

# 柠条林蒸腾状况与土壤水分动态研究

王孟本 李洪建

(山西大学黄土高原地理研究所)

## 提 要

本文根据1989年观测资料,对柠条的蒸腾状况及其林地的土壤水分动态规律作了进一步分析。结果表明:柠条的平均蒸腾强度为 $0.1589\text{g}/\text{g}\cdot\text{h}$ ,蒸腾耗水量占同期降雨量的49.1%;柠条蒸腾强度与气温日变化的关系很密切,而与气温季节变化、相对湿度日变化和土壤水分季节变化的依存关系均不明显。结果还表明:柠条林地土壤剖面水分分布可分为活跃层、次活跃层和相对稳定层三个层次。活跃层的深浅随降雨量的多少而变化,次活跃层明显浅于对照荒地土壤水分次活跃层。在降雨量少而均匀分布的特有年份中,林地土壤水分季节动态的显著特点之一是干湿季难以划分。

关键词: 柠条林 土壤水分动态 蒸腾强度

关于柠条(*Caragana korshinskii*)灌木林水分动态特征研究的初步结果已见诸于前文<sup>[1]</sup>。本文旨在1989年进一步观测实验的基础上,对柠条林蒸腾状况和林地土壤水分动态规律等问题进行比较深入地分析和探讨。

## 一、供试林与研究方法

### (一) 供试林

供试林特点可参阅前文西北水土保持研究所集刊,1989年第10集155~160页<sup>[1]</sup>,这里不再赘述。

### (二) 试验方法

1. 柠条蒸腾强度的测定。自5月中旬始至10月中旬止,每月中旬选择一个测定日。每次从上午6h起到18h止,每1h测定一次,每次两个重复。测定采用“快速称重法”,即剪下样枝后,立即称重,然后间隔3min,再第二次称重,随后并把叶立即去掉,将枝条称重。蒸腾强度按以下公式计算:

$$\text{Tr} = (a - b) \times 20 / (a - c)$$

式中Tr为蒸腾强度,即1g鲜叶在1h内蒸腾消耗水分的克数(以下简称为 $\text{g}/\text{g}\cdot\text{h}$ );a、b、c分别为第1、第2、第3次称重的克数;(a-b)为蒸腾耗水量;(a-c)为鲜叶重量。

在采用“快速称重法”时,虽然我们使用的是自己设计的“三次称重程序”,比传统的“两次称重程序”多了一次称重过程,工作量也随之增加。但是这对保证测定结果的尽可能准确则是有益的。这首先是因为客观条件不允许我们以枝条为单位来计算蒸腾强度,而要求以单位鲜叶重来计算蒸腾强度。由于供试植株枝条的重量往往超出天平的最大称量110g,而一段样枝的蒸腾强度显然并不能代表该整个枝条的蒸腾强度。同时是因为采用“三次称重”的“快速称重法”,比起先将叶取下,而后测定鲜叶重和鲜叶蒸腾耗水量的“两次称重”的“快速称重法”来,前者能

更好地保持柠条的自然蒸腾状态,并使蒸腾耗水量的测定起始时间提前。尽管前者末了才对枝干进行称重,以推求最初鲜叶重量,但是气温、光照等外界因子在4 min内(测蒸腾耗水量用3 min,摘叶用近1 min)对枝干所造成的不良影响,或许比这些因子在1 min之内对枝叶所造成的不良影响还要小。因此,末了称枝条重以推求最初鲜叶重的作法更具可行性。

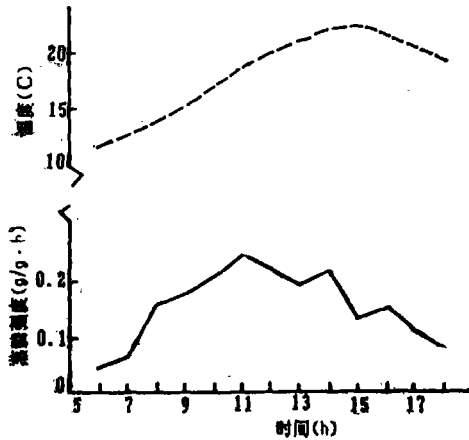


图1 柠条蒸腾强度与气温的日变化

2. 气温和相对湿度的测定。气温和相对湿度分别由自记温度计和自记湿度计在温、湿度自记纸上进行记录。

3. 土壤水分的测定。自4月20日始到10月中旬止,每月中旬对林地土壤含水量进行一次测定。自5月中旬始,每月的测定工作于柠条蒸腾强度测定日的前一天进行。测深为0~500cm。15个土层的深度下限分别为10cm、20cm、40cm、60cm、80cm、100cm、120cm、150cm、200cm、250cm、300cm、350cm、400cm、450cm和500cm。各层样品为3个重复,土样于105℃温度下烘至恒重。同时以荒地作为对照,样品为两个重复。

