
试验研究

旱坡地截流蓄水种植沟耕作技术 及其水肥效益研究

李永平 秦爱红 穆兰海

吕廷会

(宁夏固原地区农业科学研究所·宁夏固原·756000)

(宁夏固原县农业技术推广中心)

上官周平

(中国科学院水利部水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要 根据宁南山区的气候特点和生产现状,通过截流蓄水种植沟,保护垄(埂)和地膜覆盖为一体,采取耕作、栽培、轮作培肥、蓄水保墒管理,在坡耕地截流蓄水沟耕作技术下,以夏秋作物单种、套种等形式,建立了以旱坡耕地截流蓄水保墒,促进农田水分转化效率与大幅度提高农田生产力状况相适应的耕作技术体系。结果表明:该项耕作技术能有效地增蓄天然降水,控制水土流失,提高作物抗旱抗旱能力,明显提高作物对有限降水的生产效率。粮油作物单种和分带套种增产 60%以上,作物生长期间抗旱保墒率提高 14.6%~17.8%,蓄墒率提高 42.5%~71.5%,水分生产效率提高 40%以上。

关键词: 旱坡地 截流蓄水种植沟 耕作技术 水分生产效率

Tillage Techniques of Water—storage Planting Ditches and Its Benefits in Dry Slope Farmland

Li Yongping Qin Aihong Mu Lanhai

Lu Tinghui

(1)(The Agricultural Research Institute of Guyuan Prefecture, Guyuan county, Ningxia, 756000, PRC)

(2)(The Agricultural techniques Extension Center of Guyuan county)

Shangguan Zhouping

(3)(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences)

Abstract According to the climatic features and the production condition of south Ningxia mountain area, we take the water—storage planting ditches, protected furrows and plastic film cover as an integrated techniques, by using of the methods such as tillage, cultivating, rotation planting, fertilizing, water saving and soil moisture maintaining etc., planting crops singly or intercropping, multiplying storage ditches on hilly farmland, and establishing a tillage technical system to conserve water and maintain soil moisture, and to promot the water conserving and to raise the farmland productivity on such hilly land. The result shows that this tillage technique is very useful in saving the precipitation and controlling the soil and water loss, so it can strengthen the drought resistance of crops, raise the water use efficiency and

productivity of crops. As an average grain and oilcrop yield can get raise of 60% in single planting and intercropping planting; the rate of drought resistance, soil moisture maintain in growth period can raise of 14.6%~17.8%; soil moisture storage efficiency reached 42.5%~71.5% higher than the traditional tillage method; the efficiency of water productivity can get of more than 40%.

Keywords: Dry slope farmland; tillage techniques; water—storage planting ditches; water use efficiency

旱区坡耕地“径流”“集流”农业的发展已普遍受到国内外的重视,并已取得很多研究成果。在宁南山区由于自然、历史等多种原因,农业发展滞后,是西北有名的落后贫困地区。近 10 年以来在旱地农业发展中实施了一系列整体技术的改进与单一技术成果的推广结合,涌现出不少先进典型。然而,针对严酷的干旱气候,如何推进坡耕地农业生产发展进程,已受到广泛关注。围绕提高农田水分利用、蓄墒率和保墒率,不断开发坡耕地降水生产潜力,通过抗风蚀、水蚀的保护耕作技术,农田用养结合的施肥制度,改进作物种植制度,以及优化栽培技术体系,采取多种“控流”、“集流”和“截流”的径流农业技术已成为大幅度提高半干旱地区坡耕地生产力的关键。

1 总体设计与研究思路

针对干旱半干旱区降雨稀少、变频大、季节分配不均,强烈的蒸发,以及蓄水保墒技术难以在坡耕地大范围突破实施,使大量水分无效消耗和本来不足的降水显得更为匮乏等事实。本研究是在宁南山区对旱作农田地力与降水转化效率相关显著的一致认识基础上,面对山区农业“大旱绝收、小旱减产、平年平收、丰年增收”的不稳定周期农业,探讨怎样提高和整治丘陵山区 70% 以上坡度在 15°~25° 农田耕地质量,建立多途径的能使生产力大幅度提高的抗旱减灾型稳产高产耕作技术,以推动坡耕地农业的持续发展。

