

田间供水与杨树生长关系的研究*

Ⅱ. 田间供水、蒸腾耗水与材积产量的 关系分析及林木需水量的估算

刘奉觉 郑世锴 臧道群

(中国林业科学研究院林业研究所)

摘 要

在集约栽培的杨树人工林中进行小区灌溉试验,研究了不同供水处理下林木生长和水分生理指标的变化,分析了田间供水量、蒸腾耗水量和材积产量的关系。结果表明,林木蒸腾耗水量和材积年产量均随供水水平的高低而增减。5年生杨树人工林(株行距 3×6 m)在5—10月的蒸腾耗水量约602.6—879.2mm,林木生长 1m^3 材积需蒸腾消耗180.0—215.0 t水。作者还用多种模式分析了田间供水量与材积产量的相关关系,提出了估算杨树人工林需水量的方法和I-69杨人工林需水量表。

关键词 杨树人工林; 林木蒸腾作用; 蒸腾耗水量; 林木需水量; 材积增长量

我国是一个水资源短缺的国家。在林木丰产栽培中,如何采用灌水措施使林木速生,如何利用有效的灌水量获得木材高产,二者的结合就是林木节水栽培,这是当前林业生产上值得重视的问题。

为了探讨杨树人工林合理用水问题,1983—1986年较系统地研究了I-69杨在不同供水处理下林木生长量和蒸腾耗水量的关系。

一、试验地区的自然概况

试验地设在山东省莒县廿里乡。地处东经 $118^{\circ}50'$,北纬 $35^{\circ}35'$,属海洋性与大陆性的过渡型气候,年平均气温 12.1°C ,年平均降水量850mm,土壤为河流冲积沙壤土,详细概况见前文^[1]。

本文于1988年1月7日收到。

• 此项研究为“杨树丰产栽培中间试验”(国家科委合同项目)的一部分。王世绩参与试验设计, 窦忠福、刘雅荣、杨炳才、徐宏远、王永江等先后参加部分工作。本文初稿和修改稿承侯治博研究员、王世绩副研究员以及美国加州大学 Dr. T. C. Hsiao 提出宝贵意见。试验得到山东省临沂地区林业局、莒县林业局和廿里乡的支持, 于现、郭春等同志协助测定, 谨此一并致谢。

二、试验材料与方法

试验林为集约栽培的I-69杨 (*Populus deltoides* Bartr. cv. "Lux" ex. I-69/55) 人工林。1982年春季造林后，因天气干旱而全部平茬，株行距为 $3 \times 6\text{m}$ ，造林前进行条带深翻，带宽2 m，深1 m，每株杨树施土杂肥15kg，以后每年生长季节追施化肥2—3次。详细情况见前文^[1]。

从1983年起进行灌溉试验，设三级供水水平：

1. 对 照 仅用天然降水，3个重复区；
2. 一级供水 天然降水加人工计量灌水，2个重复区；
3. 二级供水 天然降水加人工计量灌水，其人工灌水量约为一级供水的两倍，2个重复区。

每个试验小区面积为0.45ha，1983—1985年用滴灌管道供水，用水表分区计量。1986年改用畦灌，按进畦水流速与时间计算灌水量。天然降水从当地气象站抄录。除灌水以外的其它田间管理措施，各小区均保持一致。试验处理的田间供水量列入表1。

表1 试验处理5—10月的田间供水量 (mm)

年 份	处 理	对 照	一 级 供 水	二 级 供 水
1983		428.4	627.0	802.6
1984		715.8	854.1	943.8
1985		530.0	687.8	715.1
1986		446.0	740.5	995.8

各月供水量及供水情况见前文^[1]。

试验测定的指标有：

1. 林木蒸腾速率与蒸腾耗水量 试验用KS—016A快速称重法进行。在1983、1984和1986年的5—10月，每月中旬选择1—2个晴天作为测定日，每2小时测定1次，称样取自树冠南面中层的功能叶。根据功能叶的平均蒸腾速率、蒸腾时数、天气晴阴、树冠部位、枝条叶位、树冠叶量等参数计算树冠蒸腾耗水量^[2]。

