中国科学院 水利部 西北水土保持研究所集刊
1992年6月 Memoir of NISWC, Academia Sinica and Ministry of Water Resources 第15集

黄土高原四种能源灌木林的研究

王晗生 周泽生 李 立 米占国 苏文富*
(中国科学院 水利部 西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要

通过对4种能源灌木林的研究表期：同一树种生长量由于造林密度的增大而减小，而产量则由于造林密度的增大而提高。树种产量高低的顺序是：沙棘、柠条、沙柳、紫穗槐。4种能源灌木树种高密度(1 333株/亩)林地的土壤水分高于或相近于中密度(666株/亩)的林地，其中耗水程度高的能源灌木树种为沙棘和紫穗槐，柠条和沙柳较低。从而可为半干旱黄土丘陵区发展和营造能源灌木林选择适宜的造林密度提供科学依据。

关键词 造林密度 土壤水分 生长量 产量 能源灌木林

黄土高原地区，生态系统脆弱，植被稀少，"三料"俱缺，其中燃料短缺尤为突出，逐渐富裕的农民常被"锅中不愁锅下愁"的现象所困扰。而发展和营造能源林尤其是能源灌木林则是解决该区农村生活用能的有效途径。

黄土丘陵区，气候干旱，水分在生态因子中居主导地位。由于该区水土流失严重，地表水资源缺乏，地下水又埋藏很深，一般对林木根层储水不起作用，不能供给林木生长需要的水分，因而土壤水分便是一个影响林木生长和产量的重要因素。研究能源灌木林地土壤供水状况，尤其是造林密度，它是灌木林栽培经营的重要环节，因为适宜的种群结构是获得较高产量和效益的基础。研究造林密度与土壤水分，以及与生长和产量的关系，则对提高能源灌木林的生产力、建立高产、稳产的能源林具有重要的理论和实践的意义。

1 试验区自然条件

试验区位于宁夏回族自治区彭阳县境内，属黄土丘陵区，为温带半干旱气候，年降水量350～450mm，分配不匀，全年降水量的60%以上集中在7～9三个月。年均温度6.5～7.2℃，≥10℃积温2 376℃～2 581℃，无霜期150～160d。植被具有灌丛草原特征，盖度0.4～0.5。土壤为黄绵土，肥力差，有机质含量低(0.7%)。海拔高度1 500～1 700m。

2 试验树种和方法

2.1 试验树种。进行密度试验有以下4种(林龄计算到1990年)

1. 沙柳(*Salix mongolica*)造林密度：1 333、666和222株/亩。林龄：7年(平茬第3年)。

收稿日期 1991—12—31

* 米占国 苏文富同志在宁夏彭阳县科委工作

2. 紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)造林密度：1333、666和222株/亩。林龄：7年(平茬第3年)。

3. 沙棘(*Hippophae rhamnoides*)造林密度：1 333、666和444株/亩。林龄：4年。

4. 柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)造林密度：1 333和666株/亩。林龄：4年。

2.2 测定方法

该区生长季一般由4月下旬至9月下旬。为了解生长季中土壤供水状况，土壤水分测定集中在生长季各月末进行。土壤水分测定为常规方法，深度1.8m。

林木生长量和产柴量测定采用标准株和收获法。

3 结果与分析

3.1 能源灌木林地土壤水分

人工林地土壤水分的多少是林木、大气和土壤相互作用的结果。在相同的气候和土质条件下，林地土壤水分的多少取决于树种生物学特性(如水分需要差别、根系活动)和栽培措施(如造林密度)，从而可反映林地的耗水程度以及土壤供给林木生长需水的水平。