本项试验通过建立多点试验示范区,重点研究其耕作技术对土壤肥力、水分贮蓄动态诸因素相关所产生的直接效应和综合效应。采取“改土截流蓄水种植沟”(以下简称截流蓄水沟)耕作方案所涉及的水分、肥力、经济和生态效益,以提高农田抗旱蓄水保墒为重点,以优化耕地质量为中心,以大幅度增进农田产出量为目的,拟对自然降水实行“时间”与“空间”有效聚集,建立坡耕地减少“径流”与增加“蓄水”强度和提提高农田生产力状况相适应的耕作技术体系。

试验方法:在继承传统耕作法的某些优点基础上,将坡耕农田沿等高线由低向高依次规划成 1.2m 或 2.2m 宽的耕作带,采用人、机结合把第二耕作带内的活土层叠加移翻到第一耕作带,移填时深施农家肥和化肥,构筑成净带 0.9m 或 1.8m 的微型水平式截流蓄水沟(耕作带内活土层加厚 50%~100%),依次类推。对截流蓄水沟(A₁)和传统顺坡耕作法(A₂)实行主要夏秋作物单种和分带立体复合套种,研究其农田水分贮蓄动态,水分生产效率,水分转化效率和作物生存环境与水肥的关系。

2 结果与分析

2.1 截流蓄水沟理化指标与蓄水保墒效应

2.1.1 耕作措施对土壤理化性状的影响 实行“截流蓄水沟”耕作技术后,与传统耕作法比较使土壤理化性状有明显的改善作用。据测定:土壤落差稳定期 0~50cm 土壤容重较传统耕作法降低 0.10~0.12g/cm³,孔隙度增加 5.0%~6.4%。由于活土层加厚作用明显的改善了土壤

结构和提高土壤养分含量及有效转化率,使土壤基础肥力提高(表1)。土壤有机质比传统耕作法和机修梯田分别增加14.0%和61.0%,全氮量分别增加17.5%和52.6%,速效氮含量分别增加33.5%和85.5%,即同层相当比传统耕作法和梯田增加纯氮素42.0kg/hm²和69.0kg/hm²

2.1.2 耕作措施与土壤水分周期循环及调节能力 丘陵区坡耕地土壤对作物供水来源主要依赖于自然降水,但自然降水的时空分布不均且大部分田块抗侵蚀能力差,常常产生雨水地表径流和大量的无效蒸发。因此农业发展很大程度受致于水分不足的制约,加之肥力低下使自然降水利用率很低。截流蓄水沟正是沟、垄(埂)相间的保护屏障,相当程度的抵御水土流失灾害作用,目标性变“径流”为“截流”入沟,作物生长期同步实行覆盖(地膜、秸秆)保墒措施,减少了土壤水分的无效蒸散,增强了土壤水分周期性良性循环和调节能力。

从春季作物播种至土壤封冻期,无论宽带型还是窄带型种植沟,土壤含水量均比传统耕作法高。作物播种、收获阶段0~200cm土层含水量(贮水量)多点平均经传统耕作法分别高1.1%~2.2%(22.7~37.6mm)和1.5%~2.8%(39.9~46.3mm),抗旱保水效率提高14.6%~17.8%。土层封冻阶段(稳墒期)较传统耕作法同层土壤贮水量增加30.9~38.1mm,保水率提高10.5%~11.5%。

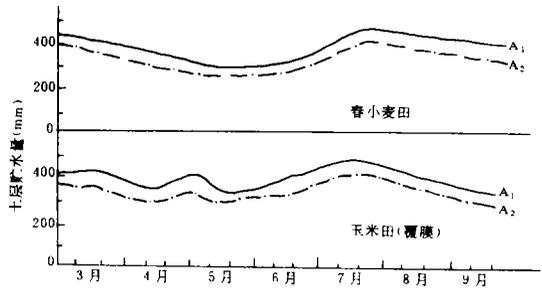
从耕作措施对土壤水分季节性变化动态(附图)看,由于截流蓄水沟具有沟、垄相间对降雨的控流蓄水增渗作用,加之切割土体20cm以下犁底层,孔隙度等物理性状的改善,雨水入渗强度增大,因此,土壤水分周期变化趋势显著于传统耕作的过程。

