

# 黄土高原半干旱区沙棘林 净初级生产量与耗水量研究

李代琼 从心海 梁一民

(中国科学院  
水利部西北水土保持研究所)

## 提 要

本文以吴旗飞播和人工建造的沙棘林14年定位试验研究资料为依据,论述了黄土高原半干旱区沙棘成林特点、生物量、蒸腾强度、耗水量和林地土壤水分动态。研究结果表明:3~4龄沙棘开始根蘖繁殖,8龄林密度达最大值,随着对水、光的竞争,密度又趋变小,其密度、生物量因水分条件不同而不同。5~13龄沙棘林地年平均总耗水量为362mm,较同期年平均降水量355mm略高。其中平均年蒸腾耗水量262mm,占总耗水量的72.4%。对照荒山平均年耗水量366mm,其中蒸腾耗水量仅占13.9%。荒山植被生产1g干物质的总耗水量是沙棘的6倍。5~13龄沙棘林净地上初级生产量是荒山植被的5.8倍。沙棘林地3~5m深土层储水严重亏缺,但1~2m土层水分可得以补偿,且持水量较荒山高,所以不仅沙棘可正常生长,其林下草被生长亦较对照荒山植被为好。

关键词:沙棘林 黄土高原 净初级生产量 水分利用率 蒸腾强度

沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 在黄土高原半干旱区分布较广,是一种兼有较大生态功能和经济价值的珍贵植物资源。由于它有适应性广、生长迅速、根蘖萌生力强、郁闭度大等特点,曾在该区作为优良的水土保持林、薪炭林树种种植。自八十年代以来,随着国内外对其有用成分的开发利用,沙棘已作为特种经济林在我国大力发展。原水电部部长钱正英在1985年提出以开发沙棘资源作为加速黄土高原治理的一个突破口。加速建造大面积优质、丰产的沙棘林是开发沙棘资源的基础。为此,我们在1975~1985年吴旗飞机播种沙棘试验成功的基础上和1986~1989年在吴旗进行建造人工沙棘林试验的同时,对沙棘林净初级生产量、耗水量及林地土壤水分动态进行了研究,以期评价黄土高原半干旱区大面积建造沙棘林的水分生态条件 and 生产潜力,合理经营、更好地开发沙棘资源提供科学依据。

## 一、试验区的自然条件

试验区设于陕西省吴旗县西北的王洼子、铁边城和新寨三乡镇的飞播和人工沙棘林地。位于北纬36°40'~37°24',东经107°36'~108°32',为洛河河源梁峁状丘陵沟壑区,土壤为黄绵土,海拔1365~1650m。年平均气温7.5℃,最低-27℃,最高35.5℃。无霜期120天左右。年平均降水量360~380mm,年蒸发量1300mm,干燥度3.5。该试验区在植被区划上属温带草原带灌丛草原区。40年前,尚有天然沙棘灌丛,目前天然灌丛已破坏殆尽。天然植被主要为本氏针茅 (*Stipa bungeana*) 地椒 (*Thymus mongolicus*) 冷蒿 (*Artemisia frigida*)、无茎委陵菜 (*Potentilla acaulis*) 和铁杆蒿 (*Artemisia gmelinll*) 等组成的草本植物群落。覆盖度20%~40%。

## 二、试验研究方法

### (一) 净初级生产量测定

在各类型沙棘林样地内, 每年从5~10月定期随机取样, 测定样方内每木地上生物量。样方面积5 m×2 m或5 m×4 m。对林下枯枝落叶和草本层亦进行相应调查<sup>[1]</sup>。

### (二) 蒸腾强度及蒸腾耗水量测定

在测定净初级生产量的同时, 生长季每月用扭力天平快速称重法测蒸腾强度。根据蒸腾强度、相应的叶量和蒸腾时间计算蒸腾耗水量。沙棘林下杂草及荒山植被通过测定优势种的蒸腾强度和叶量计算蒸腾耗水量。

