

黄土高原林农复合生态系统 建造模式及效益的研究

周泽生 李立 王吟生

(中国科学院
水利部 西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要

当今林农复合生态系统的研究已受到许多国家的重视。本文提出发展能源林,解决黄土高原农村能源问题,可实行林农牧相结合的技术方针,即建立以沙棘、山桃、柠条、刺槐等能源林树种为主居于上层空间,在下层以带状或行间配置粮、油作物或牧草等,组成林农复合生态系统的建造模式,以提高能源林的生物产量、经济效益以及土地利用率。

关键词 黄土高原 林农复合生态系统 建造模式 立体种植

黄土高原地区生态环境脆弱,水土流失和风沙危害严重,“三料”俱缺,尤以燃料奇缺最为突出。由于燃料紧缺,一切可作燃料的物质(秸秆、薪柴、畜粪、草皮等)均被烧用。致使因缺柴、缺肥、缺饲料而引起的一场“农业—生态”危机日益加剧。从而造成森林植被被破坏,森林覆盖率下降,生态环境恶化,生态平衡失调的严重恶果。为改变这一地区的自然面貌和农村经济的发展,恢复生态平衡,为该区农牧业发展创造有利条件,开展能源林草复合生态系统的研究,在理论上和生产实践上均有十分重要的意义。

1 试验区的自然概况

试验区设在宁夏南部山区彭阳县古城乡和草庙乡。该区为黄土丘陵,气候属暖温带半干旱气候。古城乡碱沟门试验基点年平均气温 7.2°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2\,581^{\circ}\text{C}$, 无霜期 150 天; 年平均降水量 450mm; 土壤为普通黑垆土、细黄土和暗黄土。海拔高 1 700~1 800m。一般坡度为 $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$, 切割深度 150m, 侵蚀模数 $3\,000\sim 4\,500\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。草庙乡赵木湾试验点年平均气温 $5^{\circ}\text{C}\sim 6.5^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2\,000^{\circ}\text{C}\sim 2\,370^{\circ}\text{C}$, 无霜期 120 天左右; 年平均降水量 400mm; 土壤为细黄土、淡黑垆土; 海拔高 1 700~1 900m。侵蚀模数 $4\,000\sim 5\,000\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。

2 结果与分析

2.1 林农复合生态系统的建造模式

当今各种形式的农林复合经营在世界各地蓬勃发展,农用林业越来越引起人们的重视,已被认为是发展农林业的重要方向。由于各地区所处的自然条件不同和面临的生态经济问题不同,因此,选择农林复合经营的形式也不同。

选择科学合理的农林复合经营组合,不但要根据各地建立农用林业的目的和不同的立地条件、经济条件,而且还要根据不同树种和农业各种作物以及牧草等特性来确定农业复合系统的各种成分和结构。

尽管我国对某些农林复合经营的模式进行了较深入的研究,如我国的农桐间作、农田林网等,但是,我国树种、作物、牧草、药材等资源丰富,土地辽阔,气候和土壤条件复杂,所以,大量的新的适于各地有效的农林复合系统模式有待去建立和探索。

能源林草复合生态系统是根据黄土高原、生态、经济条件的特点使林农牧和乔灌木三者相互结合成一体,充分发挥草本植物生长发育快的优势,达到当年种植当年受益。从空间上使乔、灌、草构成复层人工栽培植物群落,最有效地利用光、热、水、肥力及立地潜能,以获取最高的生物产量和经济效益。同时,这种林农复合生态系统还有利于恢复生态平衡和不断提高土壤肥力,防止水土流失,使生态系统和能源林生产处于良性循环之中,以较少的投入来获取最大的收益。从时间进程来看,这种生态系统既能解决林木生产周期长,见效慢的不足,使长远利益和近期利益相结合,又能在生态环境脆弱的地区,通过早期种植豆科牧草提供饲料、肥料并改良土壤,为能源林的生长创造好的条件。

