

doi: 10.11838/sfsc.20160313

# 氮磷钾不同用量对马铃薯产量和淀粉含量的影响

王涛<sup>1</sup>, 何文寿<sup>1\*</sup>, 姜海刚<sup>2</sup>, 王耀科<sup>1</sup>, 党柯柯<sup>1</sup>, 赵小霞<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏海原县农业技术推广中心, 宁夏 海原 755200)

**摘要:** 采用 311-A 最优设计与田间试验方法, 研究了氮、磷、钾施肥用量对马铃薯产量和淀粉含量的影响, 建立了宁夏雨养农业区马铃薯产量、淀粉含量与氮、磷、钾施肥用量之间的数学模型。分析了马铃薯产量及淀粉含量试验因子的主效应和互作效应, 优选了马铃薯目标产量在 30 000 kg/hm<sup>2</sup> 时最高产量的最佳施肥量组合为氮、磷、钾 (kg/hm<sup>2</sup>): 267.3 - 139.0 - 82.1, 最佳经济施肥用量组合为氮、磷、钾 (kg/hm<sup>2</sup>): 258.6 - 131.1 - 71.1; 淀粉含量最高时最佳组合氮、磷、钾 (kg/hm<sup>2</sup>): 183.9 - 106.4 - 87.6。

**关键词:** 马铃薯产量; 淀粉; 311-A 设计; 主效应; 互作效应

**中图分类号:** S532; S147.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-6257 (2016) 03-0080-07

马铃薯 (*solanum tuberosum* L.) 又名土豆, 仅次于玉米、水稻、小麦是第四大粮食作物<sup>[1-3]</sup>。宁夏海原县马铃薯种植面积从 2004 年的 813 hm<sup>2</sup> 发展到 2008 年 4 447 hm<sup>2</sup>, 占宁夏的马铃薯总面积的 1/4, 总产量 (折主粮) 1.5 万 t, 居全区第二位<sup>[4]</sup>。基于海原县马铃薯种植规模, 2006 年宁夏农业技术推广总站以测土配方工程为依托对海原马铃薯合理施肥做了大量工作<sup>[5]</sup>, 鉴于该地区马铃薯种植面积的扩大及在宁夏粮食产业中的重要性, 海原县马铃薯产业的合理施肥有待进一步的完善和补充; 随着我国农业生产的发展和人民生活水平的提高, 对马铃薯的淀粉含量提出了新的要求。马铃薯淀粉含量和淀粉产量的高低除受本身的遗传和生理特性影响外, 还受栽培地区气候、土壤和栽培条件等的影响, 其中肥料的影响很大<sup>[6-7]</sup>, 因此以海原县大面积种植的青薯 9 号为研究对象, 阐明施肥用量与马铃薯产量及淀粉含量间的关系, 采取不同施肥处理进行田间试验, 以确定最佳的施肥配比和用量, 为海原县马铃薯合理施肥提供理论依据和实践指导。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验材料

供试作物: 马铃薯青薯 9 号。

试验肥料: 尿素 (N 46%), 普通过磷酸钙 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%), 硫酸钾 (K<sub>2</sub>O 50%)。

### 1.2 试验地点

田间试验位于宁夏中卫市海原县树台乡大嘴村马铃薯全程机械化高效节水试点基地 (北纬 36°06' 38", 东经 105°31' 79")。海原县位于宁夏中部干旱半干旱带, 主要为雨养农业区, 其马铃薯种植面积占全区总种植面积的 1/4, 海原县降水量少, 年降水量 270 ~ 400 mm 之间, 年平均气温 6.8℃, ≥ 10℃ 有效积温 1 638 ~ 2 600℃, 无霜期 146 d 左右。试验于 2014 年 5 月 11 日播种, 10 月 15 日收获。供试土壤的基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性质 (0 ~ 60 cm)

土层 (cm)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (P) (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (P) (mg/kg)	速效钾 (K) (mg/kg)	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	pH 值
0 ~ 30	17.80	0.96	0.36	18.90	45.22	270.00	1.15	8.71
30 ~ 60	13.80	0.69	0.29	10.10	8.08	192.00	1.31	8.56

### 1.3 试验设计

试验采用 311-A 最优混合设计, 氮 (N)、磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾 (K<sub>2</sub>O) 用量为自变量, 以马铃薯产量为目标函数。各试验因子上限确定为 N: 360 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 180 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O: 180 kg/hm<sup>2</sup>;

收稿日期: 2015-03-29; 最后修订日期: 2015-05-16

基金项目: 宁夏科技支撑计划项目 (2011ZYN115、2014ZDN0103); 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目 (201503120)。

作者简介: 王涛 (1987-), 男, 宁夏隆德人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与合理施肥研究, E-mail: nxwtao@126.com。

通讯作者: 何文寿, E-mail: hews@nxu.edu.cn。

下限都为 0 kg/hm<sup>2</sup>。根据 311 - A 最优回归设计要求，以自变量编码值相应的施肥水平，拟定出 11 个处理组合，最后对产量结果进行统计分析。把因变量 y 对自变量的回归关系转化为 y 对因子空间中坐标上 x 编码值的关系，其编码值代换列于表 2。

