

# 上黄试区主要灌木树种蒸腾作用的试验研究

程积民 董建国

(中国科学院  
水利部 西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

**摘要** 试验于1991~1994年在固原上黄试区柠条(*Caragana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、山桃(*Prunus davidiana*)灌木林地进行。通过对3种灌木蒸腾强度在生长期和生长末的日变化,以及这些变化与环境因子的关系的研究,有助于了解不同灌木树种在半干旱条件下对水分的需求,并对大力发展和合理经营灌木林,充分发挥灌木林的多种生态经济效益提供科学依据。

**关键词** 黄土丘陵 灌木 蒸腾作用

## A study on the Transpiration of the Main Shrub Species in Shanghuang

Cheng Jinmin Dong Jianguo

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and  
Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

**Abstract** The experiment was carried out at the land of shrub forest (*Caragana korshinskii*, *Hippophae rhamnoides*, *Prunus davidiana*) from 1991 to 1994 at Shanghuang Experimental Field in Guyuan county. This paper studied the daily changes of transpiration rate at growth period and the end of growth of three species, and the relationship between these changes and environment factor. It will contribute to understand the demand of water of different species of shrub at semi-arid condition, and provide the scientific basis for energetically developing and reasonable managing shrub forest, and also for bringing ecological and economic benefits of shrub forest into full play.

**Key words** loess hills transpiration shrub

蒸腾是植物生理生态特性的主要指标,也是植物体内水分平衡的主要环节。植物为了调节体内生理机制,适应变化着的环境进行蒸腾作用。植物蒸腾作用可使大量的水分经根部吸收而向大气扩散,使土壤中水分减少,地下水位降低,也可减少土壤表面的水分蒸发。缩小植物叶肉细胞内水分饱和差与大气水分饱和差之间的梯度,调节植物水分的乏缺,保证植物体内水分的有效利用。尤其在半干旱的黄土丘陵区,研究植物体内水分的变化,为选择抗旱的造林树种,尽快恢复植被提供科学的依据。

## 1 自然概况

试验设在宁夏固原县东部山区上黄试区,上黄试验区属于半干旱黄土丘陵区,土地状况复

杂。年平均气温 7℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温 2 600℃, 无霜期 152 天, 植物生长期 ( $> 0^\circ\text{C}$  持续天数) 244 天。年降水量 472mm, 四季分配不均, 春夏秋冬依次为 4.6%、24.5%、59.6% 和 11.3%, 且夏季多暴雨冰雹。年干燥度 1.55, 4~5 月干燥期达 2.49。海拔 1 516~1 795m, 土壤主要为细黄土。大面积的天然牧荒坡由于过度放牧超载、滥牧, 已严重退化。草地植被覆盖度 25%~45%, 亩产鲜草 50kg~80kg。自“六五”、“七五”、“八五”初, 该试验区对治理范围内的各种土地类型(牧荒坡)进行了全面的规划, 根据规划, 10 多年来治理荒山荒坡, 建立以柠条、沙棘、山桃为主的灌木“三料”林 2 300 亩, 生长情况见表 1。

表 1 灌木林的生长情况

品 种	生长年限(年)	造林方式	株高(cm)	分枝(个)	产量(kg/亩)
柠 条	8	水平沟	115	20	335
柠 条	3	水平沟	69	5	186
沙 棘	10	水平沟	128	5	455
沙 棘	5	水平沟	83	4	195
山 桃	8	鱼鳞坑	140	4	310
山 桃	3	鱼鳞坑	82	3	130

注:此表为 1994 年 6 月调查

## 2 研究材料与方法

研究材料为近几年来我们在该试区通过全面调查并根据植物生理、生态学特性, 选择在试区内适应性强、生长快、效益高的优良灌木树种柠条、沙棘、山桃作为测试材料。

方法是用 0.001% 的电子天平快速称重, 样品取自同株植物的向阳面中部叶片, 或同化株, 均于上午的 8h 至 22h 测定, 每隔 2h 测定一次, 重复 3 次, 用加权法求蒸腾量。同时还测定空气温度、相对湿度、光照、风速等气象因子。

## 3 结果分析

### 3.1 蒸腾强度的日变化

黄土丘陵半干旱区植物蒸腾强度, 不同植物各不相同, 但是蒸腾强度的日变化却表现了一致的趋势, 一般随着太阳的升起, 气温的增高, 大气中相对湿度的降低, 蒸腾强度迅速增加, 逐渐达一高峰。然后, 随着气温的降低, 而又逐渐下降或停止。

