

黄土丘陵沟壑区水土保持林 体系建设及效益分析*

侯喜禄 梁一民

(中国科学院西北水土保持研究所
水利部)

摘 要

本文通过安塞黄土丘陵沟壑区立地条件类型的划分,研究了树种布局、林种配置、林地水保效益、林地土壤水分动态、树种热值、林分蓄积量和生物量等。提出了黄土丘陵沟壑区水土保持林体系的最佳模式。

关键词 水土保持林 水土保持效益

CONSTRUCTION OF FOREST SYSTEM FOR SOIL AND WATER CONSERVATION AND ITS BENEFITS IN LOESS HILLY REGION

Hou Xilu Liang Yimin

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation under The Chinese
Academy of Sciences and The Ministry of Water Conservancy)

Abstract

Based on the division of locality conditions in Ansai loess hilly region, this paper dealt with such problems as distribution of tree species, disposition of different forests, benefits of soil and water conservation, soil moisture dynamics in woodlands, tree hot value, store of stand, biomass etc., and put forward an optimum model of forest system for soil and water conservation in the loess hilly region.

Key words forest for soil and water conservation benefit of soil and water conservation

1978年上马的三北防护林体系建设,第一期工程在黄土高原营造的各种防护林占其总量的1/3多,其中水土保持林又占一半以上。这些水土保持林已经和正在发挥着防风固沙、涵养水源、保持水土和增加经济收入的作用,但高效能的水土保持林体系建设尚需深入研究。为了探求陕北黄土丘陵沟壑区高效能的水土保持林体系,为该类型区林业的发展和“三北”防护林体系工程建设提供依据。1986年以来在安塞县开展了水土保

*曹清玉同志在本研究中参加了部分林地水保效益和土壤水分测定

持林综合效益的研究，并在纸坊沟流域进行了水土保持林体系实体模型的建设。

1 试验地区自然概况及林业发展方向

1.1 自然概况（参阅97页）

1.2 林业发展方向

根据“三北”防护林体系工程建设规划，安塞县为防护林重点县；按陕西省林业区划属陕北黄土丘陵沟壑水土保持林区。由于本区水土流失严重，“三料”俱缺，尤其烧柴困难，因此，林业发展的方向应以建设防护效应为主，防护—薪炭互补的防护林体系。在林种配置上应主攻水土保持林，大力营造薪炭放牧林，积极发展经济林。林业经营目的达到保持水土，解决“三料”，增加经济收入，改善农业生产条件，并由生态（防护）型过渡到生态经济型。

2 研究内容和方法

为了建立高效的水土保持林体系，定位试验以纸坊沟流域为示范区，以立地条件类型为基本单元，进行树种布局、林种比例、类型配置和林地效益等研究。其具体内容和方法为：树种布局和林种配置，根据安塞县林业区划和规划有关资料，结合类型区地形地貌和纸坊沟流域土地类型及农林牧发展需要，按立地条件类型布设；水土保持林地保水保土效益，采用径流小区观测；不同密度幼林地土壤水分动态，用常规法（土钻）测定1~11月、0~300cm土层土壤含水量；树种热值，按规定采样，送交专门研究单位测定；林分蓄积量测定，选标准地每木检尺，求平均木（平均树高、平均直径），计算伐倒木材积，推算出林分活立木蓄积；生物量系指林木地上部第一性生物生产量，按树种、年龄，在生长季末测定。

3 结果与分析

3.1 立地条件类型的划分及树种布局

根据陕北黄土丘陵沟壑区地形、地貌、土壤、气候等特点，考虑森林类型和经营类型的划分，采取坡向、坡度和土壤类型三个因子进行立地条件类型的划分和树种布局。并以影响林木生长的主导因子土壤水分和林木生长状况为参数进行评价（略）。

具体方法：以方位角 135° ~ 315° 为分界线，该线以北为阴坡，以南为阳坡；坡度级以大于 25° 为陡坡，小于 25° 为缓坡；土壤类型分为黄绵土、红胶土。据此，将该区划分为七个立地条件类型。并按树种的生物、生态学特性选择各类型的适生树种。

