

延安市旱作梯田水分有效保持与高效利用技术

高维恒¹, 邓西平²

(1. 西安市农业技术推广中心, 陕西 西安 710061; 2. 西北农林科技大学, 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 延安地区坡耕地上水土流失引发的水分亏缺和养分下降是影响作物生产潜力的主要因素。坡耕地的水分、养分是在作物生长发育和产量形成的过程中流失掉的。梯田是坡地水土保持工程的重要措施, 通过扩大梯田面积, 加大农田投入, 在有限的土地上提高粮食单产, 是粮食生产潜力开发的主攻方向。因此, 认为梯田是解决水土流失治理与粮食生产矛盾的结合点。通过对延安地区的调查研究, 提出了以实现作物对有限水分高效利用为核心, 改善作物生长环境和挖掘作物抗旱节水潜力二者同时并举, 传统旱作技术与新技术、新方法有机结合, 以品种改良、土壤培肥、覆盖栽培与抗旱节水措施为主要内容的旱作梯田水分有效保持与高效利用技术。

关键词: 延安; 梯田; 水分保持; 水分利用技术

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)06-0225-04

中图分类号: S152.7

Techniques of Effective Conservation and Efficient Use Water on Terraced Land in Yan'an City

GAO Wei-heng¹, DENG Xi-ping^{2*}

(1. Xi'an Agricultural Technology Extension Center, Xian, Shaanxi 710061, China; 2. Northwest A & F University and State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Terraced land may create a better environment for crop production by moisture conservation. In addition, terraced land is more resistant to soil erosion during intense storm and sediment from terraced land is lower than that from slope land. In yan'an, drought and poor soil fertility are the main restrictive factors for the production of dryland crops. From the practical perspective, research on the techniques of water loss and use is essential. Great attention has been paid to the management, demands, and more efficient use of the limited water resource on terraced land. In this paper, the approaches of effective conservation and efficient use of water on terraced land in Yan'an are reviewed, including conservation tillage, mulch cultivation, limited irrigation, and introduction of water-saving varieties. Soil fertility improvement should be suitable to the local agricultural conditions in Yan'an.

Keywords: Yan'an; terraced land; water conservation; water use technique

延安大部分处于半干旱地带, 属于生态环境脆弱地区, 加上长期以来土地利用的不合理和植被的破坏, 使得严重水土流失和频繁干旱的并存成为该地区重要的自然环境特征。在这种脆弱的生态环境条件下, 农业中落后的生产方式和粗放的经营管理并未得到根本改变, 从而导致了该地区的生态环境总体上继

续趋于日益恶化的状况^[1]。改善延安地区的生态环境和提高生产力不只是延安地区内部的问题, 而且也是西部大开发中生态环境建设的重要组成部分。在我国以黄土高原为代表的旱农地区, 建设水平梯田是旱地农业经过多年实践证明的成功经验。延安地区以坡改梯为核心的旱坡地改良技术就是要把水土的

收稿日期: 2007-09-18 修回日期: 2007-11-07

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-444); 西北农林科技大学拔尖人才支持计划项目; 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA100202)

作者简介: 高维恒(1948—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 高级农艺师, 从事农业技术应用研究。电话(029)85216652。

通讯作者: 邓西平(1959—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 研究员, 从事旱地农业研究。E-mail: dengxp@ms.iswc.ac.cn。

保持与水土资源的利用紧密联系起来,即在有效“保持”的同时向“高效”利用的方向发展^[2]。

1 研究区域的现状

延安 60% 的坡耕地为耕层浅薄,保水、保土、保肥能力较差,这些坡耕地极易形成地表径流和水蚀风蚀,大部分地区的土壤侵蚀模数高达 $2.0 \times 10^4 \sim 3.0 \times 10^4 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。在水土流失严重的试验区,大于 25° 的坡耕地占总面积的 40.3%。坡耕地发生浅沟的临界坡度为 $15^\circ \sim 20^\circ$,大于 25° 的陡坡地浅沟发生频率最高,其侵蚀量约占坡耕地侵蚀量的 70% 左右,要再造山川秀美的黄土高原,就必须禁止开垦发生浅沟侵蚀强度最大的 25° 以上的陡坡,并控制在发生陡坡侵蚀的临界坡度 $15^\circ \sim 20^\circ$ 以下。由于目前试验区大于 15° 的坡耕地有 $15\,823 \text{ hm}^2$,这些坡耕地平均单产约为 $900 \text{ kg}/\text{hm}^2$,据此推算, 15° 以上坡耕地退耕后延安损失的粮食生产能力约为 $1.43 \times 10^7 \text{ kg}$ 。

