

陕北黄土丘陵沟壑区 刺槐林水分生态条件及生产力研究

马玉玺 杨文治 杨新民

(中国科学院
水利部 西北水土保持研究所)

提 要

本文通过对陕北黄土丘陵沟壑区(Ⅰ)刺槐林进入中、壮龄期后,蒸腾耗水、降水和土壤贮水量的季节变化,以及刺槐在生长过程中不同时期水分条件的变化和刺槐生长反应的分析,认为本区基本适宜刺槐生长。但是本区刺槐林对水分的有效利用率较低,据估算其年有效耗水只占年降水量的46%左右,并且土壤水分经常处于亏缺状态,这将对今后刺槐生长产生不利的影晌。据此作者提出了如下建议:1.本区应以营造水土保持林为主,并把刺槐作为重点推广树种;2.加强造林整地工作,合理布设造林水保工程,加强林地管理,提高水分利用率。

关键词:林地土壤水分 蒸腾强度 蒸腾耗水量

陕北黄土丘陵沟壑区第二副区地处半干旱地区。据多年试验研究,区内人工林地土壤水分经常处于亏缺状态,水分成为直接影响树木生长的限制因子。为了评价本区造林的适宜性,我们在陕北延河支流杏子河流域下游的安塞县沿河湾乡茶坊村,对刺槐林地水分生态条件及刺槐生长过程进行了定位研究,现将研究结果初报如下。

一、自然条件及研究方法

试验区植被稀疏,气候干旱,年均降水量549.1mm,降水年变率大,枯水年只有300mm左右,丰水年可达700mm以上,且降水年内分配不均,7~9月降水占年降水量的61.1%,年蒸发量为1463mm。标准地选在海拔1250m的坡地上,坡向为半阳坡,坡度25°,土壤为黄绵土,供试树种为14年生人工刺槐林,保留株数2278.8株/ha,林分平均高10.1m,平均胸径7.6cm,上层覆盖度为62%,林下多长芒草,铁杆蒿草丛,盖度为60%~70%。

为了查清刺槐林地土壤水分条件的年际动态变化,我们自1980年起进行了连续10年的定位观测。另外,又于1989年6月至10月,在标准地内选择标准木,在标准木树冠南向上、中、下三个部位选择标准枝,用离体快速称重法测定蒸腾强度。测定时间为每月选择典型日按8、10、12、14、16、18h各测定一次,每次3个重复,同时测定光照、气温、相对湿度及风速,并同步对刺槐林地0~3m土层土壤水分进行了测定。在观测树木蒸腾的同时,采用标准枝法测定单株叶量,以估算蒸腾耗水量。根据以上观测结果,我们就刺槐林在生长季内不同季节耗水状况与同期

注:陕北黄土丘陵沟壑区(Ⅰ)系指陕北黄土丘陵沟壑区第二副区。

降水及土壤水分状况进行了比较,同时还对新选标准木采用解析木法,对刺槐生长进程及其在不同时期,不同水分年的生长状况进行了对比研究,进而对本区刺槐的水分生态条件进行了分析评价。

二、研究结果与分析

刺槐属中生树种,既喜湿润肥沃的土壤又耐干旱瘠薄,有较强的适应性和抗逆性。据对区内刺槐根系的调查,刺槐属浅根性树种,主根不明显而侧根发达,侧根垂直延伸可达7 m左右,从根系的分布来看,自0~5 m根系都很发达,但是在0.2~1.2m、2.0~5.0m出现两个根系较密集区,这对适应本区气候干旱,充分利用土壤水分,缓解水分供需矛盾有一定的意义。

(一) 不同季节典型日刺槐的蒸腾耗水特征

本区地下水埋藏很深,植物生长所需水分主要来自天然降水,而树木蒸腾耗水是较大的一项水分支出。从在不同季节选择典型日的测定结果来看,蒸腾强度的日变化有着明显差异,见表1。