在陕北黄土丘陵沟壑区的森林草原地带，造林树种的选择可实行乔、灌结合，北部靠近草原区则应以灌木为主，南部或靠近落叶阔叶林区可以加大乔木比重。具体布设在河谷、沟道底部及阴向缓坡等水分条件较好的立地条件下，营造乔木林；在沟谷陡坡及梁顶顶部或土质差的地段，营造各种灌木林。

3.2 水土保持林的混交类型

水土保持林是丘陵山区用以控制水土流失，改善农牧业生产条件，相应地生产一定数量木材和林副产品为目的，并有一定树种组成和结构的林分。目前该类型区营造的水土保持林树种单一、混交类型较少。面积较大的有刺槐、柠条、沙棘纯林，面积较小的

表1 立地条件类型及造林树种

编号	类型名称	适 生 树 种	
		乔 木	灌 木
I	梁峁顶部黄绵土	油松	柠条、山桃
II	阴向缓坡黄绵土	油松、山杏、河北杨、小叶杨 杜梨、榆树、山楂	柠条、沙棘、紫穗槐
III	阴向陡坡黄绵土	油松、河北杨、杜梨	柠条、沙棘
IV	阳向缓坡黄绵土	刺槐、侧柏、山杏、苹果、核 桃、山楂、桑树、枣树	柠条紫穗槐、沙棘
V	阳向陡坡黄绵土	侧柏、刺槐、杜梨、臭椿	柠条、狼牙刺
VI	阴、阳向陡坡红胶土		沙棘、狼牙刺
VII	沟底、河滩黄绵土	旱柳、小叶杨、新疆杨、刺槐	沙棘、紫穗槐、乌柳

有油松、侧柏、榆树（白榆）、小叶杨或杂交杨等纯林。由于造林立地条件类型选择不当，部分杨树长成“小老树”，少数刺槐林生长不良，白榆也因虫害等原因，在生长8~10年后大批死亡。人工营造的水土保持混交林主要有油松×沙棘、杨树×沙棘和刺槐×油松（多为刺槐林改造更新）。从水土保持和抗御自然灾害的角度出发，在该类型区极需发展一些生长稳定的水土保持林混交类型。据此，我们布设了几个乔、灌和针阔混交类型。在阴向缓或陡坡黄绵土立地条件类型，布设有①油松+紫穗槐，②刺槐+油松（阴坡低产刺槐林改造），③杨树+沙棘，④油松+沙棘；在阳向缓坡黄绵土立地条件类型布设有⑤刺槐+紫穗槐，⑥刺槐（稀疏）+连翘，⑦杨树+连翘等混交林类型。经过10~15年成林过程观测，油松+紫穗槐、杨树+沙棘、阴坡刺槐林改造的刺槐+油松、刺槐（稀疏）+连翘、杨树+连翘等混交类型，在幼龄和中龄林时期其主要树种和伴生树种的生长发育表现正常。如杨树+连翘、稀疏刺槐+连翘混交林，连翘能正常生长发育，是因为杨树的树冠小，刺槐稀疏，林冠郁闭度0.5~0.6左右。油松+紫穗槐混交林生长发育正常，是由于油松幼树能耐紫穗槐生长较快所造成的侧方庇阴，加之紫穗槐为豆科植物，根系能改良土壤，有利油松生长，同时紫穗槐本身有耐荫的特性。杨树+沙棘是较好的混交类型，因杨树和沙棘都是喜湿润的生境条件，沙棘是浅根树种，利用表层水分和养分，且根有根瘤能改良土壤，对杨树有利。杨树根深，而且树冠郁闭度较低，对沙棘影响不大。槐刺+油松的混交类型，两者均深根系树种，在利用土壤水分上有矛盾，但因这个类型多为阴坡刺槐林改造，一般刺槐生长差，林冠郁闭度低，油松能正常生长。油松+沙棘也是一个很好的混交类型，但在幼林期，如果沙棘密度很大，油松幼苗不能忍耐上侧方的高度遮阴而死亡。我们的试验出现过这一问题。

