

# 宁南五种灌木林蒸腾和水分利用率 试验研究

李代琼 刘向东 吴钦孝 施立民 郭忠升 刘克俭\*

(中国科学院西北水土保持研究所  
水利部)

## 摘 要

1988~1990年在降水量为450 mm的宁夏固原半干旱黄土区进行了蒸腾、净初级生产量和土壤水分测定。试验结果表明:刺槐、沙棘、山桃、柠条、胡枝子的水分利用率各为:2.12、1.53、1.14、0.54、0.51g/m<sup>2</sup>·mm,分别是封禁7~9年天然植被的8.8、6.4、4.8、2.3和2.1倍。五种灌木林生产1g地上干物质比天然植被少耗水3 711~1 935g。因此,在半干旱黄土区的荒坡、荒沟营造燃料、饲料和肥料灌木林,是对水分资源的有效利用。这是快速治理荒山的有效途径。本试验还提出提高灌木林水分生产力的有效措施。

**关键词** 灌木林 蒸腾 净地上初级生产量 水分利用率

## AN EXPERIMENT AND STUDY ON TRANSPIRATION AND WATER USE EFFICIENCY OF FIVE SHRUBBERIES IN SOUTHERN NINGXIA

Li Daiqiong Liu Xiangdong Wu Qinxiao

Shi Limin Guo Zhongsheng Liu Kejian

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation,  
The Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy)

## Abstract

This experiment was carried out in semiarid Guyuan in the loess hilly region from 1988 to 1990. The annual rainfall is about 450mm in experiment area. Through experimental observation on the transpiration, net aboveground primary production and soil moisture, the results showed that the water use efficiency of *Robinia pseudoacacia*, *Hippophae rhamnoides*, *Prunus davidiana*, *Caragana microphylla*, and *Lespedeza bicolor* was 2.12, 1.53, 1.14, 0.54, 0.51g/m<sup>2</sup>·mm, respectively, and they were 8.8, 6.4, 4.8, 2.3 and 2.1 times of

\* 刘克俭同志的工作单位系固原县科委。

natural vegetation that has been closed for 7~9 years. The water consumption for producing 1 g aboveground dry matter in shrubs was less 3 711~1 935 g than that of natural vegetation, So in the semiarid loess region establishing shrub forests for fuel, forage and manure is effective avenue to use effectively water resources and to speed harnessing barren hills.

The effective measure for raising shrub productivity was proposed in this paper.

**Key words** shrubbery transpiration net aboveground primary production water use efficiency

1982~1987年宁夏固原县灌木“三料”林树种引选试验成功后,在当地种植面积逐年扩大,效果良好。这些灌木显示其抗寒、抗旱、速生、优质的特性,是饲料、燃料和肥料兼用的水土保持好树种。为了加速“三料”林的建造,提高生产力,我们于1988~1990年在该地区对刺槐(*Robinia pseudoacacia*)沙棘(*Hippophae rhamnoides*)山桃(*Prunus davidiana*)柠条(*Caragana microphylla*)二色胡枝子(*Lespedeza bicolor*)进行了蒸腾、林地水分消耗与生产力关系的研究,这对评价林地生产力和估算生产潜力,合理经营现有林分,提高生产力,发挥灌木“三料”林的经济、生态效益具有很大的意义。并为半干旱黄土丘陵区大面积荒沟、荒坡快速治理提供科学依据。

## 1 试验区的自然条件

试验区设于宁夏固原县河川乡黄河村,属半干旱黄土丘陵区。坡度20~30°,海拔1 600~1 850 m。土壤主要为细黄土。试验区水土流失严重,年土壤侵蚀模数为7 000t/km<sup>2</sup>。植被属草原化森林草原,以旱生和中生植物占优势。主要植物有:长芒草(*Stipa bungeana*)百里香(*Thymus mongolicus*)茺蒿(*Artemisia giraldii*)蓼草(*Aneurolepidium dasystachys*)无茎委陵菜(*Potentilla acaulis*)等,覆盖度30%~40%。年平均气温7℃。≥10℃活动积温为2 250℃。年平均降水量450mm左右。7~9月降水量占全年降水量的60%。无霜期130天。

供试树种主要系1985年造林。立地条件为阳向、阴向岭坡、沟坡和沟底。各林分长势较好,生长发育正常。

## 2 试验方法

### 2.1 蒸腾及净地上初级生产量测定

1988~1990年5~9月,每月15日、25日,采用扭力天平快速称重法,对各树种及天然植被优势种测定叶的蒸腾水量,计算蒸腾强度。每日从8h开始,每2h1次,至18h结束。同时对其生长量、净地上初级生产量、以及气温、大气湿度、照度、风速等进行测定。净地上初级生产量测定,系选定10~20株标准株,测定每木生物量。包括茎、叶、果、枯枝落叶及林下杂草生物量,然后计算净地上初级生产量。

