

提高宁南半干旱区旱地春小麦产量 及水分利用的综合技术途径研究

刘忠民 山 仑 马国忠

(中国科学院 水土保持研究所 陕西杨陵 712100)
(水 利 部)

Lnanaga Shinobu Sinohara Wataro Nakamoto Tomoni

(Agriculture Faculty of Tokyo University MiDoRi 1-1-1 Tanashi Japan)

摘 要 在自然降水条件下,采用化肥、有机肥、生长期覆盖、深耕等相结合的综合技术栽培春小麦可大幅度地提高其产量和水分利用效率。6年试验期间,在综合农业技术中,无论何种年型施用化肥(N和 P_2O_5 各 $135\sim 150\text{kg}/\text{hm}^2$)对增产和水分利用效率的提高,约占50%;充足有机肥的作用约占30%;生长期行间覆盖技术的作用约占20%;深耕25cm的作用不明显。

关键词 半干旱区 春小麦 产量 水分利用

Comprehensive Technique Approaches to Raise Grain Yield and Water Use of Spring Wheat in the Semiarid Area of South Ningxia

Liu Zhongmin Shan Lun Ma Guozhong

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

Lnanaga Shinobu Sinohara Wataro Nakamoto Tomoni

(Agriculture Faculty of Tokyo University MiDoRi 1-1-1 Tanashi Japan)

Abstract Under the natural rainfall conditions, the grain yield and water use efficiency of spring wheat were able to be increased largely by using comprehensive cultivation methods which include chemical fertilizer organic manure, mulch in growth season and deep tillage. The results show that during several years experimental period either drought or wet year by using chemical fertilizer (N and P_2O_5 were $135\sim 150\text{kg}/\text{hm}^2$, separately) grain yield and water use efficiency were able to be raised about 50%. By using organic manure the increment was 30%. By mulch technique during growth season in the strip increment was 20%. However, by the deep tillage (25cm) the effect was not obviously.

① 收稿日期:1997-10-10

* 本课题得到国家自然科学基金及宁夏自治区科委资助。

Key words semiarid area spring wheat grain yield water use

春小麦是宁夏南部半干旱区的主体作物。由于该区生态环境脆弱,降水量少且分布不均,气温低、热量不足,风多且风速大,土壤物理蒸发强烈,水土流失严重,土壤瘠薄等原因,旱地春小麦产量一直较低,一般 $1\ 050\sim 1\ 500\text{kg}/\text{hm}^2$,水分利用效率(WUE) $3.75\sim 5.25\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$ 。作物对土壤贮水利用率不高,仅50%左右。土面蒸发量大,夏闲地平均 $105.3\sim 160.5\text{mm}$,占年降水量的26.7%~40.7%,尚有较大的水分生产潜力。为使有限的降水资源得到充分发挥,将春小麦产量和水分利用效率提高到一个新的水平,我们于1988~1994年在固原生态站进行了多种技术方案的试验研究,共进行田间试验16个,试验小区440个,获得较丰富的研究资料。

1 研究方法及试验设计

研究方法,采用专题试验与大面积田间调查测产相结合,以试验为主。以综合技术试验与单项技术试验相结合,以综合技术试验为主,单项技术试验为辅。以综合技术试验探索春小麦的生产潜力,以单项技术试验进一步阐明其原理。以多方案多途径攻其一个目标为研究的主导思想。

试验设计,根据作物生产潜力的概念,首先选用抗旱、丰产、适应性强、有生产潜力的优良品种为基础,运用综合技术措施,尽可能为作物创造一个除水分外,不受其它栽培因子限制的生长发育环境,使其充分发挥生产潜力。在因素设置方面,以当前旱地春小麦增产的基本技术措施——施肥和深耕为主,同时配合其他不同材料和方式的覆盖栽培技术,以求尽可能多地保蓄土壤水分,并增强其利用程度,以提高春小麦的水分潜力值。

施肥量,依据已有的研究结果,使其高限不成为限制春小麦产量的施肥水平。深耕的深度以机耕或深松可以达到的深度(25~35cm)为限。

覆盖技术带有探索性,以地膜和麦衣为材料。地膜覆盖在春小麦生长期进行,分为生长前期覆盖和生长后期覆盖。生长前期即在播种至麦苗一叶一心时覆盖。生长中后期即在麦苗三叶期以后至成熟间覆盖。麦衣覆盖分别在秋季蓄墒期(8月上旬至10月中、下旬)和生长期(麦苗三叶期以后至成熟行间覆盖)进行。

