林(树)冠截留容量及其近似确定

范世香, 刁艳芳, 王 刚, 宋丹丹

(山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018)

摘 要:[目的] 为了克服在林(树)冠截留降雨研究中采用"截留率"和"实测截留量"指标的缺陷。[方法] 提出了截留容量的概念及近似确定方法。利用两个林分的实测资料,进一步介绍了截留容量的近似确定方法并进行相互比较。[结果] 截留容量更能体现林冠对降雨截留作用的大小,它不仅能在不同林分或树种之间进行截留作用大小的比较,而且不受地域限制。[结论] 采用截留容量指标比较不同林分之间对降雨的截留作用不仅是有效的,也是合理的。

关键词: 林冠; 实测截留量; 截留率; 截留容量; 近似确定

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2015)03-0222-03 **中图分类号**: S715.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.047

Interception Capacity and Its Approximate Determination of Forest(Trees) Canopy to Rainfall

FAN Shixiang, DIAO Yanfang, WANG Gang, SONG Dandan

(*College of Water Resources and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong* 271018, *China*)

Abstract: [Objective] To overcome defects on index of "interception rate" and "actual interception" in study of intercepting rainfall of forest canopy. [Methods] The conception on interception capacity of forest canopy and approximate determination way were posed. Through the actual data, approximate determination way and mutual comparison of two stands were introduced further for interception capacity. [Results] The conception of interception capacity can better reflect effect and degree of forest canopy intercepting rainfall. The comparison of interception impact between different stands (or tree kinds) not only was made by means of interception capacity, but also was not restricted by regions. [Conclusion] The interception capacity is an effective and rational index on comparing the interception impact of rainfalls among different stands.

Keywords: forest canopy; actual interception; interception rate; interception capacity; approximate determination

由于林冠(或树冠)对降雨的截留作用,将会使得降雨量发生第一次再分配,减少了到达地面的有效雨量,从而减少流域的产流量,即减少净雨量。因此,研究林(树)冠对降雨的截留作用,不仅具有重要的生态学意义,而且还具有重要的水文学意义[1-6]。

以往,在研究林冠截留降雨问题时,大多都是采用"实测(际)截留量"和"截留率"这两个指标[3-6]。一方面,由于受到许多因素的影响,即使在雨量相同的情况下,实测截留量也有很大差别[3]。因此,实测截留量往往难以真实地反映出林冠对降雨截留作用的大小。另一方面,截留率是指一次降雨的实测截留量与降雨量的比值,是个相对值。一般来说,小雨的截留率相对就高,而对于大雨,截留率相对就低,截留率与降雨量往往是呈现出反比关系,所以采用截留率指标也难以反映出林冠对降雨的截留作用的大小。为此,本文提出了能够客观衡量林冠对降雨截留作用大小并且比较合理的一个指标,即林冠截留容量。

1 基本概念

由树冠截留降雨的物理现象可知,影响树冠截留的因素很多,按其性质可分为两类。第一类是林冠特征因素,如树种组成、树龄、冠层厚度及冠层的郁闭度等;第二类是降雨及伴随的气象因素,如雨量、雨强、风速及雨前枝叶的湿润程度等。对具体林分而言,在一次降雨过程中,林冠特征因素可以认为是稳定少变的,降雨截留量的大小只与第二类因素有关。

收稿日期:2014-05-05 修回日期:2014-05-09
资助项目:国家自然科学基金项目"基于高密度电阻率成像技术的岩体裂隙网络空间结构特征"(41202174)
第一作者:范世香(1958—),男(汉族),山东省济南市人,教授,从事生态水文学研究工作。E-mail:fsx1016@163.com。
通信作者:宋丹丹(1989—),女(汉族),山东省青州市人,硕士研究生,研究方向为生态水文学。E-mail:1012254067@qq.com。

在第二类因素中,雨量是先决条件,降雨强度和风速是环境条件,雨前枝叶的湿润程度是初始条件。由于环境条件和初始条件的不同,在雨量相同的情况下,林冠截留量也往往是不同的,有时甚至差别很大。如果在雨强很小、无风、雨前枝叶十分干燥的理想条件下,对某一林分而言,只要雨量相同,那么林冠截留量应该是唯一的,其数值就不会出现差异。更进一步说,在环境条件和初始条件最有利的情况下,林冠截留量与降雨量应该是单值函数关系,不同的雨量才会产生不同的截留效应,这就是截留容量的概念。因此,可以把林冠截留容量定义为"在理想状况下林冠对降雨的截留量",它仅与降雨量有关。根据这一概念不难理解,林冠截留容量就是对某一降雨量的最大截留量,它揭示的是林冠对降雨的截留能力。

