

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^①

穆俊祥¹, 曹兴明^{1*}, 弓建国¹, 梁建功², 郭美兰¹

(1 内蒙古集宁师范学院, 内蒙古乌兰察布 012000; 2 乌兰察布职业学院, 内蒙古乌兰察布 012000)

Effects of Combined Application of N, P, K and Organic Fertilizers on Starch Content and Yield of Potatoes

MU Jun-xiang¹, CAO Xing-ming¹, GONG Jian-guo¹, LIANG Jian-gong², GUO Mei-lan¹

(1 Jining Teachers College, Wulachabu, Inner Mongolia 012000, China; 2 Wulanchabu Vocational College, Wulachabu, Inner Mongolia 012000, China)

摘要: 采用分3个正交区组的4因素2次正交旋转组合设计方法,研究了乌兰察布地区施用N、P、K和有机肥对马铃薯淀粉含量和淀粉产量的影响。研究表明:N、P、K和有机肥的合理配合施用能使马铃薯淀粉含量和淀粉产量明显提高。在本试验条件下,得到较高淀粉含量和淀粉产量的最佳配方施肥方案是:N 208.12 kg/hm², P₂O₅ 87.97 kg/hm², K₂O 128.9 kg/hm², 有机肥 22898 kg/hm²。

关键词: 马铃薯; 淀粉含量; 淀粉产量

中图分类号: S532; S147.2

马铃薯是乌兰察布市四大主导产业之一,年种植面积稳定在26.7万hm²左右,已成为该市的优势作物,同时也是该市农民脱贫致富的重要途径^[1]。但长期以来人们只注重提高马铃薯产量,而对提高其淀粉含量重视不够^[2]。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、土壤和栽培条件的影响,其中肥料的影响很大^[3]。为此我们从肥料的配比入手,以薯粉兼用型品种克新1号为研究对象,采取不同的施肥方案以找出最佳的肥料配比组合,为提高该市马铃薯淀粉含量和产量提供理论依据和实践指导。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试作物:乌兰察布市大面积种植的马铃薯品种克新1号。

试验肥料:磷酸二铵,尿素,硫酸钾,有机肥(腐熟的羊粪)。

1.2 试验地点

试验设置在集宁师专农艺实训基地,该区地势平坦,为新开荒土地,质地较差。由于试验设计处理小区多且面积大,为消除土壤肥力差异把试验地分成3个区组,各区组土壤中的养分如下(表1)。

表1 土壤养分化学分析

区组	速效 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	有机质 (g/kg)
I	135.33	16.31	179.08	8.0
II	135.58	28.04	162.04	10.0
III	129	25.33	209.83	9.5

①基金项目:内蒙古自治区高等学校科研项目(NJ06035)资助。

* 通讯作者

作者简介:穆俊祥(1981—),男,内蒙古乌兰察布人,硕士,讲师,主要从事土壤肥料的教学与研究。E-mail: tlmjx@sina.com

1.3 试验设计

本试验采用分成3个正交区组的4因素5水平2次正交旋转组合的设计方法^[4], 设36个处理。4个参

试因子分别为N肥、P肥、K肥和有机肥(腐熟的羊粪), 4个因素的不同水平取值及其编码值如表2。

表2 4个因素的水平取值及其编码值

试验因素	变化区间	水平编码 ($\gamma=2$)				
		-2	-1	0	1	2
X_1 (N, kg/hm ²)	82.5	22.5	105	187.5	270	352.5
X_2 (P ₂ O ₅ , kg/hm ²)	74.25	35.25	39	113.25	187.5	261.75
X_3 (K ₂ O, kg/hm ²)	97.5	42.5	45	142.5	240	339
X_4 (有机肥, kg/hm ²)	15000	0	15000	30000	45000	60000

