

## 油松人工林水分平衡与蒸散特点的研究\*

聂道平

(中国林业科学研究院林业研究所)

**关键词** 油松人工林; 水量平衡; 蒸散

油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr) 是华北地区的重要造林树种之一, 在许多地方由于水分缺乏而生长不良。为此, 在1983—1984年, 我们选择有代表性的中龄人工林, 应用水文学方法<sup>[1]</sup>, 对生长季期间油松人工林的水分平衡和蒸散特点及其与林分结构、立地条件、环境因素的关系进行分析研究, 以使揭示林分生产力和水分平衡的内在关系, 对不同条件下的蒸散量进行预测, 提出有利于保持和利用水分的营林措施, 探讨干旱地区改善林分水分供应的途径。

### 一、自然概况与研究方法

试验地区位于河北省隆化县碱房林场大水泉西山, 地处东经117°09′、北纬41°44′, 属华北冀北山地中山地区。该地区属大陆性季风气候。年平均温度为7℃, 降雨主要集中在6—9月。多年平均年降雨量约500mm。实验林分为28年生人工纯林。林地东北坡向, 坡长300m, 坡度10°—30°, 海拔1200m。林地土壤为山地棕壤, 母质为正长石斑岩风化坡积物。质地轻壤到中壤, 土厚70—90cm。实验标准地基本情况见表1。

表1 标准地状况

标准地号	密度 (株/ha)	平均胸径 (cm)	平均高 (m)	郁闭度	生物量 (t/ha)	枯落物量 (t/ha)	活地被物 (%)	土壤厚度 (cm)	坡位	坡度 (°)
1	2742	10.4	8.8	0.8	90.286	8.0	30	70	下	10
2	2033	11.5	8.8	0.7	82.324	20.7	15	80	中上	18
3	1358	12.6	10.0	0.5	75.028	12.4	40	70	中下	10
隔离区 <sup>①</sup>	—	—	—	—	—	15.3	15	90	中上	15
林缘草地	—	—	—	—	—	6.4	85	90	上	21

① 隔离区指在林分中伐去林木, 使之在森林小气候影响下, 既无林木蒸腾也不与周围土壤发生水分交换, 仅有土壤蒸发的独立系统。面积16m<sup>2</sup>。

在标准地内用白铁皮雨量槽(400×10×12cm)接收林内雨, 每块地六个, 平行排列, 间隔2m。用反兜装置测定干流量, 每块地测30m<sup>2</sup>。地表迳流量根据小径流场(16×12m)的实测数据推算; 用渗漏计结合模拟实验估测土壤深层渗流量; 通过模拟实验计算枯落物持水

本文于1988年9月收到。

\* 本项研究的实验设计及野外工作, 得到北京林业大学沈国防教授、董世仁教授、郭景唐副教授的指导和帮助, 谨致谢意。

量。用烘干法测定土壤含水量。每5天1次,每次每块地测5个点取平均,然后根据土壤各层次的容重计算蓄水量,最后根据土壤蓄水量的变化及降雨输入水量计算林分蒸散量。

## 二、结果与分析

### (一) 林分水量因子间的数量关系

1. 林冠截留与降雨 林冠截留量与降雨的形式、间隔及林冠结构等因子有关<sup>[2]</sup>,在数量上与林外降雨量线性相关。根据1983年生长季中的实测数据,其回归方程为:

$$1 \text{ 号地: } y = 0.7418913 + 0.1235312x \quad r = 0.97$$

$$2 \text{ 号地: } y = 0.6679202 + 0.1215976x \quad r = 0.98$$

$$3 \text{ 号地: } y = 0.4469416 + 0.1093964x \quad r = 0.94$$

$y$  为林冠截留量,  $x$  为降雨量。当降雨量小于5 mm时,由于树体的吸附(涨)作用,林冠截留率高达35—65%;降雨量5—15 mm时,截留率为15—35%;降雨量继续增加,截留率为12—15%。年平均截留率为17%。

2. 地表迳流、枯落物截留、土壤渗流 林地枯落物层的吸持作用亦随降雨量的变化而变化,当降雨量小于2 mm时,枯落物层的吸水量高达雨量的10—15%,随降雨量的增加稳定在4—5%,年平均为5%。由于林冠和枯落物的截留作用,林地中地表迳流量较小,降雨量在5 mm以下时,一般不发生地表迳流,在5 mm以上时,地表迳流量为1—7%,年平均为3%。地表迳流量与降雨量线性相关,但因季节不同及降雨形式不同变化较大。

$$y = -0.4105886 + 0.0605310x \quad r = 0.74$$

实测表明该林分在降雨后进入土壤的水分不发生深层渗漏。土壤中的水分主要消耗于林木的蒸腾和土壤表面的蒸发,即林分蒸散。

3. 林分蒸散 林分蒸散量为248.7(3号地)—266.1 mm(2号地)(表3),占同期降雨量的66.4—71.1%。这部分水量不仅是林分水分支出的主流,而且与林木生理活动密切相关,受环境影响较大。由于林冠截留的雨量和枯落物截留雨量亦以蒸发方式返回空中,故森林生态系统的总蒸散量应包括这两部分。林分总蒸散量为348.4 mm(2号地),占同期降雨量的93.1%(表2)。

