

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2015)01-0023-05

土壤肥料

氮磷钾配施对马铃薯产量及耐贮性的影响

许爱霞^{1*}, 巩明明², 逢 蕾³

(1. 定西市农产品质量安全监督管理局, 甘肃 定西 743000; 2. 定西市农业生态环境保护管理站, 甘肃 定西 743000;

3. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 采用二次回归三因子五水平饱和D-最优设计方法, 研究了氮肥(N x_1)、磷肥(P₂O₅ x_2)、钾肥(K₂O x_3)对马铃薯品种‘大西洋’产量及耐贮性的影响。氮、磷、钾肥与产量和耐贮性的回归模型方程分别为 $Y_{产量} = 5120.36 + 2167.19x_1 + 478.94x_2 + 1213.65x_3 + 716.24x_1x_2 + 1450.95x_1x_3 - 237.30x_2x_3 - 2840.03x_1^2 + 1013.08x_2^2 - 1363.52x_3^2$ ($-1 \leq x_i \leq 1$), $Y_{耐贮性} = 102.95 + 35.27x_1 + 12.11x_2 + 12.69x_3 + 17.34x_1x_2 + 17.93x_1x_3 - 5.24x_2x_3 - 65.18x_1^2 - 1.01x_2^2 - 6.72x_3^2$ ($-1 \leq x_i \leq 1$); 从产量效益来看, 最高产量的施肥量为: N = 204.07 kg/hm², P₂O₅ = 90.58 kg/hm², K₂O = 211.28 kg/hm², 三种肥料的养分配比为 N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 0.44 : 1.04, 最佳施用量为: N = 110.40 kg/hm², P₂O₅ = 90.58 kg/hm², K₂O = 105.64 kg/hm², 最优产量将出现在 7 040.45 ~ 8 893.21 kg/hm² 范围内; 从耐贮性效益来看, 最高耐贮性的施肥量为: N = 198.00 kg/hm², P₂O₅ = 157.93 kg/hm², K₂O = 151.95 kg/hm², 三种肥料的养分配比为 N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 0.80 : 0.77, 最佳施肥量为: N = 127.57 kg/hm², P₂O₅ = 78.97 kg/hm², K₂O = 75.97 kg/hm²。提高马铃薯的耐贮性, 就应适当降低氮肥和钾肥的比例。

关键词: 马铃薯; 氮肥; 磷肥; 钾肥; 产量; 耐贮性

Effects of Nitrogenous, Phosphorus and Kalium Fertilizers on Potato Yield and Storability

XU Aixia^{1*}, GONG Mingming², PANG Lei³

(1. Dingxi Agricultural Products Quality and Safety Supervision Management Station, Dingxi, Gansu 743000, China;

2. Dingxi Agricultural Ecological Environment Protection Management Station, Dingxi, Gansu 743000, China;

3. Department of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Influence of various NPK combinations on yield and storability of the potato variety 'Atlantic' was studied using quadratic regression of three factors and five levels of saturated D-optimal design. The regression model was created between the fertilizer application and yield and storability as following: $Y_{yield} = 5120.36 + 2167.19x_1 + 478.94x_2 + 1213.65x_3 + 716.24x_1x_2 + 1450.95x_1x_3 - 237.30x_2x_3 - 2840.03x_1^2 + 1013.08x_2^2 - 1363.52x_3^2$ ($-1 \leq x_i \leq 1$), $Y_{storability} = 102.95 + 35.27x_1 + 12.11x_2 + 12.69x_3 + 17.34x_1x_2 + 17.93x_1x_3 - 5.24x_2x_3 - 65.18x_1^2 - 1.01x_2^2 - 6.72x_3^2$ ($-1 \leq x_i \leq 1$). As for the yield benefit, the fertilizer application of high yield was N = 204.07 kg/ha, P₂O₅ = 90.58 kg/ha, and K₂O = 211.28 kg/ha, whose ratio was N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 0.44 : 1.04; the optimum fertilizer rate was N = 110.40 kg/ha, P₂O₅ = 90.58 kg/ha, and K₂O = 105.64 kg/ha; the optimum output would vary between 7 040.45 - 8 893.21 kg/ha. As for the storability benefit, the fertilizer application of high storability was N = 198.00 kg/ha, P₂O₅ = 157.93 kg/ha, and K₂O = 151.95 kg/ha, whose ratio was N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 0.80 : 0.77; the optimum fertilizer rate was N = 127.57 kg/ha, and P₂O₅ = 78.97 kg/ha, K₂O = 75.97 kg/ha. Improvement of potato storability could be realized by decreasing the ratio of nitrogen and phosphorus.

