

杨树水分生理研究

刘奉觉 郑世锴 等 编著



北京农业大学出版社

杨树水分生理研究

刘奉觉 郑世锴 等 编著

北京农业大学出版社

内 容 提 要

本书是杨树水分生理学研究的专著。包括技术方法、水分与生长关系研究等论文27篇，还有树木水分关系基本原理概述。可作为农林科研工作者、大专院校师生参考。

前 言

植物水分生理研究历来是植物生理学、植物生理生态学的重要组成部分。但此方面工作在树木方面做的较少。从60年代起，我们先后以杨树苗木和杨树人工林为试材，进行了一些工作。现将其中部分内容汇集出版。主要包括三个部分：一是技术方法的研究；二是水分条件与林木生长及生理过程的关系；另外，还将近年写成的“树木水分关系基本原理概述”，作为本书的第三部分，以供参考。

我国是一个水资源短缺的国家。在林木丰产栽培中，如何节约用水、合理用水、科学用水，以有效的灌水量获得木材高产，即林木节水栽培，是亟待重视的问题。但这方面的基础研究目前仍很薄弱。我们建议，以发展理论技术，促进生产应用为目标，开展树木水分生理研究，重点加强三方面的内容：一是水分状况对林木光合生产力的影响，改善水分条件提高光合生产的途径；二是林木耗水与生长的关系，包括耗水量、需水量与林木生长量等；三是树木水分（吸收、耗水）的生态平衡研究。我们的工作虽然也涉及到了这些方面，但还不够深入。

本书的各项工作，曾得到西北农学院林业站、山东省莒县林业局和廿里乡、宁夏林业技术推广总站、甘肃酒泉地区林业局等单位的热情帮助。并得到国家自然科学基金、中国林科院科技发展基金与中国林科院林研所专著基金的资助。谨此一并致谢。

由于作者的理论与实践水平有限，错误与不足之处在所难免，敬希读者批评指正。

刘奉觉 郑世锴

1991年7月22日于中国林业科学研究院

目 录

技术方法研究	1
1 一种测定植物蒸腾强度的方法	1
2 用吸水纸法测定蒸腾的一些比较研究	9
3 一种测定植物气孔状况的方法	14
4 树木蒸腾耗水量的测算方法	16
5 用快速称重法测定杨树蒸腾速率的技术研究	22
6 杨树叶片离体蒸腾失水的变化	29
7 快速称重法蒸腾测值的订正	35
8 测定蒸腾方法的比较	41
9 使用稳态气孔计的几个技术问题	43
10 用空气动力学原理测算树木蒸腾速率的研究	48
11 用测定木质部液流速度的方法确定树木 蒸腾耗水量	55
水分关系研究	60
12 水肥处理对小叶杨扦插苗蒸腾强度的影响	60
13 水肥处理对小叶杨气孔状况的影响	77
14 杨树人工幼林的蒸腾变异与蒸腾耗水量 估算方法的研究	87
15 田间供水与杨树生长关系的研究 I 供水处理对杨树生长、树体结构和叶量的影响	103
16 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	118

17	供水对杨树人工幼林材积生长的影响	131
18	干旱地区杨树速生丰产林合理灌溉的研究 I 供水处理对林木生长与材积产量的影响	144
19	干旱地区杨树速生丰产林合理灌溉的研究 II 林木的水分生理分析	153
20	树冠配置对主干生长量垂直分配的影响	166
21	深栽杨树水分代谢的研究	179
22	干旱地区深栽树木的水分优势和几个树种水分 生理指标的比较	191
23	内蒙古河套灌溉地区林带排水作用的研究	202
24	杨树蒸腾速率与土壤湿度关系的探讨	213
25	几种杨树苗木生理指标的比较	220
26	树干直径日变化节律及其因素含义 的分析(摘要)	228
27	田间隔离土体供水效应的研究—— 杨树生长与生理分析(摘要)	230
基本原理概述		233
1	水的重要性和水分关系研究的基本问题	234
2	树木的水分运动与水分平衡	240
3	树木的缺水反应	251
4	树木水分关系的调控	265
5	近代水分与生长关系研究的一些进展	276

