

# 黄土高原水土保持型薪炭林 建立途径的研究

李立 周泽生 汪有科 傅左 杨光 杨保田\*

(中国科学院水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

## 摘要

农村能源是当今世界上面临的重大问题之一。我国农村能源严重短缺,黄土高原地区农村能源尤为突出,而发展薪炭林则是解决我国农村能源最现实、最经济、最有效的途径。通过试验提出建立水土保持型薪炭林的系列技术及提高其生产力的有效措施,可为黄土高原水土流失严重地区发展和建造薪炭林提供依据。

**关键词** 水土保持型薪炭林 造林密度 配置类型 轮伐利用  
多用途法

能源的开发利用是推动社会生产力发展的物质基础,人类生活和一切生产活动都离不开能源。农村能源是当今世界上面临的重大问题之一,农村能源短缺不仅影响农业生产和生活用能,而且造成作物秸秆、畜粪不能还田,土壤有机质减少,地力下降,过度樵采,破坏森林植被,水土流失加剧,从而给社会、环境、生态带来广泛的影响和严重的后果。

特别是我国农村人口众多,农业生产和农村生活消耗的能源数量极大,据1985年统计,我国农村总能耗达4.1亿t标准煤,占全国能源总消耗量的42%,总能耗中生活用能占80%,生产用能占20%。而在生活用能结构中,生物质能消耗量最多(其中秸秆占43.3%,薪材占39.8%,畜粪占2.3%),占80%以上。因此,发展生物质能,缓解农村能源紧缺状况,在我国能源建设中占有十分重要的地位。

薪材是我国农村的传统能源。就我们的国情而言,农村以秸秆、薪材为主的生物质能源结构,至少到2000年不会有根本的改变。所以,薪材林的开发利用,不仅是解决我国农村能源严重短缺,改善群众生活条件和增加收益的一条重要途径,而且对保护生态环境,防治水土流失,保障农牧业生产的发展和实现农业现代化均具有重要而深远的意义。

本项研究是“七五”国家重点科技攻关项目——农村可再生能源综合试点的一项专题,试验基点选设在宁夏西吉县,现将试验研究结果报告如下:

## 1 试验区自然条件

试验区位于西吉县兴平乡韩垅和马建乡大坪、土窝、白台三村,地理位置界于北纬

35°35′~36°14′, 东经 105°28′~105°42′。该区属黄土丘陵(黄土丘陵占该县土地总面积的 83.5%, 水土流失严重, 年侵蚀模数平均为 12 000t/km<sup>2</sup>, 每年流失表层土壤厚度为 1cm, 年侵蚀总量达到 2 701.76 万 t, 共损失有机质 32.42 万 t。气候干旱, 年干燥度 1.45~2.66, 年干旱率 50%~70%, 年降雨量 330~430mm, 多集中在 7、8、9 三个月, 约占全年降雨量的 60% 左右, 年平均气温 5.3℃, ≥10℃ 积温为 2 260℃, 无霜期 120 天左右。土壤为湘黄土, 肥力差, 有机质含量低(0.7%)。常见植物种有: 长芒草、百里香、冷蒿、阿尔泰狗娃花, 覆盖度 0.3~0.5, 海拔 1 920~2 144m。

## 2 供试树(草)种和试验方法

### 2.1 供试树(草)种

1. 山桃 *Amygdalus davidiana* (carr.) Franch.
2. 沙棘 *Hippophae rhamnoides* Linn. ssp. *sinensis* Rousi.
3. 小叶锦鸡儿 *Caragana microphylla* lam.
4. 柠条锦鸡儿 *Caragana korshinskii* kom.
5. 怪柳 *Tamarix chinensis* Lour.
6. 沙柳 *Salix mongolica* Siuzov.
7. 刺槐 *Robinia pseudoacacia* Linn.
8. 杜梨 *Pyrus betulifolia* Bge.
9. 沙枣 *Elaeagnus angustifolia* Linn.
10. 山杏 *Prunus armeniaca* L. var. *ansu* Maxim.
11. 榆树 *Ulmus Pumila* Linn.
12. 紫穗槐 *Amorpha fruticosa* Linn.
13. 火炬树 *Rhus typhilla* Linn.
14. 新疆杨 *Populus bolleana* Lauche.
15. 河北杨 *Populus hopeiensis* Hu et chou.
16. 沙打旺 *Astragalus adsurgens* pall.
17. 红豆草 *Onobryhis visiaefolis* Scop.
18. 草木樨 *Melilotus suaveolens* Ledeb.
19. 大叶苜蓿 *Medicago sativa*.
20. 狼牙刺 *Sophora davidii* (Franch) Pavilini.
21. 胡枝子 *Lespedeza bicolor* Turcz.
22. 蒙古莜花 *Cargopleris mongolica* Bunge.
23. 荆条 *Vitex negundo* Linn.
24. 马茹刺 *Prinsepia uniflora* Baial.

### 2.2 试验方法

#### 2.2.1 热值测定

草本植物整株取样, 灌木按基干部以上的枝、干取样, 乔木从茎干中段和二年生枝取样。样品风干, 粉碎机粉碎, 经 0.5mm 孔径筛过筛, 装瓶置于 105℃ 烘箱中烘至绝干重,

封口保存待用。热值测定用氧弹式热量计测定,每个样品测定重复2~3次。

### 2.2.2 木材基本密度测定

将制作试样先经浸水下沉,达到湿材状态,然后用水银体积测定仪测定试样体积,精确度 $0.01\text{cm}^3$ ,然后参照国家标准(GB1931—80, GB1933—80)干燥试样至绝干,在 $1/10\,000\text{g}$ 电动天平上测重,计算木材基本密度。

### 2.2.3 生理特征测定

- (1)水势: 压力室法
- (2)蒸腾强度: 快速称重法
- (3)水分饱和亏: 室内自由干燥和烘干法
- (4)自由水、束缚水量: 阿贝折射仪法

### 2.2.4 形态解剖特征测定

选择生长发育正常的植株,取其完整叶片置于 FAA 固定液中。石蜡包埋,番红——丁香油固绿染色。切片 $14\sim 18\mu\text{m}$ 。气孔观察采用 NaOH 透明法。

2.2.5 相对生长率(RGR)、种群生长速率(CGR)、净同化率(NAR)和叶面积系数(LAI)的测定

$$RGR = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{w_1}^{w_2} d(\ln w)$$

$$CGR = \frac{w_2 - w_1}{A(t_2 - t_1)}$$

$$NAR = \frac{(w_2 - w_1) (\ln s_2 - \ln s_1)}{(t_2 - t_1) (s_2 - s_1)}$$

$$LAI = \frac{S}{A}$$

### 2.2.6 径流测量

翻斗测量仪。

### 2.2.7 薪炭林结构优化及效益动态模拟

结构优化采用线性规划模型,效益预测应用系统动态仿真模拟,采用 DYNAMO 语言编计算机程序,整个运算均在 IBM—PC 计算机上运行。

## 3 结果与分析

### 3.1 优良薪炭林树(草)种的选择

树种选择是发展和建立薪炭林成败的关键。国外给予充分重视并开展了大量的研究,但对生态环境脆弱地区的薪炭林植物(特别是能源灌木和草本能源植物)尚无一套选择的标准,更缺乏深入系统的研究。我们提出采用综合特征指标(生物产量、生长量、热值、比重、生理生态特征、形态解剖特征、多用途性等)的标准和方法,选择薪炭林树(草)种,取得了可喜的进展,现将试验结果按综合特征指标分述如下:

#### 3.1.1 热值

薪炭林主要是生产热能,树(草)种燃烧值的高低,是评选薪炭林树种的重要指标。

从表 1 可看出,各种草本植物的燃烧值比较接近,差异小;木本植物也有相似的规律,说明同类植物的热值是比较接近的。但木本植物的燃烧值高于草本植物,其中沙棘、狼牙刺、柠条、山桃等树种热值高,是高能树种。这种能量差异主要来自草本植物和木本植物内部物质化学组成的不同,一般而言,草本植物含有较多的灰分,结构物质中纤维素含量较高;木本植物灰分含量较低(尤其是木质部),脂类物质相对较多,脂类的能量水平显然高于纤维素物质,而灰分含量较高的植物,一般燃烧值较低。但是,沙打旺、红豆草、大叶苜蓿等草本能源植物的燃烧值仍高于农村常见的生物质能——作物秸秆(麦草、稻草、谷草)的热值。

表 1 供试树(草)种燃烧值与农村常见生物质热值比较

树(草)种 名 称	年龄或生 活 年 限	热 值 (J/g)	树 (草) 种 名 称	年龄或生 活 年 限	热 值 (J/g)
山 桃	一 年 生	18 589	杜 梨	四 年 生	18 878
山 桃	二 年 生	18 086	沙 柳	三 年 生	16 948
山 桃	三 年 生	17 919	沙 柳	四 年 生	16 810
山 桃	四 年 生	18 003	山 杏	三 年 生	17 140
沙 棘	一 年 生	19 049	山 杏	四 年 生	17 002
沙 棘	二 年 生	18 798	沙 打 旺	二 年 生	18 254
沙 棘	三 年 生	17 793	红 豆 草	二 年 生	18 082
沙 棘	四 年 生	19 347	苜 蓿	二 年 生	18 011
柠 条	一 年 生	18 673	草 木 樨	一 年 生	18 153
柠 条	二 年 生	18 589	黄花草木樨	一 年 生	18 292
柠 条	三 年 生	19 091	麦 草		16 684
柠 条	四 年 生	19 765	稻 草		15 248
杜 梨	三 年 生	18 685	谷 草		16 324
狼 牙 刺	二 年 生	19 904	胡 枝 子	二 年 生	18 639
刺 槐	二 年 生	19 049			

同一树种由于年龄不同其热值也有很大差异。如沙棘、柠条以四年生时的热值为最高,树种的燃烧值随着年龄而变化的这种现象,对于在生产上确定各树种的最适宜平茬期有重要的意义。

3.1.2 木材比重

从表 2 可看出,不同树种的木材密度是不同的。其中以山桃的木材比重最大,河北杨最小。木材比重和容重的大小取决于木材孔隙度的大小。比重大的木材,孔隙度小,也就是细胞壁物质多或壁厚;比重小的木材其孔隙度大,胞壁相对的较薄,胞壁物质也就较少。

表 2 不同树种木材密度比较

树 种 名 称	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	树 种 名 称	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )
山 桃	0.68	沙 棘	0.52
刺 槐	0.63	杜 梨	0.49
桤 柳	0.62	沙 柳	0.43
山 杏	0.60	新 疆 杨	0.43
柠 条	0.53	河 北 杨	0.38

表3 参试树种各年生长情况比较

项 目		(单位: cm)																				
		1		2		3		4		4年生生长量		冠 幅 变 化		分枝增加数								
		株 高	地 径	株 高	地 径	株 高	地 径	株 高	地 径	株 高	地 径	第 一 年	第 四 年	第 一 年	第 四 年							
山 桃	53	0.90	75	1.18	22	0.28	100	3.24	25	2.06	158	3.64	58	0.40	105	26.3	2.74	0.69	82×84	169×172	1	5
沙 棘	37	0.65	81	1.53	44	0.35	99	1.71	18	0.18	154	2.63	55	0.92	117	29.3	1.98	0.50	91×88	118×136	1	4
柠条锦鸡儿	35	0.60	84	1.03	49	0.43	138	1.27	54	0.24	151	1.28	13	0.10	116	29.0	0.68	0.17	43×39	74×91	1	8
小叶锦鸡儿	33	0.58	44	0.71	11	0.13	73	1.27	29	0.56	196	1.29	23	0.02	63	15.8	0.71	0.18	35×32	94×104	1	14

表4 供试草种生长量(1987—1988年)

月 份		(单位: cm)						
		4	5	6	7	8	9(上旬)	生长期限
沙 打 旺		7.6	25.1	5.0	18.9	35.0	36.2	1
大 叶 苜 蓿				41.4	58.0	85.2	103.0	2
红 豆 草		7.7	40.3	8.6	21.1	27.4	27.0	1
				56.2	61.3	60.2	60.9	2
		4.5	53.2	9.4	22.5	43.6	44.4	1
				70.2	73.6			2

注: 生长两立地条件为崩坡下部

树种不同其木材的重量也不同,木材密度大的比较重,其木材收获量高,反之,木材生物产量低。比重是衡量热值的重要标志。木材密度大就意味着实物质多,作燃料耐烧,火力强度大,因此,木材比重大的树种其热值则高,也就是优质的薪炭材。山桃、桤柳、山杏、柠条、沙棘等树种的木材密度均在 0.52~0.68g/cm³,是优良的薪炭林树种。

3.1.3 生长量

表 3 表明,在相同立地条件下,以各树种的年平均净生长量比较,其中沙棘、柠条锦鸡儿的高生长量最高(分别为 29.3 和 29.0cm),其次为山桃,小叶锦鸡儿最低。但地径生长则以山桃为最高(0.69cm),沙棘次之。

而在崩坡下部生长的各种草种,以生活年限比较,生活第一年的红豆草生长量最高(株高为 44.4cm),沙打旺次之,大叶苜蓿较低;而生活第二年则以沙打旺为最高(株高达 103cm),大叶苜蓿次之。

选择速生的薪炭林树(草)种应以单位时间单位面积的生物量为衡量的标准。而采用测定株高,地径的方法比较树种的生长速率有很大的局限性,因为树木株高和地径的增加与树木重量的增加即产量并不十分一致。因此,我们用生长分析法,对供试树(草)种的相对生长率和种群生长率进行了比较。

①相对生长率(RGR)

相对生长率可用下列公式计算:

$$RGR = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{w_1}^{w_2} d(\ln w)$$

式中 w<sub>1</sub>、w<sub>2</sub> 分别为在时间 t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub> 时树种的总干重。

表 5 参试树种相对生长率(RGR)

