

黄土丘陵区优良草本能源 植物——沙打旺的研究

李 立 周泽生 沈继红* 傅 左 王晗生

(中国科学院
水利部 西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要

草本能源植物的开发利用研究,在我国农村能源建设中占有十分重要的地位。本文论述了沙打旺不仅适应性强、生长快、产量高,而且周期短,早期能量生产能力高于木本能源植物同期生产能力,能较早的取得生产效益,是解决黄土高原生态系统脆弱地区农村能源问题的一个优良草本能源植物。

关键词 黄土丘陵 适应性 旱生结构特征

国外对草本能源植物的开发利用研究比较重视,如美国能源署和农业部进行科学合作,对6500多种草本植物进行了研究鉴定,从中筛选出30多种含有大量碳氢化合物的草本能源植物。我国植物资源丰富,其中能源植物的利用价值虽然早已被人们所认识,但长期以来,开展这方面的研究工作很少,也未能引起有关部门的重视,特别是对适于黄土高原地区自然条件生长、光合能力强、合成生物质碳氢化合物效率高的草本能源植物的研究更少,从而影响到这一宝贵资源在我国农村能源中发挥应有的重要作用。

半干旱黄土丘陵区气候干旱,植被稀少,水土流失严重,“三料”俱缺,建造乔木能源林虽可成活,但生长速率低,不能形成有效的生产力。灌木能源林对该区不良环境条件的适应能力强,但初期生长缓慢,产薪量低,影响能源林的早期效益,为解决这一矛盾,1987年我们在宁夏西吉试区种植了沙打旺(*Astragalus adsurgens*)、红豆草(*Onobrychis Visiaefoliz*)、大叶苜蓿等草本能源植物,通过3年试验选出了优良草本能源植物——沙打旺,现将试验研究结果报告如下:

1 试验区的自然概况

试验区设在宁南山区的西吉县兴平乡韩脑村,该区属半干旱黄土丘陵水土流失严重地区。气候干旱,年干燥度1.45~2.66,年干旱频率50%~70%,水热条件较差,年平均气温5.3℃,≥10℃积温为2000~2200℃;年平均降雨量330~430mm,多集中在7、8、9三个月,约占全年降雨量的60%左右。土壤为细黄土,肥力差,有机质含量低(0.7%)。主要植物种有:长芒草、百里香、冷蒿、星毛委陵菜等,覆盖度0.4~0.5,无霜期平均120天,

收稿日期 1991—12—31

* 沈继红同志现在宁夏固原县基地办工作。

海拔 1 924~2 124m。

2 结果与分析

2.1 沙打旺生物生态学特性

2.1.1 生长发育

沙打旺种子小,种皮薄,透水性好,吸水萌发快,出苗早。温度适宜(平均气温 10℃ 以上),连阴雨 5 天左右,降雨 25~40mm 即可发芽出苗。胚根向地性强扎根快,出苗当天的幼苗根长 3.2cm,13 天平均根长 5.64cm,46 天根长 45cm,116 天根长可达 130cm。表 1 说明供试草种地下部分比地上部分生长迅速,根茎比值大。沙打旺、红豆草、大叶苜蓿生长 116 天,根茎比值分别为 1:3.9、1:3.8、1:6.2,这种扎根深、增大根系比例的特性,对幼苗的迅速成活和营养物质的吸收以及适应和抗御当地大气干旱和土壤干旱的能力,均有十分重要的意义。

表 1 供试草本能源植物地上及地下生长量比较(cm)

植物名称	生长天数 (天)	1	13	29	46	85	116
沙 打 旺	株高	子叶	0.8	3.5	9.5	18.9	33.0
	根长	3.2	5.6	10.6	45.0	99.0	130.0
红 豆 草	株高	子叶	4.8	7.6	18.0	27.8	44.4
	根长	6.2	10.8	20.6	56.0	135.5	170.0
大叶苜蓿	株高	子叶	1.9	6.3	21.0	21.1	27.8
	根长	3.3	7.5	9.5	80.0	120.0	171.0