试验品种,1988~1990年为当地抗旱品种红芒麦。1991~1993年选用正在推广的抗旱丰产型优良春小麦品种81(392)。

试验地选在塬地,土壤为黄绵土,土壤肥力较低。据测定,耕层0~20cm土层养分含量:有机质 $9.52\text{g}/\text{kg}$,氮 $0.762\text{g}/\text{kg}$,磷 $1.54\text{g}/\text{kg}$,全钾 $24.4\text{g}/\text{kg}$,碱解氮 67.8×10^{-6} ,速效磷 3.5×10^{-6} ,速效钾 166.7×10^{-6} 。地势平坦,基本无径流。

土壤水分测定,采用土钻取土烘干称重法,在播种后和收获后及覆盖时测定,深度为0~200cm土层。其中0~20cm以上分为两层,每10cm一层;20cm以下每隔20cm为一层。按土壤容重换算成土壤水厚度,以mm表示。田间管理同大田,中耕锄草一次。除1994年外,其它年份无病虫害发生。

2 结果分析

2.1 春小麦的现实生产力及水分利用

2.1.1 春小麦的现实生产力 根据上黄村大面积测产资料统计(33.3~66.7hm²/a), 1984~1994年春小麦历年最高产量(表1),出现在土壤肥力较高的台地。产量最高的年份出现在1985年。在11年中台地有5次产量超过3000kg/hm²,塬地仅1次(1985),坡地则无1次超过3000kg/hm²。若将不同土地类型产量比较,台地比塬地产量高出30%,比坡地高53.0%。说明土地类型之间在增产潜力上存在很大差别。

表1 上黄村1984~1994年春小麦最高产量 kg/hm²

年份	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	平均
台地	2550	4095	3525	660	2190	2865	3195	3000	1800	3300	2250	2676
塬地	1755	3705	2430	645	1455	2055	2400	2805	1425	2790	1170	2058
坡地	1170	2760	1980	465	1770	1890	2205	1305	1050	660	1305	1505
平均	1327.5	1932	1599	364.5	1080	1182	1500	2370	1425	2250	1575	2080

表2 应用综合技术旱地春小麦的产量及水分利用

年份	技术措施(hm ²)	籽粒产量 (kg/hm ²)	WUE kg/(mm·hm ²)	ET (mm)	土壤水利 利用率(%)
1990	耕深25cm+N135.0 P ₂ O ₅ 98.3kg	2400	7.695	312	58.1
	不施肥	1995	6.585	303	56.4
1991	耕深15cm+N135.0, P ₂ O ₅ 98.3kg+覆盖(播后地膜三叶后麦衣)	2805	9.720	289	58.1
	不施肥、不覆盖	2010	7.230	278	55.9
1992	N、P ₂ O ₅ 各150.0kg+有机肥90000kg+全生育期覆膜	2775	11.865	232	54.7
	N、P ₂ O ₅ 各30.0kg,不覆盖	1350	5.760	233	55.4
1993	N、P ₂ O ₅ 各150.0kg+有机肥90000kg+三叶前覆膜	2790	8.955	310	57.0
	N、P ₂ O ₅ 各30.0kg,不覆盖	1500	4.950	303	55.0
1993	N、P ₂ O ₅ 各135.0kg+秋翻麦衣+三叶后覆麦衣	2730	8.970	304	55.6
	N、P ₂ O ₅ 各30.0kg+秋空翻	1980	6.495	306	55.6
1993	耕深25cm+N、P ₂ O ₅ 各135.0kg+秋覆麦衣+有机肥90000kg	2595	8.385	309	54.2
	耕深15cm+N、P ₂ O ₅ 各45.0kg+秋覆麦衣+有机肥	1920	6.690	292	51.6
1993	N90.0kg+P ₂ O ₅ 135.0kg	2625	7.875	333	61.0
	不施肥	810	2.715	295	53.9
平均	综合技术试验区 对照区	2674.5	9.060	298.4	56.96
		±145.5	±0.143	±32.04	±2.34
		1651.5	5.775	287	54.83
		±456	±1.530	±25.7	±1.63

根据综合技术试验结果(表2),春小麦在旱塬地的最高产量为2700~2805kg/hm²,平均为2674.5kg/hm²,较对照(1650kg/hm²)增产61.82%,达到上黄村台地历年最高产量平均水平(2676kg/hm²),比塬地最高产量(平均2058kg/hm²)高30%。但不论在丰水年、平水年或干旱年份,产量均徘徊不前,由此看来,在年降水量400mm情况下,应用综合技术可大幅度提高旱塬地春小麦产量,但难以突破3000kg/hm²产量水平。似乎有一种因素制约着春小麦生产潜力的发挥。

2.1.2 春小麦对水分利用情况 耗水量(ET):每公顷产2595~2805kg的试区(1991、1992、1993年)为232~333mm,平均298.4mm,以1992年最少(气候特殊年)为232mm。对照区的耗水量为233~306mm,平均287.1mm。综合试验区与对照区的耗水量相差11.3mm相当3.94%,差异很小。