乔、灌、草三者相结合是一种典型的立体种植模式,是最佳的人工植物群落结构。但并不是在任何地面上都要求三者具备,在不同的地域和立地条件下,这个模式应该有不同的组合。在水土流失严重、生态环境脆弱的黄土高原地区,以生物措施为根本,实行以草灌为主的乔灌木三结合,则符合我国西北黄土高原的自然规律和经济规律,是该区治理生态环境,发展生产的正确途径。

能源林草复合生态系统的建造模式,就是建造以草灌为主的人工植物群落。因为,草灌植物同乔木相比,除生理生态以及群落的结构功能有很多相似之处外,还具有生长快、周期短、密度大、生物产量高以及抗逆性强等特点,能够较早的发挥能源、生态和经济的综合效益,这是由于许多草本植物不仅是优良的能源植物,也是优质的饲料和肥料。所以,林草复合生态系统是解决黄土高原农村能源、饲料和肥料俱缺的有效措施。其建造模式是:以沙棘、柠条、山桃、紫穗槐、刺槐(作业方式采用矮林作业)等能源灌木居于上层空间,在下层以带状或行间配置优良豆科牧草沙打旺(*Asragalus adsurgens*)、红豆草(*Onobrychis Visiaefolis*)和粮、油作物(荞麦、洋芋、胡麻)或药用植物水飞蓟(*Silybum marianum*)、扁茎黄芪(*Asragalus complanatus*)等组成林草、林农或林药复合生态系统。

2.2 林草复合生态系统的初期效益

热值是树种的生物学特性之一,也是选择能源林树种最重要的指标,具有高热值的树种才可获得高的热能。对黄土高原主要灌木和草本植物的热值测定结果(见表1)表明,7种草本植物的燃烧值比较接近,差异较小,9种灌木也有相似的规律,说明同类植物的热值是比较接近的。从草灌植物两者相比,虽然灌木的燃烧值大于草本植物,但所测定的7种草本植物的热值则高于目前广大农村所习用的作物秸秆、杂草、树叶、畜粪等生物质能的燃烧值(见表2),这进一步说明,发展草、灌、乔混交植物群落,对解决我国黄土高原农

表 1 黄土高原主要草灌植物热值

植 物 名 称		燃烧值(kJ/kg)		
		1	2	平 均
草	沙打旺(辽宁早熟 2 号)	18288	18380	18326
	晚熟沙打旺	18221	18288	18254
	沙打旺(辽宁早熟 4 号)	17995	18062	18028
	红 豆 草	18070	18091	18083
	白花草木樨	18162	18141	18154
木	黄花草木樨	18254	18330	18292
	新疆苜蓿	17995	18028	18012
灌 木	沙棘	19582	19611	19598
	柽柳	18744	18748	18748
	四川扁桃	18824	18908	18866
	桑树	19226	19247	19238
	紫丁香	19247	19226	19238
	文冠果	18933	19000	18966
	山桃	19284	19272	19280
	柠条锦鸡儿	19670	19741	19707
	小叶锦鸡儿	18288	19414	19418

村生活用能具有极其重要的作用。如配置的沙打旺、红豆草等草本植物，在种植后的第 1

表 2 农村常见生物质热值

生物质种类	高 热 质 (kJ/kg)	低 热 值 (kJ/kg)	备 注
玉 米 秆	16906	15550	资料来源：中国农 业工程研究设计院 能源研究室
高 粱 秆	16383	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	

~4 年，其生物产量并不亚于灌木树种柠条的产量(见表 3)。这是由于柠条灌木种植后 4~5 年才能平茬利用，而红豆草、沙打旺种植当年即可受益，其生物产量从第 2~4 年逐年增加。据测定，在荒山退耕地上生活 2 年的红豆草每公顷年产鲜草 23 937kg，2 年生沙打旺每公顷年产鲜草 34 500kg。因此，其能量生产能力在种植后的前 4 年高于灌木树种。