2. 林木生长量 各试验小区设标准木30株，在生长季节每半月或1个月测量1次胸径与树高，以其平均值，按下式计算单株材积^[3]：

$$V = 0.00572 + 0.66667d^2h - 0.63862d^3h + 0.66056d^2 + 0.39450d^2h \lg d$$

三、试验结果与分析

(一) 林木材积产量对供水的反应及其需水要求

从表2可以看出，随着田间供水量的增加，材积产量、蒸腾耗水量和材积需水系数都相应增加(1986年材积需水系数稍有反常)，各处理的材积年产量与年蒸腾耗水量也有逐年增加

的趋势。

Larcher 总结了许多研究者测算的不同植物群落的蒸腾耗水量,指出欧洲、美洲、日本在年降水量1000—1600mm条件下混交林年蒸腾耗水量约500—860mm^[10]。Казанцев И. Я 在供水充足条件下测定5年生欧美杨年蒸腾耗水量为880—900mm;形成1立方米材积需消耗447.5 t 水^[7]。这些结果与本试验相应处理的数值(表2)大体相近似。

1. 田间供水量与材积产量的相关分析 用四种回归关系分析了历年各处理的年供水量与材积产量的关系(表3)。比较四种回归方程的相关系数和回归系数的显著性得出,以(3)式的回归显著性最好,都达到了显著或极显著水准。因此,用 $y = b + a \ln x$ 表示供水与材积产量的关系是较为合适的。这种关系意味着随着材积产量的增加,增产材积所需的供水量愈来愈大。必然表现为材积需水系数随产材量而增大。

表2 供水量、材积产量、蒸腾耗水量与材积需水系数

年	处 理	年 供 水 量 (mm)	年 材 积 产 量 (m ³ /ha)	年 蒸 腾 耗 水 量 (mm)	材 积 需 水 系 数* (t/m ³)
1983	对 照	428.4	7.8	128.4	164.6
	一 级 供 水	627.0	9.6	230.9	240.5
	二 级 供 水	802.6	11.0	469.5	426.8
1984	对 照	715.8	20.0	365.0	182.5
	一 级 供 水	854.1	26.1	585.6	224.6
	二 级 供 水	943.8	28.5	691.8	242.7
1986	对 照	446.0	30.9	602.6	194.4
	一 级 供 水	740.5	36.5	657.0	180.0
	二 级 供 水	995.8	40.8	879.2	215.0

* 林木生长1 m³材积的蒸腾耗水量。

表3 年供水量与材积增量的相关分析

回 归 方 程	年 相 关 因 子	相 关 系 数 r	回 归 系 数 a	常 数 b	回 归 估 计 量 的 标 准 误 差 S _{yx}	回 归 系 数 的 标 准 误 差 S _a	回 归 系 数 显 著 性 (t 值)
(1) $y = ax + b$	1983	0.8592	2.3389	108.2860	219.96	0.801	2.909
	1984	0.8694*	10.9440	-5639.0471	713.57	3.108	3.520*
	1986	0.8857**	3.6279	3931.5488	615.71	1.108	3.274*
(2) $y = be^{ax}$	1983	0.8693	0.0016	536.5287	0.1688	0.000543	3.049
	1984	0.8481	0.0032	227.2317	0.2278	0.000993	3.220*
	1986	0.9071**	0.0006	4276.6076	0.0781	0.000140	4.057**
(3) $y = b + a \ln x$	1983	0.8845*	1458.1775	-7777.8171	227.87	444.19	3.283*
	1984	0.9503**	11669.4857	-74884.1076	773.84	2927.97	3.985*
	1986	0.8786**	2334.5128	-8708.7608	486.09	567.20	4.116**
(4) $y = bx^a$	1983	0.8999*	1.0383	1.9415	0.1492	0.2908	3.571*
	1984	0.8574*	2.7847	0.00002	0.2225	0.8365	3.329*
	1986	0.8735*	0.3680	586.0024	0.0785	0.0916	4.015*