水分利用效率(WUE):综合技术试验区为 $7.695 \sim 11.865 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$, 平均 $9.06 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$; 对照区为 $2.715 \sim 7.230 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$, 平均 $5.775 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。综合技术试验区较对照区提高 $3.285 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$, 相当提高 56.88%, 水分利用效率显著提高。

土壤水利用率(0~200cm 土层贮水):综合技术试验区为 54.2%~58.1%, 平均 56.96%; 对照区为 51.6%~55.9%, 平均 54.83%。综合技术试验区较对照提高 2.13 个百分点, 相当 3.88%, 水分利用率略有提高。

由上看出, 本研究所采取的技术措施, 大幅度提高了春小麦的产量和水分利用效率, 耗水量无明显差异, 土壤贮水利用率虽有提高, 但幅度很小。由此可见, 春小麦产量的增长, 主要是以提高水分利用效率来实现的。这与通过增施肥料大幅度提高(除一定程度提高了光合/蒸腾以外)作物蒸腾与田面蒸发比率有密切关系。

2.1.3 春小麦产量与降水量的关系 综合技术试验结果说明, 在基本满足春小麦需肥要求的情况下, 不论丰水年、平水年或干旱年, 春小麦的产量仍难以突破 $3000 \text{ kg}/\text{km}^2$ 的产量水平, 是否可以认为春小麦的生产力已受到水分因素的影响? 为此, 我们对上黄村近 11 年来的降水量与春小麦的产量进行了回归分析(表 3)结果证明二者之间存在着极密切的关系。春小麦生长发育的土壤水分来源于两个时期, 即农田休闲期和生长期。在固原地区农田休闲期为先年的 8 月至翌年 2 月, 生长期为当年 3 月至 7 月。根据分析结果, 农田休闲期的降水量与产量之间存在极密切的相关关系, r 值为 0.892 5, 达 0.01 显著水平, 其回归方程: $y = 496.275 + 0.7186x$ 。生长期(3~7 月)降水量与产量之间没有显著相关性, r 值为 -0.010 0。春小麦物候年(农田休闲期和生长期)降水量与产量之间相关性亦达极显著水平, r 值为 0.780 1, 说明农田休闲期的降水量是影响春小麦生产力的主要水分因素, 随农田休闲期降水量增加春小麦产量提高。因此, 丰水年并不一定就是春小麦的丰收年, 干旱年也并不一定就减产, 还取决于降水的分布是否与春小麦生长发育期相协调。在综合技术试验期间(1990~1993 年), 3 种降水年

表 3 春小麦的生产力与降水量的关系 mm

年份	农田休闲 期降水量	生长期 降水量	物候年 降水量	自然年 降水量	最高产量 kg/hm ²	平均产量 kg/hm ²
1983	—	—	—	467.6	—	—
1984	207.1	317.7	524.8	633.9	2550	1327.5
1985	316.1	225.7	541.9	490.1	4095	1932
1986	264.9	193.0	457.9	284.8	3525	1599
1987	94.1	180.8	274.9	324.6	660	365
1988	150.9	230.9	381.8	438.6	2190	1080
1989	212.0	171.9	383.9	354.5	2865	1182
1990	182.8	199.8	382.6	475.1	3195	1500
1991	266.8	163.8	430.6	259.7	3000	2370
1992	90.8	188.9	279.7	523.5	1800	1425
1993	294.7	200.2	494.9	335.3	3300	2250
1994	143.5	286.1	429.6	—	2250	1575
平均	202.2	214.4	411.6	417.1	2676	1509

型, 春小麦的产量均在 $2595 \sim 2805 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 之间, 原因即在于此。根据我们已有的研究结果, 春小麦农田休闲期的土面蒸发相当大, 平均约占年降水量的 26.7%。综合技术试验期间年平均降水量 409.5mm。即是说这 409.5mm 降水量, 在农田休闲期已有 109.3mm 被蒸发损失, 实际用于春小麦的降水仅 300.2mm, 与本试验每公顷产 2674.5 kg 平均耗水量 298.4mm 基本相

符。由此可以认为春小麦的产量已受到农田土壤水分不足的限制。

再据已有的研究结果,本区在旱作条件下,春小麦产量与耗水量呈线性相关(引自邓西平1992年田间试验):

$$y = 600.81 + 1.0697x \quad r = 0.9949$$

即提高春小麦的耗水量可以使产量进一步提高。提高春小麦耗水量的途径,主要是抑制农田土面蒸发和挖掘深层土壤贮水为之有效利用。

2.2 不同技术措施在旱地春小麦增产和水分利用中的作用

表4是覆盖、化肥、有机肥三元一次回归正交试验的分析结果。

应用回归模型: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \dots$,

x_1 代表覆盖,设0,1,2,三个水平,分别表示不覆盖、半生育期覆盖、全生育期覆盖或前期(播后至三叶期)覆盖。 x_2 代表化肥,设2,6,10三个水平,即每公顷施N和 P_2O_5 各30.0,90.0,150.0。 x_3 代表有机肥,设0,3,6三个水平,分别为每公顷施0,45,90t。

