

# 淮北砂姜黑土区夏播玉米 高产高效施肥技术\*

张效朴

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

在淮北地区淤黑姜土、淀白黑姜土和普通黑姜土上对玉米进行施肥试验的结果表明,氮肥在一定施用量范围内,是玉米高产的主导因素,钾肥也有一定的增产作用,但磷肥的增产效果较小。根据平衡施肥和节磷的原则,拟出淮北砂姜黑土区夏播玉米高产高效施肥方案。

淮北砂姜黑土区长期低产的原因除与土壤水分物理性质不良和养分缺乏有关外,作物种植结构不合理也是重要因素。以往在秋熟作物中多以山芋为主,山芋既消耗地力,茬口又迟,直接影响后作小麦和产量。几年前我们在淮北地区治理开发对策的研究中提出要扩大杂交夏播玉米的种植<sup>[1]</sup>,并逐渐获得推广,玉米将成为淮北的重要粮、饲作物。但当地过去很少有种玉米的习惯,缺乏玉米高产栽培的经验,因此,进行玉米高产栽培,特别是高产高效施肥技术的研究,在生产上和扩大玉米种植上很有意义。本文主要对近几年来我们在怀远、涡阳、亳州等地的砂姜土上进行的玉米施肥试验结果进行讨论,以为玉米的大面积高产高效栽培提供科学依据。

## 一、淤黑姜土上的试验

### (一)试验方法

1989年和1990年在亳州古城区的淤黑姜土上布置了3块田间小区试验。供试土壤肥力中上等,土壤有机质含量14.0 g/kg,全N 0.93 g/kg,全磷( $P_2O_5$ ) 1.47 g/kg,全钾( $K_2O$ ) 20.5 g/kg,速效磷、钾分别为14.1 mg/kg和183 mg/kg。

试验分别采用N、P 2因素4级水平或5级水平的正交法设计或回归法设计。宅试1是按 $L_{16}(4^5)$ 正交表设计的,其N、P施用水平分别为N6、N10、N14、N18(N,公斤/亩,下同),P2、P4、P6、P8( $P_2O_5$ ,公斤/亩,下同),外加不施肥对照区和单施磷区,共18个处理。宅试2为按 $L_{25}(5^6)$ 正交表设计,N、P水平分别为:N5、N8、N12、N16、N20、P0、P2、P4、P6、P8,共25个处理。宅试3为回归法设计,其N素水平从0—24公斤/亩,P素水平从0—3公斤/亩,共18个处理。小区面积0.03或0.05亩,各处理随机排列。

供试玉米的品种有“丹玉13号”和“沈单7号”。皆于6月8—10日左右于麦茬地直接点播,密度3600—3800株/亩。N肥用量的一半及全部P肥于苗期开穴追施,另一半N肥于“喇叭口期”开穴追施。田间灭茬、除草、灌溉、防治病虫害等措施皆一致,成熟后单收单打。

\* 蒋晓、侯德富、朱增炎、顾国安、詹其厚先后参加部分田间试验工作。谨致感谢!

## (二) 试验结果

用正交法设计的两组试验中,其不同 N、P 组合的各处理实际小区产量分别在 170.5—620.0 公斤/亩和 180.0—661.0 公斤/亩的范围内变化,比不施肥对照区(第一块的为 224.7 公斤/亩)增产 1—2 倍。直观统计结果(表 1)表明,最优水平的产量分别为 563.6 和 611.2 公斤/亩,其优化施肥组合分别为 N1—P1 和 N12—P0。两试验的极差值(R)皆为  $N > (N \times P) > P$ ,在统计上只有 N 因素达显著水平,表明氮肥对玉米增产起主导作用,而磷肥的极差值很小,且出现不规则波动,说明在这两块田上磷肥效果很小。

将宅试 2 的产量结果进行数学模拟,得肥料效应方程为:

$$y(\text{产量,斤/亩}) = 773.3 + 31.06N + 2.650P - 0.5539N^2 + 0.1539P^2 - 0.2217N \cdot P$$

输入物价参数后,得最佳产量为 612.7 公斤/亩,最佳施肥量为 N11.8 公斤/亩,  $P_2O_5$  6 公斤/亩。即相当于每增产 100 公斤玉米需肥料 N4.6 公斤,  $P_2O_5$  2.5 公斤。该分析结果中的最佳施 N 水平与直观分析结果十分接近; P 水平则不同,可能是 P 的增产效果在统计上不显著之故。