1.4 试验处理及方案

试验划分为3个区组, 每个区组有12个小区, 小区面积为37.8 m² (9 m × 4.2 m), 每小区按当前推广的密度种植, 即行距是60 cm, 株距40 cm, 播种前将有机肥和作为基肥的尿素、二铵、硫酸钾混匀撒入每个小区表面, 然后翻耕, 播种时间为2007年5月18日, 播种时采用穴播且避免种薯与种肥接触, 田间管理按照本地推广农艺措施进行。另外在现蕾期和块茎膨大期按照设计用量进行追肥。其中尿素分基肥和两次追

肥施用, 施用比例为1:1:1, 两次追肥时间分别为2007年8月5日和2007年8月25日; 二铵和硫酸钾全部作为基肥。收获时间为2007年9月20日。

1.5 试验数据采集

收获时, 去除每个小区周围4行以免边际效应的影响, 按小区计产, 淀粉含量利用水比重法测定。根据淀粉含量和产量结果计算淀粉产量: 淀粉产量 = 鲜薯产量 × 淀粉含量。所得淀粉含量和淀粉产量与试验设计编码结构矩阵一起列出(表3)。

表3 分3个正交区组的4因素5水平2次正交旋转组合的结构矩阵与试验结果

区组	小区	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	淀粉含量 (g/kg)	淀粉产量 (kg/hm ²)
区组 I	1	1	-1	-1	-1	-1	144.42	1356.45
	2	1	1	-1	-1	1	169.5	1725.80
	3	1	-1	1	-1	1	164.45	1140.91
	4	1	1	1	-1	-1	172.03	1881.94
	5	1	-1	-1	1	1	159.38	1792.66
	6	1	1	-1	1	-1	166.97	2183.76
	7	1	-1	1	1	-1	188.95	3825.56
	8	1	1	1	1	1	154.32	3067.74
	9	1	0	0	0	0	172.03	1712.05
	10	1	0	0	0	0	137.04	2000.16
	11	1	0	0	0	0	164.45	1378.32
	12	1	0	0	0	0	192.48	1361.81
区组 II	13	1	-1	-1	-1	1	159.38	1477.93
	14	1	1	-1	-1	-1	172.03	2274.70
	15	1	-1	1	-1	-1	174.56	2435.00
	16	1	1	1	-1	1	169.8	1736.40
	17	1	-1	-1	1	-1	132.19	376.28
	18	1	1	-1	1	1	172.03	805.29
	19	1	-1	1	1	1	192.48	1896.27
	20	1	1	1	1	-1	146.94	844.92
	21	1	0	0	0	0	132.19	924.38

续表 3

	22	1	0	0	0	0	137.04	1065.97
	23	1	0	0	0	0	141.89	1442.79
	24	1	0	0	0	0	166.97	1495.90
区组III	25	1	-2	0	0	0	146.94	1773.85
	26	1	2	0	0	0	146.94	1712.48
	27	1	0	-2	0	0	134.51	2059.37
	28	1	0	2	0	0	93.58	1666.72
	29	1	0	0	-2	0	124.81	913.96
	30	1	0	0	2	0	127.34	740.14
	31	1	0	0	0	-2	202.89	1446.28
	32	1	0	0	0	2	169.8	1591.39
	33	1	0	0	0	0	137.04	1943.09
	34	1	0	0	0	0	154.32	2615.61
	35	1	0	0	0	0	179.61	2567.67
	36	1	0	0	0	0	169.5	1809.08

2 试验结果与分析

2.1 数学模型的建立与检验

根据 4 元 2 次回归正交旋转组合设计的原理, 该试验期望的回归数学模型为:

$\hat{Y} = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2$, 本试验用纯 N、有效 P、有效 K 和有机肥作为自变量建立数学回归模型。

2.1.1 目标函数的建立 我们选择淀粉含量 (Y_1) 和淀粉产量 (Y_2) 为目标函数计算相应的回归系数, 得到相应的数学回归模型为:

$$\hat{Y}_1 = 157 + 0.3X_1 - 0.2X_2 - 0.3X_3 - X_4 - 10.2X_1X_2 - 4.6X_1X_3 - 1.7X_1X_4 + X_2X_3 - 2.9X_2X_4 + 2.7X_3X_4 + 1.1X_1^2 - 7.2X_2^2 - 4.2X_3^2 + 11X_4^2 \quad (1)$$

$$\hat{Y}_2 = 1736 - 72.52X_1 + 172.23X_2 + 107.81X_3 + 50.82X_4 - 205.8X_1X_2 - 213.17X_1X_3 - 23.37X_1X_4 + 272.95X_2X_3 - 103.16X_2X_4 - 144.3X_3X_4 - 131.8X_1^2 + 50.65X_2^2 - 43.2X_3^2 + 75.33X_4^2 \quad (2)$$

