

减少地面蒸发,充分利用降水资源

——黄土高原旱坡地生态农业的思考

张信宝* 安芷生

(中国科学院西安黄土与第四纪国家重点实验室·西安市 710061)

摘要 黄土高原旱坡地的降水分配大致如下:地表流量 < 5% ~ 10%;地面蒸发量 45% ~ 50%左右;植物蒸腾量,45% ~ 50%。旱坡地的水土保持不应仅考虑地表径流的入渗拦蓄,更应重视减少地面蒸发。“地面覆盖+生物篱”旱坡地生态农业系统可以有效减少地面蒸发,控制水土流失,大幅度提高作物产量,投入少、见效快,适宜大面积推广。

关键词: 黄土高原 旱坡地 地面蒸发 降水资源 生态农业

Reducing the Groud Evaporation and Using the Precipitation Resource Fully

— A Reflection on Eco-agriculture of Dry Slopeland in Loess Plateau Region

Zhang Xinbao An Zhisheng

(The State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Chinese Academy of Sciences, 710061, Xi'an)

Abstract The precipitation on dry slopeland of loess plateau region is approximately distributed as follows: the ground runoff makes up less than 5% ~ 10%, the ground evaporation accounts for about 45% ~ 50%; and the plant transpiration amounts to 45% ~ 50%. So the work of soil and water conservation on dry slopeland should not only consider the infiltration and retaining of ground runoff, the reducing of evaporation from the earth's surface should be more valued. The eco-agriculture system on dry slopeland of “ground covering+ biobarrier” could reduce the ground evaporation effectively, and control soil erosion and raise the crop yield by a big margin. It calls for small investments and yield quick returns, and it is suitable for large-scale spreading.

Keywords loess plateau region; dry slopeland; ground evaporation; precipitation resource; eco-agriculture

1 问题的提出

黄土高原地区地跨陕甘晋青豫蒙宁七省区,国土 62.95 万 km²,其中耕地面积 1896.84 万 hm²,垦殖指数 27.1%。耕地中以沟川地为主的水浇地面积 369.2 万 hm²,占耕地面积的 21.8%。旱耕地面积 132.8 万 hm²,占 78.2%。旱耕地主要分布于塬面、梁峁坡和部分谷坡,其

中坡度大于 3° 的旱坡地面积 790.3 万 hm^2 , 占旱耕地面积的 59.8%。晋、陕、甘、宁、蒙 5 省区, 有坡耕地 678.6 万 hm^2 , 占耕地面积的 43.3%; 其中 $3^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 的坡耕地面积 150.7 万 hm^2 , 占耕地总面积的 22.2%; $7^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 坡耕地 2406.9 hm^2 , 占 35.5%; $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 坡耕地 211.7 万 hm^2 , 占 31.2%; $> 25^{\circ}$ 坡耕地 75.54 万 hm^2 , 占 11.1%。在黄土高原主体部分的晋、陕、甘, 坡耕地面积 591.2 万 hm^2 , 占该区耕地面积的 45.6%, 其中 $> 7^{\circ}$ 的占坡耕地面积的 80.7%; $> 15^{\circ}$ 的占 45.9%; $> 25^{\circ}$ 的占 12.6%。1985 年, 全区粮食总产 2 307.1 万 t, 平均粮食每 hm^2 产量 2 280 kg, 其中水浇地粮食产量占总产的 42%, 旱耕地占 58%, 水浇地粮食单产平均为旱耕地的 3 倍左右^[1]。

建国以来, 黄土高原水土保持工作取得了巨大的成绩, 基本思路是朱显谟院士总结出的 28 字方针“全部降水就地入渗拦蓄, 米粮下川上塬, 林果下沟上岔, 草灌上坡下洼”^[2]。以淤地坝为主的沟谷治理成效尤为显著, 拦蓄了巨量泥沙, 建成了大片高产稳产坝地, 为减少入黄泥沙和促进当地的农业发展做出了巨大的贡献。但旱坡地的治理未能取得沟谷治理那样令人瞩目的成绩, 就旱坡地治理而言, 存在以下两个主要问题:

(1) 林草的土地产出率低, 产出价值只有农业的 $1/3 \sim 1/2$, 旱坡地退耕还林还草, 经济上不合算, 群众不愿意接受。人工林草往往过度利用黄土深层土壤水, 出现“小老头”树和沙打旺、红豆草等人工牧草种植数年后死亡的问题, 也影响了群众退耕还林还草的积极性^[3]。旱坡地虽然单产低, 但面积大, 粮食产量占黄土高原地区粮食总产的 18%, 大面积退耕还林还草, 影响到粮食问题。

