

安塞黄土丘陵区人工草地 水分有效利用研究

李代琼 姜 峻 梁一民 刘国彬 黄 瑾

(中国科学院
水利部水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要 1992~1995年,在安塞黄土丘陵区对种植的优良牧草沙打旺、紫花苜蓿、红豆草、白花草木樨和无芒雀麦进行了地上净初级生产量、蒸腾和土壤水分的测定。试验结果表明:通过建造人工草地,能更好地利用水资源,提高土地生产力,其水分利用效率是天然草地的2.2~7.1倍。为此我们认为,在黄土丘陵区,改变单一种植粮食的生产方式,在大面积坡地进行人工种草或草粮轮作,是提高该地区水分利用效率和土地生产力,形成草—畜—农结合,实现农业可持续发展的主要措施。

关键词 人工草地 净地上初级生产量 蒸腾 土壤水分 水分利用效率

Study on Water Use Efficiency of the Artificial Grassland at Ansai County in the Loess Hilly Region .

Li Daiqiong Jing Jun Liang Yimin Liu Goubin Huang Jin

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract This experiment was carried out at Ansai county in the loess hilly region from 1992 to 1995. Through measuring the net aboveground primary production, transpiration, soil moisture of the fine grasslands of *Astragalus adsurgens*, *Medicago sativa*, *Onobrychis viciaefolia*, *Melilotus albus* and *Bromus inermis*, the results showed that the water use efficiency(WUE) of artificial grasslands is 2.7~7.1 times of natural grassland. These artificial grasslands can use water resource better and improve land productivity. It is suggest that change the ways only for planting crops on the slope land in this region, establish artificial grasslands or crop/legume rotaion. These are main ways of improve WUE and agriculture—animal husbandry production as well as development sustainable in loess hilly region.

Key words artificial grassland net aboveground primary production transpiration soil moisture
water use efficiency

黄土丘陵区坡耕地水土流失严重,土壤干旱、瘠薄,农作物水分利用率和生物产量均低。为了

提高坡耕地土地生产力,我们于1992~1995年,在安塞试验区山地及旱川地进行了优良牧草沙打旺 (*Astragalus adsurgens*)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)、红豆草 (*Onobrychis viciaefolia*)、白花草木樨 (*Melilotus albus*)、无芒雀麦 (*Bromus inermis*) 的产量、蒸腾和土壤水分定位观测研究。现将试验结果报告如下:

1 试验区自然条件

试验地设于中国科学院安塞水土保持综合试验站,梁峁顶坡、陡坡(东坡34℃)和旱川台地。土壤为黄绵土。平均年降水量为531.4mm,其中作物生长季4~10月的降水量占90%左右。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的降水量占84%(为446.4mm),干燥度1.14。属暖温带森林草原区,天然森林已全遭破坏。人工林以刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨 (*Populus simonii*)、柠条 (*Caragana microphylla*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 等为主。荒坡主要为铁杆蒿 (*Artemisia gmelinii*)、芡蒿 (*Artemisia giraldii*)、茵陈蒿 (*Artemisia capillaris*)、长芒草 (*Stipa bungeana*)、白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*) 等组成的处于不同演替阶段的草本植物群落。多数荒坡因过牧成为退化草地。覆盖度0.3~0.5,鲜草产量1200~1800kg/hm²。

2 试验研究方法

1992年开始测定草地及撂荒地净地上初级生产量、土壤水分。1993~1995年4~10月,每月测定一次土壤水分。土钻取土深度根据草地生长年限,取2~4m不等。每20cm为一层,2~3个重复。草地总耗水量采用生长季始、末土壤贮水量之差,加同期降水量所得。草地蒸腾强度的测定于每月测定土壤水分同时进行。由早7时至晚7时,每2h测一次,并测定牧草产量和茎、叶比,换算出叶量,再计算蒸腾耗水量。

3 试验结果及分析

3.1 人工草地的生产力与生态适应性

沙打旺、紫花苜蓿、红豆草、草木樨、无芒雀麦在黄土高原适应性强、分布广。喜湿润、肥沃的土壤,亦较耐干旱、瘠薄、抗寒、较耐盐碱、易繁殖。其栽培适宜区为:暖温带落叶阔叶林带和森林草原地带,年降水量约400~800mm;次适宜区为干旱气候的草原地带,年降水量300~350mm;在半荒漠地带如有灌溉条件,亦能较好生长。除白花草木樨为二年生外,其余为多年生牧草,生长