### (三) 土壤水分测定

每年生长季始末测定土壤湿度, 根据土壤湿度和土壤容重计算土壤储水量。通过一年内土壤储水量变化和降水量计算年总耗水量。

## 三、试验结果及分析

### (一) 沙棘成林过程及群落特征

飞播和人工栽植的沙棘, 在成苗和成活后便进入迅速生长阶段。表1反映了吴旗1977年飞播区沙棘13年中成林过程。飞播当年, 平均每亩有苗794株, 有苗面积率达72%, 但因第2年沟坡幼苗遇晚霜危害几乎全部死亡, 仅有39%分布于梁峁坡的幼苗保存。3~4年后沙棘生长加快, 4~5年后开始根蘖繁殖(水分好的沟坡第3年即有根蘖苗产生), 密度和生长量逐渐达高峰, 并开始开花结实。随着根蘖苗的增加, 形成以母株为中心的郁闭团状灌丛。在以梁峁坡成林为主的王洼子播区第8年密度达最大值。随着密度的增大, 对水、肥、光的竞争加剧, 出现被压木。在团状丛中出现枯稍和死株, 产生自然稀疏, 第8年以后, 密度逐渐变小, 株高生长也趋于平稳, 进入旺盛结实阶段。沙棘为具根瘤的胡颓子科灌木, 可肥地改土。所以7~8年以后, 随着沙棘密度减小, 林内天然草类生长繁茂, 形成林茂草丰, 覆盖度达80%以上的灌木—草本群落。

表1 吴旗飞播沙棘成林过程

项 目	生 长 年 限												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1977年	1978年	1979年	1980年	1981年	1982年	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年
密度(株/亩)	794	313	231	300	360	910	1 154	1 900	1 700	1 300	1 100	900	734
株高(cm)	2~4	24~50	70~140	70~200	140~250	150~260	220~280	240~380	250~380	260~390	260~390	270~400	270~430
保存面积率(%)	72	45	37	/	40	/	55	/	/	/	65	/	70以上

注: 保存面积率指有苗面积(70株/亩)以上占飞播有效面积的百分率。

### (二) 沙棘林地上净初级生产量

净初级生产量是绿色植物通过光合作用固定太阳辐射能所积累的干物质生产量, 它是除植物本身生命活动消耗外所剩余的有机物或固定的太阳能。

净初级生产量计算公式为:

$$P_n = \Delta B + L + G,$$

式中 $P_n$ 为净初级生产量； $\Delta B$ 为生物量增量； $L$ 为枯枝落叶量； $G$ 为被动物采食的生物量。本试验研究中，动物采食量很少，未进行测定<sup>[1]</sup>。

表2 沙棘林地上净初级生产量

(g/m<sup>2</sup>·a)

项 目	生 长 年 限 (年)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
茎生物量	1.4	6.1	140	156	234	402	412	560	623	660	683	888	981
叶生物量	1.2	4.3	70	82	104	177	167	278	300	189	183	215	250
果生物量				8	11.2	20	24.1	22.5	30	25	23	3	42
枯枝落叶量		1	20	27	36	37	45	27	33	35	34	32	35
林内杂草生物量	15	29	45	70	50	25	109	125	130	135	150	200	225
沙棘林总地上净初级生产量	18	39	269	202	280	427	355	600	557	420	413	655	645
对照荒山地上净初级生产量	15	27	52	40	80	50	80	90	100	78	50	85	130