基本农田的稳产高产是解决上述粮食缺口的关键。综合性科学技术的应用方面必须把防治水土流失和合理利用水土资源,维护和提高土地生产力,建立良好生态和生产环境三者结合起来。尽管水分不足是限制农业发展的重要因子,但该区域和干旱地区不同,降水量仍在允许从事农业生产的范围之内,能

否实现对自然降水的有效保持和高效利用就成为决定该地区农业可持续发展的关键。延安市的水土流失问题一直备受关注,但人们对水资源高效利用以及挖掘作物抗旱节水潜力的问题重视不够,致使大田作物的实际产量显著低于按降水量推算应获得的理论产量。因此,只有将水土保持与水资源的高效利用两者联系起来,才有可能同时有效解决该地区的生态环境恢复与农业可持续发展问题^[5]。

2 坡耕水土流失与低产的关系

坡耕地上水土流失引发的水分亏缺和养分下降是影响作物生产潜力的主要因素。坡耕地的水分、养分是在作物生长发育和产量形成的过程中流失掉的,造成当年作物产量的损失,在现有的生产技术条件下还无法在当年作物上得到弥补。

一些研究表明,来源于坡耕地的泥沙中,养分含量高于同一地块耕层养分水平,养分流失过程中产生了明显的富集现象^[4]。坡耕地的径流往往是在作物生长高峰期发生的,对作物产量的影响程度,远远大于一般情况下的水分亏缺。根据以上资料和中国科学院安塞生态站对坡耕地径流、泥沙与作物产量的多年研究结果,对坡地养分流失减产量和坡地径流减产量推算的结果见表 1。

表 1 坡耕地水土流失水对作物产量的影响

选择参数	玉米	马铃薯	谷子	冬小麦	大豆
侵蚀的耕层厚度/mm	8	4	3	6	5
每 1 mm 表土减产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	46	46	46	46	46
平均径流量/mm	47	47	47	47	47
水分生产效率/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	22	16	15	31	12
养分流失减产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	368	193	156	271	221
径流减产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	1 034	743	700	1 476	564

注:① 表中的参数及其换算主要参考文献[5—7]。

不同土地类型的粮食生产潜力存在明显差异,我们对 1998 年燕儿沟示范区部分农户地块粮食产量调查结果表明,梯田玉米为 $3\,386 \text{ kg}/\text{hm}^2$,坝地玉米为 $6\,612 \text{ kg}/\text{hm}^2$,坡地马铃薯为 $1\,742 \text{ kg}/\text{hm}^2$,潜力实现率分别为 33%,48% 和 23%。同年在该示范区的抗旱节水综合试验示范结果显示,梯田玉米产量达到 $8\,791 \text{ kg}/\text{hm}^2$,马铃薯 $7\,245 \text{ kg}/\text{hm}^2$,谷子 $6\,187 \text{ kg}/\text{hm}^2$,潜力实现率可以分别提高到 86%,87% 和 78%^[8]。这些令人鼓舞的研究结果说明,通过减少水土流失,加大农田投入在有限的土地上提高粮食单

产,是粮食生产潜力开发的主攻方向。因此,可以认为少种高产是解决生态农业建设中水土流失治理与粮食生产矛盾的结合点。

3 梯田水分有效保持技术

从提高该地区农业生产水平的途径来看,一条途径是增加投入,另一条途径是提高效率。按照目前农业投入的总体水平和资源状况,继续适时、适度、有选择地增加在改善农业生产条件和农业生态环境方面的投入,如基本农田建设和化肥、农业机械以及水土

保持措施优化配置等,这些都是必要的。但投入量应当与资源的供应量相平衡,与群众的承受能力相适应。延安半干旱地区农业的发展更应该强调第二条途径,即提高有限资源的利用效率。这是克服农业资源制约,协调农业的社会效益、经济效益和生态效益,使之同步提高的最优选择。

坡耕地改造为水平梯田能够改变地形,有利于耕作、灌溉和运输,更便于实现耕作机械化和精细集约经营。单产的提高能够促进退耕陡坡还林还草,改广种薄收为少种多产多收,改单一的农业经营为农果林草牧副的综合发展,必将促进农村产业化和社会经济的协调发展。

3.1 梯田培肥技术

有机肥在培肥梯田地力和供给作物营养方面有十分重要的作用,特别是在改善土壤理化性状如增强保水保肥能力,提高土壤养分有效性和水分利用效率,促进团聚体形成,提供微生物碳素营养方面的功能上是化肥不可替代的。因此,要提高土壤肥力,保证土壤的永续利用,实现作物稳产高产,特别是对于梯田土壤,首先必须大量投入有机肥。