表1 栽培牧草生长量及产量

牧草名称	生长年限(a)	株高(m)		产量(kg/hm ² ,鲜重)	
		旱川地	山地	旱川地	山地
沙打旺	2~4	1.1~1.4	0.8~1.2	22500~60000	15000~42900
紫花苜蓿	2~4	0.8~1.1	0.8~0.85	16500~42000	5820~6000
红豆草	2~4	0.8~1.0	0.6~0.95	15000~30000	4500~6990
白花草木樨	1~2	1.4~1.7	0.8~1.4	15000~30210	7500~12000
无芒雀麦	2~4	0.8~1.00	0.2~0.5	12000~21000	

年限为5~10a以上。这些牧草是优良的饲料、肥料和燃料,其生态、经济效益高,改土培肥、保持水土效果好,在黄土高原农区、半农半牧区农牧业生产中占有较重要的位置。特别是沙打旺在我国北方退化、沙化草原和黄土高原沟坡地广为种植,成为水土流失严重的贫瘠劣地建立人工草

地、改良天然草地的优良草种。

表1、表2为五种牧草在安塞试验区种植的生长量、产量及物候期。可以看出这些牧草不同程度地适宜在安塞黄土丘陵沟壑区种植。其2~4年生已进入生长盛期,株高为0.5~1.6m,根长2~5m;地上部分旱川地产量(鲜重)为:12 000~60 000kg/hm²,山地:4 500~42 900kg/hm²。

表2 栽培牧草物候期

牧草名称	返青期	分枝期 (分蘖期)	初花期	盛花期	成熟期	枯黄期	生长天数(d)
沙打旺	4月上旬	4月中旬	6月下旬	7月下旬	9月上、中旬	11月下旬	150~160
紫花苜蓿	4月上旬	6月中旬	6月上旬	6月下旬	7月下旬	11月中旬 (二茬草)	120~150
红豆草	4月上旬	4月中旬	5月中旬	5月下旬	7月中、下旬	11月中旬 (二茬草)	110~150
白花草木樨	4月上旬	4月中旬	6月上旬	7月上旬	7月下旬	11月中旬 (二茬草)	120~150
无芒雀草	4月上旬	4月中旬	6月中旬	6月下旬	7月下旬	11月中旬 (二茬草)	120~150

3.2 人工草地的蒸腾及耗水特性

植物从环境里摄取的各种物质中,数量最多的是水分,约有5%左右的水用于维持原生质的功能和进行光合作用,而大部分以水蒸汽形式从气孔蒸腾掉。

蒸腾作用是植物水分生理的重要特性之一,也是植物需水的重要指标。蒸腾耗水量是植物消耗水分的多少,它是水分平衡中水分输出的重要方面,是蒸腾强度、叶量和蒸腾时间的函数。其计算公式为:

$$E_w = E \times W \times T \times 10^3$$

式中: E_w —— 月蒸腾耗水量(mm);
 E —— 蒸腾强度(g/g·h); W —— 叶量(g/m²); T —— 蒸腾时间(h),扣除降雨时间。

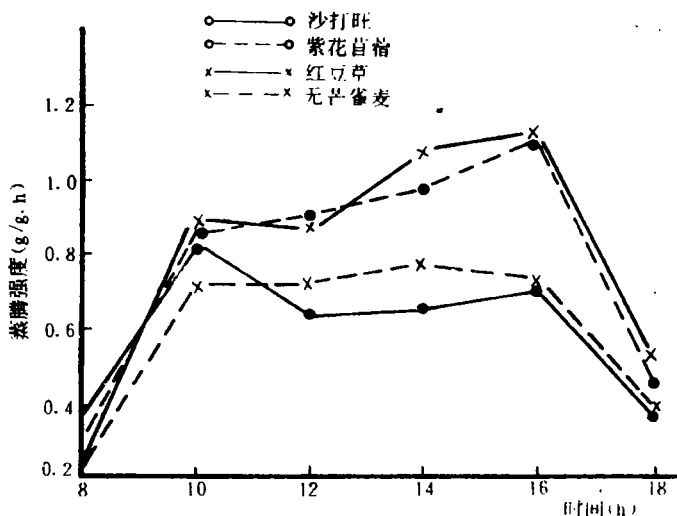


图1 沙打旺、紫花苜蓿、红豆草、无芒雀麦蒸腾强度的日变化

根据1994年对沙打旺、紫花苜蓿、红豆草和无芒雀麦蒸腾强度测定,四种牧草年平均蒸腾强度分别为:0.587,0.757,0.813,0.580g/(g·h)。图1、图2示沙打旺、紫花苜蓿、红豆草、无芒雀麦蒸腾强度日变化和季节变化。可以看出日蒸腾强度峰值一般在12~18时,4种牧草分别为0.638~0.710,0.852~1.098,0.873~1.106,0.693~0.726g/(g·h)。月蒸腾强度峰值一般在6~7月,其值分别为:0.488~0.559,0.724~1.127,0.744~1.140,0.694~0.898g/(g·h)。以上牧草蒸腾强度日变化和月变化一般呈单峰或双峰曲线,蒸腾较平稳,属中生或旱中生植物蒸腾的特点。表3为人工草地蒸腾耗水量的月动态变化。在6~7月,植株由于生长繁茂,叶量达高峰,加之蒸腾强度较大,故蒸腾耗水量亦高。可以看出,山地、旱川地沙打旺、旱川地

红豆草、无芒雀麦年蒸腾耗水量分别为:387.8,416.5,315,427.5mm,为同期降水量(443.7mm)的87.4%,93.9%,71%,96.3%。旱川地紫花苜蓿年蒸腾耗水量为:481.4mm,为同期降水量的108%,其蒸腾耗水量已超过同期降水量,而荒山草地年蒸腾耗水量为60mm,仅为同期降水量的13.5%。荒山草地有效利用降水的能力明显比人工草地低。2~4年生人工草地,由于进入生长高峰期,植株生长繁茂,覆盖度大,因而土壤蒸发和径流量均较少,蒸腾耗水量为其主要水分消耗。人工草地除有效利用降水资源,还利用发达根系,吸收土壤贮水以供所需。

3.3 人工草地的水分利用效率

人工草地水分利用效率(WUE)为单位面积的牧草,消耗单位水量生产出干物质的量。其计算公式为:

$$WUE = \frac{NAPP}{WC}$$

式中:WUE——水分利用效率 kg/(hm².mm)、t/(hm².mm)或 g/(m².mm);NAPP——净地上初级生产量 kg/hm²、t/hm²、g/m²;W_c——总耗水量(mm)。

由表4看出山地、旱川地不同类型人工草地、天然草地、山地撂荒地和农地净地上初级生产量、总耗水量(蒸腾耗水量、土壤蒸发量和径流量的总和)、降水量和土壤水分的关系。可以看出,其水分利用效率与蒸腾耗水量关系密切。蒸腾耗水为牧草干物质生产过程中所必须的耗水,我们称为有效耗水,而地表径流、土壤蒸发是水分的无效消耗。因而把蒸腾耗水量与总耗水量之比,作为水分有效利用系数。沙打旺与荒山对比可以看出,山地陡坡(东坡)三年生沙打旺草地、山顶沙打旺地水分利用系数为0.80,0.65,是陡坡撂荒地水分有效利用系数(0.12)的6.7倍和5.4倍。由于沙打旺等牧草有较好的群落结构,能很快形成茂密的草被层和发达的根系层,把大量降水和

表3 人工草地月蒸腾耗水量(mm)

月份	山地 陡坡 沙打旺	梁顶 沙打旺	旱川地 沙打旺	旱川地 红豆草	旱川地 紫花 苜蓿	旱川地 无芒 雀麦	荒山 草地	月降 水量
4	3.2	3.4	3.5	9.8	10.6	8.0	4	90.2
5	17.2	15.0	16.8	50.6	47.2	12.9	9	6.2
6	20.0	19.8	21.2	70.1	109.3	114.0	15	59.4
7	148.8	140.3	158.2	165.9	255.5	178.4	21	72.9
8	118.1	120.5	125.6	10.8	24.5	63.3	9	137.1
9	85.7	83.5	91.2	7.8	34.3	50.9	2	78.5
合计	393.0	382.5	416.5	315.0	481.4	427.5	60	444.3

