

# 马铃薯氮、磷、钾肥料效应的研究

张朝春, 江荣风, 张福锁\*, 王兴仁

(教育部土壤-植物相互作用重点实验室, 农业部植物营养学重点实验室,  
中国农业大学 植物营养系, 北京 100094)

**摘要:** 在大面积生产背景下, 采用 3 因素 6 水平的  $U_{15}(12^{12})$  回归均匀设计, 研究氮、磷、钾的施肥量和比例, 并通过肥料效应方程分析马铃薯对氮、磷、钾肥需求量的差异。结果说明, 马铃薯的块茎产量随养分供应量的增加而增加, 达到一定水平后, 产量增加趋于平缓, 处于一个高的“平台”。通过效应拟合得出马铃薯产量与氮、磷、钾养分供应量的肥料效应方程及施肥量、养分比例, 说明马铃薯对钾肥需求量最大, 其次是氮肥, 对磷肥需求相对较少。

**关键词:** 马铃薯;  $U_{15}(12^{12})$  均匀设计; 肥料效应方程

中图分类号: S532, S143, S147.5 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635 (2004) 06-0326-04

马铃薯是非谷类作物中重要的粮食作物之一, 具有产量高、分布广、用途多的特点, 既可当粮食又可当蔬菜, 特别是西部高寒山区, 马铃薯常作为主粮。2000 年西部地区马铃薯的栽培面积占粮食作物总种植面积的 10% 左右, 随着我国对西部地区的开发和农业种植结构的调整及加工工业的兴起, 马铃薯的栽培面积逐年上升<sup>[1]</sup>, 但产量却一直徘徊不前, 平均单产仅为 15 kg/hm<sup>2</sup>, 远不及荷兰、英国等国家的水平<sup>[2]</sup>, 因此, 在面积不断增加的情况下如何提高马铃薯的产量具有重要的意义。马铃薯产量的提高离不开正确的施肥技术。肥料施用的量化是马铃薯合理施肥的关键, 对此已有不少报道<sup>[3-7]</sup>, 但一般限于小面积种植和传统生产。随着加工业兴起对原材料需求的增加, 为降低生产成本客观上要求马铃薯大面积种植, 这与传统的生产不一致。本试验旨在大面积马铃薯基地生产的条件下, 研究炸片用马铃薯品种“大西洋”的产量与施肥的关系。

由于均匀设计的试验点代表性强, 不仅可用于回归分析, 而且在设置重复的条件下, 也可用方差

分析方法寻求多因素的优化组合, 是一个优良的试验设计方案。因此, 本试验运用  $U_{15}(12^{12})$  均匀设计方案, 确定氮、磷、钾的施肥量及比例, 并得出相应的产量。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验点在河北省张北县察北牧场, 土壤为沙壤土, 其农艺的基本性状见表 1, 前茬作物为牧草。马铃薯品种为“大西洋”, 由上海百事食品有限公司提供。

表 1 试验基地土壤的基本农艺性状

采样深度 (cm)	全氮 (mg/kg)	NH <sub>4</sub> -N 浓度 (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N 浓度 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
0~20	0.64	0.8	12.8	15.5	78.0
20~40	0.46	1.1	15.7	1.40	57.0

### 1.2 试验设计及方案建立

由于氮、磷、钾可能是马铃薯产量的限制因子, 因此对肥料效应采用三元二次回归模型。试验的 3 因素 6 水平分别为:

N (kg/hm<sup>2</sup>): 75、150、225、300、375、450

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg/hm<sup>2</sup>): 45、90、135、180、225、270

K<sub>2</sub>O (kg/hm<sup>2</sup>): 90、180、270、360、450、540

收稿日期: 2004-04-07

作者简介: 张朝春 (1975-), 男, 中国农业大学植物营养系讲师, 从事作物营养与施肥研究。

\* 通讯作者: zhangfs@cau.edu.cn

为提高试验效率, 便于田间局部控制和基础研究, 选择具有 12 个处理的  $U_{16}(12^3)$  均匀设计方案, 12 个处理近于饱和设计, 为了增加回归分析的剩余自由度和便于方差分析, 采用完全随机区组设计, 重复 3 次。但由于 12 个处理的水平太多, 肥料效应易被误差所掩盖, 所以采用拟水平方法转化为 6 个实施水平<sup>[8]</sup>, 具体实施方案见表 2, 以建立三元二次肥料效应方程。

