

# 柠条灌木林小气候研究初报

郭忠升 施立民 刘向东 刘克俭

(中国科学院水利部西北水土保持研究所) (宁夏固原县科委)

## 摘 要

本文在分析柠条 (*Caragana microphylla*) 灌木林对光能影响的基础上,研究了柠条灌木林对气温、湿度和土壤温度的影响及其日变、月变规律,并进一步探讨了温度与光照,湿度与温度或林冠蒸腾的关系。为全面评价森林的生态效益提供了依据。

**关键词** 柠条灌木林 光照强度 气温 相对湿度 地温

## A PRELIMINARY STUDY ON MICROCLIMATE IN LITTLELEAF PEASHRUB SHRUBBERY

Guo Zhongsheng Shi Limin Liu Xiangdong  
(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Chinese  
Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy)

Liu Kejian  
(The Science and Technique Committee of Guyuan County)

## Abstract

Based on analysing the solar energy characteristics both inside and outside the *Caragana microphylla* shrubbery, the influence of the shrubbery on air temperature, relative humidity and soil temperature and their daily and monthly variations were studied, as well as some relationships between the temperature and illumination, relative humidity and temperature or the transpiration of canopy were approached in the paper. The results of the study provided some scientific bases for comprehensive evaluating the ecological benefits of the shrubbery.

**Key words** *Caragana microphylla* shrubbery illuminated intensity  
air temperature relative humidity soil temperature

## 1 自然概况

1.1 自然概况 (参阅28页)

## 1.2 柠条灌木林基本情况

柠条是干旱、半干旱地区的乡土树种，由于它品质优良<sup>[1]</sup>，生长表现良好和适应性强，近年来营造面积较大。观测的柠条为5年生，分布于阴坡中部，坡度8~20°，密度10 000丛/ha，地径1 cm，高0.9 m，冠幅90 cm×90 cm。面积200ha。

## 2 仪器与研究方法

### 2.1 仪器

本次采用普通温度计，曲管地温计，272-A型干湿计和ZD-Ⅱ型照度计等分别进行气温、地温、湿度、光照等的观测。

### 2.2 研究方法

采用常规法。在生长期（4~10月）每月1、11、21日各观测一天，每天从早8 h至次日6 h，每2 h记录一次。地温分0 cm、5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 5个层次进行观测。气温和湿度以1/2树高和5/4树高为观测点，光照强度以1/2树高为观测点。对照区选在林地附近，测点高度、坡度、坡向等与林内相同。所有观测点均选择了具有代表性的部位。

## 3 观测结果与分析

### 3.1 柠条林对光能的影响

太阳能是地球上一切生命过程的主要能源，也是大气中各种物理现象和过程发生发展的基本条件<sup>[2]</sup>。因而研究柠条林的小气候，首先应研究它对光的影响。

太阳能总是以电磁波的形式释放能量。太阳辐射的可见光（ $\lambda = 0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ ）部分具光效应（可见光约占太阳总辐射通量的50%），用光照强度表示；同时太阳辐射还具热效应，用太阳辐射强度表示。人们总是通过太阳辐射的这两种效应来研制仪器，观测和研究光能。本次研究采用光照强度。现以柠条林冠发育稳定时的晴天（7月1日，全天日照约10h）的观测值（见表1）来分析柠条林对光照的影响。

表1 柠条林与非林地光照强度的到达量 单位：lx

项	目	8h	10h	12h	14h	16h	18h
正射*	柠条林	27 417	87 750	122 783	123 840	36 000	23 400
	林外	30 650	92 421	123 165	123 711	39 082	38 064
	差值	3 233	4 671	382	129	3 082	14 664
反射	柠条林	1 058	5 850	8 667	11 520	3 840	2 925
	林外	1 265	11 736	17 388	17 262	5 790	1 171
	差值	207	5 886	8 721	5 742	1 950	1 754

\* 观测时，在同一观测位置分别将照度计接受面向上向下即可

从表1可以看出，林地光照强度小于林外，这是由于林内受到林冠的遮蔽，太阳辐射量到达林冠时部分被反射，穿透冠层时部分被枝叶和树干所吸收。光照强度在林内比林外日平均小5.8%，向上反射量林外比林内高38%。一天中，随着时间的推移，太阳

入射角 ( $Z$ ) 的变化, 林内外光照强度表现出明显的日变化。日出 (早 8 h) 后, 光照强度增加, 到中午 (12~14 h) 达最高峰, 午后又对称的下降。林外比林内上升和下降都迅速, 光照强度林地比非林地弱。

理论上 (相当于不存在大气时), 平行于地球表面的某一平面上的可能辐射通量密度<sup>[31]</sup> (即通常的辐射强度)

$$S_p = \frac{S_0}{r^2} \cos Z = \frac{S_0}{r^2} [\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega t]$$