注:①以上牧草均为3年生牧草。荒山草地为封禁三年的天然草地;②测定时间为1994年。

土壤贮水变为有效水用于干物质生产中,同时减少径流和土壤蒸发等水分损耗,而荒山植被,由

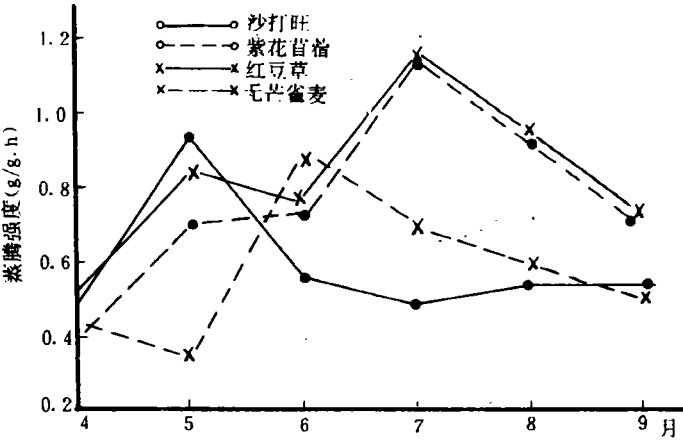


图2 沙打旺、紫花苜蓿、红豆草、无芒雀麦蒸腾强度的月变化

于草群结构差,覆盖度低,无效水消耗大,干物质产量亦低。

表4 人工草地水分利用效率

草种	干物质 产量 (kg/hm ²)	土壤贮水量 (mm)		总耗 水量 (mm)	蒸腾 耗水量 (mm)[kg/(hm ² ·mm)]	水分利 用效率	耗水 系数	蒸腾 系数	水分有 效利 用系数	土层 深度 (m)
		初期	终期							
山地陡坡三年生沙打旺	14070	229.2	249.7	493	393	28.5	352	281	0.80	3
山顶三年生沙打旺	9240	326.5	353.2	586.8	382.5	15.7	635	414	0.65	3
山顶二年生苜蓿	4376	124.1	180.8	336.4	240.0	13.0	768	548	0.71	2
山地陡坡二年生草木樨	7350	155.1	180.8	367.4		22.0	500			2
山地白羊草天然草地	1947	263.2	280	376.3		5.2	1981			2
山地陡坡撂荒地	1995	234.8	245.3	503	60	4.0	2515	300	0.12	2
川地三年生沙打旺	20400	188.7	188.3	513.9	416.5	39.7	252	204	0.81	3
川地三年生苜蓿	16500	293.5	232.8	574.2	481.4	28.7	348	292	0.84	3
川地三年生无芒雀麦	7143	204.8	157.5	560.8	427.5	12.7	790	602	0.75	2
川地三年生红豆草	10005	211.8	202.5	522.8	315	19.1	513	309	0.61	2
川地二年生草木樨	16110	106.1	273.1	346.5		46.5	215			2
对照农地	20205	304.8	326.2	492.1		41.1	244			2

注:①二年生牧草系1993年测定,同年4~10月降雨量为393.1mm。②三年生牧草系1994年测定,同年4~10月降雨量为513.5mm。③对照农地玉米籽粒hm²产为9900kg(干物质),谷子籽粒hm²产为600~900kg。

从表4所示人工草地水分利用效率看出,山地陡坡沙打旺草地、梁峁顶沙打旺草地、紫花苜蓿地、陡坡草木樨地和山地白羊草天然草地,其生物产量分别为14070,9240,4376,7350,1947kg/hm²,是封禁三年山地陡坡撂荒地产量(1995kg/hm²)的7.1,4.6,2.2,3.7倍和98%,水分利用效率分别为:28.5,15.7,13.0,22.0,5.2kg/(hm²·mm),是山地陡坡撂荒地水分利用效率[4.0kg/(hm²·mm)]的7.1,3.9,3.3,5.5,1.3倍。水分利用效率以沙打旺最高,草木樨次之。因在山地栽植的紫花苜蓿、无芒雀麦适应性较沙打旺、草木樨差,其生长量和产量较低,因而水分利用效率亦较低。今后可进一步引进适宜在山地栽植的苜蓿和无芒雀麦优良品种,提高水分生产力。白羊草天然草地水分利用效率略高于陡坡撂荒草地,但又比人工草地低。对农作物的蒸腾强度和蒸腾耗水量我们没有进行测定。据任玉岐1986年有关杏子河流域谷子耗水的资料,谷子蒸腾系数为275。该地区坡耕地谷子hm²产平均600~750kg(全部地上部分干物质为1500~1875kg),按上述蒸腾系数计算,每hm²蒸腾耗水约385.5~480t,折38.5~48.0mm,占生育期总耗水量的10.6%~13.2%。谷子比玉米、小麦蒸腾系数低,用水经济,是比较耐旱的作物但其水分有效利用率仍比豆科牧草低。所以在黄土丘陵区陡坡劣地种植豆科牧草,或实行草粮轮作,可提高水分有效利用率,获得较高的初级生产量。通过在安塞试验区沙打旺、紫花苜蓿草地后茬地种谷子、糜子