3.3 纸坊沟流域水土保持林体系林种配置

纸坊沟流域系杏子河一级支流，属安塞县沿河湾镇管辖，总面积8.27km²，包括纸坊沟、寺峁峁、瓦树塌三个自然村，96户、476人，人口密度56人/km²，人均土地26.6亩。1975年以来尤其1982~1990年，在该流域开展了水土保持林体系建设的试验示范，经过十多年的努力，现已初步建成多林种、多树种、多功能、高效益的水土保持林体系实体模型。

3.3.1 纸坊沟流域水土保持林体系的林种配置

平面配置：（1）右岸，村庄附近的阳向缓坡经济林区。共有经济林613亩，其中苹果330亩，山楂87亩，核桃85亩，枣树15亩，其它56亩；（2）左岸，阴向陡坡和沟壑水土保持林及水保用材林区，有林地1 000亩；（3）阴向坡的梁岭顶部为柠条薪炭放牧林区，面积约800亩；（4）沟道旱柳、刺槐、杨树用材林和路旁、水旁、下湿地植树。

立体配置：沟底、坡脚、沟壑乔木林、阳坡经济林、阴坡水保林、岭顶灌木林。

3.3.2 纸坊沟流域水土保持林体系林种比例

该流域领地总面积3 400亩，其中乔木水保用材林1 867亩（包括水保用材林和防护林），占林地总面积的54.9%，灌木薪炭放牧林920亩，占27.1%，苹果等经济林613亩，占18%。据安塞县1988~2000年林业发展规划（线性规划）中提高森林生态、经济效益的四个林种，即水保用材林面积、防护林面积、薪炭林面积、经济林面积。到2000年林业效益最高的林种比例为：水保用材林占27.8%，防护林占29.4%，薪炭林占23.9%，经济林占18.9%。由此可见，纸坊沟流域水土保持林体系的林种比例，现已基本实现了这个目标。根据黄土丘陵沟壑区的地貌和土地类型及林业发展实践，该类型区的经济林比例20%左右是适宜比例。

表2 不同类型人工林地土壤侵蚀量

试验处理	郁闭度或	地面 坡度	侵蚀模数	
	覆盖度		(t/km ²)	(比例%)
刺槐林	70~85	27°	18.0	0.4
刺槐林	65~80	27°	31.5	0.7
柠条幼林	20~50	27°	1 471.7	34.1
柠条成林	灌木层50~60 草本层40~50	27°	4.7	0.1
沙棘林	65~90	27°	577.1	13.4
侧柏×紫穗槐	30~50	27°	953.1	22.1
沙棘×油松	60~70	27°	1 171.4	27.1
沙棘×杨树	50~60	27°	1 465.2	33.9
牧荒坡	50~60	27°	1 146.2	26.5
坡耕地(对照)	30~50	27°	4 320.5	100

3.4 纸坊沟流域水土保持林体系的水保、经济效益

3.4.1 林地的水保效益

人工林地防治土壤侵蚀的作用非常显著，由表2可知，郁闭度或覆盖度较好的林地，与坡耕地相比可大大减少地表径流，以柠条成林、刺槐林效益最好。牧荒坡的径流量最大，还高出农耕地35.5%（表3），如果牧荒坡与郁闭度或覆盖度较好的林地比较，产流量相差更大。根据10年观测的结果，林地产流约为牧荒坡的10%~20%。因此，在水土保持工作中应特别注意牧荒坡的治理。牧荒坡造林，可有效地减少地表径流的汇集，对减轻土壤侵蚀，特别是对减轻沟道的侵蚀将起重要的作用。从表4可知，在

表3 3~10年不同类型人工林减少径流试验结果

试 验 处 理	年 平 均 径 流 量	
	(m ³ /km ²)	比 例 (%)
农地 (对照)	17 821.0	100
柠条成林	2 155.9	12.1
6~15年刺槐林	2 221.4	12.5
12~14年刺槐林	8 230.0	46.2
1~6年刺槐林	8 069.6	45.3
1~6年刺槐×紫穗槐	8 140.0	45.7
沙棘林	5 260.0	39.5
沙棘×油松	7 000.0	39.3
沙棘×杨树	8 050.0	45.2
柠条幼林	14 680.0	82.4
牧荒坡	24 146.4	135.5

