

洞庭湖水系防护林树冠截留研究*

袁正科 (湖南省林业科学研究所, 长沙 410004)

欧阳惠 (湖南省农业气象中心, 长沙 410007)

【摘要】 运用雨量槽和虹吸自记仪对洞庭湖水系 18 个主要防护林林分类型树冠截留进行了定点观测研究, 建立了树冠截留随林外降水量的变化模型和树冠截留动态模型 7~ 8 月多数林分树冠截留能力比 4~ 6 月大, 且随不同时段和不同类型林分而异 不同林分树冠截留随林外降水的变化差异明显

关键词 防护林 树冠截留 模型

Rainfall interception by shelter forest crowns on Dongting Lake water systems Yuan Zhengke (*Hunan Forestry Research Institute, Changsha 410004*), Ouyang Hui (*Hunan Agricultural Meteorological and Developmental Centre, Changsha 410007*). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1996, 7(sup.): 11~ 15

The rainfall interception by crowns of 18 main shelter forest stands in Dongting Lake water systems is observed at fixed positions with rainfall through and siphon ombrometer. Mathematic model of rainfall interception varied with the rainfall outside forests and dynamic model of rainfall interception by crowns are established. The intercept ability of crowns of most stands is stronger in July-August than in April-June, and varies with different time and stands. For different stands, their rainfall interception by crowns is varied evidently with the rainfall outside forests.

Key words Shelter forest, Rainfall interception by crowns, Model

1 引言

大气降水在森林的作用下重新进行分配 树冠截留是树冠对降水的截拦, 在改变降水的形式和水量的分配上起着重要的作用 它是防护林的一个重要防护特征 为了探讨不同类型林分的防护特性, 对洞庭湖水系 18 个主要类型林分的树冠截留进行动态测定, 并研究了相应的数学模型

2 自然概况与研究方法

2.1 自然概况

2.1.1 湘中点 隆回县水土保持站 (27°25'N, 111°00'E, 最高处海拔 421m) 选用了马尾松-油茶林 (*Pinus massoniana*-*Camellia oleifera* forest)、马尾松-白栎林 (*Pinus massoniana*-*Quercus fabri*

forest)、马尾松林 (*Pinus massoniana* forest)、刺槐林 (*Robinia pseudoacacia* forest) 和刺槐-樟树林 (*Robinia pseudoacacia*, *Cinnamomum camphore* forest); 水保林基地 (海拔 439m) 选用了枫香林 (*Liquidambar formosana* forest)、柏木林 (*Cupressus funebris* forest)、枫香-马尾松林 (*Liquidambar formosana*, *Pinus massoniana* forest)、柏木-杉木林 (*Cupressus funebris*, *Cunninghamia lanceolata* forest)、青冈栎林 (*Cyclobalanopsis glauca* forest). 两处林地土壤为花岗岩红壤 年降水量 1 293.2mm, 其中 4~ 6 月占 50.3%.

2.1.2 湘东点 炎陵县林业科学研究所 (26°30'N, 113°37'E, 海拔 224m) 选用毛竹林 (*Phyllostachys pubescens* forest)、湿地松林 (*Pinus elliotii* forest)、马尾松-篌竹林 (*Pinus massoniana*,

* 国家“八五”科技攻关项目.

1994 年 10 月 10 日收到, 1995 年 5 月 2 日改回

Phyllostachys nidularia forest) 和马尾松、桢楠-桫欏木林 (*Pinus massoniana*, *Phoebe zhennan*-*Eurya* sp. forest). 林地土壤为板岩红壤 炎陵县桃源洞选用钩栗林 (*Castanopsis tibetana* forest)、厚朴、青榨槭林 (*Magnolia officinalis*, *Acer davidii* forest)、水竹林 (*Phyllostachys heteroclada*) 和黄荆林 (*Vitex negundo* forest). 林地土壤为花岗岩黄壤 炎陵县年降水量 1 486.7 mm, 其中 4~6 月降水占 43.6%.