表2为沙棘播种后第1年至13年地上净初级生产量动态。可以看出不同生长年限的沙棘生长发育阶段不同，净初级生产量亦不同。第3年开始迅速生长，净初级生产量即达269g/m<sup>2</sup>（包括林内杂草45g/m<sup>2</sup>），为同期封禁荒山的5.2倍。当第8年密度达最大值时，净初级生产量亦达第1峰值600g/m<sup>2</sup>。由于密度过大，9~11年净初级生产量反呈下降趋势。第13年密度由每亩1900株下降到734株，而净初级生产量却增加为645g/m<sup>2</sup>。林内杂草亦达峰值，为225g/m<sup>2</sup>。这是沙棘通过自然稀疏以适应生态条件，维持较合理的群落结构和较高初级生产量的自我调节功能。3~13龄沙棘林平均地上净初级生产量为438g/m<sup>2</sup>·a是荒山植被的5.8倍。从茎、叶、果生物量的比例看，果实所占比重较小，所以选育、改良品种，提高果实产量是有待进一步解决的重要问题。

沙棘在不同立地条件下生长状况和地上净初级生产量亦不同（表3）。沙棘系阳性树种，不耐遮荫，但从表3可以看出，在黄土高原半干旱区，水分是影响林木生长的主要因子，所以沟坡的沙棘生产量均比梁峁坡高得多。

### （三）沙棘林的蒸腾耗水

植物从环境中摄取的各种物质中数量最大的是水分，其中5%左右的水用于维持原生质的功能和进行光合作用，而大部分以水蒸汽的形式从气孔蒸腾掉。植物的蒸腾作用是水分生理的重要特性之一，它是植物水分支出的重要指标。1980~1981年，我们对沙棘和荒山植被优势种的蒸腾强度进行了测定。图1、图2分别是其蒸腾强度的日动态和月动态。蒸腾强度随植物生物生态学特性、生长发育节律和环境生态条件的不同而不同。气温、太阳辐射、大气湿度、土壤湿度等因素都可影响蒸腾强度。由图1可见，沙棘蒸腾强度的日动态和年动态有相似的变化规律。即均有明显的峰值，其峰值在一年中出现在气温最高的7月，在一天中则出现在13~15h，看来气温对蒸腾强度的影响很大。但在日变化中，蒸腾强度的峰值与气温峰值不完全一致，特别在炎热的7月。

表3 不同立地条件沙棘地上净初级生产量

林龄 (年)	播种方式	立地条件	密度 (株/亩)	株高 (m)	地径 (cm)	地上净初级 生产量 (g/m <sup>2</sup> ·a)	调查地点及时间
5	人工种植 飞播	东向岭坡	1 300	1.4~3.5	2~3.6	289	梁石湾1989年10月
		东向沟坡	2 700	1.7~4.3	2~5.8	1 300	许寨子沟1983年9月
8	人工撒播 飞播	北向岭坡	1 780	2.4~3.9	3.2~6	650	水头1983年9月
		北向沟坡	2 500	2.8~6	2~7	1 001	拐沟1983年9月
11	飞播	北向岭坡	1 300	2.7~4	4~6	860	许寨子1989年10月
		北向沟坡	1 500	2.8~4.8	4.5~10	1 324	许寨子1989年10月
12	飞播	北向岭坡	950	2.2~6.0	3~7	845	钻洞1989年10月
		北向沟坡	986	2.4~6.5	3~8	1 230	柳沟1989年10月
14	人工撒播 人工撒播	北向岭坡	890	2.5~3.8	4~8	750	水头1989年10月
		北向沟坡	1 131	2.8~8	6~12	1 450	拐沟1989年10月

例如, 1981年7月10日蒸腾强度的峰值仍出现在13h (气温27℃), 而气温的峰值却出现于14~15h (30℃)。在沙棘蒸腾的日变化中7h和19h测得的蒸腾强度均很微弱, 为0.04~0.05g/g·h, 19h以后则更微弱, 故未进行测定。同样在年动态中, 10月蒸腾强度急剧下降, 1980年10月12日日平均蒸腾强度为0.113g/g·h。1980和1981两年间同一沙棘林蒸腾强度亦存在较大差异。1980年5龄沙棘林年平均蒸腾强度为0.628g/g·h, 而1981年(6龄)则为0.377g/g·h。看来, 造成差异的原因是复杂的, 是多种因子综合作用的结果。