(2) 坡改梯是目前最有效的旱坡地水土保持措施。截止 1985 年, 全区已建成水平梯田 169.8 万 hm^2 , 为旱坡地面积的 21.5%。其中, 1979~1985 年期间建成水平梯田 13.1 万 hm^2 , 平均每年 2.2 万 hm^2 ^[2]。全区旱坡地面积 790.3 万 hm^2 , 显然不能主要依靠坡改梯解决旱坡地问题。陡坡梯田还存在立体蒸发、梯田“息边”的问题。

黄土高原旱坡地的出路何在? 有无新的思路可寻? 笔者通过黄土环境的研究, 发现黄土坡旱地的地面蒸发量远大于地表径流量, 现有的旱坡地水土保持的指导思想和采取的主要措施, 均重视了拦蓄地表径流, 忽略了减少地面蒸发。本文对黄土旱坡地的水分平衡进行了分析, 在剖析国内外相关技术、措施的基础上, 根据黄土高原旱坡地的实际情况, 提出了既减少地面蒸发, 又防止水土流失的“地面覆盖+生物篱”的生态农业系统的设想。

2 地面蒸发、植物蒸腾、地表径流

陆地水分平衡可简单表达为:

$$P = E_s + E_c + R + D \quad (1)$$

式中: P ——降水量; E_s ——地面蒸发量; E_c ——植物蒸腾量; R ——地表径流量; D ——深层渗漏量, 单位均为 mm

对比典型黄土丘陵区的大理河和以沙区为主的秃尾河的降水、径流资料(表 1)^[4], 可见大理河的年降水量(459.50 mm)多于秃尾河(407.36 mm), 但年径流深(39.24 mm)远低于秃尾河(114.74 mm), 两河测站均为基岩河床, 深层渗漏量(D)可忽略不计。显然大理河的地面蒸发量和植物蒸腾量之和($E_s + E_c$)大于秃尾河。假定两流域的植物蒸腾量相等, 大理河流域的地面蒸发比秃尾河多 127.64 mm, 这和黄土地面蒸发较沙土地面蒸发强烈的实际情况相符。秃尾河流域黄土区面积约占流域总面积的 $1/3$, 估计秃尾河的地面蒸发量约为大理河的 $1/2$, 据此推算

大理河地面蒸发量大约为 200mm 以上的粗略分析表明, 以大理河为代表的黄土丘陵区的降水分配大致如下: 地表径流量小于 10%; 地面蒸发量 40% ~ 45%; 植物蒸腾量 45% ~ 50%。

表 1 大理河、秃尾河年降水量、年径流深 (1950~ 1984 年)

河 名	站 名	流域面积 (km ²)	年降水量 (mm)	年径流深 (mm)	流域特征
秃尾河	高家川	3253	407.36	114.74	2/3为沙区 1/3为黄土丘陵区
大理河	绥德	3893	459.50	39.24	黄土丘陵区

据黄土高原各水土保持站资料, 旱坡地径流流失量 (R) 一般为 10~30mm 径流系数一般小于 0.05, 和地面坡度呈正相关 (表 2)^[4]。

表 2 黄土高原旱坡地径流深、土壤流失量与地面坡度关系

土地类型	年均降雨量 (mm)	地面坡度 (°)	径流深 (mm)	径流系数	土壤流失量 t/(km ² ·a)
丘陵沟壑区	500	1~ 5	10.2	0.020	375
		5~ 20	12.4	0.025	2820
		20~ 30	20.8	0.042	14700
残塬沟壑区	550	2	12.6	0.023	1245
		7	21.9	0.040	1980
		16	26.5	0.052	3405

黄土高原旱坡地基本上是一年种一季作物, 一年中大部分时间处于裸露和半裸露状态。据李开元、李玉山研究, 黄土高原旱地农田非生长期的蒸发量, 约占降水量的 20% ~ 30%, 生长期的地面蒸发和作物蒸腾耗水约占总降水量的 70% ~ 80%。黄土高原裸露农田的地面蒸发强度雨季为 1.87~ 2.52mm/d, 北部地区高于南部地区; 旱季为 0.62~ 1.58mm(3~ 5d), 0.94~ 1.24mm(10~ 11d), 南部地区高于北部、中部地区 (表 3)^[5]。

表 3 裸露农田土壤蒸发强度

项 目		北部地区 (河曲)	中部地区 (米脂)	南部地区 (长武)
年降水量 (mm)	多年平均	447.5	422.0	584.1
	试验年份	483.7	482.7	713.6
地面蒸发强度 (mm/d)	雨季	6~ 9月	2.52	2.45
		3~ 5月	0.97	0.62
	旱季	10~ 11月	1.07	0.94