2.1.2 F 检验与区组效应的分离 在正交分组的情况下, 首先需要对比区组间效应的显著性进行检验 (表 4), 结果表明区组间差异是显著的, 这说明上述回归方程与实际情况拟合的不好, 需要按照多元线性回归的方法单独进行分析计算方程中区组部分的回归系数, 来补充原有方程 (1) 和 (2) 回归系数形成新的回归方程 (3) 和 (4) [4]。这样就可把区组间的效应分离出来, 再用误差项对失拟相检验二次方程与试验结果是否拟合, 结果表明新方程与实际情况拟合较好 (表 4), 可以预报结果。

新的回归方程为:

$$\hat{Y}_2 = 157 + 0.2X_1 - 0.1X_2 - 0.6X_3 - X_4 - 10.2X_1X_2 - 4.6X_1X_3 - 1.7X_1X_4 + X_2X_3 - 2.9X_2X_4 + 2.7X_3X_4 + 1.1X_1^2 - 7.2X_2^2 - 4.2X_3^2 + 11X_4^2 \quad (3)$$

$$\hat{Y}_2 = 1736 - 61.69X_1 + 148.45X_2 + 124.74X_3 + 50.7X_4 - 205.8X_1X_2 - 213.17X_1X_3 - 23.37X_1X_4 + 272.95X_2X_3 - 103.16X_2X_4 - 161.08X_3X_4 - 144.3X_1^2 + 50.65X_2^2 - 43.2X_3^2 + 75.33X_4^2 \quad (4)$$

表 4 划分正交区组的二次旋转设计的效应分离和 F 检验

变异来源	SS (平方和)		DF (自由度)	V (均方)		F 值		临界值 F_{α}
	淀粉含量	淀粉产量		淀粉含量	淀粉产量	淀粉含量	淀粉产量	
区组	18.01	1854150	2	9.01	927074.9	8.5*	8.05*	$F_{0.05} (2,9) = 8.02$
剩余	95.23	10811692	21	4.53	58482.5			
失拟	9.58	1036290	10	1.06	115143.3	0.16	0.11	$F_{0.05} (10,9) = 3.31$
误差	67.63	10099453	9	6.76	1009945.			

2.2 各参试因子对马铃薯淀粉含量的影响

二次正交旋转设计所得到的回归模型是经无量纲编码线性代换后求得的，所以其偏回归系数已经标准化，偏回归系数的大小可直接反映变量对指标值的影响程度。模型中常数项 b_0 反映各因子用量处在 0 水平时的指标值，即平均效应；一次项回归系数 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 反映各自对指标值的线性增加效应，二次项回归系数 b_{11} 、 b_{22} 、 b_{33} 、 b_{44} 反映各因子的报酬递减效应；交互项回归系数 b_{12} 、 b_{13} 、 b_{14} 、 b_{23} 、 b_{24} 、 b_{34} 反映各因素之间的交互效应^[5]。

从 (3) 式中一次项回归系数得知： $|b_4| > |b_3| > |b_1| > |b_2|$ ，表明在试验中有机肥对淀粉含量的影响大于 K 肥的效应，K 肥效应大于 P 肥、N 肥效应；同时从二次项回归系数得知： $|b_{44}| > |b_{22}| > |b_{33}| > |b_{11}|$ ，曲率负值越大，说明施肥过量引起淀粉含量下降的趋势越大，相比之下，有机肥和 K 肥是影响马铃薯淀粉含量的主要因素，其它肥料不如有机肥和 K 肥。采用降维法将 (3) 式中的 3 个变量固定在 0 水平，得到 4 个单因子回归模型 (5)，并对其作图 (图 1) 可以进一步明确各因素与淀粉含量的关系。

$$\begin{cases} Y_1' = 157 + 0.2X_1 + 1.1X_1^2 \\ Y_1' = 157 + 0.1X_2 - 7.2X_2^2 \\ Y_1' = 157 - 0.6X_3 - 4.2X_3^2 \\ Y_1' = 157 - X_4 + 11X_4^2 \end{cases} \quad (5)$$