据研究资料表明,人、畜、禽粪的有机质含量为14.5%~28%,厩肥为20.3%~31.8%,是养分含量高的一类有机肥。从目前该流域人口数量和拥有牲畜量来看,有机肥的数量不足,其解决办法,是要改变不合理的有机肥积累、堆存方式,变家畜的散养为栏养,增加有机肥的积累。另外,要适当发展畜牧业,增加秸秆过腹还田。改变广种薄收的传统种植习惯,集中培育高产田,以提高作物产量来满足粮食自给,将陡坡地还草还林,改善生态环境。

增施化肥是提高作物产量的基本措施,该区土壤肥力很低,施用化肥对作物增产潜力巨大。根据专题组在延安燕儿沟流域新修梯田上进行的玉米施肥和覆膜试验结果,每1 hm²施尿素225 kg(折纯N 103.5 kg),磷肥750 kg(折P₂O₅ 120 kg),有机肥15 000 kg,玉米产量达到8 250 kg/hm²,比一般地增产3 000 kg/hm²。结合地膜覆盖和追施尿素112.5, 150和187.5 kg/hm²(折纯N 51.75, 69.0和86.25 kg),平均产量可达9 750 kg/hm²以上。试验前后土壤养分含量,也有明显的变化(表2),覆膜加追肥比试验前、覆膜追肥比不追肥的土壤有机质、全N、水解N以及速效P和速效K都有不同程度的增加,不覆膜又不追肥的试验地比普通地的土壤全N、水解N和速效K也有所增加,特别是水解N的增加幅度很大。

由此可以看出,要提高土壤肥力,实现作物稳产高产,特别是对于肥力水平很低的新修梯田,首先必须大量投入有机肥和增施化肥。但在施肥的配比上,要科学合理,注意N、P、K配施。从土壤养分分析结果看,土壤N、P养分含量很低,而K素营养在中低到中等水平,所以要适当增加N、P化肥的比例,保持土壤养分平衡。另外,农作物种类不同,对养分的需求各异,要根据作物确定施肥量。

有试验表明,在有机质含量小于0.5%的土壤上,绿肥翻压后,土壤有机质的增长幅度在26.1%~50.1%,平均为33.6%。所以,在该流域,特别是新修梯田上,应该增加一些牧草绿肥,采取轮作或间作套种的方式,进行翻压,以快速增加土壤有机质的含量,提高土地生产力^[9]。

表2 肥料试验后土壤养分的增加比例

处理	有机质	全N	水解N	速效P	速效K
覆膜追肥比播前	30.95	23.50	61.62	95.17	45.52
覆膜追肥比不追肥	14.05	19.26	109.18	162.56	17.76
试验地比群众地	-5.25	11.56	227.80	-3.70	65.47

3.2 梯田耕作栽培技术

1998年开始,我们在延安柳林镇吴枣元村的新修梯田上积极推行了拖拉机深耕措施,同时与合理施肥和“马铃薯—谷子—豆类—玉米”的轮作模式相结合,在新修梯田的粮食产量方面,取得了明显的增产效果,达到了当年增产当年收回修地成本。

黄土有较好的蓄水和供水库容。以2 m土层计算,最高蓄水库容可达400~500 mm,若以3 m土层计算,可达700~800 mm。从理论上讲,该地区全部

年降水可储存到土壤中,并通过较深层土壤储水,对旱月、旱季、早年的作物供水进行调节。然而,由于大气降水是该地区旱地土壤水分的唯一来源,加之黄土高原降雨稀少,且雨季多集中在7—9月间,土壤水分的全年变化形成了明显的4个时期,即春季严重失墒期、夏秋增墒期、秋冬缓慢失墒期和冬季稳墒期。克服上述作物生长过程中的水分供需矛盾,除了传统的耕作保墒措施之外,一些实验结果表明,黄土高原的小麦、豆类作物收获后的农田休闲期正是该地区降雨

高峰期,是土壤水分的补偿期,同时又是气温较高,土面蒸发最强烈时期,当小麦或者豆类作物收获之后立即进行地面覆盖处理,78 d后,覆盖处理较裸地对照的 2 m 层内土壤储水增加了 66 mm,分别占同期降雨量(245.9 mm)的 76%和 47.5%^[10]。