2.2 研究方法

2.2.1 设置观测设施 在每个林分内设立 2 个雨量槽和 1 个虹吸式雨量自记仪 雨量槽长 800 cm, 宽 20 cm, 槽内蒙上薄膜 雨量槽依地形确定倾斜角度 α , 用胶管将所接受的降水引入雨量自记仪 在测点森林附近设置虹吸式雨量自记仪测定林外降水量

2.2.2 林分特征值测定 描树冠投影图测定林分郁闭度; 林分进行每木调查; 测定林地地被物及土壤的有关特性

2.3 观测分析方法

2.3.1 数据采集 根据虹吸式雨量自记仪记录转换出每次降水的截留量, 作出月报表, 对有关降水过程画出降水过程线

2.3.2 雨量换算与订正 因为雨量槽是沿山坡而倾斜, 而雨水是垂直下降的, 雨量槽接受的雨水面积比水平放置的要小余弦倍, 因此其雨量需要换算与订正:

S_1 为雨量自记筒开口面积, S_2 为实际雨量槽受雨面积 雨量自记仪接受的雨量:

$$R = R_1 + R_2$$

R_1 为雨量槽接受的雨量, R_2 为雨量自记接受的雨量, R (cm^2) 为仪器总的实际接受雨量的面积

$$S = 800 \times 20 \times \cos \alpha + 800 \times 20$$

$$\times \cos \alpha + S_2$$

$$= 16 \times 10^3 (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) + 100\pi$$

实际林内单位面积雨量 $V = S_2/S \times R$.

2.3.3 雨量槽中收集雨量的时间分析 一般说来, 降雨量被雨量槽接受后流入雨量自记仪的时间要比雨滴直接流入雨量自记仪落后, 根据水文学规律, 其流速:

$$U = C(R_i)^{1/2}$$

其中 $i = \cos \alpha$, $R = A/P$.

A 为水流槽截面积, P 为水流接触雨量槽的宽度, R 为实际上就是相当降落在雨量槽中的雨量深度, C 为雨量槽的粗糙度, 雨量槽薄膜是憎水性的, C 值较大

假设雨滴均匀落入林中, 雨量槽上沿接受的每块雨量达到雨量自计的时间 $t = l/u$, 其中 l 为雨量槽长度, 而雨量槽下端流入水量为 0, 则整个雨量槽接受的雨量流入雨量自计仪滞留后的平均时间 \bar{t} 为:

$$\bar{t} = 1/2u = 800/2C(R_i)^{1/2}$$

$$(l = 800 \text{ cm})$$

因为 $i = \cos \alpha$, 假设雨量槽的倾斜度 $\alpha = 20^\circ$; 则 $i = 0.3639$. 假设降雨 $1 \text{ mm} \cdot \text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ (10 mm in 10 min). 根据多次试验结果, 巴甫洛夫提出一个较完善的结果^[1]:

$$C = (1/n)R^y; \quad n = 0.009,$$

$$1/n = 100$$

巴甫洛夫提出: 当 $R < 1.0 \text{ m}$ 时 $y = 1.5(n)^{1/2} = 0.15$, 而雨量槽呈 V 形, 开口 20 cm, 每分钟单位长度接受的雨量近似的等于 20×0.1 .

如果雨量槽不同部位流入槽底的时间暂时不予考虑

槽底雨水的深度 h 则为 (槽的开角为 90°)

$$(h \times 2h)/2 = 2 \text{ cm}^2; \quad h = (2)^{1/2} \text{ cm}$$

$$\text{水力半径 } R = A/P = h^2/2(2)^{1/2}h$$

$$= (2)^{1/2}/2(2)^{1/2} = 1/2 \text{ cm}$$

$$\log C = 2 + 0.15; \quad \log 0.5 = 1.955$$

$$C = 90.1$$

$$\text{流速 } U = 90.1 \times (0.5 \times 0.3639)^{1/2}$$

$$= 38.43 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$t = 400/38.43 = 10.4 \text{ min}$$

