

旱地玉米水分高效利用平衡 施肥技术的试验研究*

周怀平 李红梅 杨治平 王久志
(山西省农业科学院)

摘 要 通过 6 年田间试验研究,探讨平衡施肥技术对旱地玉米水分利用的影响。结果表明,在晋东豫西半湿润偏旱区,采用适宜的肥料品种、适宜的肥料用量、适宜的施肥时期以及适宜的施肥培肥方式方法,即采用平衡施肥技术有利于旱地玉米水分利用效率的提高,同时,可培肥土壤、保蓄土壤水分,促进旱地玉米对水分的充分利用。

关键词 玉米 平衡施肥 水分利用效率 晋东豫西

晋东豫西半湿润偏旱区,年降水量在 500 mm 左右,是典型的雨养农业区,玉米是该区主要粮食作物之一,产量占全区粮食总产的 1/3 以上。多年来,随着抗旱良种、水平梯田、传统抗旱耕作技术以及地膜生物覆盖栽培等一系列蓄水保土措施的推广应用^[1~5],旱地玉米产量由 70 年代末的每公顷 3000 kg 左右,提高到近年的 5250 kg 左右,水分利用效率达到 10.5~12.0 kg/(mm·hm²),但是,该区旱地玉米水分生产潜力为 13110 kg/hm²^[6],可挖掘的水分生产潜力还很大,分析其原因主要是该区有 3/4 以上面积的耕地属中低肥力水平,施肥存在诸多不合理现象,导致旱地玉米产量低而不稳,影响了水分的充分利用。针对上述状况,“八五”以来,我们在晋东豫西(寿阳)旱农试区布设了大量施肥培肥试验,研究平衡施肥技术措施对提高旱地玉米产量,充分利用自然降水的作用。

表 1 供试土壤耕层土壤基础养分

Tab 1 Background soil nutrient contents of the experiment plots

1 材料与方法

1.1 试验条件及材料

1) 试验地土壤状况 土壤为褐土性土,质地多为轻、中壤,土层深厚,地下水埋深多在 20m 以上,供试土壤基础养分状况如表 1。

2) 气候特点 多

地点	土壤有机质 /%	全氮 /%	碱解氮 /mg·kg ⁻¹	速效磷 /mg·kg ⁻¹	速效钾 /mg·kg ⁻¹
油罐咀	2.31	0.097	108.0	4.55	86.5
围堰	2.40	0.100	115.7	5.01	81.3
东园南	2.37	0.098	77.0	7.61	136.5
西畛	1.66	0.097	102.3	6.03	113.3
埝槽	1.87	0.099	63.4	4.98	75.0
北坪	2.77	0.107	76.4	2.80	95.0

年平均气温 7.4℃, 10℃ 年积温 2490~3210℃, 无霜期 140 天, 多年平均降水量 511.3 mm, 多年平均潜在蒸散量 760 mm, 水分亏缺量 256.0~666.1 mm, 春旱频繁。

收稿日期: 1998-09-03

* 国家“九五”重点科技攻关项目(96-004-04-02)

周怀平, 助理研究员, 太原市农科北路 64 号 山西省农科院土壤肥料研究所, 030031

3) 试验材料 试验用氮肥采用进口尿素含 N 46 % , 磷肥为过磷酸钙含 P_2O_5 14 % , 锌肥为 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 有机肥为腐熟牛粪, 秸秆为风干玉米秸秆。供试玉米品种为烟单 14, 种植密度 5250~ 6000 株/ hm^2 , 播期 4 月 15~ 25 日, 播深 4~ 7 cm。

1.2 试验设计

1) 土壤水肥状况对旱地玉米水分利用影响试验 1992 年 4 月, 在寿阳县宗艾村的油罐咀等地块上布置试验, 每公顷施纯氮 150 kg、磷素(P_2O_5) 90 kg。

2) 氮磷肥和有机肥配合施用试验 1992 年 4 月设在寿阳县宗艾村北坪地块上, 采用氮、磷、有机肥三因素四水平正交随机设计, 共 18 个处理, 施肥量见表 2。

3) 磷、锌肥配合试验 1993 年布设在寿阳县范村的东园南地块, 每公顷施纯氮 150 kg, 各处理磷、锌肥用量见表 3。

4) 不同施肥培肥方式方法(定位)试验 自 1992 年秋开始, 历时 5 年。试验采用裂区设计, 主区为春施肥(S)和秋施肥(A), 春施肥是结合春播, 穴施或浅条施化肥, 施肥深度 4~ 7 cm, 秋施肥是结合秋季深耕翻地, 条施或全耕层深施肥, 施肥深度 10~ 25 cm, 化肥全部底施。副区为秸秆不同还田方式处理, 即: 传统施肥量: N 120 kg/ hm^2 和 P_2O_5 52.5 kg/ hm^2 ; 适宜施肥量: N 150 kg/ hm^2 和 P_2O_5 84 kg/ hm^2 ; 秸秆覆盖还田: 秸秆量 6000 kg/ hm^2 , 配施适宜施肥量; 秸秆直接还田: 秸秆量 6000 kg/ hm^2 , 配施适宜施肥量; 秸秆过腹还田: 牛粪(湿) 45 t/ hm^2 , 配施适宜施肥量。