$S_0$  为太阳常数,  $r$  为日地距离与其平均值之比,  $\delta$  为太阳赤纬,  $\phi$  为地理纬度,  $\omega$  为地球自转角速度 (每小时: /12弧度)。在一天内,  $S_0$ 、 $r$ 、 $\phi$ 、 $\delta$ 、 $\omega$  可视为常数, 则太阳能的日到达量  $S_p$  随  $t$  [距太阳时正午的时间 (h)] 呈余弦规律性变化, 在正午时它有极大值  $S_p = \frac{S_0}{r^2} \cos (\phi - \delta)$ , 其日变化为一对称曲线。但是, 我们观测的柠条林内

外光照强度的日变化呈  $y = ae^{-bx^2}$  ( $e$  表示自然常数, 下同)。

$$\text{林内, } L_{\text{正}} = 117\ 651.60e^{-\frac{t^2}{15.71}} \quad r = -0.91$$

$$L_{\text{反}} = 9\ 985.93e^{-\frac{t^2}{14.11}} \quad r = -0.90$$

$$\text{林外, } L_{\text{正}} = 114\ 634.94e^{-\frac{t^2}{19.63}} \quad r = -0.87$$

$$L_{\text{反}} = 20\ 596.39e^{-\frac{t^2}{8.93}} \quad r = -0.98$$

式中  $L$  为光照强度,

$t = t_i - 13$ , 即中午 13h,  $L$  出现最大值 (可视 13h 为太阳时正午, 即零点)

所不同的是林外比林内变化迅速。光照强度日变化的这种趋势的形成, 可能是由于地球近地表大气层中一日透明度和太阳辐射穿过大气层的路径的变化之故。在晴天中午, 大气透明度变化较小, 太阳射线穿过大气层的路径短, 太阳辐射达到量多, 而早晨 (日出) 和日落前, 太阳射线穿达大气层的路径长, 且近地表层温度低, 湿度高, 对太阳长波辐射的吸收作用较强, 使得光照强度日变化更近于  $L = ae^{-bx^2}$  变化。

林分对太阳能的影响在很大程度上取决于林分的特点。由于柠条林林龄小, 郁闭度不高, 因而对光照强度的影响较弱, 特别是中午 12~14h, 光照强度林内与林外几乎相等。柠条林对太阳能的影响, 引起了林内外气象要素的变化, 现对柠条林所形成的小气候作一分析。

### 3.2 柠条林对温度的影响

#### 3.2.1 气温

3.2.1.1 对日温的影响。柠条灌木林较低, 叶片小, 枝条斜伸呈丛状, 各主枝基部侧枝发育良好且数量较多, 但顶部侧枝稀少, 形成稀疏冠层, 对林内光照的遮挡与减弱没有乔木林那样显著, 因而在林内形成了独特的温度特征。现仍以 7 月 1 日林冠稳定时晴天的观测结果 (见表 2) 加以分析。

从表 2 可以看出, 日出前 (早 6h), 柠条林内外气温均达最低点 ( $16^\circ\text{C}$ ,  $15.5^\circ\text{C}$ ),

表2 柠条林内外气温日变化(1/2树高)

观测项目	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	2h	6h	平均(℃)
柠条林	21.2	26.2	26.5	27	25.8	23.4	19.2	18	17.5	16	22.0
林外	22	26.4	27.0	27.5	26	25.5	19.9	18	16.5	15.5	22.4
林内外振幅差(℃)	-0.8	-0.2	-0.5	-0.5	-0.2	1.1	0.7	0	1.0	0.5	0.4

但林内比林外高0.5℃。随后气温同时升高, 6~8h, 上升速率均达最大(2.6℃/h, 2.85℃/h), 但林内比林外低0.25℃/h。14时温度均达最大(27.0℃, 27.5℃), 但林内低于林外0.5℃, 平均上升速率林内1.38℃/h, 林外1.5℃/h。14时后, 林内外气温下降, 18~20h下降速率均达最大(-2.1℃/h, -2.8℃/h), 林外快于林内。平均下降速率林内-0.79℃/h, 林外-0.75℃/h。日较差( $T_{max} - T_{min}$ )林内11℃, 林外12℃, 日振幅林内小于林外。通过以上分析可以看出: 随着太阳入射角的日变化, 柠条林对气温表现出明显的升温 and 降温作用: 升温时(22~7h), 林内比林外平均升高0.8℃, 降温时(7~22h), 林内比林外平均降低0.6℃。全日平均林内比林外低0.4℃, 全日平均温变率林内小于林外, 日极端最高温林内低于林外0.6℃, 日极端最低温林内高于林外0.5℃, 日较差林内比林外低1℃。受林冠对太阳能的影响, 柠条林内气温日变化可用光照强度日变化相同的曲线方程来表示, 只是温度位相较光照强度落后1h。