表 1 淤黑姜土上 N、P 肥试验的玉米产量直观统计表(单位:公斤/亩)

试验号	宅试 1.1989, L <sub>16</sub> (4 <sup>5</sup> ) 试验			宅试 2.1991, L <sub>25</sub> (5 <sup>6</sup> ) 试验		
	N	P	(NP)	N	P	(NP)
$\bar{K}_1$	478.6	529.6	(525.0)	532.3	607.3	(613.4)
$\bar{K}_2$	528.9	542.7	(524.3)	610.6	601.9	(605.0)
$\bar{K}_3$	563.6	519.8	(559.6)	641.2	602.1	(588.6)
$\bar{K}_4$	556.1	534.2	(517.2)	615.1	600.2	(584.8)
$\bar{K}_5$				616.1	603.8	(623.5)
R	85.0	22.8	(42.5)	108.9	7.1	(38.7)

用回归法设计的宅试 3,其产量结果经数学模拟得到的回归方程为:

$$y(\text{斤/亩}) = 653.0 + 39.49N + 2.153P - 0.5113N^2 + 0.7802P^2 - 0.1453N \cdot P$$

概率测验表明,只有 N 因素达极显著水平, P 因素不显著。输入物价参数后,得最佳亩产为 672.8 公斤,最佳施肥量为 N15.5 公斤/亩,  $P_2O_5$  5.0 公斤/亩。相当于每增产 100 公斤玉米需肥料 N4.5 公斤,  $P_2O_5$  1.5 公斤。这与前一试验结果基本一致。

## 二、淀白黑姜土上的试验

### (一) 试验方法

1988 年在涡阳县青町乡及 1991 年在怀远县包集镇的淀白黑姜土上各布置一块用正交法设计的施肥试验。供试土壤有机质含量在 11—12g/kg,全 N 在 0.7—0.8g/kg,速效磷( $P_2O_5$ )约 20mg/kg,速效钾在 120—130mg/kg。

涡阳的为 N、P 2 因子 4 水平外加对照区的试验,其 N、P 水平分别为: N8、N11、N14、N17 公斤/亩; P4、P6、P8、P10 公斤/亩。怀远的试验为 N、P、K 3 因子 4 水平外加对照区,共 17 个处理。其 N、P、K 水平分别为: N10、N13、N16、N19 公斤/亩; P0、P2、P4、P6 公斤/亩; K( $K_2O$ ,下同) 0、K3、K6、K9 公斤/亩。两块试验皆设 2 次重复,小区面积 0.03—0.04 亩,随

机排列。供试玉米品种皆为“丹玉13号”，密度3600—3800株/亩。其它管理措施及施肥方法与以上试验同。

## (二) 试验结果

两个试验各16个不同施肥组合小区的玉米籽粒产量分别为356—516公斤/亩和527.8—615.2公斤/亩，比不施肥对照区皆增产1—1.7倍，最高产量小区分别为N11—P6和N16—P0—K9组合区。

产量的直观统计结果(表2)表明，皆以N素的极差值最大，这进一步证明N肥在玉米增产中的主导作用。考种结果表明，增产的原因是穗粒数和单穗籽粒重量(包括千粒重)显著增加。经数学模拟并输入物价参数后，涡阳试验点的最佳产量为452.0公斤/亩，相应的施肥量为N14.5公斤、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6公斤/亩。此时相当于每增产100公斤玉米需肥料N5.4公斤，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.3公斤。而怀远的3因子试验由于P因子水平间产量波动大，所以只取N、K 2因子的结果进行分析。经数学模拟，其回归方程为：

$$y(\text{公斤/亩}) = 234.7 + 38.98N + 7.829K - 1.115N^2 - 0.3971K^2 - 0.07398N \cdot K$$

(复相关系数 = 0.985\*\*, F值 = 71.42)

统计上只有N因素达极显著水平。其最佳产量为595.8公斤/亩，最佳施肥量为N15.5公斤/亩，K5.5公斤/亩。相当于每增产100公斤玉米需肥料N4.3公斤，K1.5公斤。

表 2 浠白黑姜土上施肥试验的玉米产量直观统计表(公斤/亩)