2.1.3 截流蓄水效果 坡耕地“截流蓄水沟”的拦洪抗流作用可征服雨季来势凶猛的水土流失灾害。“土壤水库”效应是最大限度的蓄贮7~9月份雨季降水的集中体现。它如同一条条拦水坝,不仅有效地减少了地面径流,而且可以有效地控制水土流失,垄顶可将降雨目标性分向截流入沟,即减少了径流强度,同时垄体能使种植沟相对增加20%~30%单位面积的降雨量。因此蓄水能力显著提高(表2)。试验结果表明:在特定严重秋旱(1993年)和严重春旱(1994年)及历史少见的特大春旱1995年发生年7~9月份雨季降水量不及正常年份的70%。蓄墒期(7月中旬~10月中旬)15°坡耕地构筑“截流蓄水沟”0~200cm土壤增蓄水量103.2~129.3mm,较传统耕作同层增蓄水量73.3~114.8mm多贮蓄水分14.5~29.9mm;25°坡耕地同层土壤增蓄水量86.33~127.2mm,较传统耕作法50.4~99.1mm多贮蓄水分28.1~35.9mm,土壤蓄墒率提高42.5%~71.5%。可见,这种耕作可有效地蓄积降水,从而提高了土壤蓄墒率和保墒率,具有显著的蓄水保墒效应,

表1 截流蓄水沟与土壤养分的关系比较

项目	深度 (cm)	有机质 (g/kg)	全量氮 (g/kg)	全量磷 (g/kg)	速效氮 mg/kg	速效磷 mg/kg
截流蓄水沟	0~20	14.8	0.986	0.814	68.0	18.5
	20~40	14.5	0.950	0.801	66.5	17.0
传统耕作法	0~20	13.4	0.784	0.726	53.5	15.5
	20~40	12.3	0.707	0.700	43.3	15.0
机修梯田	0~20	9.2	0.664	0.697	37.0	13.5
	20~40	9.0	0.605	0.652	35.5	13.0

注:种植一年后,第2年春季播种前取样测定。



附图 耕作措施与作物季节性0~2m 土层贮水量变化趋势

同时,这种耕作可有效地蓄积降水,从而提高了土壤蓄墒率和保墒率,具有显著的蓄水保墒效应,

为旱坡地翌年春季作物生长奠定了良好的水分条件,其生产意义是巨大的。

田间径流观察表明:符合设计标准的“截流蓄水沟”可拦蓄连续 12h 内 20~40mm 的全部降雨,且不产生径流冲刷现象。例如 1995 年 8 月 28 日在一次连续 18h 降雨量 58mm 的情况下,顺坡传统耕作农田受到严重冲刷现象,而“截流蓄水沟”几乎完好无损。雨后测定田间持水量(表 3),0~60cm 土层田间持水量比传统顺坡耕作法增加 172.95m³/hm²。即本次降雨过程使传统耕作田因径流侵蚀同层土壤相对少入渗降雨 17.2mm

2.2 耕作措施水肥利用与收益指标的关系

2.2.1 水分生产效率与增产效果 “截流蓄水沟”通过改土聚肥和覆盖保墒增温等措施的实现,充分提高了作物对降水的转化效率,从而使作物产量亦成悬殊的增产。

水分生产效率

表 2 坡耕地不同耕作措施与雨季蓄墒关系 (7 月中~10 月中)