1.3 观测项目与方法

土壤含水量采用土钻取土烘干法测定, 观测深度 200 cm, 降水量用试区安装的雨量筒观测, 玉米成熟后, 以区计产, 土壤养分采用常规分析方法测定。

1.4 耗水量和水分利用效率的计算

采用农田水分平衡计算玉米生育期耗水量。在不考虑地表径流和地下水补给、深层渗漏的情况下, 用简化水分平衡方程式

$$ET = P - \Delta W \quad (1)$$

式中 ET ——玉米生育期耗水量, mm; P ——生育期降雨量, mm; ΔW ——玉米收获时与播种前土壤贮水量之差, mm。

玉米水分利用效率为玉米消耗单位水量所产出的玉米籽粒量。其计算式

$$WUE = Y/ET \quad (2)$$

式中 WUE ——玉米水分利用效率, kg/(mm · hm^2); Y ——玉米单位面积产量, kg/ hm^2 。

2 结果与分析

2.1 肥料品种、用量与旱地玉米水分利用效率的关系

2.1.1 氮磷肥、有机肥配合施用对旱地玉米产量、生育期耗水量以及水分利用效率的影响

试验设计及结果如表 2。根据试验结果, 我们将该试验各处理的玉米产量、生育期耗水量和水分利用效率人为划分为三个档次, 即

等级水平	玉米产量 /kg · hm^{-2}	生产期耗水量 /mm	水分利用效率 /kg · (mm · hm^2) $^{-1}$
高	7500	400	18.75
中	6000~ 7500	380~ 400	15.75~ 18.75
低	6000	380	15.75

按照上述划分标准, 共分为九个类型。其中 1 号处理为“低、低、低”类型, 表示低产量、低耗水量、低水分利用效率, 其余各处理类同。从表 2 不难看出, 无肥区 17 号处理, 属“极低、低、极低”类型, 虽然其耗水量最少, 玉米产量也最低; 1 号处理投肥量低, 产量也低, 虽然耗水量也较低, 但最终水分利用效率是所有施肥区中最低的。不施肥或低投入的方法, 虽然玉米生育期耗水较少, 但产量太低不可取。2 号、3 号、4 号、7 号、8 号、9 号、10 号、12 号各处理, 由于养分失衡, 不利于玉米产量的提高, 水分利用效率属中下水平; 16 号处理, 盲目高投入, 导致玉米减产同样是不可取的。单施高量有机肥的 18 号处理, 虽然玉米产量中等, 耗水较少, 水分利用效率较高, 但由于当前有机肥数量有限, 是不现实的。单施化肥的 1 号、6 号、11 号和 16 号处理, 玉米产量、生育期耗水量和水分利用效率均属中低水平。只有氮磷化肥和有机肥合理配施的方法, 如 5 号、13 号和 14 号处理, 才能达到以较合理的肥料投入, 获得较高的玉米产量, 水分得到充分利用的目的。

表 2 氮磷肥、有机肥配合施用试验结果

Tab 2 Results of N and P fertilizer application in matching with organic fertilizer

处理	施 肥 量			玉米产量 /kg · hm ⁻²	生育期耗水量 /mm	水分利用效率 /kg · (mm · hm ²) ⁻¹	产量、耗水量 水分利用效率 的等级类型
	N /kg · hm ⁻²	P ₂ O ₅ /kg · hm ⁻²	有机肥 /t · hm ⁻²				
1	60	37.5	0	4965.0	372.7	13.32	低、低、低
2	60	75.0	22.5	6105.0	406.8	15.02	中、高、低
3	60	112.5	45.0	6474.0	394.5	16.41	中、中、中
4	60	150.0	67.5	6703.5	385.0	17.42	中、中、中
5	120	37.5	22.5	7068.0	387.2	18.26	中、中、中
6	120	75.0	0	6382.5	381.1	16.74	中、中、中
7	120	112.5	67.5	6115.5	407.1	15.02	中、高、低
8	120	150.0	45.0	7756.5	405.3	19.14	高、高、高
9	180	37.5	45.0	6880.5	387.1	17.78	中、中、中
10	180	75.0	67.5	7074.0	400.6	17.66	中、高、中
11	180	112.5	0	5874.0	393.3	14.94	低、中、低
12	180	150.0	22.5	7135.5	381.9	18.68	中、中、中
13	240	37.5	67.5	7702.5	392.9	19.61	高、中、高
14	240	75.0	45.0	8626.5	395.5	21.81	高、中、高
15	240	112.5	22.5	5899.5	389.8	15.14	低、中、低
16	240	150.0	0	5836.5	388.8	15.02	低、中、低
17	0	0	0	2697.0	357.6	7.55	极低、低、极低
18	0	0	135.0	7017.0	368.6	19.05	中、低、高