3.1.1 植物生长期(7月)蒸腾强度的日变化 植物在生长期蒸腾强度的日变化过程见表 2。

表 2 3 种灌木生长期蒸腾强度的日变化 (mg 水/g 鲜重/h)

时间(h)	8	10	12	14	16	18	20
柠 条	546.0	564.0	635.0	495.0	479.0	490.0	409.0
沙 棘	303.0	309.0	329.0	253.0	396.0	350.0	252.0
山 桃	420.0	433.0	475.0	358.0	457.0	399.0	279.0

由表 2 可以看出, 柠条、沙棘、山桃蒸腾强度的日变化过程差异显著, 就蒸腾强度出现的高峰期来看, 柠条蒸腾强度最大, 日高峰期出现在 12h 左右, 为 635mg 水/g 鲜重/h。其次为山桃, 日高峰期出现在 12h 左右, 为 475mg 水/g 鲜重/h。沙棘较低, 日高峰期出现在 16h 左右, 为 396.0mg

水/g 鲜重/h。柠条、沙棘、山桃蒸腾强度的日变化为双峰曲线型,随着气温的逐渐上升,而不断增高。这种日变化同小气候因子相一致,同时与植物气孔的活动规律相吻合。一般第一高峰期出现后,植物午休后又接着出现第二高峰期。在一年内生长期植物的蒸腾强度较大,因为这时气温、降水较适中、植物体内各种生理因子变化幅度大,同化和代谢作用增强,有利于蒸腾。

3.1.2 植物生长末期(9月)蒸腾强度的日变化 该试区9月份许多种植物已停止生长多处于成熟期,为此进行蒸腾强度日变化的测定,摸清植物在生长后期对干旱的适应能力及生物学特性的变化(见表3)。

表3 3种灌木在生长末期蒸腾强度日变化 (mg水/g鲜重/h)

时间(h)	8	10	12	14	16	18	20
柠条	156.0	552.0	743.0	683.0	464.0	229.0	155.6
沙棘	117.0	304.0	691.0	470.0	267.0	111.0	102.5
山桃	175.0	293.0	688.0	474.0	396.0	139.0	130.0

由表3可以看出3种灌木在生长末期蒸腾强度的日变化差异较大,但变化趋势相一致,日高峰期出现在12h左右,3种灌木相比,高峰期蒸腾强度的变化幅度很小,变化范围在688.0~743.0mg水/g鲜重/h之间。蒸腾强度的日变化曲线不同于生长期,一般为典型的单峰曲线型,从总体看生长末期的蒸腾强度远低于生长期,这种现象除植物本身的生物学特性外,另外与当时的环境因子变化有关,使植物得不到正常的供水(降雨量11.9mm/月),正常的生理活动受到障碍,使植物的蒸腾强度降低,而且在一日的变化幅度远低于生长期。

### 3.2 蒸腾强度的月变化

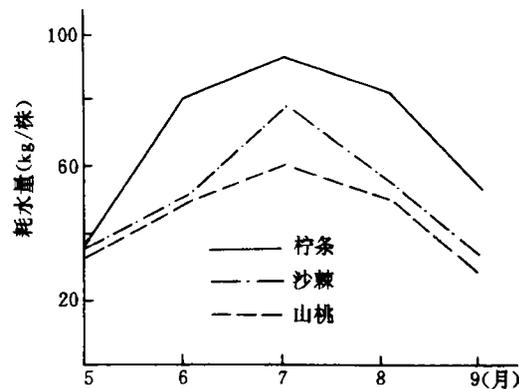
在黄土丘陵3半干旱区由于土壤水分含量低,植物在整个生长期蒸腾强度均较低,但由于气温、湿度和光照强度的差异及植物本身萌动、休眠等原因,各月差异也较大,见图1,一般规律是:生长初期较低,后随着气温增高蒸腾强度逐渐增大,7月达最大值,生长后期又逐渐降低,直到植物休眠,蒸腾基本停止。