一般降雨情况下,林地的径流系数都比较小。但在大暴雨情况下,一些郁闭度和覆盖度较好的林地,径流系数仍明显小于农耕地。但郁闭度、覆盖度较差的林地,径流量明显增加,如柠条幼(疏)林的地表径流系数为23.1%,农地为17.2%。由于土壤侵蚀主要是由暴雨所造成,所以防治水土流失,主要防治暴雨造成的水土流失。增加地表覆盖是最好的方法和途径。

表4 不同类型人工林在不同雨型下径流观测结果

人工林类型	郁 闭 度 或 覆盖度 (%)	1989年7月16日大暴雨		1989年7月22日降雨	
		径流深(mm)	径流系数(%)	径流深(mm)	径流系数(%)
6年生刺槐林	70~85	3.02	2.3	0	0
15年生刺槐林	60~80	1.37	1.0	0.04	0.2
4年生沙棘林	80~90	1.26	0.9	0	0
4年生沙棘×油松	60~70	3.56	2.6	0.12	0.7
4年生沙棘×杨树	50~60	8.04	6.6	0.18	1.1
4年生侧柏×紫穗槐	30~50	4.17	3.5	0.29	1.7
4年生柠条林	20~50	31.56	23.1	0.25	1.5
农地(对照)	30~50	23.42	17.2	0.24	1.4

3.4.2 纸坊沟流域水土保持林体系经济效益

(1) 刺槐水保用材林生长量及林分蓄积量

该流域内绝大部分乔木用材林为刺槐水保用材林,计1 402亩。若以20年为轮伐期,其林分龄级构成为:幼龄林占38.8%,中龄林占50.5%,近熟林占10.7%。目前正进入速生阶段,活立木总蓄积2 049.08m³,平均单位蓄积量1.46m³/亩,人均4.5m³。在不同立地条件类型生长量和林分蓄积量不同(表5),以沟道的刺槐林生长最好和蓄积最大,其次是阳向缓坡,阴向坡和阳向陡坡最差。

表5 不同立地条件类型刺槐生长量、蓄积量

立地类型	树龄	平均树高 (m)	平均胸径 (cm)	郁闭度 (%)	活地被物盖度 (%)	单位蓄积量 (m ³ /亩)
阳缓	8	9.0	6.8	60	10~20	1.08
阳陡	8	6.0	6.5	50~65	10~15	0.87
阳缓	12	10.5	9.4	50~80	12~20	2.60
阳陡	12	8.4	7.8	60	25	1.65
阳缓	15	11.6	12.6	65~70	20~25	3.13
阳陡	13	10.6	7.9	50~65	20~25	2.1
沟道	14	11.8	12.7	50~70	15~20	2.98
沟道	15	11.9	12.9	50~80	15~25	3.78

(2) 主要树种热值、生物量和平茬年龄

①主要树种热值。

1989年我们在树木休眠期间，对试验区18个乔、灌木种进行热值测定，多数树种采集生长正常的2年生枝条。刺槐、柠条、沙棘三个树种采集1~5年生生长中等的幼树。

表6 树种热值及热值与树龄的关系 (万J/g)

枝龄(年)	油松	侧柏	白蜡	壮梨	中槐	臭椿	白榆	旱柳	小叶杨	北京杨	新疆杨	桃树	火炬树	刺槐	柠条	沙棘	紫穗槐	狼牙刺
1														2.0	2.0	2.0		
2	2.4	2.0	1.9	1.8	1.9	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	2.0	1.9	1.9	2.0	2.0	1.8	2.0
3														1.9	1.9	1.9		
4														1.9	2.0	2.0		
5														1.9	1.9	1.9		