表 2 肥料效应试验  $U_{16}(12^3)$  均匀设计方案

处理	码值方案			实施方案 kg/hm <sup>2</sup>			氮肥分配方案 kg/hm <sup>2</sup>	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	基肥	追肥
1	1	3	4	75	135	360	45	30
2	2	6	8	150	270	180	90	60
3	3	9	12	225	135	540	135	90
4	4	12	3	300	270	270	180	120
5	5	2	7	375	90	90	225	150
6	6	5	11	450	225	450	270	180
7	7	8	2	75	90	180	45	30
8	8	11	6	150	225	540	90	60
9	9	1	10	225	45	360	135	90
10	10	4	1	300	180	90	180	120
11	11	7	5	375	45	450	225	150
12	12	10	9	450	180	270	270	180

播种时间在 2000 年 5 月 12、13 日。按试验处理计算每个小区的施肥量, 复合肥 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 为 15-15-15) 作基肥, 不足之数用过磷酸钙、硫酸钾和尿素补充和调节。氮肥总量的 3/5 作为基肥, 剩余的氮肥分别在出苗后 20 d (块茎形成期), 出苗后 40 d (块茎增长期) 各追施 1/5 氮肥。试验地除了施肥外, 其他农艺措施, 如浇水、喷药、中耕、收获等, 与基地大田的机械化耕作一致。

### 1.3 测试项目及数据处理

(1) 播种前, 分别取 0~20 cm、20~40 cm 土层的混合土样, 分析土壤基本性状; 收获后测定产量。

(2) 用 Sfaf 软件包 (中国农业科学院土肥所研发), 模拟氮、磷、钾肥料效应曲线及氮、磷、钾三元素的肥料效应曲线。

(3) 以 95% 的最高产量作为产量指标, 推荐

最佳施肥量及对应的产量。

(4) 用 SAS 软件进行方差分析和多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 马铃薯茎块产量及经济效益分析

表 3 的方差分析结果表明, 试验处理间的差异达到极显著水平。马铃薯试验的产量见表 4, 由该表可知, 氮、钾肥对马铃薯产量有显著的影响, 特别是当氮肥降到 75 kg/hm<sup>2</sup> 时, 产量已明显降低; 但增施磷肥产量的差异不显著, 其原因可能是由于试验地 0~20 cm 土层速效磷含量较高 (15 mg/kg), 而且马铃薯对磷的需求相对较少。同时用多重比较分析各个处理的施肥利润, 结果见表 4。

表 3 肥料试验方差分析结果

变异因素	自由度	平方和	均方	F	F <sub>0.05</sub>	F <sub>0.01</sub>
处理	11	451.939	41.09	6.11**	2.26	3.18
区组	2	66.100	30.05	4.47*	3.44	5.72
误差	22	149.974	6.73			
总变异	35	668.013				

注: \*\* 为极显著, \* 为显著 (P<0.05)。

表 4 马铃薯氮磷钾试验的产量及经济效益分析

处理	施肥方案 kg/hm <sup>2</sup>			产量 (t/hm <sup>2</sup> )	肥料成本 <sup>①</sup> (元/hm <sup>2</sup> )	施肥利润 <sup>②</sup> (元/hm <sup>2</sup> )
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			
1	75	135	360	32.9d	2.11	17.6b
2	150	270	180	41.0ab	2.75	21.9a
3	225	135	540	42.7a	3.50	22.1a
4	300	270	270	42.5a	3.32	22.2a
5	375	90	90	36.4bcd	2.10	19.7ab
6	450	225	450	43.2a	3.85	22.1a
7	75	90	180	34.1d	2.45	18.0b
8	150	225	540	35.2cd	3.59	17.5b
9	225	45	360	39.6abc	2.31	21.4a
10	300	180	90	42.5a	2.94	22.5a
11	375	45	450	42.7a	3.14	21.9a
12	450	180	270	41.0ab	3.64	20.9a

注: ①肥料价格分别是: 复合肥 (15-15-15) 2.00 元/kg, 尿素 1.50 元/kg, 过磷酸钙 (14% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 1.50 元/kg, 硫酸钾 1.90 元/kg; 马铃薯块茎价格: 0.60 元/kg; ②施肥利润为块茎产值减去肥料成本。a, b 在同一列字母中, 相同则表示差异不显著, 不同则表示差异显著 (P<0.05)。

可见, 在当地土壤、气候条件下施用 N 300 kg/hm<sup>2</sup> 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg/hm<sup>2</sup>, 即可得到 42.5 t/hm<sup>2</sup> 的产量, 而且施肥经济效益最大。但由于钾肥不仅影响马铃薯的产量而且影响块茎品质<sup>[9]</sup>, 因此钾肥的用量有待于进一步试验得出。

