

晋西黄土区单株油松树下穿透雨空间分布特征研究

次仁曲西, 毕华兴, 潘迪, 高路博, 许华森, 鲍彪

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘要:为了更好地解析黄土高原森林水文过程,为基于生态过程的森林水文模型的发展与参数化提供基础,在单株尺度上探讨了晋西黄土区典型油松林穿透雨的空间分布特征。在选取的 2 棵油松标准木的两侧树冠下,根据离树干的不同距离布置自记雨量计各 7 个,研究期间共观测了 15 场不同降雨和穿透降雨量。利用统计学方法分析了林外降雨和冠层结构特征与穿透雨之间的关系。结果表明:(1)部分观测点出现穿透雨率大于 100% 的状况,最大的穿透雨率达 155.8%,这主要是因为降雨在冠层的作用下发生了聚集效应;(2)穿透雨量与降雨量呈显著正相关关系($p < 0.05$),穿透雨率与降雨强度也呈正相关关系,但其影响未达到显著水平;(3)距树干距离对穿透雨的影响是多重因素综合作用的结果,并且在穿透雨的空间分布中起到主导作用;(4)穿透雨率与郁闭度和冠层厚度呈负相关关系。

关键词:晋西黄土区;油松;穿透雨;空间分布

文献标识码:A

文章编号:1000-288X(2013)05-0161-04

中图分类号:S715.2

Spatial Distribution Characteristics of Throughfall Under *Pinus Tabulaeformis* Single Tree's Canopy in Loess Region of Western Shanxi Province

Ciren Quxi, BI Hua-xing, PAN Di, GAO Lu-bo, XU Hua-sen, BAO Biao

(School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to analyze the forest hydrology processes on the Loess Plateau and provide reference for the development and parameterization of hydrological model, spatial distribution characteristics of throughfall were discussed at the scale of the single tree of *Pinus Tabulaeformis* in the loess region of Western Shanxi Province. 7 rain gauges were settled under 2 sampled trees in accordance with the distance from the stems. The respective throughfall of 15 different rainfall events was measured and the influences of rainfall and canopy characteristics on throughfall were analyzed by statistical method. Results showed that: (1) Throughfall percentage in some sample sites was greater than 100%, with the maximum being 155.8%. The reason for the phenomenon is the evidently concentrated rainfall which might be caused by the canopy. (2) Throughfall was positively correlated to rainfall and rainfall intensity, but the correlation with rainfall intensity was not significant. (3) The influence of the distance between sample site and stem on throughfall was attributed by multiple factors which play a major role in throughfall spatial distribution. (4) Throughfall percentage was negatively correlated to canopy density and canopy thickness.

Keywords: loess region of western Shanxi Province; *Pinus tabulaeformis*; throughfall; spatial distribution

森林与水之间的关系是生态学和水文学研究的核心问题之一^[1-4]。林外降雨在穿过林冠落在地面的整个过程中,被林冠截留了一部分,实现了降雨的第一次分配。这个过程不仅削弱了降雨的动能,同时改变了降雨的空间格局^[5]。穿透雨是降雨再分配的

一个重要部分,研究穿透雨的空间分布对于了解土壤水分和营养物质的循环和分配有重要意义^[6]。国内外学者就穿透雨的空间分布开展了许多研究,但从单株尺度研究穿透雨的空间分布较少。本研究以晋西黄土区典型油松林为研究对象,探讨单株尺度穿透雨

收稿日期:2012-12-04

修回日期:2013-01-05

资助项目:林业公益性行业科研专项“典型森林植被对水资源形成过程的调控研究”(201104005)

作者简介:次仁曲西(1989—),女(藏族),西藏昌都地区江达县人,硕士研究生,主要研究方向为流域自然地理过程。E-mail:lwxcw343@yahoo.cn。

通信作者:毕华兴(1969—),男(汉族),陕西省米脂县人,教授,博士生导师,主要研究方向为森林水文和地理信息系统。E-mail:bhx@bjfu.edu.cn。

的空间分布特征,这对于黄土高原森林水文过程解析具有重要的意义,同时可为基于生态过程的森林水文模型的发展与参数化提供基础^[7]。

1 研究区概况

研究区位于山西吉县蔡家川流域,为典型的黄土残塬沟壑区。地理坐标为东经 110°27′30″—111°07′20″,北纬 35°53′10″—36°21′02″,海拔 904~1 592 m,属温带大陆性气候,年均降水量 489.10 mm,降雨最大月为在 7,8 月。土壤类型主要为褐土。

2 研究方法

以 2012 年 7—9 月晋西黄土区典型油松林地 15 场降雨林外和林内的降雨测定为基础,分析单株油松树下穿透雨空间分布特征。

(1) 样地及雨量监测点布设。在人工油松林选取 2 棵标准木(记为油松 1 号和油松树 2 号),根据距树干的不同距离在树干两侧的树冠下布置与林外降雨相同的自记雨量计各 7 个并编号。各穿透雨监测点离树干距离及冠层结构特征如表 1 所示。