即使加上 V 形槽边缘不同部位流到槽中心的时间 (按上述方法进行估算只有 0.7 min), 共计也不超过 11 min, 在雨量自记中显示得不明显 因此在分析中不考虑雨量时间滞后的影响

3 树冠截留模型

林内降水一般认为只有在枝叶充分吸收水份后, 林内降水才开始出现^[3], 实际上所研究的亚热带山地、丘陵地, 二者基本上

是同时出现,一部分穿透枝叶而降落,一部分稍被枝叶滞留后,即行降落林内,在本项研究地点,降水滞后现象不明显

过去一些树冠截留模型,多侧重于考虑叶面积^[3],而少考虑叶和枝条的性质及其分布,其中的一些参数很难获得

许多树冠截留模型,认定树冠截留的降水部分因蒸发而消耗,而列有CET项我国亚热带山地森林大多数是枝叶上凝结水分,而使林内测定降水的数量增加,因此原模型该项的符号产生了变化,曾就一定天气形势下对枝叶捕获空气中水滴而造成积冰危害进行过研究,说明了这个问题^[2]。树冠截留模型可分成两部分进行讨论,一种是树冠截留随时间变化的模型(动态模型);另一种是树冠截留随着林外雨量变化的模型(静态模型)。这两种模型从不同角度揭示树冠截留的定量规律,均有一定的实际意义和理论价值

3.1 动态模型

根据降水和树冠的相互作用,可以用如下的反应式表示:

$$X + A \xrightarrow{k} E + F + H$$

X 为树冠截取大气降水, $E + F + H = R$ 为林外降水, F 为树干径流, E 为森林蒸发或凝结的水分(凝结为负), H 为形成水滴滴落的水分, r 为林内降水, A 为树冠截留空间(由林冠特性所决定), k 为反应参数(由林分特性所决定), 所以树冠截留速度,

$$dx/dt = -kAx$$

$$\frac{dx}{x} = -KA dt$$

$$\text{积分之} \quad \frac{dx}{x} = \ln x + C,$$

$$-KA dt = -KA dt + C \quad C = C - C$$

$$\ln x = C - KA t$$

$$\text{设 } P = e^C$$

$$\text{可以得出 } X = e^{C-KA t} = P e^{-KA t} \quad (1)$$

树冠截留的能力随着时间而呈指数衰减,这是在降水均匀和充足时间下树冠相互作用的规律,但林外降水是不均匀的,因此实际树冠截留的雨量也随之相应发生变化。一般来说,降水是开始较小,然后增大,最后降水又慢慢减少,树冠截留量也呈类似的变化。因为降水变化规律极其复杂,仅能从不同季节、不同林分建立相应的时间变化模型

由于树冠截留的雨量 X 和树冠作用而产生树干径流、蒸发(蒸腾)和水滴滴落

降水开始时, $t = 0, x = p$, 这时树冠截留能力最大。树冠截留的降水除本身吸收外,其主要用于树干径流

由于林外降水是(R),

$$R = r + x$$

而 $X = E + F + H$

根据长期观测,树冠截留、吸收的水分,在时间不长的情况下,亚热带地区林内相对湿度很大,接近100%,因此 $E \rightarrow 0$ 而林内水滴量和直接落入林内雨量 r , 可以在林内直接测定,即 $r' = r + H$, 所以林外降水

$$R = r' + F$$

即树冠截留的那部分水分都用于树干径流

$$R - r' = F$$

3.2 建立树冠截留量随林外雨量变化的模型

可以设每一种树冠截留分量 G 随林外降雨呈如下变化(如树干径流)

$$dG = k_1(M \cdot A) dR / R$$

可以推出:

$$G = k_1(M \cdot A) [\ln R + C] \quad (2)$$

由于各种林分树冠截留量的差异是林分本身的特性(枝叶形状、分枝特性、结构、冠形、吸水能力.....)和林分生长特性(林

龄大小、生长快慢)共同决定的,假设其影响时是相对独立的,则

$$K_1(M \cdot A) = K_1(M) \cdot A$$

$K_1(M)$ 为林分特性所决定

A 为由林分生长特性所决定,对于树冠截留主要是树冠厚度和林分郁闭状况所决定,而其他因素都是与这 2 个特性相关因为可以假定: $A = f \cdot d$ (d 为树冠厚度, f 为郁闭度或疏密度)则式(2)可以写成