采用林冠截留容量指标研究降雨截留问题,其优点是:(1) 消除了第二类影响因素,能够真实反映林冠截留作用大小;(2) 可以用于不同林分或不同树种之间降雨截留作用的比较,而且不受地域和具体降雨事件的限制。

在现实中,尽管上述的理想条件可能很少出现,但截留容量作为(对某一雨量)特征值是客观存在的,它与降雨量的函数关系也应该是存在的,而且是唯一的。然而,由于受到环境条件和初始条件的影响,林冠的实际截留量往往会小于、至多等于相同雨量下的截留容量。

根据以上概念的描述,树冠实际截留量 I' 和截留容量 I 可分别表示为:

$$I' = f_1(p, i, v, n) \tag{1}$$

$$I = f_2(p) \tag{2}$$

式中:p——降雨量(mm);i——降雨强度(mm/h);v——雨期风速(m/s);n——雨前枝叶湿润度(吸附水的含量)(mm);f_1 与 f_2 分别为某种函数关系。

从式(2)可知,截留容量与降雨量是单一的函数关系。无论对任何林分或树种,在野外试验条件下,确定截留容量与降雨量的关系并非易事,需要通过观测数据近似确定[7-8]。

2　近似确定方法

通过在野外获得的试验观测数据,可以将各场降雨量与其对应的实际截留量直接点绘关系。通常会发现,实际截留量与降雨量之间并非单一关系,点据比较散乱,即同一降雨量对应多个实际截留量数值。如前所述,这种现象正是由于环境条件和初始条件的不同所引起的,这就证实了实际截留量不仅取决于降雨量,而且还与其它影响因素有关,因此采用实际截留量指标揭示林冠截留作用的大小,有时是很不确切甚至是不可靠的。

如果相同雨量下取最大值,就能描绘出这些点据的上包线,从而得到一条光滑的曲线,可以近似认为这条光滑曲线基本上消除了其它因素(环境条件和初始条件)影响,反映的是截留容量与降雨量的关系,这种关系(曲线)可以用数学函数表达出来。如果林分不同或者树种不同,这种关系也是不同的。

实践证明,截留容量与降雨量往往都是指数函数关系,随着降雨量的增加,截留容量也增加。当降雨量增加到一定程度后,林冠层吸附雨水的能力达到饱和,截留容量不再随降雨量增加,呈现稳定状态。此时的截留容量达到最大值,称为饱和截留量。以往,常常把饱和截留量称作截留容量,这与本文提出的概念是有很大区别的。

采用实际截留量与降雨量关系点据的上包线近似反映林冠截留容量,即取相同雨量下的最大观测值,这样就将雨强、风速及雨前枝叶湿润度的影响程度降到了最小。很显然,这种近似方法的精度与观测资料的多少有关。如果观测次数越多,各种条件下林冠对降雨的实际截留量资料就越多,从而捕获到的截留容量信息就越丰富,上述近似确定方法的精度就越高,其结果也就越可靠。以下用两个实例进一步加以说明。

3　实际应用

3.1　人工林截留容量

人工林位于辽宁省抚顺县后安镇五龙林场以东约 1 km 处,东经 124°13′,北纬 41°44′,海拔 240 m,多年平均降水量 780 mm,林型是针阔混交林。林分结构组成主要有日本落叶松(*Larix kaempferi*)、春榆(*Ulmus davidiana* var. *japonica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)及少量黄菠萝(*Phellodendron amurense*)、核桃楸(*Juglands mandshurica*),其中日本落叶松约占 40%。林龄 26 a 左右,林木总蓄积量约 190 m^3/hm^2,林木密度为 1 020 株/hm^2,径级一般在 15～25 cm,郁闭度 0.95。该林分冠层较薄,且空间分布也较均匀。

林冠实际截留量的观测采用常规方法[8-10]。观测林内降雨量时,在林内随机设置了 16 个标准雨量筒,在附近的林中空旷地设置 1 个标准雨量筒,用于观测林外的大气降雨量,其观测值近似等于林上大气降雨量。观测时,对于时间间隔大于 2 h 的降雨,按二次降雨分别记录。从每年的 6 下旬至 9 上旬共观测了 3 个雨季。按照各个雨量筒的实测值,林内雨量