表 2 供试草种生长量比较(1987—1988 年)

植物名称	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月(上旬)
沙 打 旺(1 年)			5.0	18.9	35.0	36.2
“ (2 年)	7.6	25.1	41.4	58.0	85.2	103.0
大叶苜蓿(1 年)			8.6	21.1	27.4	27.0
“ (2 年)	7.7	40.8	56.2	61.3	60.2	40.9
红 豆 草(1 年)			9.4	22.5	43.6	44.4
“ (2 年)	4.5	53.2	70.2	73.6	28.5	

表 2 说明了沙打旺生活第一年生长缓慢,生长量低于红豆草,第二年生长速度加快。刈割对沙打旺的生长和产量有一定影响,表 3 说明沙打旺不耐刈割,适宜一次性刈割。

表 3 沙打旺刈割茬次与生长量、产量的关系

刈割次数 及日期	未刈割	5 月 30 日	5 月 30 日 6 月 30 日	5 月 30 日 6 月 30 日 7 月 30 日	5 月 30 日 6 月 30 日 7 月 30 日 8 月 30 日	一次性刈割
调查日期	5.30	6.30	7.30	8.30	9.30	10.2
平均生长量 (cm)	0 15.3	一茬 对照 14.6 43.5	二茬 对照 10.1 62.5	三茬 对照 4.6 72.1	四茬 对照 1.3 74.0	
平均产量 kg/亩	鲜 146.7 干 46.7	鲜 112.8 干 40.0	鲜 57.8 干 23.4	鲜 18.9 干 7.4	鲜 9.5 干 4.0	鲜 600.0 干 237.5

2.1.2 产量

产量的高低是评选草本能源植物最主要的经济指标。供试草种产量的高低依草种生活年限、立地条件、播期等不同而有很大差异。

表4 供试草种产量比较

(kg/亩)

植物名称	生活年限	调查日期	鲜 重	干 重	备 注
大叶苜蓿	1	1988.9.10	574.2	169.0	
	2	1989.9.6	416.7	160.2	
	3	1989.9.6	278.5	100.0	中华鼯鼠为害
红豆草	1	1987.10.2	166.5	60.8	
	2	1988.9.12	953.4	276.7	
	3	1989.9.6	316.7	120.5	中华鼯鼠为害
沙打旺	1	1987.10.2	229.2	72.5	7月初播种, 生长期短
	2	1988.9.6	991.7	344.9	
	3	1989.9.6	1333.3	466.5	

表4说明沙打旺从生活的第二年开始其产量比大叶苜蓿、红豆草增产2倍和1.2倍; 第三年增产效果更为明显。播期选择适当, 产量可成倍增长, 从表5可看出, 早春播种, 当年植株生长旺盛, 鲜干草产量高, 如5月14日播种的沙打旺, 当年亩产干草533.4kg, 比6月15日播种的沙打旺增产3.3倍, 第二年仍可增产1.3倍。晚播不仅影响当年和第二年的生长和产量, 同时对越冬不利。大叶苜蓿、红豆草不同播期的生长及产量变化规律与沙打旺基本一致。

