

# 冀北山地不同林分类型林冠层降水分配研究

李淑春<sup>1</sup>, 张伟<sup>2</sup>, 姚卫星<sup>1</sup>, 剪文灏<sup>1</sup>, 杨新兵<sup>2</sup>

(1. 河北木兰围场 国有林场管理局, 河北 围场 068450;

2. 河北农业大学 林学院 国家北方山区农业工程技术研究中心, 河北 保定 071000)

**摘要:**对冀北山地落叶松桦木混交林、山杨桦木混交林、油松蒙古栎混交林 3 种典型林分林冠层降水分配进行了研究。结果表明:在观测期间,随着降雨量的增加,穿透雨量、径流量和林冠截留量都增加,林冠截留率降低;3 种林分穿透雨量分别为 115.31, 115.08, 125.94 mm, 分别占林外降雨总量的 68.94%, 68.81%, 75.31%; 3 种林分单株树干径流量分别为 4.35, 5.90, 6.24 mm, 分别占降雨总量的 2.56%, 3.47%, 3.67%; 可用线性回归方程来分别拟合穿透雨、树干径流、林冠截留量与林外降雨间的关系, 均取得较好结果。引用林冠截留概念模型, 能够较好地预测冀北山地森林生态系统降雨的林冠截留特征。

**关键词:**冀北山地; 林分; 降水分配规律; 模型

中图分类号: S715.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)05-0124-04

## Precipitation Distribution Laws of Different Forest Stands in North Mountain of Hebei Province

LI Shu-chun<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>, YAO Wei-xing<sup>1</sup>, JIAN Wen-hao<sup>1</sup>, YANG Xin-bing<sup>2</sup>

(1. *Mulan Forestry Administration of Hebei Province, Weichang, Hebei 068450, China;*

2. *The Center of National Northern Mountainous Areas of Agricultural Engineering Research, College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)*

**Abstract:** Study on the precipitation distribution laws of 3 forests of the mixed forest of Larix and Betula, the mixed forest of Populus and Betula, the mixed forest of Pinus and Mongolicain in North Mountain of Hebei Province. The results indicated that: during the period of observation, along with the increase of rainfall, the throughfall, stemflow and crown interception increase, but the crown interception rate decreases; throughfall of 3 forest stands were 115.31 mm, 115.08 mm, 125.94 mm, accounting for 68.94%, 68.81%, 75.31% of total rainfall; stemflows of 3 forest stand were 4.35 mm, 5.90 mm, 6.24 mm, accounting for 2.56%, 3.47%, 3.67% of total rainfall. The relationships among throughfall, stemflow, crown interception and total rainfall could be described significantly by a linear function. This article refers to interception conception model directly, which can effectively predict the interception capability of the forest ecosystem in North Mountain of Hebei Province.

**Key words:** North Mountain of Hebei Province; forest stand; rainfall distribution law; model

森林水文过程中,林冠对大气降雨的再分配具有重要的水文生态意义,尤其是林冠层对雨水的截持和缓冲,减少了进入林地的水量,降低了降雨的动能和势能,从而起到削减洪峰流量、防止土壤侵蚀、涵养水源等生态功效<sup>[1]</sup>。1965 年 Leyton 等研究了林冠截留的特征,发现截留量与林外降雨量之间呈正相关<sup>[2]</sup>。1978 年 George 研究穿透雨和树干径流的关系为径流

量与枝叶的分枝角度关系密切<sup>[3]</sup>。Gash 于 1979 年对林冠截留模型进行研究<sup>[4]</sup>,2007 年 Pilar 等研究集水区径流的动态变化<sup>[5]</sup>。20 世纪 80 年代初黄秉维教授提出“森林的作用”这一争论性问题,进一步推动了森林水文研究工作的开展。90 年代,刘世荣等系统总结了我国 10 多个森林生态定位站及水文观测点数十年的科研成果,在大尺度、高层次水平上使我国森林水文研