表 1 各林内雨量监测点油松冠层结构特征

雨量计编号	距树干距离/cm	冠层厚度/m	郁闭度
1	+368	0.4	0.39
2	+252	1.3	0.57
3	+136	3.1	0.84
4	+20	4.1	0.94
5	-20	4.2	0.94
6	-110	0.7	0.70
7	-200	0.1	0.32
8	+195	0.5	0.31
9	+135	0.7	0.54
10	+75	2.0	0.89
11	+15	3.2	0.94
12	-20	2.9	0.95
13	-95	2.2	0.78
14	-170	0.6	0.48

注:“+”代表雨量监测点位于树冠相对较大的树干一侧,“-”代表雨量监测点位于树冠相对较小的树干一侧。

(2) 雨量的测定。采取标准自记雨量计进行记录。

(3) 冠层厚度的测定。用标杆和卷尺分别测出各雨量计的上方冠层顶端和底端的高度,两者之差即为冠层厚度。

(4) 郁闭度的测定。在各雨量计上放置一张与雨量计口径面积相等的 1 mm×1 mm 方格纸,用笔

描绘出树荫在方格纸上的投影,投影的面积与雨量计口径面积之比即为郁闭度。

3 结果与分析

3.1 穿透雨空间分布特征

研究期间 15 场降雨基本特征如表 2 所示。通过对 15 场降雨的分析,发现在林内不同位置,穿透雨率明显不同。在不同的降雨条件下有些观测点的穿透雨量高于林外降雨量。如在 <5 mm 的降雨事件中,有 53.8% 的观测点的穿透雨率大于 100%,最大穿透雨率为离树干 110 cm 的 145.3%,平均穿透雨率为 100.95%;在 ≥5 mm 和 <10 mm 的降雨事件中,36.2% 的观测点的穿透雨率大于 100%,最大穿透雨率为 155.8%,平均穿透雨率为 86.85%;在 ≥10 mm 的降雨事件中,有 26.4% 的观测点的穿透雨率大于 100%,最大穿透雨率为 130%,平均穿透雨率为 86.3%。Gómez 等^[6]在橄榄树下和时忠杰等^[8]在华北落叶松下的研究均曾发现过这种现象,并分析认为降雨在冠层的影响下发生了聚集效应,这与本研究结果比较相似。虽然有个别观测点的穿透雨量高于林外降雨量,但是总体看来,大部分的穿透雨量还是低于林外降雨量。

表 2 研究期间 15 场降雨的基本特征

序号	日期	降雨量/mm	平均降雨强度/(mm·h ⁻¹)
1	7 月 8 日	40.99	3.35
2	7 月 9 日	2.46	0.73
3	7 月 10 日	7.62	2.52
4	7 月 21 日	8.96	2.09
5	7 月 24 日	8.06	1.88
6	7 月 30—31 日	24.64	3.24
7	8 月 9 日	32.79	2.73
8	8 月 12 日	9.19	1.72
9	8 月 13—14 日	37.87	1.83
10	8 月 17—18 日	35.62	2.99
11	8 月 26 日	10.68	2.31
12	8 月 31—1 日	50.00	2.14
13	9 月 6 日	5.82	1.16
14	9 月 10 日	8.12	1.95
15	9 月 25 日	8.13	1.02

3.2 穿透雨的影响因素分析

影响穿透降雨的因素包括林外降雨和冠层结构特征。本研究考虑了降雨量、降雨强度、测点上方的冠层厚度、郁闭度和离主树干距离这 5 个因素。

3.2.1 林外降雨 对各个观测点穿透雨量(y)与林

外降雨量(x)之间关系进行拟合,基本上所有的观测点穿透雨量和降雨量的模拟关系很好,相关系数很高($p < 0.05$)。平均穿透雨量也与林外降雨也能够较好地拟合($p < 0.05$) (图 1)。在观测期中,随着降雨量的增大,穿透雨量也跟着增大,两者呈现出很好的线性关系。另一方面,降雨强度对穿透雨有一定的影响,随着降雨强度的增大,穿透雨率增大,但是这种影响在 0.05 水平下不显著(图 2)。