Key Words: potato; nitrogenous fertilizer; phosphorus fertilizer; kalium fertilizer; yield; storability

收稿日期: 2014-10-17

基金项目: 国家科技支撑计划“黄土高原丘陵沟壑区保护性耕作技术集成研究与示范”(2006BAD15B06)。

作者简介: 许爱霞(1981-), 女, 农艺师, 硕士, 主要从事马铃薯品质及农产品质量安全检验检测工作。

*通信作者(Corresponding author): 许爱霞, E-mail: 38059673@qq.com。

马铃薯是新世纪中国最有发展前景的高产经济作物之一, 同时也是十大热门营养健康食品之一。中国是马铃薯生产大国, 常年种植面积达到500万hm², 年总产量近8000万t, 居世界第一位。近年来, 随着农田基本建设条件的改善、政府的大力扶持以及高产栽培技术的推广应用, 马铃薯产量和品质有了很大的提高。但施肥不科学, 施肥量偏高, 氮、磷、钾配比失调, 仍然是制约马铃薯产量、品质、耐贮性提升以及效益提高的重要因素。

氮、磷、钾是植株生长过程中必需的营养物质, 施用氮、磷、钾肥对马铃薯生长发育、产量和品质形成具有重要的作用^[1], 但氮、磷、钾肥施用量并不是越多越好, 适合的施肥量既能节省成本又可增产增效^[2], 过量施肥不仅造成植株对养分的奢侈吸收, 降低生产效益, 还会造成环境污染^[3], 另外, 肥料施用量过多(尤其是氮肥)会使马铃薯的腐烂率增加, 耐贮性降低^[4]。鉴此, 本研究设置了氮肥、磷肥、钾肥配施对马铃薯产量和耐贮性影响的试验, 探索影响马铃薯产量和耐贮性与肥料三个因子之间的内在联系, 找出最佳的施肥方案, 为获得高产优质耐贮藏的马铃薯提供理论和技术依据。

1 材料与方 法

1.1 试区概况

试验所选马铃薯栽培地及窖藏地均设在被称为“中国马铃薯之乡”的定西市安定区李家堡镇, 该镇位于甘肃省中部偏南, 属中温带半干旱区, 有种植马铃薯的良好条件。该区海拔2000m左右, 平均太阳辐射141.6 kcal/cm², 日照时数2476.6 h, 平均气温6.4℃, ≥0℃的积温为2239.1℃, ≥10℃积温为2239.1℃, 无霜期为140 d。多年平均降水量415.2 mm, 年蒸发量1531 mm, 干燥度2.53, 80%保证率的降水量为365 mm。

1.2 试验材料

供试马铃薯选用脱毒原种‘大西洋’, 以减少肥料效应和窖藏效应的影响。该品种为当地主栽品种, 是美国以Wauseon × B5141-6杂交后代中选育的, 块茎圆形, 大中薯率高且整齐, 薯皮浅黄, 有麻点网纹, 薯肉白色, 芽眼较浅, 结薯集中^[5]。氮肥选用硝酸铵(含纯N 34%); 磷肥选用普通过磷酸钙(含P₂O₅ 13%); 钾肥选用以色列钾宝(含K₂O

93.07%)。

1.3 试验设计

试验采用二次回归三因子五水平饱和D-最优设计, 在影响马铃薯贮藏的诸因素中, 选择与马铃薯生长关系密切的氮肥(N x₁)、磷肥(P₂O₅ x₂)、钾肥(K₂O x₃)三项农艺措施为决策变量进行设计。设计水平编码列于表1。

表1 变量设计水平及编码
Table 1 Designed level of variable and code

编码值 Coded value	N (x ₁) (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (x ₂) (kg/hm ²)	K ₂ O(x ₃) (kg/hm ²)
1.00	180.00	150.00	180.00
0.19	107.33	89.44	107.33
0.00	90.00	75.00	90.00
-0.29	63.79	53.16	63.79
-1.00	0.00	0.00	0.00
变化区间	90.00	75.00	90.00
Variation range			

肥料对产量影响试验共设10个处理, 3次重复, 共30个小区。每小区3行, 每行15株, 行距60 cm, 株距33.3 cm, 小区面积9 m², 走道宽80 cm, 保护行2行。供试肥料均按设计标准分区称量, 一次性集中施于种沟, 覆土5 cm左右, 田间管理除测定因素外, 其它栽培管理措施均与当地生产水平一致, 收获时按小区面积全部计产。

