

# 长武旱塬春玉米氮肥效应试验研究

党廷辉 彭琳 戴鸣钧 李青

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

**摘要** 3年田间试验结果表明:每 $\text{hm}^2$ 施氮570kg,玉米产量转折点亦不太明显,用一元二次方程模拟氮肥效应曲线,正常年份最高产量点氮肥用量在 $403\text{kg}/\text{hm}^2$ 左右,而对数曲线或幂函数模拟,相关性提高,但无最高产量点。说明氮肥对春玉米的增产潜力很大。超低量施氮,春玉米能显示明显的增产效果和经济效益,并能改善玉米籽粒蛋白质含量,其效应曲线在低肥段与传统看法不同。

**关键词** 春玉米 氮肥效应 旱塬

## N-fertilizer Effect on Spring Corn in Changwu Dry Highland

Dang Tinghui Peng Lin Dai Mingjun Li Qing

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

**Abstract** The experiment was arranged to apply a large scal of N-fertilizer mixed with proper P-fertilizer. The productive potentiality and effect of a small amount of N-fertilizer applied to spring corn were analysed. It was showed that the tuning point of corn yield was not clear when N-fertilizer applied reached to  $570\text{kg}/\text{hm}^2$ . Simulating N-fertilizer effect curve with the equation  $Y = A + Bx + Cx^2$ , the amount of fertilizer applied corresponding to the biggest yield was about  $403\text{kg}/\text{hm}^2$  in general years. The interrelation was more clear when simulated with equation of  $Y = A + B\ln x$  or  $y = A \cdot x^b$ , but it did not own the maximum point of production. It indicates that the productive potentiality of N-fertilizer to spring corn is very high. To apply very small amount of N-fertilizer, it not only can improve yield and achieve economic benefits clearly, but also can improve protein content in corn seed. The effect curve of N-fertilizer and yield is different with the traditional ideas at section of small amount of fertilizer applied.

**Key words** spring corn; N-fertilizer effect; dry highland

春玉米是长武县继小麦之后的第二大主栽作物。播种面积约占粮食播种面积的10%左右,对于干旱常常威胁粮食产量的干旱地区,重视雨热同季作物玉米的生产,以秋补夏,对稳定粮食产量有非常重要的意义。

近几年,一些学者围绕春玉米实现“吨”粮田,做了大量的工作,在比较各种农艺措施后认

为,增加氮肥投入,选择适宜的密度和播期,是玉米高产的关键措施。施用氮肥作为玉米高产的首要措施,弄清春玉米产量与氮肥关系,无论在理论上还是实践上,都是十分必要的。

## 1 气候条件与试验方法

长武县属暖温带半湿润易旱气候。年日照时数 2 226.5h,总辐射 483 700J/cm<sup>2</sup>,年均气温 9.1℃,降水量 584.1mm,其中玉米生育期(4月至10月)降水占 88.6%。雨热同季,是玉米生产的优越条件。

试验土壤为黑垆土,耕层 0~20cm,含有机质 12.86g/kg,全氮 1.010g/kg,碱解氮 72.9mg/kg,速效磷 27.5mg/kg。试验前土壤养分属中上水平。土层深厚,质地中壤偏轻,疏松多孔,蓄水保墒。

试验采用 N,P 双因素不完全方案(表 1)。设 15 个处理,小区面积 4.5m×5m,重复 3 次,顺序排列,1992 年氮肥上限为 450kg/hm<sup>2</sup>,1993,1994 年氮肥上限增加到 570kg/hm<sup>2</sup>。

表 1 试验方案与产量 kg/hm<sup>2</sup>

处理号		1	2	3	4	5	6	7	8
施肥	N	0	3.75	7.50	15.0	30.0	60.0	90.0	150.0
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	7.5	7.5	7.5	90.0	90.0	90.0	90.0
产量	1992 年	6115.5	8194.5	9151.5	8725.5	8590.5	10803.0	10144.5	9835.5
	1993 年	6492.0	5839.5	7191.0	7338.0	7309.5	8395.5	8964.0	9237.0
	1994 年	7741.5	8013.0	8390.0	8245.5	8853.0	8845.5	7824.0	8293.5