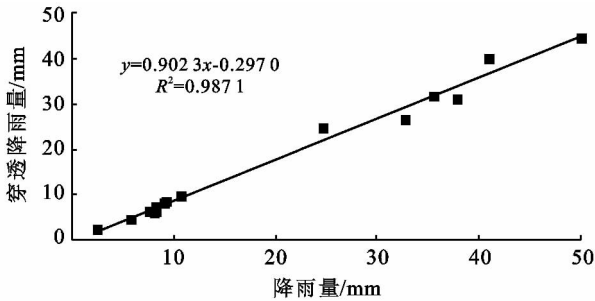


图 1 平均穿透雨量与降雨量的关系

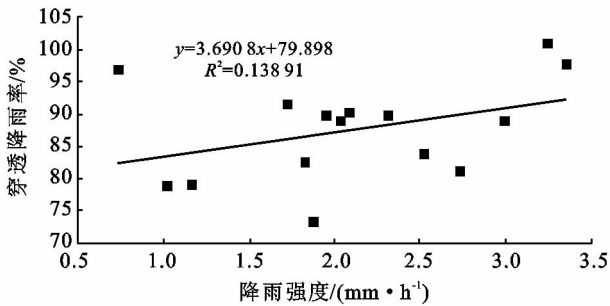


图 2 平均穿透雨率与降雨强度的关系

3.2.2 冠层结构特征

(1) 离树干距离。对观测点平均穿透雨率和离树干距离关系(图 3)的分析可以发现,穿透雨率和离树干距离之间的关系可以用幂函数拟合,但在 0.05 的水平下拟合效果不太显著。并不是离树干距离越远,穿透雨率越大,如离主树干 250 cm 处的平均穿透雨率小于离主树干 150 cm 处的平均穿透雨率。时忠杰等^[8]发现华北落叶松的穿透降雨率最小位置并不是在距树干最近的测点,而在距主树干 1~2 m 的距离上。李振新等^[7]研究冷杉针叶林时发现,穿透降雨率最小值出现在距主树干 2~3 m 的距离上。从影响机制来看,导致穿透雨空间变异并非是直接由离树干距离来决定的,实际上是各观测点冠层厚度、郁闭度等冠层结构因素综合影响的结果。

(2) 冠层厚度。对观测点平均穿透雨率和冠层厚度关系(图 4)的分析可以发现,平均穿透雨率与冠层厚度呈负相关关系,穿透雨率随着冠层厚度的增加而减小。

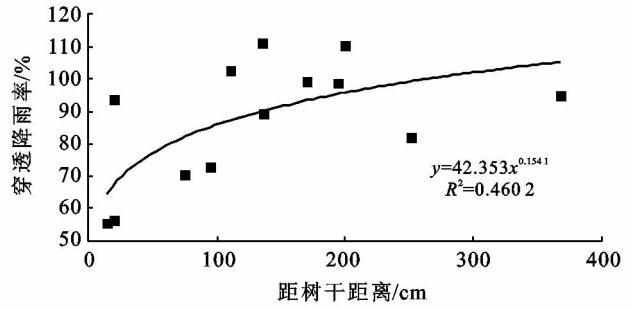


图 3 平均穿透雨率与距树干距离的关系

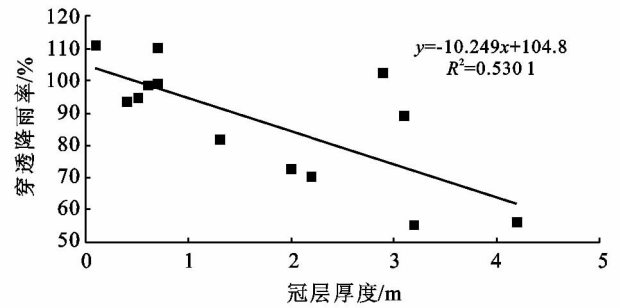


图 4 平均穿透雨率与冠层厚度的关系

(3) 郁闭度。对观测点平均穿透雨率和郁闭度关系(图 5)的分析可以发现,平均穿透雨率与郁闭度呈负相关关系,穿透雨率随着郁闭度的增加而减小。

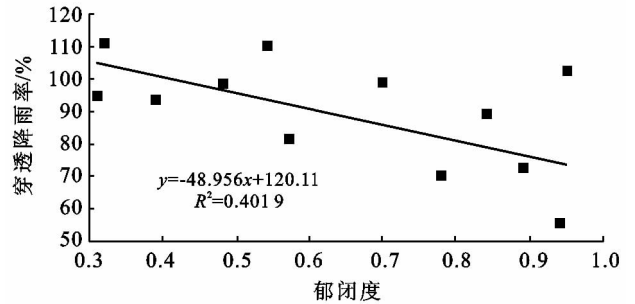


图 5 平均穿透雨率与郁闭度的关系

对平均穿透雨率(Y)与离树干距离(X_1)、冠层厚度(X_2)和郁闭度(X_3)进行多元线性回归,标准化后的回归方程为: $Y = 1.042X_1 + 0.101X_2 + 0.313X_3$ 。从方程可知离树干距离的贡献率最大,回归系数为 1.042,其次是郁闭度,回归系数为 0.313,贡献率相对最小的是冠层厚度,回归系数为 0.101。