$$\text{林内: } y = 24.789e^{-\frac{t^2}{388.5}} \quad r = -0.87$$

$$\text{林外: } y = 25.639e^{-\frac{t^2}{344.0}} \quad r = -0.91$$

式中t表示时间,  $t = t_i - 14$ , 单位小时;  
y表示温度, 单位℃。

3.2.1.2 对生长季(4~10月)平均温度的影响。受林冠对太阳能减弱的影响, 柠条林内日平均气温低于林外, 这导致了整个生长季内月平均气温一直低于林外(见图1)。

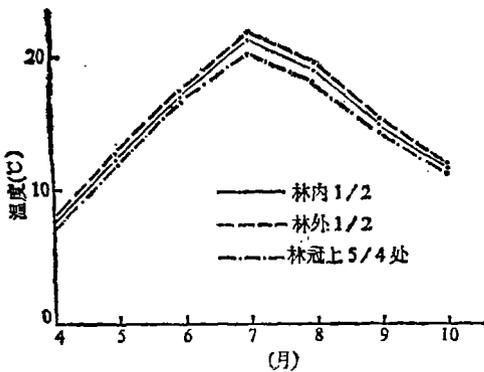


图1 柠条林月平均气温的变化规律

4~7月, 柠条经萌芽开始生长, 林冠处于发育形成期, 至7月份形成较稳定的林冠, 9月以后开始落叶。因此, 林内外及林冠上平均气温月变化(图1)受太阳入射角, 光照强度等季节性变化的影响, 使得4~10月林内外及林冠上气温月变化呈“倒V字”型。林内外气温最大值均出现于7月: 林内月平均值21.5℃, 比林外低0.3℃, 但高于林冠上0.8℃。4~10月平均值林内(15℃) 低于林外0.2℃,

高于林冠上0.5℃。生长季气温月变化呈明显地正态分布:

$$\text{林内1/2树高处: } y = 20.16e^{-0.086T^2} \quad r = -0.90$$

$$\text{林外: } y = 20.476e^{-0.086T^2} \quad r = -0.91$$

$$\text{林冠上 (5/4 树高处): } y = 19.386e^{-0.085T^2} \quad r = -0.90$$

式中T表示时间, 单位(月),  $T = T_i - 7$

y表示温度, 单位( $^{\circ}\text{C}$ )。

### 3.2.2 对土壤温度的影响

3.2.2.1 柠条林对土壤温度日变化的影响。柠条林冠对太阳辐射的遮蔽和阻挡, 导致了林内外下垫面接受太阳辐射能量的不同, 从而影响了林内土壤温度的差异。

从表3可以看出, 柠条林对土壤温度日变化的影响体现在: ①降低土壤温度(用日平均值表示), 0cm林内比林外低 $3^{\circ}\text{C}$ , 5cm低 $2.4^{\circ}\text{C}$ , 10cm低 $0.8^{\circ}\text{C}$ , 15cm低 $1.8^{\circ}\text{C}$ , 20cm低 $1.2^{\circ}\text{C}$ 。林冠对土壤温度的影响, 尤以0cm和5cm最显著。随着土壤深度增加, 林冠的降温作用逐渐减弱(这种作用还体现在日较差中), 而且土壤温度呈现规律性的变化。②降低土壤温度日较差: 0cm土层土壤温度日较差为 $15.2^{\circ}\text{C}$ , 比林外低 $10.8^{\circ}\text{C}$ , 5cm土层日较差为 $10^{\circ}\text{C}$ , 比林外低 $6^{\circ}\text{C}$ , 10cm土温日较差为 $6.6^{\circ}\text{C}$ , 比林外低 $1.3^{\circ}\text{C}$ , 15cm土层日较差为 $4^{\circ}\text{C}$ , 比林外低 $3.3^{\circ}\text{C}$ , 20cm土温日较差为 $4.3^{\circ}\text{C}$ , 比林外低 $0.9^{\circ}\text{C}$ 。另外柠条林还可降低各土层温度极大值, 抬高极小值。