表4 三元一次回归正交试验分析结果

回归方程	方程 F 值	方程 F 的置信概率	回归系数 F t 置信概率	标准回归估测值
籽粒产量(kg/hm ²)				
$y = 1250.85 + 5.875x_1 + 3.935x_2 + 7.519x_3$ (1992年)	19.396	0.999988	$p_1 = 0.88033$ $p_2 = 0.99957$ $p_3 = 0.999978$	$b_1 = 0.148$ $b_2 = 0.400$ $b_3 = 0.574$
$y = 1390.425 + 5.225x_1 + 5.625x_2 + 4.70x_3$ (1993年)	30.244	0.999998	$p_1 = 0.925909$ $p_2 = 0.999997$ $p_3 = 0.999875$	$b_1 = 0.151$ $b_2 = 0.652$ $b_3 = 0.409$
$y = 278.82 + 5.204x_1 + 2.591x_2 + 1.035x_3$ (1994年)	41.977	0.999999	$p_1 = 0.999853$ $p_2 = 0.999999$ $p_3 = 0.992596$	$b_1 = 0.363$ $b_2 = 0.722$ $b_3 = 0.216$
水分利用效率 (kg/mm · hm ²)				
$y = 5.4495 + 0.0416x_1 + 0.01589x_2 + 0.02637x_3$ (1992年)	34.611	0.999999	$p_1 = 0.999054$ $p_2 = 0.999971$ $p_3 = 0.999995$	$p_1 = 0.289$ $b_2 = 0.442$ $b_3 = 0.550$
$y = 4.6635 + 0.00756x_1 + 0.0175x_2 + 0.01626x_3$ (1993年)	28.111	0.999998	$p_1 = 0.431557$ $p_2 = 0.999996$ $p_3 = 0.999917$	$b_1 = 0.068$ $b_2 = 0.634$ $b_3 = 0.440$
$y = 1.1058 + 0.01541x_1 + 0.00888x_2 + 0.0027x_3$ (1994年)	27.398	0.999997	$p_1 = 0.998129$ $p_2 = 0.999998$ $p_3 = 0.929063$	$b_1 = 0.306$ $b_2 = 0.704$ $b_3 = 0.161$

从表4看出,覆盖、化肥、有机肥3因素,在综合增产和提高水分利用效率中,化肥均表现为主要因素,极为显著,其次为有机肥。有机肥在3年增产中亦达到极显著水平,在水分利用效率中仅1994年效果不够显著。地膜覆盖在不同年份表现不同,其增产作用除1994年达到显著水平外,1992年和1993年均不显著,在提高水分利用效率方面,在生育期干旱的1992年和1994年有显著的效果,而在生育期水分比较好的1993年则效果不显著。

由上述结果可以看出,各个因素在春小麦综合技术栽培中的主次关系。为了明确它们之间的量化关系,根据正交设计的均匀分散性和整齐可比性,则试验结果中的最优组合,即全1水平组合的产量与全2水平组合的产量之差,即增产总量与各因素1水平与2水平间增产量的和相等。由此计算出各因素在综合增产中的百分数,用以反映因素的量化概念。据上述三元一

次回归正交试验方程计算结果,基本与此相附,误差小于5%,证明这一方法是正确的。

表5 综合技术栽培春小麦各因素对增产的贡献 kg/hm^2

年份	项目	覆盖	化肥 ($\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5\text{kg}/\text{hm}^2$)	有机肥 (kg/hm^2)	耕深 (cm)	合计	回归方程 计算结果
1992	全优组合	(全期地膜)	+ (150+150)	+	(90000)	—	2775
	对照	(不覆)	+ (30+30)	+	(0)	—	1365
	因素增产量	180.0✓	555*	675**	—	1410	1324.5
	占增产总量%	13.6	35.2	51.1	—	2790	—
1993	全优组合	(三叶前膜)	+ (150+150)	+	(90000)	—	2790
	对照	(不覆)	+ (30+30)	+	(90000)	—	1536
	因素增产量	156✓	675**	423**	—	1254	1255.5
	占增产总量%	12.4	53.8	33.7	—	100	—
1994	全优组合	(三叶前膜)	+ (150+150)	+	(90000)	—	885
	对照	(不覆)	+ (30+30)	+	(0)	—	355.5
	因素增产量	126**	310.5**	93.0*	—	529.5	559.5
	占增产总量%	23.8	58.6	17.6	—	100	—
1993	全优组合	(三叶后麦衣)	+ (135+135)	+	(秋翻麦衣)	—	2730
	对照	(不覆)	+ (45+45)	+	(秋翻麦衣)	—	2043
	因素增产量	289.5**	397.5**	0	—	687	—
	占增产总量%	42.1	57.9	0	—	100	—
1993	全优组合	(秋覆麦衣)	+ (135+135)	+	(90000)	25	2595
	对照	(不覆)	+ (45+45)	+	(0)	15	1965
	因素增产量	0	351**	279**	—	630	—
	占增产总量%	0	55.7	44.3	—	100	—