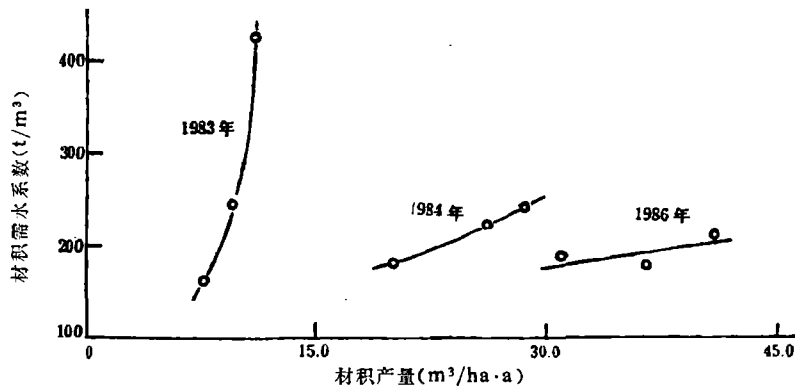


图1 材积产量与材积需水系数的关系

2. 材积产量与材积需水系数的关系 上述的关系如图1所示,各年的材积需水系数均随材积产量的增加而增大;但各年的变化率(斜率)不同,随树龄逐年降低。

3. 林木需水节律 在林木生产过程中,根部吸收的水分绝大多数用于蒸腾消耗,因此林木的耗水节律反映了它的水分需求。图2是树冠蒸腾耗水的季节变化。1983年与1986年略有不同。其原因主要与叶面积的变化有关^[1],1983年(2年生)林木树体较小,枝少叶面积小,5月份的叶面积指数仅在0.2左右,因此耗水量最小,以后则随叶面积的增大耗水量增加;而1986年(5年生)5月份的叶面积指数已达到3.43—0.41,加之这时的蒸腾速率也较高,所以蒸腾耗水量大。这两年的蒸腾耗水节律反映着不同林龄的耗水特点。各月蒸腾耗水量占5—10月总量的百分数(耗水月比率)反映了林木各月的需水节律(表4)。

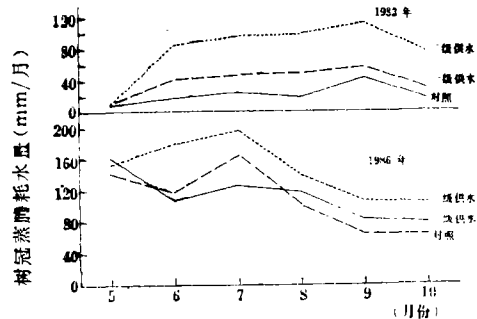


图2 树冠蒸腾耗水量的变化

(二) 杨树人工林需水量的估算

1. 林木需水量的估算方法

在农作物需水量的估算方面,联合国粮农组织进行了大量的工作,并提出26种作物栽培

表4 树冠蒸腾耗水月比率

年	处 理		月					
	对 照	平 均	5	6	7	8	9	10
1983	对 照		7.7	12.6	18.1	13.4	35.4	12.8
	一 级 供 水		4.2	17.8	19.8	20.9	24.6	12.7
	二 级 供 水		2.1	18.0	19.9	20.3	33.8	15.9
	平 均		4.7	16.1	19.3	18.2	27.9	13.8
1986	对 照		23.7	15.9	18.8	17.4	12.3	11.9
	一 级 供 水		21.7	17.9	25.1	15.6	10.0	9.7
	二 级 供 水		17.3	20.1	22.3	15.9	12.4	12.0
	平 均		20.9	18.0	22.0	16.3	11.6	11.2

产量与用水量之间的关系的研究报告^[6]。其研究方法多是用参比蒸腾蒸发量、作物系数等因子估算需水量^[6]，通过最高产量、最大蒸腾蒸发量与实际产量、实际蒸腾蒸发量的分析，提出某作物在某种产量水平下的合理灌水计划。问题的中心是探讨产量对供水量的反应^[4]。

林木需水量的研究，比农作物更加复杂和困难。Truc 1963年提出的公式是用辐射量、气温和相对湿度等估算杨树人工林的蒸腾蒸发量，合理的灌水量等于当月蒸腾蒸发量与降水量之差^[6]，该方法的缺点是没有考虑林木蒸腾因素。Казанцев И. Я. (1985)用叶重、蒸腾强度和时数来估算杨树的蒸腾耗水量^[7]，但没有考虑到树木蒸腾的空间变化、白昼长短、天气晴阴等因素。

