

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2016)04-0213-05

土壤肥料

氮磷钾配施对鲁西南地区马铃薯产量的影响

吴 静, 杨小华*, 徐宝连

(济宁市农业科学研究院, 山东 济宁 272131)

摘 要: 以‘荷兰15’为供试马铃薯品种, 采用二次通用旋转组合设计, 建立氮肥(X_1)、磷肥(X_2)和钾肥(X_3)三因子的回归数学模型, 通过方差分析和数学模型优化得到施肥的优化区间。结果表明, 三项肥料因子对马铃薯产量影响的大小顺序依次为: 钾肥(X_3) > 氮肥(X_1) > 磷肥(X_2); 马铃薯产量大于2 782.04 kg/667m²的肥料施用量优化区间为: N 16.755~24.675 kg/667m²、P₂O₅ 8.36~11.64 kg/667m²、K₂O 42.24~48.48 kg/667m²。

关键词: 马铃薯; 二次通用旋转组合设计; 肥料; 产量

Effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilizer on Yield of Potato in Southwest of Shandong Province

WU Jing, YANG Xiaohua*, XU Baolian

(Jining Academy of Agricultural Sciences, Jining, Shandong 272131, China)

Abstract: The potato variety 'The Netherlands 15' was tested using two general revolving combination design, and three factors regression mathematical model of nitrogen (X_1), phosphorus (X_2) and potassium (X_3) was established and the optimized range of fertilization by the analysis of variance and mathematical model optimization were obtained. The results showed that the order of three fertilizer factors on potato yield was K (X_3) > N (X_1) > P (X_2). When the optimized range of nitrogen fertilizer (N) were 16.755 - 24.675 kg/667m², phosphorus fertilizer (P₂O₅) 8.36 - 11.64 kg/667m², and potassium fertilizer (K₂O) 42.24 - 48.48 kg/667m², the yield could be more than 2 782.04 kg/667m².

Key Words: potato; two general revolving combination design; fertilizer; yield

马铃薯已成为世界上继水稻、小麦、玉米之后的第四大粮食作物, 含有丰富的矿物质、维生素和蛋白质, 是人们日常餐桌上不可缺少的一种食物。为提高马铃薯的产量与品质, 施用有效的肥料是一种重要手段^[1-3]。目前, 在马铃薯生产实际过程中, 由于菜农更注重经济效益, 为提高马铃薯产量, 生产上盲目施肥, 过度施肥, 不仅增加了生产成本, 而且对土壤环境造成了一定污染^[4], 同时也制约了马铃薯产量和品质的提升以及效益的提高。

当马铃薯所需氮肥、磷肥、钾肥充足, 而且养分配比合理时, 地上部分达到最大生物产量, 地下块茎产量也相应达到最高^[5,6], 氮磷钾配施可显著提高马铃薯的产量和品质^[7]。

氮、磷、钾肥对马铃薯产量的影响已有较多报道, 但施肥对马铃薯产量的影响效果因品种、栽培地区气候、土壤、栽培方式等条件有所差异。在济宁地区气候、土壤条件下施肥对马铃薯产量的影响报道较少。本研究采用三因子二次通用旋转组合设

收稿日期: 2015-11-04

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系薯类创新团队“SDAIT-10”。

作者简介: 吴静(1981-), 女, 农艺师, 硕士, 主要从事蔬菜育种与栽培技术研究。

*通信作者(Corresponding author): 杨小华, 农艺师, 主要从事蔬菜育种与栽培技术研究, E-mail: snow111418@163.com。

计^[8], 研究氮、磷、钾肥施用量对马铃薯产量的影响, 得出最优的肥料配比, 对指导马铃薯实际生产有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在济宁市农业科学院马铃薯试验基地进行, 供试品种为‘荷兰15’, 供试土壤pH7.1, 有机质19.6 g/kg, 碱解氮75.6 mg/kg, 速效磷28.7 mg/kg, 速

效钾56.7 mg/kg。

1.2 试验方法

试验设氮肥(X_1)、磷肥(X_2)和钾肥(X_3)3个因子, 采用三因子二次通用旋转组合设计, 选择的因素水平及其编码见表1。设20个小区, 四周设保护行, 小区长5.0 m, 宽3.2 m, 3次重复, 小区面积16 m²。马铃薯种植株行距为: 25 cm × 80 cm, 每小区种植100株。试验所需肥料为尿素(N 46.4%), 过磷酸钙(P₂O₅ 16%), 硫酸钾(K₂O 51%)。

表1 试验因素和编码水平

Table 1 Experimental factor and code level

试验因素 Experimental factor	施用方法 Application method	间距(kg/667m ²) Spacing	编码水平 Code level				
			-1.682	-1	0	1	1.682
X_1	80%基施, 20%追施	15	4.77	15	30	45	55.23
X_2	基施	5	1.59	5	10	15	18.41
X_3	80%基施, 20%追施	15	4.77	15	30	45	55.23