$$F = K_1(M) A [\ln R + c] \quad (3)$$

而树冠截留量是树干径流量、树冠持水量和蒸散量(有时也凝结)的总和 各分量随树冠截留量而发生变化,设树冠截留的变化量为 $d(R - r)$,而各分量的变化量为 dF , $d(R - r)/R - r$ 即为单位树冠截留量的变化率,则

$$dF = K_2(M) d(R - r)/R - r;$$

$K_2(M)$ 为林分特性所决定的参数

$$F = k_2(M) [\ln(R - r) + C] \quad (4)$$

树冠截留量为零时,各树冠截留分量也为零,即 $C = 0$

将式(4)代入式(3)得:
$$[\ln(R - r)] = K_1(M \cdot A) \ln R + c/K_2(M)$$

表 1 不同林分树冠截留能力参数

月 份		林分类型 Stand type														
Month		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4~6	a	0.569	0.461	0.583	0.609	0.858	0.242	0.357				0.716	0.617	0.526	0.705	
6	a								0.936	0.911	0.877					0.717
7	a								0.357	0.816	0.755					0.256
3	b											0.970	0.970	0.910		
4~6	b	1.115	0.915	1.248	1.224	1.131	0.711	0.783				1.130	1.145	1.199	1.023	
6	b								1.020	1.030	1.050					1.040
7	b								1.321	1.060	1.150	1.070	0.930	1.290		1.740
7~8	b	1.169	1.264	0.902	1.287	1.224										
4~6	k(M)	1.020	1.020	0.770	0.816	0.490	0.230	0.250	0.544	0.245	1.167	0.220	0.538	0.444	0.518	0.642
7~8	k(M)	1.040	1.400	0.580	0.860	0.530			0.705	0.252	1.280	0.208	0.258	0.337		1.075
4~6	A	1.125	0.900	1.625	1.500	2.310	3.360	3.150	1.875	4.200	0.900	5.140	3.600	2.700	1.900	1.620

注: 1. 马尾松-油茶林 *Pinus massoniana*-*Camellia oleifera* forest; 2. 马尾松-白栎林 *Pinus massoniana*-*Quercus fabri* forest; 3. 马尾松林 *Pinus massoniana* forest; 4. 刺槐林 *Robinia pseudoacacia* forest; 5. 刺槐、樟树林 *Robinia pseudoacacia*, *Cinnamomum camphora* forest; 6. 枫香林 *Liquidambar formosana* forest; 7. 柏木-杉木林 *Cupressus funebris*, *Cunninghamia lanceolata* forest; 8. 厚朴、青榨槭林 *Magnolia officinalis*, *Acer davidii* forest; 9. 钩栗林 *Castanopsis tibetana* forest; 10. 水竹林 *Phyllostachys heteroclata* forest; 11. 马尾松、桢楠-桧木林 *Pinus massoniana*, *Phoebe zhennan*-*Eurya* sp. forest; 12. 马尾松-篌竹林 *Pinus massoniana*-*Phyllostachys uidiularia* forest; 13. 毛竹林 *Phyllostachys pubescens* forest; 14. 湿地松林 *Pinus elliotii* forest; 15. 黄荆林 *Vitex negundo* forest

因为 $\ln X = \log X / M; (M = \log e)$
设 $K_1(M)/K_2(M) = k(M)$
则 $\log(R - r) = K(M) \cdot A (\log R)$
 $+ C \cdot K(M) \cdot A \cdot \log e$
所以树冠截留模型为:
(设 $E = C \cdot k(M) \cdot A \cdot \log e = a$)
$$R - r = R^{k(M) \cdot A} \cdot E \quad (5)$$

比较 $k(M)$ 值, 就能了解树冠截留能力的大小

4 各种林分的树冠截留变化模型及截留能力分析

4.1 各林分的树冠截留变化模型
分不同时间段的逐时降水和相应林分树冠截留进行曲线拟合:

$$y = a + b(x)^{1/2}$$
$$y = a + b \ln x$$
$$y = ax^b$$
$$y = 1/(a + be^x)$$
$$y = a + b(x)^{1/2}$$
$$y = a + b \sin x$$
$$y = ax^b \quad (6)$$

以式(6)曲线的拟合效果最好. 现将 15 个林分的 a 、 b 参数列入表 1.