本试验着重分析田间供水量、蒸腾耗水量^[2]与材积产量之间的关系，进一步探讨了林木材积生长对供水量的反应，从而提出估算林木需水量，其方法如下：

(1) 根据试验测定资料，找出供水与材积产量的数学关系式，以及林木蒸腾耗水的月比率；

(2) 按林龄和生长可能性(潜力)，提出设计的材积年产量；

(3) 用供水与材积关系式计算出设计材积产量的田间需水量(全生长季节)；

(4) 按蒸腾耗水月比率将生长季节需水量分配成各月需水量；

(5) 用田间持水量、土壤含水率、土壤容重和预定灌层深度计算休眠季节灌水量；

(6) 列出全年林木需水量表。

2. I-69杨人工林需水量表的编制

供试验的I-69杨人工林以生产小径材为目标，7—8年采伐。分别用2—3年和4—5年I-69杨人工林的田间供水量(x, 单位mm)和年材积增量(y, 单位为 $m^3 \times 10^{-5}/\text{年} \cdot \text{株}$)进行回归分析比较，得出不同林龄的供水与材积产量的数学关系式如下：

$$1983-1984\text{年: } y_1 = 5805 \ln x_1 - 30806 \quad (1)$$

$$1985-1986\text{年: } y_2 = 2573 \ln x_2 - 10354 \quad (2)$$

两式的相关系数分别为0.803** (1)和0.808** (2)，回归估计量标准误差为1256.87和565.85，计算的t值分别为4.05($P < 0.01$)和4.55($P < 0.001$)，达到极显著水准，说明可以用上式进行估算。

按林地生产能力，提出两种产材水平：2年生林为 $7.5m^3/\text{ha}$ 和 $13.5m^3/\text{ha}$ ，5年生林为 $30m^3/\text{ha}$ 和 $45m^3/\text{ha}$ ，用(1)、(2)式分别计算出生长季节需水量。用表4的月比率分配5—10月的需水量，休眠季节需水量按下式计算^[8]：

$$\text{休眠季节需水量}(t/\text{ha}) = 10000 \times (\text{田间持水量} - \text{当时土壤含水率}) \\ \times \text{土壤容重} \times \text{预定湿润层厚度}$$

试验地土壤容重 $1.43\text{g}/\text{cm}^3$ ，田间持水量为23.92%，如果4月和11月1米土层内平均土壤含水率按15%计，则需水量为：

$$\text{休眠季节需水量} = 10000 \times (0.2392 - 0.15) \times 1.43 \times 1.0 \\ = 1275.56t/\text{ha}(\text{相当于}128\text{mm})$$

将生长季节各月需水量与休眠季节需水量一并列入表5。

利用需水量表制订林木供水计划的方法，首先根据气象预报选用接近预报年(包括月份)的降水资料，作为设计年的降雨量，或采用有一定保证率下某年(月)的降水量作为设计年的

表 5 I-69 杨人工林需水量

林龄 (年)	公顷 年材积 (m ³ /ha)	单株 年材积 (m ³ /株)	生长季节 需水量 ($\frac{mm}{t/ha}$)	生 长 月 份						休 眠 月 份		全 年 总 量
				5	6	7	8	9	10	11	4	
2	7.5	0.01351	557.7	26.2	89.8	107.6	101.5	155.6	77.0	128.0	128.0	813.7
			5577.0	262	898	1076	1015	1556	770	1280	1280	8137
2	13.5	0.02432	689.9	32.4	111.1	133.1	125.6	192.5	95.2	128.0	128.0	945.9
			6899.0	324	1111	1331	1256	1925	952	1280	1280	9459
5	30.0	0.05405	457.0	95.5	82.3	100.5	74.5	53.0	51.2	128.0	128.0	713.0
			4570.0	955	823	1005	745	530	512	1280	1280	7130
5	45.0	0.08108	1306.7	273.0	235.2	287.5	213.0	151.6	146.4	128.0	128.0	1562.7
			13067.0	2730	2352	2875	2130	1516	1464	1280	1280	15627

降雨量^[9]，然后按树龄和集约经营程度选择接近的产材量，按表中需水量与预报降雨量的差值制订各月灌水计划。这个计划的准确性主要取决于气象预报。在没有气象预报的情况下，也可采用当地多年平均降水量。月灌水量的分配以均匀分散为宜，不要过于集中。

四、讨 论

通过供水与林木生长关系的分析，对杨树人工林灌水问题提出几点看法。

(一) 灌水的重要性

试验证明，灌水对扩大叶面积有特殊的效能，从而大大地促进林木的材积增产，经济效益也十分显著^[1]。因此，在林木速生栽培中必须重视灌水措施。有些地区由于灌水不及时或量不足，造成材积减产的损失，往往不为人们所知，应引起注意。

