

沿坝地区天然次生林对降雨再分配的影响

张宁¹, 郭宾良², 张国强³, 张春茹³, 张楠³, 张建华³, 谷建才¹

(1. 河北农业大学, 河北保定 071000; 2. 保定市林木种苗管理站,
河北保定 071000; 3. 河北木兰围场国有林场管理局, 河北围场 068450)

摘要:为了探究天然次生林对降雨再分配的过程,通过对沿坝地区的北沟林场内天然次生林进行穿透降雨、冠层截留和树干径流3个方面进行监测,结果表明:(1)穿透雨量和林冠截留占林外降雨量的比例比较大,树干径流量的比例则非常小,分别为59.46%,37.33%,3.21%。(2)穿透雨量和林外降雨呈现线性关系($R^2=0.9804$),林冠截留量与林外降雨量也具有明显的幂函数关系($R^2=0.8234$),树干径流与林外降雨量具有明显的线性相关关系($R^2=0.9098$),并且都达到了极显著水平($p<0.01$)。(3)根据穿透雨与林外降雨的方程 $y=0.8034x-1.7939$,当林外降雨量高于2.23 mm时会产生穿透雨;依据林外降雨与树干径流的方程 $y=0.0552x-0.1981$,当林外降雨高于3.58 mm时会产生树干径流;林冠在降雨再分配过程中起到了很重要的作用,形成了二次降雨。

关键词:天然次生林;降雨再分配;林冠截留

中图分类号:S715

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)06-0099-04

Study on Effect of Natural secondary forest on Rainfall Redistribution Processes Along the Dam Area

ZHANG Ning¹, GUO Binliang², ZHANG Guoqiang³, ZHANG Chunru³,
ZHANG Nan³, ZHANG Jianhua³, GU Jiancai¹

(1. Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China; 2. Baoding forest seedling management station,
Baoding, Hebei 071001, China; 3. Mulan-Weichang Forestry Administration of Hebei Province, WeiChang, Hebei 068450, China)

Abstract: In order to explore the impact of natural secondary forest on rainfall redistribution process, natural secondary forest floor, penetrating rain, canopy interception and stemflow were monitored through the north ditch along the dam area. The results show that: (1) through the rain and outside the forest canopy interception accounted for a relatively large proportion of rainfall, runoff proportion trunk is very small, 59.46%, 37.33%, 3.21%, respectively; (2) through the rain and the rain forest outside have the linear relationship ($R^2=0.9804$), and outside the forest canopy interception of rainfall also has significant power function relationship ($R^2=0.8234$), trunk runoff and rainfall outside the forest have obvious linear correlation ($R^2=0.9098$), and have reached a significant level ($p<0.01$); (3) according to the equation: $y(\text{outside the forest through the rain and rain})=0.8034x-1.7939$, when the rainfall is higher than 2.23 mm outside the forest will produce rain penetration; according to the equation y outside the forest and tree trunks rainfall runoff= $0.0552x-0.1981$, when rainfall is higher than 3.58 mm outside the forest produces stem runoff; canopy plays a very important role in the redistribution of rainfall, the formation of a secondary rain.

Keywords: natural secondary forest; rainfall redistribution; canopy interception

森林是人类赖以生存的物质基础,它对降雨的再分配作用是多方面的^[1-3]。首先表现在树冠截留上,树冠的截留作用与降水具体情况有关,正是林冠

层对降雨的截留,既保护了地表被降雨冲刷,又截蓄了部分降雨,这样在减少地表径流上起到了很大的作用,体现了森林防洪和涵养水源的功能^[4-5]。国内外

收稿日期:2014-12-02

修回日期:2015-01-11

资助项目:河北省科技厅“河北省滦河流域水源林经营关键技术与示范”(15227652D);河北省科技厅“国有林场经营管理机制存在问题及改革模式研究”(13457525)

第一作者:张宁(1989—),女,河北衡水人,在读硕士研究生,研究方向:森林可持续经营。E-mail:934827579@qq.com

通信作者:谷建才(1963—),男,河北藁城人,教授,研究方向:林业经营技术。E-mail:gujiancai@126.com

学者在这方面开展了广泛的研究,掌握了大量的实测数据,但不同森林类型和气候条件下林冠对降水的再分配格局差异较大,随着我国生态建设的加快及森林覆被率的逐步提高,在水资源日趋紧张的当今,而天然次生林是木兰围场的主要林分之一,因此进一步探讨天然次生林对降雨再分配的问题是必要的^[6-7]。