## 2.2 土壤水分测定

每月用土钻取土测定各种树种及天然植被土壤水分一次。每20 cm深取样, 至5 m深为止。

## 3 试验结果及分析

### 3.1 五种灌木的林学特性

从表1、2所示灌木的生长量及物候观测看出, 5~9龄的刺槐、沙棘、山桃、柠条已由幼龄期进入中龄期, 树体进一步发育, 郁闭度明显增加。生长逐渐达高峰, 但结实尚未达到高峰期(未平茬的胡枝子有衰败的趋势)。

表1 灌木生长量调查表

树 种	林 龄 (年)	立地 条件	造林密度 (m)	平均丛高 (m)	平均地径 (m)	平均冠幅 (m)	调查时间 (年、月)
刺 槐	6	东向		2.3	2.2	1.6×1.4	1988.8
	7	沟坡	1×1.5	2.7	3.1	2.4×1.9	1989.9
	8	下部		3.3	4.9	2.4×2.3	1990.8
沙 棘	5	北向		1.8	3.1	1.7×1.6	1988.8
	6	沟坡	0.5×1.5	1.9	3.5	1.8×1.6	1989.9
	7	下部		1.9	3.7	1.8×1.7	1990.8
山 桃	7			1.1	2.0	1.5×1.5	1988.8
	8	西向崩坡	0.5×1.5	1.5	2.2	1.7×1.6	1989.9
	9			1.5	2.4	2.1×1.7	1990.8
柠 条	5			0.8	1.1	0.9×0.7	1988.8
	6	北向崩坡	0.5×1.5	0.8	1.1	1.1×0.8	1989.9
	7			0.9	1.4	1.1×0.9	1990.8
二色胡枝子	6			1.0	0.9	0.8×0.7	1988.8
	7	东向崩坡	0.5×1.0	1.4	1.4	0.9×0.7	1989.9
	8			1.3	1.1	0.7×0.5	1990.8

表2 树 种 物 候 期 (1990年)

种 树	发芽期	展叶初期	展叶盛期	盛花期	结实期	果熟期	落叶期	生长天数
刺 槐	5月上旬	5月中旬	6月上旬	6月上旬	6月下旬	8月上旬	9月中旬	136
沙 棘	4月中旬	4月下旬	6月上旬	4月下旬	5月中旬	8月下旬	10月中、下旬	188
山 桃	3月下旬	4月中旬	5月下旬	4月下旬	5月中旬	8月上旬	9月上、中旬	167
柠 条	4月中旬	5月中旬	6月上旬	5月下旬	6月上旬	7月下旬	9月中旬	173
二色胡枝子	4月上旬	4月中旬	5月下旬	5月上旬	6月中旬	7月下旬	9月上旬	153

刺槐在黄土高原适应性强、分布广。喜湿润肥沃土壤, 也耐干旱瘠薄。一般适于背风向阳的沟坡或崩坡, 但该地区冬季常有干梢。为此, 进行灌木经营试验, 效果良

好。4~5年后,郁闭度可达60%以上,6~8龄平均生物量为1643.9 kg/亩(鲜重),其中年鲜叶生物量为515.4 kg/亩。刺槐侧根发达,8龄以上刺槐侧根深达5~6 m。

沙棘在黄土高原分布广泛。生长快、根蘖力强。4~5龄以后逐渐形成以母株为中心的郁闭的团状灌丛。5龄以后,生长量、成林面积及产量逐年增加,生态、经济效益明显。沙棘适宜在该区阴向崩坡和沟坡生长。5~7龄平均年生物量为1477.9 kg/亩(鲜重)其中年鲜叶生物量为379 kg/亩。沙棘水平、垂直根系发达,5~7龄主根深达5~6 m。

山桃亦为黄土区乡土树种。适宜生长在干旱的阳坡、半阳坡。5龄以后生长量和产量逐年增加,平茬后效果更好。6~8龄平均生物量为537.4 kg/亩(鲜重),其中年鲜叶生物量为203.9 kg/亩。山桃主根不明显,侧根发达。

柠条为旱生树种,抗旱、抗寒性强。在该地区梁崩坡、沟坡均生长良好。4龄后即开花结实,天然更新效果好。5~6龄,年平均生物量为404.6 kg/亩(鲜重)、其中年鲜叶量141.0 kg/亩。根系发达,5~7龄根系可达5~6 m。

二色胡枝子系1982年从辽宁引种到该区。6龄前生长好、产量高。年生物量为577.2 kg/亩(鲜重)、6~8年未平茬的胡枝子年生物量为270.9 kg/亩(鲜重)、其中鲜叶量为148.1 kg/亩。经平茬,生长量及产量明显增加。

### 3.2 蒸腾特性及耗水量

在半干旱的黄土区,水分是影响植物分布和生产力的主要因素之一。蒸腾是植物水分代谢的反映,具有重要的生理意义。植物体内水分和营养物质流动,就是借助于蒸腾作用,不断进行水分代谢与循环,完成生长发育和繁衍过程。林木将根系吸收的土壤水分蒸腾为汽,增加了大气湿度,减少了热量支出,这样不断改变局部地区的生态环境。所以,研究灌木林的蒸腾及耗水量具有重要的水文和生态学意义。