项目	15°耕地			25°耕地			降雨量 (mm)
	蓄渗水量 (mm)	A ₁ 较 A ₂ 增加(mm)	蓄墒 系数	蓄渗水量 (mm)	A ₁ 较 A ₂ 增加(mm)	蓄墒 系数	
1993 年 A ₁	103.2	29.9	0.587	100.3	30.1	0.571	175.8
A ₂ (ck)	73.3		0.417	70.2		0.339	
1994 年 A ₁	109.8	19.0	0.574	86.3	35.9	0.451	191.3
A ₂ (ck)	90.8		0.474	50.4		0.263	
1995 年 A ₁	129.3	14.5	0.594	127.2	28.4	0.584	217.6
A ₂ (ck)	114.8		0.527	99.1		0.455	
平均 A ₁	114.1	21.1	0.587	105.3	26.8	0.539	194.8
A ₂ (ck)	93.0		0.473	78.5		0.376	

(WUE)是衡量旱作农业技术对农田水分转化效率高低的指标之一,用下式来表示:

$$WUE = \frac{y_c}{R + R_0 - R_1}$$

式中:WUE——作物生产量每毫米水分公顷 kg/(mm·

hm²); y_c——作物经济产量(kg/hm²);

R——时段降雨量(mm); R₀——处理区前作收获期土壤

贮水量(mm); R₁——处理区本茬作物收获期土壤贮水量(mm)。

据水分生产效率测定:在 1994 和 1995 年出现严重春旱的情况下,“截流蓄水沟”秋施肥(N75.0+P37.5)kg/hm²,春小麦、地膜玉米各分别较传统耕作同处理增产 27.60%~43.13%和 29.80~36.14%春小麦(覆草)、玉米(覆膜)较露地分别增产 13.9%~18.36%和 47.96%~54.47%。15°~25°坡“截流蓄水沟”每 hm² 秋施 N225~300kg(有机肥占 1/2,磷素占氮素 1/2)肥力条件下,春小麦单种每 hm² 产量 1 327.20~2 481.15kg,较传统顺坡耕作同处理增产 1 倍以上,WUE 为 2.940~4.800kg/mm·hm²;地膜玉米每 hm² 产量 6 165~7 629kg 较传统顺坡耕作法同处理 3612.0~4206.0kg 增产 68.1%~81.4%,WUE 平均由 8.1kg/mm·hm² 上升到 11.87kg/mm·hm²。两种作物单种水分转化效率提高 18.9%~40.0%。

15°~20°坡“截流蓄水沟”秋施肥(N150.75kg/hm²)种植胡麻每 hm² 产量 1467.0~1 950kg,较传统耕作法同等肥力每 hm² 产量 756.0~1050kg 增产 88.1%~94.0%,水分生产效率分别为 3.69~4.74kg/mm·hm² 和 2.145~2.73kg/mm·hm²。

上述结果证明在坡耕地构筑蓄水沟不仅种植夏秋粮油作物获得高产,而且还能有效地调整坡耕地种植业结构即适当扩大玉米种植面积,对开发山坡地生产潜力具有广阔的发展前景。

“截流蓄水沟”分带作物套种结果(表 4)表明:在蓄水保墒、施肥和栽培措施密切配合的情

表 3 耕作措施与 0~60cm 土壤田间持水量

耕作	田间持水量(m ³ /hm ²)				增加量	
	1	2	3	\bar{x}	m ³ /hm ²	%
截流蓄水沟	1739.55	1825.50	1856.25	1808.05	172.95	10.58
传统耕作法	1557.00	1641.15	1704.30	1634.10		

况下,农田水分条件可满足发展春小麦//玉米(膜);春小麦//马铃薯和粮经间套套种植结构。如25°实行“截流蓄水沟”与传统顺坡耕作法在同等肥力(N150+P75kg/hm²)条件下,春小麦//马铃薯带套种每hm²产量分别为3468kg和2410.5kg增产43.9%,水分生产效率分别为7.185kg/mm·hm²和4.905kg/mm·hm²,水分转化效率提高46.5%。宽带型蓄水沟(沟内净宽1.8m)实行春小麦//玉米(膜)每hm²产量为5922kg较传统耕作法同处理每hm²产量3615kg增产63.8%,水分生产效率分别为11.295kg/mm和7.335kg/mm,水分转化效率提高54.0%。小麦玉米套种比玉米单种水分转化效率提高19.0%。分带套种使土地当量比(LER)达到1.246~1.451,即套种比单种土地利用率提高26.4%~45.1%。