项 目	树龄 (年)	测 定 时 间		t <sub>2</sub> - t <sub>1</sub> (d)	单株干重(g)		RGR (%/d)
		t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>		w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	
山 桃	3	5月20日	9月9日	120	180.4	436.5	0.73
沙 棘	3	5月20日	9月9日	120	162.8	174.5	0.44
柠条锦鸡儿	3	5月20日	9月9日	120	71.5	162.8	0.31
小叶锦鸡儿	3	5月20日	9月9日	120	73.1	99.2	0.25

表 6 沙打旺相对生长率(RGR)

生活年限	样方面积	样方内株数	测定时间		t <sub>1</sub> - t <sub>2</sub> (d)	干 重 (g/m²)		RGR (%/d)
			t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>		w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	
3	1	33	6月15日	9月6日	84	176.7	700.0	1.64

从表 5 和表 6 可以看出,山桃的相对生长率最大,每天增长 0.73%,沙棘次之,小叶锦鸡儿的 RGR 最小(0.25%/d),而草本能源植物沙打旺相对生长率(1.64%/d)则高于 4 种木本植物。说明在生态系统脆弱的黄土高原地区,解决农村生活用能不能忽视草本能源植物的作用。

②种群生长速率

表7 参试树种种群生长速率(CGR)

项 目	种植密度 (m)	长 生 年 制	土地面积 (m <sup>2</sup> )	产量(kg/亩)		CGR g/m <sup>2</sup> ·a
				1987年	1989年	
山 桃	1×1.5	3	666	4.44	230.9	113.0
沙 棘	1×1.5	3	666	"	145.2	70.5
柠条锦鸡儿	1×1.5	3	666	7.6	146.5	69.5
小叶锦鸡儿	1×1.5	3	666	26.8	124.3	48.8

树种的种群生长率可定义为单位时间单位土地面积干物质增加量,可由下式计算:

$$CGR = \frac{w_2 - w_1}{A(t_2 - t_1)}$$

式中 A 为土地面积。

由表 7 可知,山桃的 CGR 最大,每 m<sup>3</sup> 每年可以产生 113g 干物质,其次为沙棘和柠条。

根据上述结果,可将供试树(草)种按生长量的大小排列为: 山桃、沙棘、柠条锦鸡儿和小叶锦鸡儿。

3.1.4 产量

产量的高低是评选薪炭林树(草)种最主要的经济指标。

在同一立地条件和经营水平条件下,薪炭林的产量依树种、配置类型、年龄、密度以及平茬期的不同而有很大差异。从表 8 可知,在同一密度(1m×1m)条件下,4 年生沙棘、柠条锦鸡儿和小叶锦鸡儿开始平茬的产量,以沙棘为最高(488.2kg/亩),小叶锦鸡儿较低(228.4kg/亩),而造林密度为 1m×1m, 3 年生山桃的产量(230.9kg/亩)已超过 4 年生小叶锦鸡儿的产量,4 年生山桃每亩产量达 585.2kg,比同一年龄的柠条锦鸡儿和小叶锦鸡儿的产量分别每亩高出 328.2kg 和 356.8kg。

表8 供试树(草)种产量 (单位: kg/亩)

树(草)种	山 桃	沙 棘	柠条锦鸡儿	小叶锦鸡儿	沙 打 旺
	1m×1.5m	1m×1m	1m×1m	1m×1m	
1 年	4.5	6.7	11.3		72.5
2 年	51.5	79.9	40.6	40.0	344.9
3 年	230.9	99.9	219.0	186.5	466.5
4 年	585.2	488.2	257.0	228.4	475.5

表9 表明,在不同林草配置类型中,以山桃+沙打旺的产量为最高(530.4kg/亩),沙棘+沙打旺次之(481.9kg/亩),小叶锦鸡儿+沙打旺的产量最低(352.0kg/亩),但是根据合同对薪炭林树(草)种产量(5.2~6t/ha)和增益比例(10%~15%)的要求,选出的山桃、沙棘、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和沙打旺等树(草)种的产量和增益比例(98.4%~180.5%)均达到和超过合同规定的指标。

应当指出,实行林草结合灌草配置的技术,不仅可以大大提高薪炭林生物产量和土地利用,而且可以充分发挥草本能源植物——沙打旺见效快的特点,解决薪炭林建设早期

的经济效益,推广这一技术措施,将是解决黄土高原地区农村能源严重短缺的突破口。

表9 林草混交产量及产量增益对照

年龄	密 度 (m)	树 (草) 种	产量(干重) (kg/亩)	产量增益百分比 (%)
1	1 × 1.5	山桃 + 沙打旺	38.9	
2	1 × 1.5	山桃 + 沙打旺	198.2	
3	1 × 1.5	山桃 + 沙打旺	348.7	
4	1 × 1.5	山桃 + 沙打旺	530.43	180.5~143.3
1	1 × 1	沙棘 + 沙打旺	39.6	
2	1 × 1	沙棘 + 沙打旺	212.4	
3	1 × 1	沙棘 + 沙打旺	283.2	
4	1 × 1	沙棘 + 沙打旺	481.9	166.3~131.0
1	1 × 1	柠条锦鸡儿 + 沙打旺	41.9	
2	1 × 1	柠条锦鸡儿 + 沙打旺	192.8	
3	1 × 1	柠条锦鸡儿 + 沙打旺	342.8	
4	1 × 1	柠条锦鸡儿 + 沙打旺	366.4	128.8~98.5
1	1 × 1	—	—	
2	1 × 1	小叶锦鸡儿 + 沙打旺	192.5	
3	1 × 1	小叶锦鸡儿 + 沙打旺	326.5	
4	1 × 1	小叶锦鸡儿 + 沙打旺	352.0	128.7~98.4

### 3.1.5 多用途性

选择薪炭林树(草)种最好具有多种用途,既能生产薪材、饲料、肥料工业原料等经济效益,又具有改良土壤、防治水土流失等生态效果,以达到能源、生态、经济综合效益的目的。

黄土丘陵地区,水土流失严重,营造薪炭林,发挥其水土保持效益是不可忽视的。据三年观测沙棘、沙打旺林草地与裸地比较,水土保持效益显著。其中沙棘林地和沙打旺草地冲刷量分别比裸地减少 85.55% 和 73.48%;径流量分别减少 39.96% 和 44.59%。五个试验小区的土壤冲刷量为:裸地 > 农地 > 荒草地 > 沙打旺地 > 沙棘林地;径流量为:裸地 > 农地 > 荒草地 > 沙棘林地 > 沙打旺草地。其中沙打旺草地入渗最强,沙棘地拦沙效果最佳,两者均是优良的水保薪炭林植物。

选择具有固氮能力的树草种,不仅是促进薪炭林生长、改良林地土壤的有效措施,也是降低薪炭林建造的投入而增加产出的有效途径。据测定(见表10),不同薪炭林草配置类型土壤有机质和氮素含量均比对照土壤有所增加。其中以沙棘+沙打旺和柠条林地增加幅度最高。如表层有机质增加幅度为 64.96%~155.04%,25~50cm 土层增加幅度为 43.09~107.03%;氮素含量表层增加幅度为 17.75%~104.50%。说明,营造薪炭林,选用固氮树草种,能获得良好的改土效果。