表 2 自变量水平编码

试验因子	自变量水平编码值						
	-2	-1.414	-1	0	1	1.414	2
N (kg/hm <sup>2</sup> ) (x <sub>1</sub> )	0	52.74	—	180	—	307.26	360
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/hm <sup>2</sup> ) (x <sub>2</sub> )	0	26.37	—	90	—	153.63	180
K <sub>2</sub> O (kg/hm <sup>2</sup> ) (x <sub>3</sub> )	0	—	45	90	135	—	180

### 1.4 种植方式

单垄半膜覆盖，垄宽 100 cm，垄上种两行，宽窄行种植，宽行 60 cm，窄行 40 cm，株距 40 cm，种植深度 20 ~ 25 cm。种植密度 50 025 株/hm<sup>2</sup>，每小区 245 株，用种量 1 800 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.5 测定项目与方法

马铃薯产量测定：收获按照每小区实产实收试验结果见表 3。

表 3 处理组合与产量结果 (kg/hm<sup>2</sup>)

处理编号	N (x <sub>1</sub> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (x <sub>2</sub> )	K <sub>2</sub> O (x <sub>3</sub> )	实产	理论产量
1	0 (180)	0 (90)	2 (180)	30 408.0	28 767.0
2	0 (180)	0 (90)	-2 (0)	28 203.0	29 845.5
3	-1.414 (52.74)	-1.414 (26.37)	1 (135)	17 406.0	18 226.5
4	1.414 (307.26)	-1.414 (26.37)	1 (135)	25 879.5	26 700.0
5	-1.414 (52.74)	1.414 (153.63)	1 (135)	24 607.5	25 428.0
6	1.414 (307.26)	1.414 (153.63)	1 (135)	33 007.5	33 828.0
7	2 (360)	0 (90)	-1 (45)	33 009.0	32 188.5
8	-2 (0)	0 (90)	-1 (45)	19 506.0	18 685.5
9	0 (180)	2 (180)	-1 (45)	33 003.0	32 182.5
10	0 (180)	-2 (0)	-1 (45)	24 099.0	23 278.5
11	0 (180)	0 (90)	0 (90)	31 501.5	31 500.0

马铃薯淀粉含量的测定：高氯酸水解 - 蒽酮比色法<sup>[8-9]</sup>。测定结果见表 4。

表 4 处理组合与淀粉含量结果

处理编号	N (x <sub>1</sub> ) (kg/hm <sup>2</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (x <sub>2</sub> ) (kg/hm <sup>2</sup> )	K <sub>2</sub> O (x <sub>3</sub> ) (kg/hm <sup>2</sup> )	淀粉含量 (%)	理论淀粉含量 (%)
1	0 (180)	0 (90)	2 (180)	12.83	12.55
2	0 (180)	0 (90)	-2 (0)	12.38	12.66
3	-1.414 (52.74)	-1.414 (26.37)	1 (135)	12.40	12.55
4	1.414 (307.26)	-1.414 (26.37)	1 (135)	10.17	10.31
5	-1.414 (52.74)	1.414 (153.63)	1 (135)	12.13	12.27
6	1.414 (307.26)	1.414 (153.63)	1 (135)	12.18	12.32
7	2 (360)	0 (90)	-1 (45)	12.24	12.10
8	-2 (0)	0 (90)	-1 (45)	11.23	11.08
9	0 (180)	2 (180)	-1 (45)	13.15	13.00
10	0 (180)	-2 (0)	-1 (45)	11.64	11.49
11	0 (180)	0 (90)	0 (90)	14.15	12.55

### 1.6 多项式回归方程的建立

用试验小区的实收产量建立回归方程，马铃薯产量 (y) 与氮 (N)、磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾 (K<sub>2</sub>O) 用量的关系属非线性关系，故可用多项式回归模型来表达：

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{j=1}^3 b_j x_j + \sum_{ij=1}^3 b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^3 b_{jj} x_j^2$$

其中，b<sub>0</sub> 为常数项；b<sub>j</sub> 为一次项回归系数，b<sub>ij</sub> 为交互项回归系数；b<sub>jj</sub> 为二次项回归系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 马铃薯产量与氮 (N)、磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾 (K<sub>2</sub>O) 用量的关系

#### 2.1.1 回归方程的建立

根据试验结果与 311 - A 最优回归设计建立氮 (N)、磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾 (K<sub>2</sub>O) 各因子与马铃薯产量多项式回归方程：

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 7\ 607.244 + 113.257x_1 + 142.22x_2 + \\ & 68.92x_3 - 0.204x_1^2 - 0.532x_2^2 - 0.406x_3^2 - \\ & 0.002x_1x_2 - 0.048x_1x_3 + 0.076x_2x_3 \end{aligned}$$