森林对降雨的再分配过程对也可以称作第二次降雨,即森林次降雨。与次降雨损失量密切相关的就是森林的蒸散,由于其在对林外降雨起不到决定了作用,因此林外大气降雨与林冠截留、穿透雨和树干径流之间的比值关系没有什么变化^[8-10]。研究降雨再分配过程,能够更深入地理解森林水文过程和作用,本研究旨在为木兰围场地区森林生态发展提供一定的理论依据^[10-12]。

1 研究区概况

河北省木兰围场国有林场管理局(41°47′—42°06′N, 116°51′—117°45′E)地处沿坝地区,燕山山脉、阴山山脉和大兴安岭山脉余脉向西南延伸的结合部。该区域属中温带向寒温带过渡、半干旱向半湿润过渡、大陆性季风型的高原山地气候。年平均气温-1.4~4.7℃,极端最高气温 38.9℃,极端最低气温-42.9℃,≥0℃的年积温 2 180℃,无霜期 67~128 d。年均降水量 380~560 mm,主要集中在 6—8 月。土壤主要为天然次生林下发育的山地棕壤,土层深厚,海拔 750~1 829 m。植

被区系属温带草原地带高原东部森林草原区与暖温带落叶阔叶林地带燕山山地落叶阔叶林温性针叶林区的交接带^[10-11]。主要乔木树种:华北落叶松、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)云杉(*Picea asperata*)等;主要灌木树种:迎红杜鹃(*Rhododendron mucronulatum*)、土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、毛榛(*Corylus mandshurica*)等;主要草本植物:东亚唐松草(*Thalictrum minus*)、披针藁草(*Carex lancifolia*)等。

2 研究方法

2.1 样地的设置与测定

本文挑选林分密度为 1 250 株/hm² 的天然白桦林,在林分内选取 50 m×50 m 作为标准地,然后将样地分成 10 m×10 m 的小样方并对林分的坡向、坡度、郁闭度等因素进行调查,用全站仪来定位样地内的林木位置(*x, y*),与此同时进行每木检尺,对每棵树进行挂牌编号,测量乔木的胸径、树高、冠幅、树干质量、枝下高等因子,根据数据来确定标准木(表 1);对于灌木的测定,选取 5 m×5 m 的小样方来对灌木的数量、高度、盖度进行调查记录;草本的测定需要在每个灌木小样方里的四角和中心设置 1 m×1 m 的样方进行调查,需要记录其种类、数量、高度、盖度。

表 1 样地基本概况

林分类型	树高/m		胸径/cm		林龄/a	土壤	坡向	坡度/(°)	海拔/m	郁闭度
	均值	标准差	均值	标准差						
天然次生林	13.3	2.98	18.3	6.01	20~25	山地棕壤	半阳坡	9	875	0.8

2.2 穿透雨和树干径流的测定方法

(1) 在进行进一步调查的时候,要先根据原来的调查的数据,找出每块样地的标准木(以平均冠幅为标准)并在其下放置 5 个集水槽(由不锈钢材料制成,收集面积为 1.5 m×0.2 m),同时在林外空旷地上安置 1 个集水槽作为对照,并且每个集水槽的位置在距离树干 1.5 m 处。为了让所调查的因子数据更加全面,在每块样地内选出 5 棵标准木(以平均冠幅为标准);在放置集水槽的时候要考虑到灌木和草本植物的影响,因此集水槽的位置要高于周围灌木与草本的高度,在集水槽比较低的一端开口并用塑料管连接一个体积为 10 L 的塑料桶,为了避免枯枝落叶等凋落物对测量结果的影响,每次降雨前把集水槽内的凋落物等杂物清理干净^[13-15]。

(2) 根据调查的胸径数据,选取 5 株标准木来观测树干径流^[16]。先取直径 1.5 cm 的聚乙烯塑料管,沿着中缝剪开一段,然后用钉子将塑料管开口处固定在

树干上,再将剪开的塑料管从两边螺旋上升缠绕树干一圈,用玻璃胶将接缝处封严,在塑料管的下端接一个 10 L 塑料桶,用于收集树干茎流。每次降雨结束后及时用标准雨量筒测量塑料桶内水的体积。在距离试验地不远的空地安置小型气象站,以便获得林外降雨量、降雨时间、历时、温度、湿度、风速等一系列数据。