地点及时间	涡阳, 1988, L <sub>16</sub> (4 <sup>3</sup> ) 试验			怀远, 1991, L <sub>16</sub> (4 <sup>2</sup> ) 试验			
	CK	N	P	CK	N	P	K
水平平均	186.5			230.4	527.8		
K <sub>1</sub>		372.8	392.2		540.7	571.7	553.6
K <sub>2</sub>		417.6	403.5		564.4	582.7	571.0
K <sub>3</sub>		417.0	406.8		586.1	556.4	577.9
K <sub>4</sub>		392.2	422.1		593.3	573.8	562.1
R		74.2	29.9		52.6	26.3	28.5

对比产量及其与因素的关系又可看出，涡阳的试验产量较低，且在最高N用量时产量并不是最高的；而怀远的试验却表现在亩施N10—19公斤范围内玉米产量似乎有随N用量增加而提高的趋势。这可能是由于涡阳的试验中玉米播种较迟(6月下旬)，且缺乏灌溉条件，玉米灌浆时正遇干旱，从而影响了肥料效用的发挥。而怀远的试验由于在第一次追肥后遭雨涝淹水两天左右，可能使N肥有所流失之故。

与浠黑姜土上试验结果相似的是，这两个试验的P因素不仅水平间极差值小，且呈无规律变化，表明P肥对玉米增产作用也不显著。

从怀远的试验结果还可以看出，产量似乎也有随钾肥用量的增加而提高的趋势，因此，这类土壤的供钾水平似已不能满足玉米高产的需要了。

## 三、黑姜土上的试验

### (一) 试验方法

试验于1992年在怀远包集万亩试区内，于前季小麦的施肥试验基础上进行。供试土壤为中等肥力的黑姜土，试前土壤 pH 为 6.8，有机质 13.5g/kg，速效磷 15mg/kg，速效钾 117 mg/kg。

试验包括肥料因子及最佳施肥量两项。因子试验设 CK(对照)、N15、N15P7、N15K7、N15P7K7 公斤/亩 5 个处理，4 次重复，随机排列；最佳施肥量试验为按  $L_{16}(4^3)$  正交表设计的 N、P、K 3 因子 4 水平外加对照区和单施磷区的 18 个处理试验，其 N、P、K 用量水平见表 4。

供试品种为产量潜力高的“掖单13号”，6月17日于麦茬地直接开穴点播，密度 3800 株/亩。7月6日开沟追施全部用量的 P、K 肥和一半用量的 N 肥，8月1日追施另一半 N 肥；10月2日收获，晒干称重。

## (二) 试验结果

产量结果分别列于表 3 和表 4。从这些结果可看出，单施 N 肥 15 公斤/亩的产量是对照

表 3 玉米对 N、P、K 肥的反应(因子试验,单位:公斤/亩)

处理	籽粒产量		处理间比较				L. S. R		Duncan 法	
	$\bar{X}$	Sx					$P_{0.05}$	$P_{0.01}$	$P_{0.05}$	$P_{0.01}$
CK	212.1	37.9	—					C	C	
N	536.9	42.6	324.6	---		15.1	63.2	b	B	
NP	562.1	43.2	350.0	25.2		47.3	66.6	b	B	
NK	616.9	24.7	404.8	80.0	54.8	—	48.8	68.5	a	AB
NPK	659.9	15.6	447.8	123.0	97.8	43.0	49.2	69.7	a	A

表 4 玉米最佳施肥量试验设计、产量及直观统计表(1992,怀远)

处理代号	水 平			用量(公斤/亩)			产量 (公斤/亩)
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
1	1	1	1	8	0	0	528.0
2	1	2	2	6	3	3	545.8
3	1	3	3	6	6	6	581.3
4	1	4	4	6	9	9	611.0
5	2	1	3	11	0	6	581.4
6	2	2	4	11	3	9	599.2
7	2	3	1	11	6	0	545.8
8	2	4	2	11	9	3	634.7
9	3	1	4	14	0	9	634.7
10	3	2	3	14	3	6	622.9
11	3	3	2	14	6	3	605.1
12	3	4	1	14	9	0	569.5
13	4	1	2	17	0	3	539.8
14	4	2	1	17	3	0	563.6
15	4	3	1	17	6	9	632.5
16	4	4	3	17	9	6	688.1
17	—	—	—	0	0	0	178.0
18	—	3	—	0	6	0	189.8
$\bar{K}_1$	566.5	571.0	551.7				
$\bar{K}_2$	590.3	582.9	581.4				
$\bar{K}_3$	608.1	596.2	618.4				
$\bar{K}_4$	611.0	625.8	624.4				
R	45.5	54.8	72.7				

