

# 不同施氮方式对夏玉米产量和氮素利用效率的影响

崔爱民, 张松, 张久刚

(山西农业大学 小麦研究所, 山西 临汾 041000)

**摘要:** 通过两年田间试验, 以不施氮处理为对照(CK), 探索农民传统施肥(T1)和优化施肥(T2、T3)对夏玉米产量及氮素利用率的影响。结果表明, 优化施肥 T2 和 T3 处理较传统施肥分别增产 8.5% 和 12.1%, 氮肥利用率分别提高 58.8%、64.7%, 差异显著。两种优化施肥方式间产量差异不显著。夏玉米积温受限, 生长前期光热资源充足, 发育快, 后期低温寡照阴雨多, 发育慢, 其生产管理应“以促为主”、“一促到底”, 加强前期水肥供应, 早发育、早壮苗, 形成高产群体。建议一般田地推荐使用 T2 施肥方案, 对于超高产田地推荐使用 T3 施肥方案。

**关键词:** 玉米; 优化施肥; 产量; 氮肥利用率

中图分类号: S513 文献标识码: A 文章编号: 0488-5368(2024)12-0040-05

## Effects of Different Nitrogen Application Methods on Summer Maize Yield and Nitrogen Use Efficiency

CUI Aimin, ZHANG Song, ZHANG Jiugang

(Wheat Research Institute, Shanxi Agricultural University, Linfen, Shanxi 041000, China)

**Abstract:** A two-year field experiment was conducted to investigate the effects of traditional fertilization (T1) and optimized fertilization (T2, T3) on summer maize yield and nitrogen use efficiency (NUE). A no-nitrogen application treatment (CK) was used as the control. The results showed that optimized fertilization (T2, T3) increased yield by 8.5% and 12.1% and enhanced nitrogen fertilizer utilization efficiency by 58.8% and 64.7%, respectively, when compared to traditional fertilization. However, no significant differences in yield were observed between the the T2 and T3 fertilization methods. Summer maize growth was constrained by limited accumulated temperature during the growing season. However, sufficient light and heat resources were available in the early growth stage, leading to rapid development. Conversely, the later growth stage was characterized by low temperatures, reduced sunlight, and frequent rainfall, resulting in slower development. Therefore, production management should prioritize early growth by enhancing water and nutrient supply to ensure robust seedlings and a high-yield population. The T2 fertilization scheme is recommended for general farmland, while T3 fertilization scheme is more suitable for achieving ultra-high-yield fields.

**Key words:** Maize; Optimized fertilization; Yield; Nitrogen use efficiency

玉米作为中国种植面积最大、总产最高的粮食作物, 其生产丰欠对国家农业可持续发展、养殖畜牧业优化升级和农民增收影响较大<sup>[1]</sup>。黄淮海夏玉米区占全国玉米生产总面积约 1/3, 其光热资源充足, 灌溉农机配套好, 增产潜力大, 是玉米提

质增效的重点建设区域。通过优化玉米栽培措施, 深挖品种潜力, 提高单产水平, 实现玉米产业的稳定和持续发展<sup>[2]</sup>。已有研究表明不同生长发育阶段的玉米植株对营养元素的需求不同, 依据需肥规律施肥能够促进玉米干物质积累, 显著增加产

收稿日期: 2024-01-20 修回日期: 2024-04-22

基金项目: 山西农业大学生物育种工程(YZGC012); 山西农业大学学术恢复科研专项(2020xshf46)。

第一作者简介: 崔爱民(1975-), 男, 副研究员, 农学学士, 主要从事玉米遗传育种工作。

量<sup>[3-8]</sup>。目前夏播玉米区两季秸秆基本还田,土壤有机质含量显著提高,土壤的理化性状及蓄水保肥能力得以增强。基于此,试验以晋单 63 玉米品种为供试品种,结合当地常规施肥方式,研究不同施肥方式下玉米穗部性状、产量、干物质积累及氮肥利用的差异,为夏播玉米高产高效施肥提供有益探索。

## 1 材料与方 法

表 1 0~20 cm 供试耕层土壤理化性质

年份	土壤有机质 (g/kg)	全氮 (mg/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH 值
2019	2.31	1 770	67.39	16.35	151.35	7.28
2020	1.72	1 780	86.32	17.45	160.10	7.13