4. 水分收支月动态 该林分水分全年总的收支大致平衡(表2),但各月差异较大。5、6、8月水分有盈余,7、9、10月有一定的亏缺。该地油松一般在5月份萌动,6月份加速生长,7月进入生长盛期并延续至8月,9月开始下降,10月停止生长。虽然6月盈余下的水分可以在一定程度上弥补7月份的水分不足,但7月较大水分亏缺仍对油松生长影响很大。9、10月的水分亏缺对林木的径、根生长有一定影响。

### (二) 林分蒸散的特点

1. 林分蒸散 在干旱条件下,林分蒸散受到降雨对土壤补充水量的影响,并表现出相应的规律性。蒸散的年变化是与降雨量紧密相关的双峰曲线,峰期出现在7、8月(图1)。曲线中的若干峰值依赖于同期的高降雨量并表现出一定的滞后反应,如6月26—30日的大量降雨使7月1—10日的蒸散量很高。

表 2 1983年生长季各月油松人工林水分收支状况 (单位: mm)

项 目		5	6	7	8	9	10	Σ
收 入	降雨量	38.4	93.6	60.2	118.0	43.7	20.5	374.4
	净降雨量							
	林内雨	27.2	69.3	44.1	88.3	32.0	14.1	275.0
	干流	2.9	8.8	5.7	13.0	3.9	1.2	35.5
	总 和	30.1	78.1	49.8	101.3	35.9	15.3	310.5
	渗入土壤的水量	27.5	69.5	45.1	88.9	32.7	14.0	277.7
支 出	林分总蒸散量							
	林冠拦截	8.0	15.5	10.4	16.7	7.8	5.2	63.6
	枯落物截留	1.9	4.2	2.9	6.6	2.1	1.0	18.7
	林分蒸散	23.2	34.1	77.2	66.9	48.4	16.3	266.1
	总 和	33.1	53.8	90.5	90.2	58.3	22.5	348.4
	地表径流	0.7	4.4	1.8	5.8	1.1	0.3	14.1
	深层渗漏	0	0	0	0	0	0	0
	总 支 出 量	33.8	58.2	92.3	96.0	59.4	22.8	362.5
土壤中水量变化		+4.3	+35.4	-32.1	+22.0	-15.7	-2.3	+11.6

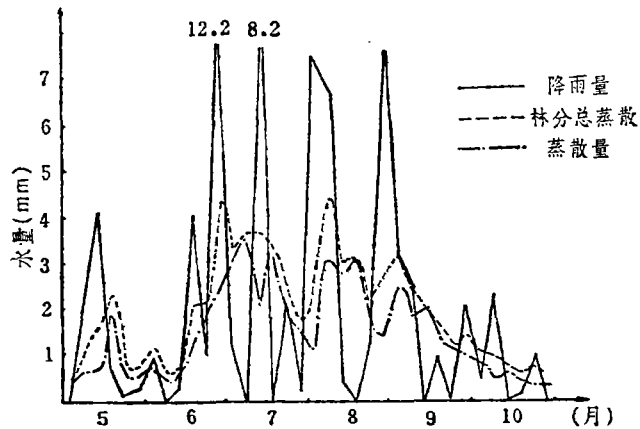


图 1 油松人工林蒸散的动态变化

2. 林分结构的影响 林分结构(密度和郁闭度)不同及死、活地被物量不同,在相同降雨条件下得到的补充水量也不同,因而在蒸散上有一定差异<sup>[3]</sup>。该地不同密度林分的蒸散不但变化规律完全一致,而且蒸散量差别也很小,最大相对差值小于7%(表3)。这反映了半湿润半干旱地区森林蒸散的共同特点,即由于水分供应不足,不同结构林分的蒸散量大致相等,且依赖于降雨量。这说明3号标准地用于林木生理活动的水量较多,因为它的密度和郁闭度小,林冠截留量小,获得的补充水量多,水分供应状况较好。而1号地则相反,单株林木供水量少得多,水分亏缺程度高,林木生长较差。1号地总生物量虽然较大,但个体较小,生长势明显不如3号地。因此在华北水分条件不好的干旱地区,可以通过疏伐,适当减小林分密度和郁闭度,改善林分水的供应状况。

表3 各标准地在生长季中的蒸散(发)量 (单位: mm)