从1988~1990年三年测定的平均蒸腾强度看:山桃最高,为1.039 g/g·h(即1 g鲜叶在1小时内蒸腾1.039 g水)。洋槐最低,为0.677 g/g·h。居中的有沙棘(0.692 g/g·h)、柠条(0.758 g/g·h)和胡枝子(0.705 g/g·h)。天然植被的蒸腾强度为0.676 g/g·h(系天然植被优势种百里香、长芒草、无茎委陵菜、莨菪草蒸腾强度的平均值)。图1~2可以看出,五种灌木蒸腾强度均有日、月和年进程的变化。这些变化与植物本身生长发育节律(表2)有关,也与各气象因子的变化(包括气温、大气湿度、照度、风速)有关。图1所示:刺槐、沙棘、柠条、山桃日蒸腾强度呈单峰曲线,12~18h出现峰值,为0.7~1.7 g/g·h;胡枝子在1988~1989年呈双峰曲线,且变幅大。图2所示蒸腾强度的季节变化,一般呈单峰或双峰曲线,最高值在6~7月,为0.713~1.046 g/g·h。蒸腾强度的季节变化受树种生长发育(表2)和气候、土壤水分综合的影响。一般在展叶盛期或开花结实前后,因营养和生殖生长较迅速,需水量大,所以蒸腾强度较高。从蒸腾特点来看,日进程和月进程为单峰或双峰曲线,蒸腾强度一般较平稳,部分植物遇高温变化急剧,属中生或早中生植物蒸腾的特点。

蒸腾耗水量是植物蒸腾消耗水分的多少。它是水分平衡中水分输出的一个重要指标,是蒸腾强度、叶量和蒸腾时间的函数。其计算公式为:

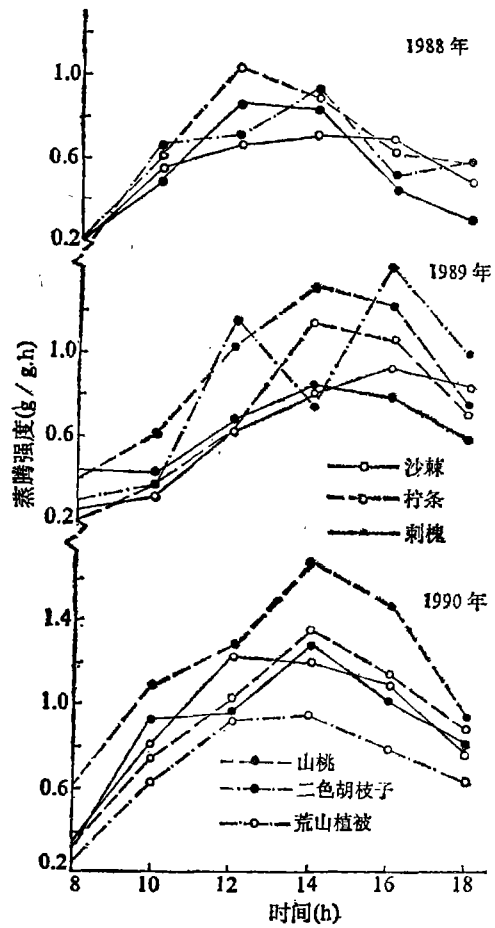


图1 五种灌木蒸腾强度的日变化

$E_m = E \times W \times T \times 10^{-3}$   
式中： $E_m$ ——月蒸腾耗水量 (mm)；  
 $E$ ——蒸腾强度 (g/g·h)；  
 $W$ ——叶量 (g/m<sup>2</sup>)；  
 $T$ ——蒸腾时间 (h)，扣除降雨时间。