收稿日期:2011-01-31

修回日期:2011-06-08

资助项目:林业公益性行业科研专项子课题“冀北山区典型森林生态系统健康经营技术研究示范”(200804022F)

作者简介:李淑春(1971-),女,河北围场县人,助理工程师,主要从事林业经营管理工作。E-mail:lishuchunban@126.com

通信作者:杨新兵(1978-),男,河北涉县人,副教授,主要研究方向:水土保持、生态水文学。E-mail:yangxinbing2001@126.com

究跨入了新的高度。冀北山地处于干旱半干旱地带,水资源较匮乏,对冀北山地主要林分水资源的利用规律研究较少,因此对该区森林水文效应的研究较为重要。选取冀北山地北沟林场三种典型林分为研究对象,通过对所选林分林外降雨、穿透雨、径流的定位观测,探讨该林分对降雨分配的影响,对林分林冠截留进行模型化研究,为指导森林的建设、合理调整森林结构布局、保护和健康管理提供理论依据和技术支撑。

## 1 研究区概况

研究地区位于河北省面积最大的木兰围场国有林场管理局(41°35′—42°06′N,116°51′—117°45′E)。海拔 750~1 829 m,该地区水热同季,冬长夏短,四

季分明,昼夜温差大,无霜期 67~128 d,年平均气温 -1.4~4.7℃,年均降水量 380~560 mm,主要集中在 6—9 月,占全年降水量的 69%;年均蒸发量 1 462.9~1 556.8 mm;土壤主要为棕壤。

三块不同森林类型的标准地概况见表 1。落叶松桦木混交林为人工引入针阔林,主要灌木种类为毛榛(*Corylus mandshurica*)、金花忍冬(*Lonicera chrysantha*)、红瑞木(*Swida alba*)等。山杨桦木阔叶混交林和油松蒙古栎混交林为天然林,山杨桦木混交林林下植被多为毛榛、锦带花(*Weigela florida*)、金花忍冬。油松蒙古栎混交林林下灌木种类较少,主要是照山白(*Rhododendron micranthum*)、华北绣线菊(*Spiraea fritschiana*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)。

表 1 样地基本情况

编号	森林类别	树种组成	起源	面积/(m×m)	郁闭度	平均胸径/cm	平均树高/m	总株数/株	林层结构
1	落叶松桦木混交	5 落 2 白 1 黑 1 椴 1 五	人工林	100×100	0.8	12.3	10.2	1394	单层
2	山杨桦木混交	4 山 3 白 2 黑 1 糠一蒙	天然林	100×100	0.7	8.7	10.0	2040	单层
3	油松蒙古栎混交	5 蒙 4 油 1 榆一黑	天然林	80×125	0.7	13.3	6.7	1415	复层

## 2 研究方法

在试验地周围的空旷地上安置两个标准雨量筒,结合小型气象站数据,测量林外降雨量的平均值,作为林外降雨量。

在 3 个标准地内各放置 6 个承雨器,均匀的布设在样地内,观测林内的透过雨水的总容量,根据承雨器的面积计算林内降雨量。

根据对各林分每木检尺等林分因子的调查结果,胸径按 5 cm 间隔划分径级(<5 cm, 5—10 cm, 10—15 cm)等,每个径级选取 2 个标准木,在标准木树干上距地面 1 m 处的地方,用纵向切开的聚乙烯管,与水平面倾角 30°绕树干 2 周,用竹签固定好,用玻璃胶密封聚乙烯管和树干间的空隙,以防漏水,下端连接塑料桶收集降雨,获得标准木的单株树干径流量。然后将标准木径流量按林木径阶及权重进行统计,利用加权平均法推算出单位面积径流量。

$$P' = (1/M) \sum_{i=1}^n C_i M_i / K_i$$

式中: $P'$ ——树干径流量(mm); $M$ ——单位面积上的树木株数; $C_i$ ——每个径级树干径流量(ml); $K_i$ ——每个径级的树冠平均投影面积( $\text{cm}^2$ ); $M_i$ ——每一径级树木株数; $n$ ——总径级数。