等作物,其产量较对照农地有较明显的提高。

由表4看出,旱川地农地,因水、肥条件相对较好,投入较高,产量和水分利用效率较川地人工草地高,而川地牧草水分生产力又明显比山地的好。几年来通过在安塞试验区人工草地采取好的栽培技术和经营管理措施,包括:中耕锄草、施肥以及豆科、禾本科牧草轮作或混播(沙打旺、苜蓿、红豆草与无芒雀麦混播)灌草带状间播(柠条与沙打旺,苜蓿、草木樨以及无芒雀麦等),以及荒山天然草地补播豆科牧草沙打旺等,人工草地水分利用效率有明显提高。

3.4 人工草地土壤水分动态

土壤水分是牧草蒸腾耗水的直接来源。牧草不断地通过根系吸收水满足蒸腾耗水。由于人

表5 人工草地土壤水分利用

1994. 10

牧草 名称	土层深度 (cm)	土壤含水量(%)		
		变化幅度	平均值	占田间持水量百分数
山地	0~40	7.01~12.05	9.35	51.80
三年生	40~200	4.16~6.90	5.00	27.17
沙打旺	240~320	7.47~9.68	8.85	48.10
	320~400	12.63~13.49	12.79	69.50
旱川地三年	0~40	9.94~13.79	11.87	64.50
生沙打旺	40~400	3.30~7.10	4.50	24.46
旱川地三年生	0~40	12.88~16.70	14.53	78.97
紫花苜蓿	40~400	4.02~7.19	4.79	26.03
旱川地三年生	0~40	11.74~16.11	13.43	72.99
红豆草	40~300	4.09~4.67	4.22	22.93
旱川地三年生	0~20	15.30	15.30	83.15
白花草木樨	20~200	9.50~13.20	10.46	56.85
旱川地三年生	0~40	12.31~14.11	13.21	71.79
无芒雀麦	40~200	4.28~5.93	5.01	27.28

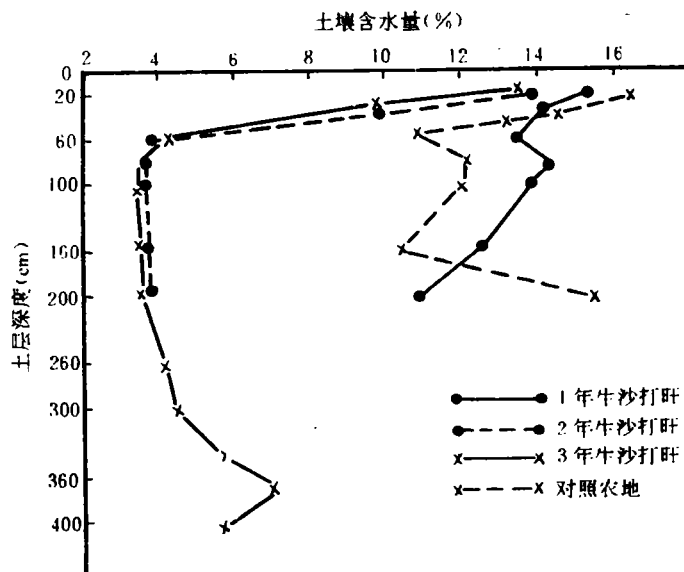


图3 川地不同生长年限沙打旺草地土壤水分利用深度

工草地,特别是豆科牧草在黄土丘陵区生长旺盛,耗水量大。其根系所达土层的水分能被充分吸收利用。因此,随着生长年限的增加,根系不断下伸,利用更深层的土壤水分。图3为旱川地沙打旺土壤水分利用动态。可以看出,1年生沙打旺,由于生物量较低,水分消耗量较少,土壤水分与对照农田差异不大。2年生和3年生沙打旺草地,由于生长茂密、产量高,利用的土壤水分明显已达2~4m以下。