技术方法研究

1 一种测定植物蒸腾强度的方法

蒸腾强度是植物水分状况最重要的生理指标之一。作为植物生命活动的一个表象，它准确地反映着植物对环境因子的反应。测定植物蒸腾强度的方法很多^[1]，快速称重法^[2]比较简单，适合于野外操作；但剪取植物的枝条或叶片，会使研究对象遭受损失；离体后的枝叶蒸腾也与正常枝叶有差别；叶片较大的植物称重也不大方便。Арциховский^[3]提出了用吸水胶膜测定蒸腾强度的方法，为蒸腾强度的测定别开了生面，但方法仍然繁琐，操作不便；1955年 Туркевич^[4]作了改进。1963年，我们摸索使用了这个方法，初步体会到此法仪器简单，操作方便，有其独特之处，具有一定实用价值。本文结合我们体会，将此法作一介绍。

1.1 原 理

紧切于叶面的吸水纸，吸收了植物蒸腾所放出的水分，重量增加。可由吸水纸面积与其所增加的重量间接地推定叶片的蒸腾强度。

注：本文发表于植物生理学通讯，1965，（2）。

1.2 实验方法

1.制作蒸腾夹：取长宽为 $3.5\text{cm} \times 2.5\text{cm}$ 的薄玻片两个，其中一个在周围贴上医用胶布，中心空留出面积为 $1\text{cm} \times 3\text{cm}$ 的空处。然后将玻片粘结在文具夹上（如图1），粘结剂可用洋漆或熔化的橡皮条，如此做好的一蒸腾夹，重量约为 12g 左右。

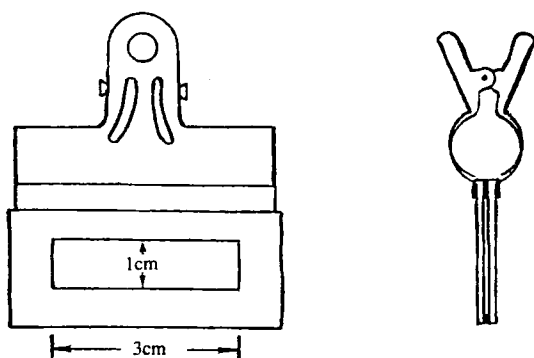


图1 蒸腾夹正面、侧面图

2.其它用具：取质地均匀、吸水性良好的滤纸（我们用Whatman 1号纸），剪成 $1\text{cm} \times 3\text{cm}$ 大小的纸片，并经常保持干燥；准备扭力天平一架（感量 0.1mg ），干湿球温度计1个，停表1只，镊子1个。

3.操作步骤：

（1）在扭力天平上称得干纸片的重量；

（2）把纸片迅速放在夹子中心胶布的空处，用夹子夹住叶片，使吸水纸与叶子下表面接触，当即按动停表，记取时间；并观测空气温度与湿度；

（3）到 5min 时，取下夹子，用镊子迅速取出纸片，在扭

力天平上称重；

(4) 计算：蒸腾强度 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) = 纸片增重之 mg 数 $\times 40$
我们在 6 个处理内测定，每一处理重复 5 次，共需 45min。

1.3 结果与讨论

1. 用吸水纸称重法测得小叶杨扦插苗的部分资料，列入图 2，3，4 中。可以看出，这些曲线基本上反映了晴天和阴天蒸腾强度的变化趋势^[5]，也能明显表示出供水情况不同时蒸腾强度日进程和季节进程的差异。

2. 我们还将它与快速称重法作了比较，即先用吸水纸法求得某叶片的蒸腾强度，5 min 后，剪取该叶片，封蜡，用快速称重法测定（剪叶后 1~5 min 内），所得部分数据列入表 1。可以看出：相对湿度在 56% 以下，饱和差在 24.9 以上时，吸水纸法所测得的数值总是偏小；相对湿度在 60%~70% 之间，饱和差为