赵聚宝等 1987~ 1989 年, 在山西屯留、甘肃、榆中、内蒙武川、陕西合阳等地对生长期旱作农田耗水中地面蒸发和作物蒸腾所占的比例进行了测算。认为在半湿润偏旱地区, 冬小麦、春玉米、春谷子生长期的土壤蒸发量占总耗水量的 44% ~ 48% (表 4), 在干旱和半干旱偏旱地区, 由于作物生长状况较差, 地面蒸发所占的比例还要大得多^[5]。据山西屯留研究结果, 春播作物耗水量 85% ~ 90% 来源于生长期的降水; 冬小麦耗水量的 66% ~ 74% 来源于生长期的降水。

表 4 山西屯留主要作物全生长期地面蒸发量和作物蒸腾量 (1987~1989年)

项 目	冬小麦		春玉米		春谷子	
	1987~1988年	1988~1989年	1988年	1989年	1987年	1989年
耗水量 (mm)	268.2	332.1	390.7	427.1	384.5	374.7
地面蒸发量 (mm)	125.2	149.0	172.1	190.3	176.1	180.9
占耗水比例 (%)	45.7	44.9	44.0	44.5	45.3	48.3
作物蒸腾量 (mm)	143.0	183.1	218.7	236.8	208.4	193.8
占耗水比例 (%)	53.3	55.1	55.0	55.4	54.2	51.7

表 5 生产每克干物质植物蒸腾消耗水分的克数

g

植物种类	C ₄ 植物					C ₃ 植物					
	玉米	高粱	粟	苋	马齿苋	水云	小麦	苜蓿	绿三叶	马铃薯	红三叶
a	370		300	300	280	680	540	840	640	640	
b	350	250					500			640	450

注: a. 据文献 6 b. 据文献 7

根据以上旱坡地径流小区地表径流量,非生长期地面蒸发量,生长期地面蒸发量和作物蒸腾量的研究结果,结合流域水文资料分析,旱坡地的降水分配大致如下(深层渗漏极微,忽略不计):地表径流 < 5%~10%;地面蒸发 45%~50%;作物蒸腾 45%~50%。

3 旱坡地生态农业系统的思考

黄土质地疏松,易于耕作,是良好的农业土壤,黄土高原地处暖温带、中温带,光热条件好,作物生长期水热同步,非常适合农作物生长。欧州的黄土区均为发达的农业区,北美也是如此。和中国黄土高原相比,欧州、北美黄土区的农业生产水平较高,既得益于相对较平坦的地形和大部分黄土区气候较为湿润,也和科学合理的耕作方式有关。欧州、北美耕层深度一般在 30cm 左右,50年代以来犁普遍实行的留茬种植和地面覆盖等技术,都有利于减少地面蒸发,提高降水的作物蒸腾利用率。黄土高原犁耕层厚度小于 30cm,塬区平坦塬面农业田、沟川地和水平梯田为 20~25cm,丘陵区梁峁坡地仅 12~15cm,农田留茬,地面覆盖等减少地面蒸发的农业技术没有得到普遍的使用。地面蒸发量大是黄土高原旱坡地作物产量低的重要原因。

种植优良的牧草,发展畜牧业,一直被认为是黄土丘陵区旱坡地改造利用的重要方向。黄土丘陵区降水资源有限,从水分生产率的角度出发,此观点似不可取。不同作物的蒸腾耗水率(生产每克干物质作物蒸腾消耗的水分)见表 5^[7]。由表可见,高粱、玉米等 C₄ 植物的蒸腾耗水率最低,分别为 250g 和 350~370g;苜蓿、绿三叶、红三叶等牧草均为 C₃ 植物,蒸腾耗水率高于 C₄ 植物,分别为 840g, 640g 和 450g,和小麦、水稻、马铃薯等 C₃ 粮食作物相近。黄土高原地区旱坡地面积大,在粮食生产中占有重要地位。旱坡地面积比例大的黄土丘陵区,粮食并不丰裕,一些地区群众生活还相当困难,旱坡地改种蒸腾耗水率高的牧草不但降低了土地产出率,而且会加重粮食紧张局面,也很难改善群众生活贫困的局面。

从土壤、气候、人口等自然、社经条件分析,农业仍应是黄土高原地区旱坡地的土地利用主要方式,只要采取有效措施,减少地面蒸发耗水,旱坡地大幅度增产完全是可能的。下面简要分析现有的一些减少地面蒸发的措施。深耕蓄水保墒,耕作层厚度增大,有利于土壤水分的深部