处理号		9	10	11	12	13	14	15
施肥	N	210.0	270.0	330.0	390.0	450.0	510.0	570.0
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	90.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0
产量	1992 年	10900.5	10891.5	11352.0	10744.5	12097.5		
	1993 年	10645.5	10065.0	11004.0	10539.0	10411.5	10261.5	10884.0
	1994 年	8971.5	8982.0	8745.0	8902.5	7920.0	7753.5	7920.0

注:1992,1993 两年,处理 1~6 玉米密度为 45 000 株/hm<sup>2</sup>,7~9 为 60 000 株/hm<sup>2</sup>,10~15 为 75 000 株/hm<sup>2</sup>,1994 年全部处理玉米密度为 75 000 株/hm<sup>2</sup>。

土壤养分均用常规法测定,玉米 N,P,蛋白质含量分别采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮-蒸馏法,钒钼黄比色法和 CuSO<sub>4</sub> 沉淀-开氏定氮法测定。

## 2 试验结果与讨论

1992,1993 两年 4~10 月降水量分别为 507.8mm 和 446.9mm,比一般年份同期降水(517.3mm)分别减少 1.8%和 13.6%。基本属于常态降水年份。1994 年 4~10 月降水量为 370.7mm,比一般年份同期降水减少 28.3%,属干旱年份。1994 年玉米播种前,为了实现每 hm<sup>2</sup> 产量突破 15t,试验地每 hm<sup>2</sup> 施土粪 75t,并且覆了地膜,然而由于玉米生育后期严重干旱,风干早熟 25 天,提前收获,历年产量结果见表 1。

### 2.1 春玉米产量与氮肥效应方程

2.1.1 采用一元二次方程  $y=a+bx+cx^2$  回归

用计算机将 1992, 1993, 1994 年玉米产量与氮肥用量进行一元二次回归模拟, 求得玉米氮肥反应方程如下:

$$1992 \text{ 年 } y = 8506.8 + 14.67N - 0.0181N^2 \quad (r = 0.8517^{**} \quad n = 13)$$

$$1993 \text{ 年 } y = 6713.4 + 21.20N - 0.0265N^2 \quad (r = 0.9457^{**} \quad n = 15)$$

$$1994 \text{ 年 } y = 8142.45 + 5.15N - 0.0105N^2 \quad (r = 0.5636^* \quad n = 15)$$

通过对上述方程回归系数进行显著性检验, 结果均达显著或极显著水平。一般认为, 回归方程基本可信, 能反映实际情况。

当边际产量  $dy/dN=0$  时, 玉米产量达到最高, 这时的施肥量即为最高产量施肥量。计算结果为:

$$1992 \text{ 年 } N_{max} = 405.2 \text{ kg/hm}^2$$

$$1993 \text{ 年 } N_{max} = 400.0 \text{ kg/hm}^2$$

$$1994 \text{ 年 } N_{max} = 245.2 \text{ kg/hm}^2$$

当边际产量  $dy/dN = \frac{P_N}{P_Y}$  时, ( $P_N$  为氮肥价格,  $P_Y$  为玉米价格), 此时的边际利润最大, 这时的施肥量即为经济最佳施肥量。计算结果为 ( $P_N$  按 2.43 元/kg,  $P_Y$  按 1.04 元/kg):

$$1992 \text{ 年 } N = 340.70 \text{ kg/hm}^2$$

$$1993 \text{ 年 } N = 355.92 \text{ kg/hm}^2$$

$$1994 \text{ 年 } N = 133.98 \text{ kg/hm}^2$$

从上述结果看, 春玉米达最高产量和经济最佳产量的施肥量很高。正常年份最高产量施肥量达  $403 \text{ kg/hm}^2$  左右, 干旱年份亦达  $245 \text{ kg/hm}^2$  左右。说明氮肥对春玉米具有巨大的生产潜力。

### 2.1.2 采用 $y = A + B \ln^x$ 和 $y = A \cdot x^b$ 模式回归

取不施氮对照点, 进行氮肥用量与产量曲线回归。模拟方程如下:

$$1992 \text{ 年 } y = 7217.73 + 671.00 \ln^N \quad (r = 0.8893^{**} \quad n = 12)$$

$$y = 7485.45 N x^{0.06811} \quad (r = 0.8959^{**} \quad n = 12)$$

$$1993 \text{ 年 } y = 4500.78 + 1004.99 \ln^N \quad (r = 0.9682^{**} \quad n = 14)$$

$$y = 5102.73 N x^{0.12088} \quad (r = 0.9670^{**} \quad n = 14)$$

1994 年试验结果用上述方程回归模拟性太差, 未列出。

用这两种方程模拟结果, 1992, 1993 正常降水年份, 回归系数均达极显著水平。而且回归系数比一元二次更高, 即其拟合程度比一元二次更好。而这两种方程均表现为缓慢上升趋势, 无极点。