3.1.1 造林密度与土壤水分

同一树种，一般造林密度越大，林地耗水量越高，从而土壤湿度变低。但此现象不尽相同，表1试验结果表明，造林密度为666株/亩和222株/亩的沙柳和紫穗槐林地及造林密度为666株/亩和444株/亩的沙棘林地的土壤水分在各次测定中都由于密度的增大而减小，但最大密度为1 333株/亩的沙柳、紫穗槐、沙棘和柠条林地土壤水分反而高于或相近于其密度为666株/亩的林地；最大密度的沙柳林地土壤水分甚至高于或近于其最小密度(222株/亩)的林地，紫穗槐和沙棘却低于其最大密度(紫穗槐222株/亩、沙棘444株/亩)的林地。这与土壤水分一般规律有差异。对于最大的造林密度林地，从水量平衡角度分析，由于密度过大，拦蓄降雨，促进了降水入渗；另一方面大密度使林地荫蔽，减少了土壤蒸发，从而使土壤水分含量提高。由此可见，具有较高造林密度的林地1333株/亩比666株/亩供给林木生长的土壤水分状况较好些，1 333株/亩的沙柳林地则更为明显，高密度促进了土壤水分的有效利用，这对提高能源灌木林的生产力是有利的。

3.1.2 树种与土壤水分

根据对各次土壤水分测定值进行比较，可看出4种能源灌木树种耗水程度的差异。在同一造林密度条件下的不同树种，其耗水程度较高的(土壤湿度低)能源灌木树种有沙棘和紫穗槐，柠条和沙柳较低。

3.1.3 生长季林地土壤水分状况

土壤湿度相当田间持水量的百分比能更好地说明土壤水分对植物生长的有效性。土壤水分低于凋萎湿度，植物很难利用。凋萎湿度至生长阻滞持水量(约为田间持水量的60%)之间的水分，植物虽能利用，但生长受到明显阻滞，产量忽剧下降。土壤湿度低于生长阻滞持水量，说明土壤水分亏缺。生长阻滞持水量至田间持水量之间的水分植物易于利用，植物可正常生长。试区田间持水量为20.6%，凋萎湿度6%～7%。因此，可将土壤水分状况划分为以下几个等级：

土壤湿度(%)	墒情状况
＜8	特旱
8～11	干旱
11～12.4	半干旱
12.4～16.5	湿润(适中)
16.5～20.6	潮湿
＞20.6	过湿

表1 4种能源灌木不同造林密度土壤水分(1.8m加权平均值%)

树种	密度(株/亩)	1990年测定日期(日/月) 1/5	30/5	29/6	1/8	30/8	29/9	各次测定平均值
沙柳	1333	12.86	13.61	12.48	12.47	15.73	14.44	13.60
	666	12.19	12.79	10.77	10.07	12.82	12.20	11.81
	222	14.06	12.88	12.09	10.66	14.47	13.51	12.95
紫穗槐	1333	9.46	10.25	8.85	7.45	11.23	9.97	9.54
	666	9.65	10.11	8.63	6.89	10.81	9.31	9.23
	222	10.37	11.17	9.25	9.49	11.53	11.25	10.51
沙棘	1333	11.26	10.63	7.90	7.17	11.19	9.69	9.64
	666	9.57	8.50	6.87	7.01	10.71	9.02	8.61
	444	12.23	12.16	9.79	7.82	12.24	10.97	10.87
柠条	1333	13.07	13.07	11.84	10.75	13.87	13.20	12.63
	666	11.11	12.53	9.14	7.95	13.16	11.18	10.85

树种	密度(株/亩)	1989年测定日期(日/月) 15/4	28/5	28/6	29/7	28/8	28/9	23/10	各次测定平均值
沙柳	1333	13.19	12.43	11.52	10.98	10.83	10.84	11.26	11.58
	666	10.59	10.86	9.68	9.61	9.25	10.11	10.03	10.02
	222	11.33	12.19	11.32	10.65	11.04	11.60	11.23	11.34
紫穗槐	1333	8.34	8.38	7.02	7.04	7.89	8.14	8.97	7.97
	666	7.46	7.25	7.30	6.26	6.15	7.01	6.92	6.91
	222	9.32	9.57	8.89	8.06	7.71	9.66	9.32	8.93

树种	密度(株/亩)	1988年测定日期(日/月) 27/5	27/6	26/7	26/8	27/9	26/10	各次测定平均值
沙柳	1333	12.44	11.90	10.40	12.23	11.63	12.54	11.86
	666	10.55	8.83	9.30	10.23	9.66	11.22	9.97
	222	11.79	11.29	9.36	11.67	11.74	11.48	11.22
紫穗槐	1333	9.01	5.87	6.73	7.79	8.29	8.78	7.75
	666	9.05	5.82	6.64	7.71	8.51	7.84	7.60
	222	9.40	7.18	8.21	8.60	8.98	9.48	8.64

