

# 松嫩平原黑土区玉米生产 氮磷配合肥效优化模型的研究

韩 秉 进

(中国科学院黑龙江农业现代化研究所, 哈尔滨 150040)

**摘 要** 通过对黑土区玉米生产氮磷肥配合多年多点次的试验研究, 建立产量与肥效的优化模型, 优化解析出黑土区玉米生产氮磷配合最佳用量为  $N172.9\text{kg}/\text{ha}$ ,  $P_2O_5 57.4\text{kg}/\text{ha}$ , 氮磷比为 3.0:1, 可获最佳产量  $7791.0\text{kg}/\text{ha}$ ; 最佳用量范围内, 氮、磷用量相同时, 平均每公斤氮可增产玉米  $14.4\text{kg}$ , 每公斤磷可增产玉米  $16.9\text{kg}$ 。磷的肥效比氮好, 但氮的增产潜力远比磷大。单施磷可增产玉米  $734.9\text{kg}/\text{ha}$ , 而单施氮可增产玉米  $1597.9\text{kg}/\text{ha}$ ; 氮磷配合最佳用量范围内, 氮肥利用率为 23.8~37.1%, 磷肥利用率为 14.2~22.2%; 黑土区玉米产量对土壤的依存率平均为 68.9%。

**关键词** 产量, 肥效, 模型

松嫩平原黑土区位于我国东北部, 是世界著名的三大黑土带之一, 是我国的主要粮食产区。为了加速发展粮食生产, 改善施肥状况, 我国从 1986 年开始在全国推广配方施肥技术, 尤其是在 1990 年以来农业部又先后在全国各地搞了一批优化配方施肥试点县, 旨在不断完善配方, 提高精度, 以适应当地土壤肥力因素等自然变化和作物要求, 使各作物的施肥能够经济、合理、有效。黑龙江省绥化市是参加全国优化配方施肥试点县份之一。我们首先在前几年氮、磷单因子试验基础上, 制定了氮、磷配合优化设计方案, 进行多点次的田间试验, 建立数学模型, 优化解析, 为优化配方, 大面积推广应用提供了可靠的科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计及处理

采用二因素最优饱和设计方案<sup>[1,2]</sup>, 6 个处理组合, 因素水平编码见表 1, 试验处理见表 2。

### 1.2 试验地点及方法

试验区设在黑龙江省中南部的绥化市。绥化市位于松嫩平原东部, 小兴安岭余脉的西部边缘, 大部分是黑土, 其中 70% 的耕地面积属中、厚层黑土, 是玉米主产区, 每年玉米播种面积都在 4.7~6 万公顷, 约占粮豆薯总面积的三分之一。选有代表性的乡镇, 按高中低肥力布 13~14 个点次。6 垄区, 区长 10m,

表1 因素水平及编码

Table 1 Factors and codes (kg/ha)

编码值 Code	1990年 In 1990 years		1991年 In 1991 years	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	1	150.0	75.0	210.0
0.3944	104.6	52.3	146.5	52.3
-0.1315	65.1	32.6	91.2	32.6
-1	0	0	0	0

表2 试验处理

Table 2 Treatments for the experiment (kg/ha)

处理 Treatment	1990年 In 1990 years		1991年 In 1991 years	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	1	0	0	0
2	150	0	210	0
3	0	75	0	75
4	65.1	32.6	91.2	32.6
5	150	52.3	210	52.3
6	104.6	75	146.5	75

每小区面积 40m<sup>2</sup>。化肥分底肥与追肥两次施入,磷肥全部做底肥,氮肥 40% 做底肥,60% 做追肥。底肥采用破垄夹肥深施于种子下方 10cm 处,追肥在玉米 7~8 片叶展开时深追。玉米品种为白单九或当地主栽品种,每公顷保苗 4.5 万株。常规管理。播种前采 0~20cm 耕层土样,测定分析土壤养分。

## 2 结果与分析

### 2.1 产量结果(见表 3)

直观分析,黑土区玉米施用氮磷肥增产效果明显,单施氮(处理 2)较单施磷(处理 3)增产幅度大,氮磷配合以大氮量的处理 5 产量最高。

表3 玉米产量结果

Table 3 Yields of the corn (kg/ha)