表1 不同季节刺槐蒸腾强度的日变化

测时 (h)	6月5日		7月8日		8月9日		9月12日		10月12日	
	蒸腾强度 (g/g·h)	温度 (℃)								
8	0.40	18.2	0.25	22.0	—	—	0.06	12.2	—	—
10	0.44	25.0	0.54	24.8	0.26	18.2	0.11	16.8	0.05	10.0
12	0.56	27.0	0.57	30.0	0.49	21.8	0.27	22.6	0.15	16.0
14	0.36	27.8	0.57	29.0	0.18	24.6	0.19	24.8	0.06	19.4
16	0.56	30.8	0.57	29.3	0.16	24.4	0.10	24.8	0.11	21.2
18	0.17	28.2	0.49	27.2	0.07	22.4	0.04	25.0	0.05	17.2
平均	0.42	26.2	0.50	27.1	0.23	22.3	0.13	21.2	0.08	16.8

由表1资料绘成图1。由图可见6月至7月日蒸腾的相对值较高,并表现为双峰曲线,第1次高峰出现在12h,第2次出现在16h,而进入7月中旬的雨季,日蒸腾值变小,其进程表现为单峰曲线,高峰区出现在12h左右。从不同月份典型日蒸腾强度的测定结果分析,刺槐自5月中旬发叶后,随着气温的升高,蒸腾强度逐渐增强。如图2所示,7月份蒸腾强度达到最大值,其日蒸腾值达0.5g/g·h,8月份日蒸腾值下降,8月之后以平稳的趋势逐渐下降。6~7月是刺槐蒸腾的高峰区段,其典型日蒸腾强度变动在0.42~0.50g/g·h之间,而这段时间正是刺槐旺盛生长阶段,正值高温和干旱时期,因此,在这一时期能否有足够的水分收入对刺槐生长是极其重要的。

我们利用不同月份典型日所测蒸腾强度值,计算了刺槐各月的蒸腾耗水量,与各月降水量与0~3 m土层土壤平均含水量的变化进行了对比分析。月蒸腾耗水量的推算公式为:

$$\text{月蒸腾耗水量 (mm)} = \text{昼夜平均蒸腾强度 (g/g·h)} \times \text{单株叶量 (g)} \times \text{密度 (株/ha)} \times 24 \text{ (h)} \times (30 \text{天} - \text{降雨天数}) \div 10^7 \text{ (注: 假设降雨日无蒸腾)}$$

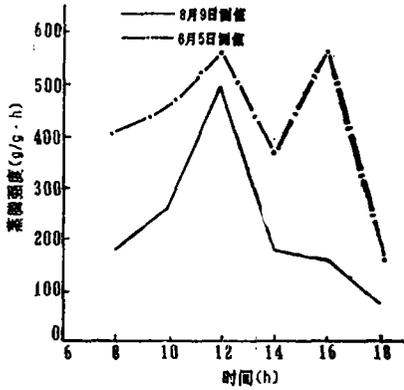


图1 蒸腾强度日变化曲线

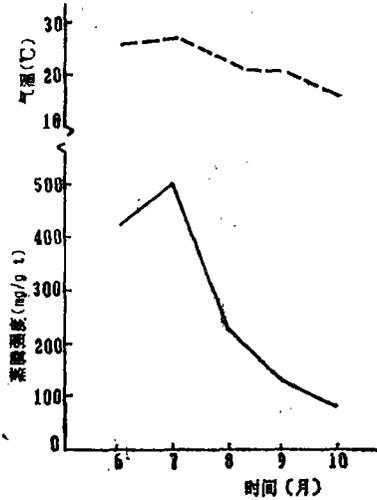


图2 蒸腾强度季节变化曲线

根据上式将计算结果列入表2，从表2资料分析，6、7、8三个月蒸腾耗水量的相对值较高，变动在45.9~99.5mm之间，占同期降水量的72.7%，水分的相对有效利用率较高，而9、10月蒸腾耗水量的相对值迅速降低，两个月合计为41.2mm，且水分的相对利用率较低，有效耗水只占同期降水量的35.9%。