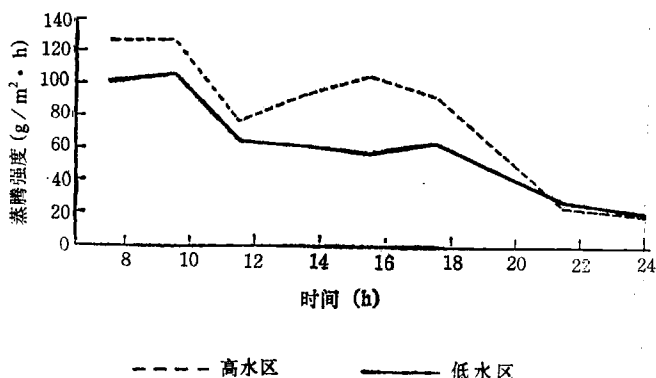


图 2 1963年 7 月 26 日晴天蒸腾强度日进程

12~21 时，吸水纸法的数值有时偏大，有时偏小，接近于快速称重法的数值；相对湿度在 80% 以上，饱和差在 8 以下时，吸水纸

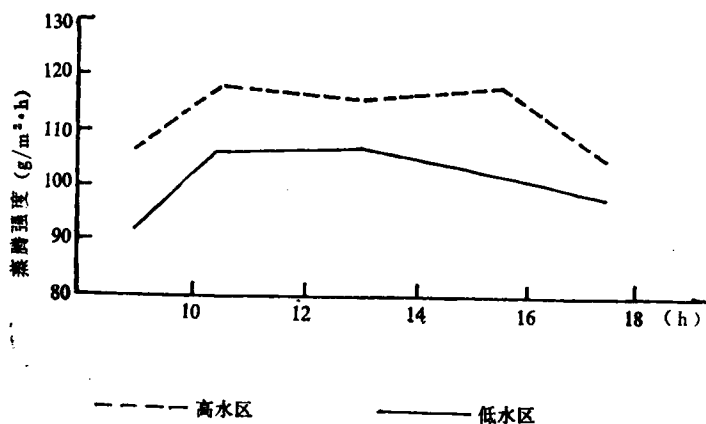


图3 1963年9月9日阴天蒸腾强度日进程

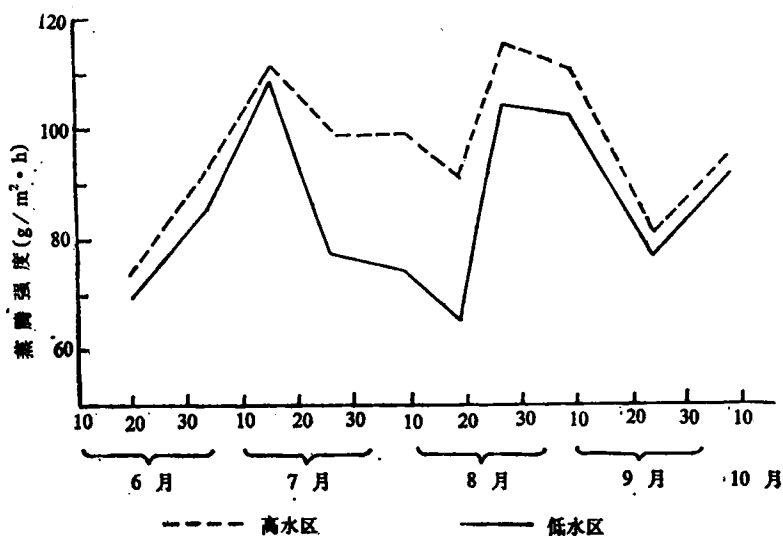


图4 1963年不同供水条件下蒸腾强度的季节变化

表1 吸水纸称重法与快速称重法之蒸腾比较

编 号	蒸 腾 强 度 (g/m ² ·h)		气 温 (°C)	相 对 湿 度 (%)	饱 和 差	相 对 差 误*
	吸 水 纸 法	快 速 称 重 法				
1	128.0	118.5	30.5	65	15.3	-0.08
2	118.0	121.9	31.2	62	17.1	+0.03
3	86.0	178.3	32.4	60	19.6	+0.52
4	96.0	123.3	34.8	52	26.8	+0.22
5	98.0	203.0	34.0	53	24.9	+0.52
6	40.0	72.9	34.0	53	24.9	+0.45
7	82.0	97.8	32.3	71	14.0	+0.16
8	92.0	112.9	36.2	56	26.3	+0.18
9	116.0	104.4	33.7	60	20.9	-0.11
10	94.0	43.1	29.6	81	7.9	-1.18
11	120.0	56.3	29.2	85	6.1	-1.13
12	60.0	17.9	28.6	86	5.6	-2.35
13	78.0	27.6	27.8	86	5.2	-1.83
14	84.0	97.7	27.4	76	8.8	+0.14
15	108.0	121.2	29.5	71	12.1	+0.11
16	98.0	74.5	29.9	70	12.8	-0.31
20	68.0	45.3	26.4	79	7.2	-0.50
21	52.0	20.9	26.0	84	5.3	-1.49
22	68.0	18.6	25.3	88	4.0	-2.66

$$* \text{相对误差} = \frac{\text{快速称重法蒸腾强度} - \text{吸水纸法蒸腾强度}}{\text{快速称重法蒸腾强度}}$$

法数值偏大，有时甚至大得很多（大于快速称重法2~3倍）。这是由于吸水纸与空气发生水分交换的缘故，在低的相对湿度下，操作中吸水纸水分蒸发，使数值减小；反之，相对湿度很大时，纸片吸收了空气的水汽，使数值增大。从表中数据看来，这种方法最适用的湿度范围是60%~75%。