表5 供试草种不同播期试验

植物名称	播 期	出苗期	生 活 第 一 年				越冬率 (%)	生 活 第 二 年		
			平均株高 (cm)	平均根长 (cm)	鲜 重 (kg/亩)	干 重 (kg/亩)		平均株高 (cm)	鲜 重 (kg/亩)	干 重 (kg/亩)
沙打旺	1988.5.14	5.25	40.8	130.0	1493.4	533.4	100.0	101.6	1866.8	733.4
	6.15	7.4	15.4	110.0	693.4	160.0	90.1	72.3	1600.0	586.5
	7.15	7.21	6.2	61.0	213.4	53.4	87.3	54.0	1200.0	453.4
	7.25	8.6	4.3	50.0	96.7	24.7	86.2	50.4	986.7	330.7
	8.5	8.10	3.3	28.0	43.4	10.5	73.3	33.3	1406.8	426.7
	8.15	8.22					60.7	40.0	800.0	293.4
红豆草	1988.5.11	5.26	43.3	170.0	1386.7	310.0	70.2	76.7	2283.4	700.4
	6.15	7.4	23.3	165.0	746.7	173.4	100.0	67.8	2053.4	608.1
	7.15	7.23	14.4	75.0	426.7	80.0	15.0	57.9	708.4	237.4
	7.15	8.7	10.2	66.0	213.4	53.2	18.8	46.1	1093.4	306.7
	8.5	8.11	8.3	51.0	106.7	26.7	2.7	60.2	1093.4	280.0
	8.15	8.23	3.9				4.2	39.3	320.1	65.0
大叶苜蓿	1988.5.14	5.23	27.2	171.0	458.7	149.4	74.6	47.3	826.7	243.7
	6.15	7.4	18.2	105.0	426.7	80.0	53.7	44.1	1173.4	413.4
	7.15	7.21	8.5	61.0	213.4	53.4	61.6	40.1	693.4	204.0
	7.25	8.6	5.9	63.0	117.9	29.9	18.9	36.0	480.0	183.4
	8.5	8.10	4.1	25.0	64.0	16.0	9.3	32.0	640.0	194.7
	8.15	8.23	1.1				3.7			

表6 不同立地条件沙打旺产量比较 (kg/亩)

生活年限	立地条件	鲜重	干重
2	梁顶	366.7	130.0
2	避风向阳	1600.1	560.1
2	半阴坡	883.4	312.7

表6说明生活年限相同的沙打旺,生长在不同立地条件下,产量差异显著。因为在半干旱黄土丘陵地区,水分是影响植物生长和产量的主要生态因子,立地条件不同,土壤水分条件有较大差异,从而对沙打旺的产量则有很大影响。

2.1.3 沙打旺的寿命及衰败过程

沙打旺为多年生豆科植物,一般可生长5~6年,干旱地区可达8~10年。不同生活年限的沙打旺,由于植株生长发育情况不同,其产量差异十分显著。从表7可看出,沙打旺产量的高峰期在生活的第2~5年或第6年,从第5、6年的产量逐年下降,开始衰败。

表7 沙打旺不同生活年限产量动态 (kg/亩)

项目	上黄张拐沟			上黄刘碾峁			历年降雨量		彭阳王洼水保站		
	调查日期	鲜重	干重	调查日期	鲜重	干重	(年)	(mm)	调查日期	鲜重	干重
1年	1987.10.3	137.5	44.7	1984.9	1033.3	341.0	1984	635.0			
2年	1988.9.6	1833.4	646.1	1985.9	3066.8	1012.0	1985	490.0	1981.10.11	2999.7	1333.2
3年	1989.9.10	2666.7	932.9	1986.9	3400.0	1133.0	1986	285.0	1982.9.27	1666.8	733.4
4年				1987.10.4	1200.0	475.5	1987	324.0	1983.10.12	3200.2	1300.1
5年				1988.9.6	1733.4	643.1	1988	438.0	1984.9.12	2999.7	1500.0
6年				1989.9.6	1600.1	587.3	1989	358.0			
7年						293.7			1986.9	1955.6	804.5
8年									1987.20	933.4	226.7
9年									1988.9.	679.9	304.4
10年									1989.9.13.	无产	无产