月	地号		1	2	3	隔离区	林缘草地	蒸发量
	旬							
5	上旬		5.3	5.1	4.2	4.8	5.8	41.7
	中旬		12.4	12.5	12.2	6.6	18.6	44.5
	下旬		5.2	5.6	4.6	6.8	7.1	80.5
6	上旬		5.5	5.9	5.2	3.8	6.9	70.5
	中旬		6.4	7.9	7.2	6.1	6.3	67.9
	下旬		16.1	20.3	17.6	9.6	28.5	43.0
7	上旬		35.1	32.6	32.7	19.6	37.3	60.0
	中旬		24.2	26.4	21.5	17.5	34.4	51.9
	下旬		12.8	18.2	12.9	14.0	18.8	71.1
8	上旬		27.3	22.1	25.9	17.5	32.5	50.1
	中旬		24.2	29.0	20.4	13.5	29.4	48.3
	下旬		14.9	15.9	13.9	12.0	20.8	36.5
9	上旬		26.6	21.5	26.2	16.1	29.2	36.8
	中旬		16.6	16.4	16.0	10.0	11.1	41.2
	下旬		11.8	10.5	11.2	8.5	4.4	38.9
10	上旬		8.6	6.6	8.1	7.7	8.6	34.5
	中旬		5.4	5.4	4.7	5.7	9.8	29.8
	下旬		4.7	4.3	4.2	3.8	4.4	24.3
Σ			263.1	266.1	248.7	183.6	313.9	871.5

3. 草地蒸散的特点 草地中湿度小风速大, 水分净补充量较多, 接受的太阳能量多, 常在地表形成高温层, 因而草地的蒸散耗水量较大且变动更剧烈(表3)。森林由于有林冠的荫蔽及枯落物的保护, 能有节制地利用水分, 经过一个生长季后林下土壤的含水量略有增加, 而草地土壤则呈旱化趋势。

4. 蒸发潜势 蒸发皿蒸发量和隔离区土壤的蒸发量反映了当地环境条件的综合效果, 表现了该地可能的最大蒸发潜势。隔离区土壤蓄水量较大, 蒸发量也较大, 为183.6 mm(表3), 占林分蒸散量(2号地)的68.9%。如果水分供应充足, 林分蒸散量要大得多。

### (三) 蒸散的多元统计分析及预报

环境因子对蒸散(蒸发)速率多元回归的复相关系数较高(表4),  $F$  检验证明回归效果是显著的。在林分中由于林冠的作用, 蒸散与温度、湿度的相关性较低, 相关系数最高、起作用最大的是土壤蓄水量, 草地土壤的蓄水量与蒸散的相关性也较高, 但不及林分。

运用逐步回归方法, 剔除对  $Y$  作用不显著的自变量, 得到林分蒸散的预报方程:

$$y = -5.97254 + 0.07348c + 0.31186w + 0.02096p$$

$$(R_{\text{复}} = 0.92, R_c = 0.91, R_w = 0.34, R_p = 0.60)$$

该方程预报效果较好(表5), 平均相对误差为7.6%, 准确度达86%以上。

表 4 多元回归分析及显著性检验<sup>①</sup>

回 归 因 子	回 归 方 程 及 相 关 系 数	F 检 验
蒸发皿蒸发速率与温度、日照时数、相对湿度、风速、降雨量	$Y = 3.7291 + 0.3454T + 0.0138S - 8.465H + 0.5576W + 0.0014P$ $R_{复} = 0.97 \quad R_T = 0.94 \quad R_S = 0.20 \quad R_H = 0.84 \quad R_W = 0.42 \quad R_P = 0.04$	$F = 16.47 >$ $F_{0.01}(5, 30)$ $= 3.70$
林分(2号地)蒸散速率与土壤蓄水量、温度、日照时数、相对湿度、风速、降雨量	$Y = -6.2740 + 0.0661C + 0.0122T + 0.0058S + 0.8585H + 0.3622W$ $+ 0.0172P$ $R_{复} = 0.92 \quad R_C = 0.84 \quad R_T = 0.11 \quad R_S = 0.09 \quad R_H = 0.15 \quad R_W =$ $0.31 \quad R_P = 0.47$	$F = 6.53 >$ $F_{0.01}(6, 29)$ $= 3.50$
隔离区蒸发速率与土壤蓄水量、温度、日照时数、相对湿度、风速、降雨量	$Y = 2.3136 + 0.0070C + 0.0580T + 0.0093S + 0.8240H + 0.2785W$ $+ 0.0110P$ $R_{复} = 0.78 \quad R_C = 0.47 \quad R_T = 0.46 \quad R_S = 0.14 \quad R_H = 0.16$ $R_W = 0.26 \quad R_P = 0.35$	$F = 6.87 >$ $F_{0.01}(6, 29)$ $= 3.50$
草地蒸散速率与土壤蓄水量、温度、日照时数、相对湿度、风速、降雨量	$Y = -8.2834 + 0.0584C - 0.0097T + 0.0064S + 5.1480H +$ $0.1246W + 0.0222P$ $R_{复} = 0.81 \quad R_T = -0.04 \quad R_S = 0.48 \quad R_H = 0.50 \quad R_W = 0.06$ $R_C = 0.59 \quad R_P = 0.36$	$F = 4.98 >$ $F_{0.01}(6, 29)$ $= 3.50$

