

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2013)06-0353-05

土壤肥料

测土配方施肥对北方寒区马铃薯产量的影响

刘文志, 于文清, 胡广民, 赵晓锋, 李 鹏, 怀宝冬, 田艳洪, 隋文志*

(黑龙江省农垦科学院农畜产品综合利用研究所, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘要: 为了探索适合北方寒区马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)种植的测土配方施肥技术, 对比了依据不同参数建立的施肥模式对马铃薯产量及经济效益的影响。依据“3414”试验获得的数据, 采用土壤有效养分校正系数法、地力差减法及回归方程拟合求得的一元二次方程建立了3种施肥模式, 对比试验表明, 通过回归方程即氮(N): $Y = 25\ 400.7 + 166.5 N - 0.35 N^2$ ($R^2 = 0.958$), 磷(P): $Y = 35\ 669.7 + 181.7 P - 2.2 P^2$ ($R^2 = 0.948$), 钾(K): $Y = 32\ 714.5 + 107.2 K - 0.4 K^2$ ($R^2 = 0.997$), 建立的最施肥模式获得的产量及经济效益分别较当地常规施肥处理高7.8%和2 138元/hm², 适合北方寒区马铃薯栽培。

关键词: 测土配方; “3414”试验; 马铃薯; 北方寒区

Effect of Formula Fertilization by Soil Testing on Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.) in North Cold Region

LIU Wenzhi, YU Wenqing, HU Guangmin, Zhao Xiaofeng, LI Peng, HUAI Baodong, TIAN Yanhong, SUI Wenzhi*

(Institute of Agricultural and Poultry Products Comprehensive Utilization, Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China)

Abstract: In order to explore the formula fertilization by soil testing technique adaptable to the cultivation conditions in north cold region, the effect of fertilization pattern constituted according to different parameters on the yield and economical benefit were compared. According to the data obtained from “3414” test, the fertilization patterns were achieved by soil available nutrient correlation coefficient, land fertility subtraction method and unary quadratic equation with one unknown number fitting by regression equation, respectively. The comparing experiment showed that by the best fertilization pattern constituted by regression equation, via the equations (N): $Y = 25400.7 + 166.5 N - 0.35 N^2$ ($R^2 = 0.958$), (P): $Y = 35669.7 + 181.7 P - 2.2 P^2$ ($R^2 = 0.948$), and (K): $Y = 32714.5 + 107.2 K - 0.4 K^2$ ($R^2 = 0.997$), the yield and economical benefit were, respectively, 7.8% and 2 138 CNY/hm² higher than the local general fertilization pattern. So unary quadratic equation with one unknown number was much more suitable for potato production in north cold region..

Key Words: formula fertilization by soil testing; “3414” experiment; potato (*Solanum tuberosum* L.); north cold region

测土配方施肥技术是提高作物产量的重要途径之一^[1-3], 主要是通过田间试验计算出相关参数或建立函数进而求得最佳施肥量^[4-6]。这项技术应用于马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)种植, 不但可以提高产量及品质, 还可提高肥料利用率, 减轻化肥施用不

当带来的危害。为了比较测土配方施肥技术不同参数计算方法建立的施肥模式对我国北方寒区马铃薯种植的适用性, 探索适合该地区马铃薯栽培的最佳测土配方施肥模式, 本研究通过“3414”田间试验获得参数, 并对比地力差减法、土壤有效养分校正系

收稿日期: 2013-09-12

基金项目: 黑龙江省农垦总局科技计划项目(HNK11A-05-04)。

作者简介: 刘文志(1981-), 男, 副研究员, 本科, 学士, 主要从事土壤肥料与植物营养方面的研究。

*通信作者(Corresponding author): 隋文志, 研究员, 主要从事土壤肥料与农业微生物研究, E-mail: suiwz@sina.com。

数法和回归分析求得的一元二次方程计算出的最佳施肥量对马铃薯产量及经济效益的影响。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试马铃薯品种为‘富金’, 供试肥料为尿素(N: 46.4%, 黑龙江北大荒农业股份有限公司生产)、磷酸二铵(N: 18%, P₂O₅: 46%, 广西鹿寨化肥有限责任公司生产)、硫酸钾(K₂O: 50%, 米高化工长春有限公司生产)。

1.2 试验地概况

“3414”田间试验于2011年在黑龙江省佳木斯市, 黑龙江省农垦科学院试验田(东经130°24'50.7", 北纬46°46'35.2")实施。试验地土壤类型为黑土。土壤pH值6.2, 有机质3.6%, 速效磷、速效钾、碱解氮含量分别为41.5、222.3和138.2 mg/kg。采用微区试验, 每个微区用水泥板围成, 水泥板地下部分深60 cm。每个微区内2行, 行距0.55 m, 行长1.5 m。