4 年建立试验、示范薪炭林 3.07 万亩,据试验选出的树(草)种的产量计算,推广 6.42 万亩,共产薪柴 56 968.8t,折合标准煤为 28 484.4t。经济效益可达到 569.688 万元。

由表 11 可知,沙棘、沙打旺、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿、山桃等树(草)种粗蛋白质含量高,其中沙打旺(22.46%)、沙棘(21.68%)、柠条锦鸡儿(18.06%)含量最高。超过了玉米(粗蛋白质含量为 14.0%)和稻谷(12.6%),是牲畜的好饲料,且叶子养分含氮量最高,也是



很好的肥料。

上述树草种除作“三料”(燃料、肥料、饲料)外也是工业原料(如桃仁、沙棘果、柠条种子),而且这些树种已开花结实,随着年龄的增加其产量将会逐年提高,从而为振兴农村经济,增加群众收益提供了良好的资源基地。

表 10 薪炭林(草)配置类型土壤养分含量

项 目	有 机 质 (%)		全 氮 (%)		全 磷 (%)	
	0~25	25~50	0~25	25~50	0~25	25~50
对 照	0.565	0.427	0.0471	0.0333	0.059	0.040
沙棘+沙打旺	1.441	0.884	0.1052	0.0681	0.069	0.010
较对照增减(%)	+155.04	+107.03	+123.35	+104.50	+16.95	-75.00
山杏+沙打旺	1.178	0.841	0.0863	0.0602	0.045	0.041
较对照增减(%)	+108.50	+96.96	+83.23	+80.78	-23.73	+2.5
柠 条	1.254	0.829	0.0833	0.0631	0.079	0.016
较对照增减(%)	+121.95	+94.15	+76.86	+89.49	+33.90	-60.00

表 11 10 种 树 草 种 营 养 成 分

树 草 种	粗蛋白质 (%)	粗脂肪 (%)	钙 (%)	镁 (%)	磷 (%)	氮 (%)
沙 棘	21.69	4.02	0.98	0.26	0.214	3.47
柠条锦鸡儿	18.06	3.05	3.08	0.30	0.124	2.89
小叶锦鸡儿	17.69	3.63	2.29	0.28	0.132	2.83
沙 柳	17.00	3.54	1.20	0.38	0.179	2.02
栓 柳	15.76	2.67	1.56	1.16	0.256	2.52
山 桃	13.62	3.42	1.20	0.49	0.106	2.18
杜 梨	10.19	2.66	1.41	0.31	0.130	1.63
火炬 树	10.00	4.41	1.92	0.40	0.138	1.60
沙 打 旺	22.46	4.29	1.24	—	0.41	3.10
山 杏	11.50	2.18	1.41	0.37	0.164	1.84

3.1.6 生理生态特征

黄土高原丘陵地区气候干旱,水分是影响薪炭林生长和产量的限制因子。因此,选择薪炭林树(草)种,除选择上述具有速生、高产、比重大、热值高等特性的薪炭林植物外,同时还要选择能适应当地干旱气候特点,即抗旱适应性强的树种,才能达到预期效果。为此,对不同薪炭林植物体内水分状况及其抗旱能力进行了研究。

①组织含水量与自由水、束缚水

植物组织自由水和束缚水的含量及其比值,与植物的抗旱性有密切关系。自由水比率较高时,植物代谢活动较强,但抗旱性较弱;反之,束缚水比率较高时,自由水与束缚水含量的比值就愈小,植物代谢活动降低,抗旱力也愈强。旱生植物有较强的抗旱力,其生理原因之一就是基于旱生植物的束缚水的比值较高。

从表 12 可看出,在相同立地条件下,草本植物叶片含水量高于木本植物叶片含水量,但各种树(草)种叶片中自由水和束缚水含量则明显不同。其中柠条锦鸡儿、沙棘、山杏、

沙打旺、沙柳、山桃、桤柳、小叶锦鸡儿等的自由水和束缚水含量比值较小(<1),其抗旱性较强。

表 12 17 种薪炭林树(草)种自由水和束缚水含量(占鲜重%)

植物名称	组织含水量	自由水量	束缚水量	自/束	备 注
杜 梨	60.7	32.3	28.4	1.14	
沙 柳	65.0	26.7	28.3	0.71	
山 桃	59.9	27.1	32.5	0.83	
沙 棘	66.9	25.4	41.5	0.61	
桤 柳	67.7	30.2	37.6	0.81	
柠条锦鸡儿	64.8	24.6	40.2	0.60	王然和同志测定 同 上
小叶锦鸡儿	62.9	29.5	33.4	0.90	
沙 打 旺	72.7	28.2	44.0	0.64	
红 豆 草	82.3	45.7	36.6	1.25	
山 杏	70.0	26.4	43.6	0.61	
狼 牙 刺	68.38	8.95	57.72	6.449	
刺 槐	68.51	28.23	37.18	1.317	
胡 枝 子	65.89	23.35	40.56	1.737	
杞 柳	68.46	8.12	56.17	6.918	
马 茹 刺	66.84	34.24	36.43	1.064	
荆 条	66.96	11.64	52.27	4.491	
蒙 古 莠 花	72.74	43.26	31.74	0.734	

②叶片水分饱和亏

植物叶片的含水量及其脱水能力,可用自然饱和亏和临界饱和亏表示。自然饱和亏愈大,说明叶片水分亏缺愈严重;临界饱和亏愈大,说明植物抗脱水能力愈强。在干旱的生态环境条件下,植物根系吸收水分不能满足绿色部分的蒸腾和光合耗水的需要,必然引起绿色组织水分含量的减少和水分亏缺的增加。从表 13 测定结果可知,沙棘、桤柳、沙柳、红豆草、沙打旺、山杏、山桃的叶片水分亏缺较少,它们叶片持水力较强。

表 13 树(草)种叶片水分饱和亏 (单位%)

植物名称	自然饱和亏	临界饱和亏	植物名称	自然饱和亏	临界饱和亏
沙 棘	13.0	78.0	沙 柳	10.1	68.4
杜 梨	18.0	37.2	红 豆 草	26.7	73.1
山 桃	18.3	48.3	沙 打 旺	17.0	59.4
桤 柳	14.1	77.1	山 杏	9.6	55.7

③蒸腾强度

植物蒸腾强度的大小,是衡量植物水分平衡的一个重要生理指标。从表 14 可以看出,在同一立地条件下的不同树(草)种,其蒸腾强度不同。其中小叶锦鸡儿、山桃、柠条锦鸡儿、沙打旺、沙柳的日最大蒸腾强度每小时都超过 350g/m<sup>2</sup>,这些树(草)种的日平均耗水量也大。但是由于植物的种类不同,其忍耐干旱的方式也不同。许多耐旱植物通过降低蒸腾强度来减少水分消耗(如沙棘蒸腾强度较低),维持自身各种代谢活动的正常进行,或者其

