

氮磷钾配施对三江平原玉米产量的影响

王玲莉¹, 古慧娟¹, 石元亮¹, 梁桂林², 阎立春²

(1. 中国科学院 沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 黑龙江省宝清八五三农场, 黑龙江 双鸭山 155630)

摘要:为研究适合黑龙江八五三农场地区玉米最佳施肥量,采用“3414”试验方案进行了肥效试验,拟合了肥料效应一元二次方程和三元二次方程。通过一元二次方程拟合分析得出,在该土壤条件下的最大的施氮量、施磷量和施钾量分别为 147.96、85.635 和 44.205 kg·hm⁻²,最佳的施氮量、施磷量和施钾量分别为 76.245、52.98 和 32.4 kg·hm⁻²。氮、磷、钾三者必须配合施用才能达到高产,任何一种营养元素受到胁迫都不利于高产。通过三元二次方程得出,在该土壤条件下,氮、磷、钾最高施肥量为 N-P₂O₅-K₂O=131.7-85.3-36.1(kg·hm⁻²),对应的最高产量为 9 522.81 kg·hm⁻²。最佳施肥量 N-P₂O₅-K₂O=82.7-54.1-33.6 (kg·hm⁻²),其对应的产量为 9 288.54 kg·hm⁻²。

关键词:3414;玉米;肥料效应;数学模拟

中图分类号:S143.15

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2011)12-0042-05

我国是玉米生产和消费大国,玉米作为三大粮食作物之一,对于保障我国粮食安全具有重要的战略意义。玉米的有效供给已经成为关系粮食安全、肉类生产及工业发展的重要问题^[1]。目前,

世界人口不断增加,而耕地面积在急剧下降,农民通过增加施肥量来增加粮食的产量,因而出现了广大地区施肥量过多,造成了一系列的生产、环境等问题^[2-3]。

20 世纪 80 年代依靠全国第二次土壤普查土壤养分数据和田间肥料效应,开发推广的配方施肥技术,为我国粮食的增产、农民收入的增加做出了巨大的贡献。但肥料效应会随着土壤养分的变化而变化,同时也会受人为的生产活动而改变。为了适应农田土壤肥力的变化,调整作物施肥的适宜用量,从事农业技术研究和推广人员,一直以来都在不间断地进行着田间肥料效应试验^[4-5]。

收稿日期:2011-08-01

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2009BADB3B07)

第一作者简介:王玲莉(1983-),女,陕西省韩城市人,硕士,农艺师,从事土壤植物营养研究。E-mail:wanglingli2231@163.com。

通讯作者:石元亮(1960-),男,吉林省集安市人,博士,博导,研究员,从事新型肥料技术研究。E-mail:shiyl@iae.ac.cn。

Nitrogen Levels and Nitrogen Application Modes on Ammonia Volatilization Effect

MENG Xiang-hai¹, WEI Dan², WANG Yu-feng², WU Ying², CHEN Xue-li², ZHANG Lei², SHI Xin-rui³

(1. Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang, 150086; 2. Soil Fertilizer and Resource Environment Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 3. Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang, Heilongjiang 157041)

Abstract: Using static absorption method, the study of five different nitrogen fertilizer(urea) gradient as well as three fertilization methods(deep application, application, applying mixed) on ammonia volatilization characteristics in three different fertilizing period was conducted. The results showed that: with the increase of nitrogen amount, ammonia volatilization fluxes showed a rising trend, with the increase of nitrogen application amount, ammonia volatilization loss accounted for the proportion of the total increase gradually. The ratio of ammonia volatilization in various fertilization periods was different. The biggest loss was in tillering period, followed by basal fertilizer, and panicle fertilizer period was the least. Every time after fertilization, ammonia volatilization lasted for about a week, around 2 to 4 days reach the maximum value, the amount of ammonia volatilization of nitrogen increased significantly with increasing trend, the obvious mode was the most evident.