蓄积,减少地面蒸发耗水量。犁耕层厚度大显然是欧洲、北美黄土区作物产量高的一个重要原因。黄土高原坡改梯增产效益明显,旱坡地一般每 hm^2 产量 375~750kg,旱作水平梯田 1500~2250kg^[8]。以前一直将此效益主要归之于梯田拦蓄径流,改善了土壤水分条件。但坡地径流深 10~30mm,即使全部拦蓄,以 15kg/m.m. hm^2 的增产效益计^[9],每 hm^2 只能增产 150~

450kg。笔者认为,水平梯田增产的主要原因不是拦蓄就地径流,而是修建梯田疏松了深部土层,水平梯田耕作较精细,犁耕层厚度可达 20~25cm,远大于旱坡地的 12~15cm,起到了深耕蓄水保墒,减少地面蒸发的作用,或梯田拦蓄客地径流的缘故。水平丰产沟种植法起到了深耕蓄水保墒的作用,可能是增产的主要原因。浅耕、锄地等传统的旱地保墒技术,切断上下土层的毛细管联系,也有效地起到了减少地面蒸发的作用。地面覆盖减少地面蒸发,提高地温,减轻水土流失,增产效益显著,如我国西北地区传统的砂田和国内外普遍采用的地膜、作物秸秆覆盖等技术。据陈意平报道,晋中地面地膜覆盖农田,平均每 hm^2 每天减少耗水约 10.65 m^3 ,生育期缩短为 120d,比露地玉米提早成熟 14d,每 hm^2 增产 2 505kg。梅旭荣、陶毓汾等详细报道了陕西永寿和山西屯留等地开展的旱地作物秸秆地面覆盖试验研究,山西屯留的试验结果见表 6。由表可见,秸秆覆盖的麦地增产 799.5~1126.5kg/ hm^2 ,玉米地增产 2 008.5~2 920.5kg/ hm^2 。美国 Pimentel D. 报道了不同地面覆盖方式的玉米增产效果:玉米留茬 340.5kg/ hm^2 ;麦秸覆盖 3 400.5kg/ hm^2 ;厩肥覆盖 1 099.5kg/ hm^2 。

黄土高原旱坡地地面蒸发强烈,地面蒸发水量占降水量的 45%~50% 左右,水土流失严重,大于 5°的旱坡地土壤流失量 1 980~14 700t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$);作物产量低,一般为 300~750kg/ hm^2 。黄土高原地区旱坡地面积 790.28万 hm^2 ,目前比较成熟的坡改梯等水土保持措施用工多、投资大,也不适合 >20°的陡坡地,用以基本解决黄土旱坡地问题是不现实的。如前所述,黄土是良好的农业土壤,黄土高原的气候适合粮食作物的生产,粮食又是国家的急需物资,因此农业仍应是旱坡地开发利用的主要方向。我们认为,寻求新的旱坡地农业系统是当务之急。

在分析黄土高原和国内外有关旱作农业和水保技术、措施的基础上^[4,7,8,10,11,12],我们现提出将“地面覆盖”和“生物篱”技术进行组装的“地面覆盖十生物篱”的黄土高原旱坡地生态农业系统的设想(图 1)。地面覆盖材料为作物秸秆或地膜,生物篱材料为紫穗槐、柠条等适生灌木。旱坡地地面覆盖后,地面蒸发减少,土壤水分条件改善,灌木可以正常生长,形成生物篱。“地面覆盖十生物篱”的旱坡地生态农业系统具有如下特点:

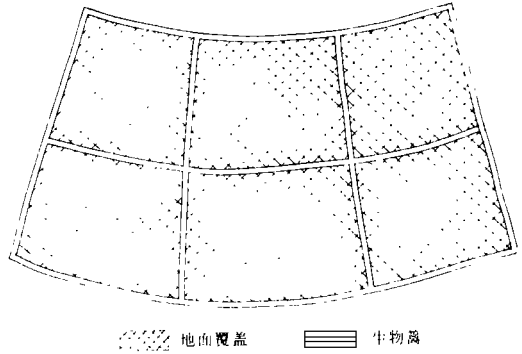
- (1)地面覆盖不但减少地面蒸发,改善水分条件,有利于将无效地面蒸发转化为有效作物蒸腾,提高降水利用效率,而且有提高地温,防止溅蚀的作用。
- (2)生物篱不但可以拦蓄径流泥沙,减轻水土流失,而且可以降低风速,减少地面蒸发。
- (3)材料易得,成本低廉,适合大面积推广。
- (4)可大幅度提高作物产量。保守的估计,采用此生态农业系统,可减少地面蒸发量