有发达的表皮细胞角质层(如山桃)以保持体内水分,有些植物靠大量蒸腾水分来降低叶面温度,或叶表面具有各种表皮毛,以反射强烈日光的照射,使叶肉组织免受高温伤害。如小叶锦鸡儿、柠条锦鸡儿、沙棘、沙打旺等植物就属于这一类。

表 14 树(草)种日蒸腾强度

(单位:  $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )

植物名称		山 桃	小 叶 锦鸡儿	柠 条 锦鸡儿	沙 柳	沙 棘	杜 梨	沙打旺	红豆草
日 蒸 腾 强 度	最大	447.31	755.8	422.6	364.64	177.21	255.19	376.49	355.97
	最小	15.45	100.9	89.8	46.13	14.64	44.98	57.27	74.01
	平均	165.29	356.3	234.9	153.09	78.17	141.93	251.56	208.16

### 3.1.7 形态解剖特征

植物对于干旱生境的适应性,除上述生理功能上的适应特征外,在形态结构上也产生相应的适应特征,而叶的结构在分辨不同生境植物的特征中又最为明显。叶的旱生结构特征也是评价植物抗旱适应性的重要指标。根据对供试树(草)种的镜检,它们具有以下较明显的旱生结构特征。

①栅栏组织细胞发达:耐旱植物叶的结构大多是栅栏组织较海绵组织发达,以增强植物对干旱的适应能力。如小叶锦鸡儿、柠条锦鸡儿、沙棘、山杏、红豆草、黄花草木樨等均具有发达的栅栏组织。

②角质层发达:为了保持体内水分,干旱地区的植物多具有发达的表皮细胞角质层。如柠条锦鸡儿、沙棘、沙柳、沙打旺、山桃等均具有发达的角质层。

③表皮毛状物:在干旱地区生长的植物,在叶表面具有各种表皮毛以反射强烈日光的照射,使叶肉组织免受高温的伤害。如沙棘、柠条锦鸡儿、沙打旺、山杏、火炬树等均具有表皮毛状物。

④具有强化的机械组织:耐旱植物在叶内发育出大量的厚壁组织细胞和厚角组织,它们有较大的机械强度,可以减低萎蔫损伤。如小叶锦鸡儿、柠条锦鸡儿、沙柳、沙棘、山杏等。

⑤等面叶是一种明显的旱生结构特征:如柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿、沙柳、沙打旺等植物的叶为等面型或近等面型。

### 3.1.8 树草种选择的系统聚类分析

为了能进行综合特征指标的树草种选优,在此我们选用植物的热值、产量、组织含水量、自由水、束缚水和自然饱和亏 6 个特征值,进行系统聚类分析。树种之间的距离用欧氏距离系数公式:

$$d_{hk} = \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{j=1}^P (X_{hj} - X_{kj})^2}$$

( $h, k = 1, 2, 3, \dots, 14$ ),  $X_{hj}$  为数据矩阵中第  $h$  个树(草)种的第  $j$  个变量,  $X_{kj}$  为数据矩阵中第  $k$  个树(草)种的第  $j$  个变量。

类与类之间的距离选用最短距离法,即递推公式:

$$D_{gj} = \min(D_{gh}, D_{gk})$$

其中

$$D_{ij} = d_{ij}$$

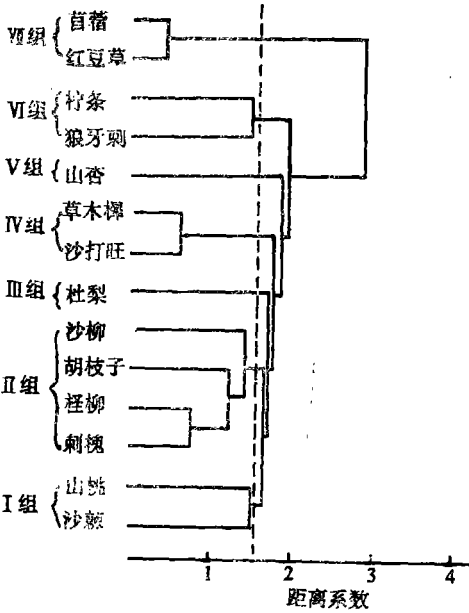


图1 参试树草种系统聚类分析

当  $D = 1.655$  时(虚线所示) 可将 14 个参试树草种分为 7 个类组(图 1 示)。如把每个类组作为一个综合样本, 则有表 14 所示的特征值及定性比较。由表 15 可清楚的看出, III、V 组是两个低产树种(杜梨、山杏), 热值不太高, 不宜作为当地薪炭林树种; II 组产量不高, 抗旱性强, 可作为发展薪炭林的一般树种; IV 组产量较高, 抗旱性极强, 热值高, 是薪炭林的优良树种; I 组产量在参试树种具最高, 抗旱性强, 热值高, 发展薪炭林应优先选用该组树种(沙棘、山桃); 4 个草种被分为两个组(IV、VII), 其中 IV 组具有产量高, 抗旱性强的特点, 是优良的能源草种, VII 组虽然产量较 IV 组低, 抗旱性一般, 可作为一般能源草种。

通过上述综合特征指标的试验, 提出了一套评述薪炭林树(草)种的标准和方法, 不仅在理论和实践上有较大价值, 可在黄土高原同类地区推广, 而且对今后我国能源林的研究也有重要参考价值。

表 15 各 类 组 特 征 比 较

类	定	量	特	征	值	定	性	特	征
组	产 量 (kg/亩)	束 缚 水 自 由 水	水 饱 和 亏 (%)	热 值 (J/g)					
I	445	1.325	14.38	19 929		产量高、抗旱性强、热值高			
II	137.3	1.426	12.03	19 016		产量一般、抗旱性强, 热值一般			
III	65	0.879	18.0	18 878		产量低、抗旱性一般, 热值一般			
IV	483	1.535	16.8	18 204		产量高、抗旱性强、热值略低			
V	68	1.961	21.63	19 310		产量低、抗旱性强、热值高			
VI	231	5.111	20.73	19 963		产量较高、抗旱性极强、热值高			
VII	297	0.791	26.80	18 049		产量较高、抗旱性一般、热值略低			

注: 各树种的产量均为 3 龄时的累计产量, 各草种的产量为生长 2—3 年的平均产量。

3.2 水土保持型薪炭林营造技术

3.2.1 整地

在干旱和水土流失严重的黄土丘陵地区, 整地是提高薪炭林造林质量的重要措施。我们在造林前一年的雨季(雨季快来临前的 6 月)采用机修隔坡反坡水平阶的方法进行整地。反坡水平阶间隔 2~3 m, 水平阶面宽 1~2 m, 外高里低, 左右水平。水平阶面深翻耕 30cm, 埂实里虚, 上覆肥土, 每隔 10~15m 修拦水档, 以防水土冲刷。

在荒坡隔带上用畜力翻耕(宽 1~1.5m), 耕耱整平, 播种沙打旺、红豆草、大叶苜蓿等草本能源植物。在坡度过陡的地方(超过 30°)采用鱼鳞坑整地。鱼鳞坑长 0.5~1.2m, 宽