图4示山地陡坡1~3年生沙打旺草地与对照撂荒地土壤水分动态。可以看出3年生沙打旺用水深度已达2.6m。它较川地沙打旺用水稍浅,这是因为其生物生产量较川地低。显然,人工草地利用

土壤贮水的深度与其生物生产量高低有关。生产量愈高,耗水量愈大,利用土壤贮水愈深。图3、图

4亦表明,在黄土丘陵区,农田和荒地(天然草地)土壤水分未被充分利用,其生产力尚有提高的潜力。

由于不同牧草根系特性和生长发育特性不同,对土壤水分的利用与补偿也不同,于是造成不同草地土壤水分的差异。图5为1994年10月测定旱川地3年生紫花苜蓿、白花草木樨、红豆草土壤水分垂直分布。由图可知,紫花苜蓿、红豆草用水深度已达3~4m以下;2年生白花草木樨达2m。

图5还表明,雨季后的人工草地,土壤水分补偿深度不同。紫花苜蓿、红豆草、白花草木樨,在7月下旬种子成熟,地上部分开始枯萎,蒸腾耗水减弱。虽有少量二茬草生长,但产量低,蒸腾耗水少(表3)。地上枯的草层覆盖地表,有效地防止和减少了土壤水分蒸发。可以看出,草木樨土壤水分恢复得快。表5表明,2年生草木樨在雨季后,0~20cm土层平均含水量15.30%,20~200cm为10.46%,分别占田间持水量的83.15%,56.85%。土壤水分的补偿情况明显比其它牧草好。

草木樨土壤有效水贮量较大,提高生产力的潜力亦较大。从试验区试验看出,草木樨作为草粮轮作的草种,对后茬

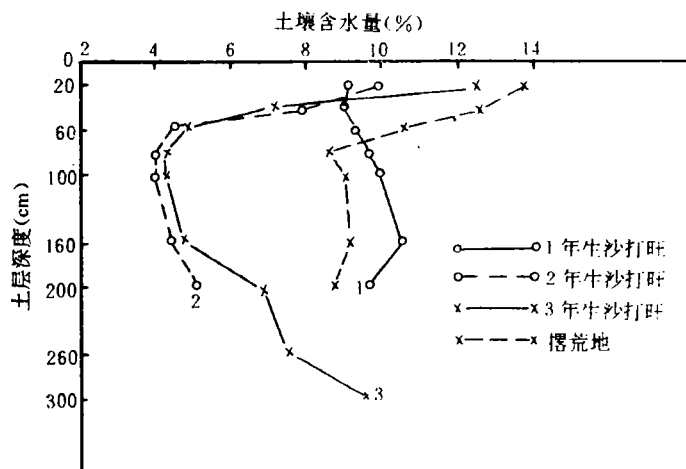


图4 山地陡坡不同生长年限沙打旺草地土壤水分利用深度

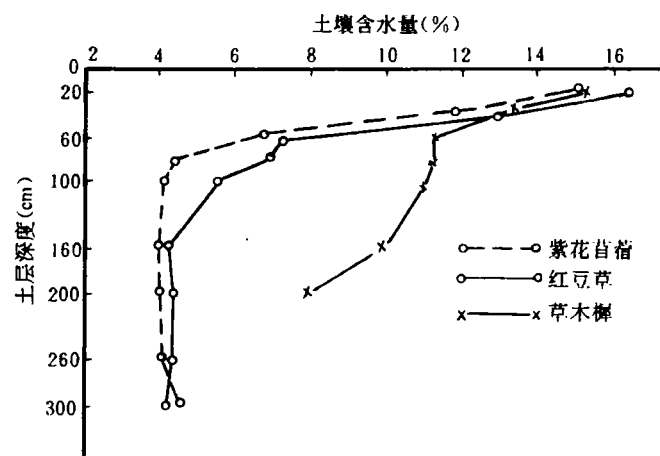


图5 旱川地 3年生紫花苜蓿、红豆草、白花草木樨土壤水分利用深度

作物可提供较好的水、肥条件,增产效益明显。据甘肃省调查材料,利用白花草木樨茬口,第一年种马铃薯、谷子、糜子可增产300%以上,莜麦、糜子、扁豆次之,玉米较差,第2年种荞麦产量最高,可增产144%,玉米次之;第三年各种作物的增产比例差异不大,可增产91%。一般种过白花木樨的耕地,可以连种三年好庄稼。