试验播种薯块为单芽, 平均重30~50 g, 芽长1~2 cm。2015年3月4日种植, 6月8日收获。生长期间, 田间统一管理。

2 结果与分析

2.1 数学模型的建立

各处理的马铃薯产量见表2, 以此为目标函数, 利用三因子二次通用旋转组合设计的计算机

DPS(V7.05)系统的程序分析, 可得出产量(Y)与氮肥(X_1)、磷肥(X_2)、钾肥(X_3)三因子的三元二次回归数学模型:

$$Y = 2\,990.806\,91 - 115.067\,61X_1 - 6.098\,82X_2 + 242.195\,02X_3 - 100.015\,82X_1^2 - 89.055\,49X_2^2 - 116.663\,24X_3^2 + 8.000\,37X_1X_2 + 1.271\,13X_1X_3 - 8.354\,62X_2X_3$$

对产量的数学模型进行显著性测定(表3), 失拟检验 F_1 的 P 值 = 0.136 7 > 0.05, 失拟不显著,

表2 不同处理的马铃薯产量

Table 2 Yield of potato under different treatments

编号 No.	X_1	X_2	X_3	产量(kg/667m ²) Yield	编号 No.	X_1	X_2	X_3	产量(kg/667m ²) Yield
1	1	1	1	2 858	11	0	1.682	0	2 651
2	1	1	-1	2 332	12	0	-1.682	0	2 649
3	1	-1	1	2 863	13	0	0	1.682	2 212
4	1	-1	-1	2 335	14	0	0	-1.682	2 931
5	-1	1	1	3 126	15	0	0	0	2 890
6	-1	1	-1	2 637	16	0	0	0	2 886
7	-1	-1	1	3 195	17	0	0	0	3 051
8	-1	-1	-1	2 640	18	0	0	0	3 141
9	1.682	0	0	2 726	19	0	0	0	2 956
10	-1.682	0	0	2 511	20	0	0	0	3 051

表3 试验产量结果方差分析

Table 3 Analysis of variance for yield results

变异来源 Variation source	平方和 SS	自由度 DF	均方 MS	偏相关 Partial correlation	F值 F value	P值 P value
X_1	180 824.3	1	180 824.3	-0.722 2	10.904 3	0.008
X_2	507.975 2	1	507.975 2	-0.055 3	0.030 6	0.864 6
X_3	801 089.6	1	801 089.6	0.910 2	48.308 1	0.000 1
X_1^2	144 158.5	1	144 158.5	-0.681 9	8.693 2	0.014 6
X_2^2	114 294.2	1	114 294.2	-0.638 8	6.892 3	0.025 4
X_3^2	196 142.1	1	196 142.1	-0.736 1	11.828	0.006 3
X_1X_2	512.048	1	512.048	0.055 5	0.030 9	0.864
X_1X_3	12.926 1	1	12.926 1	0.008 8	0.000 8	0.978 3
X_2X_3	558.398	1	558.398	-0.057 9	0.033 7	0.858 1
回归 Regression	1 364 317	9	151 590.8	$F_2 = 9.141\ 39$		0.001 4
剩余 Residue	165 829.1	10	16 582.91			
失拟 Lack of fit	113 812.1	5	22 762.41	$F_1 = 2.187\ 98$		0.136 7
误差 Error	52 017.02	5	10 403.4			
总和 Total	1 530 146	19				

说明未知试验因素对试验结果的影响很小；回归检验 F_2 的 P 值 = 0.001 4 < 0.05，达显著水平，说明数学模型与实测值拟合较好，具有实践指导意义。

以下是 $\alpha = 0.05$ 显著水平剔除不显著项后，简化后的回归方程：

$$Y = 2\ 990.806\ 91 - 115.067\ 61X_1 + 242.195\ 02X_3 - 100.015\ 82X_1^2 - 89.055\ 49X_2^2 - 116.663\ 24X_3^2$$

由以上三元二次回归数学模型一次项系数和表 3 中的 P 值得出，钾肥 (X_3) 对马铃薯产量有正向极显著影响，氮肥 (X_1) 有负向极显著影响，磷肥 (X_2) 对产量的影响不显著；从二次项系数中可以看出，氮肥和磷肥对产量有负向显著影响，钾肥对产量有负向极显著影响。

2.2 单因子效应分析

根据试验结果对单因子进行效应分析，其他因子为零水平，结果见表 4。

由表 4 可知，随着氮肥施用量的增加，马铃薯产量的增长呈现先增加后降低的趋势，当氮肥水平在 -1.682~-0.5 时，马铃薯产量随肥料用量增加而增加，增加幅度不大。但是当氮肥水平超过 -0.5