如果从这两种模拟方程结果分析, 我们认为, 春玉米对氮肥的反应, 要么最高产量点很高, 要么没有最高产量点。究竟春玉米氮肥的增产潜力有多大? 这个问题在我们试验的氮肥用量范围内, 依然未得到解决。

试验结果表明, 春玉米产量与氮肥关系, 无论用一元二次方程, 还是用对数曲线或幂函数方程模拟, 在试验范围内, 都是可行的。从方程能看出一种共性, 氮肥对春玉米的增产潜力是很大的。在正常年份, 实现各种农艺措施最佳组合的情况下, 春玉米每  $\text{hm}^2$  产量突破 15t 粮关口, 是完全有可能的。几种曲线还有一个共性, 就是随氮肥用量的增加, 产量日趋平缓, 即施肥报酬率逐渐降低。

## 2.2 超低量氮肥对春玉米的肥效探讨

超低量施肥往往不会引起生产中的注意。然而作为一个理论问题,有必要弄清低量氮肥的产量效应。玉米属于氮素敏感作物,超低量施氮是否有效?其低肥段的效应曲线会不会出现异常?这些探索性的研究从未见到资料报道。为了深入认识氮素敏感作物的氮素效应,我们利用1992,1993两年正常降水年份的试验结果对此进行分析。

### 2.2.1 超低量氮肥对玉米生长状况的影响

玉米各生育期株高,叶面积测定结果列于表2。

(1)株高:株高是衡量作物长势的重要指标,从表2看出,施少量氮肥对玉米不同生育阶段生长都有一定的促进作用。玉米生长后期,不同处理株高差异十分明显。第11片叶期,每 $\text{hm}^2$ 施3.75kg,7.50kg,15.00kg和30.00kg纯氮处理,株高分别比对照增加8.7cm,10.7cm,11.5cm和14.9cm。

表2 春玉米不同生育期各处理株高和叶面积

氮用量 (Nkg/hm <sup>2</sup> )	3叶期		5叶期		7叶期		9叶期		11叶期	
	株高 cm	叶面积 cm <sup>2</sup>								
0	11.1	25.1	24.9	73.9	45.6	213.0	103.6	575.0	177.6	625.3
3.75	11.9	24.6	25.4	82.2	49.1	226.2	107.5	600.7	186.3	625.2
7.50	12.5	25.7	26.0	77.8	50.3	251.0	114.1	614.4	188.3	625.4
15.00	12.0	24.3	25.4	75.0	48.5	245.7	109.3	611.9	189.1	677.6
30.00	12.4	25.6	24.6	79.5	48.9	244.1	110.5	589.7	192.5	645.4

(2)叶面积:作物叶子是其进行光合作用的主要器官,叶面积大小是反映光合作用强度的关键指标。由表2数据可知,每 $\text{hm}^2$ 施极少量的氮肥能有效的增加玉米叶面积,3叶期以后这种效果逐渐显示出来。从试验结果看,玉米3叶期到9叶期,以7.50kg/hm<sup>2</sup>氮处理,增加株高和叶面积最为显著。其它处理玉米植株也比对照生长好。说明,施极少量的氮肥就能明显的改善玉米的营养生长。

### 2.2.2 施超低量氮肥的肥效与效益

#### (1)增产效果

从表3资料看,每 $\text{hm}^2$ 施少量的氮肥在春玉米上有显著的增产作用。每 $\text{hm}^2$ 施3.75,7.50,15.00和30.00kg处理,分别比对照增产11.3%,29.6%,27.3%和26.0%。如果把30kg/hm<sup>2</sup>作为常量施肥的最低施肥量,那么超低量施氮3.75kg/hm<sup>2</sup>,7.50kg/hm<sup>2</sup>和15.00kg/hm<sup>2</sup>施肥报酬率可比常量施氮的最大报酬率(54.8kg/kg)高3.5,4.5和2.1倍)。