从测定结果还可以看出柠条生产1g干物质在整个生育期需要耗水0.621kg、沙棘0.539kg,山桃0.66kg。

### 3.3 环境因子对蒸腾强度的影响

在黄土丘陵半干旱区影响植物蒸腾强度的主要环境因子是大气因子,因此在测定植物蒸腾强度的变化过程时,同时也进行了气温、相对湿度、光照、风速等因子的观测。

气温,是影响蒸腾的主要因子,随着气温的增大,蒸腾强度也在增大,但增到一定限度又开始下降,以柠条、沙棘、山桃为例来研究蒸腾强度与气温的关系、气温从12.5℃开始蒸腾强度增高,逐渐增高到21.2℃时达到高峰,随后又开始下降,因此气温与蒸腾强度呈正相关,相关性较显著,见表4。



附图 蒸腾耗水量月变化曲线

表 4 蒸腾耗水量与气温关系

树种	回 归 系 数		相 关 系 数 R
	a	b	
柠条	6.043 5	0.143 5	0.613 7
沙棘	8.627 9	0.170 0	0.845 8
山桃	6.690 2	0.230 9	0.867 4

相对湿度、蒸腾强度与相对湿度的关系,经回归分析,呈负相关,当相对湿度最高时蒸腾强度最低。3种灌木蒸腾强度达到最高时相对湿度为 15%,最低时相对湿度为 87%。这一现象则反映出植物在一天的生长中对体内水分的收支平衡起着重要的调节作用。因此相关系数 R 值,柠条、沙棘、山桃分别为 -0.882 4、

-0.853 6、-0.822 4。气温、相对湿度的变化影响着植物气孔内外蒸汽压梯度的变化,从而改变蒸腾速率,使蒸腾强度随气温升高,相对湿度减小,呈一定的线性关系。

光照强度,光照强度影响着灌木气孔的开闭,故影响着蒸腾速率,从测定的结果来看,在黄土丘陵半干旱区,3种灌木当光照在 10~12 万 Lex 时蒸腾强度最大,蒸腾强度与光照强度呈正相关,且相关系数分别在 0.821 3,0.913 5,0.845 9,以 90%的可靠性估计相关系数显著。光照可以使大气的温度提高,同时也提高了叶温,有利于蒸腾。光照还能使气孔开放,减少植物的内部阻力,从而加强蒸腾作用。

### 3.4 土壤水分对蒸腾的影响

土壤水分是黄土丘陵半干旱区植物生长的首要限制因子,同时与蒸腾强度息息相关,从 3 种灌木林地土壤水分的测定结果来看,见表 5。

表 5 3 种灌木林地土壤含水量变化 (%)

深度 (cm)	柠 条			沙 棘			山 桃		
	5月	7月	9月	5月	7月	9月	5月	7月	9月
10	6.8	4.0	6.6	10.5	6.2	13.6	7.5	5.8	8.2
50	8.2	4.2	4.2	13.1	6.7	6.0	9.5	6.6	6.0
100	8.4	4.9	4.6	11.5	6.5	6.2	5.1	4.9	5.0
150	7.0	5.2	5.2	7.2	6.7	6.0	4.7	4.5	5.0
200	6.6	5.9	5.9	5.9	5.4	5.7	6.0	4.8	4.9
250	6.7	6.3	6.4	6.1	6.3	5.6	5.8	5.8	5.4
300	7.2	6.6	6.5	6.8	7.0	6.7	6.0	6.1	6.1
350	8.4	7.7	7.6	7.8	7.6	7.0	6.3	6.0	6.5
400	8.9	8.6	8.2	8.7	7.8	7.3	7.4	6.0	7.0
450	10.0	8.8	8.8	10.7	8.9	7.8	7.8	7.0	7.7
500	11.7	9.8	9.4	11.8	10.6	9.0	7.8	8.0	7.8

由表 5 可以看出,不同时期 3 种灌木林地的土壤含水量差异较大,但可以看出 3 种林地相同的规律是,当地面气温升高,蒸腾强度增大时,土壤的含水量降低(7 月份),柠条 0~200cm 土壤含水量变化 4.0%~5.9%,沙棘 5.4%~6.2%,山桃 4.5%~6.6%。随着土壤深度的增加,含水量又逐渐恢复,柠条 210~350cm 含水量变化 6.3%~7.7%,沙棘 6.3%~7.6%,山桃 5.0%~6.1%。360~500cm 柠条