2.2.2 截流蓄水沟经济效益分析 坡耕地实行“改土截流蓄水种植沟”能够产生非常可观的经济效益。从劳力、物化投入成本和经济效益等方面与改造大块梯田比较分析,它是一项相对用工量少,投资不高,见效快即增产增收,又能达到水、土、肥、综合治理,促进和改善土壤生态环境良性循环,防旱抗旱减灾的有效技术。

表4 “截流蓄水沟”作物套种对产量与水分生产效率的影响

耕 作	春小麦//马铃薯(膜) (kg/hm ²)			WUE (kg/mm·hm ²)	春小麦//玉米(膜) (kg/hm ²)			WUE (kg/mm·hm ²)
	籽粒	薯块	∑		籽粒	薯块	∑	
截流蓄水沟	1089.0	2379.0	3468.0	7.185	1444.5	4477.5	5922.0	11.295
传统耕作	757.5	1653.0	2410.5	4.905	1087.5	2527.5	3615.0	7.335
增减(土)%	+43.8	+43.9	+43.9	+46.5	+32.8	+63.4	+63.8	+53.9

注:马铃薯块折粮按1/5计

按照耕作技术体现效益的原则,依干旱区蓄水沟种植春小麦、玉米、马铃薯三种作物5种组合形式,实行单种与分带立体复合种植(表5),生产中实现了可观的产量和产值。(1)以产投效益排序:夏秋作物套种效益>夏秋作物单种效益;(2)套种效益比较:春小麦//玉米(膜)效益>春小麦//马铃薯效益,生产收益分别为9396元/hm²和7810.5元/hm²,产投比在6.9元/hm²以上,较传统耕作同组合收益增加75.6%~90.0%;(3)以单种组合比较:玉米(膜)>马铃薯(膜)>春小麦等,生产收益率较传统耕作法提高51.8%。因此,山坡耕地构筑“截流蓄水沟”在合理轮作制度下可适当扩大粮油分带套种,并且获得较好的经济效益。

2.2.3 截流蓄水沟生态效益分析 按照耕作制度所顾及的种植制度优化,养地制度合理和农田保护制度协调稳定的原则,在不断体现增产增收和水肥高效转化利用的前提下,使农田生态效益趋于对自然资源的合理利用和良性运转。从截流蓄水沟能量投入产出、水分生产效率、光能利用等生态效益(表6)分析表明:春小麦//马铃薯和春小麦//玉米其农田生态效益居上,即能量投入8.482~10.038×10⁷kJ/hm²,产出能量为28.610~37.472×10⁷kJ/hm²,能流产投比为1:3.3~4.0,较传统耕作法同组合各项生态指标提高37.5%~53.4%。其次是玉米、马铃薯单种居中上水平,投入能在7.697~8.179×10⁷kJ/hm²,产出能在20.074~31.206×10⁷kJ/hm²,能流产投比1:2.6~3.8,较传统耕作法生态指标提高18.8%~67.5%。光能利用率以套种>单种,大秋作物>夏粮作物。

从农田轮作制考虑“截流蓄水沟”应实行4年轮作制,其轮作方式如下:(1)春小麦—豆类—春小麦—糜(谷);(2)豆类—春小麦—春小麦—胡麻;(3)玉米(膜)—玉米—豆类—春小麦;(4)夏秋作物套种或多年生紫花苜蓿与粮油作物分带种植或果树套种经济作物等。

表 5 坡耕农田耕作措施与种植形式经济效益分析(1994—1995)