据分析, 随着土层(h)加深, 土壤温度(T)呈现 $T = a - bh$ 或 $T = ae^{-bh}$ 变化趋势。20~6h, 平均土壤温度呈现 $T = ae^{-bh}$ 变化。

$$\text{林内: } T = 24.16e^{-0.008h} \quad r = -0.96$$

$$|r| > \gamma_{0.01} \quad \text{可靠性为99\%}$$

$$\text{林外: } T = 26.85e^{-0.011h} \quad r = -0.97$$

$$|r| > \gamma_{0.01} \quad \text{可靠性为99\%}$$

各层和全剖面土壤温度日变化均可用 $y = ae^{-bx^2}$ 表示, 全剖面(0~20cm土层)

$$\text{林内: } y = 23.98e^{-\frac{t^2}{574.4}} \quad r = -0.91$$

t表示时间, 单位小时,  $t = t_i - 18$

$$\text{林外: } y = 26.51e^{-\frac{1}{443.28}} \quad r = -0.81$$

$$t = t_i - 16 \quad |r| > \gamma_{0.01}$$

林内土温的日振幅小于林外, 且平均变化速率也小于林外。

3.2.2.2 柠条林对土壤温度月变化的影响。柠条林对土壤温度月变化的影响呈现出与日变化相同的规律性(见表4), 这种规律体现在: ①降低土壤温度, 4~10月0cm土温降低 $0.5^{\circ}\text{C}$ , 10cm土温降低 $0.6^{\circ}\text{C}$ , 15cm土温降低 $0.1^{\circ}\text{C}$ , 15cm土温降低 $0.2^{\circ}\text{C}$ , 20cm土温降低 $0.2^{\circ}\text{C}$ , 各层土壤温度平均降低 $0.32^{\circ}\text{C}$ 。在每个月中, 随着土层加深, 土壤温度呈现出 $y = a + bx$ 或 $y = ae^{bx}$  ( $b < 0$ )的递减。

$$4\text{月: 林内: } y = 8.83e^{-0.0147h} \quad r = -0.96$$

$$\text{林外: } y = 8.861e^{-0.0147h} \quad r = -0.95$$

$$5\text{月: 林内: } y = 13.40e^{-0.00594h} \quad r = -0.93$$

$$\text{林外: } y = 14.64 - 0.116h \quad r = -0.98$$

表 3 柠条林对土壤温度日变化的影响

时间	小环境	土 壤 深 度 (cm)					日平均
		0	5	10	15	20	
8	林内	22	21.8	21	19	18.8	20.5
	林外	19	18	18.5	19.2	19.5	18.8
	幅差	3	3.8	2.5	-0.2	-0.7	1.7
10	林内	25.0	20.2	20.0	19.5	18.9	20.7
	林外	36.0	24	23	19.7	19.5	24.4
	幅差	-11	-3.8	-3	-0.2	-0.6	-3.7
12	林内	27.0	23	21.8	19.5	19.2	22.1
	林外	42.0	25	22.1	20.5	20	25.9
	幅差	-15	-2	-0.3	-1	-0.8	-3.8
14	林内	32	23.5	23	20	19.8	23.7
	林外	41.8	34	24.5	23	21.2	28.9
	幅差	-9.8	-10.5	-1.5	-3	-1.4	-5.2
16	林内	29	27	25	21.5	20.5	24.6
	林外	33.5	33	26.5	25.5	23	28.3
	幅差	-4.5	-6	-1.5	-4	-2.5	-3.7
18	林内	31.3	28	26.5	22.3	20.5	25.7
	林外	33.5	33	27.5	26.5	24.3	29
	幅差	-2.2	-5	-1	-4.2	-3.8	-3.3
20	林内	22.5	25	24	23	22.0	23.3
	林外	20	23.2	27	26.5	24.7	24.3
	幅差	2.5	1.8	-3	-3.5	-2.7	-1.0
22	林内	21.1	19	24	23	23.1	22
	林外	17.5	23	25	25.6	24.2	23.1
	幅差	3.6	-4	-1	-2.6	-1.1	-1.1
2	林内	18.4	20.2	21.2	22.4	23	21
	林外	18	18.5	19.8	22.8	21	19.6
	幅差	0.4	1.7	1.4	-0.4	2	1.4
6	林内	16.8	18.0	19.9	20.1	20.5	19.1
	林外	16	18	19.6	21	21	19.1
	幅差	0.8	0	0.3	-0.9	-0.5	0
全日平均	林内	24.5	22.6	22.6	21	20.6	22.3
	林外	27.5	25	23.4	22.8	21.8	24.1
	幅差	-3	-2.4	-0.8	-1.8	-1.2	-1.8

表4 柠条林内外土壤温度月变化 (°C)