Key words: nitrogen; paddy; ammonia volatilization

三江平原拥有耕地面积 366.77 万 hm^2 , 人均耕地面积和人均粮食产量均为全国平均水平的 4 倍以上, 这里农业生产规模巨大, 农业机械化程度全国第一, 是国家重要的商品粮基地。

该试验通过推广的“3414”试验研究适合试验区土壤条件的最佳施肥量, 形成适合三江平原玉米优化施肥模式, 以实现节本增效、提高粮食产量、增加农民收入、保护环境的目的。

1 材料与方法

1.1 试验概况及材料

试验于 2009 年 5~10 月在黑龙江双鸭山市八五三农场进行。地处 $\text{E}132^{\circ}57'$, $\text{N}46^{\circ}31'$, 年平均气温 2.8°C , 日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温平均为 $2\,514^{\circ}\text{C}$, 平均日照 $2\,384\text{ h}$ (生育期日照 $1\,129\text{ h}$, 占全年 47.4%), 太阳总辐射值 $108.1\text{ kcal}\cdot\text{cm}^{-2}$, 无霜期 131 d。多年平均降雨量 557.2 mm, 7、8、9 三个月降水量占全年的 53%。供试土壤类型为草甸白浆土, 粘壤土质地, 耕层土壤厚度为 30 cm, 土壤的基本理化性质见表 1。

供试玉米品种为绥玉 7 号, 供试肥料为氮肥用尿素 (含 $\text{N}46\%$)、磷肥用重过磷酸钙 (含 $\text{P}_2\text{O}_5\,46\%$)、钾肥用氯化钾 (含 $\text{K}_2\text{O}\,60\%$)

表 1 供试土壤的基本理化性质

pH	有机质 /%	全氮 /%	全磷 /%	碱解氮 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	有效磷 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效钾 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
5.67	4.45	0.23	0.14	153	26.9	123

1.2 方法

试验采用“3414”完全实施方案设计, 氮、磷、钾 3 个因素, 4 个水平, 14 个处理。0 水平指不施肥, 2 水平指当地最佳施肥量, 1 水平 = 2 水平 $\times 0.5$ (该水平为不足施肥水平), 3 水平 = 2 水平 $\times 1.5$ (该水平为过量施肥水平)。每个处理 3 次重复, 共 42 个小区。试验小区随机区组排列, 小区面积为 40 m^2 。各小区间设置保护行。当地最佳施肥水平: $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=140\text{-}70\text{-}30(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$ 。

施肥方法: 氮肥 60% 作为基肥施入, 40% 在大喇叭口期追施; 磷肥和钾肥均作为基肥全部施入。具体的施肥量见表 2。

表 2 玉米“3414”田间试验施肥方法及数量

$\text{kg}\cdot\text{区}^{-1}$

编号	处理	因子水平码值			尿素		重钙	氯化钾
		N	P_2O_5	K_2O	基肥	追肥	基肥	基肥
1	$\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$	0	0	0	0	0	0	0
2	$\text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$	0	2	2	0	0	0.6087	0.2000
3	$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2$	1	2	2	0.3652	0.2435	0.6087	0.2000
4	$\text{N}_2\text{P}_0\text{K}_2$	2	0	2	0.7304	0.4870	0	0.2000
5	$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_2$	2	1	2	0.7304	0.4870	0.3043	0.2000
6	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$	2	2	2	0.7304	0.4870	0.6087	0.2000
7	$\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$	2	3	2	0.7304	0.4870	0.9130	0.2000
8	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_0$	2	2	0	0.7304	0.4870	0.6087	0
9	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_1$	2	2	1	0.7304	0.4870	0.6087	0.1000
10	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$	2	2	3	0.7304	0.4870	0.6087	0.3000
11	$\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$	3	2	2	1.0956	0.7305	0.6087	0.2000
12	$\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_2$	1	1	2	0.3652	0.2435	0.3043	0.2000
13	$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_1$	1	2	1	0.3652	0.2435	0.6087	0.1000
14	$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_1$	2	1	1	0.7304	0.4870	0.3043	0.1000

