

木兰围场华北落叶松林对降雨再分配的影响

张宁¹, 陆贵巧¹, 郭宾良², 张国强³, 杨超¹, 马小欣¹, 张建华³

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 保定市林业局,
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:为了探究落叶松林对降雨再分配的过程,通过对木兰围场国有林场管理局北沟林场内落叶松林进行穿透降雨、冠层截留和树干径流 3 个方面进行了监测,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 59.44%, 39.20%, 1.36%;(2) 穿透雨量和林外降雨呈现线性关系($R^2=0.9886$),林冠截留量与林外降雨量也具有明显的幂函数关系($R^2=0.7559$),树干径流与林外降雨量具有明显的线性相关关系($R^2=0.7559$),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,当林外降雨量高于 1.81 mm 时会产生穿透雨。依据林外降雨与树干径流的方程,当林外降雨高于 5.18 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:落叶松; 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)05-0321-04

Study on Effect of *Larix principis-rupprechtii* Mayr Plantation on Rainfall Redistribution Processes in the Mulan-Weichang

ZHANG Ning¹, LU Guiqiao¹, GUO Binliang², ZHANG Guoqiang³,
YANG Chao¹, MA Xiaoxin¹, ZHANG Jianhua³

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China; 2. Forestry Bureau of Baoding, Baoding, Hebei 071000, China; 3. Mulan-Weichang Forestry Administration of Hebei Province, Weichang, Hebei 068450, China)

Abstract: In order to explore the process of *Larix principis-rupprechtii* Mayr forest on rainfall redistribution, throughfall, canopy interception and stem flow were monitored in *Larix principis-rupprechtii* Mayr forests of the north valley in Mulan-Weichang Forestry Management Bureau. The results showed that: (1) throughfall and interception ratio of rainfall outside of forest volume were larger, the trunk runoff proportion was very little, which was 59.44%, 39.20%, 1.36%, respectively; (2) throughfall and rainfall appeared to be a linear relationship ($R^2=0.9886$), the canopy interception and rainfall outside the forest also had the obvious power function relationship ($R^2=0.7559$), trunk diameter flow had remarkable linear relation with the rainfall outside the forest ($R^2=0.7559$) at the extremely significant level ($p<0.01$); (3) according to the equation on the throughfall and the rain outside of forest, when the rainfall was higher than 1.81 mm outside the forest, the throughfall would occur, based on the equation on rainfall outside the forest and tree trunk runoff, the trunk runoff would produce when rain outside the forest was greater than 5.18 mm. Canopy played a very important role in the redistribution of rainfall, the formation of a secondary rain.

Keywords: *Larix principis-rupprechtii* Mayr; 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。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,对减少地表径流起到很大作用,体现了森林防洪和涵养水源的功能^[4-5]。落叶松是木兰围场的主要

树种之一,因此进一步探讨落叶松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,由于其对林外降雨起不到决定作用,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)地处滦河上游,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(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)、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 样地设置

本文挑选林分密度为 1 300 株/hm² 的落叶松林,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*),与此同时测量胸径、树高、冠幅、枝下高等因子;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 4 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。

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),同时在外林空旷地上安置 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

林冠截留量通过观测的林外降雨量、穿透雨量、树干径流量计算求出:

$$I = P - (P_t + S) \quad (1)$$

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

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{S_N M_N}{10^4 A} \quad (2)$$

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(m²)。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

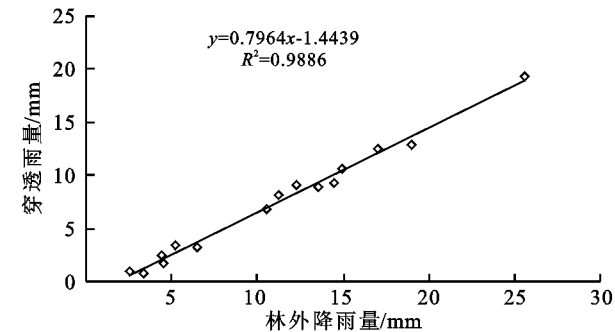
3.1 林外降雨与穿透雨的关系

试验的时间为 2013 年 6—10 月,在试验过程中总共记录了 15 次有效降雨,最大降雨量 25.54 mm,最小降雨量 2.56 mm,降雨总量 165.02 mm,平均每次降雨量为 11.00 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 59.44%,39.20%,1.36%。