表4 单因子效应分析

Table 4 Effect analysis of single factor

水平 Level	X_1 (kg/667m ²)	X_2 (kg/667m ²)	X_3 (kg/667m ²)
-1.682	2 901	2 739	2 254
-1.341	2 965	2 831	2 456
-1	3 006	2 902	2 632
-0.5	3 023	2 969	2 841
0	2 991	2 991	2 991
0.5	2 908	2 969	3 083
1	2 776	2 902	3 117
1.341	2 657	2 831	3 106
1.682	2 514	2 739	3 068

后，氮肥施用量增加，马铃薯产量降低，降低幅度较大。说明一定程度的增加氮肥的施用量可以提高马铃薯的产量。

当磷肥水平在 -1.682~0 时，马铃薯产量随肥料用量的增加而增加。但当磷肥水平超过 0 后，磷肥施用量增加，马铃薯产量降低。说明磷肥的施用量

对马铃薯产量也存在最适量。

随着钾肥水平值的不断增加, 马铃薯产量也在不断的增加, 且增加幅度较大。钾肥水平在-1.682~1时, 马铃薯产量不断增加, 但是钾肥水平超过1以后, 随着钾肥施用量的增加, 马铃薯产量略有下降。说明只有肥料施用量恰当, 马铃薯产量才会出现最优值。

综上所述, 三项肥料因子对马铃薯产量影响的大小顺序依次为: 钾肥(X_3) > 氮肥(X_1) > 磷肥(X_2), 钾肥的施用量对马铃薯产量的影响最大, 氮肥次之, 而磷肥影响最小, 因此马铃薯在种植过程

中, 为提高马铃薯产量应特别注意多施钾肥, 其次是氮肥, 同时注意磷肥的施用。

2.3 肥料施用量优化

由试验结果分析可知, 在试验中不但存在着单因子效应, 而且还有因子间的交互作用, 因此很难从单因子效应和交互作用的结果分析中找到最佳提取条件, 并且三元二次回归的数学模型不存在产量函数的极值, 同时考虑到试验中氮肥、磷肥和钾肥施用量不宜太高等因素, 需对回归模型进行再解析, 采用频率分析法分析回归模型以找到最佳施用量, 结果见表5。

表5 肥料施用量优化
Table 5 Optimization of fertilizer application

编码水平 Code level	X_1		X_2		X_3	
	次数 Time	频率 Frequency	次数 Time	频率 Frequency	次数 Time	频率 Frequency
-1.682	9	0.230 8	4	0.102 6	0	0
-1	13	0.333 3	10	0.256 4	0	0
0	13	0.333 3	11	0.282 1	9	0.230 8
1	4	0.102 6	10	0.256 4	16	0.410 3
1.682	0	0	4	0.102 6	14	0.359 0
加权均数 WMD	-0.619		0		1.014	
标准误 SE	0.135		0.167		0.101	
95%置信区间 95% confidence interval	-0.883~-0.355		-0.328~0.328		0.816~1.212	
肥料施用量优化区间(kg/667m ²) Optimal interval of fertilizer application	16.755~24.675		8.36~11.64		42.24~48.48	

根据计算机分析结果(表5), 马铃薯产量大于2 782.04 kg/667m²的组合方案有39个, 通过这39个方案中各变量取值的频率分布, 得出马铃薯产量大于2 782.04 kg/667m²的 X_1 、 X_2 和 X_3 变量95%的置信区间分别为-0.883~-0.355、-0.328~0.328、0.816~1.212, 即马铃薯产量大于2 782.04 kg/667m²的肥料施用量优化区间为: N 16.755~24.675 kg/667m²、P₂O₅ 8.36~11.64 kg/667m²、K₂O 42.24~48.48 kg/667m²。

3 讨 论

试验结果表明, 在中高肥力条件下, 钾肥

(X_3)对马铃薯产量有正向极显著影响, 氮肥(X_1)有负向极显著影响, 磷肥(X_2)对产量的影响不显著。三项肥料因子对马铃薯产量影响的大小顺序依次为: 钾肥(X_3) > 氮肥(X_1) > 磷肥(X_2), 钾肥的变化对马铃薯产量的影响最大, 氮肥次之, 而磷肥影响最小。因此马铃薯在种植过程中, 应特别注意多施钾肥, 其次是氮肥, 同时注意磷肥的施用。此结论与许爱霞等^[9]的研究结果不一致, 可能是因为对马铃薯的测定指标不同, 有的研究侧重马铃薯品质, 有的侧重马铃薯耐贮性, 有的侧重马铃薯产量。许爱霞等^[9]研究指出, 从产量效益来看, 最高产量对应的3种肥料配比为N:P:K = 1:0.44:1.04, 提高马