区的2.5倍, 每亩净增325公斤, 达显著水平。此时折合每公斤N肥增产玉米 21.6 公斤。而单施P的处理几乎未增产; 在N的基础上及在N、K的基础上施P时, 每亩分别增产 25 公斤和 43公斤, 未达显著水平。但是, 在N的基础上增施K者, 每亩净增产80余公斤, 差异达显著水平。不过, 仍以 N、P、K 3 因素配合的处理产量最高, 亩产达660余公斤。从而表明, 在中等肥力的砂姜黑土上, 以及在麦季施用同样数量肥料的基础上, 对玉米继续施用N、P、K 肥仍有显著增产效果; 其中以N肥效果最大, K肥效果也比较显著, N、P、K 配合的交互作用似乎也是存在的。若联系到麦季的试验结果[2], 还可看出, 除N对小麦和玉米的反应均为最高外, P肥只对小麦效果显著, K肥主要对玉米效果较显著。

从经济效益上看, 在因子试验(玉米)中, 15公斤N(价35元左右)可增收175元左右, 净增值约140元/亩; 钾肥每亩成本约10元, 可增收43元; 而磷肥, 在用量超过 3 公斤时, 经济效益便降低。从正交试验的直观统计结果看, 高产高效的优化施肥组合似是: N15—P3—K6。经数学模拟(只取 N、K 二因子), 得其肥料效应方程为:

$$y(\text{产量, 公斤/亩}) = 190.4 + 55.60N + 13.12K - 2.022N^2 - 0.7479K^2 + 0.1948N \cdot K$$

由该方程求得最高亩产为656.6公斤, 相应的施N量是11.3公斤/亩, K10.6公斤/亩; 输入物价参数得最佳产量为652.4公斤/亩, 最佳施N量则为13.2公斤/亩, K8.9公斤/亩。

#### 四、讨 论

##### (一)不同土壤上 N、P、K 肥的增产效果及原因

在淤黑姜土、淀白黑姜土和普通黑姜土上的试验结果都表明, 氮肥是玉米高产的主导因子。但并不是氮肥用量越高越好, 当用量过高时, 有时产量反而有所下降, 像淤黑姜土及涡阳淀白黑姜土上的试验; 有的当用量高时产量虽有所增加, 但经济效益则可能降低, 如怀远县包集的黑姜土和淀白黑姜土上的几个试验。其原因估计与品种生产潜力、播种时期、栽培管理、气候条件, 以及 N、P、K 等养分的平衡情况有关, 这也是符合报酬递减律的。

在几种土壤上的诸试验结果几乎都表明, 磷肥对玉米的增产效果较小, 大多达不到显著水平。这主要与供试土壤磷素肥力水平一般较高, 以及夏季高温期间土壤磷的有效性显著高于冬季(温度效应), 加上玉米对磷的需要也显著低于小麦等因素有关。其中土壤有效磷水平是主要原因。值得注意的是, 淮北砂姜黑土区土壤速效磷水平普遍有大幅度提高[1], 这是该地区土壤肥力变化中的重要特点。因此, 对玉米上磷肥的施用量当可酌减。

几乎与磷的变化情况相反的是, 在怀远县的淀白黑姜土及通普黑姜土的部分试验中, 已显示出钾肥对玉米有一定的增产效果, 特别是在第二季连续只施用化肥而不施有机肥时, 其增产效果更为显著, 例如1992年的试验, 及1991年在另一块黑姜土上的 3 因素 3 水平正交试验(施钾增产15%左右)皆如此。诚然, 钾肥的效果主要与土壤供钾能力、作物对钾的需求强度、N、P 肥施用水平及产量水平等因素有关[3]。淮北地区近十余年来随着良种的使用, N、P 肥用量和作物产量的成倍增加, 因而随作物生产而带走的钾素也越来越多; 加之有机肥施用量的减少, 以及很少施用化学钾肥的习惯, 从而造成土壤供钾水平在缓慢地下降, 如淮南南部的怀远县地区即是如此[1]。试验中施用钾肥有效的土壤, 其速效钾含量多在 100—130 mg/kg左右, 这在以往的肥力分级中属于中等到中上等, 但在目前玉米高产的指标下, 已不能满足作物的需求。因此, 在这种供钾水平的砂姜黑土上, 对高产玉米应补施钾肥。