采用算术平均法计算。林冠实际截留量等于大气降雨量与林内雨量之差即：

林冠实际截留量＝大气降雨量－林内雨量

因树干径流很小，可以忽略不计。

按照林冠截留容量概念，点绘出实际截留量与降雨量的相关图，然后取其上包线，即得人工林截留容量与降雨量的函数关系（如图 1 所示）。

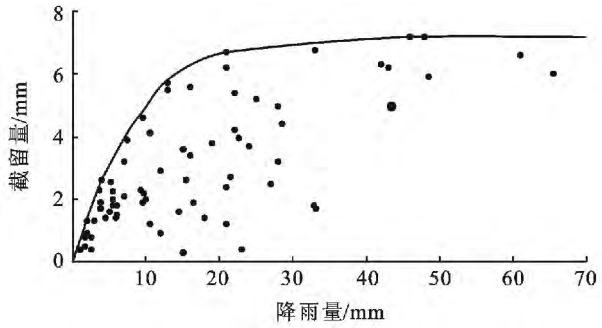


图 1 人工林截留容量与降雨量关系的确定

3.2 天然林截留容量

天然林位于吉林省安图县二道白河镇以南 3 km 处，东经 128°06′，北纬 42°25′，海拔 740 m，多年平均降水量 720 mm，林型为针阔混交林，林分结构组成主要有红松（*Pinus koraiensis*）、椴树（*Tilia tuan*）、水曲柳、风桦（*Betula costata*）及少量的色木槭（*Acer mono*）、春榆、白桦（*Betula platyphylla*），其中红松占 35%左右。林木总蓄积量约 380 m^3/hm^2，平均树高为 25 m，林木密度为 560 株/hm^2，径级一般在 32～40 cm，郁闭度 0.8。该林分冠层较厚，但空间分布不均匀。

实际截留量观测与计算方法同上。点绘出实际截留量与降雨量相关图，然后取其上包线，即得天然林截留容量与降雨量的关系（如图 2 所示）。

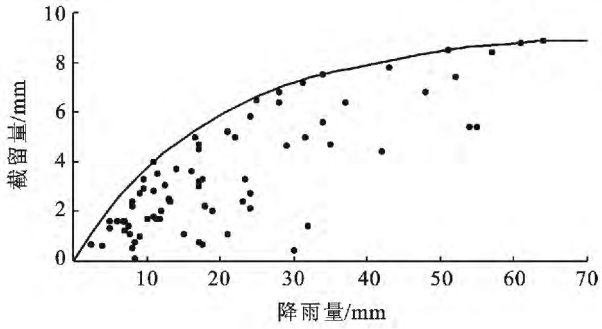


图 2 天然林截留容量与降雨量关系的确定

3.3 两种林分的比较

为便于比较，将以上两种林分截留容量与降雨量关系绘在同一张图上（如图 3 所示）。

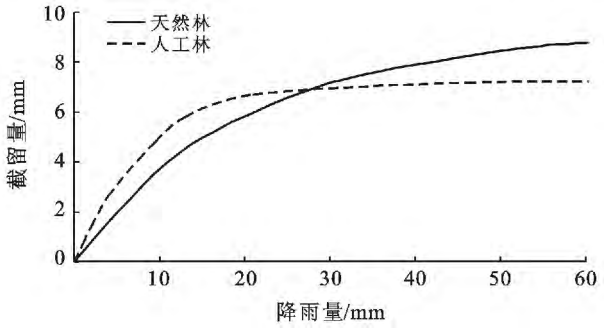


图 3 两种不同林分截留容量的比较

（1）当降雨量增加时，截留容量也随之增加。然而，当降雨量较小时，截留容量的增加速率较快；反之，当降雨量较大时，截留容量的增加速率较慢。

（2）当降雨量很大时，林冠截留容量趋于稳定并接近常数，这个常数就是饱和截留容量，或称为最大截留容量，显然，两种林分的饱和截留容量也是不同的，天然林饱和截留容量为 9 mm 左右，人工林的饱和截留容量为 7 mm 左右。从总体上来看，这种现象揭示出天然林的截留作用大于人工林截留作用。

（3）当降雨量较小时，人工林的截留容量大于天然林，表明人工林的降雨截留作用大小天然林；当降雨量较大时，人工林的截留容量小于天然林，表明人工林的降雨截留作用小于天然林。由此可见，对不同的降雨量级，两种林分的截留容量是不同的。分析表明，产生这种现象的原因是由于林分枝叶的多少及空间分布有关。

降雨量与截留容量的关系，即公式（2）的具体形式符合如下函数：

$$I=I_0(1-e^{-KP}) \tag{3}$$

式中：I——截留容量（mm）；P——降雨量（mm）；I_0——饱和截留量（mm），反映林冠枝叶量的多少；K——参数，反映林冠枝叶分布的均匀性。通过曲线相关分析并进行拟合，就可以定出公式中两个参数。