含水量变化 7.7~9.8%,沙棘 7.6~10.6%,山桃 6.0~8.0%。另外,当地面气温还未升高或降低时(5 月、9 月份),蒸腾强度相应降低,不同深度的土壤含水量与 7 月相比得到了提高,0~200cm 柠条提高 27%、沙棘提高 18%、山桃提高 29%;210~350cm 柠条提高 5%、沙棘 6%、山桃 9%;360~500cm 柠条提高 13.2%、沙棘 9%、山桃 12%。蒸腾强度与土壤水分的变化相一致,5 月与 7 月相比,蒸腾耗水量柠条降低 12.3%、沙棘 49%、山桃 37.4%;9 月与 7 月相比蒸腾耗水量柠条降低 42.0%、沙棘 57.2%、山桃 55.3%。从 3 种灌木林地测定的土壤含水量看,水分是不能满足林木的正常生长,但不同季节相比差异较大,而且也影响到了叶片的蒸腾强度。

(下转第 37 页)

### 3 淤地坝减沙作用展望

淤地坝系拦泥的潜力很大。其一是现有坝若继续加高,可以增加大量拦泥库容,且事半功倍。投资低,效益显著。其次是还有很多荒沟可以发展坝系,在多沙粗沙区的秃尾河、窟野河、孤山川、皇甫川等流域,根据现状调查淤地坝建设缓慢,大半是荒沟,已有淤地坝的沟道大多数未形成坝系,坝的密度小,发展淤地坝潜力很大。据黄委会黄河上中游管理局资料统计,黄河中游多沙粗沙区(指年侵蚀模数大于 $5\ 000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ )约 $15.6\ \text{万}\ \text{km}^2$ ,沟长大于 $0.5\ \text{km}$ 的沟道约8万条,这些沟道多有建坝条件。如果能将长度 $3\ \text{km}$ 以下的沟道控制住,仅河龙区间就有 $8\sim 9\ \text{万}\ \text{km}^2$ 的面积不向黄河输沙,每平方公里输沙模数按 $5\ 000\text{t}/\text{km}^2$ 计每年就可减少泥沙4亿t,数字是非常可观的。

按黄河流域黄土高原地区水土保持专项治理规划要点,1991~2000年坝地新增面积300万亩,占新增总面积的5%,(梯田、坝地、小片水地共占总面积的30%、林草占70%),到2000年各项措施共减少入黄泥沙6.8亿t,其中梯田、淤地坝和小水库减少入黄泥沙5.3亿t,占总减沙量的77.9%,可见淤地坝对减少入黄泥沙将起重大的作用。因此,在坡沟综合治理的同时,应进一步合理规划坝系,加大投入力度,加快开发建设速度。

#### 参 考 文 献

- [1] 茹克梯. 汾河水库上游的淤地坝建设及效益.《中国水土保持》,1993年,第9期
- [2] 熊贵枢等. 1919~1989年黄河的水沙变化分析.《水土保持学报》,1992年,第2期
- [3] 刘勇等. 南小河沟流域治沟骨干工程的固沟保土作用《中国水土保持》,1992年,第12期

(上接第21页)

### 4 结 论

综上所述,黄土丘陵半干旱区柠条、沙棘、山桃蒸腾作用的变化受气温、光照、相对湿度、风速、土壤含水量等因子的影响极大。在生长期一日内蒸腾高峰在12h左右,柠条蒸腾强度为635、沙棘为329、山桃为475mg水/g鲜重/h。在生长末期蒸腾高峰期在12h左右,蒸腾强度柠条为743、沙棘为691、山桃为688mg水/g鲜重/h。蒸腾耗水量月变化以7月份为最高,柠条91.2kg/株·月、沙棘78.7kg/株·月、山桃60.2kg/株·月。在整个生育期生产1g干物质需要耗水,柠条0.621kg,沙棘0.539kg,山桃0.660kg。从环境因子及土壤含水量的影响看,经相关分析,呈正相关,相关性较显著。

为此,该研究为黄土丘陵半干旱区大力营造灌木林,并从植物生理生态学的角度提供了科学依据。

#### 参 考 文 献

- [1] 程积民. 黄土丘陵半干旱区几种牧草蒸腾作用的研究.《干旱区研究》,1989年,第2期
- [2] 程积民. 宁夏南部主要灌木树种的合理利用与布局.《水土保持通报》,1991年,第1期