试验于 2009 年 5 月 7 日播种, 每个小区除施肥处理不同外, 其它田间管理措施一致。5 月 10 日喷施除草剂, 整个生长期, 中耕 3 次, 9 月 13 日单收单打计产。

试验结果采用 Excel 2003 和 SPSS13.0 统计分析并处理。

2 结果与分析

2.1 不同处理的产量及产量构成因子比较

从表 3 可知, 氮磷钾三者必须配合施用才能达到高产, 任何一种营养受到胁迫都不利于高产。

在氮、磷、钾养分水平相等, 每两种化肥配施的情况下, 以氮、磷配施的产量最高, 磷、钾配施其次, 氮、钾配施最低, 但产量差异不显著。

比较磷钾相同水平下的不同氮肥处理, 可以看出株高、穗长、穗粒数都随着施氮量的增加有所增加, 对于产量, 0、1、2、3 水平分别比空白对照增产 27.10%、32.25%、37.14% 和 34.24%。以 2 水平氮处理产量最高, 3 水平氮处理的产量与 2 水平氮处理相比, 有所减产。说明, 当施氮量超过一定的水平, 其产量非但不增反而会减少。比较

表 3 不同施肥处理产量与产量构成因子

处理	株高/cm	穗长/cm	穗粒数	百粒重/g	产量/kg·hm ⁻²	增产率/%
N ₀ P ₀ K ₀	250.2	18.3	386.6	38.90	6930.0	0
N ₀ P ₂ K ₂	261.1	18.9	410.5	39.60	8808.0	27.10
N ₁ P ₂ K ₂	268.2	20.7	462.7	42.20	9165.0	32.25
N ₂ P ₀ K ₂	271.4	20.4	461.7	41.91	8674.5	25.17
N ₂ P ₁ K ₂	265.7	20.9	468.0	43.01	9270.0	33.77
N ₂ P ₂ K ₂	270.2	21.5	478.1	44.10	9504.0	37.14
N ₂ P ₃ K ₂	267.8	21.3	483.4	43.87	9529.5	37.51
N ₂ P ₂ K ₀	259.3	21.0	477.6	42.84	8967.0	29.39
N ₂ P ₂ K ₁	265.7	21.2	476.9	42.70	9186.0	32.55
N ₂ P ₂ K ₃	261.1	21.7	477.4	43.89	9474.0	36.71
N ₃ P ₂ K ₂	273.8	21.2	481.9	43.80	9303.0	34.24
N ₁ P ₁ K ₂	268.5	20.6	464.7	42.73	9024.0	30.22
N ₁ P ₂ K ₁	265.9	19.7	470.9	43.19	9124.5	31.67
N ₂ P ₁ K ₁	268.6	21.8	479.6	43.49	9025.5	30.23

氮钾相同水平的不同磷肥处理,可以看出株高、穗长、穗粒数随着施磷量的增加而增加,在产量上,0、1、2、3 水平分别比空白对照增产 25.17%、33.77%、37.14%和 37.51%。以 3 水平施磷量产量最高,但是和 2 水平处理相比,差异不显著。比较氮磷相同水平的不同钾肥处理,可以看出株高、穗长、穗粒数在各处理间的差异不显著,0、1、2、3 水平处理的产量分别比空白对照增产 29.39%、32.55%、37.14%和 36.71%,以 2 水平施磷量产量最高。

2.2 三因子施肥量与产量数学模型的建立

根据不同处理的实际产量,按照“3414”试验设计通用统计分析方法,以玉米产量为因变量(Y),以氮磷钾三元素为自变量(x_i),建立三元二次施肥模型^[6]。拟合三元二次方程为: $Y=6940.519+12.372x_1+24.342x_2+40.432x_3-0.035x_{12}-0.103x_{22}-0.379x_{32}-0.023x_1x_2-0.032x_1x_3-0.103x_2x_3$ ($R^2=0.9922$),式中 Y 为玉米产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), x_1 为氮肥用量 (纯 N, $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), x_2 为磷肥施用量 (P_2O_5 , $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), x_3 为钾肥施用量 (K_2O , $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