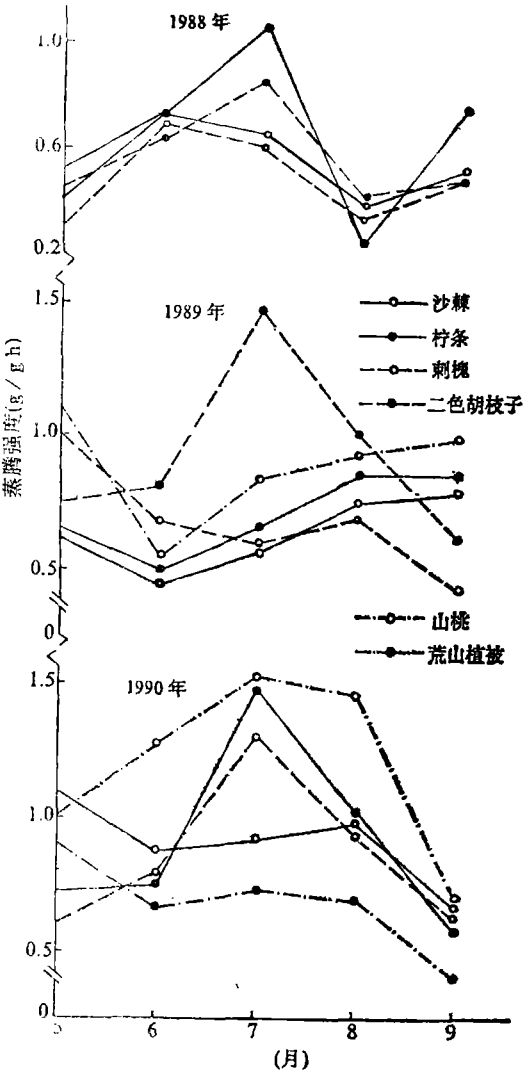


图2 五种灌木蒸腾强度的季节动态

表3显示各灌木与天然植被在1988~1990年间蒸腾耗水量月动态变化。一般6~8月植株生长繁茂、叶量达高峰期，加之蒸腾强度较大，故蒸腾耗水量亦较高。此外，蒸腾耗水量有较明显的年间变化。如1990年沙棘、刺槐、山桃和柠条蒸腾耗水量明显比前两年高，这是由于这些灌木叶的生物量比前两年大，且该年气温偏高，故蒸腾耗水量较大。

蒸腾耗水量是生产力高低的标志。它与干物质生产有明显的对应关系。与天然植被年平均蒸腾耗水量相比，刺槐、沙棘、山桃、柠条和二色胡枝子各为天然植被的7.9、6.9、5.9、3.5和3.3倍，年生物量分别为天然植被的17.5、12、6.3、4.6和3.7倍。可以说，一般生产干物质越多，蒸腾耗水量越大。

### 3.3 灌木林地的水分生产力

灌木的水分生产力是研究灌木林水分因素与产量间的定量关系，一般可用水分利用率来表示，其计算公式为：

表3 灌木林及天然植被的月蒸腾耗水量 (mm)

年	月	刺槐	沙棘	山桃	柠条	胡枝子	天然植被	月降水量 (mm)
1988	5	9.6	28.8	19.5	20.0	11.9	5.5	102.1
	6	134.4	54.6	18.6	31.3	21.7	12.6	33.7
	7	148.4	52.8	57.6	43.7	81.6	20.2	101.2
	8	50.2	72.5	35.3	11.7	38.5	12.2	139.8
	9	37.4	53.1	15.3	14.6	10.4	3.7	35.5
1989	5	37.2	34.0	34.1	28.7	33.0	5.3	18.5
	6	99.0	41.5	33.3	30.9	15.5	11.3	55.6
	7	156.6	66.5	90.6	56.2	45.5	19.2	72.3
	8	108.0	143.0	61.4	45.9	76.6	17.9	122.3
	9	14.1	49.5	27.3	22.0	55.7	4.8	43.4
1990	5	11.2	25.0	44.1	8.8	12.0	6.0	58.0
	6	114.6	114.1	93.5	89.9	27.2	12.2	32.0
	7	242.1	210.9	169.3	100.4	78.8	22.0	74.6
	8	147.3	169.2	85.0	80.8	59.6	14.2	151.2
	9	29.9	42.6	27.6	10.0	23.2	2.0	62.5

$$WVE = \frac{NAPP}{W_e}$$

式中，WVE——水分利用率 ( $g/m^2 \cdot mm$ 、 $t/ha \cdot mm$ 或 $kg/ha \cdot mm$ )；

NAPP——净地上初级生产量 ( $g/m^2$ 、 $t/ha$ 或 $kg/ha$ )；

$W_e$ ——总耗水量 (mm)。

$$NAPP = \Delta B + L + G$$

式中， $\Delta B$ ——生物量增量 ( $g/m^2$ 、 $t/ha$ 或 $kg/ha$ )；

L——枯枝落叶量 ( $g/m^2$ 、 $t/ha$ 或 $kg/ha$ )；

G——被动物采食的生物量 ( $g/m^2$ 、 $t/ha$ 或 $kg/ha$ )。本试验中动物采食量很少，未进行测定。

$$W_e = P_x + (W_i - W_f)$$

式中， $P_x$ ——某一时段降水量 (mm)；

$W_i$ ——该时段初期土壤贮水量 (mm)；

$W_f$ ——该时段末期土壤贮水量 (mm)。

表4为1988~1990年5种灌木林年净地上初级生产量，由表可以看出净初级生产量最高者是刺槐，年平均净初级生产量为 $904.1g/m^2 \cdot a$ ，是天然植被的11.4倍。其次为沙棘、山桃，净初级生产量分别为 $635.2g/m^2 \cdot a$ 、 $431.0g/m^2 \cdot a$ ，是天然植被的8.0、5.4倍。净初级生产增长较少的是柠条、二色胡枝子，其值为 $216.3g/m^2 \cdot a$ 、

206.6g/m<sup>2</sup>·a，但亦是天然植被的2.7和2.6倍。柠条虽然产量偏低，但生态适应性

表4 灌木林净地上初级生产量 (g/m<sup>2</sup>·a)