2.3 数据处理

林冠截留量根据公式(1),通过观测的林外降雨量、穿透雨量和树干径流量计算求出:

$$I = P - (P_t + S) \tag{1}$$

式中:*P*——林外大气降水量(mm);*P_t*——穿透降雨量(mm);*I*——林冠截留雨量(mm);*S*——树干径流量(mm)。

树干径流的计算公式如下:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{S_N \cdot M_N}{A \times 10^4} \tag{2}$$

式中:*S*——树干径流量(mm);*N*——树干径级数;*S_N*——每一径级的单株树干径流量(ml);*M_N*——每

个径级的树木株数;A——样地面积(m^2)。使用 SPSS 专业统计分析软件对获取的试验数据进行相关性分析和回归分析。

3 结果与分析

3.1 林外降雨与穿透雨的关系

试验的时间从 2013 年 6 月—2013 年 10 月,在

试验过程中总共有 21 次降雨,但是形成有效雨的为 15 次,最大降雨量 23.78 mm,最小时为 0.34 mm,降雨总量 128.87mm,平均每次降雨量为 8.59 mm,本地区大部分为小雨和中雨,出现了一次短历时的大雨。表 1 是标准地森林对降雨再分配过程的调查数据,其中穿透雨量、林冠截留和树干径流分别占林外降雨的 59.46%,37.33%,3.21%。

表 2 白桦天然林内降雨再分配

序号	林外降雨量/mm	穿透雨量/mm	穿透率/%	林冠截留/mm	截留率/%	树干径流/mm	径流率/%
1	4.29	1.22	28.41	3.07	71.56	0.0010	0.02
2	14.79	10.77	72.81	3.33	22.52	0.6908	4.67
3	1.04	0.05	4.80	0.99	95.19	0.0001	0.01
4	4.42	1.02	23.08	3.40	76.83	0.0041	0.09
5	0.34	0.00	0.29	0.34	99.71	0.0000	0.00
6	4.31	0.90	20.86	3.41	79.12	0.0010	0.02
7	3.68	0.60	16.29	3.08	83.70	0.0004	0.01
8	23.78	17.10	71.91	5.32	22.37	1.3600	5.72
9	6.54	2.32	35.47	4.11	62.84	0.1100	1.68
10	11.30	7.21	63.81	3.78	33.45	0.3100	2.74
11	15.04	10.52	69.95	4.02	26.73	0.5000	3.32
12	12.41	8.98	72.36	3.02	24.34	0.4100	3.30
13	2.84	0.29	10.32	2.55	89.67	0.0002	0.01
14	10.84	6.54	60.33	4.01	36.99	0.2900	2.68
15	13.25	9.11	68.75	3.68	27.77	0.4600	3.47

通过观察在这 15 次降雨过程中,穿透雨量要占主要部分(表 2),为了更好的了解林内穿透雨与林外降雨之间的关系,选取合适的模拟模型来表示出来,并显示 R^2 值与回归方程。结果显示,根据穿透雨与林外降雨的方程 $y=0.8034x-1.7939$,在降雨初期不会产生穿透雨,当降雨量达到 2.23 mm 时开始出现穿透雨,线性回归方程来模拟林内穿透雨量与林外降雨量的关系时 $R^2=0.9804$,从图 1 很明显可以看

出随着林外降雨量的增加,穿透雨量呈线性增加,呈现出很明显的正相关关系,这种规律和国内外的许多研究结果一致。通过检验得知林内穿透水量与林外降雨量的相关性达到极显著水平($p<0.01$)。