种植形式	耕作措施	经济产量 (kg/hm ²)	合计	生物产量 (kg/hm ²)	总产值 (元/hm ²)	总投入 (元/hm ²)	纯收入 (元/hm ²)	产投比 (元/元)
小麦单种	A ₁	2157.00	2157.00	7549.50	4421.85	1581.00	2840.85	2.80
	A ₂ (ck)	939.45	939.45	3411.75	1938.15	1041.00	897.00	1.86
玉米单种	A ₁	6626.25	6626.25	19879.50	10602.15	2317.35	8284.50	4.58
	A ₂ (ck)	3291.00	3291.00	10604.40	5338.80	1860.00	3478.80	2.87
小麦//玉米	A ₁ *	1594.50+5287.50	6882.00	23952.00	11979.60	2582.40	9397.20	4.64
	A ₂ (ck)	771.75+3094.80	3866.55	13572.90	6692.55	1747.50	4945.05	3.83
马铃薯单种	A ₁	28593.75	5718.75	12476.10	8916.00	2391.00	6525.00	3.73
	A ₂ (ck)	20013.00	4002.60	9720.60	6289.80	1991.25	4298.55	3.16
小麦//马铃薯	A ₁ **	1275.00+22912.50	5857.50	17091.45	9911.40	2100.00	7811.40	4.72
	A ₂ (cm)	627.00+15510.00	3729.00	9727.50	6171.00	1723.50	4447.50	3.58

注: * 玉米、小麦、马铃薯(鲜)分别按 1.4/kg、1.8/kg、0.3 元/kg, 胡麻籽 1.8 元/kg, 作物秸秆 0.1 元/kg, 干薯蔓 0.05 元/kg 计价。

** 表示麦薯, 麦玉套种组合分别在小麦收获后接茬复种蔬菜。

表 6 坡耕农田耕作措施与生态效益比较

种植制度	代号	产出能 (万 KJ/hm ²)	投入能 (万 KJ/hm ²)	能流 产投比	耗水系数 mm·hm ² /kg	WUE kg/mm·hm ²	光能 利用率(%)
春小麦 单种	A ₁	11738	4189	2.80	0.284	3.525	0.30
	A ₂ (ck)	3483	2702	1.29	0.560	1.785	0.15
玉米 单种	A ₁	31206	8178	3.82	0.111	8.985	0.70
	A ₂ (ck)	16570	7275	2.28	0.183	5.445	0.50
玉米//春小麦 一蔬菜	A ₁	37472	9471	3.96	0.098	10.215	0.76
	A ₂ (ck)	25087	8278	3.03	0.136	7.350	0.58
马铃薯 单种	A ₁	20074	7697	2.61	0.125	7.980	0.68
	A ₂ (ck)	15498	6190	2.5	0.150	6.670	0.55
马铃薯// 春小麦一蔬菜	A ₁	28607	8480	3.37	0.085	11.745	0.73
	A ₂ (ck)	17620	7274	2.42	0.128	7.800	—

3 生产应用前景

坡耕地实行改土“截流蓄水种植沟”耕作技术很适合在半干旱类似地区大面积推广应用。该项技术的正确实施确能大幅度提高坡耕地产量,其增产潜力是巨大的。同时也对“径流”农业技术贮备和进一步完善径流农业有很大的促进作用。它是一项实用性强,较人工修筑大块水平梯田宏效省工的强化蓄水保墒的耕作措施,在年降雨量 350~470mm 的 15°以上坡耕地均可推广。据调查:宁面山区 5 县(除泾源县)半干旱区 15°以上坡耕地 10 万 hm² 左右,农业人口约 30 万人,这类耕地质量很差,风调雨顺年份生产水平勉强温饱,遇干旱年或大旱年份人均粮油自给率只有 44% 左右,粮食短缺非常严重,如果在这类地区大面积实行“截流蓄水沟”,加之其它径流农业工程技术,如机修梯田,窖窑灌溉结合蓄水沟应用于生产,可彻底解决这部分农民的温饱问题,并向富裕过渡。同时该项技术可促进和改变坡耕地种植结构,如扩大地膜玉米,实行麦薯、麦玉套种上坡,亦可种植瓜果(园)、蔬菜、旱生药材等经济作物。因此,旱坡地截流蓄水种植沟耕作技术是干旱丘陵地区抗旱减灾,稳产丰收的一项重要技术措施。