树种	密度(株/亩)	1987年测定日期(日/月) 29/4	30/5	30/6	31/7	30/8	30/9	各次测定平均值
沙柳	1333	9.20	10.69	10.35	8.23	7.18	10.35	9.33

土壤墒情以约占相当田间持水量的60%～80%为适中状况，因土壤水气比例适宜于植物根的生长与呼吸，土壤水分为最好状态，低于约田间持水量的1/2则会发生干旱，小于8%则会产生严重干旱(接近凋萎湿度)。

由表1可知，耗水程度高的树种沙棘和紫穗槐不同造林密度林地土壤水分(土层为1.8m深均值)均处干旱、半干旱甚至特旱的水分亏缺状态。紫穗槐不同造林密度林地1988—1989年多次测定值其土壤墒情呈干旱或特旱状况。1988—1989年沙柳造林密度为666株/亩和222株/亩林地土壤水分也处于亏缺状态，其1 333株/亩林地在生长季初或生长季结束后林地土壤水分为适中状况外，也处亏缺状态。而1990年沙柳1 333株/亩林地多次测定处于适中状态或接近亏缺状态，沙柳666株/亩和222株/亩林地和柠条不同密度林地土壤水分处于适中—亏缺交替状态。1987年沙柳1 333株/亩林地土壤水分处于亏缺的干旱状态。由此可见，不同的林地土壤水分均有水分亏缺的现象。据研究，该区的降水与土壤水分，其旬降水量<30mm为干旱旬，生长季内若连续3旬或3旬以上土壤干旱(土壤湿度平均<11%)，没有≥30mm的旬降水量就难以解除旱象，则会发生程度不等的干旱，影响作物的正常生长发育。当然这种情况对林木生长也是不利的。据该试区气象观测，1987年比1988—1990年生长季降水量和年降水量均偏少(表2)，是降水的欠水年，直到生长季末才出现两次≥30mm的旬降水。1987年荒山土壤水分低于丰水年1988年(表3)，到生长季末才相近，多次测定呈干旱状态，1987年沙柳1 333株/亩林地土壤水分也是如此(表1)。该年旱象十分严重，发生旱灾，就是在1988—1990年正常年分生长季中，有时也呈现旱象状态，和大旱年1987年相比，虽出现旱象，但持续时间较短。

表2　1987—1990年生长季(5—9月)降水量(mm)

年份	5月			6月			7月			8月			9月			生长季	年降
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	降水量	水量
1987	4.6	19.1	18.3	22.5	24.3	14.2	16.0	14.1	27.7	10.9	35.4	16.2	38.5	5.7	1.5	269.0	335.9
1988	32.2	20.3	13.5	18.5	1.7	4.5	59.7	9.5	18.6	50.1	43.1	87.7	7.1	8.5	21.4	397.4	484.0
1989	21.0	5.0	0	9.3	43.3	0.9	2.3	53.5	5.5	26.8	31.2	49.2	12.0	2.0	13.4	276.5	426.0
1990	4.0	60.1	0	8.0	9.1	14.4	34.0	10.4	19.1	2.3	93.3	53.5	11.8	5.1	41.0	366.1	546.1

表3　1987—1988年荒山5—9月末土壤水分(1.8m加权平均值%)

年份	4月	5月	6月	7月	8月	9月
1987	8.24	10.34	8.92	7.55	5.55	10.92
1988	9.76	11.85	11.48	11.12	11.96	10.71

半干旱黄土丘陵区降水是土壤水分的唯一来源，因此土壤水分状况与降水的特点有密切关系。1987—1990年，由于年降水量的不同，土壤水分有明显的年差异。以同一林地同时期土壤水分状况相比，1990年沙柳最好，1987年较差，1988和1989年居中，紫穗槐也有相似的规律。由表2可见，1990年降水量较多，1987年降水量较少。