根据水量平衡原理,按下式计算林冠截留量:

$$I = P - S - T$$

式中: $I$ ——林冠截留量(mm); $P$ ——大气降雨量(mm); $S$ ——树干径流量(mm); $T$ ——穿透雨量(mm)。

## 3 结果与分析

### 3.1 林外降雨特征

研究期间共降雨 20 次,降雨总量为 167.23 mm,最大降雨量为 35.00 mm,2010 年围场县较往年干旱,北沟林场降雨量也少于往年。现以日降雨量的大小分级,分级标准为:<10 mm 为小雨,10~20 mm 为中雨,20~40 mm 为大雨。从表 2 可知,研究区降雨以中小雨为主,占全年降雨日数的 85%,大雨占 15%,结果表明,该区降雨主要为中小降雨为主,大雨较少。

表 2 各级雨量占降雨次数的百分比

降雨量/mm	降雨次数/次	占降雨次数的百分比/%
0~5	5	25
5~10	6	30
10~15	3	15
15~20	3	15
20~30	2	10
30~40	1	5

### 3.2 穿透降雨及其与林外降雨关系

由图 1 可以看出,穿透雨随着林外降雨的增加而逐渐增加,这与其他研究者的研究结果一致<sup>[6-7]</sup>。经过统计回归分析,根据最大  $R^2$  值选择最佳的拟合模型,结果表明:穿透雨( $y$ )和林外降雨( $x$ )以线性回归方程拟合最好。这表明,线性回归方程适用于冀北山区森林穿透雨和林外降雨量之间的关系。由关系式可以推知,三种不同林分类型,当降雨量分别大于

2.21, 2.72, 1.34 mm 时, 可发生穿透降雨。统计分析结果表明, 油松蒙古栎混交林穿透雨量较多, 落叶松

桦木混交林和山杨桦木混交林穿透雨量较少, 这可能与林分结构、林龄、叶面积有关。

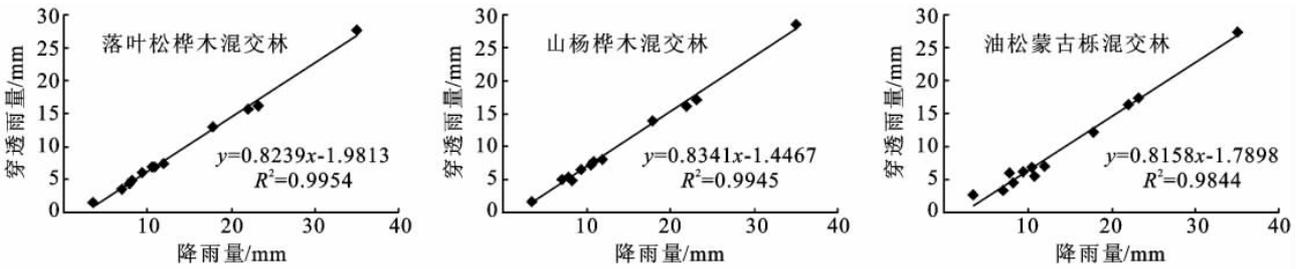


图 1 三种不同林分类型穿透降雨与林外降雨的关系

### 3.3 树干径流及其与林外降雨关系

从图 2 可以得出, 林外雨量 2 mm 以下时, 各林分树干径流很少, 基本不足 0.10 mm, 故认为林外雨量小于 2 mm 时, 树干径流为 0。经过对 3 种林分 20 次树干径流量和降雨量统计回归分析, 根据最大 R<sup>2</sup> 值选择最佳的拟合模型, 结果表明: 树干径流量和降雨量之间以线性回归方程拟合较好。

3 种林分单株树干径流总量分别为 4.35, 5.90, 6.24 mm, 而同期林外降雨总量为 169.94 mm, 各林分树干径流量分别占降雨总量的 2.56%, 3.47%, 3.67%。研究结果显示, 树干径流量所占降雨量的比例很小, 油松蒙古栎混交林树干径流量最大, 落叶松桦木混交林树干径流量最小。

