

中图分类号: S532, S143.1, S143.2, S143.3 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2005)03-0144-04

# 晋西南山区马铃薯氮磷钾肥肥效及合理施用

苏年贵<sup>1</sup>, 张学良<sup>2</sup>, 冀秀梅<sup>3</sup>

(1. 山西省农业科学院隰县农业试验站, 山西 隰县 041300; 2. 山西省隰县农业局, 山西 隰县 041300; 3. 山西省隰县职业中学, 山西 隰县 041300)

**摘要:** 采用三因素二次通用旋转组合设计法, 建立晋西南山区马铃薯 N、P、K 施肥量与产量关系的施肥效应方程, 解析与模拟寻优结果表明: N、P、K 三因子对晋西南山区马铃薯产量影响的顺序为: 钾肥>氮肥>磷肥; 各因子间的交互作用中, 氮钾最强, 磷钾次之, 氮磷最差; 得出了该区马铃薯  $\text{hm}^2$  产  $\geq 22500 \text{ kg}$ , 产量指标 95% 置信限的最佳施肥量为: 每  $\text{hm}^2$  纯氮( $X_1$ )144.75~194.55 kg, 纯磷( $X_2$ )106.8~144.45 kg, 纯钾( $X_3$ )135.9~202.5 kg; 并得出了该区每  $\text{hm}^2$  最高产量 30629.8 kg 时的施肥量: 纯氮 189.7 kg, 纯磷 123.6 kg, 纯钾 182.7 kg。

**关键词:** 马铃薯; 氮磷钾肥; 肥效; 合理施用

马铃薯是山西省晋西南山区的主要种植作物之一, 每年种植面积约 2~3 万  $\text{hm}^2$ , 占全年播种面积的 12%~15%, 在目前的栽培水平与地力条件下, 每  $\text{hm}^2$  产量仅维持在 11 250~15 000 kg。如何提高马铃薯产量水平, 除了大面积推广新的脱毒马铃薯品种外, 关键措施之一在于平衡施肥, 将肥料经济合理施用, 为此, 我们进行了 N、P、K 肥肥效及合理施用试验研究, 以期同类地区科学施肥提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

本试验于 2004 年在残垣沟壑区的隰县上留村进行, 前茬作物为玉米, 黄绵土壤, 0~20 cm 耕作层土壤有机质为  $8.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 全 N  $6.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 碱解 N  $49 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效 P  $7.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效 K  $136 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 供试品种

克新 1 号

### 1.3 供试肥料

氮肥: 尿素(含 N 46%); 磷肥: 过磷酸钙(含  $\text{P}_2\text{O}_5$  12%); 钾肥: 硫酸钾(含  $\text{K}_2\text{O}$  50%)。

收稿日期: 2005-01-11

作者简介: 苏年贵(1963-), 男, 山西省隰县农业试验站助理研究员, 主要从事农作物栽培技术研究。

E-mail: sunianguai@126.com

## 1.4 试验设计

试验采用三因素二次通用旋转组合设计法<sup>[1]</sup>, 以产量为目标函数, 施 N 量( $X_1$ ), 施 P 量( $X_2$ ), 施 K 量( $X_3$ )为研究因子, 各因子水平的上限按高产指标的最大需肥量确定, 因子编码水平及实际量见表 1。试验共设 23 个处理组合, 随机排列, 每小区 10 行, 行距 50 cm, 小区面积 20  $\text{m}^2$ , 三种肥料均作为底肥一次性施入, 其它管理同于大田, 实施方案及试验结果结构矩阵见表 2。

表 1 N、P、K 编码水平及实际量 ( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

编码水平	施氮量 (纯 N $X_1$ )	施磷量 (纯 $\text{P}_2\text{O}_5$ $X_2$ )	施钾量 (纯 $\text{K}_2\text{O}$ $X_3$ )
-1.682	0	0	0
-1	75	60	75
0	150	120	150
1	225	180	225
1.682	300	240	300

## 2 结果与分析

### 2.1 肥效方程建立与检验

对表 2 中试验数据进行统计运算, 得出晋西南山区马铃薯品种克新 1 号施氮量( $X_1$ )、施磷量

( $X_2$ )、施钾量( $X_3$ )的施肥效应方程:

$$Y = 30202.5 + 721.95X_1 + 270.12X_2 + 1440.75X_3 - 255.9X_1X_2 + 544.65X_1X_3 + 102.15X_2X_3 - 1021.35X_1^2 - 1655.85X_2^2 - 2299.32X_3^2$$