注:*,**分别表示达到0.05和0.01显著水平。✓表示接近0.05显著水平。

表6 综合技术栽培春小麦各因素对水分利用效率贡献 kg/hm^2

年份	项目	覆盖	化肥 ($\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5\text{kg}/\text{hm}^2$)	有机肥 (kg/hm^2)	耕深 (cm)	合计	回归方程 计算结果
1992	全优组合	(全期地膜)	+150+150	+	(90000)	—	11.865
	对照	(不覆)	+ (30+30)	+	(0)	—	6.12
	因素提高量	1.245*	1.905**	2.595**	—	5.745	5.535
	占提高总量%	21.7	33.2	45.2	—	100	—
1993	全优组合	(三叶前膜)	+ (150+150)	+	90000	—	8.955
	对照	(不覆)	+ (30+30)	+	(0)	—	5.145
	因素提高量	0.225	2.115**	1.470**	—	3.81	3.795
	占提高总量%	5.9	55.5	38.6	—	100	—
1994	全优组合	(三叶前膜)	+ (150+150)	+	90000	—	3.003
	对照	(不覆)	+ (30+30)	+	(0)	—	1.233
	因素提高量	0.462**	1.065**	0.243	—	1.770	1.770
	占提高总量%	26.1	60.2	13.7	—	100	—
1993	全优组合	(三叶后麦衣)	+ (135+135)	+	(秋翻麦衣)	—	8.970
	对照	(不覆)	+ (45+45)	+	(秋翻麦衣)	—	6.465
	因素提高量	1.245**	1.260**	0	—	2.505	—
	占提高总量%	49.7	50.3	0	—	100	—
1993	全优组合	(秋覆麦衣)	+ (135+135)	+	(90000)	+25	8.385
	对照	(不覆)	+ (45+45)	+	(0)	+15	6.495
	因素提高量	0	0.720**	0.900**	0.270	1.890	—
	占提高产量%	0	38.1	47.6	14.3	100	—

注:*,**分别表示达到0.05和0.01显著水平。

从表5看出,在3年5次试验中,化肥1水平在综合增产中的贡献,为35.2%~58.6%,平

均 51.0%。有机肥在 4 次综合增产试验中,占 17.6%~51.1%,平均 35.4%。地膜覆盖在 3 年 3 次综合试验增产中的贡献很小,为 12.4%~23.8%,平均 16.6%,仅 1994 年产量差异达到 1%显著水平。深耕的作用为 11.4%,差异不显著。三叶期后行间覆盖麦衣,虽有一次试验结果,但可看出,它在三因素试验中,增产量占增产总量的 42.1%,差异达 0.01 显著水平。秋季覆盖麦衣或将麦衣翻入土壤中均无增产作用。

上述结果说明,施用化肥,每公顷施 N 和 P_2O_5 各 135~150kg,无论任何年份,在综合技术栽培中,对增产和水分利用效率提高的贡献都是主要的,约占 50%左右,有机肥每公顷施量 90 000kg,在综合技术栽培中的贡献,仅次于化肥,为 35%左右。由于有机肥质量差异和年际气候差异,有机肥的作用较不稳定。覆盖技术在综合技术栽培中的贡献,主要表现在提高水分利用效率方面,约占 15%~20%,较增产的贡献大些,覆盖在水分条件差的年份贡献大于在水分条件好的年份。深耕对增产和提高水分利用效率差异均不显著。