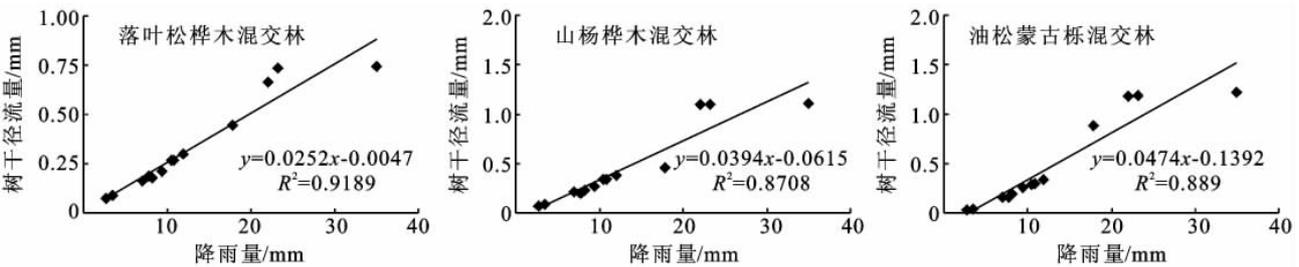


图 2 三种不同林分类型树干径流与林外降雨的关系

### 3.4 林冠截留及其与林外降雨关系

根据实测数据, 对林冠截留量与林外降雨量作回归分析, 结果表明幂函数能相对较好地表现林冠截留量与林外降雨量之间的关系, 相关性达到极显著性水平(图 3)。

时, 林冠截留量只在小范围内增加, 超出一定的降雨量范围林冠截留量就不再增加; 此时林冠截留率变化趋缓, 逐渐趋向最小截留率。究其原因, 林冠截留量主要由填充林冠蓄水所需雨量和降雨过程中林冠的蒸发量两部分组成, 林冠承载的降雨量有一个饱和值, 且降雨时林冠的蒸发量较小, 所以, 当林冠蓄水饱和后, 林冠截留量只在小范围内增加, 超出一定的降雨量范围, 林冠截留量就不再增加。

低雨量时, 截留量随降雨量的增加而迅速增加; 此时的林冠截留率最大(表 3), 当达到一定降雨量后, 截留量增加速度渐趋缓慢, 当林外降雨超过 23 mm

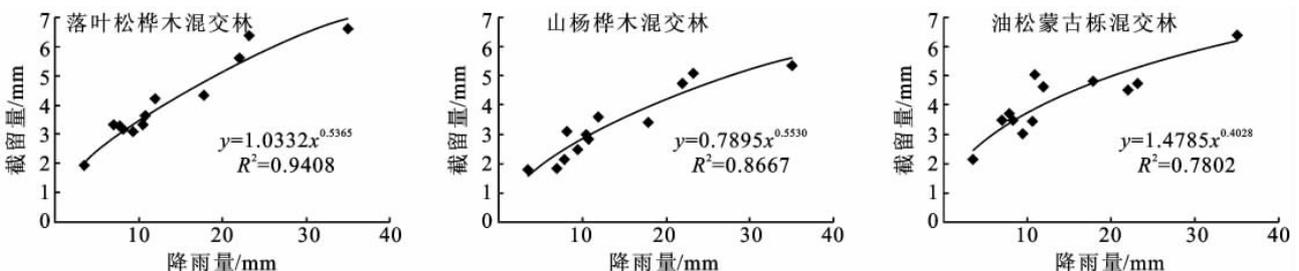


图 3 三种不同林分类型林冠截留量与林外降雨的关系

### 3.5 不同树种林冠截留比较

根据测试资料, 对林外降雨及林冠截留数据作相关分析。7 种树种平均林冠截留率为落叶松 35.76%、油松 34.88%、黑桦 34.35%、白桦 33.76%、蒙古栎 32.70%、糠椴 28.07%、山杨 27.64%。其中落叶松