图1、图2还表明荒山植被蒸腾强度的变化略平稳些。1981年年平均蒸腾强度为0.66g/g·h, 与沙棘蒸腾强度接近。

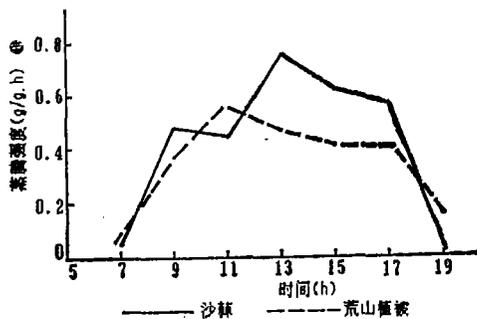


图1 蒸腾强度日动态 (1981年7月10日)

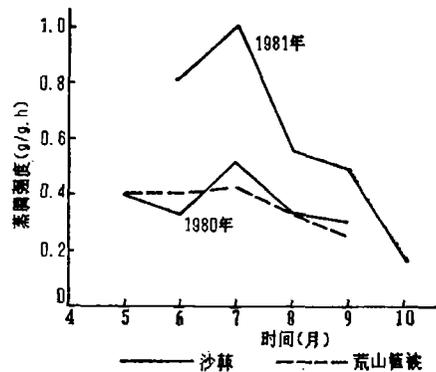


图2 蒸腾强度月动态

蒸腾耗水量是植物由于蒸腾消耗水分的多少。它由蒸腾强度、植物叶量和蒸腾时间之乘积表示。在一年生长季内, 沙棘林蒸腾耗水量随蒸腾强度及叶量变化而变化。据1981年测定, 4月当气温上升到10℃以上, 沙棘即先叶开花。5月叶鲜重为146.5g/m<sup>2</sup>, 月蒸腾耗水量16.8mm, 为对照荒山植被的4.4倍。7~8月沙棘枝叶繁茂, 需水量达最大值, 月蒸腾耗水量分别为49.9mm

(包括林下杂草蒸腾耗水10.94mm)、38.4mm(包括林下杂草蒸腾9.6mm)。1981年沙棘林地年蒸腾耗水量为159.6mm,其中林下杂草蒸腾耗水38.8mm,为封禁5年荒山植被年蒸腾耗水量(52mm)的3倍。

表4所示沙棘林与荒山植被总耗水量与蒸腾耗水量的年际变化。1977年飞播区沙棘林在1981~1989年平均年总耗水量(指蒸腾耗水量、蒸发量与径流量等水分支出的总和)为362mm,较同期平均年降水量(355mm)略高。其中平均年蒸腾耗水量为262mm,占总耗水量的72.4%,而对照荒山植被9年平均年总耗水量为366mm,其中蒸腾耗水量仅占13.9%。荒山植被总耗水量为沙棘林的1倍,但沙棘林蒸腾水量为荒山植被的5.1倍,说明沙棘生产性耗水比荒山植被高,

表4 沙棘林地与封禁荒山植被耗水量年际变化

生长与封禁年限	植被类型	5 m土层储水量(mm)	年降水量(mm)	净地上初级生产量(g/m <sup>2</sup> )	总耗水量(mm)	蒸腾耗水量(mm)	耗水系数	蒸腾系数	水分有效利用系数	水分利用率(g/m <sup>2</sup> ·mm)
5 (1981年)	沙棘	507		280	225	160	804	571	0.71	1.24
	荒山植被	570	329	80	223	52	2 788	650	0.23	0.36
6 (1982年)	沙棘	418		427	285	220	667	515	0.77	1.50
	荒山植被	505	196	50	261	38	5 220	760	0.15	0.19
7 (1983年)	沙棘	436		355	259	221	730	623	0.85	1.37
	荒山植被	514	277	80	268	49	3 350	613	0.18	0.30
8 (1984年)	沙棘	377		600	499	327	832	545	0.66	1.20
	荒山植被	506	440	90	448	70	4 978	778	0.16	0.20
9 (1985年)	沙棘	469		557	452	353	811	634	0.78	1.23
	荒山植被	527	544	100	523	77	5 230	770	0.15	0.19
10 (1986年)	沙棘	413		420	428	267	1 019	636	0.62	0.98
	荒山植被	465	372	78	434	42	5 564	538	0.10	0.18
11 (1987年)	沙棘	351		413	250	213	605	516	0.85	1.65
	荒山植被	357	188	50	296	38	5 920	760	0.13	0.17
12 (1988年)	沙棘	468		655	303	212	463	324	0.70	2.16
	荒山植被	540	420	85	237	49	2 788	576	0.21	0.36
13 (1989年)	沙棘	340		645	559	381	867	591	0.68	1.15
	荒山植被	364	431	130	607	46	4 669	354	0.08	0.21