月 份		土 层 深 度 (cm)				
		0	5	10	15	20
4月	林内	9.1	7.8	7.4	6.9	6.7
	林外	9.3	7.9	7.4	7.1	6.8
	幅差	-0.2	-0.1	0	-0.2	-0.1
5月	林内	13.7	12.7	12.5	12.3	12.0
	林外	14.8	13.8	13.5	13.0	12.3
	幅差	-1.1	-1.1	-1	-0.7	-0.3
6月	林内	18.9	18.7	18.3	17.7	16.9
	林外	19.4	19.0	18.5	18.3	17.9
	幅差	-0.5	-0.3	-0.2	-0.6	-1.0
7月	林内	24	21.8	21.3	20.5	20.2
	林外	25.4	23.2	21.8	21.5	20.9
	幅差	-1.4	-1.4	-0.5	-1.0	-0.7
8月	林内	20.1	18.2	18.0	17.6	17.2
	林外	20.7	19.8	18.9	18.2	17.7
	幅差	-0.6	-1.6	-0.9	-0.6	-0.5
9月	林内	17.0	15.3	14.8	14.8	14.7
	林外	15.8	15.2	14.5	14.7	14.6
	幅差	1.2	0.1	0.3	0.1	0.1
10月	林内	7.4	5.6	6.5	6.1	5.3
	林外	8.2	5.6	5.1	4.2	4.4
	幅差	-0.8	0	1.4	1.9	0.6
4~10月平均	林内	15.7	14.3	14.1	13.7	13.3
	林外	16.2	14.9	14.2	13.9	13.5
	平均	-0.5	-0.6	-0.1	-0.2	-0.2

6月: 林内:  $y = 19.1 - 0.1h$

$r = -0.97$

林外:  $y = 19.36 - 0.074h$

$r = -0.99$

7月: 林内:  $y = 23.34e^{-0.00813h}$

$r = -0.94$

林外:  $y = 24.70e^{-0.00932h}$

$r = -0.95$

8月: 林内:  $y = 19.49e^{-0.0069h}$

$r = -0.91$

林外:  $y = 20.60e^{-0.0079h}$

$r = -0.996$

9月: 林内:  $y = 16.32e^{-0.0065h}$

$r = -0.839$

林外:  $y = 15.54 - 0.058h$

$r = -0.847$

10月: 林内:  $y = 6.92 - 0.074h$

$r = -0.711$  ( $|r| > \gamma_{0.05}$ )

$$\text{林外: } y = 7.25e^{-0.0031h} \quad r = -0.91$$

在整个生长季(4~10月)

$$\text{林内: } y = 15.302e^{-0.0077h} \quad r = -0.94$$

$$\text{林外: } y = 15.83e^{-0.0027h} \quad r = -0.96$$

式中 $y$ 为土壤温度( $^{\circ}\text{C}$ ),  $h$ 为土层深(cm)。

②降低土壤温度月较差。0 cm土温月较差为16.6 $^{\circ}\text{C}$ , 比林外降低0.6 $^{\circ}\text{C}$ ; 5 cm土温月较差为16.2 $^{\circ}\text{C}$ , 比林外降低1.4 $^{\circ}\text{C}$ ; 10 cm土温月较差为14.8 $^{\circ}\text{C}$ , 比林外降低1.9 $^{\circ}\text{C}$ ; 15 cm土温月较差为14.4 $^{\circ}\text{C}$ , 比林外降低2.9 $^{\circ}\text{C}$ ; 20 cm土温月较差为14.9 $^{\circ}\text{C}$ , 比林外降低1.6 $^{\circ}\text{C}$ 。另外柠条林还可降低各层土温极大值和提提高极小值, 降低土温月振幅。柠条林对月土温的影响与对日温的影响相同, 随着土层的加深依次减弱。

各层土壤温度月变化呈现明显地 $y = ae^{-bx^2}$ 分布, 4~10月各层土壤温度月变化可描述为:

$$0 \text{ cm: 林内: } y = 22.97e^{\frac{-T^2}{8.86}} \quad r = -0.97$$

$$\text{林外: } y = 23.52e^{\frac{-T^2}{9.08}} \quad r = -0.99$$

$$5 \text{ cm: 林内: } y = 21.89e^{\frac{-T^2}{7.68}} \quad r = -0.97$$

$$\text{林外: } y = 23.22e^{\frac{-T^2}{7.36}} \quad r = -0.98$$

$$10 \text{ cm: 林内: } y = 21.17e^{\frac{-T^2}{8.18}} \quad r = -0.99$$

$$\text{林外: } y = 22.39e^{\frac{-T^2}{7.15}} \quad r = -0.97$$

$$15 \text{ cm: 林内: } y = 20.79e^{\frac{-T^2}{7.92}} \quad r = -0.99$$

$$\text{林外: } y = 22.40e^{\frac{-T^2}{6.60}} \quad r = -0.95$$

$$20 \text{ cm: 林内: } y = 20.52e^{\frac{-T^2}{7.51}} \quad r = -0.98$$

$$\text{林外: } y = 21.68e^{\frac{-T^2}{6.75}} \quad r = -0.96$$

式中,  $y$ 表示月平均土温( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T$ 表示时间,  $T = T_i - 7$