### 1.2 试验设计

2019 年试验采用随机(区组)排列大区试验,4 个处理,每处理面积 666.7 m<sup>2</sup>(长 92.6 m×宽 7.2 m),收获期按对角线方法取 3 个样点,每点面积 20 m<sup>2</sup>,做为三次重复;2020 年采用随机(区组)排列,4 水平 3 次重复共 12 个处理,每处理面积为 20 m<sup>2</sup>(长 6.7 m×宽 3.0 m)。种植密度均为 67 500 株/hm<sup>2</sup>,行距 60.0 cm,株距为 24.5 cm,大区试验 12 行区,小区试验为 5 行区。以不施氮处理为对照(CK),在等氮(360 kg/hm<sup>2</sup>)、磷(112.5 kg/hm<sup>2</sup>)、钾(37.5 kg/hm<sup>2</sup>)的条件下,设置农民传统施肥模式(T1)、优化施肥模式 1(T2)和优化施肥模式 2(T3)四个处理。CK:基肥施过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>≥12%)937.5 kg/hm<sup>2</sup>+硫酸钾(K<sub>2</sub>O≥50%)75 kg/hm<sup>2</sup>;T1:基肥施过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>≥12%)937.5 kg/hm<sup>2</sup>+硫酸钾(K<sub>2</sub>O≥50%)75 kg/hm<sup>2</sup>,拔节后追施尿素 782.6 kg/hm<sup>2</sup>;T2:基肥施玉米专用复合肥(N-25:P-15:K-5)750 kg/hm<sup>2</sup>,大喇叭口期追施尿素 375 kg/hm<sup>2</sup>;T3:基肥施玉米专用复合肥(N-25:P-15:K-5)750 kg/hm<sup>2</sup>,大喇叭口期追施尿素 225 kg/hm<sup>2</sup>,抽雄期追施尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>。各处理田间管理一致。

2019 年播种期为 6 月 13 日,收获期为 10 月 14 日;2020 年播种期为 6 月 17 日,收获期为 10 月 15 日。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 干物质积累和氮含量测定 分别于拔节后-小喇叭口期(R1)、大喇叭口期(R2)、成熟期(R3),选择 5 株发育正常、长势均匀的植株,按叶

### 1.1 试验材料

试验于 2019-2020 年在襄汾县永固乡(35°72'78"N,111°35'73"E)进行,该区域年平均气温 12.6 °C,无霜期 185 d,年降雨量 450~540 mm,海拔高度为 443 m,土壤性质为中壤石灰性褐土,前茬为冬小麦。全年降雨量的 57.57%集中在 7~9 月份,与夏玉米生产需求相吻合。土壤理化性质见表 1。

片(含苞叶)、茎秆(含雄穗、叶鞘、穗轴)、籽粒分类取样。将样品用纯水洗净,用脱脂棉擦干,并剪成 5 cm 左右碎段,105 °C 烘箱杀青 30 min,于 75 °C 烘干 24 h 后称重、粉碎过筛后备用。氮含量测定参照鲁如坤方<sup>[9]</sup>通过 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮,采用半自动凯式定氮仪测定。

1.3.2 成熟期果穗性状和产量测定 成熟期在各处理不缺株处选取发育正常、长势均匀的 10 株植株,采集其果穗样品,测定穗行数、行粒数、穗粒数和百粒重,用农奥牌 LDS-1G 谷物水分测量仪测量籽粒含水量,根据百粒重和小区产量折算单产。

理论产量(Y<sub>t</sub>)=15×4 500×穗粒数×百粒重×10<sup>-5</sup>×85%

实际产量(Y<sub>g</sub>)=15×4 500×10 穗重×10<sup>-1</sup>

### 1.3.3 氮素利用率计算

地上部吸氮量(UN)=W<sub>s</sub>×C<sub>s</sub>+Y<sub>g</sub>×C<sub>g</sub>

氮肥利用率(RE)=(UN<sup>+</sup>-UN<sup>-</sup>)/R<sub>N</sub>

氮肥偏生产力(PFP)=Y<sub>g</sub>/R<sub>N</sub>

氮肥农学效率(AE)=(Y<sub>g</sub><sup>+</sup>-Y<sub>g</sub><sup>-</sup>)/R<sub>N</sub>

其中,UN<sup>+</sup>和 UN<sup>-</sup>分别代表施肥处理和不施肥处理的玉米地上部氮素吸收量;R<sub>N</sub>代表施氮量;Y<sub>g</sub>代表玉米籽粒的产量;Y<sub>g</sub><sup>+</sup>代表施氮处理的玉米产量,Y<sub>g</sub><sup>-</sup>代表不施氮处理的玉米产量,W<sub>s</sub>代表茎秆的重量;C<sub>s</sub>和 C<sub>g</sub>分别代表玉米茎秆和籽粒的含氮量。