表2 N、P、K 三因子二次通用旋转组合设计实施方案及试验结果结构矩阵(kg·hm<sup>-2</sup>)

处 理	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	产 量
1	1	1	1	1	31170
2	1	1	1	-1	26835
3	1	1	-1	1	30510
4	1	1	-1	-1	27180
5	1	-1	1	1	29160
6	1	-1	1	-1	27600
7	1	-1	-1	1	28072
8	1	-1	-1	-1	26325
9	1	1.682	0	0	31140
10	1	-1.682	0	0	27975
11	1	0	1.682	0	27780
12	1	0	-1.682	0	27180
13	1	0	0	1.682	28695
14	1	0	0	-1.682	23520
15	1	0	0	0	33570
16	1	0	0	0	34905
17	1	0	0	0	31545
18	1	0	0	0	34380
19	1	0	0	0	37155
20	1	0	0	0	33435
21	1	0	0	0	32355
22	1	0	0	0	34065
23	1	0	0	0	31935

失拟性和显著性检验:

(1)  $F_1 = 2.79 < F_{0.05(5,8)} = 3.69$ ,  $F_1$  不显著, 表明该试验中, 影响研究目标的主要因子均已考虑到。

(2)  $F_2 = 7.29 > F_{0.01(9,13)} = 4.19$ ,  $F_2$  达到极显著水平, 表明该肥效方程与实际情况拟合程度好, 可直接用该方程解析和模拟寻优。

(3)  $R^2 = 0.835$ , 表明不同 N、P、K 配比施肥对马铃薯产量的影响达 83.5%。

(4)  $R = 0.912 > R_{0.01(19)} = 0.665$ , 表明试验三因子与马铃薯产量的多元相关达到极显著水平。

## 2.2 肥效方程解析

### 2.2.1 主效应分析

在本试验所建立的施肥效应方程中,  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  一次项的偏回归系数分别为: 721.95, 270.12, 1440.75, 表明增施氮、磷、钾肥对晋西南山区马铃薯都能起到增产作用, 对产量影响的顺序是: 钾肥 > 氮肥 > 磷肥。采用降维法<sup>[2]</sup>, 对三因子肥效方程固定两因子为零水平, 求得各因子对产量的子肥效方程:

$$Y = 30197.25 + 721.95X_1 - 1021.35X_1^2$$

$$Y = 30197.25 + 270.12X_2 - 1655.85X_2^2$$

$$Y = 30197.25 + 1440.75X_3 - 2299.32X_3^2$$

分别将-1.682、-1、0、1、1.682 五个编码值代入各因子对产量的子肥效方程中, 可求得各因子不同施肥量对马铃薯产量的理论值, 见表3。

表3 三因子不同编码值对产量的影响(kg·hm<sup>-2</sup>)

编码水平	$X_1$	$X_2$	$X_3$
-1.682	26092.51	25056.85	21266.83
-1	28453.95	28271.28	26457.18
0	30197.25	30197.25	30197.25
1	29897.85	28811.52	29338.68
1.682	28531.15	25965.53	26113.51

由表3可看出, 在 $-1.682 \leq X_i \leq 1.682$  范围内, N、P、K 施肥量对产量的影响均随取值水平变化而变化, 呈由低—高一低的变化趋势, 当因子编码值小于零时, 随着 N、P、K 肥施用量的增加, 产量相应增加, 增加幅度表现为  $K(X_3) > P(X_2) > N(X_1)$ , 至零水平时达最大值 30197.25 kg·hm<sup>-2</sup>, 之后, 随着各因子施肥水平的继续增加, 产量下降, 且下降幅度  $P(X_2) > K(X_3) > N(X_1)$ , 说明 N、P、K 三种肥料施用均存在一个合理施肥的适宜幅度, 超过此范围, 反而会减产。

### 2.2.2 交互效应分析

将各因素有关编码值代入肥效方程得表4。据表4计算出各因素单位投入量增加的产量及交互作用增加的产量:

$$\text{纯 N 增产量: } 16420.81 - 13133.4 = 3287.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$$

(取最高点值)

纯 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产量: 18 708.75 - 13 133.4 = 5 575.35 kg·hm<sup>-2</sup>(取最高点值)

纯 K 增产量: 20 233.5 - 13 133.4 = 7 100.1 kg·hm<sup>-2</sup>(取最高点值)