根据经济学原理,每增加一个单位的肥料投入量所能增加的作物产量,就称边际产量。一般情况下,随着施肥量的增加边际产量就会递减,当达到最高产量时,边际产量就会等于 0,即使此时再增施肥料,作物产量也不会再增加。因此可以利用这一原理,对方程求出氮、磷、钾的最高施肥量。经计算得出最大施肥量 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=131.7\text{-}85.3\text{-}36.1$ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),对应的最高产量为 $9\,522.81 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

经济产量确定是根据边际成本和其得到的边际效益一定时,边际成本与边际收益之差就是边际利润。当边际利润为 0 时,此时的施肥量为最佳经济施肥量。根据此原理,按玉米 $1 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$,纯 N $4.24 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$,纯 P_2O_5 $7.821 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$,纯 K_2O $6.671 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ 计算,得出最佳施肥量 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ 为 $82.7\text{-}54.1\text{-}33.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其对应的产量为 $9288.54 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2.3 氮肥量与产量数学模型的建立

应用一元二次施肥模型,以处理 $\text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$ 为对照,检验分析施用不同水平氮肥的效应^[7]。回归方程 $Y=-0.029\,6\,x^2+8.746\,7x+8\,781.9$ ($R^2=0.947\,2$),据此方程得出最大的施氮量为 $147.96 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其相应的产量为 $9\,429 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,最佳经济施氮量为 $76.245 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,相应的产量为 $9\,276.945 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。由图 1 中曲线可以看到,玉米的产量并不是随着氮肥的增加而一直增加,当其施氮量超过一定的量后,其产量会显著地降低。

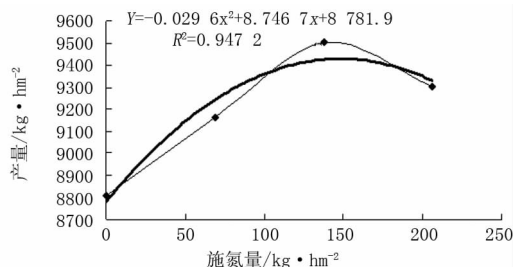


图 1 不同施氮处理与产量的关系

我国农业生产中一个普遍存在的问题就是氮肥用量过多,氮肥的当季利用率仅达到 30% 左右。过量的施用氮肥,致使氮肥利用率过低,不仅造成资源浪费,增加生产成本,同时也加重了环境

的面源污染。利用科学试验去指导实际生产,合理地施用肥料,从而达到增产增效,保护环境的双重目的。

2.4 磷肥量与产量数学模型的建立

以处理 $N_2P_0K_2$ 为对照,在相同氮、钾水平下,分析磷肥水平与产量的关系。回归方程 $Y = -0.1197x^2 + 20.504x + 8682.1 (R^2 = 0.9975)$, 据此方程得出的最大施磷量为 $85.635 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 相应的产量为 $9560.07 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 最佳经济施磷量为 $52.98 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 相应的产量为 $9432.375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

由图 2 可以看出,磷肥表现出和氮肥一样的趋势,先是随着施磷量的增加而显著增加,当达到一定的值时,产量达到最高,当磷肥的施用量继续增加,产量就会有所下降。

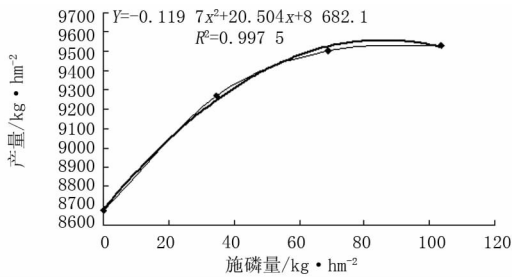


图 2 不同施磷处理与产量的关系

2.5 钾肥量与产量数学模型的建立

以处理 $N_2P_2K_0$ 为对照,在相同氮、磷水平下,分析钾肥水平与产量的关系。回归方程 $Y = -0.2823x^2 + 24.96x + 596.31 (R^2 = 0.9487)$, 得出的最大施钾量为 $44.205 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 对应的产量为 $9496.38 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 最佳经济施钾量为 $32.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其对应的产量为 $9456.975 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