窖藏试验按每处理3次重复, 待收获后随机取样, 装入网袋, 放入土窖中。半年后测定该马铃薯的耐贮性、腐烂率及发芽等情况。

2 结果与分析

2.1 氮磷钾三因子对马铃薯产量影响及回归模型的确定

试验目标函数的结果见表2。本试验所选择的回归数学模型为:

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_{ij} + \sum b_{ii} x_i^2 \quad (\text{其中 } i = 1, 2, 3, i < j, -1 < x < 1)$$

将获得的产量结果代入上述数学模型, 求得氮、磷、钾与产量的三元二次回归方程:

$$Y = 5120.36 + 2167.19x_1 + 478.94x_2 + 1213.65x_3 + 716.24x_1x_2 + 1450.95x_1x_3 - 237.30x_2x_3 - 2840.03x_1^2 + 1013.08x_2^2 - 1363.52x_3^2 \quad (-1 \leq x_j \leq 1)$$

表2 试验编码值、实际值、产量及耐贮性结果
Table 2 Coded values, actual values, yield and storability in experiment

处理 Treatment	编码值 Coded value			实际值 Actual value			产量 (kg/hm ²) Yield	耐贮性 (%) Storability
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	X ₁	X ₂	X ₃		
1	-1.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	5888.89	92.96
2	1.00	-1.00	-1.00	180.00	0.00	0.00	5083.28	90.94
3	-1.00	1.00	-1.00	0.00	180.01	0.00	5416.67	90.27
4	-1.00	-1.00	1.00	0.00	180.01	0.00	5833.34	92.27
5	-1.00	0.19	0.19	0.00	107.34	108.34	6527.78	91.76
6	0.19	-1.00	0.19	107.34	0.00	107.34	5011.12	89.78
7	0.19	0.19	-1.00	107.34	107.34	0.00	5194.45	92.06
8	-0.29	1.00	1.00	63.78	180.01	180.01	5972.23	88.21
9	1.00	-0.29	1.00	180.01	63.78	180.01	4583.34	95.18
10	1.00	1.00	-0.29	180.01	180.01	63.78	5972.22	91.61

2.1.1 各因素独立效应分析

分别将 x_1 、 x_2 和 x_3 三个变量因子作为独立因子, 将其他两个因子固定在零水平, 对上述产量拟合方程进行降维, 做独立效应分析。降维后的一元二次方程如下:

$$Y_1 = 5120.36 + 2167.19x_1 - 2840.03x_1^2$$

$$x_1 = 0.38 \quad \hat{Y}_1 = 5533.79$$

$$Y_2 = 5120.36 + 478.94x_2 + 1013.08x_2^2$$

$$x_2 = -0.24 \quad \hat{Y}_2 = 5063.75$$

$$Y_3 = 5120.36 + 1213.65x_3 - 1363.52x_3^2$$

$$x_3 = 0.45 \quad \hat{Y}_3 = 5390.42$$

从以上三个方程可以看出, x_1 和 x_3 两个因子所得方程的二次项系数为负值, 所以均有极大值。另外, x_1 、 x_3 两因子取值在设计上下界限内, 当前生产条件下均有最佳值。 x_2 因子的二次项系数为正值, 较佳值即为最佳值, 为6 612.38 kg。

2.1.2 模拟寻优和频次分析

对产量回归模型进行寻优, 结果(表3)表明, 最优产量将出现在7 040.45~8 893.21 kg/hm² 范围内, 其把握性在95%左右, 与试验的实际值基本相符。另外, 主效因子优化水平均在设计的编码水平范围内, 与试验设计也相吻合。从因子的优化值还可看出, 氮肥在下限水平至0.69水平范围内取值越大或在上限水平至0.69水平范围内取值越小、磷肥在上限水平、钾肥在下限水平至0.73水平范围内取值越大或在上限水平至0.73水平范围内取值越小时, 可能出现最优产量。

表3 模拟寻优分析结果

Table 3 Analysis of simulation and optimization

因子优化值 Factor optimum	最优产量(kg/hm ²) Optimum yield
x_1 (N) = 0.69	
x_2 (P ₂ O ₅) = 1.00	7966.83
x_3 (K ₂ O) = 0.73	
T _{0.02,20} 的检验值 2.09 T _{0.02,20} test value	95%的置信度区间 95% confidence interval
模拟标准误 926.38 Standard error for simulation	7966.83 ± 926.38