树 种	林 龄	茎生物量	叶生物量	果生物量	枯枝落叶量	林 内 净地上 杂 草 初级生 生物量 产 量	调查时间 ( 年 )	
刺 槐	6	585.6	462.5	100.1	50	80	869.0	1988
	7	460.1	430.1	104.9	60	100	569.4	1989
	8	882.0	583.0	109.0	60	100	1274.0	1990
沙 棘	5	630.3	282.9	21.0	36	52	543.0	1988
	6	459.5	264.7	26.9	40	90	520.8	1989
	7	867.1	235.7	46.0	50	102	841.3	1990
山 桃	7	94.9	71.7	44.2	40	60	267.8	1988
	8	137.5	131.4	36.7	40	50	300.7	1989
	9	274.0	221.9	87.9	45	70	561.3	1990
柠 条	5	112.6	79.2	6.2	23	32	198.0	1988
	6	129.5	62.4	25.4	25	40	169.7	1989
	7	185.2	105.6	20.0	35	65	281.3	1990
胡枝子	6	116.3	112.5	/	20	45	257.2	1988
	7	78.0	72.0	/	30	79	142.7	1989
	8	62.1	77.9	/	38	120	220.0	1990
封 禁 天 然 草 地	7	46.8	31.2	/	/	/	78.0	1988
	8	48.2	32.1	/	/	/	80.3	1989
	9	50.0	31.0	/	/	/	81.0	1990

强，在半干旱黄土区分布广，因而仍是有价值推广的树种，可见荒山荒沟营造灌木林，能使生产力比荒山植被有较大幅度提高。

水分利用率是指每年每平方米（或每公顷）面积消耗1mm水所生产的干物质克数（或t、kg）。测定结果表明（表5、6），刺槐、沙棘、山桃、柠条、胡枝子的水分利用率为：2.12、1.53、1.14、0.54、0.51g/m<sup>2</sup>·mm，分别是封禁7～9年荒山天然植被的8.8、6.4、4.8、2.3和2.1倍。5种灌木生产1g地上干物质比天然植被少耗水3711、3539、3342、1800和1935g。可以看出这些灌木比天然植被耗水经济、水分利用率高。

从总耗水量各要素看出，林木的蒸腾耗水量是对土壤水分的有效利用，而地表径流、土壤蒸发是对土壤水分的无效消耗。因而把蒸腾耗水量与总耗水量之比，作为水分有效利用系数。从表5看出，沙棘、柠条水分有效利用系数的高峰值和降雨的高峰一致。1989年降雨的高峰在7～8月，分别为72.3mm、122.3mm，此时水分有效利用系数亦最大。沙棘7～8月均为0.84，柠条为0.7、0.72。而天然植被其值和降雨量对应关系不明显。由于灌木林有好的群落学结构，枝叶繁茂，能很快郁闭，能形成较密的林

表 5 1989年沙棘、柠条和天然植被水分利用率月动态

树 草 种	月 份	净地上初 级生产量 (g/m <sup>2</sup> )	贮水量 (mm)	月降 水量 (mm)	总耗 水量 (mm)	蒸 腾 耗水量 (mm)	水 分 利用率 (g/m <sup>2</sup> ·mm)	水 分 有效利 用系数
沙 棘	5	67.5	650.9	18.5	45.7	34.0	1.47	0.74
柠 条		32.5	543.6	18.5	81.7	28.7	0.40	0.35
天然植被		9.4	640.3	18.5	32.8	5.3	0.29	0.16
沙 棘	6	90.4	652.9	55.6	80.6	41.5	1.12	0.51
柠 条		54.5	512.7	55.6	86.5	30.9	0.63	0.36
天然植被		34.2	639.8	55.6	56.1	11.3	0.61	0.20
沙 棘	7	105.1	619.4	72.3	78.8	66.5	1.33	0.84
柠 条		68.7	504.2	72.3	80.8	56.2	0.85	0.70
天然植被		30.0	615.3	72.3	96.8	19.2	0.31	0.20
沙 棘	8	257.8	517.4	122.3	170.3	143.0	1.51	0.84
柠 条		13.8	562.8	122.3	63.7	45.9	0.22	0.72
天然植被		6.7	653.6	122.3	122.3	84.0	0.05	0.69
沙 棘	9	-25.5	560.5	43.4	54.3	49.5	/	/
柠 条		-27.9	557.8	43.4	48.4	22.0	/	/
天然植被		-10.0	657.3	43.4	39.7	4.83	/	/

注：贮水量与总耗水量均按5 m土层计算

冠层、密茂的草被层、枯枝落叶层和发达的根系层，能把大量降水和土壤贮水变为有效水用于干物质生产中，同时减少了径流和土壤蒸发等水分损耗。荒山植被由于草群结构差，覆盖度低，因而接纳降水的能力低，无效水消耗大，干物质产量亦低。

