为 0.025 mm,理论上可满足 1.5 mm/min 的降雨强度。

### 2.3 相似相保障

林冠的实际截留量除了与林冠本身特征因素(如树种组成、林龄、冠层厚度及郁闭度等)有关外,还与降雨时所伴随的气象因素有关(如降雨强度、风速、气温及林冠枝叶的湿润度等)<sup>[3]</sup>。对任何一种林分进行林冠截留量的实际观测,其结果都或多或少地受到这些因素的影响。为了能够准确比较两种人工林林冠截留降水的特征,应尽量消除这些因素差异性带来的影响。

(1) 两种人工林的标准地距离较近,同一场降水过程中,两种植被所伴随的气象条件基本上是一致的,因此,可以消除气象因素差异性产生的影响。

(2) 两种人工林树龄相同,生长环境相似,林冠厚度及郁闭度等林冠特征的差异,主要是由两种植被本身生长特性的差异造成的,可算做林冠特征的范畴,因此,本研究中对其差异性不予考虑。

### 3 结果分析

#### 3.1 林冠特征分析

根据对样地内林木的调查结果(表 1),树龄相同的油松和侧柏,其生长情况和林冠特征有明显的不同,侧柏的生长速度要快于油松。单从两种树种的生长情况和林冠结构进行分析,侧柏对降水的截留能力应该强于油松。

表 1 测定标准木的基本特征

树种	编号	树龄/ a	高度/ m	胸径/ cm	林冠覆盖 面积/m <sup>2</sup>	郁闭度/ %
油松	YS <sub>1</sub>	56	6.2	8.12	7.07	70
	YS <sub>2</sub>	56	6.5	8.33	12.56	60
侧柏	CB <sub>1</sub>	56	6.7	12.48	12.56	85
	CB <sub>2</sub>	56	7.1	13.02	16.61	80
	CB <sub>3</sub>	56	6.9	12.74	13.85	75
	CB <sub>4</sub>	56	7.3	13.23	19.63	70

注:YS 代表油松, CB 代表侧柏。

#### 3.2 林冠截留降水分析

林冠截留量等于林外降雨量与林下雨量之差<sup>[12]</sup>。对 2009 年 3 次典型降雨过程,林内外降雨进行的观测表明(表 2),研究区乔木林林冠对降水的截留率在 10%~25% 之间,不同次降水林冠的截留率存在较大差距。以油松为例,8 月 3 日降水林冠的截留率为 12.8%,8 月 13 日降水林冠的截留率则达到 23.7%,是 8 月 3 日降水林冠截留率的近 1 倍。这主要是由各次降水所伴随的降雨强度、风速、气温及林冠枝叶的湿润度等气象因素不同造成的。

同一次降雨过程中,油松和侧柏两种人工林对降雨的截留情况也不相同,侧柏林冠的截留能力明显低

于油松。3 次降雨中,侧柏林冠的平均截留率是侧柏的 1.4 倍。尤以 8 月 13 日降雨过程中,观测到的两种人工林林冠的截留率差异明显。在两株标准木郁闭度相同的情况下,侧柏林冠的截留率是侧柏的 1.5 倍。

表 2 两树种林冠截留量差异分析

林种	降雨场次	林外降雨/mm	林内降雨/mm	截留量/mm	截留率/%
油松	20090803	37.5	32.7	4.8	12.8
	20090813	22.8	17.4	5.4	23.7
	20090816	69.3	55.2	14.1	20.3
	平均	43.2	35.1	8.1	18.9
侧柏	20090803	37.5	33.5	4.0	10.7
	20090813	22.8	19.2	3.6	15.6
	20090816	69.3	59.8	9.3	13.7
	平均	43.2	37.5	5.6	13.3