2.1.2 磷、锌肥配合施用对旱地玉米产量、生育期耗水量以及水分利用效率的影响

分析磷锌肥配合施用试验结果(表 3), 可以看出, 随着磷肥量的增加, 玉米产量和水分利用效率提高, 但磷肥用量较高时, 玉米增产幅度减小, 水分利用效率有降低趋势。每公顷施用锌肥 15 kg 可增产玉米 469.5~ 832.5 kg, 水分利用效率可提高 1.17~ 2.54 kg/(mm · hm²)。

根据历时 6 年近 30 个施肥试验结果, 以提高旱地玉米产量, 水分得到高效利用为标准, 提出推荐施用化肥方案(表 4)

表 3 磷锌肥配合施用试验设计及结果

Tab 3 The experimental design and results of P fertilizer application in matching with Zn fertilizer

处理	施 肥 量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$			玉米产量 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	生育期耗水量 mm	水分利用效率 $\text{kg} \cdot (\text{mm} \cdot \text{hm}^2)^{-1}$
	N	P_2O_5	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$			
1	150	37.5	0	5767.5	442.9	13.02
2	150	75.0	0	7111.5	447.1	15.81
3	150	112.5	0	7570.5	444.8	17.03
4	150	150.0	0	7761.0	458.2	16.94
5	150	37.5	15	6600.0	424.5	15.56
6	150	75.0	15	7566.0	432.1	17.51
7	150	112.5	15	8392.5	434.5	19.32
8	150	150.0	15	8230.5	454.6	18.11

表 4 旱地玉米水分高效利用推荐施用化肥方案

Tab 4 The plan of recommendation of optimum fertilizer application on water efficient application on dryland corn
 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

地块类型	前三年玉米 平均产量	目标产量	推荐施肥量			
			N		P_2O_5	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
			基肥	追肥	基肥	基肥
沟河地	7500	9000	120~180	30~90	90~120	15~30
沟坝地	6000~6750	8250	90~135	30~45	75~135	15~30
塬坪地	4500~5250	6750	90~120	30~60	75~105	15
梁坪地	3000~4500	5250	75~120	—	60~90	—

2.2 土壤水肥状况对旱地玉米水分利用的影响

油罐咀、围堰都是旱坪地,质地轻壤,无地下水补充,耕层土壤养分状况相似,围堰地块播前土体贮水量比油罐咀地块充裕(表 5),旱地玉米产量和耗水量、水分利用效率较高。春季土体贮水量相差 40 mm,玉米产量、耗水量和水分利用效率分别提高 636 kg/hm^2 、39.3 mm 和 0.06 $\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,可见,旱地农田通过各种蓄水保墒措施,增加播前土体贮水,有利于玉米产量和水分利用效率的提高。

东园南、西畛、埝槽地块,播前土体贮水量相近,但土壤肥力水平不同(表 1),东园南属高肥力地块,西畛属中高肥力地块,而埝槽属中低肥力地块。在施肥相同的情况下,由于土壤肥力的差异,各地块玉米产量、耗水量和水分利用效率差异较大。土壤养分越充裕,旱地玉米产量和水分利用效率就越高。肥力较低的埝槽地块,生育期耗水较多,表明土壤水分有较多的蒸散,无效损耗增加。

2.3 施肥时期和施肥培肥方式方法与旱地玉米水分利用效率的关系

寿阳旱农试区,有 70 % 左右的降水集中在 6~9 月,而 12~3 月降水仅为全年降水量的 4.1 %~6.9 %,春季风大,持续时间长,春旱十分频繁,大部旱地耕层土壤水分只能勉强维持玉米种子的萌发,如此时进行春耕翻施肥,将进一步加重水分的散失,影响种子萌发。秋季结合深耕翻秸秆还田秋施肥后精细耙耱,春季顶凌耙耱,直接机播,可起到秋保春墒的作用。同时,秋季深施肥,促进下层根系的生长,有利于对深层土壤水分的吸收利用。从 5 年玉米累计总产结果看,秋施肥较春施肥增产 2560~3880 kg,各种秸秆还田配合秋施肥增产 5850~7090 kg,水分利用效率年平均提高 2.60~2.90 $\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。从 1992 年秋和 1997 年秋 2m 土体贮