沙打旺生长期长,沙打旺生长8~9月仍生长旺盛,还处于开花、结实期,直至霜后才停止生长,所以此时段蒸腾耗水量仍较强烈。旱川地和山地3年生沙打旺,8月蒸腾耗水分别为125.6, 91.2mm;9月为118.1, 85.7mm。表5示山地3年生沙打旺在生长期末,0~40cm

土壤含水量平均值为9.53%,占田间持水量51.80%,40~240cm根系吸水层土壤含水量平均值减少为5%,为田间持水量的27.17%。图6示沙打旺土壤贮水动态。可以看出1994年,年生长季始

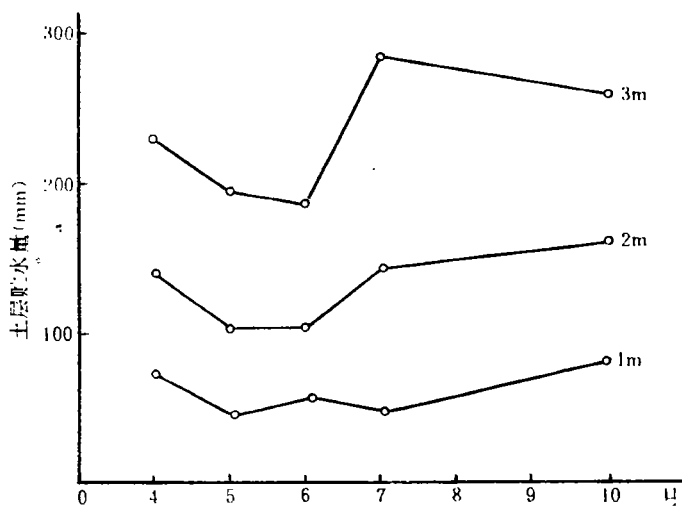


图6 山地陡坡三年生沙打旺3m 土层贮水动态

均含水量为13.11%,占田间持水量的71.3%,40~200cm土壤含水量为48.9%。川地对照农地,0~40cm土壤含水量为15.4%,占田间持水量的83.70%,40~200cm土壤含水量为12.72%,占田间持水量的69.1%。人工草地可利用发达的根系,吸收深层贮水,以供所需。随着牧草生长年限增加,土壤物理性质和肥力状况得到改善,并提高了土壤渗透性和持水力,土壤水分能得到较好补偿和恢复。测定五种牧草土壤水分恢复深度可达0.4~1.0m。草木樨可达2m。从吴旗飞播沙打旺草地试验看出,随着沙打旺衰败,土壤水分逐渐得以恢复。生长9年衰败的沙打旺草地60cm内水分补偿超过荒山植被。5龄沙打旺草地翻耕种糜子、谷子、产量为对照坡耕地2倍多。沙打旺衰败后,天然草类能很快恢复,比同期封禁的天然草地生长还好。因此,在安塞黄土丘陵区因种草形成的低湿层,随着上层土壤水分的恢复,一般不会影响农、牧业生产。和人工草地相比,荒山草地土壤没有明显的低湿层,其有效水分利用率低,产量低。因而在黄土丘陵区荒坡种植牧草或实行草粮轮作,这是充分利用水、土资源,改造荒山,促进草—畜—农持续发展的有效措施。