荒山的水分主要消耗于土壤蒸发、径流等无效耗水。沙棘生产1g干物质总耗水755g,其中蒸腾耗水551g,而荒山生产1g干物质蒸腾耗水644g,但总耗水量却达4 501g。沙棘水分有效利用系数为荒山植被的5倍。如用水分利用率(1mm水每1m<sup>2</sup>生产的地上干物质克数)表示,沙棘林和荒山植被分别为1.39g/m<sup>2</sup>·mm和0.24g/m<sup>2</sup>·mm。总之,从以上各项目比较表明,沙棘林地对水分的利用比荒山植被经济,利用率高。这与沙棘林的群落学特性有关。由于沙棘林地郁闭快、郁闭度大,能形成较密的林冠层、茂密的草被层和枯枝落叶层,这对减弱降水形成的地表径流,增加水分入渗,有效地防止土壤侵蚀,减少土壤表面水分蒸发起较大作用。加之沙棘

具有发达的水平根系，能有效地利用土壤水分活跃层中每次降雨后补偿的水分，这样使土壤水分的有效性大大提高。

#### (四) 沙棘林地土壤水分的利用

沙棘林地的净初级生产量较荒山植被大幅度提高，所以消耗了部分土壤储水，而且随林龄增加，沙棘根系不断下伸，使越来越深的土层水分亏缺加剧。据调查5龄沙棘根深1.8~4.5m，13龄者达4.5~6.5m。在半干旱的吴旗，沙棘根系所达土层含水率降为4%~7%，而根系未达土层土壤含水率为7.5%~9%（图3）。由表4可以看出，1981年生长季前（5月）5龄沙棘林地5m土层储水量为403mm，若以4%为凋萎湿度计，其中有效水仅143mm，至1989年生长季末，5m土层储水量为340mm，其中有效水为80mm，9年内沙棘林地总耗水量较同期降水量多63mm。而荒山植被1981年5月5m土层储水量为464mm，其中有效水204mm，至1989年生长季末5m土层储水量为364mm，其中有效水也只有104mm。荒山植被土壤水分雨季后一般可补偿至1~2m，而沙棘林地一般补偿到0.6~1m，仅在1985年补偿至2.5m。由于沙棘林地土壤物理性质得到改善，持水力提高，土壤水分活跃层的含水率往往高于荒山植被（表5）。另外，从表4可见，1981年、1983年、1985年、1988年四年中，5m土层储水量