3.4 灌木林地水分生态条件与生产力

灌木林地水分生态条件与生产力有相互促进和制约的关系。适宜水分生态条件可使生产力得到较大提高。生产力的提高引起耗水量增加，使土壤水分亏缺。这样又限制了生产力的提高。通过对5种灌木林地与荒山植被水分利用情况、林地水分有效性以及供水、耗水能力的分析看出，（表6）随着灌木林龄增加，根系向下延伸，使土壤水分亏缺加剧。表7、8所示1989年灌木林地与对照荒山水分利用情况。灌木林地对水分的利用可分为：根系微弱利用层、根系利用层、土壤水分补充调节层和微调节层。从表7可以看出，5种灌木根系吸水深度和范围各不相同。7龄刺槐为30~500cm；6龄柠条，沙棘各为40~400cm、20~300cm；山桃为30~300cm；胡枝子为40~300cm。灌木吸水深度即是根系延伸的长度。由于根系强烈吸水，使土壤含水率明显比其它层次低。沙棘平均含水率最低，为7.5%，（凋萎湿度为6.1%）。以湿度占田间持水量60%~80%作为灌木正常生长，适宜的土壤水分看，5种灌木均低于60%。沙棘最低，为36.5%。其次是柠条，为39.3%。从该层土壤有效水贮量看，沙棘、柠条、刺槐都是较低值，各为47、99和268.7mm（刺槐系30~500cm土层的贮水）。山桃215.8mm、胡枝子191.7mm。山



表 6 灌木林地水分利用率年动态

树 种	树 龄	净地上初	土壤贮水量		总 耗	蒸 腾	水 分	耗水	蒸腾	水分有
		级生产量	(mm)		水 量	耗水量	利用率	系数	系数	效利用
		(g/m <sup>2</sup> )	初期	终期	(mm)	(mm)	(g/m <sup>2</sup> ·mm)			系 数
刺 槐	6 (1988)	869.0	935.4	867.8	480.0	380.0	1.81	552	437	0.79
	7 (1989)	569.4	812.4	761.1	429.7	414.9	1.33	755	729	0.96
	8 (1990)	274.0	790.0	801.1	394.4	545.0	2.23	310	428	1.38
沙 棘	5 (1988)	543.0	658.8	604.6	466.5	261.9	1.16	859	482	0.56
	6 (1989)	520.8	678.0	560.5	429.7	334.5	1.21	825	642	0.78
	7 (1990)	841.8	566.4	566.8	377.9	561.8	2.23	449	667	1.49
山 桃	8 (1989)	300.7	700.1	694.9	317.3	246.7	0.95	1055	820	0.78
	9 (1990)	561.3	739.9	691.5	426.7	419.5	1.32	760	747	0.98
柠 条	5 (1988)	198.0	627.6	637.0	402.9	121.3	0.49	2035	613	0.30
	6 (1989)	169.7	606.8	557.8	361.1	183.7	0.47	2128	1082	0.51
	7 (1990)	281.3	561.9	512.9	427.3	279.8	0.66	3186	2087	0.65
胡枝子	6 (1988)	257.2	947.9	1000.2	360.0	170.1	0.71	1400	661	0.47
	7 (1989)	142.7	948.6	727.7	533.0	250.7	0.27	3735	1757	0.47
	8 (1990)	220.0	758.1	738.1	398.3	200.8	0.55	1810	913	0.50
封 禁 天 然 植 被	7 年	78.0	646.2	696.9	361.6	54.2	0.22	4636	695	0.15
	8 年	80.3	654.6	657.3	309.4	58.6	0.26	3853	730	0.19
	9 年	79.8	636.0	674.3	340.0	56.0	0.23	4261	702	0.16

注：1. 1988年年降水量为434.4mm，5～9月降水量为412.3mm  
2. 1989年年降水量为424.2mm，5～9月降水量为312.1mm  
3. 1990年年降水量为593.9mm，5～9月降水量为378.3mm  
4. 贮水量和总耗水量按5m土层计算

桃、胡枝子有效水相对较多，可以采取各种营林措施，提高有效水利用率。图3、4所示，1990年7龄沙棘、8龄刺槐根系吸水深度已超过5m。该年净初级生产量较高，为1274.0（刺槐）、841.3（沙棘）g/m<sup>2</sup>。年蒸腾耗水量亦较高，为545.0和561.8mm，分别比5m土层总耗水量高150.6、183.9mm（表6）。这在5m土层范围内出现水量支出大于收入的负补偿状况。由于刺槐、沙棘有良好的水分生态适应性，它们以其发达的根系（刺槐具发达的侧根，沙棘具发达的水平根和垂直根系）深入5m以下土层吸收水分，增加其供水量。从图3、4还可进一步看出，随着林龄增加，土壤水分亏缺严重，但上层1～1.5m土壤水分恢复较好，土壤含水率可超过或接近荒山天然草地。因而在该地区灌木林形成的低湿层，只要掌握好营林技术，接纳更多的天然降水，一般对生产力不会带来不利影响。表8所示，荒山植被5m土层有效贮水量为274.8mm，比灌木林地略高，但亦存在水分亏缺情况。可以看出荒山植被无效耗水多，有效水分利用率低，产量低，生产潜力较大，应进一步对荒山植被进行改造，提高其生产力。荒山、荒沟营