表8 不同生活年限沙打旺消长动态

调查地点	调查时期	播期	生活年限	平均每平方米总株数	平均每平方米死亡株数	死亡株数占总株数%
固原上黄	1988.9.6	1984.4	5	28.3	1.5	5.3
固原上黄	1989.5.23	1984.4	6	33.8	3.6	12.7
固原上黄	1990.4.24	1984.4	7	28.3	24.8	32.8
彭阳王洼退耕地	1988.9.3	1980.7	9	21.0	7.0	33.3
彭阳王洼退耕地	1989.9.13	1980.7	10		植株根部全部腐烂	
彭阳王洼荒山	1988.9.3	1979.7	10		植株根部全部腐烂	

表8说明,沙打旺衰败植株死亡的情况是随着生活年限的增长而逐渐增加。据对上黄生活5年的沙打旺的调查,死亡植株占总植株的5.3%,第6年占12.7%,第7年占32.8%。彭阳县王洼水保试验站种植在退耕地生活9年的沙打旺,死亡株数占总株数的33.3%,而到第10年根部全部腐烂干枯,无论生长在荒山或退耕地的沙打旺均衰败而绝产。

过牧对沙打旺的早衰有很大影响。固原县上黄试区生活6年的沙打旺草地,经过强度放牧一年,第二年根腐死亡株数占总株数的93.8%,翌春后绝大部分植株没有返青。而在同一立地条件生活年限相同的沙打旺,由于有保护措施,其死亡株数仅占32.8%,可见沙打旺不耐践踏,不宜放牧。

2.1.4 沙打旺生理生态特征

黄土丘陵地区气候干旱,选择能源植物,首先应依据植物抗旱能力的强弱,做到适地适草,才能获得最大经济效益,达到预期目的。

2.1.4.1 水分生理特征 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,与植物的抗性有密切关系。束缚水比率较高时、自由水与束缚水含量的比值就小,植物代谢活动降低,抗旱性就强。反之则弱。测定结果说明,沙打旺的自由水与束缚水含量比值较小,即 $0.64(<1)$,抗旱性较强;红豆草比值 $1.25(>1)$,抗旱性较差。

水势:一般来说,在无水分亏缺或同一立地条件下,组织水势较低的植物,其耐旱性较强。1988年8月对沙打旺一天中的水势进行了测定,其结果为 $3.2\sim 16.6(-10^5\text{p}_a)$,红豆草为 $0.8\sim 4.0(-10^5\text{p}_a)$ 。据此,沙打旺吸水力比红豆草强。

2.1.4.2 旱生结构特征 植物对于旱生境的适应性,除产生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的植物的特征中又最为明显。所以,叶的旱生结构特征是评价植物抗旱性的重要依据。据对沙打旺叶形态解剖特征观察,它具有以下较明显的旱生结构特征。

A. 等面叶是一种明显的旱生结构特征。沙打旺的叶为近等面型。

B. 栅栏组织较海绵组织发达,以增强植物对于旱的适应能力。

C. 角质层发达。为保持体内水分,耐旱植物具有发达的表皮细胞角质层。

D. 表皮毛状物。半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。

从上述水分生理特征及早生结构特征综合分析,沙打旺属中旱生植物,其抗旱适应性较强,故适于当地的干旱气候和土壤条件。

2.2 沙打旺能量生产能力

能源植物主要是生产热能。因此,燃烧值的高低,是评选能源植物的重要指标。

从表9和表10可知,草本植物和灌木两者相比,虽然灌木的燃烧值大于草本植物,但7种草本植物的燃烧值则高于目前我国广大农村所利用的作物秸秆、杂草、树叶、畜粪等生物质能的燃烧值。而在7种草本植物中尤以沙打旺的热值为最高,也就是说沙打旺具有较高的能量生产能力。这充分说明发展草本能源植物不仅是解决黄土丘陵地区农村生活用能的有效途径,而且对改变该区长期以来由于燃料缺乏,只能烧肥料(畜粪)、烧饲料(作物秸秆等)的局面具有重要的作用和意义,从而可使大量作物秸秆和家畜畜粪归还农田,以达到维持农田土壤有机质和养分平衡,扭转“农业—生态”危机的加剧,为提高农业产量和促进农业生态系统的良性循环打下良好基础。