穿透率在前期与降雨量呈现正相关关系,在降雨达到一定量和时间的时候处于平衡状态,这时林冠充分渗透,截留达到饱和状态,此时降雨大多直接形成了穿透雨,穿透率趋于稳定。

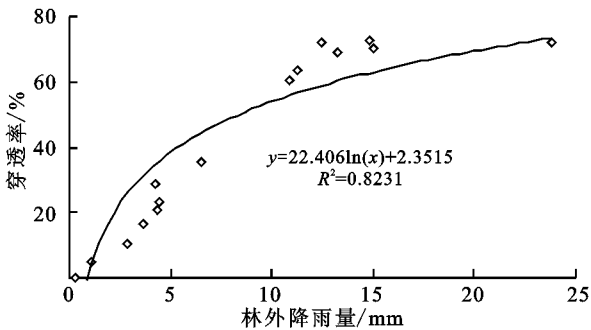
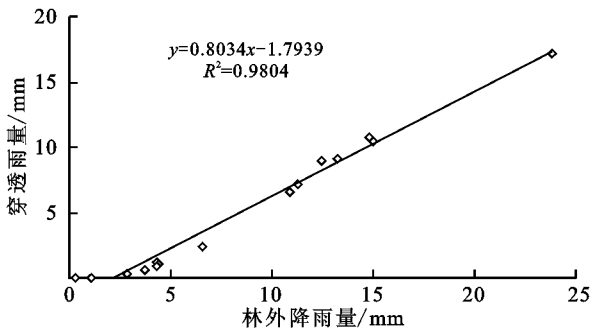


图 1 林外降雨量与穿透雨量、穿透率的关系

3.2 林外降雨与林冠截留的关系

在表 1 中可以看出林冠截留量在降雨再分配过程中占有一定的比例,在进行拟合过程中 $R^2=0.8234$,拟合 15 次降雨和林冠截留量之间的关系,选择 R^2 值最大的拟合关系式,发现林冠截留量与林外降雨量也具有明显的幂函数关系,达到了极显著水平($p<0.01$)。

林冠截留率与林外降雨量之间的关系如图 2 所示,林冠截留率随林外降雨呈 2 次减函数关系。在雨量很小时,林冠几乎截留了大部分降水,此时可能不会出现穿透雨,截留率最大;随着林外降雨量的不断增加,林冠截留率不断降低,随着时间的推移,林外降雨量进一步增大时,林冠截留率变化趋缓,逐渐趋向

最小截留率,最后趋于平衡,这时林冠截留达到饱和,但是影响林冠的饱和点的因素有很多,包括树种、冠幅、林冠厚度、当日湿度、温度和风速。

3.3 林外降雨与树干径流的关系

通过表 1 可以看出树干径流量占林外降雨总量的比例非常小,根据林外降雨与树干径流的关系(图 3)可以看出树干径流与林外降雨量也具有明显的线性相关关系,且达到了极显著水平($p < 0.01$)。

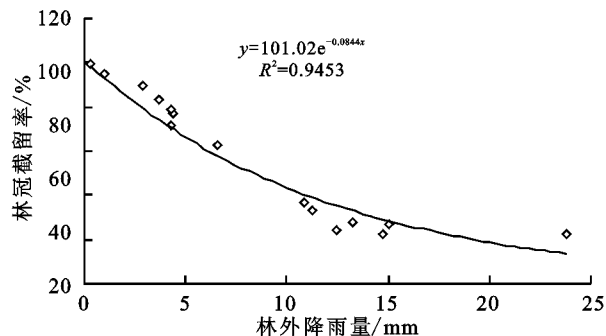
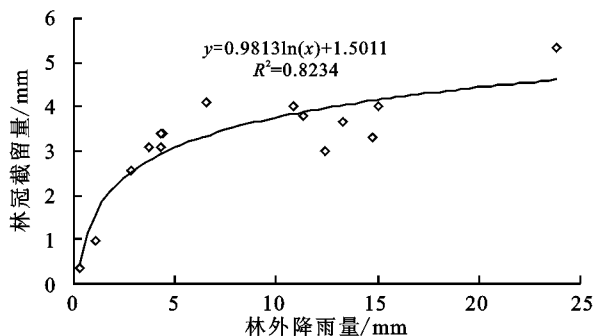


图 2 林外降雨量与林冠截留量、截留率的关系

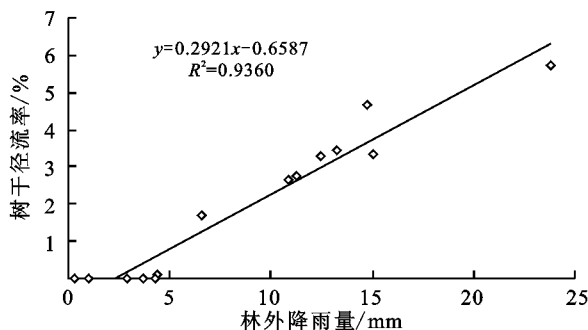
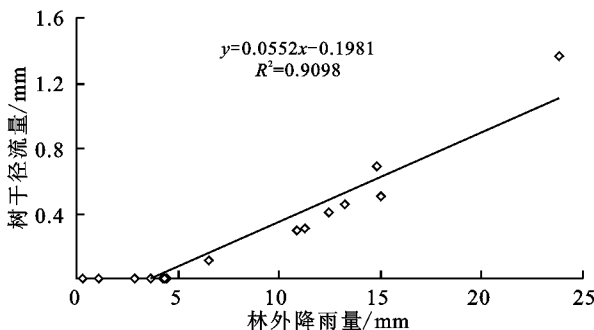