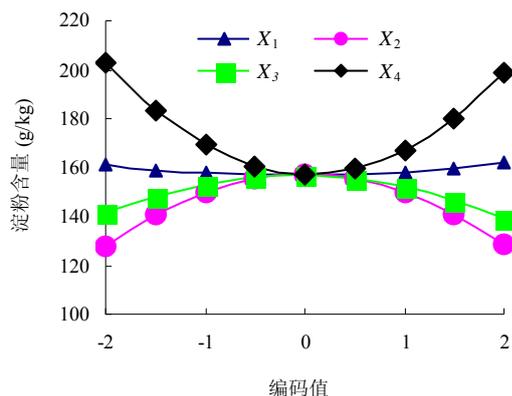


图 1 N、P、K 和有机肥与淀粉含量的关系

从图 1 可以看出在本试验肥料用量范围内，各因子对马铃薯淀粉含量的影响均为开抛物线型，其中，N 肥影响最小，适量增施 P、K 肥量均对马铃薯淀粉含量有增产效果。且 3 种肥料均是在 0 水平以下时，淀粉含量随施肥量增加而提高。然而，此后当肥料用量持

续增加时，淀粉含量呈递减趋势。此外，有机肥是影响淀粉含量的关键因素，本试验地严重缺乏有机肥，因此需要多施有机肥才可提高马铃薯淀粉含量。从交互项系数可以看出，NP (X_1X_2)、NK (X_1X_3)、N 和有机肥 (X_1X_4)、P 和有机肥 (X_2X_4) 之间的交互作用均为正效应，PK (X_2X_3) 与 P 和有机肥 (X_2X_4) 之间的交互作用为负效应，说明 N 与 P、N 与 K、N 与有机肥配施均有利于马铃薯淀粉含量的提高，而过高的 P 与过高的 K、过高的 P 与过高的有机肥都会对彼此的有效性产生制约，因此 P 与 K、P 与有机肥适量的配施才有利于马铃薯淀粉含量的提高。

2.3 各参试因子对马铃薯淀粉产量的影响

采用同样方法处理 (4) 式得到 (6) 式，且对其作图 (图 2)，从回归模型 (4) 中得知： $|b_2| > |b_3| > |b_1| > |b_4|$ ，表明在试验中 P 肥对马铃薯淀粉产量的影响大于 K 肥的效应，K 肥效应大于 N 肥和有机肥效应；同时从二次项回归系数得知： $|b_{11}| > |b_{44}| > |b_{33}| > |b_{22}|$ ，且曲率负值越大，说明施肥过量引起淀粉产量下降的趋势越大。所以，从图 2 可以得出，P 肥和 K 肥是影响马铃薯淀粉产量的主要因素。增施 P、K 肥均对马铃薯淀粉产量有增产效果。且产量随施肥量增加而提高。然而，N 肥持续增加时，淀粉产量呈递减趋势，所以一定要控制 N 肥的施用量。此外，有机肥同样是影响淀粉产量的关键因素，需要多施有机肥才可提高马铃薯淀粉产量。由交互项系数来看，NP、NK、N 和有机肥、P 和有机肥、K 和有机肥之间的交互项系数均为负值，说明 N、P、K、有机肥之间合理配合施用才有利于马铃薯淀粉产量的增加。可见，在生产上为了获得高产必须高施有机肥的情况下，配施 N、P、K 肥。

$$\begin{cases} Y_2' = 1736 - 61.69X_1 - 144.3X_1^2 \\ Y_2' = 1736 + 148.45X_2 + 50.65X_2^2 \\ Y_2' = 1736 + 124.74X_3 - 43.2X_3^2 \\ Y_2' = 1736 + 50.7X_4 + 75.33X_4^2 \end{cases} \quad (6)$$