水量状况看,各处理土体贮水量相近,也就是说,在 5 年间利用同量的水,秸秆还田秋施肥较传统施肥多生产了 5850~7090 kg 的玉米,水分得到高效利用。

秸秆还田秋施肥与传统施肥比较,具有明显的培肥地力作用。土壤耕层有机质、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾含量均有所提高,耕层土壤容重降低,孔隙度增加,土壤肥力的提高将有助于提高旱地玉米对土壤水分的吸收利用。

表 5 不同土壤水肥状况对旱地玉米水分利用效率的影响

Tab 5 Effects of water and fertility status of different soils on water use efficiency of dryland corn

地点	玉米产量 /kg · hm ⁻²	播前土体 贮水量 /mm	收获后土体 贮水量 /mm	生育期 耗水量 /mm	水分利用效率 /kg · (mm · hm ²) ⁻¹
油罐咀	5940.0	336.4	383.8	382.6	15.53
围堰	6576.0	377.8	385.9	421.9	15.59
东园南	7365.0	360.6	375.2	415.4	17.73
西畛	6820.5	358.0	372.0	416.0	16.40
埝槽	5611.5	365.1	368.4	426.7	13.16

根据上述试验可以确认,晋东豫西地区旱地玉米施肥时间以 10 月下旬~11 月上旬较为适宜,化肥可采用顺犁沟条施或全耕层施肥方式,施肥深度控制在 10~25 cm 范围,秸秆直接还田量和秸秆覆盖还田量控制在 4500~7500 kg,秸秆过腹还田(腐熟牛粪)量控制在 22.5~45.0 t 范围。

2.4 旱地玉米水分高效利用平衡施肥技术的示范应用情况

经过 6 年多的试验、示范推广工作,形成的旱地玉米水分高效利用平衡施肥技术,它的技术关键是多种途径秸秆还田和秋季深施配方化肥(表 4)。近年来,该项技术已逐渐被该区农民认识和掌握,截止 1997 年底该项技术已在晋东豫西的晋中、长治、阳泉等地累计推广 45.5 万 hm² 以上,增产玉米 2.47 亿 kg,取得了明显的社会效益。

3 讨 论

1) 晋东豫西旱农地区,应在注重基本农田建设和传统抗旱耕作措施的同时,充分发挥肥料的作用。本研究结果表明,保蓄土体水分,创造适宜的土壤水分条件,提供一个良好的土壤营养环境有益于旱地玉米水分利用效率的提高。

2) 干旱缺水和土壤瘠薄、盲目施肥是该区旱地玉米产量和水分利用效率偏低的主要原因,但在该区现有降水条件下,通过各种肥料的合理施用,即采取氮、磷、有机肥配合,磷钾肥配合的施肥措施,能大幅度提高旱地玉米产量和水分利用效率。盲目高投入施肥比低投入施肥的作法更为有害,因为这不仅是经济上的损失,更重要的是对土壤贮水的浪费。

3) 多种途径秸秆还田配合秋季深施肥,将抗旱保墒、保肥增效和培肥土壤结合起来,为旱地玉米生长发育创造了一个良好的土壤水分和营养环境,从而提高了旱地玉米产量和水分利用效率。

参 考 文 献

- 1 赵聚宝,钟兆站,薛军红等.小麦品种的抗旱性试验测定.农业工程学报,1996,12(3):21~25
- 2 陈奇思,南殿杰,王清汉等.地膜覆盖的耕层土壤效应与棉花生长关系.见陈震主编.土壤资源环境研究.北京:中国农业科技出版社,1997.53~56
- 3 冯利平,段桂荣.不同覆盖处理对旱作玉米生育与产量效应的研究.干旱地区农业研究,1995,13(1):

50~ 54

- 4 迟久鉴, 赵和玉 “丰产沟”有效利用雨水的机理 农业工程学报, 1996, 12(1): 30~ 34
- 5 山西壶关县晋庄大队 精耕细作夺取旱地谷子高产 山西农业科学, 1982(1): 22~ 24
- 6 陈尚谟 半湿润偏旱区农田水分生产潜力的测定 干旱地区农业研究, 1995, 13(4): 40~ 44

Study on the Technique of Balanced Fertilizer With Water Efficient Application on Dryland Corn

Zhou Huaiping Li Hongmei Yang Zhiping Wang Jiuzhi

(Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan)

Abstract This paper approached the effects of the technique of balanced fertilizer on water application efficiency of dryland corn. In the semi-humid and slightly arid areas of Eastern parts of Shanxi and Western parts of Henan Province, the six-year field experimental results showed that adopting the appropriate variety, amount of fertilizer, stages and method of application is advantageous to raise the water use efficiency of dryland corn. Furthermore, it can improve the soil fertility and further promote the water application of dryland corn.

Key words corn, balanced fertilizer application, water use efficiency, Eastern parts of Shanxi Western parts of Henan Province