表 7 增施化肥对春小麦产量及水分利用的效应

年份	施肥量(kg/hm ²) (N : P_2O_5)	产量 (kg/hm ²)	增产量 (kg/hm ²)	增产 (%)	ET (mm)	WUE (kg/hm ²)	提高 (%)	土壤水利 用率(%)
1990	90 : 90	1897.5	660	53.3	291.0	6.540	49.8	55.1
~	0 : 90	1800	562.5	45.5	291.5	6.225	42.6	56.1
1991	0 : 0	1237.5		0.0	283.5	4.365	0.0	54.6
1992	150 : 150	2332.5	570	32.3	272.0	8.640	30.3	56.6
~	90 : 90	2377.5	615	34.9	270.0	8.940	34.8	55.0
1993	30 : 30	1762.5		0.0	269.0	6.630	0.0	55.8
1993	90 : 135	2625	1815	224.1	333.0	7.875	190.0	61.0
	90 : 45	2195	1380	170.4	316.0	7.425	173.5	56.9
	0 : 0	810		0.0	295.0	2.715	0.0	53.9
1993	135 : 135	2335.5	1255.5	18.2	306.0	7.650	15.9	55.1
	135 : 90	2415	425	22.0	306	7.905	19.8	56.0
	45 : 45	1980		0.0	301	6.600	0.0	54.5
1993	120 : 60	1890	585	44.8	313.0	6.000	42.9	56.0
	60 : 30	1560	255	19.5	318	4.950	17.9	56.0
	0 : 0	1305		0.0	311.0	4.200	0.0	55.0

2.3 施用不同用量化肥对春小麦产量及水分利用的效应

本试验地可代表宁夏南部半干旱黄土丘陵区山、塬旱地肥力水平,常年不施用有机肥。施肥方法采用结合秋耕将化肥撒于地面,然后翻入土壤中,一次施用,以后不再追肥。试验结果如表 7。结果表明:(1)每公顷产春小麦 1 305kg 生产水平的耕地上,每公顷施用 N60.0kg 和 P_2O_5 30.0kg,产量可提高到 1 560kg,增产 255.0kg,增产率 19.5%。水分利用效率由 4.20kg/(mm·hm²)提高到 4.95kg/(mm·hm²),提高 19.7%,每公顷施 N 和 P_2O_5 各 90.0kg,可增产 615~660kg,增产率 34.9%~53.3%。水分利用效率由 4.365kg/(mm·hm²)提高到 6.54~8.94 kg/(mm·hm²),提高 34.9%~49.8%;(2)N 和 P_2O_5 配合比例 2 : 1,1hm² 用量达到 194.1kg 时,再增施化肥无增产效果或减产;(3)单施 P_2O_5 90kg 和 N、 P_2O_5 各 90kg 配合施用产量差异较小,前者增产 562.5kg,后者增产 660.0kg,施磷效果极显著。(4)在这种土壤上,氮、磷配合比例,对春小麦产量有显著影响。氮、磷配合以每公顷施氮 90kg 与五氧化二磷 135kg 最优。

增施化肥显著提高了春小麦的水分利用效率(WUE)。由表 7 可知:(1)春小麦的耗水量在

多数情况下没有显著提高,只有在产量较高,增产特别显著的情况下,耗水量才有所增加。如1993年每公顷N90kg和 P_2O_5 135kg的氮、磷配合试验;(2)土壤水利用率虽有所提高,但幅度很小(0.5~1.5个百分点),只有在增产特别显著的情况下才有大幅度提高,才能体现以肥调水的作用;(3)据已有研究结果,春小麦产量与耗水量呈线性关系,即提高耗水量,产量相应提高。但在旱作条件下,增施化肥显著增产而耗水量却并未相应提高,因而只能是由于营养物质供给提高了春小麦的光合/蒸腾及蒸腾/蒸发比率的结果,从而提高了水分利用效率。(在产量较高而增产幅度大的情况下,作物水分来源于土壤中贮存的水分较多,这种情况下,水分利用效率并不一定提高。

2.4 施用有机肥对春小麦产量及水分利用的效应

方差分析结果表明,每公顷施用有机肥90000kg增产十分显著,分别比对照增产41.3%,13.7%和22.5%;水分利用效率分别达到9.705,7.83和7.59kg/(mm·hm²),分别提高了36.4%、13.0%和24.2%。在土壤干旱的情况下,增产率和水分利用效率提高幅度较大。耗水量年际间差异较大,处理间无差异。土壤水利用率基本无差异。

表8 有机肥对春小麦产量及水分利用的效应

年份	施用量 (kg/hm ²)	产量 (kg/hm ²)	增产量 (kg/hm ²)	增产 (%)	ET (mm)	WUE [kg/(mm·hm ²)]	提高 (%)	土壤水利 用率(%)	增减
1992	90000	2310**	675	41.3	240	9.705**	36.44	56.2	1.6
	0	1635		0.0	225	7.110	0.0	54.6	
1993	90000	2370**	285	13.7	301	7.830**	13.0	53.4	0.2
	45000	2085		0.0	301	6.930	0.0	53.2	
1993	90000	2325*	420	22.5	307	7.590**	24.2	55.7	-0.6
	0	1905		0.0	310	6.120	0.0	56.3	