为进一步定量马铃薯施肥的产量效应, 将表 3 的结果输入计算机, 采用中国农业科学院土肥所开发的 Sfap 软件包分析, 经回归分析得到氮 (X<sub>1</sub>)、磷 (X<sub>2</sub>)、钾 (X<sub>3</sub>) 三元素肥料效应的回归方程为:

$$Y=11.9+181.1X_1+302.9X_2+19.8X_3-0.26X_1X_2+0.24X_1X_3+0.13X_2X_3-0.37X_1^2-0.83X_2^2-0.16X_3^2$$

$$R^2=0.95^{**} \quad (1)$$

其中 Y 为产量 (kg/hm<sup>2</sup>), X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub> 分别表示施氮量 (kg/hm<sup>2</sup> N)、施磷量 (kg/hm<sup>2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、施钾量 (kg/hm<sup>2</sup> K<sub>2</sub>O)。

对方程 (1) 进行典型性分析和极值判别<sup>[9]</sup>, 则式 (1) 回归系数矩阵各阶顺序主子行列式分别为:

$$|A_1| = 2b_4 = -0.74 < 0$$

$$|A_2| = \begin{vmatrix} 2b_4 & b_7 \\ b_7 & 2b_5 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -0.74 & -0.26 \\ -0.26 & -1.66 \end{vmatrix} = 1.16 > 0$$

$$|A_3| = \begin{vmatrix} 2b_4 & b_7 & b_8 \\ b_7 & 2b_5 & b_9 \\ b_8 & b_9 & 2b_6 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -0.74 & -0.26 & 0.24 \\ -0.26 & -1.66 & 0.13 \\ 0.24 & 0.13 & -0.32 \end{vmatrix} = -0.58 < 0$$

所以方程式 (1) 驻点为极大值, 可以用于边际分析。

由式 (1) 求出的最高施肥量分别为: N 302.7 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 162.7 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 355 kg/hm<sup>2</sup>, 马铃薯最高产量为 55.8 t/hm<sup>2</sup>。如果按氮肥 2.00 元/kg, 磷肥 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 1.50 元/kg, 钾肥 (K<sub>2</sub>O) 1.80 元/kg, 马铃薯薯块 0.60 元/kg 计算, 通过边际分析求得: 最佳施肥量为 N 292.5 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 162 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 334.5 kg/hm<sup>2</sup>, 三种肥料需要量的养分配比为 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 1:0.55:1.14, 对应的块茎产量为 55.3 t/hm<sup>2</sup>。该结果与上述通过多重比较得到的施肥比例是一致的。

### 2.2 氮、磷、钾肥料效应偏回归方程

将两种肥料施用量固定于最佳施肥量对另一元素求偏导数得到氮、磷、钾素偏回归方程分别为:

$$N \quad Y=23064 + 219.3X_1 - 0.37X_1^2 \quad (2)$$

$$P_2O_5 \quad Y=33042 + 270.3X_2 - 0.83X_2^2 \quad (3)$$

$$K_2O \quad Y=36237 + 110.4X_3 - 0.16X_3^2 \quad (4)$$

相应的回归效应曲线见图 1, 该图表明, 马铃薯块茎达到最高产量所对应的磷肥施用量最少, 氮肥次之, 钾肥最大, 可见马铃薯对磷肥需求相对较少, 对氮肥需求较多, 而对钾肥需求最大。

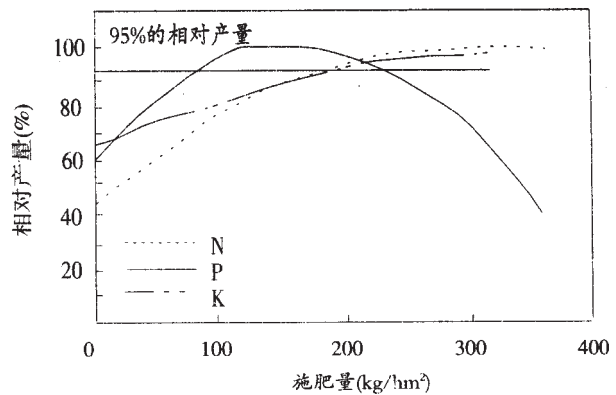


图 1 马铃薯的相对产量与施肥量的关系

然而, 从已有关于比较二次型施肥模型和线性加平台或二次型加平台施肥模型的文献中可以看出, 由于二次型施肥模型可能存在“外推”而使施肥量增加, 往往产生误导, 所以应提倡使用线性加平台或二次型加平台施肥模型<sup>[10,11]</sup>。Ulrich 等<sup>[12]</sup>把最高产量减去 5%~10% 时的养分含量作为临界浓度, 并指出如果有干扰因素或陪补元素存在时, 则可使该元素的临界浓度范围加宽。图 1 显示产量增加到最高产量的 95% 以后, 随着施肥量的增加, 产量增加减缓, 氮磷钾三种元素都有相同的趋势, 此结果与 Neeteson 在氮肥与马铃薯肥料效应的关系的研究结果相似<sup>[13]</sup>。因此, 可以用 95% 相对产量的产量线与肥料效应曲线相交交点的横坐标为最佳肥料施用量 (图 1)。将最高产量的 95%, 代入公式 (2)、(3)、(4), 计算得出最佳施肥量, 分别为: N 210 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 106 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 214 kg/hm<sup>2</sup>, 明显比由方程求出的最高施肥量低, 但产量差异不显著, 因此施肥得润比较高。