在延安,玉米过去基本都种植在川地、坝地和塬地上,新修梯田上尚未种植过。1998年,我们在吴枣元村的地膜玉米试验结果,地膜玉米单产达到 10 284 kg/hm²,较试验露地玉米对照单产 8 615 kg/hm² 增长 19.4%,较群众的大田玉米单产 4 200 kg/hm² 增加了 105%,引起了当地政府和农民的高度重视,群众推广热情很高,1999年,我们在吴枣元和湫树塌 2 个村梯田示范种植地膜玉米示范 14 hm²,占 2 个村梯田总面积的 63.8%,平均产量达到了 8 142 kg/hm²,较相邻的未覆膜的玉米单产 5 523 kg/hm² 增产 58.3%,每 1 hm² 净收入 1 980.25 元。

4 梯田水分高效利用技术

4.1 梯田抗旱节水引种技术

在延安燕儿沟我们先后引入玉米新品种 3 个,从中鉴定筛选出适于当地推广种植的玉米新品种陕单

931,该品种表现为适应性广,生长势强,抗倒、抗旱、早熟,对大、小斑病,丝黑穗病,青枯病综合抗性强,叶片保绿好,穗大粒大,产量高,较当地大面积种植的中单 2 号、农大 60 增产幅度大。1998年,我们在宝塔区柳林镇燕沟流域赵庄坝地和吴枣元新修梯田进行了适应性鉴定,其结果陕单 931 较中单 2 号、农大 60 早熟 2~3 d,果穗明显优于中单 2 号、农大 60,增产幅度 67.4%~83.4%(表 3)。

目前,陕单 931 已普遍被农民所接受,在燕沟示范区,陕单 931 已占到了玉米种植面积的 95%以上。1999年在柳林、万花、枣园、河庄坪、高桥、麻洞川、楼坪以及沿河湾等乡镇推广种植 133 hm²,平均、万花、枣园、河庄坪、高桥、麻洞川、楼坪以及沿河湾等乡镇推广种植 133 hm²,平均单产 9 045 kg/hm²,较中单 2 号单产 5 522.3 kg/hm² 增产 63.8%,增产效果非常显著。2000年,在柳林镇推广 200 hm²,占该镇玉米种植面积的 83.7%。与此同时,引进大豆新品种 9 个,从中筛选出了 945728、冀豆 81、晋豆 20、晋豆 19 等 4 个适合当地种植的大豆新品种,这 4 个品种较对照品种辽 81 增产 39.7%~124.8%。其中晋豆 19 已经开始在生产中大面积推广。

表 3 不同玉米品种主要产量性状的比较

项目	品种	穗行数/行	行粒数/粒	百粒重/g	单产/(kg·hm ⁻²)	增产/%
坝地	陕单 931	19.1	40.0	45.3	12 897	83.4
	农大 60	14.2	45.3	31.2	7 227	2.8
	中单 2 号	14.9	43.6	28.8	7 033	0.0
梯田	陕单 931	18.4	41.0	40.9	18 057	67.4
	农大 60	14.3	42.8	30.6	11 535	7.0
	中单 2 号	14.0	41.0	27.7	10 785	0.0

4.2 高效用水的化学调控技术

我们在梯田马铃薯的试验示范中,采用现蕾期穴施保水剂和开花初期喷施植物生长调节剂多效唑等技术,最佳组合的马铃薯单产达到 10 350 kg/hm² (已折合成粮食),水分利用效率 25.52 kg/(mm·hm²),而对照的产量为 5 850 kg/hm²,水分利用效率 14.42 kg/(mm·hm²),产量和水分利用效率较对照分别提高 76.9%和 77.0%^[11]。

近年来,采用种子包衣和旱地作物保水剂拌种技术在改善播种质量,促进抗旱成苗,提高成苗数等方面也有明显的效果^[12]。我们成功研制的“钙与赤霉素”结合的抗旱拌种技术在燕儿沟和万花等地的谷子、玉米、大豆等作物上推广了抗旱剂早宝 1 号的抗

旱拌种技术近 660 hm²,使作物成苗率提高约 25%,提早 2~3 d 出苗,出苗整齐度得到改善,平均增产 11%~16%,取得了良好的抗旱保苗增产效果。

4.3 高效用水的补灌技术

发展以集蓄降水集中季节的雨水,在作物需水关键期进行灌溉的有限补充灌溉技术,使降水利用效率大大提高,被认为是解决水土流失和提高旱作生产力的一个结合点^[13]。作物灌溉供水,一般包括播前灌溉、生育期灌溉和作物关键需水期灌溉。其中旱地作物关键生育期的补充灌溉节水增产更为明显。研究表明,玉米水分利用效率高于小麦,但不同小麦品种间存在着水分利用效率的遗传差异。玉米的关键需水期为孕花期,谷子为拔节期,高粱的关键需水期为