注:*,**分别表示达到0.05和0.01差异显著水平。

2.5 有机肥用量及与化肥配合施用效果

据我们1985年在台地所作有机肥、化肥、品种三因素四水平正交试验结果(表9、表10),当年春小麦物候年降水541.9mm的丰水年条件下,随有机肥施用量增加,春小麦的产量递增,但只有在每公顷施有机肥用量达到45000~60000kg时,才与每公顷施15000kg有机肥的产量差异达到0.05及0.01显著水平。说明只有大量施用有机肥才能显著的增产效果。

表9 不同用量有机肥的增产效果

施肥量 (kg/hm ²)	产量 (kg/hm ²)	增产 (%)	差异 ($\alpha=0.05$)	显著性 $\alpha=0.01$
60000	2728.5	10.0	a	A
45000	2656.5	7.1	a	AB
30000	2596.5	4.7	ab	AB
15000	2479.5	0.0	b	B

在上述气候条件下,有机肥与化肥配合施用,每公顷施有机肥45000kg与N45.0kg、 P_2O_5 22.5kg配合最优。减少有机肥用量应增加化肥用量,每公顷施有机肥15000kg时,可增施化肥用量到N67.5kg和 P_2O_5 33.75kg;有机肥每公顷用量提高到60000kg时,化肥量可减少到N22.5kg和 P_2O_5 11.25kg,同时可获公顷产3000kg左右的产量,增施有机肥到60000kg和化肥N90.0kg、 P_2O_5 45.0kg时,春小麦发生倒伏,产量降低,有机肥和化肥用量不足,同一品种产量有所降低。

上述结果说明,有机肥与化肥配合施用,过多或过少都会影响春小麦产量,应有合理的配

合比例。另外,在有机肥与化肥配合施用,还应考虑有机肥的质量问题,合氮量高的有机肥可适当提高磷肥施用量,减少氮肥施用量,反之亦然。本试验所用有机肥为含氮量较高的人畜粪便与土的混合物,故当公顷施有机肥量到 60 000kg,化肥量 N90.0kg, P_2O_5 45.0kg 时,在多雨年份春小麦即发生倒伏,影响了产量。

表 10 有机肥与化肥配合施用的效果

品种	有机肥 (kg/hm ²)	化肥 N+P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	产量 (kg/hm ²)	差异显著性	
				($\alpha=0.05$)	$\alpha=0.01$
固春 5 号	45000	45.0+22.5	3134	a	A
固春 5 号	15000	67.5+33.75	3101	a	AB
定西 32 号	60000	22.5+11.25	3030	a	AB
固春 5 号	60000	90+45	3000	a	AB
固春 5 号	30000	45+11.25	2940	ab	AB
定西 32 号	30000	90+45	2843	ab	AB
红芒麦	60000	45+22.5	2792	ab	AB
定西 32 号	45000	67.5+33.25	2784	ab	AB
红芒麦	30000	67.5+33.25	2751	ab	AB
红芒麦	45000	90.0+45.0	2693	ab	AB
红芒麦	15000	22.5+11.25	2583	ab	AB
定西 32 号	15000	45.0+22.5	2384	b	B
晋 2148	60000	67.5+33.25	2076	b	B
晋 2148	45000	22.5+11.25	2009	b	B
晋 2148	30000	45.0+22.5	1842	b	B
晋 2148	15000	90.0+45	1842	b	B

表 11 春小麦行间覆盖对产量及水分利用的效应

年份	覆盖技术	产量	增产量	增产	ET(%)	WUE	提高	土壤水利
		(kg/hm ²)	(kg/hm ²)	(%)		(kg/mm·hm ²)	(%)	用率(%)
1991	三叶前膜,后麦衣	2535	270	11.9	293	8.685**	10.9	58.7
	不覆盖	2265	0	0.0	289	7.830	0.0	58.1
1992	三叶后覆膜	2280**	405	20.8	232	9.840**	26.4	54.8
	全生育期覆膜	2055	180	9.6	225	9.030*	16.0	53.8
	不覆盖	1875	0	0.0	240	7.785	0.0	57.0
1993	三叶前覆膜	2190	150	7.4	315**	6.975	3.3	57.2**
	三叶后覆膜	2475	435	21.3	308	8.025**	18.9	55.4
	不覆盖	2040	0	0.0	301	6.750	0.0	54.8
1993	三叶后覆麦衣	2370	300	14.5	299**	7.920**	18.7	54.6**
	不覆盖	2070	0	0.0	312	6.675	0.0	56.7
1993	秋覆麦衣	2250	60	2.7	303	7.425	1.2	53.4
	不覆盖	2190	0	0.0	299	7.335	0.0	53.1