(二) 林木供水的均匀性

农作物栽培以收获籽粒为目的，在其生育阶段有一个敏感的灌水临界期，此时干旱会导致籽粒减产或无收。而林木与农作物不同，速生丰产栽培目的主要是生产木材，而林木的材积生长又是一个连续的过程，从5月下旬至8月下旬都处于较高的生长水平。因此，林木灌溉的原则应当是在生长季节内均匀供水。根据耗水节律，各月略有高低，但不可长期缺水。试验地区1986年5月干旱(5月降水量20.5mm)，未能及时灌水，材积生长出现明显的马鞍形^[1]，就是一个证明。

(三) 人工林初期供水的后效

杨树人工林在造林后第1—2年的供水效应可以影响到以后5—6年的材积生产。本试验第3—4年供水处理的供水量虽然不足，但它们的材积产量仍然明显高于对照，此点说明初期供水的重要性，增强了人们对灌水后效的认识。

(四) 试验地区杨树人工林灌水的最低标准

试验地区(山东省临沂地区)在春季解冻后多出现干旱天气。因此，春季(4—5月)的一次灌水是十分重要的；5—6月为生长初期，为了加速林木生长，应再灌一次水；8—6月

降雨较多, 可以不灌水; 林木落叶后视土壤湿度情况决定是否进行冬灌。每年灌水 2~3 次是临沂地区杨树人工速生丰产林灌水的最低要求, 否则, 林木的材积生长会受到较大的影响。

林木灌水的数量化、科学化是林木集约栽培走向高标准、高效率的重要内容。目前国内尚未引起足够的重视。本研究是一个初步的尝试, 今后还要作更多的工作, 以促进林木合理灌溉技术在我国林业生产上推广应用。

参 考 文 献

- [1] 刘奉觉等, 1988, 田间供水与杨树生长关系的研究 I. 供水处理对林木生长、树体结构和叶的影响, 林业科学研究, 1(2):153—161。
- [2] 刘奉觉等, 1987, 杨树人工幼林的蒸腾变异与蒸腾耗水量估算方法的研究, 林业科学(营林专辑), 35—44。
- [3] 高丽春等, 1984年, 黑杨派四个无性系立木材积表的编制, 南京林学院学报, (1):131—138。
- [4] Doorenbos, J., et al. Eds., 1979, 产量和水的关系, FAO, 1—44, 66—67。
- [5] Vermeiren, I. et al., 1980, 局部灌溉, FAO, 8—9。
- [6] FAO, 1979, 杨树与柳树, FAO, 156—159。
- [7] Казапцев, И. Я., 1985, Транспирация в культурах тополя, Лесное Хозяйство, (1):39—41。
- [8] 刘孝义, 1982, 土壤物理及土壤改良研究法, 上海科学技术出版社, 93—94。
- [9] 李文朝, 1985, 农作物田间灌溉技术, 河南科学技术出版社, 367—371。
- [10] Larcher, W., 1975, 李博等译, 1980, 植物生理生态学, 科学出版社, 224—229。

STUDIES ON RELATIONSHIP BETWEEN WATER SUPPLY AND TREE GROWTH IN A POPLAR PLANTATION.

II. ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN WATER SUPPLY IN THE FIELD, WATER-CONSUMPTION FOR TRANSPIRATION AND VOLUME INCREMENT AND ESTIMATION OF WATER REQUIRMENT IN THE POPLAR PLANTATION

Liu Fengjue Zheng Shikai Zang Daoqun

(The Research Institute of Forestry CAF)

Abstract

An irrigation experiment was conducted in an intensively cultivated poplar plantation (*Populus deltoides* Bartr. cv. "Lux" ex. I-69/55) in 1983—1986. The result of the relationship between water supply, water-consumption for transpiration and volume increment was analysed. The results reveal that with the increase of water supply the water-consumption for transpiration and volume increment raise. The amount of water consumed by the 5-year-old poplar plantation with a spacing of 3×6 m in a growing season is 602.6—879.2 mm. 180.0—215.0 t of water is needed for the increment of each cubic meter volume. The regression between water supply and volume increment was studied. A method for estimation of water requirement and a table of water supply for poplar plantation are recommended.

Key words: poplar plantation; transpiration of tree; water-consumption for transpiration; water requirement; volume increment