4 结果与讨论

本文提出的截留容量概念，反映了林冠（或树冠）本身固有的特性，如枝叶的多少和空间分布情况，实质上揭示的林冠对降雨截留的内在潜力。

通过研究实例可以清楚地看到，采用这一指标就可以避免其它因素的影响，并能用于林分之间截留作用大小的比较，一方面克服了采用截留率指标的不合理性，另一方面避免了采用实际观测值不能在不同林分之间进行比较（不可比性）的缺陷。因此，截留容量指标对于正确评价不同林分的截留作用具有积极意义。

（下转第 230 页）

[7] Cheng Bihai, Wang Qing, Liu Jianxing. Comparative analysis on eco-efficiency of Arable land ecological footprint in Hubei[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2006,11(4):1052-1085.

[8] 彭建,蒋依依,李正国,等. 快速城市化地区土地利用效益评价:以南京市江宁区为例[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(3):304-308.

[9] 王棚宇,王秀兰. 基于功效系数法的城市土地利用效益评价:以武汉市为例[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,8(1):79-81.

[10] 王筱明. 基于熵权法的济南市土地利用效益评价研究[J]. 水土保持研究,2008,15(2):96-98.

[11] 张凤伟,任家强,李楠,等. 基于 BP 人工神经网络的城市土地利用效益评价研究:以辽阳市为例[J]. 价值工程,2011,6(18):7-8.

[12] 郑新奇,王筱明. 城镇土地利用结构效率的数据包络分析[J]. 中国土地科学,2004,18(2):35-39.

[13] 刘坚,黄贤金,赵彩艳,等,基于 DEA 模型的城市土地利用结构效应分析:以江苏省为例[J]. 江苏农业大学学报,2005,27(3):330-334.

[14] 宋戈,高楠. 基于 DEA 方法的城市土地利用经济效益分析:以哈尔滨市为例[J]. 地理科学,2008,28(2):185-188.

[15] 龚长兰. 基于 DEA 方法的四川城市土地利用效率研究[D]. 四川 雅安:四川农业大学,2008.

[16] 王文刚,宋玉祥,庞笑笑,等. 基于数据包络分析的中国区域土地利用效率研究[J]. 经济问题探索,2011,(8):60-65.

[17] 宫继萍,石培基,潘竟虎. 基于 DEA 方法的兰州市城市土地利用经济效益分析[J]. 水土保持通报,2011,31(5):163-166.

[18] 张群,张雯,李飞雪. 基于信息熵和数据包络分析的区域土地利用结构评价:以常州市武进区为例[J]. 长江流域资源与环境,2013,9(22):1149-1155.

[19] 吉林省 2013 年国民经济和社会发展统计公报. 中国互联网新闻中心.

[20] 杨斌. 2000—2006 年中国区域生态效率研究[J]. 经济地理,2009,29(7):1197-1202.

[21] 游和远,吴次芳,林宁,等. 基于数据包络分析的土地利用生态效率[J]. 农业工程学报,2011,27(3):309-315.

(上接第 224 页)

截留容量的确定是极其困难的,在野外试验条件下,必须具备较为丰富的实测资料才能做到近似确定。就是说,资料越多,获得的截留容量信息就越丰富,从而得到的降雨量与截留容量之间的关系才越真实可靠。如果根据两者的关系曲线建立经验公式,林分的固有特征必定反映在公式的参数中。

[参 考 文 献]

[1] 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.

[2] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1993:70-73.

[3] 余新晓,张志强,陈丽华,等. 森林生态水文[M]. 北京:中国林业出版社,2004:24-33.

[4] 张永涛,杜强, 陈凯,等. 泰山典型林分的林冠截留特征[J]. 中国水土保持科学,2010,8(6):103-107.

[5] 张淑琢,范世香. 森林植被截留降雨实验与模拟[J]. 水利科技与经济,2009,15(10):857-859.

[6] 薛建辉,郝奇林,吴永波,等. 三种亚高山森林群落林冠截留量及穿透雨量与降雨量的关系[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2008,32(3):9-13.

[7] 高雁,宋丹丹,程银才,等. 雪松对降雨截留容量的试验研究[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(1):160-162.

[8] 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.

[9] 中野秀章. 森林水文学[M]. 李云森,译. 北京:中国林业出版社,1983,58-78.

[10] 赵士洞. 森林生态系统定位研究技术规范[M],北京:科学出版社,1995,155-156.