### 1.4 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2010 对采集的数据进行处理,采用 DPS 软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施氮处理对玉米产量的影响

由表 2 可知,不同施氮方式间实际产量和理论产量比较,T1、T2、T3 与 CK 间差异极显著,分别达到 41.2%、48.8%、52.9% 和 39.6%、48.1%、53.1%,T2、T3 与 T1 间差异显著和极显著,分别达到 7.6%、11.7% 和 8.5%、13.6%,T3 与 T2 间差异不显著和显著,分别为 4.1% 和 5.07%。4 种处理

间种植密度一致均为 67 500 株/hm<sup>2</sup>,差异主要源于穗粒数和百粒重的不同。穗行数间,T1、T2、T3 与 CK 间差异显著和极显著,达到 7.5%、11.6%、13.4%,T2、T3 与 T1 间差异不显著和显著,分别为 4.1% 和 5.9%,T3 与 T2 间差异不显著,为 1.8%。行粒数间,T1、T2、T3 与 CK 间差异极显著,达到 15.2%、16.4%、17.8%,T2、T3 与 T1 间差异不显著,分别为 1.2% 和 2.6%,T3 与 T2 间差异不显著为 1.4%。

表 2 玉米产量及其构成因素分析

处理	穗行数	行粒数	穗粒数	百粒重/g	理论产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	实际产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
CK	14.0c	32.5c	456.3c	27.6c	7 226.4d	6 673.5c
T1	15.1b	37.5b	565.8b	31.1b	10 085.9c	9 422.1b
T2	15.8b	38.1a	595.3a	32.0a	10 941.3b	10 136.5a
T3	16.1a	38.5a	614.3a	32.5a	11 496.4a	10 552.8a

注:不同小写字母表示不同处理间差异在 5% 水平上显著。下同。

### 2.2 不同施氮方式下穗粒数、百粒重对玉米产量贡献的分析

主要分析 T1、T2、T3 三种施肥方式下穗粒数、百粒重与其折算的产量间关系,探索二者对产量贡献的大小(表 3)。T3、T2 分别较 T1 增产 1 406.3 kg、851.3 kg,其中穗粒数增加对产量的贡献分别达到 865.9 kg 和 526.8 kg,贡献率分别为 61.6% 和 61.9%,二者百粒重增加带来的增产分别为

540.5 kg 和 3 324.5 kg,贡献率分别为 38.4% 和 38.1%。另外 T3 较 T2 增产 555.1 kg,其中穗粒数及百粒重增加对产量的贡献分别为 349.5 kg、63.0% 和 205.6 kg、37.0%。从 T1、T2、T3 三种施肥方式间的产量相关性比较可知,穗粒数增加的增产作用大于百粒重增加的增产,前者约为 62%,后者约为 38%。

表 3 穗粒数、百粒重对产量的贡献

施肥方式比较	产量差 /kg	穗粒数对产量 的贡献/kg	穗粒数对产量 的贡献/%	百粒重对产量 的贡献/kg	百粒重对产量 的贡献/%
T3-T1	1 406.3	865.9	61.6	540.5	38.4
T2-T1	851.3	526.8	61.9	324.5	38.1
T3-T2	555.1	349.5	63.0	205.6	37.0

穗粒数对产量的贡献(kg)= 0.85 \* 15 \* 4 500 \* 穗粒数差 \* 百粒重/100/1 000

穗粒数对产量的贡献(%)= 100 \* 穗粒数对产量的贡献/产量差

百粒重对产量的贡献(kg)= 0.85 \* 15 \* 4 500 \* 穗粒数 \* 百粒重差/100/1 000

百粒重对产量的贡献(%)= 100 \* 百粒重对产量的贡献/产量差

注:由穗粒数差和百粒重折算的产量差与表 2 中理论产量差略有出入,但差异微小。

### 2.3 不同施氮处理对玉米棒三叶叶面积的影响

由表 4 可知,不同施氮处理下的玉米棒三叶叶面积有明显差异。相对于不施肥的 CK 处理,施肥后 T1 处理增加不显著,T2、T3 处理增加均达到了显著水平。相对于传统施肥 T1,优化施肥 T2 棒三叶叶面积增加不显著,T3 处理增加达到了显著水平。T2、T3 处理间差异不显著。

表 4 不同施氮处理下的玉米棒三叶面积

施肥方式	棒三叶平均 叶面积/cm <sup>2</sup>	较 ck 增 幅/%	较 T1 增 幅/%	较 T2 增 幅/%
CK	617.3	0		
T1	636.1	3.04	0	
T2	666.2	7.92	4.74	0
T3	679.0	9.99	6.75	1.92