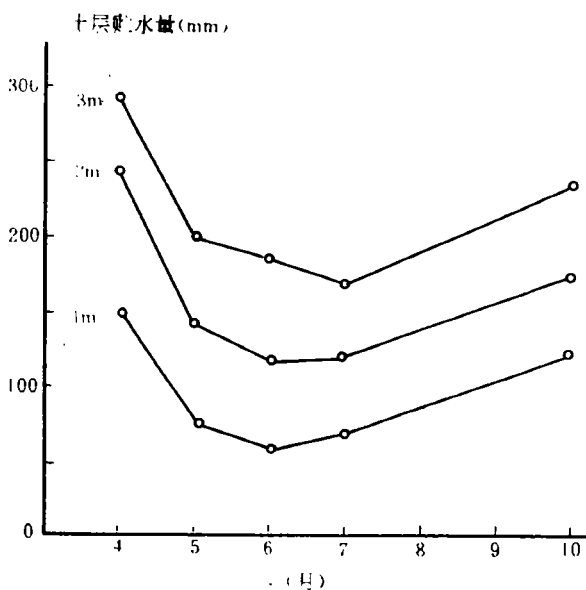


图7 旱川地紫花苜蓿3m 土层贮水动态

末3m 土层贮水量基本平衡。其贮水量低谷为雨季来临前的6月26日,由于沙打旺蒸腾耗水量大,此时降水量低于耗水量,土壤贮水量为182.8mm。10月26日测定3m 土层贮水量达峰值,为254.1mm,比6月土壤贮水增加71.3mm。表5示旱川地3年生紫花苜蓿0~40cm 土壤平均含水量为14.53%,为田间持水量的78.9%,40~400cm平均土壤含水量为4.8%,占田间持水量26.0%。图7为紫花苜蓿土壤贮水动态。6月3m 土层贮水量达187.3mm,为最低值,10月贮水量达峰值,为232.8mm,比6月增加45.5mm。紫花苜蓿生长季末的土层贮水量亦基本平衡。和人工草地相比,荒山草地和农地没有明显的吸水层。封禁3年的撂荒地,0~40cm 土壤平

4 结论与讨论

在安塞黄土丘陵区通过建造人工草地,其水分利用效率比荒山草地或农地有较大提高。为此我们认为在黄土丘陵区,改变单一种植粮食的方式,进行人工种草或草粮轮作,这是提高该地区土地生产力的有效措施。

(1)山地、旱川地沙打旺、旱川地红豆草、无芒雀麦年蒸腾耗水量分别为:387.8,416.5,315,427.5mm荒山草地为60mm。荒山草地有效利用降水的能力明显比人工草地低。

(2)山地沙打旺、紫花苜蓿、白花草木樨和白羊草天然草地,其净地上生产量分别为:11 655,4 376,7 350,1 947kg/hm²,是封禁3年撂荒草地净生产量的5.9,2.2,3.7倍和98%,水分利用效率分别为:22.1,13.0,22.0,5.2kg/(hm²·mm),是撂荒草地的5.5,3.3,5.5,1.3倍。水分利用效率以沙打旺最高,草木樨次之,苜蓿因在山地栽植产量较低,因而水分利用效率亦较低,在旱川地水分利用效率较高,可作为旱川地草粮轮作好草种。白羊草天然草地水分利用效率略高于陡坡撂荒草地,但比人工草地低。

(3)三年生沙打旺、紫花苜蓿、红豆草和无芒雀麦,其强烈的吸水层主要在40~300cm土层中,平均土壤含水量分别为5.0%,4.8%,4.2%,5.0%。可以看出,根系吸水层土壤水分已达凋萎湿度,从而形成了土壤低湿层。然而上层土壤水分每年因降水不同,可得到不同程度的恢复。1994年比多年平均降水量略高(558.5mm),5种牧草恢复深度为0.4~1.0m。草木樨土壤有效水贮量较大。二年生草木樨20~200cm土壤含水量为10.5%,占田间持水量的56.8%。可以看出,草木樨是草粮轮作的好草种。荒山草地水分利用效率较低,提高水分生产力潜力较大。因此在该地区实行草粮轮作,或豆科与禾本科牧草混播,灌草带状间播,这些是提高水分利用效率及土地生产力的有效措施。

今后可进一步研究黄土丘陵区人工草地水分平衡与水分生产力,使优良牧草在黄土丘陵区大面积栽植,并进行开发、利用。这是综合治理黄土高原,发展经济的有效途径之一。

参考文献

- 1 Y·M·Liang,D·L·HaZLett,and W·K·Lauenroth.Biomass Dynamics and Water Use Efficiencies of five plant communities in the shortgrass steppe. *oecologia*?1989,80:148~153
- 2 李代琼. 飞播沙打旺草地群落生态的研究. 中国科学院西北水土保持研究所集刊,1986,(3)
- 3 中国饲用植物志编委会. 中国饲用植物志第一卷. 白花草木樨,农业出版社,1987