0.5~0.8m, 上下坑的距离为 1.5~3.0m, 坑的左右距离 0.5~1.0m, 并按品字形水平排列。

由表 16 可知, 采用反坡水平阶整地的土壤含水量比未整地的自然荒坡地土壤含水量有显著的提高。尤其是 80cm 土层内土壤含水量增加更为明显, 平均土壤含水量比自然荒坡增加 68.76%。

表 16 整地与未整地土壤水分含量比较 (%)

土层深度 (cm)	20	40	60	80	100	150	200	备 注
反坡水平阶	15.32	14.96	13.17	12.0	10.42	10.32	9.03	提前一年整地
自然荒坡	10.75	8.37	7.18	6.86	7.63	8.25	8.22	未整地

根据测定, 造林整地时期不同对土壤水分的影响较大。表 17 表明, 造林前一年夏季采用隔坡反坡梯田整地和当年造林前整地的土壤水分差异较大。造林前一年整地在 50cm 土层内土壤含水量较高, 平均为 15.5%~19.7%, 尤其是 40cm 以上土壤含水量增加最为明显。而当年造林整地在 50cm 土层内土壤含水量较低, 平均为 7.6%~13.0%。这是由于前一年整地能把雨季的雨水全部拦蓄在反坡梯田内。而当年整地造林, 由于春季干旱整地后土壤中水分被蒸发不能起到先一年整地蓄水保墒的作用, 大大影响了造林成活率。如经过前一年整地的杨树造林成活率为 91.2%, 而当年造林整地的成活率仅有 76.3%。

表 17 不同整地时期对土壤水分的影响 (%)

土地深度 (cm)	造林前一年夏季整地					当年造林前整地					平均相差
	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均	
5	17.8	13.3	15.4	15.5	15.5	8.5	10.1	6.8	5.1	7.6	7.9
10	18.8	20.8	20.6	14.4	18.5	11.0	18.7	7.9	8.7	10.8	8.2
20	20.3	10.4	20.0	17.9	19.6	11.0	9.5	10.5	10.7	10.6	9.0
30	17.7	21.2	20.3	19.4	19.7	10.6	11.8	12.4	10.6	11.4	8.3
40	17.6	20.2	18.7	19.5	19.0	12.1	13.0	12.8	11.8	12.4	6.6
50	17.2	14.9	18.2	19.0	17.3	14.8	14.1	11.7	12.0	13.0	4.3

由于提前一年进行细致整地, 达到了疏松土壤, 蓄水保墒的目的。在干旱的 1987 年, 该县春季造林已作出决定停止进行的情况下, 我们当年营造的试验薪炭林的成活率仍高达 85% 以上, 说明在干旱和水土流失严重的黄土丘陵地区, 提前一年在夏季采用隔坡反坡水平阶的整地方法, 是提高薪炭林造林成活率的有效措施。

树木成活率与土壤含水量有紧密的关系, 据马建乡试区的数据(表 18) 回归分析可得以下方程:

沙棘:
$$Y = -79.1235 + 12.5744X; r = 0.9357$$

柠条:
$$Y = -25.7756 + 8.8381X; r = 0.9911$$

刺槐:
$$Y = -78.6266 + 12.9300X; r = 0.9553$$

山桃:
$$Y = -65.5457 + 11.2204X; r = 0.9838$$

沙棘:
$$Y = -66.7824 + 10.3858X; r = 0.9659$$

表 18 不同土壤含水率与树木成活率

标准地号	地貌类型	4、5、6月	全年土壤	树木成活率(%)				
		平均含水率	平均含水率	沙棘	柠条	刺槐	山桃	沙柳
1	半阳坡上部	10.8	11.6	63.2	70.2	64.7	56.0	50.9
2		10.6	11.4	60.5	71.3	61.0	54.7	45.4
3		11.4	12.2	71.9	74.3	71.2	60.8	54.2
4	半阳坡中部	11.1	12.0	69.7	72.9	68.4	59.0	51.3
5		10.2	10.8	47.2	62.7	47.3	45.2	37.8
6	阳坡上部	10.0	10.5	45.3	60.0	44.8	44.3	32.4
7		10.5	11.3	53.8	68.3	54.6	49.3	42.8
8	阳坡中部	10.3	11.0	51.6	64.7	50.9	48.1	41.8
9		13.6	14.4	93.5	92.5	90.7	83.6	68.4
10	阴坡中部	13.2	13.9	92.6	91.3	88.9	82.0	70.3
11		12.9	14.0	89.0	87.9	86.9	79.4	64.5
12	阴坡上部	12.5	13.5	86.1	85.3	84.5	78.9	63.2
13		12.3	13.2	83.8	82.3	82.5	74.5	60.4
14	半阴坡中部	11.9	12.8	81.0	80.9	79.7	71.1	61.2
15		11.7	12.7	78.3	79.3	80.2	68.3	59.3
16	半阴坡上部	11.4	12.4	76.0	76.4	76.9	66.9	56.7

其中  $X$  为林地 4、5、6 月平均土壤含水率(%),  $Y$  为林地各树种的成活率。

以  $P = 1 - 0.05$   $f = 14$  查得  $\gamma\alpha = 0.4973$

$\gamma$  均大于  $\gamma\alpha$ , 这里  $10.0 \leq X \leq 13.6$ 。

隔坡反坡水平阶整地不仅能提高土壤含水量, 而且具有防止水土流失的良好效果。据 1987—1989 年的观测。自然荒坡在 30min 内雨强大于 0.2mm/min 时则可能发生径流和土壤冲刷, 但隔坡反坡水平阶在 30min 内雨强大于 1.3mm/min 时才发生径流和冲刷, 而且 3 年只发生了一次, 发生面积的比例仅有 5%。

### 3.2.2 密度

树木都要一定的生存空间, 确定合适的造林密度是促进薪炭林快速生长和提高产薪量的重要措施。

表 19 不同密度对薪炭林产量(鲜重)的影响

(单位: kg/ha)

密度	1m×0.5m	1m×1m	1m×1.5m	1m×2.0m	1m×2.5m	年 龄
山桃	11080	6000	3990	3400	2970	3
沙棘	6090	3605	2130	1740	1500	3
柠条	4190	2800	1530	1360	1140	3

表 19 表明, 不同密度对薪炭林的产量有显著的影响。一般规律是随着密度的增大而提高。其中以 1m×0.5m 密度的产量为最高(山桃、沙棘、柠条每公顷产量分别为 11 080、6 090 和 4 190kg), 是当地一般造林密度(1m×1.5m)的 3 倍。1m×1m 密度次之。1m×2.5m 密度产量最低, 说明适当密度可以提高薪炭林单位面积产量。但是, 在半干旱黄土丘陵地区, 由于树木生长受土壤水分和肥力条件的限制, 在幼龄期植株小, 个体需要的营养条件不发生激烈的竞争, 1m×0.5m 初植密度还是可行的。但随着年龄的增加, 树木所

需要的生存空间也随之扩大,薪炭林的密度则不宜过大。因此,为提高薪炭林的单位面积产量和土地利用率,应根据各树种本身的特性,在造林初期(2~4年),柠条、沙棘采用  $1\text{m} \times 0.5\text{m}$  和山桃采用  $1\text{m} \times 1\text{m}$  较大的密度是可行的。