### 3.3 柠条林对空气相对湿度的影响

柠条林对林内光照、温度的影响, 必然导致林内相对湿度的变化。

#### 3.3.1 柠条林对空气相对湿度日变化的影响

柠条林内水汽分子的主要来源为: 一为土壤水分蒸发及少量杂草和其它绿色植物的蒸腾; 二为林冠层蒸腾, 林冠截留降水和林冠凝结水的物理蒸发; 三为空气对流。影响林内空气相对湿度的决定因素为林内空气温度。

由表5可以看出, 柠条林内外及林冠上的空气相对湿度在8~20h基本上呈“V型”变化, 20~次日6h则基本上变化较小。早晨(8~10h), 林内外及林冠上空气湿度随

表5 柠条林内外空气相对湿度日变化观测值

项 目	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	2h	6h	日平均(%)	
1/2高	林内	84	50	40	32	45	52	66	66	71	71	57.7
	林外	80	49	38	30	43	50	65	66	70	70	56.1
	幅差	4	1	2	2	2	2	1	0	1	1	1.6
5/4高	林内	80	58	38	31	45	50	64	64	68	69	56.7
	林外	78	54	36	29	42	48	64	68	67	68	55.4
	幅差	2	4	2	2	3	2	0	-4	1	1	1.3

着温度的升高而锐减，在1/2树高处每小时递减速率为27%，比林外快11.5%，比5/4树高处快11%。10~14h渐趋缓慢，并于14h（林内外及林冠上气温均达最大值）达最低点，林内（1/2树高）为32%，比林外高2%，比林冠上（5/4树高）高1%。14~20h，柠条林内外及5/4树高处均回升。全日平均林内（1/2树高）为57.7%，比林外高1.6%，比林冠上高1%。林内1/2树高处空气相对湿度日较差为52%，大于林外2%，大于林冠上3%。柠条林对空气湿度的影响表现在提高空气湿度，加大日变幅，日较差，提高极大值和极小值，相对湿度日变化服从 $y = ae^{bx^2}$ 。

相对湿度垂直变化梯度（以日均值表示）：

林内（1/2~5/4树高）为-1/67.5即每升高67.5cm，空气相对湿度降低一个百分点。

林外（相同高度范围）为：-1/96.4。

### 3.3.2 柠条林对空气相对湿度月变化的影响

空气相对湿度月变化复杂，不象空气相对湿度日变化那样，除太阳入射角Z（太阳入射角Z和高度角A关系为 $\cos Z = \sin A$ ）引起温度有规律的变化影响外，其它因子的影响较小，可以忽略不计。而4~10月，各月的降雨量，降雨强度，降雨持续日，间隔天数，阴天数及天阴程度，风速等等之不同，这些影响林冠蒸腾、截留量、凝结水、温度、土壤湿度等的因子都影响着空气相对湿度的月变化，这些因子每月分配不均，这种差异加剧了随着光照，温度节律性变化。柠条生长对空气相对湿度的影响见表6。

表6 柠条林内外空气相对湿度的月变化 (%)

项 目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	月平均	
1/2高	林内	51	48.5	59.2	57.1	74.2	68.2	65.4	60.5
	林外	50	48	58.6	57	72.3	68.0	64.8	59.8
	幅差	1	0.5	0.6	0.1	1.9	0.2	-0.6	0.7
5/4高	林内	47.3	47.4	58.1	56.9	73.0	66.7	64.7	59.2
	林外	47	47.2	57.5	57	72.5	65.2	63.7	58.6
	幅差	0.3	0.2	0.6	-0.1	0.5	1.5	1.0	0.6

从表6可以看出，林内（1/2树高处）空气湿度月均值为60.5%，比林外高0.7%，比林冠上高1.3%，而空气湿度月变化基本上沿着某一直线上下起伏式上升。这

条直线为：

$$\text{林内： } p = 36.11 + 3.49t \quad r = 0.81 \quad (|r| > r_{0.05})$$

$$\text{林外： } p = 35.289 + 3.50t \quad r = 0.83$$

$$\text{林冠上（5/4树高处）： } p = 32.88 + 3.79t \quad r = 0.85$$

上式中：p——相对温度，t——时间（月）

从平均变化速率来看：林内 < 林外 < 林冠上。

### 3.4 几个重要关系探讨

#### 3.4.1 温度与光照的关系

由于太阳辐射的影响，热量被地面吸收使地面温度发生改变，于是气温和地温均随着改变。但因空气容易流动，热量交换快，所以气温变化比土壤温度快。气温比较明显地周期性变化是日变，其原因主要由于太阳入射角的周期变化所致。