4.2 各种林分树冠截留能力的比较分析

将式(6)同式(5)比较, 则:

$$R - V = r; \quad k(M) \cdot d \cdot f = b$$

$$k(M) \cdot d \cdot f \cdot c \cdot \log e = a$$

可以看出, 推出的式(5)同拟合的方程式基本相同 因为 $k(M) = b/d \cdot f$, b 值已知, d, f 均很易测定, 其 $k(M)$ 可以求得 计算各种林分的 $k(M)$ 值(表1) 进行比较 就能了解各种林分树冠截留的能力

$k(M)$ 反映了单位空间树冠截留能力, 且不受树木高矮及层次搭配的影响

(1) 隆回县水保站点: 5个林分类型排除生长因素后, 其 $k(M)$ 值大小排序为: 4~6月间为马尾松-油茶林=马尾松-白栎林>刺槐林>马尾松林>刺槐、樟树林, 7~8月间马尾松-白栎林>马尾松-油茶林>刺槐林>马尾松林>刺槐、樟树林

(2) 水保站基地点: 4~6月间柏木、杉木林>枫香林

(3) 炎陵县桃源洞点: 4~6月间水竹林>黄荆林>厚朴林、青柞槭林>钩栗林, 7~8月间同4~6月间排列顺序

(4) 炎陵县林科所点: 4~6月间马尾松-箬竹林>湿地松林>毛竹林>马尾松、桢楠-桢木林, 7~8月间毛竹林>马尾松-箬竹林>马尾松、桢楠-桢木林

5 结 语

5.1 树冠截留随林外降水量的变化模型为:

$$r_p = aR^b$$

其中 $b = k(M) \cdot d \cdot f$

$$a = k(M) \cdot d \cdot f \cdot c \cdot \log e$$

$$r_p = R - V$$

(R 为林外雨量, V 为林内雨量)

$$\text{即 } \log r_p = a + b \log R$$

树冠截留动态模型为:

$$r_p = p e^{-kA} (r_p \text{ 为树冠截留量}).$$

5.2 所有类型林分不同季节树冠截留的降水量同林分降水进行拟合, 均以 $y = aX^b$ 效果最好. 推导出的模型 $R - r = R^{k(M) \cdot A}$, $E(E = c \cdot k(M) \cdot A \cdot \log e = a)$ 与拟合的这一方程式基本上相同 式中 $k(M)$ 为消除生长因素后仅由林分特性所决定的树冠截留能力的参数 $k(M)$ 值越大, 林分单位空间树冠截留能力就越强, 在同一时间段内, 不同类型林分的 $k(M)$ 值不同; 同一类型林分在不同时间段内的 $k(M)$ 值也有不一样

5.3 在主要降水季节4~8月内, 马尾松-油茶林树冠截留量>马尾松林, 刺槐林>马尾松林, 马尾松林>刺槐、樟树林 4~6月内, 柏木、杉木林>枫香林; 4~6月马尾松-箬竹林>湿地松林>毛竹林>马尾松-桢楠-桢木林 7~8月毛竹林>马尾松林-箬竹林>马尾松、桢楠、桢木林 4~6月和7~8月水竹林>黄荆林>厚朴、青柞槭林>钩栗林

参考文献

- 1 南京大学自然地理教研组 1961 普通水文学 北京: 人民教育出版社, 116
- 2 欧阳惠 1987 湖南山地森林积冰危害的初步研究 林业科学, 23(4), 425~434
- 3 崔启武等 1980 林冠对降水的截留作用 林业科学, 16(2), 141~146