处理 Treatment	1	2	3	4	5	6
1990年平均产量	5295	6927	6084	7025	7989	7581
1991年平均产量	5520	6950	6105	6950	7454	7401

### 2.2 建立回归方程及优化解析

$$1990 \text{ 年: } \hat{y} = 5294.9923 + 17.0782x_1 + 32.5649x_2 - 0.0413x_1^2 - 0.2939x_2^2 + 0.0208x_1x_2$$

$$1991 \text{ 年: } \hat{y} = 5519.9925 + 14.5970x_1 + 16.7932x_2 - 0.0371x_1^2 - 0.1199x_2^2 - 0.0042x_1x_2$$

综合:  $\hat{y} = 5407.4924 + 15.8376x_1 + 24.6791x_2 - 0.0392x_1^2 - 0.2069x_2^2 + 0.0083x_1x_2$

此方程是由编码方程转换成的实际应用方程,式中  $\hat{y}$  为理论产量,  $x_1$  为施氮量,  $x_2$  为施磷量 (kg / ha)。

经测验,1990年、1991年两年回归方程所得理论产量与各自实际产量高度拟合,综合方程所得理论产量与实际产量拟合程度也较高,相关指数达到  $r_i = 0.9832$  (1990年) 和  $r_i = 0.9679$  (1991年)<sup>[3]</sup>。

将方程式分别对  $x_1$ 、 $x_2$  取一阶偏导数,并令其等于零,求出最大施肥量 ( $x_{\max}$ ),令其分别等于它们的肥粮比价,求出最佳施肥量 ( $x_{\text{opt}}$ )<sup>1)</sup>。

1990年:  $x_{1\max} = 222.3$   $x_{2\max} = 61.8$   $\hat{y} = 8226.3$  N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 3.6:1

1991年:  $x_{1\max} = 192.7$   $x_{2\max} = 71.3$   $\hat{y} = 7485.3$  N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 2.7:1

综合:  $x_{1\max} = 208.8$   $x_{2\max} = 64.0$   $\hat{y} = 7848.3$  N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 3.3:1

1990年:  $x_{1\text{opt}} = 187.6$   $x_{2\text{opt}} = 57.5$   $\hat{y} = 8170.5$  N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 3.3:1

1991年:  $x_{1\text{opt}} = 156.1$   $x_{2\text{opt}} = 60.2$   $\hat{y} = 7431.4$  N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 2.6:1

综合:  $x_{1\text{opt}} = 172.9$   $x_{2\text{opt}} = 57.4$   $\hat{y} = 7791.0$  N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 3.0:1

可见1990、1991两年所建立的氮磷肥配合肥效模型相似,结果非常相近,可用综合方程模型代之。黑土区玉米生产氮磷肥配合施用,氮肥最大用量为208.8kg / ha,磷肥最大用量为64.0kg / ha,此时可获最高产量7848.3kg / ha。氮磷比为3.3:1;氮肥最佳用量为172.9kg / ha,磷肥最佳用量为57.4kg / ha,此时可获得最佳产量7791.0kg / ha,氮磷比为3.0:1。

### 2.3 氮、磷肥对产量影响的分析

通过综合的肥料效应模型,将不同施肥量条件下所得产量列于表4。

表4 施肥与产量的关系

Table 4 Relationship between fertilization and the yield (kg / ha)

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N					
	0	37.5	75.0	172.9	208.8	210.0
0	5407.5	5946.3	6374.8	6974.0	7005.4	7004.7
18.8	5798.3	6343.0	6777.4	7391.8	7428.8	7428.3
37.5	6042.0	6592.5	7032.7	7662.3	7704.9	7704.5
57.4	6142.4	6699.0	7145.4	7791.2	7839.7	7839.6
64.0	6139.5	6698.2	7146.7	7797.8	7848.3	7848.2
75.0	6094.6	6656.7	7108.6	7768.7	7822.5	7822.5