方程的决定系数 R<sup>2</sup> = 0.964 5，表明试验各因子与试验结果拟合效果非常好。

2.1.2 试验因子主效应分析

试验设计各因子处理采用正交编码, 回归方程中统计值相对独立, 把试验各因子编码值零水平对应的自然变量代入上述回归方程, 可得各试验因子的单一效应方程:

$$\hat{y} (N) = 19\ 627.64 + 108.86x_1 - 0.204x_1^2$$

$$\hat{y} (P_2O_5) = 23\ 519.9 + 148.7x_2 - 0.532x_2^2$$

$$\hat{y} (K_2O) = 29\ 842.1 + 67.12x_3 - 0.405x_3^2$$

当  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  分别取 -2、-1.414、-1、0、1、1.414、2 时所对应的自然变量, 代入上述方程分别得到马铃薯的产量, 如表 5 所示。

表 5 各因子不同水平的单效应

	-2	-1.414	-1	0	1	1.414	2
N	19 627.6	24 812.6	—	32 742.4	—	34 194.2	32 897.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23 519.9	27 071.2	—	32 593.7	—	33 808.3	33 049.1
K <sub>2</sub> O	29 842.1	—	32 042.4	32 602.4	31 522.2	—	28 801.7

由图 1 可见, 从各试验因子的单一效应回归方程是一元二次模型, 根据方程在  $x = -b/2a$  处取得极值, 求得单一效应时马铃薯产量最高对应的各试验因子的用量分别为氮 (N): 266.81 kg/hm<sup>2</sup>, 磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 139.76 kg/hm<sup>2</sup>, 钾 (K<sub>2</sub>O): 82.26 kg/hm<sup>2</sup>。

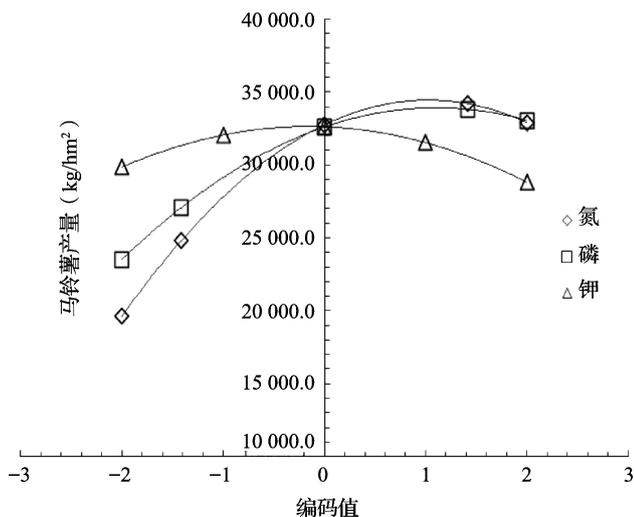


图 1 单因素效应曲线

但从总的多项式回归方程来看, 各试验因子间存在着大小、正负不同的交互作用, 因此仅从各试验因子的单一效应来求得最佳组合是不全面的, 下面对各试验因子间的交互作用进行剖析。

2.1.3 试验因子间的交互效应分析

氮 (N) 和磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 的交互效应分析: 对总回归方程进行降维得氮和磷的交互效应方程为:

$$\hat{y} = 10\ 521.8 + 108.94x_1 + 149.06x_2 - 0.204x_1^2 - 0.532x_2^2 - 0.002x_1x_2$$

利用 Origin7.0 通过回归方程做的氮和磷的交互效应曲面图 (图 2) 可知, 磷和氮对马铃薯产量的影响作用相辅相成, 氮 0 ~ 270 kg/hm<sup>2</sup>、磷 0 ~ 135 kg/hm<sup>2</sup> 时, 随施磷量的增加, 产量也随之增加。磷用量固定, 氮使用量超过 270 kg/hm<sup>2</sup> 时, 随氮用量的增加产量呈下降趋势, 氮肥用量固定, 磷在 0 ~ 135 kg/hm<sup>2</sup> 之间随施磷量的增加产量增加, 超过 135 kg/hm<sup>2</sup> 时, 产量反而降低。

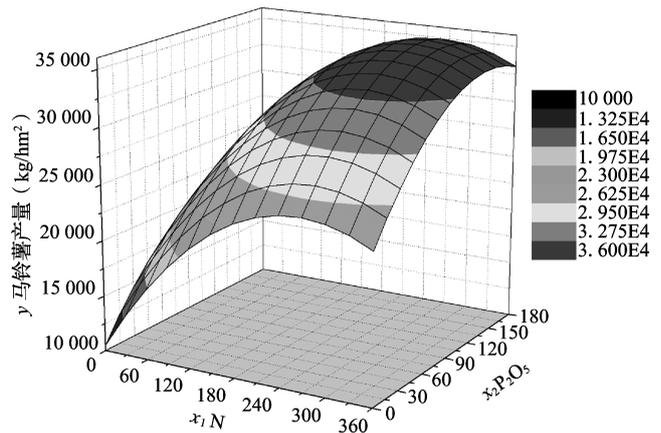


图 2 马铃薯产量氮和磷的交互效应曲面图

氮 (N) 和钾 (K<sub>2</sub>O) 的交互作用分析: 氮和钾的交互效应方程为:

$$\hat{y} = 15\ 557.84 + 113.08x_1 + 75.76x_3 - 0.204x_1^2 - 0.406x_3^2 - 0.048x_1x_3$$