表 20 施肥对薪炭林产量(鲜重)的影响

(单位: kg/ha)

树种年龄	密 度 (m)	施氮量 kg/ha	施磷量 kg/ha	山桃 产量	增产率 (%)	沙棘 产量	增产率 (%)	柠条 产量	增产率 (%)
8年生	$1 \times 1.5$	150	75	7140	78.9	2820	32.40	2670	74.5
8年生	$1 \times 1.5$	75	150	6810	70.70	4260	100.00	3210	109.8
8年生	$1 \times 1.5$	75	75	5730	43.60	2730	28.20	2265	48.0
8年生	$1 \times 1.5$	0	0	3990	0	2130	0	1530	0

### 3.2.3 施肥

由表 20 可知,施肥对薪炭林有明显的增产作用。其中山桃产量最高,增产率 43.6%~78.9% (每公顷施氮素 150kg, 磷 75kg); 沙棘增产率为 28.2%~100% (每公顷施氮 75kg, 磷 150kg); 柠条增产率 48%~109.2% (每公顷施氮 75kg, 磷 150kg)。由于树种不同,施用的氮磷肥比例对其增产的效果也不同,其中氮肥对山桃的产量影响较大,而磷肥对沙棘和柠条的增产作用显著。

为了进一步分析密度以及施肥和氮磷因子对薪炭林产量的影响程度,分别进行了二元和三元回归分析。

#### (1) 二元回归分析

设薪炭林亩产量为  $Y$ , 施氮量  $X_1$  斤, 施磷量  $X_2$  斤, 则可成立下列方程式。

##### A. 山桃:

$$Y = 285.991 + 5.790x_1 + 4.528x_2$$

$$r = 0.9516, \quad F = 38.35$$

$$F_1 = 21.45, \quad F_2 = 11.32$$

##### B. 柠条:

$$Y = 110.612 + 1.481x_1 + 4.636x_2$$

$$r = 0.933, \quad F = 27.06$$

$$F_1 = 2.79, \quad F_2 = 23.64$$

##### C. 沙棘:

$$Y = 138.022 + 0.272x_1 + 5.269x_2$$

$$r = 0.861, \quad F = 11.451$$

$$F_1 = 0.04, \quad F_2 = 14.22$$

式中  $r$  是复相关系数,  $F$  是回归方程的  $F$  检验计算值,  $F_1$ 、 $F_2$  分别是  $x_1$ 、 $x_2$  的回归系数  $F$  检验计算值。查  $F$  检验表得  $F_{2,8}^{0.01} = 8.65$ 、 $F_{1,8}^{0.05} = 5.32$ 。  $F_{1,8}^{0.01} = 11.30$ 。

由以上二元回归结果可看出,三个方程均有较高的复相关系数,方程的  $F$  检验都在 0.01 的水平上显著。即  $F > F_{2,8}^{0.01} = 8.65$ 。从回归系数  $F$  检验值看,氮、磷肥对山桃产量都具有极显著的作用,  $F_1$  和  $F_2$  均大于  $F_{1,8}^{0.01} = 11.30$ 。而柠条和沙棘对氮肥的作用不明显,  $F_1$  均小于  $F_{1,8}^{0.10} = 3.46$ , 磷肥对柠条和沙棘的作用则极显著。  $F_2$  均大于  $F_{1,8}^{0.01} = 11.30$ , 说明固

氮树种施氮肥效果较差,非固氮树种施氮、磷效果均佳。

## (2) 三元回归分析

密植和施肥是两项增产措施。但在幼龄期(4年生前)哪项措施的增产效果更明显呢?为此根据观测资料再进行以下三元回归分析。

### A. 山桃:

$$Y = 856.768 + 5.126x_1 + 0.181x_2 - 310.899x_3$$

$$r = 0.930, \quad F = 17.43$$

$$F_1 = 1.52, \quad F_2 = 0.01, \quad F_3 = 48.52$$

### B. 柠条:

$$Y = 331.714 + 0.666x_1 + 3.542x_2 - 122.823x_3$$

$$r = 0.869, \quad F = 9.51$$

$$F_1 = 0.09, \quad F_2 = 2.44, \quad F_3 = 25.44$$

### C. 沙棘:

$$Y = 427.07 + 0.102x_1 + 2.530x_2 - 155.275x_3$$

$$r = 0.881, \quad F = 8.122$$

$$F_1 = 0.01, \quad F_2 = 0.64, \quad F_3 = 20.93$$

式中  $Y$ 、 $x_1$ 、 $x_2$  同前,  $x_3$  为株距, 单位为 m,  $F_3$  为  $x_3$  的回归系数  $F$  检验计算值。查  $F$  检验表得  $F_{3,7}^{0.95} = 4.35$ ,  $F_{3,7}^{0.91} = 9.55$ ,  $F_{1,7}^{0.10} = 3.59$ ,  $F_{1,7}^{0.95} = 5.59$ ,  $F_{1,7}^{0.91} = 12.2$ 。

根据以上回归结果可知,各方程仍具有较高的复相关系数,回归方程  $F$  检验山桃在 0.01 的水平上显著,柠条和沙棘在 0.05 的水平上显著。回归系数  $F$  检验则只有株距在各方程中起极显著作用。即  $F_3 > F_{1,7}^{0.91} = 12.2$ 。  $F_1$  和  $F_2$  在各方程中  $F$  检验不显著,均小于  $F_{1,7}^{0.91} = 3.59$ 。说明施肥对增产有一定的作用,但其增产效果与密植相比,作用较小。因此,我们认为在当前农村经济条件较差的情况下,要提高幼林产薪量,实行密植是可行的。因密植不仅花费小,而且增产效果较施肥显著。当然,随着薪炭林生长年限的增加,密植的作用可能减弱,甚至消除,施肥的效果还会提高。

### 3.2.4 配置类型

试验的薪炭林配置类型有:①能源灌木与草本能源植物带状混交②能源灌木行间混交③能源灌木纯林。从表 21 可看出,灌木和草本植物带状混交类型具有高产和高能量的生产能力。尤其是薪炭林的幼龄期(1~3年内)草本能源植物所起的作用和纯灌木林相比具有显著的优越性。它不仅可以提早覆盖地面。防止水土流失,改善立地条件(固氮改土作用),而且可以提高单位面积产量和解决农村饲料、肥料(豆科草本植物既是优良饲料,又是优质的肥料)增加群众的早期收益。我们认为在黄土高原生态系统脆弱地区,这种草灌混交类型,不仅是发展薪炭林的一种最佳配置模式,而且也是解决该区农村生活用能短缺的有效途径。随着树木年龄的增加,草本能源植物将逐渐衰败。其产量所占比重随之减小,而能源灌木的产量则逐渐提高。如沙棘+沙打旺配置类型,利用沙棘串根萌蘖性强的特性,向沙打旺草带串根繁殖,最终发展成稳定的沙棘薪炭林,发挥其永续利用的功能。对于不能串根萌蘖的柠条和山桃灌木,如灌木的带距较宽,也可连续种草或间种农作物,实行林草、林农混植类型。据 1989 年对示范薪炭林的调查,芦子岔薪炭林灌木带间