对典型次降雨中的林内外降雨和林冠截留特征分析表明(图 1),林内降雨量和林冠截留量均随林外降雨量的变化而变化,并且变化趋势是一致的。整个降雨过程中,油松林内的降雨量始终小于侧柏林,林冠截留雨量则始终大于侧柏林。前面已经提到,单从生长情况和林冠结构分析,侧柏林冠的截留能力应该是大于油松的,但观测结果却与此相反,这说明林冠截留能力不仅与林冠的郁闭度有关,还受到其他林冠特征因素的影响。调查发现,侧柏的枝叶为鳞形叶,扁平并普遍下垂,这种形态结构显然不利于雨水在枝叶间的存留,造成林冠截留降水能力较弱,而油松的枝叶为披针形,轮生并普遍向上生长,枝叶间隙可以存留较多的雨水。这种林木枝叶形态特性的差异可能就是造成油松林冠截留的能力较之侧柏明显增强的主要原因。

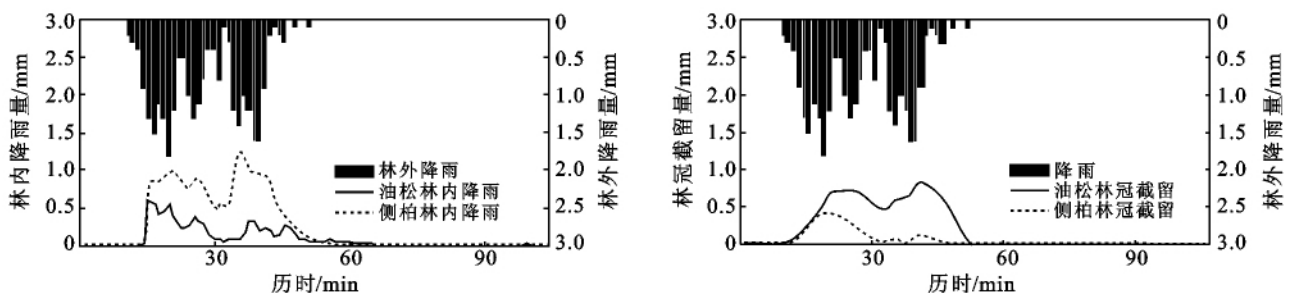


图 1 “20090813”次降雨的林内、外降雨与林冠截留过程

#### 3.3 树干径流分析

林冠截留的雨量一部分消耗于蒸发或被枝干吸收,另一部分则顺着枝条、树干流到地面,这部分雨量称为树干径流量。影响树干径流的主要因素是乔木本身的持水特性以及林冠的特征。对 2009 年 3 场降雨树干径流过程进行的观测结果表明(表 3),树干径

流量随林外降雨量的增大而增大,具有与林下降水和林冠截留降水相同的变化趋势,但树干径流的产生量较少,只占林外降雨总量的 4% 以下,占林冠截留雨量的比例小于 10%,这说明林冠截留的降水大部分消耗于蒸发,转化为树干径流的量很少,这与前人的研究结果是一致的。

相同降雨条件下,侧柏的树干径流量明显大于油松。8月3日降雨,油松树干径流占林外降雨的比率平均为0.62%,侧柏为1.65%,是油松的2.7倍;8月13日降雨,油松树干径流占林外降雨的比率平均为

0.55%,侧柏树干径流量为2.29%,是油松的4.2倍;8月16日降雨,油松树干径流占林外降雨的比率平均为0.48%,侧柏为2.32%,是油松树干径流量的4.8倍。

表3 实测树干径流量观测结果分析

降雨场次 (降雨量)	20090803(37.5 mm)			20090813(22.8 mm)			20090816(69.3 mm)			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
油松	YS <sub>1</sub>	2132	0.3	0.80	1316	0.2	0.82	3286	0.5	0.67
	YS <sub>2</sub>	2067	0.2	0.44	813	0.1	0.28	2448	0.2	0.28
侧柏	CB <sub>1</sub>	14321	1.1	3.04	11094	0.9	3.87	27710	2.2	3.18
	CB <sub>2</sub>	11064	0.7	1.78	10632	0.6	2.81	27693	1.7	2.41
	CB <sub>3</sub>	3751	0.3	0.80	3477	0.3	1.10	13189	1.0	1.37
	CB <sub>4</sub>	7287	0.4	0.99	6159	0.3	1.38	—	—	—