可见, 在图 3 中钾对产量的影响要小于氮的影响, 但在不施钾肥的情况下也难获得最高产量, 氮和钾对产量的共同作用与氮和磷一致。

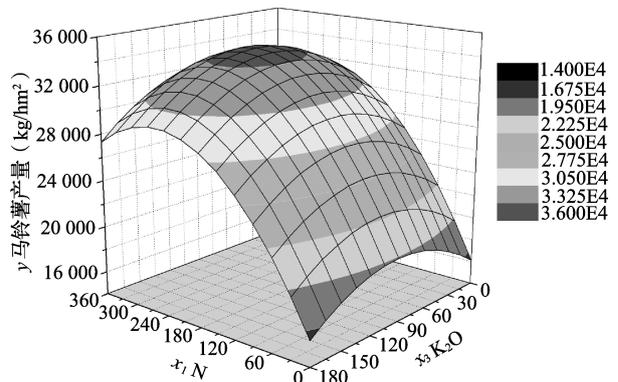


图 3 马铃薯产量氮和钾交互曲面图

磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 和钾 (K<sub>2</sub>O) 互作分析: 对总的回归方程进行降维得磷和钾的互作效应方程为:

$$\hat{y} = 21\ 383.9 + 141.86x_2 + 60.28x_3 - 0.532x_2^2 - 0.406x_3^2 + 0.076x_2x_3$$

用 Origin 做的磷和钾效应曲面图 (图 4) 表明, 钾较磷对马铃薯产量影响小, 施钾量控制在 0 ~ 75 kg/hm<sup>2</sup> 间可以提高产量, 超过 75 kg/hm<sup>2</sup> 时追施钾肥不利于马铃薯的高产。

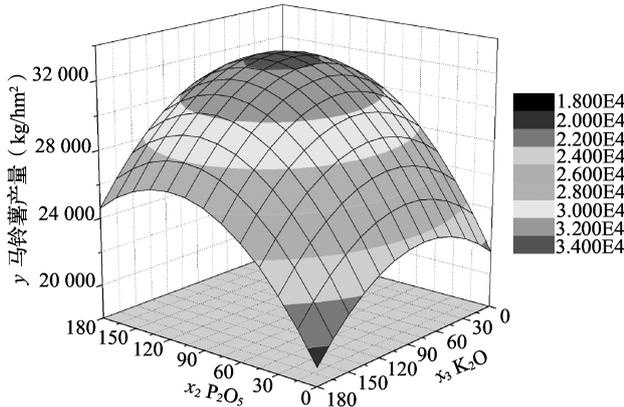


图 4 马铃薯产量磷和钾互作曲面图

2.1.4 最佳组合方案的优选

由于试验因子不仅存在主效应, 还存在试验因子间的交互效应, 因此很难简单的从主效应和交互效应分析中找到最佳的组合, 应从回归方程中求解最佳组合, 即最高产量施肥量和最佳经济施肥量。

最高产量施肥量:

对回归方程  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  分别求偏导得以下方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 113.26 + 0.408x_1 + 0.002x_2 + 0.048x_3 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 142.22 + 0.002x_1 + 1.064x_2 - 0.076x_3 \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} = 68.92 + 0.048x_1 - 0.076x_2 + 0.811x_3 \end{cases}$$

求解方程组即得最高产量施肥量,  $x_1$  (氮) = 267.34 (kg/hm<sup>2</sup>),  $x_2$  (磷) = 138.95 (kg/hm<sup>2</sup>),  $x_3$  (钾) = 82.12 (kg/hm<sup>2</sup>)。

最佳经济施肥量:

$$\begin{cases} \frac{p(x_1)}{p(y)} = 113.26 + 0.408x_1 + 0.002x_2 + 0.048x_3 \\ \frac{p(x_2)}{p(y)} = 142.22 + 0.002x_1 + 1.064x_2 - 0.076x_3 \\ \frac{p(x_3)}{p(y)} = 68.92 + 0.048x_1 - 0.076x_2 + 0.811x_3 \end{cases}$$

其中  $p(x_1)$ 、 $p(x_2)$ 、 $p(x_3)$  代表氮 (N)、磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾 (K<sub>2</sub>O) 肥的单位价格, 分别为 4.13 元/kg, 7.5 元/kg, 8.54 元/kg。  $p(y)$  = 1.00 元/kg, 代表马铃薯当年的单位价格。求解方程组即得  $x_1$  = 258.6 (kg/hm<sup>2</sup>),  $x_2$  = 131.1 (kg/hm<sup>2</sup>),  $x_3$  = 71.25 (kg/hm<sup>2</sup>)。