测土配方施肥不同实施方案田间对比试验于2012年进行, 试验田位于与2011年试验微区相邻的小区内, 土壤养分状况与微区接近, 土壤pH值6.3, 有机质3.6%, 速效磷、速效钾、碱解氮含量分别为42.8、198.5和135.7 mg/kg。采用小区试验, 小区面积19.5 m², 行长6 m, 行距0.65 m, 每小区5行。

1.3 处理设置

“3414”试验设14个处理(表1), 3次重复; 三因素分别为N、P₂O₅、K₂O; 四水平为分别为0水平不施肥, 2水平当地最佳施肥量, 1水平 = 2水平 × 0.5, 3水平 = 2水平 × 1.5。第2水平施肥量为每公顷

表1 “3414”试验各处理肥料用量(kg/hm²)

Table 1 Dosage of fertilizer in “3414” experiment

处理编号 Treatment code	施肥水平 Level of fertilization	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O
1	N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0	-
2	N ₀ P ₂ K ₂	0	50	160	1 : 2.5 : 8
3	N ₁ P ₂ K ₂	50	50	160	1 : 1 : 3.2
4	N ₂ P ₂ K ₂	100	0	160	1 : 0 : 1.6
5	N ₂ P ₁ K ₂	100	25	160	1 : 0.25 : 1.6
6	N ₂ P ₂ K ₂	100	50	160	1 : 0.5 : 1.6
7	N ₂ P ₃ K ₂	100	75	160	1 : 0.75 : 1.6
8	N ₂ P ₂ K ₀	100	50	0	1 : 0.5 : 0
9	N ₂ P ₂ K ₁	100	50	80	1 : 0.5 : 0.8
10	N ₂ P ₂ K ₃	100	50	240	1 : 0.5 : 2.4
11	N ₃ P ₂ K ₂	150	50	160	1 : 0.33 : 1.07
12	N ₁ P ₁ K ₂	50	25	160	1 : 0.5 : 3.2
13	N ₁ P ₂ K ₁	50	50	80	1 : 1 : 1.6
14	N ₂ P ₁ K ₁	100	25	80	1 : 0.25 : 0.8

施N 100 kg, P₂O₅ 50 kg, K₂O 160 kg。种植密度为每公顷66 660株, 行距55 cm, 穴距30 cm。各处理中, 氮肥40%做基肥, 40%苗期追肥, 20%现蕾期施用; 钾肥60%做基肥, 40%现蕾期施用; 磷肥全部基施^[7-9]。收获时实测微区鲜薯产量、收集微区地上部分茎叶, 参考鲍士旦^[10]的方法测定马铃薯茎叶及块茎N、P、K含量及播种前和收获后测量土壤pH值、有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量。

根据“3414”试验获取的数据, 通过不同实施方

表2 不同施肥模式下肥料用量(kg/hm²)及配比

Table 2 Dosage of fertilizer (kg/ha) and proportion of different fertilization patterns

处理 Treatment	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O
常规施肥 General fertilization	100	50	160	1 : 0.5 : 1.6
校正系数法 Soil available nutrient correlation coefficient method	45	0	90	1 : 0 : 2
地力差减法 I Land fertility subtraction method I	105	206	234	1 : 2 : 2.3
地力差减法 II Land fertility subtraction method II	105	103	234	1 : 1 : 2.3
回归方程法 Regression equation method	238	41	134	1 : 0.2 : 0.6
空白 Blank control	0	0	0	-

案计算, 得到了3个测土配方施肥方案, 其中, 由于采用差减法计算出磷肥施用量较高(处理3), 与常规施肥最相差较远, 因此增设一个减少磷肥施用量50%的处理(即处理4)。另设一个常规施肥处理和空白对照, 共计6个处理。3次重复, 各处理施肥量见表2。

各处理中, 氮肥40%做基肥, 40%苗期追肥, 20%现蕾期施用; 钾肥60%做基肥, 40%现蕾期施用; 磷肥全部基施。种植密度为66 660株/hm², 行距65 cm, 穴距25 cm, 收获时实测小区鲜薯产量。并测定马铃薯茎叶及块茎中N、P、K含量, 播种前和收获后测量土壤养分。

1.4 计算公式

通过(公式1)计算肥料利用率^[1]。

$$R(\%) = \frac{NF - NL}{Q \times C} \times 100 \quad (1)$$

式中: R 为肥料利用率(%), NF 为施肥区作物吸收养分量(kg/hm²), NL 为缺素区农作物吸收养分量(kg/hm²), Q 为肥料施用量, C 为肥料中养分含量(%).