2.3.1 氮、磷肥效 肥料效应模型中的回归系数及表4的分析都表明,氮磷在最佳用量范围内,磷的肥效高于氮。无论是氮、磷单施,还是配合施。例如:单施磷37.5kg时,平均每公斤磷增产玉米16.9kg;单施氮37.5kg时,平均每公斤氮增产玉米14.4kg。氮磷配合各施37.5kg时,产量为6592.5kg,比单施氮37.5kg的产量高646.2kg,是磷配合的结果,平

1) 肥粮价格均按1991年价格计算: N为1.957, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为1.739 玉米为0.326(元 / kg) 计算方法和文中的肥料利用率、依存率均参阅沈阳农大土化系金耀青教授编写的《计量施肥讲义》(油印本),1988年8月黑龙江省土壤学会印刷。

均每公斤磷增产玉米 17.2kg; 产量 6592.5kg 比单施磷 37.5kg 的产量高 550.5kg, 是氮配合的结果, 平均每公斤氮增产玉米 14.7kg。其它施肥量条件下的产量结果分析也是如此。因此, 磷肥用量虽少, 但不可缺少, 又不能过量。但氮的增产潜力远远大于磷, 单施氮 208.8kg/ha 可使产量达到 7005.4kg, 比无肥增产 1597.9kg, 而单施磷 57.4kg/ha 只能使产量达 6142.4kg, 比无肥增产 734.9kg, 相差 2 倍之多。

2.3.2 氮、磷肥的交互作用 在氮磷肥配合最佳用量时, 即每公顷施氮 172.9kg、施磷 57.4kg, 可获得最佳产量 7791.2kg, 比无肥增产玉米 2383.7kg, 其中氮增产 1566.5kg, 占总增产部分的 65.7%; 磷增产 734.9kg, 占总增产部分的 30.8%; 氮磷交互作用增产 82.3kg, 占总增产部分的 3.5%。

## 2.4 氮、磷肥利用率分析

$$\text{肥料利用率}^{[4]}(\%) = \frac{\text{施肥区作物体内该元素的吸收量} - \text{无肥区作物体内该元素的吸收量}}{\text{所施肥料中该元素的总量}} \times 100$$

本地区生产 100kg 玉米籽实需吸收养分  $N_2.5\text{kg}$ 、 $P_2O_5 1\text{kg}^{[5]}$ , 按差减法计算肥料利用率。

### 2.4.1 氮、磷单施时利用率

$$\text{磷肥利用率}^{[4]}(\%) = \frac{\frac{\text{施磷区产量} - \text{空白区产量}}{100} \times 1}{\text{施磷量}} \times 100$$

$$\text{氮肥利用率}^{[4]}(\%) = \frac{\frac{\text{施氮区产量} - \text{空白区产量}}{100} \times 2.5}{\text{施氮量}} \times 100$$

由表 4 进一步分析, 按以上公式计算得出: 单施磷 18.8, 37.5, 57.4(kg / ha) 时, 分别比无肥区增产玉米 390.8, 634.5, 734.9(kg / ha), 磷肥利用率分别为 20.8%, 16.9%, 12.8%, 随磷肥用量的增加, 利用率降低; 单施氮 37.5, 75.0, 172.9(kg / ha) 时, 分别比无肥区增产玉米 538.8, 967.3, 1566.5(kg / ha), 氮肥利用率分别为 35.9%, 32.2%, 22.7%, 随氮肥用量的增加, 利用率降低。

### 2.4.2 氮磷配合时肥料利用率

$$\text{磷肥利用率}(\%)^{[6]} = \frac{\frac{\text{施氮磷区产量} - \text{施氮区产量}}{100} \times 1}{\text{施磷量}} \times 100$$

$$\text{氮肥利用率}(\%)^{[6]} = \frac{\frac{\text{施氮磷区产量} - \text{施磷区产量}}{100} \times 2.5}{\text{施氮量}} \times 100$$