此外, 对试验中不同处理的玉米籽粒、秸秆、芯皮等部分的植物分析及生物量测定结果表明, 每生产 100 公斤玉米平均需吸收N2.23公斤, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.89 公斤, K<sub>2</sub>O1.94公斤。与小

麦相比,其吸收 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量较低,尤其是 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量相对要低得多,而吸 K<sub>2</sub>O 量却高于小麦。又由于玉米的产量大大高于小麦,所以对 N 的总吸收量高于小麦,对 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 仍少于小麦,而总吸 K 量更高于小麦。再者,用差减法算得,玉米对氮肥的利用率从 38%—55%,平均 44%,这与小麦的相近;对磷肥的利用率则从 38%—48%,平均也为 44%,这比小麦的当季利用率要高得多。玉米的这一需肥特点和对肥料的利用率特点,可进一步解释玉米对磷肥反应差,而对钾肥反应较好的原因。

## (二)玉米的高产高效施肥方案

一般地说,高产高效施肥的原则,既要满足作物高产对养分的需求,又要尽量低耗而经济效益高;既要充分利用土壤的生产潜力,又要尽量维持土壤养分平衡。因此,一般可按照“平衡施肥”的原则而拟定施肥方案。

根据杂交玉米在砂姜黑土上的需肥特点、对肥料的利用率,经数学模拟而推导出的最佳施肥量来看,一般达最佳产量时每生产 100 公斤玉米需肥料 N 3.5—5.4 公斤,肥料 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.0—2.3 公斤, K<sub>2</sub>O 1.5—2.0 公斤。因此,按照平衡施肥和节磷的原则,拟出其高产高效的施肥方案如表 5。

表 5 砂姜黑土上玉米高产高效的施肥方案(单位:公斤/亩)

产量 指标	土壤基础 产量	增产量	需施用肥料量			备 注
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
500	150	350	15.5	4.0	6.0	淤黑姜土等供钾水平较高的 土壤,钾肥可少施或不施
	200	300	13.5	3.0	5.0	
	250	250	11.5	2.0	4.0	
550	200	350	15.5	4.0	6.0	
	250	300	13.5	3.0	5.0	
	300	250	11.5	2.0	4.0	
600	200	400	17.5	5.0	7.0	除淤黑土外,其它类型砂 姜黑土一般都需施钾肥
	250	350	15.5	4.0	6.0	
	300	300	13.5	3.0	5.0	
	350	250	11.5	2.0	4.0	
650	200	450	19.5	5.0	8.0	
	250	400	17.5	4.0	7.0	
	300	350	15.5	3.0	6.0	
	350	300	13.5	2.0	5.0	

施肥方案中用土壤基础产量,即不施肥区的产量代表土壤基础肥力;产量指标是根据砂姜黑土上玉米的增产潜力和生产发展的需要而拟定的。该方案的主要特点是:重氮、节磷、补钾。这与小麦的氮磷结合、配施有机肥的方案[2]有所不同。

上述是基本的施肥方案,对于以往 N、P 肥施用比例较平衡的土壤而言大致是可行的,但最好再根据土壤测试结果或根据过去的施肥情况加以适当调整。如果土壤中速效磷水平在 30 mg/kg 以上,磷肥用量还可减少。方案中玉米所需的钾,除淤黑姜土等含钾较丰富的土壤可暂由土壤本身提供外,对地处淮南南半部的淀白黑姜土、黄姜土和黑姜土等钾素水平中等的土壤,应补施钾肥或增施有机肥。磷肥和钾肥应作基肥或早期追肥,而氮肥应分次施用。

## 参 考 文 献

- [1]张效朴,主要作物均衡增产营养调节对策。淮北地区水土资源开发与治理研究,61—78页,科学出版社,1992。
- [2]张效朴,淮北砂姜黑土上小麦高产高效施肥技术的研究,土壤,第26卷,第1期,14--18页,1994。
- [3]张效朴、谢建昌等,江苏省土壤钾素供应能力与钾肥施用问题,土壤学报,第15卷,第1期,61—74页,1978。