表中快速称重法的数值有时出现反常的增大（数值很大，如

编号3, 5等), 可能由于封蜡不严密, 破坏了叶片中必要的水分损失阻力之故。

只有保持纸片高度吸水能力, 才能尽快地吸收植物放出的水汽。Туркенич^[4]把纸片放在大气中, 使之与大气水分平衡。我们觉得这样作会影响纸的吸水性, 尤其空气湿度较大时, 使纸片被水汽饱和而减弱甚至丧失吸收水汽的能力。因而我们把纸片放在盛有CaCl₂的小干燥瓶中, 保持干燥; 但是干燥纸片容易受大气湿度的影响, 这个问题如何解决, 值得进一步研究。

在1天或1个生长季节中, 相对湿度会有高低的变化, 吸水纸所得数值也会有正负的变化(与快速称重法比较), 这样能够相互抵消一部分误差。我们连续两天测定的总平均值很相近即说明了这一点(表2)。

表2 蒸腾比较研究之总平均值

吸 水 纸 法		快 速 称 重 法
(g/m ² ·h)		
2天平均蒸腾强度	87.2	86.0

3. 由于纸片和空气中水分交换作用, 吸水纸法测定的数值比植物直接蒸腾强度的日变幅要小(姑且以快速称重法作为植物直接蒸腾)。根据我们测定, 快速称重法蒸腾强度每日最小值和最大值相差3~4倍, 而吸水纸法相差2~3倍。这种变化幅度的缩小没有改变蒸腾日变化的总趋势。

4. 吸水纸法不损伤叶片, 可以在植株同一部位上重复作多次测定, 并且能以纸形、夹形的改变适应叶子的形状等等。

5. 使用这个方法时, 还必须注意到它的局限性

(1) 纸片隔绝了气流对蒸腾的影响。减弱了空气湿度及风

速对蒸腾的作用；

(2) 异物机械地触动气孔，影响气孔的开闭；

(3) 纸片改变了被测叶片的受光条件。我们观察到，如果遮盖时间过长，可以使大部分气孔关闭，严重地降低蒸腾强度。因此，我们觉得Туркевич的纸片吸水时间太长(10min)，应以5 min较为适宜；

(4) 叶面潮湿或有露水时，工作不能进行。

根据以上分析，我们认为：吸水纸称重法仪器简单，操作方便，虽然略微移动了蒸腾强度的变幅范围，但并不会改变蒸腾强度的总趋势，如果注意排除其局限性的影响，研究工作中是可以应用的。

参 考 文 献

- [1] [俄] 斯维什尼科娃 В.М. 热水平衡及其在地理环境中的作用问题，第二辑，北京：科学出版社，1961：1~22。
- [2] Иванов Л.А., А.А. Силина и Ю.Л.Цельникер. О методе Быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях. Бот.Журн, 1950; 35(2) : 171~185.
- [3] Арчиховский В. М. Изучение транспирации весовым способом с помощью коллоидальных пленок. Советская ботаника, 1939; 2 : 34~49.
- [4] Туркевич И.В., Транспирация и фотосинтез у водных побегов дуба. Записки Харьковского Сельскохозяйственного Института, 1955; 10 : 217~228.
- [5] Могилева Г. А. и Е. Я. Расторгуева. Транспирация и фотосинтез сосны в связи со смолооб-

разованием. Труды ин-та Леса и древесины,
1963, 60 : 92~103.

- [6] Лаборатория лесоведения АН СССР Физиология
древесных растений. Изд-ВО АН СССР, 1962;
27~104, 160~170.