① Y为蒸散(发)速率, C为土壤蓄水量, P为同期降雨量, T、S、H、W依次为平均温度、累计日照时数、平均相对湿度、风速。

表 5 预报值与实测值的比较

(1984)

日 期 (日/月)	15/5	30/6	15/7	20/8	20/9	平均
实 测 值	0.54	1.57	1.93	2.99	1.17	—
预 报 值	0.59	1.36	1.82	2.84	1.22	—
相对误差(%)	8.9	14	6	5	4	7.6

## 参 考 文 献

- [1] 罗汝英, 1983, 森林土壤学, 科学出版社, 222—288。  
 [2] Rutter, A. J., 1963, Studies in water relations of *Pinus sylvestris* in plantation condition I: Measurement of rainfall and interception, J. Ecol., 51(1), 191-205.  
 [3] 焦振家等, 1987, 红皮云杉蒸腾强度的研究, 东北林业大学学报, 15(5): 7—13。

## A PRELIMINARY STUDY ON THE WATER EQUILIBRIUM AND EVAPOTRANSPIRATION IN PLANTATION OF *PINUS TABULAEFORMIS*

Nie Daoping

(The Research Institute of Forestry CAF)

**Abstract** The water equilibrium and evapotranspiration have been determined in a *Pinus tabulaeformis* stand by regular measuring of soil water cont-

ent combined with hydrologic survey during the growing season in 1983 (May—Oct.). The results show that there is a balance between water income and water output in the experimental stand and evapotranspiration is the major way of water consumption in the stand. The major factor which influences the evapotranspiration rate is the soil water storage. The empirical equation established by step-wise regression analysis has been proved that it is available when predicting values are compared with the measuring values in 1984.

**Key words** plantation of *Pinus tabulaeformis*; water equilibrium; evapotranspiration

### 在美国、芬兰访问研究四月概况

应美中学术交流委员会美方和芬兰赫尔辛基大学、芬兰科学院的邀请,中国林业科学研究院林业研究所萧刚柔研究员以访问研究教授的身份,分别于1989年4月14日至6月14日,6月15日至8月18日访问了美国和芬兰。由于两国接待单位,美北亚利桑那大学林学院的M. R. Wagner教授和芬赫尔辛基大学农林动物系主任M. Nuorteva教授等人的安排周到,关怀备至,使这次访问非常顺利,取得了成功。

在美国访问了:①北亚利桑那大学林学院,Wagner教授研究美西黄松(*Pinus ponderosa*)抗叶蜂的机理,发现其抗性与针叶的化学成份与组织结构有关;②农业部洛矶山林业试验站分站,K. M. Clancy教授研究花旗松对西部云杉卷蛾(*Choristoneura occidentalis*)的抗性问题,用人工饲料喂养,找出对生长发育的影响因子,从而解释树木抗性问题;③俄勒冈大学林学院并参观太平洋西北林业试验站分站。T. Schowalter教授研究几种松树种子及球果害虫防治,找出防治适期;④明尼苏达大学并参观中北林业试验站,H. M. Kulman教授对黄头云杉叶蜂(*Pikonema alaskensis*)和天幕毛虫生物防治进行研究;⑤康涅狄格农业站并参观哈姆登农业部森林虫病生物防治中心,R. M. Weseloh教授应用步行虫防治舞毒蛾,N. Dubois教授应用先进设备对苏云金杆菌作毒力测定。

在芬兰访问了:赫尔辛基大学农林动物系Nuorteva教授,主要研究八齿小蠹性信息素诱捕及古北区丝叶蜂亚科分类区系问题;农业研究中心教授H. M. T. Hokkamen,主要研究农作物害虫生物防治;林业研究所E. A. Annala教授,主要研究八齿小蠹及小啮齿动物的防治。在全北区广腰亚目研究组学术讨论会中,曾参观凯沃亚北极区研究站。讨论会研讨了广腰亚目特别是丝叶蜂亚科的分类方法,今后合作办法以及资料、标本交流等问题。萧刚柔先生在赫尔辛基大学50天,完成了“中国丝叶蜂亚科(Nematinae)研究(一)”初稿。共搜集到有关资料150余份。

这次访问收获较大,并与两国就会后合作的项目和方式进行了探讨,以待进一步落实。

(林 雁)