表5 沙棘林与荒山植被土壤水分亏缺与补偿比较

土层深度 (cm)	田间 持水量 (%)	沙 棘 林				荒 山 植 被			
		1988年 (12龄)		1989年 (13龄)		1988年		1989年	
		土壤含水率 (%)	占田间 持水量 (%)	土壤含水率 (%)	占田间 持水量 (%)	土 壤 含水率 (%)	占田间 持水量 (%)	土 壤 含水率 (%)	占田间 持水量 (%)
0~20	21.1	16.9	80.1	11.8	55.9	13.0	61.6	8.7	41.2
20~40	19.5	12.2	62.2	7.8	40.0	12.8	65.6	6.6	33.8
40~60	21.3	10.8	50.7	5.3	24.9	11.8	51.6	3.5	16.4
60~80	22.8	9.9	43.4	4.1	18.0	10.6	47.1	3.3	14.5
80~100	22.7	7.4	32.6	4.6	20.3	8.6	37.9	3.2	14.1
100~150	23.4	4.7	20.1	4.6	19.7	4.8	20.5	4.4	18.8
150~200	20.6	4.5	21.8	4.7	22.8	5.0	24.3	4.8	23.3
200~250		4.9		4.1		5.3		4.7	
250~300		4.5		4.0		6.2		5.7	
300~350		4.4		4.0		6.8		6.1	
350~400		3.8		3.9		7.4		6.9	
400~450		4.4		4.7		7.7		7.4	
450~500		4.9		4.6		8.0		7.4	

都较前一年增加，同时亦超过1981年5月的储水量，说明沙棘林地土壤水分除深土层储水略有减少外，在丰水年1~2.5m土层水分可得以补偿，9年中5m土层储水基本处于波动性的平衡之中。即在较干旱年份土壤水分亏缺较多，在丰水年可接纳较多降水使土壤水分可得以较好补

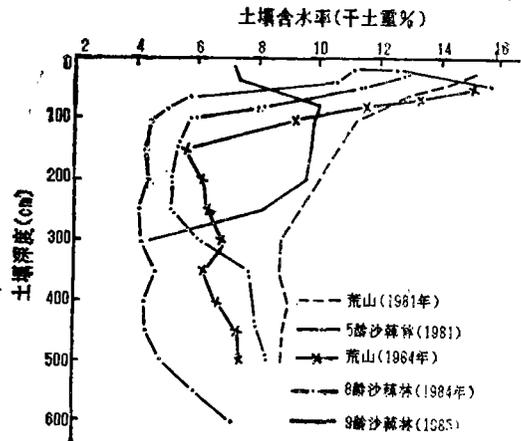
偿，更有效地发挥土壤水库的调节作用，从而维持了较高的净地上初级生产量。例如，经过1987年特大干旱年后（年降水量仅188mm），1988年、1989年沙棘林地依靠较充沛的降水获得高于荒山植被5~8倍的地上净初级生产量（其中林下草被生物量较荒山植被高2倍），且1.5m土层含水率高于荒山。足见深土层的水分亏缺对沙棘林及其林下天然草类的生存与生长并未造成不利影响，而在较干旱年份荒山1.5m以内土壤含水率比沙棘林更低

**(五) 提高沙棘水分利用率的营林措施**

半干旱地区造林的关键问题是如何利用有限的降水资源提高造林成活率，增加干物质产量，在沙棘成林过程中，我们自1982年开始，根据立地条件将沙棘林进行了不同利用方向的抚育，以有效地发挥其生态和经济效益。通过采取平茬、疏伐、修枝、整地和施肥等措施，提高了沙棘林的土壤含水率与水分利用率(表6)。这样将沙棘林抚育成不同利用方向的林分，即水土保持林、果用林、小径材林和薪炭、放牧兼用林。

**表6 沙棘林抚育效果**

生长年限 (年)	抚育时间 及措施	株高 (m)	地径 (cm)	冠幅 (m)	密度 (株/m <sup>2</sup> )	地上净初级 生产量 (g/m <sup>2</sup> ·a)	土壤含水率 (%)		调查地点、时间
							0~60 cm	60~100 cm	
4	1982年 12月平茬	1.3	2.2	0.8×1.7	2	649	8.7	4.9	许寨子峁坡1982年11月
5	/	1.2	1.0	0.6×0.9	2	682	15	7.2	许寨子1983年10月
9	1984年 12月间伐	2.5	6.2	1.2×1.8	0.8	910	11	6.6	许寨子1987年10月