由表 4 按以上公式计算得出: 在氮肥施用较充足条件下(即 172.9kg / ha), 施用磷肥 18.8, 37.5, 57.4(kg / ha) 时, 分别比单施氮 172.9kg / ha 区增产玉米 417.8, 688.3, 817.2(kg / ha), 磷肥利用率分别为 22.2%, 18.4%, 14.2%; 随磷肥用量的增加, 利用率降低; 在磷肥施用较充足条件下(即 57.4kg / ha), 施用氮肥 37.5, 75.0, 172.9(kg / ha) 时, 分别比

单施磷 57.4kg / ha 区增产玉米 556.6, 1003.0, 1648.8(kg / ha), 氮肥利用率分别为 37.1%, 33.4%, 23.8%, 随氮肥用量的增加, 利用率降低。氮磷配合后都比单施氮或磷利用率有所提高, 是氮磷交互作用的结果。黑土区玉米最佳施肥量(氮 172.9kg / ha、磷 57.4kg / ha 配合)时, 氮肥利用率为 23.8%, 磷肥利用率为 14.2%。

## 2.5 产量对土壤的依存率

依存率指作物产量对土壤的依赖程度, 也可理解为土壤贡献率。是空白区(不施任何肥料)产量占施肥区最高产量的百分比。即

$$\text{依存率}(\%) = \frac{\text{空白产量}}{\text{施肥最高产量}} \times 100$$

本项试验研究结果表明黑土区玉米产量对土壤的依存率是 68.9%。即黑土区玉米产量的三分之二是靠土壤获得, 肥料增产部分仅占总产量的三分之一。这一结果也间接说明了培肥和改良土壤的重要性。

上述黑土区玉米生产氮磷肥效试验, 建立的优化模型与实际产量有良好的拟合, 理论产量与实际产量相关指数达 0.9679~0.9832。在此基础上所进行的诸项分析数据可靠, 可用于生产产量预测及宏观决策、指导正确施肥。

## 参 考 文 献

1. 陶勤南. 回归分析与回归设计. 北京农业科学(专辑), 1984, 131~139
2. 韩秉进, 贾红, 郎庆明等. 黑土区玉米施用氮肥肥效的分析. 黑龙江农业科学, 1991, (3): 40~42
3. 马育华. 试验统计. 北京农业出版社, 1982, 549~554
4. 浙江农业大学主编. 农业化学(全国高等农业院校试用教材). 上海科技出版社, 1980, 296~299
5. 黑龙江省农科院主编. 种植业计算手册. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1986.
6. 周修冲, 谭允阳, 陈天生等. 双季稻田连续施用化肥的效应. 土壤肥料, 1988, (5): 1~4

## OPTIMIZATION MODEL FOR FERTILIZER EFFICIENCY OF NITROGEN AND PHOSPHORUS COMBINATION IN MAIZE PRODUCTION OF BLACK SOIL REGION IN SONG NEN PLAIN

Han Bing-jin

(*Heilongjiang Institute of Agricultural Modernization, Academia Sinica, Harbin 150040*)

### Summary

An optimization model for yield and fertilizer efficiency was established by many years and sites experimentation of N and P fertilizer combination for maize production in black soil region. The results showed that the optimum rate of N applied was 172.9kg / ha, that of  $P_2O_5$  was 57.4kg / ha, and the optimum N: $P_2O_5$  ratio was 3:1, which could win an optimum yield of 7791.0 kg / ha. Within the range of optimum rate of fertilizer application 14.4kg and 16.9kg of maize yields could be increased by each kg of N and P separately when the applied amounts of N and P were equal. The efficiency of phosphorus fertilizer was better than that of nitrogen fertilizer, but the yield-increasing potential of N was far higher than that of P. 734.9kg / ha of maize yield could be increased if only phosphorus fertilizer was applied, but 1597.9kg / ha of the yield could be increased when only nitrogen fertilizer was applied. Under the condition of optimum fertilizer application, N fertilizer's efficiency was 23.8—37.1%, and P fertilizer's efficiency was 14.2—22.2%. 68.9% of maize yield was dependent upon the soil.

**Key words** Yield, Fertilizer efficiency, Model, Maize