表2 水分条件的季节变化

月 份	昼夜平均蒸腾强度 (g/g·h)	叶 量 (kg/株)	蒸腾耗水量 (mm)	降雨量 (mm)	0~3m土壤平均 含水量 (%)	0~3m土壤 平均含水量的 变化量 (%)
5月	—	—	—	—	6.38	—
6月	0.25	2.07	61.4	69.9	6.37	-0.01
7月	0.29	3.31	99.5	168.9	9.85	3.48
8月	0.14	3.05	45.9	46.8	5.71	-4.14
9月	0.08	2.79	24.1	104.2	6.58	0.87
10月	0.05	2.53	17.1	10.6	6.41	-0.17
合计	—	—	248.0	399.3	—	0.03

从各月水分状况来看，自6月中旬进入雨季，降水开始增加，6月降水量与同期蒸腾耗水量的相对值大体相抵，因此，6月份0~3m土层的土壤平均含水量与5月相比没有变化；而进入7月份，降水量增加达168mm，这一时期虽然气温较高，蒸腾耗水量较大，但是，由于降雨补充了大量的水分，加之由于阴雨天降低了林地的蒸散量，因此这一时期土壤水分得到较大恢复，0~3m土层土壤平均含水量达到9.85%，较6月份提高55%；进入8月份，蒸腾耗水量的相对值迅速下降到45.9mm，但是这一月的降水量也有46.8mm，这时气温仍然较高，林地蒸散强烈，土壤水消耗较大，0~3m土层土壤平均含水量下降到5.71%，已接近凋萎湿度，这对刺槐

的生长是很不利的；进入9月份，蒸腾耗水量的相对值迅速下降，只有24.1mm，但是9月份的降水量却高达104.2mm，因此土壤水分得到一定的恢复；而进入10月份，气温下降很快，耗水量减少，同期降水也较少，土壤水分无大的变化。

1989年为平水年，从刺槐林地的水分状况来看，生长季内降水基本能满足刺槐蒸腾耗水的需要，并且土壤贮水对刺槐生长起了一定的调节作用，但是，从生长季初与生长季末土壤水分的比较来看，经雨季土壤水分没有得到补偿，与生长季初土壤贮水量基本相同，也就是说，1989年降水与耗水大体保持平衡，说明当地刺槐只能依赖当年降水维持生长，土壤水分亏缺难以得到补偿，这对下一年刺槐的生长将会带来不利的影响。

在1989年刺槐的整个生长季内，降水量为399.3mm，刺槐蒸腾耗水量的相对值为248.0mm，总耗水量为397.7mm，蒸腾耗水量的相对值占同期降水量的62.3%，占全年总降水量的46%。因此，区内刺槐对水分的利用率并不高，这可能是由于两方面因素造成的，一是区内暴雨频繁，如1989年7月16日一日降雨达108.3mm，使大量降雨难以就地入渗，形成超渗产流，以径流方式流失；二是本区蒸发强烈，据在刺槐林地水分平衡场的测定，刺槐林地蒸散量占降水的84%~90%，也就是说，1989年水分无效蒸发量的相对值占降水量的38%~44%。因此，如何采取措施来减少径流和蒸发，对提高本区水分利用率是极其重要的。

(二) 水分生态条件的年际变化及刺槐生长的反应

根据《中国主要树种造林技术》一书的资料，在刺槐生长过程中，旺盛生长高峰只有一个，出现在2~6年，胸径旺盛生长期可能出现两次，一次在5~10年间，一次在15~25年间，但以第1次旺盛生长期的生长量最大，而在立地条件差的地方或多代萌生林只出现一个旺盛生长期，主要特点是来的早，持续时间短，以后一直保持较小的生长量。从本区刺槐生长过程来看（见表3、