对产量回归模型进行频次分析, 寻求优化农艺措施, 其中选取产量大于2 778 kg/hm² 的高产组合75个。各水平出现的次数、频率和农艺措施分析结果(表4)表明: 氮肥(x_1)在-0.29~0.00水平时, 频率达53.33%、磷肥(x_2)在-0.29~0.00水平时, 频率达36%、钾肥(x_3)在-0.29~0.00水平时, 频率达46.67%是马铃薯高产增收的关键施肥点。

2.2 氮磷钾三因子对马铃薯耐贮性影响及回归模型的确定

将获得的耐贮性结果(表2)代入2.1中的数学模型, 求得氮、磷、钾与耐贮性的三元二次回归方程为:

$$Y = 102.95 + 35.27x_1 + 12.11x_2 + 12.69x_3 + 17.34x_1x_2 + 17.93x_1x_3 - 5.24x_2x_3 - 65.18x_1^2 - 1.01x_2^2 - 6.72x_3^2 \quad (-1 \leq x_j \leq 1)$$

表4 各主效因子的频次分布
Table 4 Frequency distribution of main factors

变量 Variable	N的频次 Frequency of N		P ₂ O ₅ 的频次 Frequency of P ₂ O ₅		K ₂ O的频次 Frequency of K ₂ O	
	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency
	-1.00	0	0.00	16	0.21	7
-0.29	17	0.23	14	0.19	16	0.21
0.00	23	0.31	13	0.17	19	0.25
0.19	19	0.25	17	0.23	18	0.24
1.00	16	0.21	15	0.20	15	0.20
合计 Total	75	1.00	75	1.00	75	1.00

平均编码 Average code	0.23	0.01	0.12
标准误 Standard error	0.53	0.72	0.63
95%置信区间 95% confidence interval	-0.82~1.27	-1.40~1.42	-1.11~1.35
农艺措施组合 Agronomic measure combination	16.73~204.07	0.00~181.16	0.00~211.28
措施中心值 Measure values	110.40	90.58	105.64

注: 选用产量大于2 777.77 kg/hm²、毛收益大于3 888.74元的各水平。

Note: Choosing those whose yield was bigger than 2 777.77 kg/ha and gross yield was bigger than 3 888.74 Yuan.

2.2.1 各因素独立效应分析

同2.1.1分析方法一样将上述耐贮性拟合方程降维, 进行独立效应分析, 降维后的一元二次方程为:

$$Y_1 = 102.95 + 35.27x_1 - 65.18x_1^2$$

$$x_1 = 0.27 \quad \hat{Y}_1 = 107.72$$

$$Y_2 = 102.95 + 12.11x_2 - 1.01x_2^2$$

$$x_2 = 1.00 \quad \hat{Y}_2 = 114.04$$

$$Y_3 = 102.95 + 12.69x_3 - 6.72x_3^2$$

$$x_3 = 0.94 \quad \hat{Y}_3 = 108.94$$

可以看出, 三个方程的二次项均为负值, 所以均有极大值。 x_1 和 x_3 的取值均在设计的上下界内, 是当前生产条件时的最佳值。 x_2 的取值超出设计的上界, 在设计范围内只有较佳值, 就是试验上界值。

2.2.2 模拟寻优和频次分析

对耐贮性回归模型进行寻优, 结果(表5)表明: 主效因子优化水平均在设计的编码水平范围内, 与试验设计相吻合; 从因子的优化值可以看出, 氮肥在下限水平至0.54水平范围内取值越大或在上限水平至0.54水平范围内取值越小、磷肥在上限水平、钾肥在上限水平时, 可能出现最优耐贮性。

对耐贮性回归模型进行频次分析, 寻求优化农艺措施, 其中选取耐贮性大于76的组合12个。各水平频率、次数和农艺措施分析结果(表6)表明: 氮肥(x_1)在0.00~1.00水平时, 频率达100%; 磷肥(x_2)在-0.29~0.00水平时, 频率达50%、钾肥(x_3)在-0.29~0.00水平时, 频率达66.67%为马铃薯耐贮性的关键施肥点。

表5 模拟寻优分析结果
Table 5 Analysis of simulation and optimization

因子优化值 Factor optimum	最优耐贮性 Optimum storability
$x_1(N) = 0.54 \quad x_2(P_2O_5) = 1.00 \quad x_3(K_2O) = 1.00$	133.87
$T_{0.02,20}$ 的检验值 2.09 $T_{0.02,20}$ test value	95%的置信度区间 95% confidence interval
模拟标准误 2.38 Standard error for simulation	133.87 ± 2.38