## 二、试验结果与分析

### (一) 柠条蒸腾强度与诸因素的关系和蒸腾量

关于柠条蒸腾状况的研究,刘家琼等曾做过部分工作。但是较系统的研究则还未见报道,鉴于研究柠条的蒸腾强度,对揭示其林分水分动态规律具有十分重要的作用,1989年5至10月我们对此作了观测调查。

#### 1. 蒸腾强度与气温的关系

图1为柠条蒸腾强度和气温日变化的测定结果。如图1所示,日平均最低蒸腾强度出现在6h,最高蒸腾强度出现在11h。蒸腾强度日变化与气温日变化均具有从最低到最高再缓慢下降的总的变化趋势,这是二者的相同点。但是二者也存在着很明显差异,主要是后者的最高值出现在近15h。

为了进一步探讨气温与蒸腾强度日变化间的关系,我们根据6个测定日的测定结果,首先把对应时刻的蒸腾强度相加,求其平均值,并将相应时刻的气温也归并求其平均值,然后根据6~18h的13×2个平均值,将蒸腾强度与气温的关系按二次回归方程 $Tr = b_1t + b_2t^2$ 进行拟合,结果为:

$$Tr = -0.9494 + 0.1228t - 0.0033t^2$$

式中:  $Tr$  = 蒸腾强度 (g/g·h);  $t$  = 气温 (°C)。

对回归整体进行F检验,  $F_{(2,10)} = 5.4056 > F_{(2,10)}^{0.05} = 4.10$ 。对偏回归系数分别进行F检验,  $b_1, F_{(1,10)} = 6.4351$ ;  $b_2, F_{(1,10)} = 5.6001$ , 均  $> F_{(1,10)}^{0.05} = 4.96$ , 说明方程拟合很好。证明柠条蒸腾强度与气温日变化的依存关系是相当密切的。

由此二次回归方程式可求出,当 $t = 18.6^\circ\text{C}$ 时,  $Tr$ 达日最大值,  $Tr_{\max} = 0.1930\text{g/g}\cdot\text{h}$ 。

柠条蒸腾强度与气温季节变化的测定结果（图2）显示，在年生长期中，5月份柠条的蒸腾强度最高，6月份蒸腾强度骤降，为次高月份，7~9月蒸腾强度均较低，10月份蒸腾强度最低。而气温的季节变化曲线则呈现出中间突出两侧渐低的单峰形，最高值出现在7月份。月测定日蒸腾强度平均值与气温平均值之间的简单相关系数 $r$ （以下简写为 $r$ ）接近于0，意味着柠条蒸腾强度与气温季节变化之间没有一定的依存关系。这可能是由于柠条蒸腾强度的强弱受其生长节律的强烈制约所致。

此外，通过比较各测定日柠条蒸腾强度的日变化，我们还发现，柠条日最高蒸腾强度的出现时间，与测定日的气温高低具有某种规律性的变化，即测定日平均气温愈高，日最高蒸腾强度的出现时间愈早，反之亦然。例如7月份日最高蒸腾强度在上午8h出现，5月、6月和8月份在11h出现，9月、10月份则在14h出现。

2. 蒸腾强度与相对湿度的关系

由图3看出，一日中6h蒸腾强度最低，11h蒸腾强度最高，11h以后至18h蒸腾强度渐低。而相对湿度的日变化为6h最高，18h最低。

尽管时段分析显示出，在6~11h之间，蒸腾强度与相对湿度日变化间存在极显著负相关，因为 $r = -0.9801$ ， $|r| > r_{0.01}^{0.01} = 0.917$ ；在12~18h，蒸腾强度与相对湿度日变化间呈极显著正相关，因为 $r = 0.8929$ ， $> r_{0.01}^{0.01} = 0.874$ 。但是，相对湿度与蒸腾强度日变化在两个时段的矛盾相关现象，无论如何是十分值得怀疑的。