N、P 一级交互作用: (21271.95 - 13 133.4 - 3287.4 - 5 575.35) ÷ 2 = -362.1 kg·hm<sup>-2</sup>

N、K 一级交互作用: (25 061.7 - 13 133.4 - 3287.4 - 7 100.1) ÷ 2 = 770.4 kg·hm<sup>-2</sup>

P、K 一级交互作用: (26 104.65 - 13 133.4 - 5 575.35 - 7 100.1) ÷ 2 = 147.9 kg·hm<sup>-2</sup>

N、P、K 二级交互作用: 30 202.5 - 13 133.4 = 17 069.1 kg·hm<sup>-2</sup>

表 4 各因子与产量的关系(kg·hm<sup>-2</sup>)

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y(理论产量)	备注
-1.682	-1.682	-1.682	13133.40	地力水平
-1	-1.682	-1.682	15147.45	纯 N 作用
0	-1.682	-1.682	16420.81	纯 N 作用最高点
1	-1.682	-1.682	15635.71	纯 N 作用
1.682	-1.682	-1.682	13927.50	纯 N 作用
-1.682	-1	-1.682	16524.30	纯 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 作用
-1.682	0	-1.682	18708.75	纯 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 作用最高点
-1.682	1	-1.682	17584.30	纯 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 作用
-1.682	1.682	-1.682	14912.10	纯 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 作用
-1.682	-1.682	-1	17578.35	纯 K <sub>2</sub> O 作用
-1.682	-1.682	0	20233.50	纯 K <sub>2</sub> O 作用最高点
-1.682	-1.682	1	19489.95	纯 K <sub>2</sub> O 作用
-1.682	-1.682	1.682	14319.31	纯 K <sub>2</sub> O 作用
-1.682	0	0	26104.65	PK 高点一级互作
-1	0	0	28459.92	
0	0	0	30202.50	NPK 高点二级互作
1	0	0	29903.31	NPK 互作氮高点上移
1.682	0	0	28526.40	
0	-1.682	0	25061.70	NK 高点一级互作用点
0	-1	0	28276.65	
0	0	0	30202.50	NPK 互作 P 高点不变
0	1	0	28816.65	
0	1.682	0	27871.50	
0	0	-1.682	21271.95	NP 高点一级互作用点
0	0	-1	26462.40	
0	0	0	30202.50	NPK 互作 K 高点不变
0	0	1	29343.90	
0	0	1.682	26118.75	

从以上分析可看出: 氮钾一级交互作用最强, 每 hm<sup>2</sup> 增产鲜薯 770.4 kg, 磷钾次之, 氮磷最差, 表现为负值, 这是因为磷肥促进氮肥吸收, 营养生长过旺, 造成减产。

### 2.3 肥效方程模拟寻优

#### 2.3.1 最高产量时施肥量的确定<sup>[3]</sup>

对建立的肥效方程求产量 Y 对 X<sub>1</sub>(氮)、X<sub>2</sub>(磷)、X<sub>3</sub>(钾)的一阶偏导数, 当边际产量等于零时马铃薯产量达最高点, 此时的施肥量即为最高产量的施肥量。

即:

$$\partial Y/\partial N = 721.95 - 2042.7X - 255.9X + 544.65X = 0$$

$$\partial Y/\partial P = 270.12 - 255.9X_1 - 3311.7X_2 + 102.15X_3 = 0$$

$$\partial Y/\partial K = 1440.75 + 544.65X_1 + 102.15X_2 - 4598.64X_3 = 0$$

联立求解得, 最高产量施肥量为: X<sub>1</sub>=0.4451, X<sub>2</sub>=0.0500, X<sub>3</sub>=0.3671, 每 hm<sup>2</sup> 最高产量理论值 Y<sub>max</sub>=30 629.8 kg, 亦即, 在 hm<sup>2</sup> 施纯氮 189.7 kg, 纯磷 123.6 kg, 纯钾 182.7 kg 时, 每 hm<sup>2</sup> 可获最高产量 30 629.8 kg。

#### 2.3.2 hm<sup>2</sup> 产 ≥ 22 500 kg 产量指标时最佳施肥量的确定

对三个因子, 五种水平, 5<sup>3</sup>=125 处理组合分别代入肥效方程得到 125 个理论产量, 每 hm<sup>2</sup> 结合当地实际, 综合分析, 对 ≥ 1 500 kg 产量指标用肥效方程进行模拟寻优<sup>[1]</sup>, 结果见表 5。