从图 3 中可以看出,钾肥的施用量和产量之间的关系也是符合报酬递减规律的,虽然在图中没有显示出有明显的下降趋势,但是当钾肥的施用量达到一定的值后,产量趋于平稳,也不再增加。玉米产量随钾肥施用量的变化趋势也是先是显著增加,之后趋于稳定,当施钾量达到一定值后,产量也不再增加。

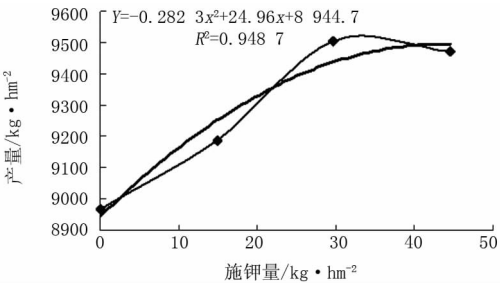


图 3 不同施钾量与产量的关系

2.6 经济效益分析

农民种粮最关心的也是经济收入问题,尤其是在三江平原这样的商品粮基地。广大农民认为施肥量越高产量越高,从而收入也会越高。然而从表 4 中可以看出,与 $N_2P_2K_2$ 的纯收入 $8183.745 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 相比, $N_3P_2K_2$ 、 $N_2P_3K_2$ 、 $N_2P_2K_3$ 处理的纯收入分别为 7691.457 、 7939.455 和 $8054.696 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 均低于 $N_2P_2K_2$ 的纯收入,并且以 $N_3P_2K_2$ 的纯收入最低,其纯收入仅仅排在空白处理之前,由此可以看出过量施氮不但不可以增加产量和收入,反而会降低其经济收入。由于肥料的成本价和商品粮的价格也是随着市场行情而改变的,所以要想获得比较理想的经济收入,还要根据实时行情来预测指导农业生产。

表 4 不同处理的经济效益分析

处理	产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	产值/元	肥料成本/元	纯收入/元	排名
$N_0P_0K_0$	6930.0	6930.0	0	6930.000	14
$N_0P_2K_2$	8808.0	8808.0	737.679	8070.321	7
$N_1P_2K_2$	9165.0	9165.0	1028.967	8136.033	5
$N_2P_0K_2$	8674.5	8674.5	780.675	7893.825	11
$N_2P_1K_2$	9270.0	9270.0	1050.465	8219.535	2
$N_2P_2K_2$	9504.0	9504.0	1320.255	8183.745	4
$N_2P_3K_2$	9529.5	9529.5	1590.045	7939.455	10
$N_2P_2K_0$	8967.0	8967.0	1122.156	7844.844	12
$N_2P_2K_1$	9186.0	9186.0	1221.206	7964.795	9
$N_2P_2K_3$	9474.0	9474.0	1419.305	8054.696	8
$N_3P_2K_2$	9303.0	9303.0	1611.543	7691.457	13
$N_1P_1K_2$	9024.0	9024.0	759.177	8264.823	1
$N_1P_2K_1$	9124.5	9124.5	929.918	8194.583	3
$N_2P_1K_1$	9025.5	9025.5	951.416	8074.085	6

3 结论与讨论

目前,我国化肥投入增加量与粮食产出增加量的比例远远高于世界平均水平,而化肥当季利用率却比发达国家平均低 10% 左右。过量的化肥投入,不仅增加了生产成本,浪费有限的农业资源,而且给生态环境带来严重的危害。测土配方施肥是综合运用现代农业科技成果,根据土壤供肥特性、作物需肥规律与肥料效应,提出肥料的适宜用量和比例,确定合理的施肥量以及相应的施肥技术,以满足作物均衡吸收各种营养,维持土壤肥力水平,减少养分流失和对环境的污染,达到高产、优质和高效的目的。