2.2 马铃薯淀粉含量与氮 (N)、磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾 (K<sub>2</sub>O) 用量的关系

淀粉含量测定结果:

根据试验结果与 311 - A 最优回归设计建立氮 (N)、磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾 (K<sub>2</sub>O) 各因子与马铃薯淀粉含量多项式回归方程为:

$$\hat{y} = 7.26 + 0.029x_1 + 0.039x_2 + 0.062x_3 - 8.1 \times 10^{-5}x_1^2 - 2.4 \times 10^{-4}x_2^2 - 2.6 \times 10^{-4}x_3^2 + 7.06 \times 10^{-5}x_1x_2 - 7.92 \times 10^{-5}x_1x_3 - 1.72 \times 10^{-5}x_2x_3$$

方程的决定系数 R<sup>2</sup> = 0.969 4, 表明试验各因子与试验结果拟合效果非常好。

2.2.1 淀粉含量试验因子主效应分析

把试验各因子编码值零水平对应的自然变量代入上述回归方程, 可得各试验因子的单一效应方程:

$$\hat{y}(N) = 12.162 + 0.028x_1 - 8.1 \times 10^{-5}x_1^2$$

$$\hat{y}(P_2O_5) = 12.05 + 0.05x_2 - 2.4 \times 10^{-4}x_2^2$$

$$\hat{y}(K_2O) = 12.653 + 0.053x_3 - 2.6 \times 10^{-4}x_3^2$$

当  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  分别取 -2、-1.414、-1、0、1、1.414、2 时所对应的自然变量, 代入上述方程分别得到马铃薯的淀粉含量, 如表 6 所示。

表 6 各因子不同水平的单效应

	-2	-1.414	-1	0	1	1.414	2
N	12.16	13.39	—	14.72	—	13.35	12.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	12.05	13.27	—	14.73	—	14.26	13.50
K <sub>2</sub> O	12.65	—	14.24	14.73	14.18	—	12.58

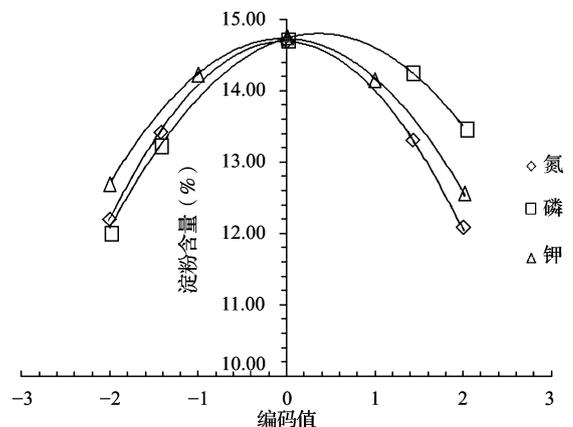


图 5 单因素效应曲线

根据方程在  $x = -b/2a$  处取得极值, 求得单一效应时淀粉含量最高时对应的各试验因子的用量分别为氮 (N): 175 kg/hm<sup>2</sup>, 磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 104.2 kg/hm<sup>2</sup>, 钾 (K<sub>2</sub>O): 101.9 kg/hm<sup>2</sup>。但从总的多项式回归方程来看, 各试验因子间存在着大小、正负不同的交互作用, 因此仅从各试验因子的单一效应来求得最佳组合是不全面的, 下面对各试验因子间的交互作用进行剖析。

### 2.2.2 试验因子间的互作效应分析

氮 (N) 和磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 的互作效应分析: 对总回归方程进行降维得氮和磷的互作效应方程为:

$$\hat{y} = 10.734 + 0.022x_1 + 0.037x_2 - 8.1 \times 10^{-5}x_1^2 - 2.4 \times 10^{-4}x_2^2 + 7.06 \times 10^{-5}x_1x_2$$

由图6可见, 磷和氮对马铃薯淀粉含量的影响作用相辅相成, 氮在 0 ~ 180 kg/hm<sup>2</sup>、磷在 0 ~ 120 kg/hm<sup>2</sup> 时, 随施肥量的增加淀粉含量也随之增加。磷固定, 氮使用量超过 180 kg/hm<sup>2</sup> 时, 随氮用量的增加淀粉含量呈下降趋势, 氮固定, 磷使用量超过 120 kg/hm<sup>2</sup> 时, 淀粉含量反而降低。