测定结果如表6，由表6看出，针叶树种热值最高，阔叶树种（乔木和灌木）的热值平

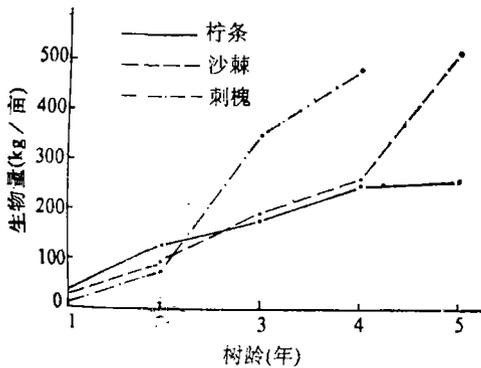


图1 刺槐、柠条、沙棘生物量与树龄的关系

均值相近。刺槐、柠条、沙棘树种的热有 1年生 > 4年生 > 2年生 > 5年生 > 3年生变化规律。这个规律同北京林业大学赵廷宁等人在宁夏测试结果相同。这一规律对于研究确定柠条、沙棘和刺槐灌木状经营的适宜始采期、平茬周期有重要的指导意义。

②刺槐、柠条、沙棘生物量与树龄关系及平茬周期。

图1可知，刺槐在第3年地上部第一性生物生产量最大，为265kg，三年累计达340kg，其总能量为4409 867kJ/亩，平均年产能量为2097 855kJ/亩。第4年的累计生物量465kg，总能量为8755 312kJ/亩，平均年产能量2188 830kJ/亩。可见3~4年平茬

能量利用率最高。因此，刺槐灌木状作业以3~4年为一平茬周期为宜。

柠条其地上部生物生产量在第5年显著下降，只占5年总生产量的3.9%。如密度为585丛/亩的柠条林，4年生的生物量为245kg，5年生的生物量为251kg。从比较年平均产能量可见，4年生柠条平均年产能量1204 532kJ/亩，5年生年平均产能量 973 776 kJ/亩。4年一周期的利用方式比5年一周期的能量生产率提高了23.7%。因此，柠条薪炭林定为4年平茬一次是效益最高的平茬周期。

沙棘在第一年生长较慢，2~4均等。第4年的总能量7449 455kJ/亩，平均年产能量1025 164kJ/亩。第5年的总能量9840 344kJ/亩，平均年产能量1967 901kJ/亩。因此，沙棘薪炭林5年为一平茬周期。

(3) 刺槐、沙棘初植密度的生物量及土壤水分动态

在本类型区刺槐、沙棘造林究竟多大的初植密度适宜，我们从林木生长与土壤水分的关系进行研究，寻求适宜的造林初植密度。

①刺槐幼林地土壤水分季节变化。图2为4年生刺槐幼林(密度为222株/亩)在1988年和1989年生长季节的土壤水分变化曲线。1988年是个丰水年，降雨量687.3mm，林地水分变化规律正常，即春末到夏末为土壤水分消耗期。这一时期的4月中旬到7月