表 6 山西屯留秸秆地面覆盖对玉米、小麦产量和水分利用效率的影响

作物品种	年份 (年)	处理	产 量		水分利用率 ($\text{kg}/\text{mm}^{\circ} \text{hm}^2$)
			(kg/hm^2)	(%)	
玉 米	1988	覆盖	7945.5	158.1	23.4
		对照	5025	100.0	14.85
	1989	覆盖	10648.5	123.2	26.55
		对照	8640	100.0	22.5
小 麦	1988至	覆盖	5325	127	14.1
	1989	对照	4206	100	11.1
	1989至	覆盖	4800	120	13.65
	1990	对照	4000.5	100	11.1

50mm,减少土壤流失量 50%,每 hm^2 可增产 750kg

若黄土高原地区 800 万 hm^2 坡地全部采用“地面覆盖十生物篱”的生态农业系统,每年可增产粮食 60 亿 kg,减少泥沙流失 1.2 亿 t(以旱坡地平均泥沙流失量 3000t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)计)。这对黄土高原地区粮食、群众温饱和水土流失的问题解决意义重大。陕北、晋西等水土流失严重,旱坡地面积大的黄土丘陵区,煤炭资源丰富,群众烧柴问题不难解决,可首先开展“地面覆盖十生物篱”的旱坡地生态农业系统的试验示范、推广工作。



附图 “地面覆盖十生物篱”旱坡地生态农业系统示意图

四 结 语

(1)综合水文资料和旱农水分的研究成果,黄土高原地区旱坡地的降水分配大致如下,深层渗漏量极微,可忽略不计;地表径流量 $< 5\% \sim 10\%$;地面蒸发量, $45\% \sim 50\%$;作物蒸腾量 $45\% \sim 50\%$ 。

(2)黄土是良好的农业土壤,黄土高原的气候适合农作物生长,农业是黄土高原旱坡地的主要利用方向;厚层黄土旱坡地不适合恢复森林植被,高产牧草为 C_3 植物,蒸腾效率低,林草的土地产出率低,黄土高原地区人口较多,林草不应是黄土高原旱坡地的主要利用方向。

(3)“降水就地入渗拦蓄”的黄土高原水土保持的基本思路,重视了占降水资源不到 $5\% \sim 10\%$ 的旱坡地地表径流的入渗拦蓄,忽略了占降水资源 $45\% \sim 50\%$ 的地面蒸发的减少。减少地面蒸发,充分利用降水资源,将地面无效蒸发转化为作物有效蒸腾,是黄土高原旱坡地整治、开发利用的重要方向。

(4)“地面覆盖十生物篱”的旱坡地生态农业系统,既减少地面蒸发,又拦蓄径流泥沙,防止水土流失,可大幅度提高旱坡地产量,成本低廉,易于操作,适合大面积推广,若黄土高原 800 万 hm^2 旱坡地采用此系统,可增产粮食 60 亿 kg,减少泥沙流失 1.2 亿 t 以上。

参 考 文 献

- 1 中国科学院黄土高原综合科学考察队.黄土高原地区资源环境社会经济数据集.北京:中国经济出版社,1992,575
- 2 朱显谟.再论黄土高原国土整治“28字方略”.中国科学报,1996年3月6日
- 3 张信宝,安芷生.黄土高原地区森林与黄土厚度的关系.水土保持通报,1994,14(6):194~197
- 4 陶毓汾等.中国北方旱农地区水分生产潜力及开发.北京:气象出版社,199
- 5 李开元,李玉山.黄土高原农田水量平衡研究.水土保持学报,1995,6(2):39~44
- 6 拉普埃尔.植物生理生态学.李栋等译.北京:科学出版社,314
- 7 Schvab G等. Soil and Water Conservation Engineering. 1961, John Wiley and Sons. 525
- 8 刘万铨.黄土高原地区水土保持发展中的几个问题.人民黄河,1986(5):47~50
- 9 中国科学院黄土高原综合科学考察队.黄土高原气候资源的合理利用.北京:中国科学技术出版社,1990,188
- 10 陈意平等.晋中地区节水农业技术体系的建设.人民黄河,1992(5):45~47
- 11 Pimental D, etc. Environmental and Economic in costs of soil Erosion and Conservation Benefits. Science, 1995, 267 1117~1122
- 12 张信宝.植物篱生物工程措施——川中丘陵区坡耕地水土保持新途径.地球科学进展,1990(4),50~53