表 21 薪炭林配置类型及累计产量(干重)和能量生产力

配置类型	植 物 种	1 年 生		2 年 生		3 年 生		4 年 生	
		产量 kg/ha	能量 J/ha	产量 kg/ha	能量 J/ha	产量 kg/ha	能量 J/ha	产量 kg/ha	能量 J/ha
灌木带状混交	沙棘×沙打旺	1158	$2.12 \times 10^7$	5835	$1.56 \times 10^7$	15975	$2.92 \times 10^8$	22637	$3.80 \times 10^8$
	柠条×沙打旺	1182	$2.16 \times 10^7$	8332	$1.40 \times 10^8$	15413	$2.82 \times 10^8$	19545	$1.48 \times 10^8$
	山桃×沙打旺	1158	$2.11 \times 10^7$	8517	$1.56 \times 10^8$	16612	$3.04 \times 10^8$	22643	$4.15 \times 10^8$
灌木行间混交	沙棘×柠条	90.3	$1.70 \times 10^6$	608	$1.15 \times 10^7$	1628	$3.07 \times 10^7$	3731	$7.04 \times 10^7$
	沙棘、山桃	67	$1.26 \times 10^6$	792	$3.58 \times 10^7$	2827	$5.32 \times 10^7$	6829	$1.29 \times 10^8$
灌木纯林	沙 棘	67	$1.26 \times 10^6$	810	$1.54 \times 10^7$	2190	$4.17 \times 10^7$	4883	$9.30 \times 10^7$
	柠 条	114	$2.11 \times 10^6$	406	$7.56 \times 10^6$	1065	$1.99 \times 10^7$	2579	$4.82 \times 10^7$
	山 桃	67	$1.26 \times 10^6$	773	$1.44 \times 10^7$	3464	$6.44 \times 10^7$	8775	$1.63 \times 10^8$

种沙打旺后改种糜子,每亩收获糜子 52.5kg,如种荞麦每亩可收获 37.5kg/亩,同时还可收获作物秸秆 90~150kg,解决了饲料和燃料。

灌草带状混交类型,不仅产量高,见效快,而且比单纯灌木林水保效益好。由于灌木生长慢,前期水保效益小,加之采用反坡水平阶整地有间隔 2~3m 的斜坡面,如不在斜坡面种草,则必然发生严重的坡面径流和土壤冲刷。据观测,灌草带状混交类型比单纯灌木林减少径流 44.5%,减少泥沙 75.48%。

3.2.5 轮伐利用

具有萌芽更新能力的薪炭林树种适合采用矮林作业的方式平茬利用。平茬的季节多在冬季,即利用树木进入休眠期。以减免从伤口流失大量树液而影响树木正常生长。而且,此时根部贮存营养物质多,萌芽力强,来年早春能很快长出健壮萌条。同时,冬季平茬利用延长了树木生长期,能使枝条充分木质化。从而可提高薪炭林质量。试验结果表明,山桃、沙棘、柠条锦鸡儿和小叶锦鸡儿等能源灌木均可在造林后第 4 年平茬利用。

表 22 沙打旺刈割茬次与生长量、产量的关系

刈割次数 及 日 期	5 月 30 日刈割		6 月 30 日刈割		7 月 30 日刈割		8 月 30 日刈割		9 月 30 日刈割		一次性刈割
	未刈割	5 月 30 日刈割	5 月 30 日刈割	6 月 30 日刈割	6 月 30 日刈割	7 月 30 日刈割	7 月 30 日刈割	8 月 30 日刈割	8 月 30 日刈割	9 月 30 日刈割	
调查日期	5 月 30 日	6 月 30 日	7 月 30 日	8 月 30 日	9 月 30 日	10 月 2 日					
平均生长量 (cm)	0	一茬 对照	二茬 对照	三茬 对照	四茬 对照						
	15.3	14.6 13.5	10.1 62.5	4.6 72.1	1.3 74.0						
平均产量 kg/亩	鲜 干	鲜 干	鲜 干	鲜 干	鲜 干	鲜 干	鲜 干	鲜 干	鲜 干	鲜 干	
	146.7 46.7	112.8 10.0	57.8 23.4	18.9 7.4	9.5 4.0	600.0 237.5					

4 结 论

4.1 采用综合特征指标的标准和方法,选择沙棘、山桃、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿、狼牙刺、刺槐、沙打旺等树草种,是适宜该区发展的优良的水土保持薪炭林树草种。

4.2 试验结果表明,整地、造林密度、施肥等系列技术是建造水土保持型薪炭林的有

效措施。这些技术措施不仅能提高造林成活率,有显著的水土保持效果,而且可以提高薪炭林单位面积产量和土地利用率,增加薪炭林建设的早期经济效益。其中提前一年在夏季采用隔坡反坡水平阶机械整地的方法,可提高土壤含水量 68.76%;造林成活率可达 85%~91.2%;减少径流和土壤冲刷,可使坡面径流量降为 12.804t/ha,泥沙冲刷量降为 1.49t/ha。

4.3 薪炭林草配置使林草有机地结合,不仅具有高产和高能量生产能力,而且可以提早覆盖林地,防止水土流失,改善林地立地条件(固氮改土作用),是充分利用光、热、水和土壤等自然资源,发展复合生态系统和建造水土保持型薪炭林的最佳模式。

### 参 考 文 献

- [1] 周泽生,李立等.黄土高原能源林植物选择研究之一——19种旱生植物叶片解剖特征的镜检.水土保持学报,1989年;第8卷第1期
- [2] 李正理.旱生植物的形态和结构.生物学通报,1981年;第4期
- [3] 傅左,周泽生等.黄土高原能源林植物选择的研究之二——主要能源林植物水分状况及其抗旱性比较.水土保持学报,1989年;第8卷第3期
- [4] 周泽生,李立等.黄土高原能源林优良植物选择研究.水土保持学报,1990年;第3期

## THE STUDY ON THE ESTABLISHMENT OF FUEL FOREST OF WATER AND SOIL CONSERVATION TYPE IN THE LOESS PLATEAU REGIONS

*Li Li   Zhou Zesheng   Wang Youke   Fu Zuo   Yang Guang   Yang Baotian*  
(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese  
Academy of Sciences and the Ministry of Water Conservancy  
Yangling·Shaanxi·712100)

### Abstract

The rural energy is one of the great problems which the present world is faced with. In our country the rural energy is scarce seriously. The rural energy is scarce especially in the loess plateau regions. And developing fuel forest is the most actual, economical and effective way to solve the problem. In this paper a series of techniques to establish the fuel forest of water and soil conservation type and the effective measures to raise its productivity were put forward through experiments. This study may provide basis in developing and constructing fuel forest in the loess plateau regions where the loss of water and soil is serious.

**Key words** water and soil conservation type of fuel forest  
cultural density disposition type utilization by  
rotation felling multiple usefulness