据分析，林内气温（8~18时）与光照强度呈

$$T = 22.39 + 0.000037L \quad r = 0.79$$

式中，T为气温（℃），L为光照强度（lx）

$|r| > r_{0.05}$ ，可靠性达95.0%。

#### 3.4.2 相对湿度与温度的关系

空气相对湿度日变化大致和气温日变化相反即清晨（早8h）气温低时，空气相对湿度反而最高，中午（14h）气温最高时，空气湿度反而最低。据报导：水面的饱和水

气压（E）随温度（t）的升高而增大，其关系符合  $E = E_0 \cdot 10^{\frac{7.45t}{235+t}}$ ， $E_0$ 为0℃时的饱和水汽压（ $E_0 = 6.11\text{mb}$ ，而P（相对湿度）=  $e/E \times 100\%$ ，所以

$$P = -\frac{e}{E_0} \cdot 10^{-\frac{7.45t}{235+t}} = -\frac{e}{E_0} \cdot 10^{-\frac{t}{31.54}}$$

又因为随着温度的升高，实际水汽压e的增加远落后于E，可近似的认为  $e/E_0$  为常数，则相对湿度与温度的关系可用  $P = K \cdot 10^{bt}$ （ $b < 0$ ）描述。通过对柠条林林冠稳定时（7月1日）观测的数据进行分析，则：

$$\text{林内1/2树高处， } P = 220.28 \cdot 10^{-0.028t} \quad r = -0.85$$

$|r| > r_{0.001}$ ，可靠性为99.9%。

$$\text{林冠上， } P = 162.067 \cdot 10^{-0.022t} \quad r = -0.76$$

$|r| > r_{0.01}$ ，可靠性为99.0%

$$\text{林外1/2树高， } P = 180.57 \cdot 10^{-0.0229t} \quad r = -0.81$$

$|r| > r_{0.01}$ ，可靠性为99.0%

（由于  $e_h = e_0 \cdot 10^{-\frac{h}{6300}}$ ，林内（1/2树高处）和林冠上（5/4树高处）高度差仅为0.67m，所以由于高度差异所引起的e差（ $\Delta e = 0.000742 \approx 0$ ）可以忽略不计。

由上面3个回归方程的相关系数可以看出：林内P与t近似于函数关系（可靠性为99.9%），林外、林冠上，相关系数低于林内。

#### 3.4.3 空气湿度与林冠层蒸腾的关系

干旱半干旱地区，空旷地一般气候干燥，相对湿度低。柠条林地表层土壤含水量

低，受林冠的影响温度低，空气对流较弱，土壤蒸发量小，但是林内空气相对湿度不仅高于林外，而且高于林冠上。这种格局的形成与林冠层的蒸腾有关。为了弄清它们之间的关系，我们采用林冠稳定时的8~18h的蒸腾速率与相对湿度进行回归分析。因为蒸腾量 = 叶量 × 蒸腾速率 × 时间，时间间隔越短，林冠蒸腾量与蒸腾速率相比愈不易获得，而蒸腾量在时间不变的情况下与蒸腾速率成正比例函数关系。林冠叶量在林冠稳定时基本为常数，此时林冠蒸腾量可用蒸腾速率代替。

相对湿度与蒸腾速率关系为：清晨（早8h），相对湿度大而林冠蒸腾速率低，中午相对湿度较小而林冠蒸腾速率较大。为了进一步摸清蒸腾速率（q）对相对湿度的影响，分别采用常见的 $y = a + bx$ 、 $y = a \cdot 10^{bx}$ 、 $y = ax^b$  ( $b < 0$ ) 等进行分析，结果表明：

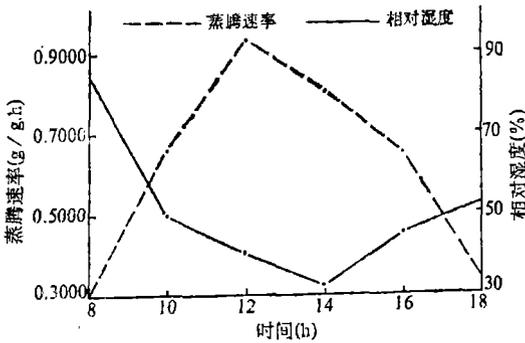


图2 林内相对湿度与林冠蒸腾速率的关系

可靠性为95%。

柠檬林内（1/2树高处）空气湿度与蒸腾速率的关系比林冠上（5/4树高处）密切，其关系式可采用 $y = ax^b$ 表示：

林内： $p = 34.38 \cdot q^{-0.59}$   
 $r = -0.85 \quad |r| > \gamma_{0.02}$   
 可靠性为98%，  
 林冠上： $p = 34.92 \cdot q^{-0.56}$   
 $r = -0.78 \quad |r| > \gamma_{0.05}$