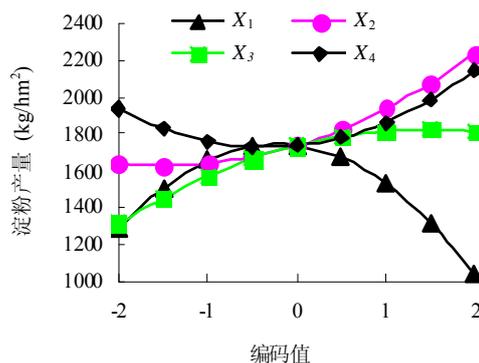


图 2 N、P、K 和有机肥与淀粉产量的关系

2.4 最佳农艺措施的确定

用计算机对回归模型进行模拟寻优, 得到供试条件下最高淀粉含量、最高淀粉产量的施肥方案(表 5)。从表 5 可见, 获得最高淀粉产量要求施高量的 N, 而要

获最高的淀粉含量却要求施较低的 N, 为了同时获得较高的淀粉含量和淀粉产量, 将两者的相应配方进行平均^[6], 求得马铃薯淀粉含量(150.2 g/kg)、产量(1615.32 kg/hm²)均较高的综合方案为: N 208.12 kg/hm²、P₂O₅ 87.97 kg/hm²、K₂O 128.9 kg/hm²、有机肥 22898 kg/hm²。

表 5 马铃薯高淀粉含量和产量施肥方案

目标产量	X ₁ (N)		X ₂ (P ₂ O ₅)		X ₃ (K ₂ O)		X ₄ (有机肥)	
	编码值	真实值	编码值	真实值	编码值	真实值	编码值	真实值
最高淀粉含量 (157 g/kg)	-0.0468	183.64	0.0146	114.33	-0.0289	139.7	0.0473	30709
最高淀粉产量(1627.4 kg/hm ²)	0.5468	232.6	-0.6955	61.61	-0.2492	118.2	-0.9942	15087
综合方案	0.25	208.12	-0.3405	87.97	-0.134	128.9	-0.474	22898

3 结论

在乌兰察布干旱地区马铃薯生产中, 合理施肥是保证提高产量、降低投入、增加品质的重要途径。本试验表明 N、P、K 和有机肥施用对马铃薯淀粉含量和淀粉产量均有显著影响, 4 种肥料合理配施可显著提高马铃薯淀粉含量和产量。

在本试验条件下, 马铃薯淀粉含量和淀粉产量都达到较高的施肥方案为: N 208.12 kg/hm², P₂O₅ 87.97 kg/hm², K₂O 128.9 kg/hm², 有机肥 22898 kg/hm², 相应的淀粉含量为 150.2 g/kg, 淀粉产量为 1615.32 kg/hm²。

参考文献:

[1] 曹兴明, 池秀萍. 旱地覆膜马铃薯种植密度和揭膜时间对其产

量、商品率和淀粉含量的影响. 马铃薯杂志, 1998, 12(3): 151-154

[2] 张翔宇, 李霄峰. 高淀粉马铃薯品种块茎大小与淀粉含量之间的关系. 中国马铃薯, 2006, 20(5): 284-287

[3] 李成军. 马铃薯高淀粉品种克新12号高产栽培技术的研究初探. 中国马铃薯, 2003, 17(1): 19-21

[4] 萧兵, 钟俊维. 农业多因素试验与统计分析. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1985

[5] 宿飞飞, 石瑛, 梁晶, 赵桂云, 陈伊里. 不同马铃薯品种淀粉含量、淀粉产量及淀粉组成的评价. 中国马铃薯, 2006, 20(1): 16-18

[6] 唐新莲, 顾明华, 潘丽梅, 凌桂芝, 钱单霞. 氮、磷、钾、锌配施对小白菜产量和品质的效应. 中国土壤与肥料, 2007(3): 47-51