注:A代表树干径流总量(ml);B代表单位面积林冠引起的树干径流量(mm);C代表树干径流占林外降雨量的比率(%)。

对林冠截留降水的分析表明,侧柏林冠层截留降水量明显低于油松,而侧柏林冠截留降水转化为树干径流的量又明显高于油松,因此,侧柏林冠截留降水消耗于蒸发的量较之油松要少得多。也就是说,一场降雨过程中,侧柏比油松有更多的雨水穿透林冠层或者通过树干径流到达地面,被土壤所吸收或者转化为地表径流。据此推断,油松在减少雨水对地面的冲刷,防治水土流失方面的作用较好,适宜用作水土保持林;侧柏在减少雨水损失,增加土壤水分含量方面的作用较好,适宜用作水源涵养林。

#### 4 结论

油松和侧柏的林冠截留和树干径流过程都与林外降雨呈正相关关系,随着林外降雨强度的变化而变化。油松林冠截留降水的能力明显强于侧柏,而截留降水转化为树干径流流量则小于侧柏。一场降雨过程中,油松林冠截留降水率约为18.9%,其中的大约3.5%的截留降水转化为树干径流,另外的96.5%消耗于蒸发或被枝干吸收,大约81.7%的降水穿过油松的林冠层或者通过树干径流到达地面;侧柏林冠截留降水率约为13.3%,其中的大约8.9%的截留降水转化为树干径流,另外的91.1%消耗于蒸发或被枝干吸收,大约88.9%的降水穿过侧柏的林冠层或者通过树干径流到达地面。两种植被林冠截留降水能力不同引起的土壤水分条件的差异,可能是造成侧柏生长速度快于油松的主要原因之一。

森林生态系统具有涵养水源和防治水土流失两方面的生态功能,二者对林冠截留降水能力的要求是有差别的。在太行山区进行人工造林时,坡度 $<25^\circ$ 的山坡地区,由于水土流失相对较轻,适宜种植林冠截留降水能力相对较弱的侧柏,能够使更多降水穿透

林冠或者通过树干径流到达地表,增加土壤水分含量,起到涵养水源的作用;坡度 $\geq 25^\circ$ 的山岭地区,由于水土流失问题相对较突出,适宜种植林冠截留降水能力较强的油松,以减少到达地面的降水量,起到防治水土流失的作用。

#### [参考文献]

- [1] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1993.
- [2] 郝帅,张毓涛,刘端,等. 不同郁闭度天山云杉林林冠截留量及穿透雨量特征研究[J]. 干旱区地理, 2009, 32(6):917-923.
- [3] 范世香,高雁,程银才,等. 林冠对降雨截留能力的研究[J]. 地理科学, 2007, 27(2):200-204.
- [4] 张光灿. 树冠截留降雨模型研究进展及其述评[J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(1):64-68.
- [5] Fu Xiaoqing, Mcpherson E G, Ustin S L. W inter rainfall inter-ception by two mature open-grown trees in Davis, California[J]. Hydro. Processes, 2000, 4(4):763-784.
- [6] Teklehaimanot Z. Rainfall interception and boundary conductance in relation to tree spacing[J]. J. Hydrol., 1991, 123(1):261-278.
- [7] Viville D. Interception on amountainous declining spruce stand in the strengbach catchment (Voges, France) [J]. J. Hydrol., 1993, 144(4):273-282.
- [8] 温远光,刘世荣. 我国主要森林生态系统类型降雨截持规律的数量分析[J]. 林业科学, 1995, 3(4):289-298.
- [9] 王金叶,于澎涛,王彦辉,等. 森林生态水文过程研究[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [10] 侯士彬,宋献方,于静洁,等. 太行山区典型植被下降水入渗的稳定同位素特征分析[J]. 资源科学, 2008, 30(1):86-92.
- [11] 葛京凤,黄志英,梁彦庆,等. 河北太行山区土地利用/覆被变化及其环境效应[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(2):62-65.
- [12] 周晓峰. 中国森林与生态环境[M]. 北京:中国林业出版社,1999:87-90.