(刘奉觉)

2 用吸水纸法测定蒸腾的一些比较研究

1963年，我们曾用吸水纸法测定过小叶杨扦插苗的蒸腾强度，并且与快速称重法作了比较^[1]。但是，离体叶片蒸腾值与正常叶片蒸腾值之间尚有一定差距。1964年，改用称重法进行比较。现将这一些工作，报告如下。

2.1 实验材料和方法

研究对象为小叶杨 (*Populus simonii* Carr.) 的一年生扦插苗。

用干燥纸片（放置在 CaCl_2 小瓶中的纸片）和大气水分平衡纸片（放置在大气中的纸片，直到重量恒定为止，以下简称气干纸），同时在田间测定1个叶子中脉两侧的蒸腾强度，比较它们在各种相对湿度下的表现；另外，用称重法测定蒸腾强度：取枝条插入盛水的小瓶中，用棉花和石蜡密封瓶口，剪去顶梢，伤口立即封蜡。同时做无叶枝条失水测定：将枝条插入盛水的小瓶中，剪去顶梢及全部叶子，伤口和瓶口立即封蜡。带叶和无叶的插枝瓶每小时称重1次（时间精确到1 min），用叶子失水的重量和叶面积的数值换算成统一的蒸腾强度单位 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)；在插枝瓶称重的间隙时间里，用吸水纸法测定叶子的蒸腾强度（包括用干燥纸和气干纸）。这样，用吸水纸法所测的蒸腾数值和称重法的蒸腾数值都来源于同一蒸腾过程，可比进行比较。

2.2 结果与讨论

2.2.1 干燥纸与气干纸所测蒸腾数值的比较

表1列出了不同相对湿度下气干纸所测蒸腾数值占干燥纸所测蒸腾值的百分数。可以看出,气干纸的吸水能力,一般都小于干

表1 不同相对湿度下气干纸所测蒸腾值占干燥纸
所测蒸腾值的百分数 (%)

大气相对湿度 (%)	所占百分数 (%)	重复次数
70~76	55.8	3
62~66	65.0	8
53~58	70.6	6
41~47	75.5	2
33~38	68.4	9
30~32	98.1	3
21~22	110.0	4

燥纸;随着相对湿度的降低,气干纸所测的蒸腾值逐渐增加,并与干燥纸所测的蒸腾值相接近;相对湿度在30%左右时,两者数值趋于一致;相对湿度小于30%时,气干纸所测蒸腾值大于干燥纸所测的蒸腾数值。这种情况表明,CaCl₂干燥瓶中的相对湿度大约为30%左右。

2.2.2 两种纸所测的蒸腾值与称重法蒸腾值的比较

不同湿度条件下吸水纸法所测蒸腾的数值与称重法蒸腾值比较的结果列入表2和图1中。这些资料说明,用气干纸或干燥纸所测得的蒸腾数值,都受着大气相对湿度变化的影响。用干燥纸测定蒸腾的最适湿度范围为60%~70%,与我们过去的测定结果

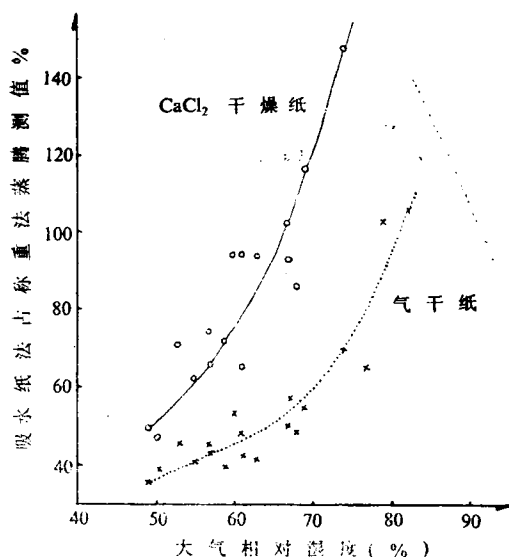


图1 两种纸测值与大气湿度的关系

相一致^[1]；气干纸的最适湿度范围为80%左右。由此看来，把纸片放在大气中，使之与大气水分相平衡的办法，不能消除相对湿度对纸片所测蒸腾值的影响。因为纸片吸收了植物蒸腾放出的水汽以后，在称重的过程中，总会与大气发生水分交换，只有在大气极湿的情况下，这种差异才有可能减小，但有时却出现蒸腾值等于零或负值的情况；而干燥纸所测的蒸腾值，总是大于气干纸，与称重法的数值较为接近。因此，用吸水纸法测定蒸腾时，以采用较干燥的纸片为好。

2.2.3 用吸水纸法所测蒸腾强度绝对值的变异

既然吸水纸法受相对湿度变化的影响，那么，在不同的干湿季节里所测蒸腾的数值，必定有所变异。我们用这种方法测定的结果表明：湿润时期蒸腾大，干旱时期蒸腾小；阴天蒸腾大，晴