和油松的林冠截留率较大, 说明针叶树种具有较高的林冠截留性能。由观测期内的实测数据可以得出, 落叶松桦木混交林的平均林冠截留率为 31.3%, 山杨桦木混交林为 25.2%, 油松蒙古栎混交林为 32.7%, 油松蒙古栎混交林 > 落叶松花木混交林 > 山杨桦木

混交林。7 个树种的林冠截留与林外降雨都呈很好的线性关系。起初林外降雨全部被树冠截留,林冠截留率很高,随林外降雨量的增加,截留率逐渐变小,并逐渐趋于最小截留率(表 4)。

表 3 不同林分林冠截留率

林外降雨/ mm	截留率/%		
	落叶松桦木 混交林	山杨桦木 混交林	油松蒙古栎 混交林
3.50	55.71	50.86	61.43
7.01	47.22	25.96	49.79
7.80	42.31	27.69	47.69
8.20	38.90	37.80	42.68
9.39	33.12	26.62	32.16
10.51	31.68	28.26	32.92
10.83	33.52	26.04	46.72
11.94	35.34	29.98	38.61
17.83	24.23	19.01	27.09
22.00	25.41	21.50	20.55
23.22	27.48	21.83	20.37
35.00	18.89	15.29	18.23

### 3.6 林冠截留模拟

林冠截留量与降水量存在着极紧密的正相关关系,受降雨量、降雨强度、降雨历时、前期环境状况以及林种、林龄、林分密度等多种因素的影响和制约<sup>[8]</sup>。目前,任何一个数学模型也无法全面囊括以上所有因素,如何导出一个含较少的林冠和降雨参数,具有清楚物理意义并易于确定,又能客观地模拟林冠对降水截留效应的数学模型,本文基于现有数据,对冀北山区三种林分落叶松桦木混交林、山杨桦木混交林、油

松蒙古栎混交林林冠截留进行模拟。

表 4 不同树种林冠截留率

降雨量/ mm	截留率/%						
	白桦	黑桦	落叶松	糠椴	山杨	油松	蒙古栎
3.50	56.00	52.43	57.71	51.71	51.14	52.29	50.86
7.01	45.79	48.79	48.50	25.68	25.68	50.36	49.22
7.80	40.64	44.10	43.72	28.33	28.08	22.18	22.05
8.20	37.93	39.39	40.12	37.44	37.80	43.05	42.44
9.39	32.06	33.55	34.40	26.41	26.52	32.69	31.74
10.51	30.54	32.16	33.11	28.26	27.97	33.59	32.35
10.83	32.50	33.89	34.81	26.04	25.67	47.37	46.26
11.94	34.42	30.59	36.60	30.07	29.40	39.45	37.94
17.83	23.33	24.45	25.35	18.62	20.92	30.29	25.29
22.00	24.45	26.27	25.73	21.45	19.23	24.00	18.59
23.22	26.74	24.51	27.43	21.88	19.68	23.21	18.60
35.00	20.74	22.40	21.69	20.97	19.60	20.14	17.06

设研究期间降雨量  $P$  大于林冠饱和降雨量的次数为  $n$ , 小于林冠饱和降雨量的次数为  $m$ , 则:

$$I = \frac{A_m}{P_s} \sum_{i=1}^m P_i + \frac{\beta}{P_m} \sum_{i=1}^m P_i^2 + nA_m + \beta \sum P_i$$

式中:  $I$ ——林冠截留量;  $\beta$ ——林冠蓄水蒸发系数, 可以由林内降雨与林外降雨的回归系数( $a$ )来估计,  $\beta = 1 - a$ ;  $A_m$ ——由林内降雨与林外降雨的回归直线的截距( $b$ )来估计,  $A_m = -b$ ;  $P_s$ ——林冠饱和降雨量;  $P_i$ ——第  $i$  次降雨,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ;  $P_m$ ——第  $m$  次降雨。