表7 灌木林地土壤水分的利用

项 目	土层深度 (cm)	土壤含水量(%)			有效贮水量 (mm)
		变化幅度	平均值	占田间持水量的百分数	
根 系 微 弱	刺 槐 0~30	5.1~17.7	13.0	63.1	24.8
	沙 棘 0~20	2.8~22.4	10.4	50.6	9.6
	山 桃 0~30	0.3~23.4	11.1	54.0	16.7
	柠 条 0~40	0.6~17.1	9.0	43.7	13.0
	胡枝子 0~40	0.6~17.9	8.2	40.0	9.6
根 系 利 用 层	刺 槐 30~500	5.6~16.7	10.6	51.2	268.7
	沙 棘 20~300	5.7~9.4	7.5	36.5	47.0
	山 桃 30~300	9.0~12.7	10.1	49.0	215.8
	柠 条 40~400	6.3~10.9	8.1	39.3	99.0
	胡枝子 40~300	8.4~16.6	12.0	58.3	191.7
土 壤 水 分 补	刺 槐 /	/	/	/	/
	沙 棘 300~400	8.8~11.9	10.5	50.9	57.2
	山 桃 300~400	10.2~14.0	12.6	61.2	82.5
	柠 条 400~500	7.4~11.4	9.1	44.2	41.4
土 壤 水 分 微	胡枝子 300~500	9.7~16.5	12.4	60.2	163.8
	刺 槐 /	/	/	/	/
	沙 棘 400~500	11.1~13.7	12.6	50.9	85.8
	山 桃 400~500	11.2~15.0	12.4	61.2	81.9
	柠 条 /	/	/	/	/
微	胡枝子 /	/	/	/	/

注：刺槐、沙棘、山桃、柠条、胡枝子的林龄分别为7、6、8、6、7龄

表8 荒山植被土壤水分垂直变化规律

项 目		土 壤 含 水 量 (%)			有效贮水量 (mm)
		变化幅度	平均值	占田间持水量的百分数	
速 变 层	0~20cm	1.8~17.1	7.9	38.3	4
活 跃 层	20~200cm	8.2~14.2	10.8	52.4	99.8
次 活 跃 层	200~300cm	8.0~9.5	8.7	42.2	31.7
相对稳定层	300~500cm	10.2~12.9	11.5	55.3	139.3

注：本试验系1989年测定

造灌木“三料”林，正是改造荒山，充分利用水、土资源，提高生产力的有效措施。

### 3.5 提高水分利用率的营林措施

为了进一步提高水分利用率，除重视灌木对土壤深层有效水的利用外，还需注意利用有限的降水资源，提高生产力。首先需选择好营造灌木林的立地条件。刺槐适宜的立地条件为背风向阳的山坡中、下部或沟坡；沙棘为阴坡、半阴坡或沟坡；山桃为阳坡

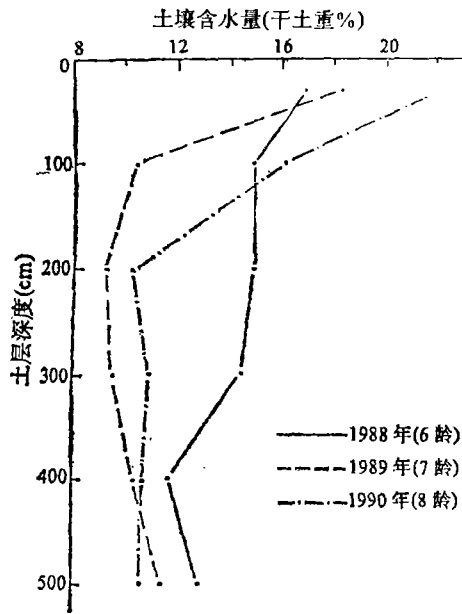


图 3 1988~1990年刺槐林地土壤水分动态

各部位；柠条为各种坡向的岭坡和沟坡；二色胡枝子为岭坡下部和沟坡。还需掌握好适宜的造林密度。刺槐、沙棘、山桃为1m×1m；柠条为0.5m×1.5m；二色胡子枝为0.3m×

1m。另外，还要加强成林过程中的抚育、管理。通过采取整地（水平沟、窄带梯田和反坡梯田）、施肥（有机肥、化肥和喷微肥）、适时平茬（柠条4年1周期，沙棘、山桃6~7年1周期，刺槐和胡枝子可连年平茬）、疏伐、修枝或草灌带状间播等措施提高水分利用率，把灌木林培育成不同利用方向的林种。即水土保持林、薪炭林、果用林（沙棘）、小径材林（沙棘）或薪炭放牧兼用林，使灌木林能更好发挥生态效益和经济效益。