从图1和表1土壤水分动态变化可看出，4种能源灌木树种都有近似的规律：6—7月或8月间出现土壤水分最低值。此时的土壤水分除1990年沙柳1 333株/亩林地接近亏缺外，其余均处于亏缺的干旱甚至特旱的状况。例如1988—1989年紫穗槐不同造林密

度林地和1990年沙棘不同造林密度林地的土壤水分此时期处于十分干燥的状态(土壤湿度<8%),土壤水分严重亏缺。但此时也正是树木旺盛生长时期,加之气温高,土壤水分蒸发量大,故对树木的生长危害较大,因此,保证此时有充足的降水就显得特别重要。

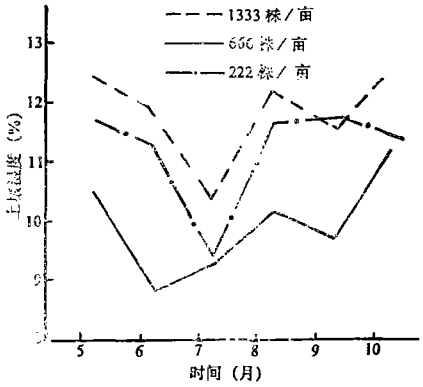

图1 沙柳生长季土壤湿度变化(1988年)

土壤水分的季节动态,总的可分为失水期和蓄水期。本区的降水特点是全年降水的60%～70%集中在7—9三个月,且多为降性暴雨,这一时期即所谓雨季或蓄水期。土壤水分的年内消耗,其补偿与恢复主要在雨季。雨季后土壤水分可反映水分的补偿与亏缺。

生长季末期,由于气温降低,日照缩短,林木生长趋于缓慢乃至停止生长,林木蒸腾量减少。尽管此时正是雨季,从表1生长季能源灌木林地土壤水分动态变化可知,与最低值时期相比,到9月末林地土壤水分有所升高,但没有得到较大幅度的补偿。当9月末雨季基本上结束时,除1990年沙柳1 333株/亩和222株/亩林地和柠条1 333株/亩土壤水分适中(相当田间持水量60%～80%)外,其余各年份均处于亏缺状态(<相当田间持水量60%),充分说明该区土壤干旱的特性。

3.2 能源灌木生长及生物产量

沙柳、沙棘、紫穗槐和柠条4种能源灌木抗旱适应性强,是该区解决农村生活用能的主要能源树种。虽然林地土壤水分时常处于对林木生长不利的亏缺或接近亏缺的状态,但4种能源灌木仍有较高的生长和产量(表4)。其中尤以沙棘生长迅速,生长量最大,产柴量最高,即就是稀植的沙棘也比其它3个能源灌木树种密植的高。据平茬试验,4年生沙棘666株/亩林地平茬第1年和平茬第2年后的产柴量分别为1 867kg/ha和4 600kg/ha。由此可见,沙棘是该区最有发展前途的能源灌木。从4种能源灌木产柴量高低比较其顺序是:沙棘、柠条、沙柳、紫穗槐。从土壤水分分析,沙棘和紫穗槐耗水程度高,即沙

表4 4种能源灌木生长量和生物产量

树种	林龄(年)	密度(株/亩)	1990年生长量(cm) 树高	1990年生长量(cm) 地径	年平均生长量(cm) 树高	年平均生长量(cm) 地径	年均产柴量(kg/ha)
沙柳	7(平茬第3年)	1333	21	0.38	45.0	0.35	833.3
		666	26	0.42	46.0	0.37	511.0
		222	34	0.47	52.7	0.43	213.0
紫穗槐	7(平茬第3年)	1333	14	0.21	27.3	0.42	522.3
		666	17	0.26	28.3	0.51	255.3
		222	24	0.32	38.0	0.54	189.0
沙棘	4	1333	—	—	—	—	3116.8
		666	58	0.86	51.3	0.92	2541.8
		444	—	—	—	—	1175.0
柠条	4	1333	—	—	—	—	1391.5
		666	25	0.29	36.8	0.39	700.0