这些草本植物除能解决农村生活用能外，也是很好的饲料和绿肥植物。红豆草营养价值高，粗蛋白含量丰富，在各生育期其含量不亚于优良豆科牧草之王紫花苜蓿，但粗纤维含量却比紫花苜蓿低(见表 4)。由于红豆草草质柔软，适口性好，无论青、干草或青贮，各类家畜均喜食。粉碎后的干草粉是猪的上等饲料，采种后的秸秆大家畜和羊均爱吃，适

表 3 黄土高原部分草、灌、乔植物生物产量比较

植 物 名 称		生物产量(干重) kg/(ha·a)	备 注
草 木	红豆草	3750	生长的立地条件均 为荒山退耕地
	草木樨	3375	
	苜蓿	3300	
	沙打旺	4245	
灌 木	柠条	3900	4~5年平茬后的 产量
	沙棘	6000	
	栓柳	4875	
乔 木	刺槐	6750	4~5年平茬后的 产量
	沙枣	7500	

表 4 红豆草和紫花苜蓿营养成分比较(%)

名 称	生育期	粗蛋白质	粗 脂 肪	粗 纤 维	灰分	备 注
红 豆 草	营养期	13.83	2.86	12.32	6.47	紫花苜蓿引自 甘肃农业《草 原工作手册》
	现蕾期	20.79	2.11	18.64	7.04	
	开花期	11.51	2.14	22.31	6.26	
	种子成熟期	9.81	2.12	24.86	5.31	
	种子	26.23	5.30	16.14	5.65	
紫花苜蓿	开花期	11.30	2.68	33.25	7.86	
	种子成熟期	9.11	3.65	29.67	9.21	

口性高于苜蓿秸秆。红豆草在各个生育期还含有较多的浓缩单宁，而单宁可以沉淀可溶性蛋白质，能防止可溶性蛋白质在胃中产生持续性泡沫，因此，家畜在红豆草地放牧采食鲜草，不会得膨胀病，这是红豆草优于其它豆科牧草最有价值的特性。

红豆草鲜体可以压青、沤肥，从而可以改良土壤，培肥地力。据分析，红豆草植株养分含量丰富(见表5)，同时根瘤出现早，数量多，分布广，因而种植后能给土壤增加大量氮素。

表 5 红豆草各器官养分含量(%)

植株部位	养 分 含 量		
	氮(N)	磷(P ₂ O ₅)	钾(K ₂ O)
根	2.9300	0.8824	0.1735
茎	1.5439	0.2127	0.1713
叶	3.7414	0.3877	0.2529
种子	4.1585	0.6357	

据测定，种植过2年红豆草的土地比未种植过红豆草的土地，其土壤有机质和N、P、K、含量均有所提高(见表6)。因此，利用豆科植物根瘤固氮的潜力十分巨大，据统计，世界上生物固氮能力，每年大约高达1.75亿t，为工业固氮量的4倍。而在能源林的配置中发挥豆科草本植物的固氮作用，不断向能源林地生态系统中输入大量的氮素营养和有机质，必将为能源林的生长奠定良好的物质基础，从而可以大大降低能源林能量输入，增加产出，以

表6 二年生红豆草地土壤养分含量

项 目	有机质	全 量 %			速效含量(mg·kg ⁻¹)			
	(%)	N	P	K	N	P	K	
红豆草地	0~15cm	0.197	0.061	0.057	1.88	37.0	5.3	75
	15~30cm	0.90	0.052	0.066	1.96	37.0	5.6	70
	30~50cm	0.82	0.056	0.063	1.94	36.4	5.6	70
对 照 地	0~15cm	0.59	0.036	0.056	1.86	32.6	5.5	50
	15~30cm	0.61	0.037	0.055	1.88	29.9	5.5	60
	30~50cm	0.63	0.042	0.062	1.89	25.5	5.2	50

提高“有效能率”。

红豆草除提供部分燃料、饲料和肥料外,当年还可以收获种子,增加群众经济收益。如混交试验生活2年的红豆草,每公顷年产种籽798kg,3ha红豆草,共产籽2394kg,收益1.5万元,产鲜草3.6万多kg,收益2163.10元,两项合计收益1.71万多元。12.4ha2年生沙打旺产鲜草27.9万多kg,折合收益1.67万元。