表3 超低量氮肥对春玉米的增产效果与效益

处理 (Nkg/hm <sup>2</sup> )	增产效果				肥料效益			
	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	增产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	增产率 (%)	施肥报酬 (kg/kg)	增产值 (元/hm <sup>2</sup> )	肥料投资 (元/hm <sup>2</sup> )	利润 (元/hm <sup>2</sup> )	投资效率 (元/元)
0	6306.0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	7017.0	711.0	11.3	189.6	355.5	30.75	324.75	11.67
7.50*	8172.0	1866.0	29.6	248.8	933.0	39.45	893.55	23.65
15.00	8025.0	1719.0	27.3	114.6	859.5	56.85	802.65	15.12
30.00	7948.5	1642.5	26.0	54.8	822.0	92.1	729.90	8.93

注:\*每kg玉米按0.5元,每kg二铵1.78元,每kg尿素1.075元。

## (2) 施氮效益

超低量施氮,对春玉米不但能取得显著的增产效果,而且可获取很好的经济效益。从表 3 计算结果看,每  $\text{hm}^2$  施 3.75kg, 7.50kg, 15.00kg 和 30.00kg 氮,每  $\text{hm}^2$  获取利润分别为 324.75, 893.55, 802.65 和 729.90 元,投肥效率分别为 11.67, 23.65, 15.12 和 8.93(元/元)。同样,给春玉米施极少量 O 氮的收益远远比常量施肥合算,但要充分发挥玉米的增产潜力,仍需充分投肥。

### 2.2.3 超低量施氮对玉米品质的影响

施极少量的氮肥,就能改善玉米品质,提高籽粒蛋白质含量。由表 4 知,每  $\text{hm}^2$  施 3.75kg, 7.50kg, 15.00kg 和 30.00kg 氮,玉米籽粒蛋白质含量比对照提高 3.76%, 4.73%, 10.06% 和 6.30%。超低量施氮,增加产量,提高蛋白质含量,势必增加蛋白质产量。从表 4 看,上述各处理每  $\text{hm}^2$  分别比对照增加蛋白质产出 80.40kg, 185.85kg, 208.50kg 和 176.85kg,比对照分别增产 15.46%, 35.73%, 40.08% 和 34.00%,蛋白质含量及产量基本随施氮量的增加而提高。

表 4 各处理玉米籽粒蛋白质含量与产量

处理 (Nkg/hm <sup>2</sup> )	蛋白质含量			蛋白质产量		
	%	比 CK 增减	比 CK 提高(%)	kg/hm <sup>2</sup>	比 CK 增减(kg/hm <sup>2</sup> )	比 CK 提高(%)
0	8.25	0	0	520.20	0	0
3.75	8.56	0.31	3.76	600.60	80.40	15.46
7.50	8.64	0.39	4.73	706.05	185.85	35.73
15.00	9.08	0.83	10.06	728.70	208.50	40.08
30.00	8.77	0.52	6.30	697.05	176.85	34.00

### 2.2.4 超低量施氮对玉米养分吸收的影响

施极少的氮直接影响春玉米的 N, P 吸收。由表 5 可看出, N 处理 0, 3.75, 7.50, 15.00, 30.00kg/hm<sup>2</sup>, 玉米每  $\text{hm}^2$  吸收氮总量分别为 230.40kg, 270.00kg, 273.45kg, 294.15kg, 309.45kg; 吸收磷总量分别为 28.95kg, 36.45kg, 41.25kg, 36.30kg, 43.05kg; 均有随施氮量增加而增加的趋势。就玉米秆、籽粒分别吸收氮、磷来看,这种趋势也十分明显。然而从分析结果看,氮磷含量的规律性不是很好,原因有待进一步探讨。

表 5 各处理茎秆、籽粒 N、P 含量

处理 N(kg/hm <sup>2</sup> )	茎 秆				籽 粒			
	N %	N kg/hm <sup>2</sup>	P %	P kg/hm <sup>2</sup>	N %	N kg/hm <sup>2</sup>	P %	P kg/hm <sup>2</sup>
0	0.7266	132.45	0.0537	9.75	1.4446	97.95	0.2823	19.20
3.75	0.6997	143.25	0.0694	14.25	1.5346	126.75	0.2715	22.20
7.50	0.6210	135.60	0.0728	15.90	1.5056	137.85	0.2774	25.35
15.00	0.8082	149.10	0.0569	10.50	1.6656	145.05	0.2961	25.80
30.00	0.8908	180.30	0.0791	16.05	1.5035	129.15	0.3148	27.00