表 1 落叶松林内降雨再分配

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	4.49	1.63	36.33	2.86	63.65	0.0009	0.02
2	14.49	9.21	63.57	4.94	34.12	0.3347	2.31
3	4.36	2.37	54.41	1.99	45.57	0.0009	0.02
4	16.99	12.42	73.10	4.05	23.85	0.5181	3.05
5	6.54	3.14	48.04	3.40	51.93	0.0020	0.03
6	11.19	8.23	73.57	2.79	24.92	0.1689	1.51
7	25.54	19.33	75.66	5.32	20.81	0.9017	3.53
8	2.56	0.87	33.75	1.70	66.24	0.0003	0.01
9	5.16	3.46	67.08	1.70	32.91	0.0005	0.01
10	13.56	8.91	65.69	4.50	33.19	0.1519	1.12
11	14.95	10.63	71.13	4.04	26.99	0.2811	1.88
12	12.32	9.02	73.19	3.06	24.84	0.2428	1.97
13	3.32	0.77	23.19	2.55	76.77	0.0013	0.04
14	10.59	6.86	64.75	3.56	33.59	0.1758	1.66
15	18.95	12.92	68.15	5.43	28.64	0.6084	3.21

15 次降雨过程中,穿透雨量占主要部分(表 1),为了更好地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,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 $y=0.7964x-1.4439$,在降雨初期不会产生穿透雨,当降雨量达到 1.18 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($R^2=0.9886$),由图 1 可见,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。

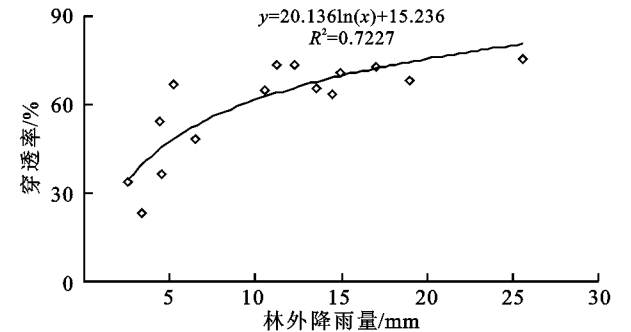


图 1 林外降雨量与穿透雨量、穿透率的关系

3.2 林外降雨与林冠截留的关系

由表 1 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($R^2=0.7559$),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,林冠截留率与林外降雨量呈二次幂函数关系。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

由表 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($p<0.01$)。

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。对于本研究的落叶松林来说,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,弧长与所对应的周长之比就是这个圆柱体的粗糙度,共测量 3 次取其平均值。

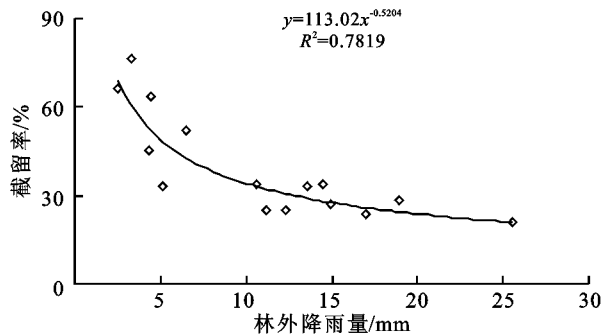
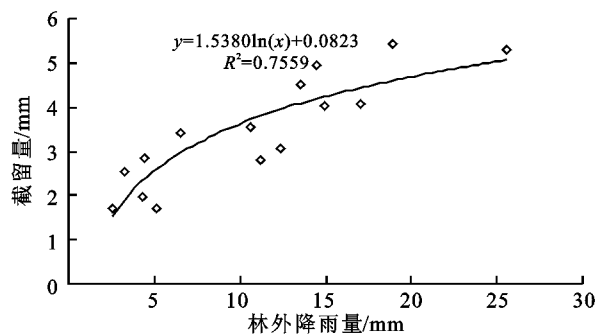