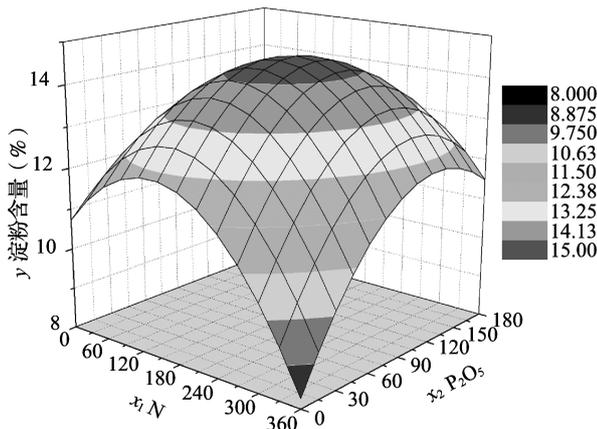


图6 马铃薯淀粉含量氮和磷的互作效应曲面图

磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 和钾 (K<sub>2</sub>O) 互作分析, 对总的回归方程进行降维得磷和钾的互作效应方程为:

$$\hat{y} = 9.856 + 0.052x_2 + 0.048x_3 - 2.4 \times 10^{-4}x_2^2 - 2.6 \times 10^{-4}x_3^2 - 1.72 \times 10^{-5}x_2x_3$$

图7表明, 钾较磷对马铃薯淀粉含量影响小, 施钾量控制在 0 ~ 90 kg/hm<sup>2</sup> 间可以使马铃薯淀粉含量有所提高, 超过 90 kg/hm<sup>2</sup> 时追施钾肥不利于马铃薯淀粉的累积。

氮 (N) 和钾 (K<sub>2</sub>O) 的交互作用分析, 氮和钾的互作效应方程为:

$$\hat{y} = 8.826 + 0.035x_1 + 0.061x_3 - 8.1 \times 10^{-5}x_1^2 - 2.6 \times 10^{-4}x_3^2 - 7.92 \times 10^{-5}x_1x_3$$

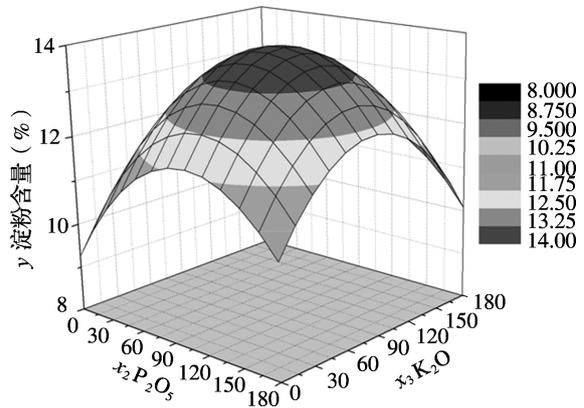


图7 马铃薯淀粉含量磷和钾的互作效应曲面图

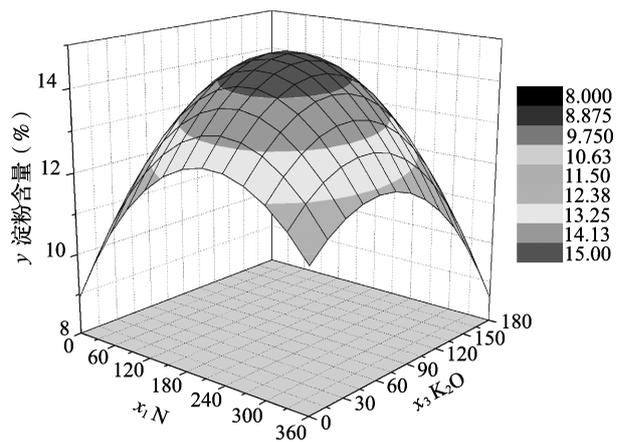


图8 马铃薯淀粉含量氮和钾互作效应曲面图

图8可见, 钾对淀粉含量的影响要小于氮, 但在不施钾肥的情况下也难获得最高淀粉含量, 氮和钾对产量的共同作用与氮和磷一致。

### 2.2.3 最佳组合优选

对淀粉含量总回归方程求偏导得偏回归方程, 建立方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0.029 - 1.62 \times 10^{-4}x_1 + 7.06 \times 10^{-5}x_2 - 7.92 \times 10^{-5}x_3 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 0.039 + 7.06 \times 10^{-5}x_1 - 4.8 \times 10^{-4}x_2 - 1.72 \times 10^{-5}x_3 \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} = 0.062 - 7.92 \times 10^{-5}x_1 - 1.72 \times 10^{-5}x_2 - 5.2 \times 10^{-4}x_3 \end{cases}$$

方程组求解即最高产量施肥量,  $x_1$  (氮) = 183.78 (kg/hm<sup>2</sup>),  $x_2$  (磷) = 106.39 (kg/hm<sup>2</sup>),  $x_3$  (钾) = 87.64 (kg/hm<sup>2</sup>)。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

研究表明, 无论从主效应还是交互效应分析, 马铃薯产量、淀粉含量随施肥用量的变化呈现出不同的变化态势。钾较氮和磷对马铃薯产量单因素效应较小, 氮的单因素效应最大, 变异系数 21.2%, 磷 15.3%, 钾单因素变异系数最小, 为 5.3%; 但钾与氮、磷的交互效应较单因素效应差异较大, 氮、钾交互效应的变异系数为 18.73%, 磷与钾的变异系数 11.26%, 磷与氮、钾的交互效应与单因素效应的差异也较大; 各因子对淀粉含量的影响与产量结果类似。表明这些因子的单因素效应与交互效应的作用大小、作用机理不尽相同, 且往往是几种因子不同浓度的共同作用影响着马铃薯产量及淀粉含量; 所以如何以有限次的试验获得科学、合理的最佳结果, 在马铃薯产量和淀粉含量研究中有其特殊意义。