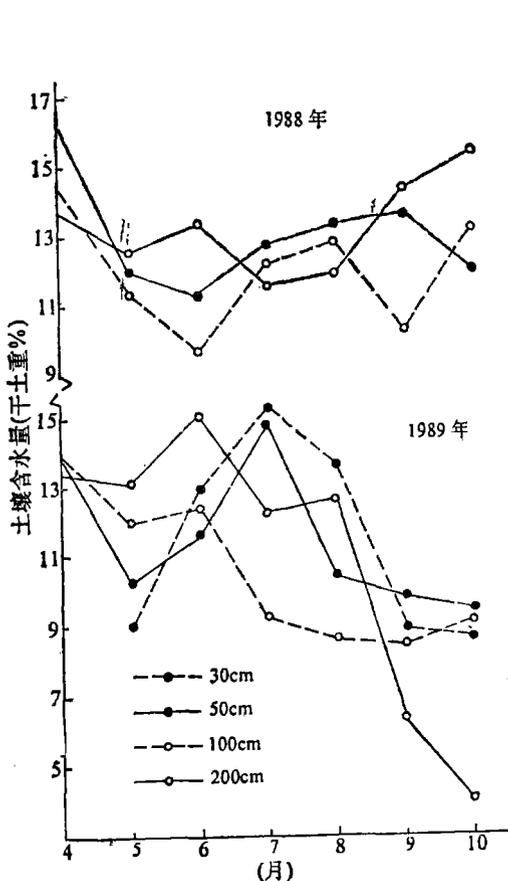


图2 刺槐幼林地土壤水分季节变化曲线

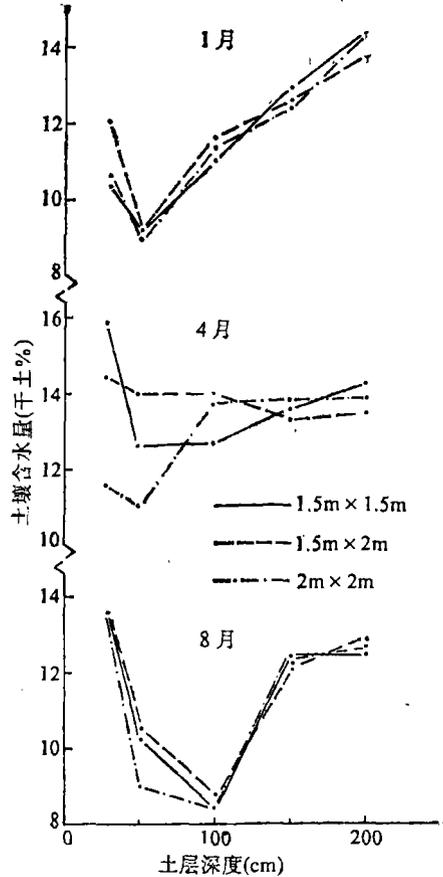


图3 不同密度刺槐幼林土壤水分变化曲线

中旬，刺槐从萌动逐步进入生长旺季，蒸腾耗水量最大，因降雨较少，土壤水分逐渐下降，到6月50~100cm土层含水量达年度最低值。夏末秋初为土壤水分蓄积期。从7月至9月进入雨季，降雨量迅速增加，此间刺槐生长蒸腾耗水量仍较大，而土壤水分得到恢复补充达最大值，至9~10月在200cm土层含水量达14.3%~15.2%。1989年是干旱年，降雨量466.9mm，林地土壤水分变化不符合该区的规律，受降水的影响6~7月土壤含水量最高，生长季末土壤水分却变的很低，在30~100cm土层含水量仅10%以下，200cm土层仅为5%，接近凋萎湿度，土壤水分处于严重亏缺状态。

②不同密度刺槐幼林地土壤水分变化动态

表7 1989年纸坊沟流域林业产值统计

项 目	产 量 (kg)	价 格 (元/kg)	价 值 (元)	投 入 (元)	产 值 (元)	备 注
苹 果	6500	0.8	5200	500	5700	不含投劳
山 楂	100	1.0	100		100	
枣	200	2.0	400		400	
杏 仁	100	6.4	640		640	
核 桃	1300	2.0	2600	100	2700	
桑 叶	70	0.8	56		56.0	
花 椒	10	6.0	60		60.0	
木 材	129根	30.0	3870	200	4070	制运材
薪 柴	17.2万	0.05	8600		8600	不含投劳
材积生长量	117.2m ³	156/m ³	17273.2		17273.2	刺槐、旱柳
造 林	112亩	30元/亩		3360	3360	
四旁植树	1000株	28.5元/百株		285	285	
幼林抚育	200亩	3.7元/亩		740	740	
成林抚育	100亩	13.8元/亩		1380	1380	护林费占多半
合 计				6565.0	45364.2	

表8 薪柴产量统计表

薪炭林 类 型	面 积 (亩)	生物量 (kg/亩)	平茬周期 (年)	年生物量 (kg/亩)	年薪柴总量 (万kg)	备 注
柠条	763	337	4	82	6.46	上表补充
沙棘	37	524	5	104	0.38	
狼牙刺	196	260	4	65	1.27	
刺槐	1402	50	1 (修枝)	50	7.0	
杂灌	56	280	4	70	0.39	
四旁树	4800株	3.3kg/株	1 (修枝)	3.3	1.58	
合计					17.2	