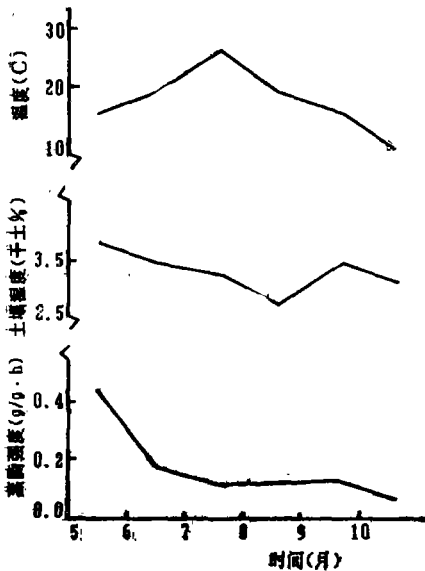


图2 柠条蒸腾强度与气温、土壤水分的季节变化

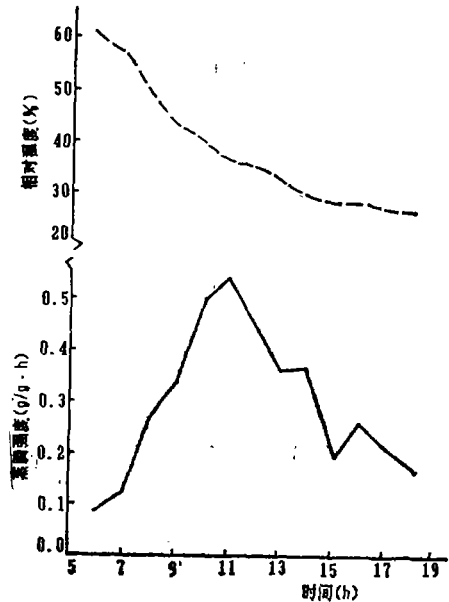


图3 柠条蒸腾强度与相对湿度的日变化  
(据5、6月份测值的平均值绘出)

经过进一步分析相对湿度与气温日变化的关系，我们可以看清相对湿度日变化同样受气温日变化的制约。二者间的 $r = -0.9806$ ， $|r| > r_{0.01}^{0.01} = 0.684$ 。因为前述分析已表明蒸腾强度与气温日变化具有二次回归依存关系。所以，以上矛盾相关现象可以解释为一种受气温制约的“在时

间系列中”的“没有意义的相关”<sup>[4]</sup>。

事实上,计算亦同时表明,在6~18h之间,蒸腾强度和相对湿度间的 $r$ 接近于0。说明这二者的日变化的确没有一定的依存关系。

### 3. 蒸腾强度与土壤水分的关系

林木蒸腾消耗的水分补给,无疑要靠根系从土壤中吸收,但是测定结果(图2)表明,土壤水分与柠条蒸腾强度之间的依存关系不够明显。 $r = 0.6736 < r_{0.05}^{0.5} = 0.811$ 原因可能在于土壤水分的低含量和小变幅。因为0~500cm土层中,土壤含水量的平均值为 $3.36 \pm 0.34$ (标准误差、干土%),也可能在于柠条蒸腾强度的季节变化主要是受其生长节律所制约的缘故。

### 4. 蒸腾强度与蒸腾耗水量

已有的研究证明,在我国沙漠中部地区固定半固定沙地生长发育的柠条,晴天9h左右的蒸腾强度为 $0.9021\text{g/g}\cdot\text{h}$ 。我们对黄土丘陵沟壑区人工柠条灌丛的研究表明,柠条最高蒸腾强度虽可达 $0.8031\text{g/g}\cdot\text{h}$ ,但是生长期柠条的平均蒸腾强度仅 $0.1598\text{g/g}\cdot\text{h}$ ,同时根据5月份日、夜的测定结果,柠条在夜间的蒸腾强度平均值为 $0.0525\text{g/g}\cdot\text{h}$ ,为其白天蒸腾强度的12.02%。

柠条蒸腾耗水量的估算,以蒸腾强度和鲜叶生物量为基础,以各月测定日的蒸腾强度测值作为本月各日白天蒸腾强度的基本值,并以白天蒸腾强度的12%作为其夜间蒸腾强度的参考值。白天和夜间分别以13h与11h计算,4月份后半月的日、夜蒸腾强度与5月份各日、夜的相同来处理。鲜叶生物量以8月份抽样测定结果为标准,即以 $324.9\text{g/m}^2$ 来计算。最终计算结果表明,柠条在生长季的蒸腾耗水量占同期降雨量的49.1%(表1)。