表3 刺槐生产过程总表

树龄 (年)	胸 径 (mm)			树 高 (m)			材 积 (cm ³)		
	总生长量	连 年 生长量	平 均 生长量	总生长量	连 年 生长量	平 均 生长量	总生长量	连 年 生长量	平均生 长 量
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	—	—	—	1.0	1.0	1.00	10	10.0	10.0
2	1.5	1.5	0.75	3.0	2.0	1.50	130	120.0	70.5
3	2.5	1.0	0.83	4.0	1.0	1.33	480	350.0	160.0
4	2.8	0.3	0.70	4.5	0.5	1.12	1 590	1110.0	400.0
5	3.6	0.8	0.72	5.0	0.5	1.00	3 230	1640.0	650.0
6	4.1	0.5	0.68	5.5	0.5	0.92	4 380	1150.0	730.0
7	4.4	0.3	0.63	6.0	0.5	0.86	5 450	1470.0	780.0
8	4.9	0.5	0.61	7.0	1.0	0.88	6 920	1470.0	870.0
9	5.4	0.5	0.60	7.3	0.3	0.81	8 420	1500.0	940.0
10	5.7	0.3	0.57	7.7	0.4	0.77	10 120	1700.0	1010.0
11	6.1	0.4	0.55	8.0	0.3	0.73	12 320	2200.0	1120.0
12	6.4	0.3	0.53	9.0	1.0	0.75	14 480	2160.0	1210.0
13	6.6	0.2	0.51	9.6	0.6	0.74	16 250	1770.0	1250.0
14	6.8	0.2	0.49	10.1	0.5	0.72	18 930	2680.0	1350.0

图3)，树高生长旺盛出现在1~3年，以后基本保持在0.4m/a左右，只在个别年份有新增加，但很快减低下来；胸径旺盛生长出现了两次，一次在2~3年，一次在8~9年，但以第1次生长量最大，达1.1cm/a以上，以后渐趋减低。由此分析，本区刺槐树高、胸径生长过程表现出旺盛生长期来的早，持续时间短的特点，这表明本区的立地条件比较差。

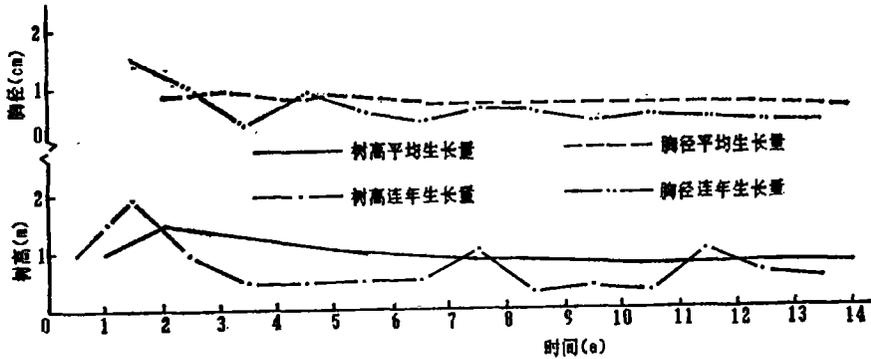


图3 树高、胸径生长过程曲线

从刺槐材积生长过程分析(见图4)，树龄自1~3年材积生长逐渐加快，但增长速度较慢，而从第4年开始，材积生长速度迅速加快，并保持在0.01m³/a以上，由此可将本区刺槐生长过程分为如下三个阶段：第1阶段1~4年为幼龄期；第2阶段从第4年开始，进入中、壮龄期，第3阶段是近成熟、成熟林期。从目前本区14龄刺槐生长状况来看，尚处于第2阶段。

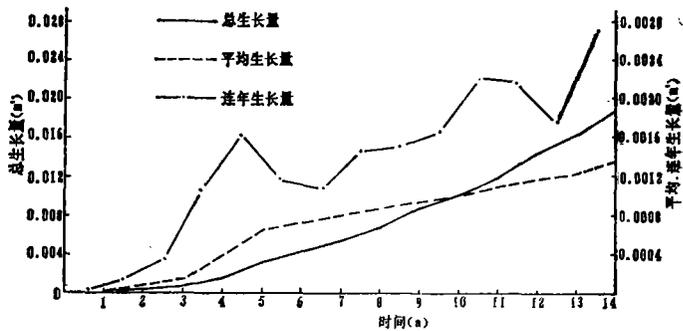


图4 刺槐材积生长过程曲线

根据刺槐生长过程分析，在幼龄期，树高、胸径生长较快，而材积增长速度较慢，进入中、壮龄期后，材积生长量迅速提高，但是，这一时期树木个体增大，耗水强烈，水分供需矛盾突出，表现在材积连年生长量随年降水量的变化而出现上下波动的现象(见图5)。