注:此表为 1992 年试验结果

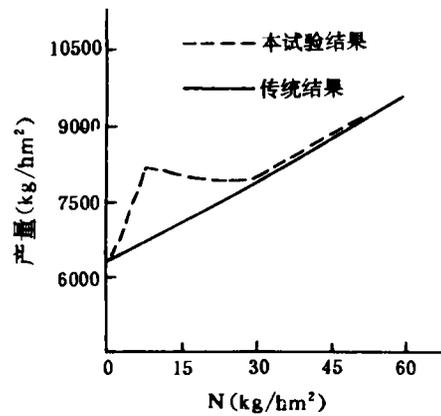
### 2.2.5 对低用量氮肥效应曲线的新认识

为了更全面的了解超低量氮肥—产量效应曲线的变化趋势,我们在试验安排时,还布设了 60.00kg/hm<sup>2</sup> 的氮处理,同样重复 3 次,2 年籽粒平均产量为 9 600.0kg/hm<sup>2</sup>

如果不考虑氮肥低用量点 3.75, 7.50, 15.00(kg/hm<sup>2</sup>)。传统法绘制的氮肥效应曲线见图

图中实线部分。考虑上述氮肥低用量点氮肥效应曲线见图中虚线部分。

从附图看出,低用量氮肥效应曲线,本试验结果与传统看法是不一致的。在 $0\sim 30.00\text{ N kg/hm}^2$ 范围内,春玉米氮肥效应曲线不是平缓上升,而是表现为 $0\sim 7.50\text{ N kg/hm}^2$ 段急剧上升, $7.50\sim 30.00\text{ N kg/hm}^2$ 段低微回落或相对稳定。这可能与玉米属氮素敏感且为 $C_4$ 作物有关。真正原因,还有待进一步研究。



附图 本试验与传统氮肥效应曲线比较

### 3 小结

(1)氮肥对春玉米的增产潜力很大。正常降水年份,玉米产量每 $\text{hm}^2$ 实现 $15\text{t}$ 粮的可能性是存在的,用一元二次方程模拟结果得知,正常降水年份,氮的最高产量施肥量约为 $403\text{kg/hm}^2$ 。

(2)施极少量的氮肥,不但能够促进玉米的生长发育,增加产量,而且能够改善品质,取得显著的经济效益。

(3)氮用量在 $0\sim 30.00\text{kg/hm}^2$ 范围内,产量曲线有一个峰值出现,与传统看法有所不同。

### 参 考 文 献

- 1 彭琳.黄土旱塬粮食高产记录及其启示.国土开发与整治,1993,(1)
- 2 张锡梅等.黄土高原主要粮食作物高产农艺措施最佳组合方案的研究.《土地资源及生产力研究》,北京:科学技术文献出版社,1991,69~77
- 3 陈伦寿,李仁岗主编.农田施肥原理与实践.北京:农业出版社,1984,29~34
- 4 潘瑞炽,董愚得编.植物生理学.北京:高等教育出版社,1984,102~105,107~111

(上接第5页)

### 3.4 适时播种

根据多年播种期试验,常态年适宜播期为9月15日~22日,当夏季降雨增加或减少 $80\text{mm}$ 时,播期相应提前或推后 $2\sim 3$ 天。干旱年份推迟播期,并减少播量,以 $225\sim 240$ 万基本苗/ $\text{hm}^2$ 为宜,控制群体,减少无效率对水分、养分的消耗;丰水年提前播期,减小播量,保持合理的群体越冬。

### 4 几点建议

(1)在不同降水年型选用小麦丰产抗灾技术措施,可使常态年丰收,干旱年少减产。

(2)除采用相同旱作丰产措施外,不同降水年型小麦丰产抗灾措施差异主要在品种选择、控制播期和播量以及氮磷化肥配比及施用量上,丰水年份在满足磷肥用量基础上加大氮肥投入量,常态年份氮磷化肥最佳量配合施用,播种期采用适宜播期,播量采用适宜播量。干旱年份推迟播期,减少播量加大磷肥用量,适当减少氮肥用量,氮磷比以 $1:1$ 较为适宜。