### 3 小结

马铃薯的产量随着氮、磷、钾养分供应量的增加而增加, 达到一定水平后, 产量增加趋于平缓, 处于一个高的“平台”状态。通过二次型施肥模型拟合得出马铃薯产量与氮磷钾养分供应量的肥料效

应函数:

$$Y=11.9+181.1X_1+302.9X_2+19.8X_3-0.26X_1X_2+0.24X_1X_3+0.13X_2X_3-0.37X_1^2-0.83X_2^2-0.16X_3^2$$

由此得到最高产量的施肥量为: N 292.5 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 162 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 334.5 kg/hm<sup>2</sup>, 三种肥料的养分配比为 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:0.55:1.14。用95%相对产量作为推荐施肥的产量指标, 得出的肥料最佳施用量分别为: N 210 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 106 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 214 kg/hm<sup>2</sup>, 比最高产量推荐的施肥量低, 因此施肥利润较高, 可以此作为马铃薯的推荐施肥量。

致谢: 本研究得到上海百事食品公司的大力支持, 察北牧场马铃薯生产基地为试验提供各种便利条件和有力支持, 在此一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴 [M]. 北京: 农业出版社, 1983-2001.
- [2] FAO. Production Yearbook [J]. Rome, 1995, Vol. 48.
- [3] 袁明华. 海拉尔地区马铃薯施肥数学模拟方程的研究[J]. 马铃薯杂志, 1994, 8 (2) :100-102.
- [4] 龚学臣, 杨立廷, 牛瑞明, 等. 冀西北旱地马铃薯肥料效应数学模型的研究[J]. 马铃薯杂志, 1998, 12 (1) : 3-6.
- [5] 李维忠. 定西地区马铃薯施肥技术研究初报[J]. 马铃薯杂志, 1998, 12 (2) : 94-96.
- [6] 凌永胜, 沈清景, 叶贻勋, 等. 闽东南沿海炸片用马铃薯品种“大西洋”的栽培综合农艺措施研究 [J]. 中国马铃薯, 2001, 15 (4) : 206-209.
- [7] 张永成, 纳添仓, 阮建平, 等. 马铃薯高产施肥措施研究 [J]. 中国马铃薯, 2001, 15 (5) : 274-277.
- [8] 王兴仁, 张福锁. 现代肥料试验设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996, 96-103.
- [9] 门福义, 刘梦芸. 马铃薯栽培生理[M]. 北京: 中国农业出版社 1995, 172-210.
- [10] 王兴仁, 陈新平, 张福锁, 等. 施肥模型在我国推荐施肥中的应用[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4: 67-74.
- [11] 陈新平, 周金池, 王兴仁, 等. 小麦-玉米轮作制氮肥效应模型的选择-经济和环境效应分析[J]. 土壤学报, 2000, 37(3) : 346-353.
- [12] Ulrich A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants [J]. Annual Review of Plant Physiology. 1952 3, 207-228.
- [13] Neeteon J J. Evaluation of the performance of three advisory methods for nitrogen fertilizer of sugar beet and potatoes [J]. Netherlands of Agricultural Science, 1989, 37, 143-155.

## FERTILIZATION MODEL OF POTATO PLANTING IN LARGE AREA

ZHANG Chao-chun, JIANG Rong-feng, ZHANG Fu-suo, WANG Xing-ren

(Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**ABSTRACT:** With chip consumption increasing, large quantity of processing tubers was required, so potato had to be planted in large area with mechanized farming. This experiment was conducted in a large field to study the effect of fertilizers on tuber yield with a mathematic model,  $U_{12}(12^{12})$ . The results showed that tuber yield was increasing with raising fertilizer application, especially for nitrogen fertilizer, until to a plateau, where the yield variation was insignificant even if fertilization rate was kept on increasing. After calculating from the quadratic equation, the fertilization rate and ratio of the highest yield were got, and showed that the potato demanded the highest potassium, nitrogen secondarily, and phosphorous less.

**KEY WORD:** potato; fertilization;  $U_{12}(12^{12})$  model