2.3 沙打旺的经济、生态效益

沙打旺不仅是一种改良沙荒,绿化荒山的先锋植物,同时也是优良的“三料”植物,经济效益和生态效益显著。

表9 黄土高原常见草灌植物燃烧值比较

植 物 名 称	燃 烧 值 (kJ/kg)			
	1	2	平均值	
草	沙打旺(辽宁早熟 2 号)	18267	18380	18326
	晚熟沙打旺	18211	18288	18254
	沙打旺(辽宁早熟 4 号)	17995	18062	18028
木	红 豆 草	18070	18091	18083
	白花草木樨	18081	18141	18154
	黄花草木樨	18254	18330	18292
	新 疆 苜 蓿	17995	18028	18012
灌 木	沙 棘	19582	19611	19598
	怪 柳	18741	18748	18748
	四 川 扁 桃	18824	18908	18866
	紫 丁 香	19247	19226	19238
	文 冠 果	18933	19000	18966
	山 桃	19284	19272	19280
	桑 树	19226	19247	19238
	柠条锦鸡儿	19670	19741	19707
	小叶锦鸡儿	19418	19414	19418

表10 农村常见生物质能热值

物质种类	高热值 (kJ/kg)	低热值 (kJ/kg)	备 注
玉 米 秆	18037	15550	资料摘自中国农业研究设计院能源研究室。
高 粱 秆	20570	15077	
棉 花 秆	17384	16002	
豆 秸	17597	16157	
麦 草	16684	15374	
稻 草	15248	13980	
谷 草	16324	15022	
杂 草	16270	14947	
杂 树 叶	16295	14851	
牛 粪	12845	11627	

2.3.1 优质饲草、饲料

沙打旺系多年生豆科植物,营养价值高。据分析,含粗蛋白质 15.01%、粗脂肪 2.83%、粗纤维 26.47%、可溶性碳水化合物 6.63%,而且氨基酸组成齐全,与苜蓿相似,可用作各种家畜的饲料,既可青饲,亦可调制成干草或干草粉。黄土高原地区天然草场退化严重,大力发展沙打旺是一种改良草场促进畜牧业发展的有效措施。

2.3.2 提供肥料

沙打旺可作肥料,是优良的豆科绿肥植物。据分析: 含氮 2.8%、磷 0.22%、钾 2.53%、钙 1.33%、镁 0.58%。1 000kg 鲜草相当于硫酸铵 17~57kg,硫酸钾 47kg。沙打旺茎叶鲜嫩,容易腐烂,无论压青或沤肥,肥效均高。山西右玉水保站用沙打旺作压青试验,与种植豌豆压青相比,土壤含氮量增加 1.7 倍,有机质含量增加 1.6 倍,速效磷含量增加 2.2 倍。

河北省枣强县利用沙打旺沤肥作小麦基肥,比用圈肥的增产13%~42.6%,比用秸秆肥的增产34.3%~80.2%。肥料是农业增产的物质基础,尤其是绿肥,是主要的有机质氮素肥料。绿肥养分全,含量高,无论压青或沤肥均能提供大量的有机质和氮肥。所以,沙打旺作绿肥,既可肥田,又可养田,而且肥效持久,是解决当前黄土丘陵地区肥料不足提高农业增产的有效途径。

2.3.3 沙打旺草地培肥改土的作用

沙打旺改良土壤、培肥地力,主要依据根瘤菌固定氮素而增加土壤中含氮量。沙打旺根上共生的根瘤出现早,数量多,根瘤主要着生在多年植株的2级分枝根上,并集中分布于自地表50cm以内土层中。根据我所田斌同志测定(见表11),与苜蓿相比较,沙打旺