棘和对土壤水分利用率高(形成干物质而言)，而紫穗槐则低。对树木个体生长发育而言，营养空间越大，越有利于林木生长，即随着造林密度的增大，生长量减小。虽然高密度(1 333 株/亩)的沙柳和紫穗槐林地比其 666 株/亩的林地土壤水分条件好些，甚至沙柳比其稀植林地(222 株/亩)土壤水分条件还要好，但从生态因子的综合性和不可代替性分析，由于最大造林密度的林地营养相对不足，因此，最大密度林木的生长量则会低于较小造林密度林木的生长量。同一树种的产柴量由于造林密度的增大而增加。因此，能源灌木林采用高密度短轮伐期经营，在较短时期内，则会获得较高的薪柴产量，但这样的能源灌木林是否稳定，还有待进一步观察。因为要获得高额的产出，在目前林业生产水平下，高密度会使土壤养分相对不足(尽管固氮树种能够补充部分土壤氮素)，以及土壤水分亏缺等不利因素的影响，逐渐会使树势衰弱，林木分化和自然稀疏。因此，在半干旱黄土丘陵区营造能源灌木林，造林密度不宜过高。

4 结　论

4.1　试验表明，林地土壤湿度一般由于造林密度的增大而减小，而 4 种能源灌木树种最大造林密度(1 333 株/亩)林地土壤湿度则高于或相近于较小造林密度(666 株/亩)的林地，沙柳还高于或近于其稀植林地(222 株/亩)。不同能源灌木树种，在同一造林密度条件下，耗水程度高的树种为沙棘和紫穗槐，其次为柠条和沙柳。

4.2　该区林地土壤水分时常处于对林木生长不利的水分亏缺状态。试验表明，4 种能源灌木林地土壤水分动态有相似的规律，即 6—7 月或 8 月出现土壤水分最低值，此时土壤水分处于亏缺或接近亏缺的状态。因此，在该区土壤水分亏缺条件下，为促进林木生长，可在生长季早期进行林地松土、除草以及扩穴等技术措施，以促进降水入渗和土壤保墒。亦可使用保水剂，防止土壤水分的蒸发。

4.3　供试 4 种能源灌木已开始平茬或进入第二次平茬期，其产柴量的高低顺序是：沙棘、柠条、沙柳、紫穗槐。即是稀植的沙棘(444 株/亩)，产柴量也高于其它 3 个能源灌木密植树种。沙棘是解决该区农村生活用能优先考虑的树种。同一树种，产柴量由于造林密度的增大而增加，故高密度种植，在短期内可获得较高的薪柴产量。但该区立地条件较差，造林密度过高，则会影响能源灌木林的生长，该区较适宜的能源灌木林的造林密度一般以330～440 株/亩为宜。在半干旱黄土丘陵区营造能源灌木林时，应考虑树种的抗旱性及其经济利用土壤水分资源，以提高土地水分生产的效率。因此、选择生产薪柴耗水系数小的树种和优化配置类型是可行的。

参　考　文　献

[1] 中国科学院、宁夏回族自治区固原县综合考察队编著．黄土高原典型地区宁夏固原县综合农业区划与应用(第 1 版)．宁夏人民出版社，1988 年 3 月

[2] 杨文治，韩仕峰．黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境．中国科学院西北水土保持研究所集刊，1985 年第 2 集

THE STUDY ON THE 4 SPECIES OF FUEL SHRUBBERIES OF THE LOESS PLATEAU

Wang Hansheng Zhou Zesheng Li Li Mi Zhanguo Su Wenfu
(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Conservancy Yangling·shaanxi·712100

Abstract

4 species fuel shrubberies were studied in this paper, the result shows that as cultural density increased, growth amount decreased for the same species of shrub, And the yield (above ground biomass)rose. The order of 4 species was Common Seabuckthorn, Korshinsk Peashrub, Mongolian Willow and Shrubby Falseindigo from high yield to low yield. The soil-moisture in high density (1333 individuals per mu) shrubland was a little higher than that in middle density (666 individuals per mu) shrubland for 4 species, of which the high water consumption species were Common Seabuckthorn and Shrubby Falseindigo, followed by Korshinsk Peashrub and Mongolian Willow. So the result may provide the scientific basis for choosing proper cultural density in developing and establishing fuel shrubberies in the semi-arid loess hilly area.

Key words cultural density soil-moisture growth amount yield fuel shrubbery