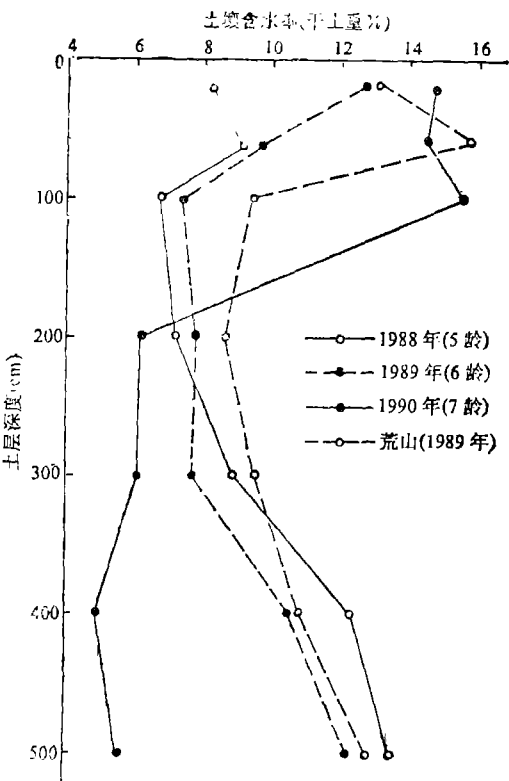


图 4 1988~1990年沙棘林地与对照荒山土壤水分动态

表 9 柠条、二色胡枝子平茬产量调查 (鲜重)

处 理	柠 条 (kg/亩)	二色胡枝子(kg/亩)
未 平 茬	366.9	187.2
平 茬 3 年	316.8	652.5
平 茬 4 年	613.6	1212.0
平 茬 5 年	600.3	832.5

注：未平茬柠条、二色胡枝子树龄均为5龄

4 结果与讨论

4.1 5种灌木蒸腾强度的日进程、月进程为单峰或双峰曲线，属中生或早中生植

物蒸腾的特点。

4.2 5种灌木年平均蒸腾耗水量为天然植被的7.9~3.3倍,年平均生物量为天然植被的17.5~3.7倍。

4.3 刺槐、沙棘、山桃、柠条和二色胡枝子的年净地上初级生产量为:904.1、635.2、431.0、216.3、206.6g/m<sup>2</sup>,分别是封禁7~9年荒山植被的11.4、8、5.4、2.7和2.6倍。水分利用率各为:2.12、1.53、1.14、0.54、0.51g/m<sup>2</sup>·mm,是荒山植被的8.8、6.4、4.8、2.3和2.1倍。5种灌木生产1g地上干物质比荒山植被少耗水3711、3539、3342、1800和1935g。可以看出灌木林比荒山植被耗水经济,水分有效利用率高。

4.4 灌木林地对水分的利用可分为:根系微弱利用层、根系利用层、土壤水分补充调节层和微调节层。在根系利用层土壤水分亏缺严重,土壤有效水贮量低。8龄刺槐和7龄沙棘在5m土层范围内出现水量支出大于收入的负补偿状况。刺槐、沙棘具良好的水分生态适应性,以发达的根系,深入5m以下土层吸收水分,增加其供水量。灌木随林龄增加水分亏缺严重,但上层1~1.5m土壤水分恢复较好,土壤含水率可超过或接近荒山天然植被。荒山水分利用率低,生产潜力大。荒山、荒沟营造灌木“三料”林,正是改造荒山、充分利用水土资源,提高生产力的有效措施。

4.5 通过选择适宜的造林立地条件,掌握好适宜种植密度和加强成林过程中的抚育、管理,可提高水分利用率。

今后可继续研究半干旱区灌木林地水分生产量与水量平衡规律,更有效地提高灌木林地生产力。通过营造灌木“三料”林,使半干旱黄土区大面积荒山、荒沟迅速得到治理。

致谢:丁汉福参加部份工作,特此谢意。

#### 参 考 文 献

- [1] P. D. Moore and S. B. Chapman, *Methods in Plant Ecology*, 1976, 1986 by Blackwell Scientific Publications Editorial offices.
- [2] Y. M. Liang, D. L. Hazlett, and W. K. Lauenroth (1989) *Biomass Dynamics and Water Use Efficiencies of five Plant Communities in the Shortgrass Steppe*. *Oecologia* 80: 148~153.
- [3] 李代琼、从心海、梁一民. 黄土高原半干旱区沙棘净初级生产量与耗水量研究,《水土保持通报》1990年,第10卷第6期
- [4] 马王玺、杨文治、杨新民. 陕北黄土丘陵沟壑区刺槐林水分生态条件及生产力研究《水土保持通报》1991年,第10卷第6期
- [5] 李凯荣、王佑民. 黄土原区刺槐林地水分条件与生产力研究,《水土保持通报》1990年,第10卷第6期
- [6] 刘增文、王佑民. 人工油松林蒸腾耗水及林地水分动态特征的研究,《水土保持通报》,1990年,第10卷第6期
- [7] 陈一鸷、刘康. 渭北旱原紫花苜蓿的蒸腾强度与水量平衡研究,《水土保持通报》,1990年,第10卷第6期
- [8] 吴钦孝、关秀琦、施立民、刘向东. 固原县黄土丘陵区灌木“三料”林研究简结《西北水土保持研究所集刊》,1990年,第11集
- [9] 关秀琦、吴钦孝、施立民、刘向东、郭忠升. 提高灌木“三料”林生产力的技术研究,《水土保持学报》,1990年,第4卷第4期