图 3 林外降雨量与树干径流量、径流率的关系

4 结论

(1) 穿透雨量和林冠截留占林外降雨量的比例比较大,树干径流量的比例则非常小,分别为 59.46%, 37.33%, 3.21%。

(2) 穿透雨量和林外降雨呈现线性关系($R^2 = 0.9804$),林冠截留量与林外降雨量也具有明显的幂函数关系($R^2 = 0.8234$),树干径流与林外降雨量具有明显的线性相关关系($R^2 = 0.9098$),并且都达到了极显著水平($p < 0.01$),树干径流具有一定的时滞性,时滞大小依赖于雨强和林木自身特征,雨强大,叶面积指数小,枝干夹角成 45°,树皮光滑且湿润时时滞就小,反之亦然。

(3) 根据穿透雨与林外降雨的方程 $y = 0.8034x - 1.7939$,当林外降雨量高于 2.23 mm 时会产生穿透雨;依据林外降雨与树干径流的方程 $y = 0.0552x - 0.1981$,当林外降雨高于 3.58 mm 时会产生树干径流;林冠在降雨再分配过程中起到了很重要的作用,形成了二次降雨。

树干径流具有一定的时滞性,时滞大小依赖于雨强和林木自身特征,雨强大,叶面积指数小,枝干夹角成 45°,树皮光滑且湿润时时滞就小,反之亦然。对于本研究的天然次生林来说,考虑叶面积指数、树干夹角和树皮粗糙度,将树干看作圆柱体,沿树干每隔 1 m 测量周长和所有树皮的开裂弧长,用弧长和与所对应的周长之比就是这个圆处的粗糙度,共测量 3 次取其平均值。

参考文献:

- [1] 曾杰,郭景唐. 太岳山油松人工林生态系统降雨的第一次分配[J]. 北京林业大学学报,1997,19(3):21-27.
- [2] 张胜利,雷瑞德,吕瑜良,等. 秦岭火地塘林区森林生态系统水量平衡研究[J]. 水土保持通报,2000,20(6):18-22.
- [3] 裴铁播,郑远长. 林冠分配降雨过程模拟与模型[J]. 林业科学,1996,32(1):6-10.
- [4] Teklehaimanot Z, Jarvis P G, Ledger D C. Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing[J]. Journal of Hydrology,1991,123(3/4):261-278.
- [5] Viville D, Biron P, Granier A, et al. Interception in a mountainous declining spruce stand in the strengbach catchment (Vosges, France)[J]. Journal of Hydrology, 1993,144(93):273-282.
- [6] 姜海燕,赵雨森,信小娟,等. 大兴安岭几种典型林分林冠层降水分配研究[J]. 水土保持学报,2008,22(6):197-201.
- [7] Xiao Q F, Mcpherson E G, Ustin S L, et al. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California[J]. Hydrological Processes,2000,14(4):763-784.

和尚合年流域的滑坡侵蚀模数最大,达 7 000 t/km² 以上,距离暴雨中心区较远流域的滑坡侵蚀模数相对较小,其中,中部 2 个小流域为 3 700 t/km²,北部的为 1 400 t/km² 左右;滑坡量与滑坡频率也呈现南部>中部>北部的规律。

(3) 2013 年延河流域暴雨引发的滑坡为浅表层滑坡,属于黄土内滑坡。坡度是该类滑坡的主要影响因素之一,在一定坡度范围内(20°~60°),坡度越大,滑坡量越大,在不同小流域及不同植被斜坡的影响是一致的。

(4) 2013 年延河流域暴雨引发的滑坡均为小型滑坡,其中规模≤1 000 m³ 的滑坡最多,占总调查滑坡数量的 78%,>5 000 m³ 的滑坡很少。滑坡的平面形态以舌形为主,剖面形态以直线形和复合形占到一半。

参考文献:

[1] 吴发启,张洪江. 土壤侵蚀学[M]. 北京:科学出版社,2012.