表6 各主效因子的频次分布
Table 6 Frequency distribution of main factors

变量 Variable	N的频次 Frequency of N		P ₂ O ₅ 的频次 Frequency of P ₂ O ₅		K ₂ O的频次 Frequency of K ₂ O	
	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency
	-1.00	0	0.00	2	0.17	2
-0.29	0	0.00	3	0.25	4	0.33
0.00	5	0.42	3	0.25	4	0.33
0.19	4	0.33	3	0.25	2	1.67
1.00	3	0.25	1	0.08	0	0.00
合计 Total	12	1.00	12	1.00	12	1.00
平均编码 Average code	0.42		-0.08		-0.25	
标准误 Standard error	0.40		0.67		0.48	
95%置信区间 95% confidence interval	-0.37~1.20		-1.27~1.11		-1.19~0.69	
农艺措施组合 Agronomic measure combination	57.00~198.00		0.00~157.93		0.00~151.95	
措施中心值 Measure value	127.50		78.97		75.97	

注：选用耐贮性大于76%时的各水平。

Note: Choosing those whose storability was higher than 76%.

3 讨 论

本试验在对马铃薯高产栽培及耐贮性模型研究中得出：以加工型品种‘大西洋’为指示作物时，氮、磷、钾与产量和耐贮性的回归模型方程分别为： $Y_{产量} = 5120.36 + 2167.19x_1 + 478.94x_2 + 1213.65x_3 + 716.24x_1x_2 + 1450.95x_1x_3 - 237.30x_2x_3 - 2840.03x_1^2 + 1013.08x_2^2 - 1363.52x_3^2 (-1 \leq x_j \leq 1)$ ， $Y_{耐贮性} = 102.95 + 35.27x_1 + 12.11x_2 + 12.69x_3 + 17.34x_1x_2 + 17.93x_1x_3 - 5.24x_2x_3 - 65.18x_1^2 - 1.01x_2^2 - 6.72x_3^2 (-1 \leq x_j \leq 1)$ 。可用该模型预测在本试验范围内任何施肥水平的指标值和相应施肥水平的马铃薯产量和耐贮性值。

从产量效益来看，得出的结论与张朝春等^[6]研究的结论基本一致，最高产量的施肥量为：N = 204.07 kg/hm²，P₂O₅ = 90.58 kg/hm²，K₂O = 211.28 kg/hm²，三种肥料的养分配比为 N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 0.44 : 1.04；用95%相对产量作为推荐肥料的产量指标，得出肥料的最佳施用量为：N = 110.40 kg/hm²，P₂O₅ = 90.58 kg/hm²，K₂O = 105.64 kg/hm²，最优产量将出现在7 040.45~8 893.21 kg/hm²范围内；从耐贮性效益来看，最高施肥量为：N = 198.00 kg/hm²，P₂O₅ = 157.93 kg/hm²，K₂O = 151.95 kg/hm²，三种肥料的养分配比为 N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 0.80 : 0.77；用95%相对耐贮性作为推荐肥料的耐贮性指标，得出肥料的最佳施

用量为：N = 127.57 kg/hm²，P₂O₅ = 78.97 kg/hm²，K₂O = 75.97 kg/hm²；提高马铃薯的耐贮性，应适当降低氮肥和钾肥的比例。

应用计算机模拟求得的数学模型比较真实的反映了定西市马铃薯栽培及窖藏中几个主要因素的内在关系，为马铃薯施肥技术提供了非常重要的科学依据，并在同类地区具有借鉴作用，但该试验结果仅是在特定区域试验得出的，还应进一步在生产中进行示范和推广。

[参 考 文 献]

- [1] Chaudhary R A, Akram M, Gill K H, et al. Zinc requirement of potato crop in the Punjab. Journal of Soil Science [J]. 2001, 19 (1-2): 81-83.
- [2] 王秋红, 龚静, 陈应芳, 等. 不同施用量对稻田免耕稻草全程覆盖种植马铃薯产量的影响 [J]. 贵州农业科学, 2005, 33(1): 79.
- [3] 张西露, 汤小明, 刘明月, 等. NPK对马铃薯生长发育、产量和品质的影响及营养动态 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(18): 9466-9469.
- [4] 霍学显. 提高马铃薯产量和耐贮性的农艺措施及环境控制技术 [J]. 贮藏加工, 2014(6): 88-89.
- [5] 刘树凤. 优质马铃薯大西洋高产栽培技术 [J]. 现代农业科技, 2009(13): 111-112.
- [6] 张朝春, 江荣风, 张福锁, 等. 马铃薯氮、磷、钾肥料效应的研究 [J]. 中国马铃薯, 2004, 18(6): 326-329.