从区内不同阶段的水分条件与刺槐生长分析，图5表明材积生长与降水量的关系并不同步，且有材积生长滞后于降水量的规律性，材积生长缓慢的年份，却是蒸散量减低，土壤水分条件得到补偿的年份。1976~1978年刺槐正处于幼龄阶段，这一阶段植株个体较小，耗水量也较少，但却恰恰处于降水较丰的年份，年降水量多在550mm以上。因此土壤水分条件较好，这就为刺槐进入中、壮龄期的生长提供了较好的水分条件，因此，在1979~1980年连续两年降雨不足450mm的情况下，刺槐材积生长量得以迅速增加，而同时伴随着对土壤水分的强烈消耗，0~2m土层土壤贮水量下降到237.5mm(见表4)，土壤水分亏缺值达240.9mm，因此在1981和1982年，尽管降水量有所增加，但对当年材积生长补益不大，材积生长明显下降，但土壤水分却得到部分补偿，0~2m土层贮水量达377.2mm。1983年降水量达700mm，加之前期土壤水分条件较好，所以这一年刺槐材积生长迅速回升，同时，土壤水分得到较好的恢复，0~2m土层土

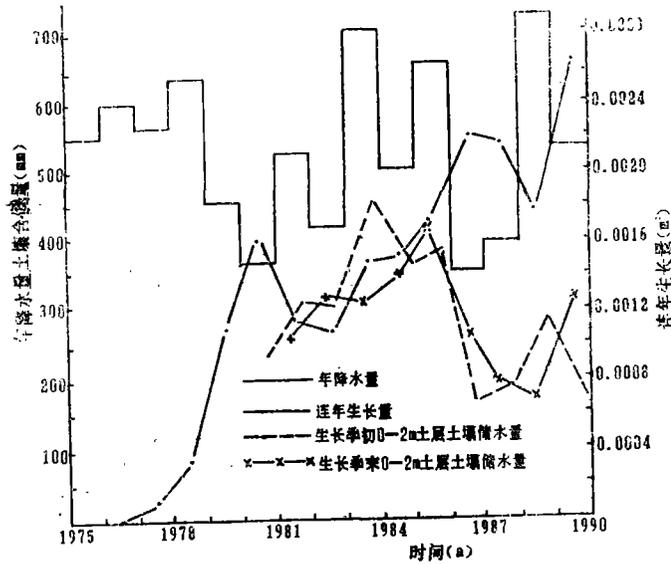


图5 材积连年增长量与降雨及土壤贮水量的关系

壤贮水量达473.5mm, 因此在1984年降水仅500mm的情况下, 材积生长量仍然保持增长的势头。1985年降雨继续增加, 材积生长持续上升, 自1983~1985年连续的丰水年促进了刺槐的生长, 同时使土壤水分得到改善, 为刺槐生长提供了较好的水分条件, 因此在1986~1987年连续两年持续干旱的情况下(降雨均在400mm以下) 材积生长量却大幅度提高 $0.2\text{m}^3/\text{a}$, 但是这两年土壤水分消耗十分强烈, 生长季末0~2m土层土壤水分亏缺量达283.9mm, 已接近凋萎

湿度, 土壤干旱严重, 对刺槐生长产生了极其不利的影响。

利用表4资料, 我们采用多元逐步回归方法对刺槐生长与水分条件的关系进行了分析, 共选择6个变量, 包括因变量1个 $V_{\text{连}}$ —连年增长量(cm^3/a); 自变量5个, 分别为 T —树(年)、 P —年降水量(mm)、 P_{1-4} —4~10月降水量(mm)、 w_1 —生长季初0~2m土层土壤贮水量(mm)、 w_2 —生长季末0~2m土层土壤贮水量(mm); 选择 $F_2 = 3.59$ 的显著水平检验作为标准, 确定每个变量引入或删除, 将以上数据输入计算机运算得出逐步回归的结果为:

$$V_{\text{连}} = 7.771T^2 - 1.303P_1 + 1552.464$$

表4 水分条件的年际变化

年 份	降水量 (mm)	4~10月 降水量 (mm)	生长季初0~2m 土 层 水 分		生长季末0~2m 土 层 水 分		生长期0~2m 土层贮水 量的变化 (mm)	材积连 年增长 量 (cm^3)
			贮水量 (mm)	亏缺量 (mm)	贮水量 (mm)	亏缺量 (mm)		
1980年	364.0	316.3	274.0	204.4	237.5	240.9	-36.5	1 640.0
1981年	411.4	451.0	268.7	209.7	377.2	101.2	108.5	1 150.0
1982年	424.4	357.1	319.1	159.3	304.4	174.0	-14.7	1 070.0
1983年	701.0	541.1	312.5	165.9	473.5	4.9	161.0	1 470.0
1984年	503.7	440.8	349.3	129.1	374.6	103.8	25.3	1 500.0
1985年	666.8	652.8	224.7	253.7	390.1	88.3	165.4	1 700.0
1986年	351.3	292.6	274.0	204.4	178.0	300.0	-96.0	2 200.0
1987年	404.8	320.2	192.7	285.7	194.5	283.9	1.80	2 160.0
1988年	729.2	679.7	175.4	303.0	283.8	194.6	108.4	1 770.0
1989年	540.0	430.0	310.9	167.5	183.0	295.4	-127.9	2 680.0

回归方程的复相关系数 $R = 0.8989$ ，回归方程的剩余标准差 $S = 246.3088$ ，回归方程的最终 F 计算值 $FF = 14.72 > F_{2, 0.01} = 9.55$ 。由回归方程的 R 值及 F 检验值可以判定，该回归方程的关系是极显著的。

由以上回归结果分析，树龄及4~10月降水量与材积连年生长量有显著关系，因此回归方程选入了这两个变量，而其余变量被剔除了，并且材积连年生长量与树龄的平方成正相关关系，这表明本地区的水分条件目前尚能满足刺槐生长的需求，材积生长逐年以指数形式迅速增长，但是，材积生长又受到水分条件的制约。这表现在材积连年生长量与4~10月降水量出现了负相关关系，材积生长速度随降水量的变化而上、下波动，而二者的负相关关系并不是说降水量越少，材积生长速度越快，从生物学的意义上来解释，进一步证明了材积生长量滞后于降水量的规律性。

综上所述，本地区刺槐一方面受水分条件的影响而上、下波动，出现材积生长滞后于降水量变化的现象，即材积生长高峰出现在丰水年后的枯水年，而低峰出现在枯水年后的丰水年，另一方面材积生长在中、壮期又以指数形式逐年增加，说明本地区降水能满足刺槐生长的要求。从土壤贮水量的变化分析，丰水年虽然使土壤水分得到一定补偿，但是经冬春融冻期，土壤水分蒸发强烈，使大量土壤水分无效消耗。如1983年和1985年，降水量高达701.0mm和666.8mm，0~2m土层土壤贮水量经雨季恢复期后，分别达到473.5mm和390.1mm，但至翌年生长季初0~2m土层土壤贮水量分别下降到349.3mm和274.0mm，分别下降了26.2%和29.8%；而丰水年后的旱年，正是刺槐生长的高峰年，土壤水分非但得不到补偿，却被大量蒸散耗失，致使土层出现水分严重亏缺的现象，这将对刺槐生长产生抑制作用。再从土壤水分的年际变化来看，在半干旱黄土丘陵沟壑区第二副区，刺槐林明显恶化了土壤水分生态环境，加剧了土壤向干燥化发展，土壤水分亏缺加剧，这对今后刺槐生长必将带来不利的影响。

三、几点建议

根据本地区水分生态条件的特点及刺槐生长规律，我们提出以下几点建议：

1. 本区水土流失严重，刺槐根系发达，耐旱速生，是较好的水土保持树种，可作为重点推广树种；
2. 加强造林整地工作，合理布设造林水保工程，拦蓄降水，增加入渗，改善土壤水分条件；
3. 加强林地管理，及时松土除草，减少水分的无效消耗，提高水分利用率；
4. 本区应以营造水土保持林为主，但在年降水量500mm以上地区，可选择水分条件较好的阴坡，半阴坡及沟圪地，营造小径级用材林，以解决当地木材短缺的矛盾，营林密度不宜大于150株/亩。