4 讨论与结论

研究显示穿透雨在油松树下不同位置上具有明显的差异,林冠结构的差异是导致这种差异的主要原因^[9]。一般认为穿透雨应小于林外降雨,但研究中有些观测点的穿透雨超过了林外降雨,表明了聚集效应对穿透雨的影响。由此可见,林冠结构改变了降雨的

水平分布格局。

单株油松树下穿透雨的变化明显受到降雨量的影响。在研究期间,随着降水量的增加,穿透雨率呈上升的趋势。

研究发现,冠层结构的特征对穿透雨空间分布具有重要的影响。观测点的离树干距离、冠层厚度、郁闭度是影响穿透雨空间变异的重要因素。由多元线性回归模型 3 个因子的贡献率,离树干距离对穿透雨空间分布的影响最大(贡献率 71.6%),其次为郁闭度(贡献率 21.5%),相对最小的为冠层厚度(贡献率 6.9%)。离树干距离是一个多因子的综合指标,它并非直接决定了穿透雨空间的分布,实际上它对穿透雨空间分布的影响是综合了冠层厚度、郁闭度、开枝角度等冠层结构因素的结果,这种影响具备综合性的特质,在穿透雨的空间变异中起到了主导作用。林外降雨经过油松冠层后,被具有一定厚度的枝叶所拦截,但是枝叶在空间上并不是均匀分布和完全覆盖的,郁闭度的大小反映了枝叶覆盖程度的大小,覆盖程度越大,截留量越大,穿透雨越小。由于郁闭度并不能完全反映出枝叶的截留作用,而冠层厚度又是一个冠层特性的重要指标,它对树冠的截留作用也具有一定的影响。

本文研究的降雨量、降雨强度、测点上方的冠层厚度、郁闭度和离主树干距离这 5 个因素中,除了降雨量之外,其余因素对穿透雨的影响在 0.05 的水平下并不显著,这说明影响林冠穿透降雨空间分布的因素非常复杂,它还与风向等气象因素有关,它们之间的相关程度还需进一步的确定和研究。

研究单株油松树下穿透雨空间分布的特征对林地土壤的水分分布及养分的循环和利用有重要意义,需要进行更深入的研究。

[参 考 文 献]

- [1] Bonell M. Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests [J]. *Journal of Hydrology*, 1993, 150(2): 217-275.
- [2] Bonell M. Selected challenges in runoff generation research in forests from the hillslope to headwater drainage basin scale [J]. *Journal of American Water Resources Association*, 1998, 34(4): 765-785.
- [3] McCulloch J G, Robinson M. History of forest hydrology [J]. *Journal of Hydrology*, 1993, 150(2): 189-216.
- [4] Whitehead P G, Robinson M. Experimental basin studies: An international and historical perspective of forest impacts [J]. *Journal of Hydrology*, 1993, 145(3): 217-230.
- [5] 盛后财. 原始红松林降雨截留再分配及其影响因子研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [6] Gómez J A, Vanderlinden K, Giráldez J V, et al. Rainfall concentration under olive trees [J]. *Agricultural Water Management*, 2002, 55(1): 53-70.
- [7] 李振新, 郑华, 欧阳志云, 等. 岷江冷杉针叶林下穿透雨空间分布特征 [J]. *生态学报*, 2004, 24(5): 1015-1021.
- [8] 时忠杰, 王彦辉, 熊伟, 等. 单株华北落叶松树冠穿透降雨的空间异质性 [J]. *生态学报*, 2006, 26(9): 2877-2886.
- [9] 曹云, 黄志刚, 郑华, 等. 杜仲林下穿透雨时间及空间分布特征 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2008(6): 19-24.
- [10] 严海霞, 何文寿. 宁夏银北地区盐碱地改良与水稻种植技术探讨 [J]. *湖北农业科学*, 2010, 49(11): 2693-2695, 2708.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [12] 何挺, 王静, 程焯, 等. 土壤氧化铁光谱特征研究 [J]. *地理与地理信息科学*, 2006, 3(2): 30-34.
- [13] 王静, 何挺, 李玉环. 基于高光谱遥感技术的土地质量信息挖掘研究 [J]. *遥感学报*, 2005, 9(4): 438-445.
- [14] Mahlein A K, Steiner U, Hillnhütter C, et al. Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet diseases [J]. *Plant Methods*, 2012, 8(3): 1-13.
- [15] 高志海, 白黎娜, 王瑛瑜, 等. 荒漠化土地土壤有机质含量的实测光谱估测 [J]. *林业科学*, 2011, 47(6): 9-16.
- [16] 黄燕, 吴平. SAS 统计分析及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [17] Palacios-Orueta A, Ustin S L. Remote sensing of soil properties in the Santa Monica Mountains(I): spectral analysis [J]. *Remote Sens. Envir.*, 1998, 65(2): 170-183.

(上接第 129 页)