图3 为初植密度1.5m×1.5m (296株/亩)、1.5m×2m (222株/亩)、2m×2m

(167株/亩) 3种4年生幼林地。在1989年1、4、8月的土壤水分变化曲线, 由图可见, 3种密度的林地土壤水分含量基本相近, 说明初植密度对林地土壤水分影响不明显。因此, 在确定造林密度时应考虑生物量。而此3种密度4年生刺槐幼林的生物量分别为485kg/亩、476kg/亩、413kg/亩。可见前两种密度是适宜的。

③沙棘林地土壤水分季节变化

由图4可见, 沙棘生长季节土壤水分变化规律同刺槐幼林。但林地土壤水分较刺槐幼林低, 如1988年(丰水年)密度1m×1.5m(444株/亩), 3年生沙棘林地在30~150cm土层内含水量仅7.3%~11.0%。1989年(早年)4年生沙棘林30~150cm土层含水量在9月份为7%左右, 在10月份为10%左右。这是因为沙棘幼林密度较大, 尤其3年生以上植株根蘖苗极多, 更加大了林地耗水量所致。

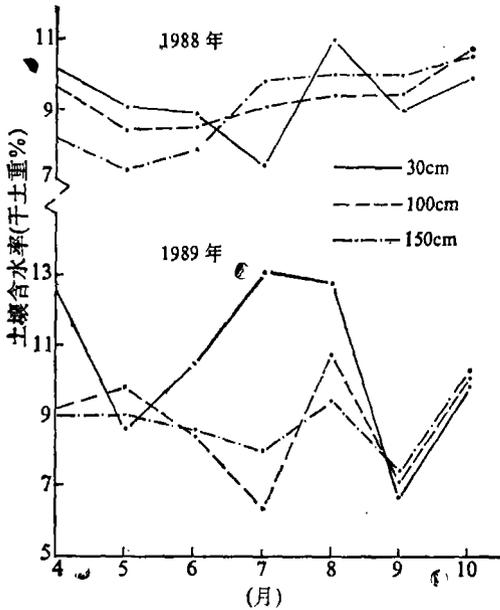


图4 沙棘林地土壤水分季节变化曲线

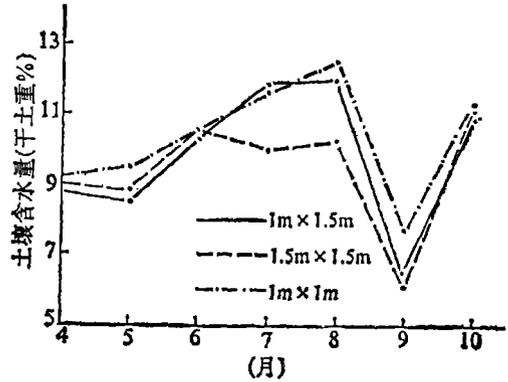


图5 不同密度沙棘林地土壤水分变化曲线(1989年)

④不同密度沙棘幼林土壤水分变化动态

图5为1m×1m(667株/亩)、1m×1.5m(444株/亩)、1.5m×1.5m(296株/亩)三种密度4年生沙棘林地土壤水分动态, 由图可知, 在1989年生长季节30~150cm土层含水量的变化基本一致。从生物量看, 4年生3种密度的沙棘林生物量分别为61kg/亩、400kg/亩和292kg/亩。据此, 水土保持或薪炭沙棘林, 为了提早郁闭并获得较高的薪柴, 可采用1m×1m(667株/亩)的初植密度。

(4) 纸坊沟流域水土保持林体系经济效益

1989年流域内林地面积3000多亩, 其中主要乔木(刺槐)水土保持用材林1402亩, 幼龄林占38.8%, 中龄林占50.5%, 正进入速生阶段, 只可进行抚育间伐。613亩经济林, 其中330亩苹果只有42亩结果, 其余多为4~5年生幼树。近800亩柠条薪炭放牧林的采樵和放牧强度偏大。在这种情况下, 1989年该流域林业产值达4.54万元(表7), 占农林牧副总产值9.7%, 取得了相应的经济效益。由于该流域林种比例较适宜, 配置合理, 再过5年即“八五”末期有50%的水保用材林进入成熟林, 特别是大面积苹果开始挂果或进入盛果初期, 经济效益将大幅度上升。