该模型中的各种参数都很容易确定。利用对冀北山地三种不同林分林内外降雨观测数据, 模拟结果见表 5。从预测结果看, 该模型对林冠截留量的预测比较准确, 误差在 3% 左右, 基本上可以满足林冠截留的模拟要求。

表 5 不同林分林冠总截留量模拟结果

林分类型	$A_m$	$P_s$	$m$	$n$	$\sum_{i=1}^m P_i$	$\sum_{i=1}^m P_i^2$	$\sum_{i=1}^m P_i$	$\beta$	实测值	预测值	误差
落叶松桦木混交林	1.9813	6.61	3	11	4.1	16.81	158.32	0.1761	48.94	51.75	2.81
山杨桦木混交林	1.4467	5.35	1	13	3.5	12.25	161.33	0.1659	39.27	44.21	4.94
油松蒙古栎混交林	1.7898	6.38	2	12	3.7	13.69	160.13	0.1842	49.47	50.94	1.47

## 4 结论

(1) 研究区降雨主要集中在 6—9 月 4 个月, 占全年降水量的 69%, 其中 7 月份降水量占全年降水量的 31%, 以中小雨为主, 占全年降雨日数的 85%, 大雨占 15%, 该区降雨主要为中小降雨为主, 大雨暴雨较少。

(2) 三种林分穿透雨分别为 115.31, 115.08, 25.94 mm, 分别占林外降雨量的 68.94%, 68.81%, 75.31%。三种林分单株树干径流总量分别为 4.35, 5.90, 6.24 mm, 占降雨总量的 2.56%, 3.47%, 3.67%。7 个不同种类的林分中, 以落叶松(35.76%)和油松(34.88%)林冠截留率较大, 说明针叶树种相比阔叶树种具有较高的林冠截留性能。

(3) 随着降雨量的增加, 穿透雨量、树干径流量和林冠截留量都增加, 林冠截留率降低。

(4) 用数学模型来描述降水分配情况, 以线性回归方程来拟合穿透雨( $y$ )和林外降雨( $x$ )、树干径流量和林外降雨之间的关系最好; 在降雨量小的情况下, 林冠截留量和截留率都较高; 降雨量较多时, 林冠截留量较大但截留率不高。

(5) 林冠截留模型能够准确地模拟林冠对降雨的总体截留能力。本研究仅使用了 2010 年 4 个月的数据进行模拟, 其代表性还有所欠缺, 需要利用其他年份的观测资料来进一步检验该模型在我国冀北山地的适用性, 这将是下一步需要深入开展的工作。

不同重建模式的马尾松人工林恢复 27 a 后平均胸径大小依次为:模式 F>模式 E>模式 A>模式 C>模式 D>模式 B。模式 A,B,C,D 的马尾松人工林直径分布曲线偏度值为正值,为左偏,表明分布曲线的顶峰偏右,整个林分中中小径阶的林木占多数;而模式 E,F 的马尾松人工林直径分布曲线偏度值为负值,为右偏,表明分布曲线的顶峰偏右,整个林分中大径阶的林木占多数。模式 A,B,C 的峭度为正值,说明径阶分布离散程度小而集中;而模式 D,E,F 峭度为负值,说明径阶分布离散程度大。虽然本研究选取的马尾松样本为同龄林,然而,马尾松林分呈现出一定的分化现象,说明不同重建模式对马尾松林的生长具有一定的影响,即不同重建模式对植被恢复的效果不同。这可能与各个林分的保留密度有关,从表 1 可以看出,保留密度越大,平均胸径越小;反之,平均胸径越大。林分密度通过影响平均胸径、平均树高而影响其材积,进而影响林分的碳固定能力<sup>[13]</sup>。这可为侵蚀退化红壤地生态修复林分初始密度的确定,尤其是生态修复实施成功后林分的经营管理、保留密度的确定提供有益的依据和参考。

不同重建模式的马尾松人工林直径 Weibull 分布模型参数  $c$  值均介于 1 和 3.6 之间,且差别不大,故 6 种重建模式的马尾松林分胸径分布形状均为单峰正偏山状分布,说明在同一重建模式中林木直径分布差异不明显。这主要是因为本研究对象是马尾松同龄林,且马尾松是慢生树种,生长较缓慢,在同林分中由于立地条件相似,因此林木间分化不明显。