沙打旺营养丰富。含蛋白质15.01%,油分2.83%。粗纤维26.47%,可溶性碳水化合物6.63%,而且各种氨基酸的含量较高,故可用作各种家畜的饲草。据分析,沙打旺植株含氮2.8%,磷0.22%,钾2.53%,钙1.83%,镁0.58%,每500kg鲜草的养分相当于硫酸铵14~26kg,硫酸钾23.5kg。因而是一种优良的豆科绿肥植物。由于它枝叶繁茂,根系发达,地面覆盖度大,故具有良好的水土保持作用,据测定,二年生沙打旺草地与农地相比径流减少30%~50%,泥沙减少80%~90%。所以,沙打旺也是一种良好的“水保”植物。因此,早期在薪炭林中配置红豆草、沙打旺等草本植物,既可缓和“三料”俱缺的困难,增加群众的经济效益,又对改良土壤、保持水土具有显著的作用,从而取得能源、生态、经济的综合效益。

如实行农林间作,在种植后的第1~4年,每公顷每年还可收获荞麦450~900kg;洋芋1125~2250kg和胡麻375~600kg。而间种药用植物,则其经济收益更高。

在自然界中,生物与生物以及生物与环境之间,不断地进行着物质的循环和能量的转换,以保持着它们之间的动态平衡。发展林业生产,就要按大自然中的生态规律,搞复层经营,“立体林业”,使林业生产成为一个高效能的良性循环体系,达到投入少,产出多,效率高、效益大的目的。

3 结 论

林农复合生态系统的建造,必须按照当地自然条件和森林生态经济原理,选择多效益的树种并间作多功能的农作物、牧草和药用植物等,然后组装成为多层次、多目的、多产品和多效益的综合生态系统,使林农复合生态系统在获得经济效益的同时也发挥其良好的生态效益。

黄土高原地区生态环境十分脆弱,建造能源林的早期效益较低,而利用豆科草本植物生长发育快的优势,实行能源林草、灌、乔的建造模式,使林草相辅相成,可以较快的获得丰富多采的经济效益和生态效益。试验表明,沙打旺和红豆草是优良的“三料”植物,在该

区生长健壮、生物产量和热值均较高,在同等立地条件下,其早期能源生产能力高于木本植物。在营造能源林的头几年,采用带状或行间种植沙打旺、红豆草,不仅可以提早郁闭林地,防止水土流失,改善立地条件,解决饲料、肥料俱缺的困难,而且每年还能获得 $6.28 \times 10^7 \sim 7.54 \times 10^7 \text{J/kg}$ 的能量收益,是建造能源林草复合系统的最佳模式。同时可为我国林农复合生态系统的研究提供经验。

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
- [3] 农林复合生态系统研究概述。北京林业大学学报,1988年第1期

A STUDY ON THE CONSTRUCTION MODEL OF THE COMPLEX ECOSYSTEM OF AGROFORESTRY AND ITS BENEFITS ON THE LOESS PLATEAU

Zhou Zesheng Li Li Wang Hansheng

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, the
Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water
Conservancy Yangling·Shaanxi·712100)

Abstract

Nowadays the research on the complex ecosystem of agroforestry has been valued by many countries. It organically integrates tree, shrub with grass, crop, fruit tree, drug plant, etc. to construct a complex ecosystem of agroforestry with high productivity and great comprehensive benefit. It was put forward in this paper that the technical policy of the combination of forestry with agriculture, livestock farming may be practised in developing energy forest to solve the rural energy problem. That is to say, the energy-forest species including *Common Seabuckthorn*, *David Peach*, *Korshinsk Pearhrehrub*, *Black Locust*, etc. are taken as the dominant part and occupy the upper layer of a space, in which the species including grain, edible-oil vegetable, forage grass, etc. at the lower layer are disposed in belt or between tree lines to form a optimum construction model of the complex ecosystem of agroforestry so as to raise energy-forest bioyield, economical benefit and land utilization ratio.

Key words loess plateau complex ecosystem of agroforestry construction model space planting