表11 沙打旺、苜蓿2级分枝上的根瘤数

土层(cm)		0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~93
苜 蓿	长度(cm)	246	82	221.4	350.7	49.2	32.8			
	根瘤数	19	14	21	8	6				
沙 打 旺	长度(cm)	601.56	1682.14	1658.72	2228	1492.76	634.98	342.56	362.05	339.77
	根瘤数	52	95	75	98	72	55	35	31	29

整株根系具根瘤数552个,而苜蓿只有68个。自地表50cm土层内,沙打旺2级分枝根上有根瘤402个,苜蓿54个,沙打旺根瘤数是苜蓿的7.4倍。

据测定,无论是沙打旺草地或与沙棘、沙枣、刺槐混交配置,其土壤有机质和氮素含量均比对照荒山土壤有所增加。以生活第2~4年的沙打旺为例,表层土壤0~20cm的有机质含量,分别比对照增加50%、16.5%、45.6%;20~40cm分别比对照增加4.3%、6.4%、6.1%;40~60cm分别比对照增加5.2%、9.6%和16.9%。氮素含量的增加和有机质相似,表土0~20cm氮素含量分别较对照增加7.1%、54.1%和72.9%;20~40cm分别比对照增加0.7%、4.1%和31.6%;40~60cm分别增加1.0%、29.6%和59.4%。

2.3.4 防风固沙、保持水土

沙打旺枝叶繁茂,根系发达,地面覆盖度大,抗风蚀、耐沙压、防风固沙性能好。宁夏中卫沙坡头,利用种植沙打旺,有效地防止了风沙危害,保证了造林树木的正常生长。据测定,1~2年生沙打旺草地,与农地相比可减少径流30%~50%,减少泥沙80%~90%;比裸地减少径流量44.59%,减少泥沙量73.48%。因此,在水土流失严重的半干旱黄土丘陵地区,采用反坡梯田整地方式营造薪炭林时,在其荒坡隔带上种植沙打旺,不仅给树木生长创造了良好的环境条件,而且还具有改良土壤和水土保持的良好效果。

3 结 论

沙打旺适应性强,生长快,产量高,不仅是品质优良的饲料和绿肥,而且热值高,具有较高能量生产能力,是解决黄土丘陵地区农村生活用能短缺优良的草本能源植物。

在半干旱黄土丘陵地区,建造水土保持能源林,实行林草结合,即在反坡梯田营造沙棘能源林,在荒坡隔带种植沙打旺,早春播种,当年可收获300kg/亩以上干草,充分发挥

沙打旺见效快的特点,以解决能源林建设的早期生产效益。当沙打旺生长5~6年开始衰败时,沙棘已开始郁闭林地,利用沙棘串根萌蘖性强的特性,向沙打旺草带串根繁殖,最终发展成稳定的水保沙棘能源林,解决沙打旺衰败后荒山植被的接替和绿化问题。因此,这种林草配置类型是营造水保能源林的最佳模式。

参 考 文 献

- [1] 李立等,红豆草生态学特性与农业栽培技术研究,中国科学院西北水土保持研究所集刊,1990年;第11集
[2] 周泽生编著,沙打旺栽培技术,中国林业出版社,1984年

THE STUDY ON ASTRAGALUS ADSURGENS PALL. —A FINE GRASSLAND ENERGY-PLANT IN THE LOESS HILLY REGION

Li Li Zhou Zesheng Shen Jihong Fu Zuo Wang Hansheng
(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, the
Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water
Conservancy Yangling·Shaanxi·712100)

Abstract

The study on the exploitation and utilization of grassland energy-plants has been taking very important position in the rural energy construction of our country. *Astragalus adsurgens* not only with strong adaptability, rapid growth and high yield, but also with short productive period, productive capability of energy above woody energy-plants, at the early stage and earlier providing productive benefit, was discussed in this paper, and it is a fine grassland energy-plant to solve the lack of rural energy in the zones where the ecosystem is weak in the loess plateau.

Key words loess hilly region adaptability xeric structural feature