表 5 ≥ 1 500 kg·hm<sup>-2</sup> 最优组合频数分布

编码值的 统计分布	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率
-1.682	8	0.14	7	0.102	0	0
-1	14	0.20	16	0.235	14	0.197
0	16	0.228	18	0.264	24	0.338
1	16	0.228	18	0.264	22	0.309
1.682	16	0.228	9	0.132	11	0.154
总和	70	1	68	1	71	1
平均值	0.2208		0.078		0.3733	
标准差	0.1399		0.1315		0.1073	
95%置信限	-0.0590-0.5006		-0.1842-0.3418		0.1587-0.5879	
施纯肥量 (kg·hm <sup>-2</sup> )	144.75-194.55		106.8-144.45		135.9-202.5	

通过肥效方程的模拟寻优, 获得晋西南山区马铃薯克新 1 号  $\text{hm}^2$  产  $\geq 22\,500$  kg 产量指标的最佳施肥量为: 每  $\text{hm}^2$  施纯氮 144.75~194.55 kg, 磷 106.8~144.45 kg, 钾 135.9~202.5 kg, 在这样的施肥条件下, 有 95% 把握可获马铃薯公顷产 22 500 kg 以上的产量。

#### 4 结 论

a. 本试验采用三因素二次通用旋转组合设计, 经统计运算得出了晋西南山区氮磷钾不同施肥量与马铃薯产量的施肥效应方程:

$$Y = 30\,202.5 + 721.95X_1 + 270.12X_2 + 1\,440.75X_3 - 255.9X_1X_2 + 544.65X_1X_3 + 102.15X_2X_3 - 1021.35X_1^2 - 1655.85X_2^2 - 2299.32X_3^2$$

b. 本试验的设计水平内, N、P、K 三因子对马铃薯产量的影响顺序是: 钾肥 > 氮肥 > 磷肥。各因子间存在着明显的交互作用: 氮钾交互作用最

强, 磷钾次之, 氮磷最差, 表现为负值, 这是磷肥促进氮肥吸收, 薯蔓过旺, 造成减产, 因此, 生产实际中氮肥的施用应适当少于理论值。

c. 通过模拟寻优, 得出了晋西南山区马铃薯  $\text{hm}^2$  产  $\geq 22\,500$  kg 产量指标的最佳施肥量: 每  $\text{hm}^2$  纯氮 144.75~194.55 kg, 纯磷 106.8~144.45 kg, 纯钾 135.9~202.51 kg。并得出了该区每  $\text{hm}^2$  最高产量 30 629.8 kg 时的施肥量: 纯氮 189.7 kg, 纯磷 123.6 kg, 纯钾 182.7 kg。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 朱孝达. 田间试验与统计方法 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2002.
- [2] 高聚林, 刘克礼, 张宝林, 等. 马铃薯高产优化栽培措施与产量关系模型的研究 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17(3): 131-136.
- [3] 张定一, 阎翠平, 苏年贵, 等. 隔坡水平沟玉米增产机理及施肥效应研究 [J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(4): 1-5.

## The Rational Application of N-P-K Fertilizer to Potatoes in Southwest Shanxi Mountain Areas

SU Nian-gui<sup>1</sup>, ZHANG Xue-liang<sup>2</sup>, JI Xiu-mei<sup>3</sup>

(1. Xixian Test Station, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Xixian 041300, Shanxi, China; 2. Xixian Agriculture Bureau, Xixian 041300, Shanxi, China; 3. Xixian Vocational Education Middle School, Xixian 041300, Shanxi, China)

**Abstract:** A fertilizer effect model to describe the relation of yield with N P and K fertilizer used was established using five factors quadratic universal rotation cross design. The Rank of effect on yield of fertilizers in southwest Shanxi mountain areas was  $K > N > P$ . Interaction of N with K was most strong; P with K, second; and N with P, weak. The index for the tuber yield more than or equal to  $22\,500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  with 95% the confidence limit should be: N (144.45 to  $194.55 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ), P (106.8 to  $144.45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ), and K (135.9 to  $202.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ). The optimal application of fertilizers for the high yield of  $30\,629.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  should be N ( $189.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ), P ( $123.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ), and K ( $182.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ).

**Key Words:** potato; N,P and K fertilizer; fertilizer effect; rational fertilizer application

**敬 请 观 注** **2005 年全国马铃薯年会暨学术研讨会**  
**2005 年中国马铃薯产品展示博览会**

(时间: 2005 年 7 月 27 日 地点: 黑龙江省齐齐哈尔市)