开花初期,而大豆在生殖生长阶段对水分变化最为敏感,此时补充灌溉对产量和水分利用效率都增加明显^[14-15]。应用上述综合配套技术体系的大田试验示范结果表明,在梯田玉米抗旱节水栽培方面,播种期穴灌 $10.8 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的条件下,采用陕 911 和陕 931 这 2 个新品种,以及地膜覆盖,增施化肥和行距调整等措施,在 0.17 hm^2 试验地块上,作物水分利用效率达到 $19.32 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,而对照田的常规种植玉米水分利用效率为 $7.64 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,产量和作物水分利用效率比对照分别提高 169% 和 142.6%。以上实验结果启示我们,通过雨水集流核销水源的开发,采用有限灌溉技术是将旱地农业进一步发展为旱作节水农业的关键,同时也是本地区粮食生产潜力开发的方向。

5 结论

水土流失严重的延安地区当前旱作农田对降水的有效利用率仅 30%,平均水分生产潜力开发值为 43%,作物水分利用效率为 $4.5 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 左右,利用目前正在推广的技术,近期内分别提高到 45%,55% 和 $7.5 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,使产量达到 $3000 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 左右是可能的。因此,在实行退耕还林还草的同时,应抓好基本农田建设,并注意种植优质高产高效作物。20% 的耕地面积应该推广种植高效作物。

在以梯田为基础的粮食潜力开发配套技术体系研究方面,本文提出了以实现作物对有限水分高效利用为核心,改善作物生长环境和挖掘作物抗旱节水潜力二者同时并举,传统旱作技术与新技术、新方法有机结合,以品种改良,土壤培肥,覆盖栽培与抗旱节水措施为主要内容的旱作梯田水分有效保持与高效利用技术。经过 2 a 的大田试验和示范,结果表明,玉米、马铃薯和谷子的产量比一般常规技术分别提高 169%,76.9% 和 78.1%;水分利用效率比对照分别提高 142.6%,77.0% 和 84.5%。

[参 考 文 献]

- [1] 山仑. 我国北方半干旱地区农业出路在哪里[N]. 中国科学报,1990年11月2日.
- [2] 邓西平. 黄土高原生态环境与粮食生产潜力开发技术[J]. 水土保持通报,1998,18(7):58—61.
- [3] 山仑,邓西平,苏佩,等. 挖掘作物抗旱节水潜力:作物对多变低水环境的适应与调节[J]. 中国农业科技导报,2000,2(2):66—70.
- [4] 郑粉丽. 坡面侵蚀分带侵蚀过程与降水—土壤水转化、土壤退化关系研究[D]. 中科院水土保持研究所博士论文,1997.
- [5] 卢宗凡. 黄土丘陵区水土保持生物和耕作措施的研究[A]//水保所安塞站. 黄土丘陵沟壑区水土保持型生态农业研究[M]. 杨凌:天则出版社,1990:11—22.
- [6] 张兴昌,卢宗凡. 坡地土壤水分动态及耗水规律研究[J]. 水土保持研究,1996(2):46—56.
- [7] 郑剑英,吴瑞俊,翟连宁. 坡耕地长期施肥对作物产量及吸 N,P 量的影响[J]. 水土保持研究,1996(2):13—17.
- [8] 王栓全,邓西平,刘冬梅,等. 燕沟基本农田粮食稳产高产综合配套技术及试验示范[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(4):26—31.
- [9] 张成娥,王栓全,邓西平. 燕儿沟流域农田基础肥力分析与培肥途径[J]. 水土保持通报,1999,19(5):16—20.
- [10] 刘忠民,山仑. 宁南半干旱山区农田土壤水分蒸发损失及其对策研究[J]. 宁夏农业科技,1993(2):47—50.
- [11] 王栓全,张成娥,邓西平. 陕北新修梯田马铃薯高产栽培技术研究[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(1):60—64.
- [12] 郭礼坤. 钙与赤素合剂(Ca+GA)处理种子抗旱增产效果及原理[J]. 水土保持研究,1998,5(1):79—87.
- [13] 山仑. 如何再现山川秀美的黄土高原:谈黄土高原水土流失严重地区治理方向的几个问题[N]. 科学时报,1999-10-15.
- [14] 郭贤仕,山仑. 前期干旱锻炼对谷子水分利用效率的影响[J]. 作物学报,1994,20(3):352—356.
- [15] 彭珂珊,邓西平. 黄土高原地区节水灌溉增产效益分析[J]. 水利科技与经济,1999,5(3):120—125.