### 4 结 论

通过以上分析，可得出以下几点结论：

4.1 柠檬林地受林冠活动层的遮蔽和阻挡，光照强度白天林内低于林外5.8%，光照强度日变化呈 $L = ae^{bx^2}$ 规律性变化。

4.2 林地与非林地由于其下垫面接受太阳能的差异而形成了各自独特的温湿特征。林内日均气温比林外低0.4℃，月平均值低0.3℃，气温日、月变化符合 $y = ae^{-bx^2}$ ；日平均相对湿度林内比林外高1.6%，月平均高0.7%，日变化呈 $y = ae^{-bx^2}$ 趋势，月变化则沿某一直线（ $y = a + bx$ ）上下波动。温度随光照强度的升高而升高，影响林内空气相对湿度的主要因子为温度，其关系为 $p = a \cdot 10^{-bt}$ ，呈负相关关系；柠檬林内空气湿度与蒸腾速率的关系比林外密切，其关系为 $p = a \cdot q^{-b}$ ，呈负相关关系。

4.3 林地土壤温度日变化比林外小，均体现在各层土温的日（月）均气温，日（月）均振幅和日（月）较差上。白天（除8h20min）随着土层深度增加，林冠对土壤温度的影响依次减弱，〔体现在日（月）平均温度和日（月）较差〕，且服从 $y = a + bx$ 或 $y = ae^{bx}$  ( $b < 0$ ) 规律性变化，22~6h，土壤温度的变化呈 $y = ae^{-bx^2}$ 。

4.4 林冠对土壤温度影响的最敏感层次为表土层（0cm），日均温林内比林外下

降 $3^{\circ}\text{C}$ ，月平均下降 $0.5^{\circ}\text{C}$ ，日较差下降 $10.8$ ，月较差下降 $0.6^{\circ}\text{C}$ 。该层为土壤蒸发的活跃层——介质面，温度降低，有利于抑制林内土壤水分蒸发，提高土壤水分利用率，这对干旱、半干旱地区尤为重要。

致谢：本文曾得到李代琼副研究员指导，特此谢意。

### 参 考 文 献

- [1] 郭忠升、吴钦孝、施立民，利用模糊数学进行黄土丘陵区“三料”林树草种选择的探讨，《生物数学学报》，5（3）1990
- [2] 冯定原、王雪娥编著，《农业气象学》，江苏科学技术出版社，1984。2
- [3] [美] L. 理查德著，中译本，《森林小气候学》，气象出版社，1986。4

（上接第83页）

平均地表径流量仅 $1\ 616\text{m}^3/\text{km}^2$ ，为农地的 $43.5\%$ ，土壤流失量 $3.9\text{t}/\text{km}^2$ ，只相当于农地的 $1/88$ ，但与采伐地相比，由于山杨采伐后具有从根部萌生枝条的能力，从而形成较稠密的幼林，继续发挥多种功能，因此，采伐地的地表径流量和土壤流失量不仅没有增加，还比原有林分略有减少，说明对山杨林资源，只要采取合理经营利用，就可以避免给山区的水土保持带来不良影响。

表 5 山杨林保水保土效益

项目	雨 季 降水量 (mm)	地 表 径 流 量 ( $\text{m}^3/\text{km}^2$ )			土 壤 流 失 量 ( $\text{t}/\text{km}^2$ )			备 注
		山杨林	山杨林 采伐地	农 地	山杨林	山杨林 采伐地	农 地	
1988	248.0	1543	1549	4710	4.17	2.75	253.83	各径流观
1990	479.6	1689	1250	5999	3.63	2.52	432.61	测小区的
平均	363.8	1616	1400	5355	3.90	2.64	343.22	坡度为 $21^{\circ}$
%		100.0	86.6	331.4	100.0	67.7	8 800.5	

值得指出的是，与各地观测结果一样，黄土高原每年造成的大量水土流失，主要是由几场暴雨引起的。试验区1990年7月21~22日的一次 $47.4\text{mm}$ 的暴雨，虽降雨量只相当于雨季降水量的约 $1/10$ ，但造成的水土流失量则分别占当年同期地表径流量的 $60.2\%$ ，土壤流失量的 $84.6\%$ ，这对于认识和掌握该地区水土流失的规律是很有意义的。

### 参 考 文 献

- [1] 朱显谟，《黄土高原土壤与农业》，农业出版社，1989
- [2] 宁夏林业厅自然保护区办公室、宁夏六盘山自然保护区管理处，《六盘山自然保护区科学考察》，宁夏人民出版社，1988
- [3] 中国科学院西北水土保持研究所，《黄土高原杏子河流域自然资源与水土保持》，陕西科学技术出版社，1986