铃薯产量要注意钾肥和氮肥的用量。从耐贮性效益看, 最佳耐贮性对应的3种肥料配比为 $N:P:K = 1:0.80:0.77$, 如果要提高马铃薯耐贮性, 要适当降低氮肥和钾肥的比例。

计算机寻优表明, 马铃薯产量大于 $2\ 782.04\ \text{kg}/667\text{m}^2$ 的肥料施用量优化区间为: $N\ 16.755\sim 24.675\ \text{kg}/667\text{m}^2$ 、 $P_2O_5\ 8.36\sim 11.64\ \text{kg}/667\text{m}^2$ 、 $K_2O\ 42.24\sim 48.48\ \text{kg}/667\text{m}^2$ 。

应用计算机模拟求得的数学模型反映了马铃薯生产中肥料施用量与产量之间的关系, 为马铃薯施肥技术提供了非常重要的科学依据。但试验结果仅是在特定区域试验得出的, 存在一定局限性, 还应进一步试验, 并在生产中推广示范。

[参 考 文 献]

- [1] 殷文, 孙春明, 马晓燕, 等. 钾肥不同用量对马铃薯产量及品质的效应[J]. 土壤肥料, 2005(4): 44-47.
- [2] 何天久, 李其义, 吴巧玉, 等. 氮磷钾对马铃薯产量和品质影响的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2014(9): 140-144.
- [3] 李勇, 吕典秋, 胡林双, 等. 不同氮磷钾配比对马铃薯农艺性状、产量和干物质含量的影响[J]. 中国马铃薯, 2013, 27(3): 148-152.
- [4] 王德建, 林静慧, 孙瑞娟, 等. 太湖地区稻麦高产的氮肥适宜量及其对地下水的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(3): 426-432.
- [5] 阎献芳, 肖厚军, 曹文才, 等. 马铃薯肥效研究[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(2): 55-56.
- [6] 张静, 蒙美莲, 王颖慧, 等. 氮磷钾施用量对马铃薯产量及品质的影响[J]. 作物杂志, 2012(4): 124-127.
- [7] 杨艳荣. 氮肥对马铃薯生长发育的影响[J]. 吉林蔬菜, 2012(1): 31-33.
- [8] 张东昱, 张文斌, 夏叶, 等. 马铃薯氮磷钾肥配施数学模型构建与优化研究[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(3): 158-160.
- [9] 许爱霞, 巩明明, 逢蕾. 氮磷钾配施对马铃薯产量及耐贮性的影响[J]. 中国马铃薯, 2015, 29(1): 23-27.

2015年优秀论文评选结果

为鼓励大家热爱马铃薯研究, 积极投稿《中国马铃薯》杂志或《中国马铃薯大会》论文集, 《中国马铃薯》杂志编辑部受中国作物学会马铃薯专业委员会的委托, 组织5名专家进行了优秀论文的评选活动。评选对象是年轻人(这里指的是具有中级职称或以下的科研人员, 以及研究生)。评选范围是2015年发表在《中国马铃薯》杂志和《马铃薯产业与现代可持续农业》一书中的研究性论文(这里不包括综述, 生产技术和品种介绍)。经过反复推敲, 最终选出了优秀论文12篇, 其中一等奖2篇, 二等奖4篇, 三等奖6篇。

一等奖:

- (1) 马铃薯 miR167 靶基因的鉴定及人工 miRNA 表达载体的构建—杨江伟等
- (2) 马铃薯六种主要病毒通用 RT-PCR 检测体系的建立—张威等

二等奖:

- (1) 氮素水平对马铃薯干物质积累及库活性的影响—张婷婷等
- (2) 武汉地区马铃薯 Y 病毒株系的类型—陈汝豪等
- (3) 马铃薯 NBS-LRR 类抗粉痂病基因的发掘—窦孝锐等
- (4) 转正义和反义 PPase 基因对马铃薯块茎休眠相关生理指标的影响—文义凯等

三等奖:

- (1) 4x-2x 杂交创制马铃薯新种质—黄超等
- (2) 苗期水分亏缺对马铃薯产量形成的影响—乌兰等
- (3) 不同药剂及施用方式对马铃薯疮痂病的防效—孙静等
- (4) 马铃薯块茎直链淀粉含量检测方法的比较—杨焕春等
- (5) 滴灌条件下含螯合态微量元素的复合肥对马铃薯生长、产量及养分利用率的影响—彭丽华等
- (6) 马铃薯苗期抗寒能力直接评价体系的建立与应用—涂卫等

为鼓励他们在马铃薯研究中所做出的贡献, 中国作物学会马铃薯专业委员会决定奖励一等奖获得者 3000 元, 二等奖获得者 2000 元, 三等奖获得者 1000 元, 并颁发证书, 以资鼓励。

中国作物学会马铃薯专业委员会