随着相关学科日新月异的变化,如统计分析科学的发展,林分直径结构模型朝复杂化、多样化方向发展,从而为从整体上提升林分直径结构模拟与预测系统的性能及准确度,更好地为科学经营管理和准确预估材积、碳固定量提供依据。为了更深入地研究和分

析调查地区林分的生长动态,还需进一步对其标准地资料进行动态观测与分析,为科学地进行不同重建模式的马尾松人工林的经营与管理提供可靠的理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 吴雨赤. 第四纪红黏土侵蚀劣地桃树种植试验[J]. 中国水土保持,1997(11):21-22.
- [2] 张桃林,史学正,张奇. 土壤侵蚀退化发生的成因、过程与机制[M]//中国红壤退化机制与防治. 北京:中国农业出版社,1999:46-76.
- [3] 胡喜生,周新年,兰樟仁,等. 人工林桉树胸径分布模型的研究[J]. 福建林学院学报,2008,28(4):314-318.
- [4] 吴承祯,洪伟. 林分直径结构新模型研究[J]. 西南林学院学报,1999,19(2):90-95.
- [5] 张伟,赵善伦,吴志芬. 山东赤松种群直径结构及其动态研究[J]. 西北植物学报,2001,21(4):749-754.
- [6] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [7] 刘金福,洪伟,林升学. 格氏栲天然林主要种群直径分布结构特征的研究[J]. 福建林学院学报,2001,21(4):325-328.
- [8] 陈昌雄,陈平留,刘健,等. 闽北天然次生林林木直径分布规律的研究[J]. 福建林学院学报,1996,16(2):122-125.
- [9] 刘金福,江希钿,黄增,等. 闽东柳杉人工林直径分布的研究[J]. 福建林业勘察设计,1997(1):30-35.
- [10] 郎奎健,唐守正. IBMPC 系列程序集[M]. 北京:中国林业出版社,1989.
- [11] 胥辉,屈燕. 思茅松天然次生林林分直径结构规律的研究[J]. 西南林学院学报,2001,21(4):193-195.
- [12] 张贵,陈建华. 应用 Weibull 分布研究毛竹林分直径结构规律[J]. 经济林研究,2002,20(4):31-33.
- [13] 黄荣珍,樊后保,李凤,等. 人工修复措施对严重退化红壤固碳效益的影响[J]. 水土保持通报,2010,30(2):60-64.

(上接第 127 页)

#### 参考文献:

- [1] 巩合德,王开运. 川西亚高山白桦林穿透雨和径流特征观测研究[J]. 生态学杂志,2004,23(4):17-20.
- [2] Leyton T. Rainfall interception in forest and moorland [M]//Int. Symp. Forest Hydrology. Oxford: Pergamon Press,1965:163-178.
- [3] George M. Interception, stem flow and throughfall in an Eucalypts hybrid plantation[J]. Indian Forester,1978,104(11):719-726.
- [4] Gash J H C. An analytical model of rainfall interception by forests[J]. Quart. J. R. Met. Soc.,1979,105:43-53.
- [5] Pilar L, Francisco D. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions; A review of studies in Europe [J]. Journal of Hydrology,2007,335(1/2):37-54.
- [6] 薛建辉,郝奇林,吴永波,等. 3 种亚高山森林群落林冠截留量及穿透雨与降雨量的关系[J]. 南京林业大学学报,2008,32(3):9-12.
- [7] 方江平,项文化,刘韶辉. 西藏原始林芝云杉林雨季林冠降水分特征[J]. 生态学报,2010,30(14):3679-3687.
- [8] 彭焕华,赵传燕,沈卫华,等. 祁连山北坡青海云杉林冠对降雨截留空间模拟:以排露沟流域为例[J]. 干旱区地理,2010(4):568-570.