该试验结果表明,施肥处理的产量均比空白对照有显著的增加。氮、磷、钾三者必须配合施用才能达到高产,任何一种营养受到胁迫都不利于高产。在氮、磷、钾养分水平相等,每两种化肥配施的情况下,以氮、磷配施的产量最高,磷、钾配施其次,氮、钾配施最低,但产量差异不显著。

分析氮、磷、钾单因素对玉米产量的影响可知,三种元素与产量的关系均符合报酬递减规律,均表现为先随施肥量的增加而增加,然后趋于平稳,当超过该因素最大施肥量时,产量有明显减少趋势。对三因素分别进行回归模拟计算,得出最大的施氮量、施磷量、施钾量分别为 147.96、85.635 和 44.205 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,最佳的施氮量、施磷量、施钾量分别为 76.245、52.980 和 32.400 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

三元二次方程模拟计算得出的最大施肥量为

Effects of Different Nitrogen, Phosphorus and Potassium Concentration on Production of Maize in Sanjiang Plain

WANG Ling-li¹, GU Hui-juan¹, SHI Yuan-liang¹, LIANG Gui-Lin², YAN Li-Chun²

(1. Applied Ecology Institute of of Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016; 2. Baoqing 853 Farm in Heilongjiang Province, Shuangyashan, Heilongjiang 155630)

Abstract: In order to research the optimal fertilizer application in area of 853 Farm in Heilongjiang province, the field experiment of fertilizer effect was conducted using '3414' method. Quadratic equation of one variable and quadratic equation of three variables were studied. According to the quadratic equation of one variable, the most fertilization $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ was 147.96, 85.635 and 44.205 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, and the most economical fertilization $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ was 76.245, 52.98 and 32.4 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. The three fertilizer must go together with each other, any one on the stress was not good for high yield. According to quadratic equation of three variables, the highest yield of 9 522.81 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ would be reached when $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=131.7\text{-}85.3\text{-}36.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, The optimal fertilizer applied was $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=82.7\text{-}54.1\text{-}33.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and yield was 9 288.54 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$.

Key words: maize; 3414; function of fertilizer; mathematical modeling

$\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=131.7\text{-}85.3\text{-}36.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 对应的最高产量为 9 522.81 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。得出最佳施肥量 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=82.7\text{-}54.1\text{-}33.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 其对应的产量为 9 288.54 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

对各处理的经济效益分析表明, $\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$ 、 $\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$ 、 $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$ 处理的纯收入分别为 7 691.457、7 939.455 和 8 054.696 元· hm^{-2} , 均低于 $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ 的纯收入 8 183.745 元· hm^{-2} , 并且以 $\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$ 的纯收入最低。过量施氮不但不可以增加产量和收入, 反而会降低其经济收入, 广大农民所持有的增加施肥量就能增加产量, 增加收入的思想是不可取的, 应该根据实时行情来预测指导农业生产。

参考文献:

- [1] 李建辉, 马林, 王激清, 等. 中国玉米生产-消费体系养分流动分析[J]. 自然资源学报, 2007, 22(3): 455-462.
- [2] 李庆远, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998.
- [3] 张智峰, 张卫峰. 我国化肥施用现状及趋势[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(6): 9-12.
- [4] 宋永林, 袁锋明, 姚造化, 等. 不同肥料配比对夏玉米生物性状及产量影响的定位研究[J]. 土壤肥料, 2001(1): 31-33.
- [5] 张玉龙, 杨丹, 刘鸣达, 等. 北方酸性水稻土上氮磷硅肥配施对水稻产量影响的研究[J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 432-435.
- [6] 王圣瑞, 陈新平, 高祥照, 等. "3414"肥料试验模型拟合的探讨[J]. 植物营养学报, 2002, 8(4): 409-413.
- [7] 朱涛, 张中原, 李金凤, 等. 应用二次回归肥料试验"3414"设计配置多种肥料效应函数功能的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(3): 211-215.