**图3 不同龄沙棘林土壤含水率**

**四、结论与讨论**

1. 根据14年沙棘成林过程的试验观测，沙棘靠其根蘖繁殖能迅速形成郁闭的团状灌丛。随着沙棘的自然稀疏，能形成良好的灌木——草本群落。3~13龄沙棘林平均地上净初级生产量为438g/m<sup>2</sup>·a，是荒山植被的5.8倍。

2. 5~13龄沙棘林年平均总耗水量为362mm，年蒸腾耗水量为262mm，荒山植被年总耗水量为沙棘林的1倍，但沙棘林年蒸腾耗水量为荒山的5.1倍，说明沙棘生产性耗水比荒山植被高。沙棘生产1g干物质总耗水755g，其中蒸腾耗水551g，荒山植被生产1g干物质蒸腾耗水644g，总耗水量高达4501g，沙棘水分有效利用系数为荒山植被的5倍。沙棘林水分利用率为1.39g/m<sup>2</sup>·mm，是荒山植被的5.8倍。

3. 在干旱年分土壤水分亏缺较多，在丰水年1~2.5m土层水分可得予以补偿。(下转84页)

表6 荒草地土壤水分有效性分析

层 次		4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
速 变 层 (0~20cm)	湿度 (%)	23.19	14.16	15.48	17.28	22.22	19.25
	占田间持水量 (%)	102.52	62.60	68.44	76.39	98.23	85.10
	有效程度	富余	中效	中效	中效	易效	易效
活 跃 层 (20~120cm)	湿度 (%)	20.52	18.80	15.32	14.40	18.50	17.83
	占田间持水量 (%)	90.72	83.11	67.73	63.66	81.79	78.82
	有效程度	易效	易效	中效	中效	易效	中效
次 活 跃 层 (120~180cm)	湿度 (%)	19.98	18.93	18.45	17.13	18.17	18.23
	占田间持水量 (%)	88.33	83.69	81.56	75.73	80.33	80.59
	有效程度	易效	易效	易效	中效	易效	易效

## 六、结 论

1. 在渭北旱塬区, 1989年整个生长季节(5~10月) 20龄人工油松林的蒸腾耗水量可达242.96mm, 占到同期降水量的72.03%。气温是影响油松蒸腾的主要气象因子, 其次为空气湿度, 光照强度只对1龄针叶的蒸腾有较大的影响, 对2、3龄针叶则影响较小。

2. 油松根系的吸水范围深达1.8m以下, 在此范围, 可将人工油松林地土壤水分垂直分布划分为根系微弱利用层(0~20cm)和利用层(20~180cm)。

3. 按照土壤水分对林木生长的有效性原理分析, 油松林地土壤水分除在生长初期处中效水平外, 在整个生长盛期一直处于难效状态, 长期处于生长阻滞含水量以下。林地土壤的有效贮水经过生长季节损失了41.9%, 说明在生长季节, 尤其是欠水年, 土壤有效水的支出大于收入。

4. 荒草地(对照)土壤水分的垂直分布从上到下可划分为速变层(0~20cm)、活跃层(20~120cm)和次活跃层(120~180cm)。土壤水分的季节动态规律与林地大致相同, 而且荒坡地土壤水分含量较林地高。

(上接第97页)

沙棘林土层储水基本处于波动性的平衡之中。

4. 根据立地条件进行不同利用方向的抚育, 形成了良好的沙棘水保林、果用林、小径材林和薪炭、放牧兼用林, 可提高土壤含水率、水分利用率, 进而加速了植被建造。

本研究仅是15龄前的沙棘林净初级生产量和耗水量动态。据国内外资料报导, 沙棘生命周期长达数十年。在15龄以后, 从中龄到老龄团状林, 各阶段的产量和水分特性如何? 有待今后进行长期定位观测、研究, 以掌握沙棘从定居到旺盛生长, 再到衰败各阶段的有关规律, 并提出提高生产力和水分利用率的有效措施。