表1 柠条蒸腾耗水量的估算(1989年4~10月)

月 份	4 月 (16~30日)	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10月	合计
蒸腾强度 ( $\text{g/g}\cdot\text{h}$ )	0.4367	0.4367	0.1621	0.1028	0.1102	0.1113	0.0355	
蒸腾耗水量 (mm)	30.48	62.99	22.63	14.83	15.89	15.75	5.12	167.69
降雨量 (mm)	19.3	12.0	102.3	92.0	44.2	66.0	6.0	341.8
蒸腾量/降雨量 (%)								49.1

## (二) 土壤水分动态规律

### 1. 土壤剖面水分分布特征

韩仕峰等(1989年)对黄土区裸地土壤剖面水分分布特征的研究结果证明:对剖面水分分布宜分为速变层、活跃层、次活跃层和相对稳定层四个层。这对我们的研究工作无疑具有启示意义。只是由于林地与裸地不同,剖面土壤水分变化不仅受气象条件的制约,还受林木及林下植物的一定程度的影响。所以,结合实际情况,本文对剖面水分分布特征划分为活跃层、次活跃层和相对稳定层三个层次。

我们采用的分层依据是标准误差( $S_x$ )的大小。从统计学的角度看,用 $S_x$ 来反映各测试层土壤水分的变化情况,比采用简单的增减值要好一些。具体做法是以4至10月各月中旬的土壤湿度剖面数据为基础,先计算出各测试层土壤含水量的 $S_x$ 值,然后视 $S_x$ 值之大小,以判定各测试

土层之归属。 $S_x < 1\%$ 为相对稳定层； $S_x$ 在 $1\% \sim 1.5\%$ 之间，为次活跃层； $S_x > 1.5\%$ 为活跃层。从表2可看出：

表2 柠条林地与荒地生长期土壤剖面水分分布分层

年份	类型	活跃层		次活跃层		相对稳定层		降雨量 (mm)
		深度(cm)	$S_x$ (%)	深度(cm)	$S_x$ (%)	深度(cm)	$S_x$ (%)	
1989年	柠条林地	0~60	1.80~3.64	60~100	1.00	100~500	< 1	341.8
	荒地	0~60	1.90~3.75	60~120	1.13~1.44	120~500	< 1	
1988年	柠条林地	0~100	1.77~2.21	100~120	1.29	120~300	< 1	436.2
	荒地	0~120	1.77~2.75	120~150	1.06	150~300	< 1	

(1) 活跃层的深和浅与降雨量的多少有关。1988年和1989年生长期降雨量分别为436.2mm、341.8mm。对比之下，林地土壤水分活跃层的深度，前后两年分别为0~100cm和0~60cm；荒地土壤水分活跃层的深度，前后两年亦分别为0~120cm和0~60cm。足见活跃层的深浅与降雨量有明显关系。

并且由于同样的原因，土壤水分次活跃层下限变浅，相对稳定层上限也随之上升。

(2) 林地土壤水分次活跃层明显浅于荒地土壤水分次活跃层。在两年试验中，无论是在降雨量较多的1988年，还是在少雨的1989年，林地土壤水分次活跃层均较荒地浅一个测试土层。这是由于受柠条蒸腾耗水的影响，林地土壤水分自生长季之初至生长期末，一直处于低含量状况。因此在同样的降雨量条件下，对同样的入渗量或者甚至是一定程度的林地较大入渗量来说，林地下渗深度亦较荒地下渗深度为浅。

2. 土壤水分季节动态与降雨量及其分布的关系

1989年柠条林地土壤水分季节动态的显著特点之一是干湿季难以划分(图4)，与上一年情况的差异是显而易见的。

这是由于在降雨量本来就较少的情况下，雨量分布又较为均匀。由于3个降雨峰期间隔较远(图4)，均伴随着一定的持续高温或干旱，蒸腾蒸发使土壤水分入不敷出，从而使湿季不湿和土壤干湿季难以划分。

鉴于本区年降雨峰期一般7月份来临，且单峰突出或多峰集中，象1989年6月上旬降雨峰期即来临，各峰期又均匀分布的情况历年很少见到。因此可以推断，只有在象1989年这样的少有年份中，才会出现土壤干湿季难以划分的情形。