注:*,**分别达到 0.05 和 0.01 差异显著水平。

2.6 覆盖技术对春小麦产量及水分利用的效应

由表 11 看出,在春小麦生长期采用行间覆盖技术,除了个别运用不当减产外,都可提高产量和水分利用效率。

地膜覆盖以春小麦三叶期以后覆盖优于三叶期以前和全生长期覆盖。因为地膜覆盖在春小麦幼苗三叶期以前虽可促进幼苗早发旺长,但春小麦生长后期干旱,水分供应不足,土壤水分在生长前期大量消耗,势必加剧了后期干旱胁迫的程度,籽粒灌浆受到影响而降低产量。

在前作春小麦收获后(8 月 4 日),立即耕翻并耱平,然后覆盖麦衣,每公顷 4 950kg,到秋末(10 月 15 日)翻入土壤中。经测定,覆盖较不覆盖可多蓄降水 20mm,与对照差异达 0.01 显

著水平。但由于耕翻和在漫长的秋、冬时期土面蒸发的缘故,多蓄的土壤水分到翌年3月播种时已蒸发殆尽,对当年增产和水分利用效率提高无明显作用。

2.7 深耕对春小麦产量及水分利用的效应

2.7.1 深耕蓄水效果 加深耕层是一项蓄水的有效措施,试验再次证明,在春小麦收获后,即时深翻至25cm和35cm,翻后耱平,8月6日至10月13日测定结果表明,0~200cm土层含水量,深耕25~35cm较浅耕15cm增加14~24mm,耕深25cm与35cm差异不显著。随时间向后推移,土壤中所蓄水分逐渐消失,到翌年播种时(历时233d)则减少到9~14mm,土面蒸发损失5~10mm。可见深耕蓄水还需要与抑制土面蒸发的保墒措施相结合,使所蓄降水得到有效利用。根据检验结果,达不到显著水平。

2.7.2 深耕对春小麦产量及水分利用的效应 1990~1993年多因素综合正交试验分析结果表明,深耕对春小麦增产和水分利用效率提高的效果很小,只有在与适当的施肥量配合情况下,才能发挥深耕的作用。

1988~1990年试验结果表明,当每公顷施N10.5kg和 P_2O_5 13.8kg及农家肥15000kg时,深耕25cm较浅耕15cm增产8.2%,差异不显著;而当施肥水平提高到每公顷N900kg和 P_2O_5 40.5kg及农家肥30000kg时,深耕与浅耕的产量差异达到5%显著水平,增产率11.2%。1993年,当每公顷施N和 P_2O_5 各45.0kg,深耕25cm或35cm的产量与浅耕15cm没有差异;而当施肥水平提高到每公顷N和 P_2O_5 各135kg时,增产率随耕层加深而提高,耕深25cm较浅耕15cm增产19.3%,耕深35cm增产25.2%,差异均达1%显著水平。上述结果说明,只加深耕层不一定都能增产,必须与相应的施肥量配合或在肥沃的耕地上进行深耕,才会获得显著增产。

试验结果还表明,不论深耕或浅耕、施肥量多少,作物的耗水量和土壤水利用率差异都很小,但水分利用效率却有明显的不同。在低肥条件下,深耕与浅耕的水分利用效率差异不显著,随施肥水平提高,水分利用效率的差异显著。深耕25cm较浅耕15cm水分利用效率提高14.2%~17.1%,差异达到0.01显著水平。深耕35cm较25cm水分利用效率有所提高,但差异不显著。可见深耕对春小麦耗水量和土壤水利用没有明显的影响,对水分利用效率的影响与增产的原理一致。

3 结 论

研究结果表明,山、塬旱地,土壤肥力瘠薄,有机质含量低,要实现3000kg/hm²的产量目标,水分利用效率提高到9.0kg/(mm·hm²)以上,最主要的技术途径是增施化肥和有机肥料。在瘠薄耕地上,单施化肥公顷施N和 P_2O_5 各30~45kg,即可增产春小麦300kg左右,增产率可达20%,公顷施N和 P_2O_5 各90.0kg,可增产600kg左右,增产率40%~50%。公顷施有机肥90000kg,较不施可增产420~675kg,增产率为22.5%~41.3%。加深耕层与适当的施肥量配合,也是提高春小麦产量的一个重要措施,可增产150~450kg/hm²,增产率为11.2%~25.2%。除此之外,还需把降水最大限度地保蓄在土壤中为作物有效利用,否则即使有足够的肥料,也难以实现这一目标。因此,首先必须改变坡耕地地形,修成各种类型的梯田,就地拦蓄降水,同时必须采取有效的覆盖保墒栽培技术,最大限度地抑制土面蒸发,使降水为作物生产利用。