[2] 黄河水利委员会,水利科学研究院. 黄河科学研究志[M]. 郑州:河南人民出版社,1998.

[3] 郑书彦. 重力侵蚀分类研究[J]. 水土保持研究,2008,15(5):46-48.

[4] 徐张建,林在贯,张茂省. 中国黄土与黄土滑坡[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(7):1297-1312.

[5] 郑志勇. 黄土滑坡的形成机理[J]. 西安科技大学学报,2008,28(4):694-697.

[6] 张茂省,李同录. 黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J]. 工程地质学报,2011,19(4):530-540.

[7] 吴玮江,王念秦. 黄土滑坡的基本类型与活动特征[J]. 中国地质灾害与防治学报,2002,13(2):36-40.

[8] 杨吉山,姚文艺,马三保,等. 黄土高原沟壑区小型重力侵蚀影响因素分析[J]. 水土保持研究,2010,17(6):5-8.

[9] 刘朋飞,李滨,陈志新. 陕西延安地区黄土滑坡特征及其活跃性分期[J]. 中国地质灾害与防治学报,2012,23(4):16-19.

[10] 段钊,赵法锁,陈新建. 陕北黄土高原区滑坡发育类型与时空分布特征:以吴起县为例[J]. 灾害学,2011,26(4):52-56.

[11] 李昭淑. 陕西省黄土滑坡的成因与防治[J]. 西北大学学报,1989,19(2):89-96.

[12] 周新民,王雁林. 陕西省地质灾害防治现状问题与对策探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报,2005,16(4):84-88.

[13] 刘春利,杨勤科,谢红霞,等. 延河流域降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 环境科学,2010,31(4):850-857.

[14] DD2008-02 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范(1:50000)[S]. 中国地质调查局,2010.

[15] 王湘桂,吕玲,王浩. 平行断面法在滑坡体积计算中的应用[J]. 资源环境与工程,2012,26(S1):107-108.

[16] 谢云,刘宝元,章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):6-11.

[17] 李明,高维英,杜继稳. 诱发陕西黄土高原地质灾害降水因子分析[J]. 陕西气象,2009(5):1-5.

[18] 张雅斌,杜继稳,蔡蕊,等. 陕西省精细化地质灾害气象预报预警研究[J]. 灾害学,2011,26(3):28-34.

[19] 谢守益,徐卫亚. 降雨诱发滑坡机制研究[J]. 武汉水利电力大学学报,1999,32(1):22-24.

[20] 陈丽华,落合博贵. 陇东黄土高原地区滑坡调查分析[J]. 北京林业大学学报,1994,16(S4):101-105.

[21] 张永双,吴树仁,赵越,等. 湖北省巴东县桐木园山坡型泥石流的形成机理及预警指标:以 2003-03-31 强降雨过程为例[J]. 地质通报,2003,22(10):833-838.

(上接第 102 页)

[8] 李海涛. 华北暖温带山地落叶阔叶混交林的茎流研究[J]. 生态学报,1997,17(4):372-376.

[9] Iroumé A, Huber A. Comparison of interception losses in a broadleaved native forest and a *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) plantation in the Andes Mountains of southern Chile[J]. Hydrological Processes, 2002, 16(12):2347-2361.

[10] 常志勇,包维楷,何丙辉,等. 岷江上游油松与华山松人工混交林对降雨的截留分配效应[J]. 水土保持学报,2006,20(6):37-40.

[11] 何常清,薛建辉,吴永波,等. 岷江上游亚高山川滇高山栎林的降雨再分配[J]. 应用生态学报,2008,19(9):

1871-1876.

[12] 时忠杰,王彦辉,徐丽宏,等. 六盘山华山松林降雨再分配及其空间变异特征[J]. 生态学报,2009,29(1):76-85.

[13] 殷晖,关文斌,薛肖肖,等. 贡嘎山暗针叶林林冠对降雨能量再分配的影响研究[J]. 北京林业大学学报,2010,32(2):2-5.

[14] 党宏忠,周泽福,赵雨森. 青海云杉林冠截留特征研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):61-64.

[15] 党宏忠,董铁狮,赵雨森. 水曲柳林冠的降水截留特征[J]. 林业科学研究,2008,21(5):657-661.

[16] 巩合德,张一平,刘玉洪,等. 哀牢山常绿阔叶林林冠的截留特征[J]. 浙江林学院学报,2008,25(4):469-474.