本试验进行了氮、磷和钾对马铃薯产量和淀粉含量影响的研究, 根据试验结果与设计, 建立了各因子与产量及淀粉含量总的多项式回归方程为:

产量回归方程:

$$\hat{y} = 7\ 607.244 + 113.257x_1 + 142.22x_2 + 68.92x_3 - 0.204x_1^2 - 0.532x_2^2 - 0.406x_3^2 - 0.002x_1x_2 - 0.048x_1x_3 + 0.076x_2x_3$$

淀粉含量回归方程:

$$\hat{y} = 7.26 + 0.029x_1 + 0.039x_2 + 0.062x_3 - 8.1 \times 10^{-5}x_1^2 - 2.4 \times 10^{-4}x_2^2 - 2.6 \times 10^{-4}x_3^2 + 7.06 \times 10^{-5}x_1x_2 - 7.92 \times 10^{-5}x_1x_3 - 1.72 \times 10^{-5}x_2x_3$$

311-A 最优回归试验设计较传统的试验设计更易进行田间试验, 且包含信息量大, 本试验中用了设计编码的 11 个处理组合, 共获得  $5 \times 5 \times 5 = 125$  个处理组合的信息量。根据总方程降维的偏回归方程求得最高产量最佳施肥处理组合的氮、磷、钾为  $267.3 - 139.0 - 82.1$  ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ), 最佳经济施肥用量组合为  $258.6 - 131.1 - 71.1$  ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ), 淀粉含量最高时的最佳组合为  $183.9 - 106.4 - 87.6$  ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。

#### 3.2 讨论

当地农民的传统施肥用量为 N 249  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  94.95  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  60  $\text{kg}/\text{hm}^2$  时, 产量在 22 500  $\text{kg}/\text{hm}^2$  左右<sup>[10]</sup>。该试验在目标产量为 30 000  $\text{kg}/\text{hm}^2$  时施肥用量都有所增加, “有收无收

在于水, 收多收少在于肥”<sup>[11]</sup>, 科学实验和生产实践都证明合理施肥是提高马铃薯产量和品质的有效途径之一<sup>[12]</sup>。合理施用氮、磷、钾对于提高马铃薯产量有众多研究<sup>[13-17]</sup>, 具体因马铃薯品种和地域的不同有所差异。不同施肥水平及产量与马铃薯淀粉含量有着密切的关系, 而淀粉含量又是评价马铃薯品质的一个重要指标。有研究表明, 随着马铃薯产量的提高, 块茎内淀粉含量呈下降趋势<sup>[18-19]</sup>。本试验研究结果表明, 氮素施用水平在 0 ~ 180  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 磷在 0 ~ 106.4  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 钾在 0 ~ 87  $\text{kg}/\text{hm}^2$  时随施肥用量的增加淀粉含量也逐渐增高, 超过临界点追施肥料淀粉含量减少, 显然淀粉含量最高时的施肥用量比最高产量及最佳经济施肥用量少, 这与吕慧峰等<sup>[19]</sup>的研究结果相同。

#### 参考文献:

- [1] Jackson S D. Multiple signaling pathways control tubule induction in potato [J]. *Plant Physiology*, 1999, 119: 1-8.
- [2] John S. International cooperation and the role of potato in feeding the world [J]. *American Journal of Potato Research*, 1993, 70: 385-404.
- [3] 屈冬玉, 谢开云, 金黎平, 等. 中国马铃薯产业发展与粮食安全 [J]. *中国农业科学*, 2005, 38 (2): 358-362.
- [4] 张蓉香. 海原县马铃薯产业发展现状、存在的问题及应采取的措施 [J]. *农业科技与信息*, 2010, (3): 39.
- [5] 李成军. 马铃薯高淀粉品种克新 12 高产栽培技术的研究初探 [J]. *中国马铃薯*, 2003, 17 (1): 19-21.
- [6] 穆俊祥, 曹兴明, 弓建国, 等. 氮磷钾和有机肥配合施用对马铃薯淀粉含量和产量的影响 [J]. *土壤*, 2009, 41 (5): 844-848.
- [7] 马玉兰, 冯静. 测土配方施肥技术在宁夏农业生产中的应用及成效 [J]. *宁夏农林科技*, 2008, (6): 49.
- [8] 郭冬生, 彭小兰. 蒽酮比色法和酶水解法两种淀粉测定方法的比较研究 [J]. *湖南文理学院学报 (自然科学版)*, 2007, 19 (3): 34-36.
- [9] 陆国权, 邬建敏. 甘薯淀粉化学测定法的筛选与评价 [J]. *浙江农业大学学报*, 1999, 25 (2): 161-164.
- [10] 赵营, 郭鑫年, 赵护兵, 等. 宁夏南部山区马铃薯施肥现状与评价 [J]. *中国马铃薯*, 2013, 27 (5): 281-287.
- [11] 潘瑞焄. *植物生理学* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [12] 何文寿, 马琨, 代晓华, 等. 宁夏马铃薯氮, 磷, 钾养分的吸收累积特征 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20 (6): 1477-1487.
- [13] Hoda A M, Shafeek M R, Zaki M F, et al. Response of potato plants (*Solanum tuberosum* L.) to foliar application with different sources of potassium [J]. *International Journal of Academic Reserch*, 2011, 3 (3): 129-132.
- [14] 孔令郁, 彭启双, 熊艳, 等. 平衡施肥对马铃薯产量及品