## 2.4 不同施氮处理对玉米干物质积累的影响

由表 5 可知,随着生育时期的推进,玉米地上部干物质积累量逐渐升高。不同施氮处理下的玉米干物质积累量明显不同。在拔节后-小喇叭口时期(R1),T2 和 T3 处理下的玉米整株干物质积累相对于 CK 和 T1 显著升高,T2 和 T3 之间差异不显著。在大喇叭口时期(R2),T2、T3 处理的茎

秆和整株的干物质积累量相比 CK 和 T1 显著升高,CK 处理的叶片干物质积累量相比 T1、T2、T3 显著降低。在成熟期(R3),T1、T2 和 T3 处理的叶片和籽粒干物质积累量显著高于 CK 和 T1 处理,T2 和 T3 处理的茎秆和整株干物质积累量显著高于 CK 和 T1 处理。

表 5 不同施氮处理下的玉米干物质积累量

生育时期	拔节期(R1)		大喇叭口期(R2)			抽雄期(R3)		成熟期(R4)	
	处理	整株	整株	整株	茎叶	籽粒	整株	整株	
CK		24.0	45.5	98.9	110.5	85.0	195.5		
T1		24.6	52.2	111.1	130.5	120.0	250.5		
T2		30.3	61.0	121.4	137.3	129.1	266.5		
T3		30.2	61.7	121.1	145.8	134.5	280.2		

## 2.5 不同施氮处理对不同生育时期玉米氮素积累的影响

不同生育时期不同处理玉米氮素积累量差异明显(表 6)。玉米拔节期,T2 和 T3 处理的氮素积累量显著高于 CK 和 T1,主要原因是 CK 和 T1 没有施用基肥,CK 和 T1 之间的氮素积累量没有显著差异。在大喇叭口期(R2)和成熟期(R3),T2

和 T3 处理的氮素积累量显著高于 CK 和 T1,T2 和 T3 处理之间差异不显著。基肥施用氮肥能显著提高玉米各组织的氮素积累量,对于后期干物质积累和氮肥利用有一定的促进作用。茎秆和叶片的氮素积累量随着生育进程的推进,呈先升高,后降低的趋势。整株的氮素积累量呈逐步上升的趋势。

表 6 不同生育时期的玉米氮素积累量

生育时期	拔节期(R1)			大喇叭口期(R2)			成熟期(R3)				
	处理	茎秆	叶片	整株	茎秆	叶片	整株	茎秆	叶片	籽粒	整株
CK		8.6b	17.1b	25.7b	20.9c	54.0c	75.0c	19.3c	35.6c	90.1c	145.4c
T1		8.5b	17.7b	26.2b	36.6b	76.5b	114.5b	22.9b	48.2b	119.7b	190.9b
T2		11.1a	20.8a	31.9a	41.2a	86.7a	127.9a	25.9a	51.0a	127.4a	204.3a
T3		11.3a	21.3a	32.5a	41.7a	87.6a	129.5a	28.7a	53.4a	129.5a	211.6a

## 2.6 不同施氮处理对玉米氮素利用率的影响

肥料利用效率在一定程度上能够表示施肥的合理性,通常用肥料利用率、肥料偏生产力和肥料农学效率来表示肥料的利用效率。表 7 是不同施氮处理夏玉米氮素利用率的变化。由表 5 可知,不同是氮处理后玉米的氮素利用率不同。适当的氮肥后移,在一定程度上,提高了氮肥利用效率。T2

和 T3 处理的氮肥利用率、氮肥偏生产力和氮肥农学效率没有显著差异,但都于 T1 处理存在显著提升。T2 处理相对于 T1 处理,在氮肥利用率、氮肥偏生产力和氮肥农学效率上显著提高了 58.8%、8.5%和 46.8%,T3 处理相对于 T1 处理,在氮肥利用率、氮肥偏生产力和氮肥农学效率上显著提高了 64.7%、11.9%和 67.1%。相同的收获条件下,



T3 处理的氮肥利用率、氮肥偏生产力和氮肥农学效率最高。

表 7 不同施氮处理下玉米氮素利用效率的变化

处理	氮肥利用率	氮肥偏生产力	氮肥农学效率
T1	0.17b	43.6b	7.9b
T2	0.27a	47.3a	11.6a
T3	0.28a	48.8a	13.2a