图 2 林外降雨量与林冠截留量、截留率的关系

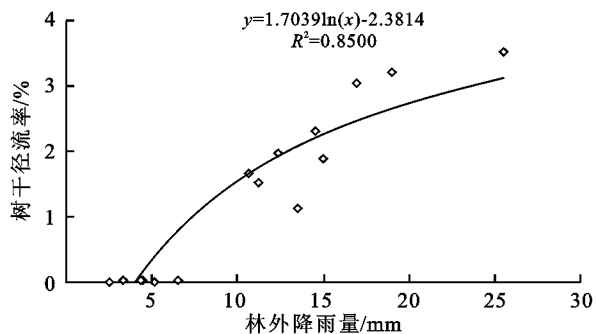
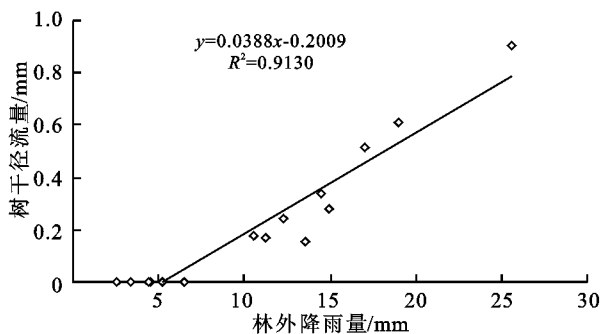


图 3 林外降雨量与树干径流量、径流率的关系

4 结论

(1) 15 次降雨过程中, 穿透雨量要占主要部分, 林外降雨和穿透雨呈线性关系, 在降雨初期不会产生穿透雨, 当降雨量达到 1.18 mm 时开始出现穿透雨, 用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 ($R^2 = 0.9886$), 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, 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, 穿透率与降水量的相关性也达到极显著水平 ($p < 0.01$), 随着降雨量或降雨强度的增加, 穿透率呈上升趋势并且逐渐趋于稳定。

(2) 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 ($p < 0.01$)。而林冠截留率与林外降雨呈二次幂函数关系。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。

(3) 树干径流量占林外降雨总量的比例非常小, 树干径流与林外降雨量具有明显的线性相关关系, 且

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。

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.
- [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.

参考文献:

- [1] 苏永中,赵哈林.土壤有机碳储量影响因素及其环境效应研究进展[J].中国沙漠,2002,22(3):220-228.
- [2] 李庆华,曹扬,陈云明,等.陕西油松人工林下枯落物层生物量及其碳储量[J].水土保持研究,2013,20(4):24-28,54.
- [3] 刘满强,胡锋,陈小云,等.中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J].地理学报,2000,55(5):533-544.
- [4] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等.北京山地不同林分乔木层生物量和生产力研究[J].水土保持研究,2013,20(4):155-159.
- [5] 彭守璋,赵传燕,郑祥霖,等.祁连山区青海云杉林生物量和碳储量空间分布特征[J].应用生态学报,2011,22(7):1689-1694.
- [6] 苏娜,焦菊英,马祥华,等.黄土丘陵沟壑区主要群落地上生物量季节变化及其与土壤水分的关系[J].水土保持研究,2012,19(6):7-12.
- [7] 姜红梅,李明治,王亲,等.祁连山东段不同植被下土壤养分状况研究[J].水土保持研究,2011,18(5):166-170.
- [8] 罗云建,张小全,王效科,等.森林生物量的估算方法及其研究进展[J].林业科学,2009,45(8):129-134.
- [9] 许文强,罗格平,陈曦,等.干旱区三工河流域土壤有机碳储量及空间分布特征[J].自然资源学报,2009,24(10):1740-1747.
- [10] 党宏忠,赵雨森,陈祥伟,等.祁连山青海云杉林地土壤水分特征研究[J].应用生态学报,2004,15(7):1148-1152.
- [11] 王绍强,周成虎,李克让,等.中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J].地理学报,2000,55(5):533-544.
- [12] 苏纪帅,程积民,高阳,等.宁夏大罗山4种主要植被类型的细根生物量[J].应用生态学报,2013,24(3):626-632.
- [13] 彭守璋,赵传燕,许仲林,等.黑河上游祁连山区青海云杉生长状况及其潜在分布区的模拟[J].植物生态学报,2011,35(6):605-614.
- [14] 胡启武,欧阳华,刘贤德.祁连山北坡土壤碳氮分布特征[J].山地学报,2006,24(6):654-661.
- [15] 常学向,赵爱芬,王金叶,等.祁连山林区大气降水特征与森林对降水的截留作用[J].高原气象,2002,21(3):274-280.
- [16] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等.1981—2000年中国陆地植被碳汇的估算[J].中国科学:D辑地球科学,2007,37(6):804-812.
- [17] 梁二,蔡典雄,张丁辰,等.中国陆地土壤有机碳储量估算及其不确定性分析[J].中国土壤与肥料,2010,(6):75-79.
- [18] 潘根兴,李恋卿,张旭辉,等.中国土壤有机碳库量与农业土壤碳固定动态的若干问题[J].地球科学进展,2003,18(4):609-618.

~~~~~

(上接第324页)

- [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.