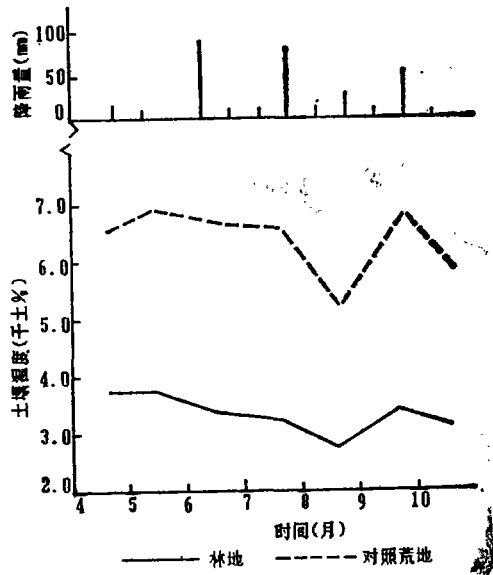


图4 柠条林地水分季节动态

### (三) 林分耗水量估算

供试柠条林地无地下水补给和深层水渗漏,耗水量(蒸腾蒸发量)可按下式计算,即

$$ET = (W_b - W_e) + (P - R_e)$$

式中ET为耗水量; $W_b$ 为生长期之初5m土层的储水量; $W_e$ 为生长期之末5m土层的储水量; $P$ 为生长期降雨量; $R_e$ 为同期地表径流量。

根据观测情况,1989年生长期末的林地5m土层储水量较生长期初减少了47.01mm,生长期降雨为341.8mm。同时根据林地对最大强度的一次暴雨的入渗量,即47min降雨31.7mm,林地入渗量可达26.02mm,我们又可推断出在雨量分布较均匀的生长期中,<25mm的各次降雨一般不会产生地表径流,>25mm的50mm、31.7mm和30mm 3次降雨的(各减26.02mm)总地表径流量估计值约为33.64mm。

由以上可知,1989年生长季林地的总耗水量为355.17mm。根据前述柠条的蒸腾量为167.69mm,又可知林地蒸发量(含林下植物蒸腾量,但是这部分实际上很小)为187.48mm。所以,蒸腾量与蒸发量约分别占林地耗水量的47%和53%。

因为在降雨量较少的情况下,林地土壤水分活跃层变浅,而离蒸发面越近,则越易蒸发。所以,蒸发量在耗水量中占较大百分比,是少雨年份林地土壤物理蒸发作用相对增强的必然结果。

## 三、问题讨论

### (一) 蒸腾耗水峰期与蒸发耗水峰期问题

前述分析已表明,柠条的蒸腾高峰期在5至6月,这很可能是由柠条的生长节律所决定,而较少受年降雨量及其分布的影响,加之本区降雨峰期一般7月份来临,象1989年6月初即来临的情况实属罕见。所以,就一般年份而言,柠条灌木林的蒸腾耗水高峰与降雨高峰并不是相伴而来,而是一前一后相继而来。因而,在生长季期间,7月以前以蒸腾耗水为主,7月和7月以后以蒸发耗水为主,可能是林地水分动态的另一基本特点。尽管这对柠条灌木林来说并不怎么有利。

### (二) 蒸腾量与土壤水分的关系

柠条蒸腾强度与土壤水分关系的前述研究业已证明,土壤水分与蒸腾强度之间的依存关系不够明显。考虑到在同样的蒸腾强度下,如果柠条的鲜叶生物量发生变化,蒸腾耗水量也必然随之变化,而土壤水分含量也许对鲜叶生物量的变化有较明显影响。所以,我们并不能因为土壤水分与蒸腾强度的依存关系不够明显,就由此断言土壤水分与蒸腾量亦无依存关系。更不能由此断言柠条在林地水分平衡中的作用是固定不变的。

## 四、结 论

1. 蒸腾状况的基本分析表明:1989年5~10月的柠条平均蒸腾强度为0.159 8g/g·h,生长期柠条蒸腾耗水量占同期降雨量的49.1%。

2. 柠条蒸腾强度与气温、相对湿度和土壤含水量之间的相关分析表明:柠条蒸腾强度与气温日变化的关系很密切,但它与气温季节变化,相对湿度日变化和土壤水分季节变化的依存关系均不明显。

3. 柠条林地土壤剖面水分分布特征可分为活跃层、次活跃层和相对稳定层3个层次。活跃层的深浅与降雨量的多少有关,林地土壤水分次活跃层显然浅于对照荒地土壤水分次活跃层。

4. 在降雨量少而均匀分布的少有年份中,林地土壤水分季节动态的显著特点之一是干湿季难以划分。