- 质的影响 [J]. 土壤肥料, 2004, (3): 17-19.
- [15] 张朝春, 江荣风, 张福锁, 等. 马铃薯氮, 磷, 钾肥料效应研究 [J]. 中国马铃薯, 2005, 18 (6): 326-329.
- [16] Cucci G, Lacolla G. Effects of different fertilizing formulae on potato [J]. Italian Journal of Agronomy, 2007, 2 (3): 275-280.
- [17] 高翔, 李成亮, 张民, 等. 钾肥种类及用量对马铃薯生长和品质的影响 [J]. 水土保持学报, 2014, 28 (2): 143-148.
- [18] 张美琴, 马建华, 樊明寿. 氮素形态与马铃薯品质的关系 [J]. 中国马铃薯, 2009, 22 (6): 321-324.
- [19] 吕慧峰, 王小晶, 陈怡, 等. 氮磷钾分期施用对马铃薯产量和品质的影响 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (26): 197-200.

### The effects of nitrogen, phosphorus and potassium application on yield and starch content of potato plants

WANG Tao<sup>1</sup>, HE Wen-shou<sup>1\*</sup>, JIANG Hai-gang<sup>2</sup>, WANG Yao-ke<sup>1</sup>, DANG Ke-ke<sup>1</sup>, ZHAO Xiao-xia<sup>1</sup> (1. The Agricultural School, Ningxia University, Yinchuan 750021; 2. Agricultural Technology Extension and Service Center of Haiyuan, Haiyuan Ningxia 755200)

**Abstract:** In this study, the effects of nitrogen, phosphorus and potassium application on yield and starch content of potato plants were investigated by 311-A regression design in rainfed agricultural area in Ningxia province. Mathematic models between yield and starch content and the parameters of nitrogen, phosphorus and potassium amount used were built. Meanwhile, the main factor and interaction factor affected yield and starch content were analyzed. The results showed that the optimum nitrogen, phosphorus and potassium application amount to acquire the highest yield was 267.3, 139.0 and 82.1 kg/hm<sup>2</sup>, respectively, to acquire the highest economic value was 258.6, 131.1 and 71.1 kg/hm<sup>2</sup>, respectively, to acquire the highest starch content was 183.9, 106.4 and 87.6 kg/hm<sup>2</sup>, respectively.

**Key words:** yield of potato plants; starch; 311-A regression design; main factor; interaction factor

[上接第 72 页]

### Effect of phosphorus levels on root morphology and rhizospheric characteristic between the different phosphorus efficiency cotton under sand culture condition

WANG Liang, SHENG Jian-dong, CHEN Bo-lang\* (College of Grassland and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi Xinjiang 830052)

**Abstract:** The experiment was conducted to investigate effects of different P levels (P<sub>1</sub> 0.1 mmol/L, P<sub>2</sub> 5 mmol/L) on root morphology and characteristics of rhizosphere in different P-efficiency cotton under the gravel culture conditions. Two different P-efficient cotton genotypes (the P efficient ZM42 and the P inefficient XLZ13) were selected for the study. Crop biomass, P uptake amount, root morphology, available P, pH and phosphatase activity in the rhizosphere were measured. Result showed that under the sand culture cotton biomass and accumulation of phosphorus increased with phosphorus application for both the P-efficient genotypes cotton. Root biomass, P uptake and root to shoot ratio of ZM42 was better than XLZ13. length of fine root (0~0.4 mm) in ZM42 was looger than XLZ13, and the proportion of fine roots in the total root length was higher, which was helpful to promote phosphorus absorption of plant. When the phosphorus content in growth medium was lower, to reduce the pH in the cotton rhizosphere also decreased. The pH of the rhizosphere of ZM42 was significantly higher than XLZ13. Rhizosphere phosphatase activity of two kinds of phosphorus efficiency cotton was increased as the phosphorus content decreased in the two periods. Phosphatase activity of ZM42 was higher than that of XLZ13. Thus, there was a difference with rhizosphere mechanism between the two phosphorus efficiency of cotton in the same growth medium, the change of root morphology characteristic of the P efficient cotton was one of the main mechanisms of rhizosphere phosphorus activation.

**Key words:** phosphorus efficient; cotton; root morphology; rhizosphere characteristic