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

施肥方式影响玉米的产量和肥料利用效率<sup>[10]</sup>。本研究表明, T2、T3 处理(增施基肥、分施氮肥)与 T1 处理相比,能够显著提高玉米的产量和氮肥利用效率。T3 施肥方式相比于 T2,将追肥在大喇叭口期和抽雄期施用,籽粒产量和氮肥利用效率最优。王宜伦<sup>[11]</sup>和刘见<sup>[12]</sup>研究表明,玉米从吐丝期以后积累的氮素占玉米总积累量的 40.3%~47.8%,从灌浆期开始,需肥量大大增加, T3 分次追肥符合玉米的实际生长需求,产量增加显著。

玉米高产的基础是合理优化的玉米群体。夏玉米生育周期短,苗期光温资源丰富,这个时期的生长发育质量对后期高产群体构建影响更为重要<sup>[13]</sup>。农民传统施肥方式忽视了基肥的重要性,导致玉米苗期长势较弱,发育迟缓。增施基肥为玉米苗期生长提供了充足的养分,促使植株快速发育,显著提高了玉米苗期的长势<sup>[14]</sup>。本研究四种施肥方式中, T3 施肥方式(关键生育期两次追施氮肥)下玉米穗部性状、产量、干物质积累及氮素利用均优于其它施肥方式,增产潜力最大。

本试验仅研究了相同施肥量的情况下,增施基肥,分次追氮对玉米产量及氮素利用情况的影响。韩祥飞<sup>[15]</sup>的研究表明,在减氮 20% 的水肥一体化的玉米田间管理体系中,与未减氮的处理产量无明显差异。下一步要在优化施肥的基础上,研究减氮比例对玉米产量及氮素运转的影响,以期对玉米的有机绿色种植提供一定的理论基础。

#### 3.2 结论

本研究通过对比不施肥(CK)、农民传统施肥(T1)、优化施肥 1(T2)和优化施肥 2(T3)四种施

肥方式对玉米产量以及氮素利用效率的影响,选出了适宜玉米实际生产中的施肥方式在玉米实际生产中,结合追肥用工投入考量,一般田地推荐使用 T2 施肥方案,超高产田地推荐使用 T3 施肥方案。

#### 参考文献:

- [1] 欧翔. 山西省玉米青贮产业分析[D]. 太原:山西农业大学.
- [2] 孙传仁, 魏清岗. 山东省玉米产业发展现状与展望[J]. 农业展望, 2020, 16(5): 34-37+47.
- [3] 胡开博, 杨清夏, 李扬, 等. 化肥减氮配施氨基酸肥料对春玉米生产的影响[J]. 浙江农业学报, 2022, 34(4): 661-670.
- [4] 王春晓, 宋朝玉, 朱凯丽, 等. 玉米秸秆还田与氮肥配施对小麦淀粉特性与加工品质的影响[J]. 山东农业科学, 2022, 54(2): 104-109.
- [5] 冯国瑞, 刘小龙, 王祥斌, 等. 启动磷肥不同施用方式对玉米养分吸收及生长和产量的影响[J]. 核农学报, 2022, 36(5): 1 052-1 060.
- [6] 田应学, 陈仕高, 李克阳, 等. 氮、磷、钾肥用量对玉米产量影响的实验研究[J]. 世界热带农业信息, 2022(3): 30-31.
- [7] 韩冰, 王宏栋, 韩双, 等. 氮磷钾肥对玉米关键性状指标及养分利用率的影响[J]. 河北农业科学, 2021, 25(5): 72-76.
- [8] 杨乔乔, 康建宏, 王佳. 氮磷钾肥配施对春玉米迪卡 517 光合特性的影响[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(6): 1 057-1 062+1 070.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000.
- [10] 屈仁燕, 邓卫民, 黄岗, 等. 不同施肥量、施肥方式、种植密度对玉米产量的影响试验初报[J]. 四川农业科技, 2022(4): 24-26.
- [11] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳, 等. 氮肥后移对超高产夏玉米产量及氮素吸收和利用的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(2): 339-347.
- [12] 刘见, 宁东峰, 秦安振, 等. 氮肥减量后移对喷灌玉米产量和水氮利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(3): 42-49.
- [13] 王宇龙. 减氮配施腐植酸、生物炭对土壤理化性质及玉米养分吸收的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2021.
- [14] 崔婷婷, 李志洪, 汤俊芳, 等. 氮肥追施对玉米产量、农学利用率及追肥吸收效率的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43(4): 400-406.
- [15] 韩祥飞, 刘鹏, 马云国, 等. 不同施氮方式对夏玉米产量、氮素吸收与利用的影响[J]. 玉米科学, 2019, 27(3): 140-147.