由土壤有效养分校正系数法(公式2)计算, 确定最佳施肥量^[1]。

$$Q = \frac{Y \times \frac{A}{100} - NL}{C \times R} \quad (2)$$

式中: Q 为施肥量(kg/hm²), Y 为目标产量(kg/hm²), $A/100$ 为单位经济产量养分吸收量(kg/100kg), 换算为(kg/kg), NL , C , R 同式1。

由地力差减法(公式3)计算, 确定最佳施肥量^[1]。

$$Q = \frac{(Y - Y_0) \times A}{C \times R} \quad (3)$$

式中: Y_0 为无肥区产量, Y , Q , A , C , R 同式2。

通过肥料回归方程拟合求得一元二次方程(公式4), 进而求得N、P、K肥最佳施肥量^[12]。

$$Y = ax^2 + bx + c \quad (4)$$

式中: Y 为产量(kg/hm²), x 为肥料施用量(kg/hm²), a , b , c 均为常数。

1.5 数据分析与处理

数据统计分析使用的软件为SPSS(SPSS 13.0, Inc., Chicago, USA)。各处理之间的差异采用单因素方差分析(SPSS, One-Way ANOVA: LSD Test, $P=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 “3414”田间试验结果

2.1.1 实收鲜薯测产结果

在当地常规施肥的基础上, 氮肥增加50%, 磷、钾肥各自减少50%均未对马铃薯产量造成显著影响, 但氮肥施用量减少50%, 磷、钾肥施用量各自增加50%均显著降低了马铃薯产量(表3)。可见, 在本试验土壤条件下, 建立测土配方施肥方案时, 可适当减少磷、钾肥施用量, 但不能降低氮肥施用量。

表3 “3414”试验各处理马铃薯鲜薯产量

Table 3 Yield of fresh potato of “3414” experiment

处理编号 Treatment code	施肥水平 Level of fertilization	鲜薯产量(均值±SE)(kg/hm ²) Yield of fresh potato (mean ± SE)
1	N ₀ P ₀ K ₀	21749.5 ± 1070.0 d
2	N ₀ P ₂ K ₂	29382.0 ± 1988.0 c
3	N ₁ P ₂ K ₂	31216.2 ± 994.3 c
4	N ₂ P ₀ K ₂	35822.2 ± 1946.8 bc
5	N ₂ P ₁ K ₂	38404.0 ± 1825.7 ab
6	N ₂ P ₂ K ₂	39810.0 ± 1457.7 ab
7	N ₂ P ₃ K ₂	36989.9 ± 2039.5 b
8	N ₂ P ₂ K ₀	32775.8 ± 1250.9 bc
9	N ₂ P ₂ K ₁	38545.5 ± 2555.1 ab
10	N ₂ P ₂ K ₃	35345.5 ± 837.1 bc
11	N ₂ P ₂ K ₂	42181.8 ± 1832.6 a
12	N ₁ P ₁ K ₂	28355.6 ± 2443.0 c
13	N ₁ P ₂ K ₁	30262.6 ± 1174.3 c
14	N ₂ P ₁ K ₁	35701.0 ± 730.1 bc

注: 表中同一列不同字母代表差异显著($P=0.05$)。

Note: Different letters in the same column mean significant difference (SPSS, One-Way ANOVA: LSD Test, $P=0.05$).

2.1.2 数据获取结果

肥料利用率: 表4列出了块茎、茎叶养分含量, 依据这些数据, 根据公式(1)计算求得常规施肥条件下的肥料利用率。其中氮肥利用率为56.8%, 磷肥为17.0%, 钾肥为37.3%。

表4 块茎、茎叶养分含量及单位面积产量

Table 4 Nutrient content of tuber, stem and leaf, and yield of per unit area

施肥水平 Fertilization	块茎养分含量 (%) Nutrient content of tuber			茎叶养分含量 (%) Nutrient content of stem and leaf			块茎干重(kg/hm ²) Dry weight of tuber	茎叶干重 (kg/hm ²) Dry weight of stem and leaf
	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	钾 Potassium	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	钾 Potassium		
N ₀ P ₂ K ₂	1.88	0.43	2.41	1.95	0.43	1.28	7758.0	832.5
N ₂ P ₀ K ₂	1.89	0.46	2.32	2.09	0.59	1.13	9456.0	984.0
N ₂ P ₂ K ₂	1.88	0.45	2.34	1.96	0.49	1.19	10510.5	1087.5
N ₂ P ₂ K ₀	1.89	0.45	2.31	2.18	0.49	1.09	8652.0	898.5

表5 土壤速效养分含量, 块茎、茎叶养分含量

Table 5 Available nutrient content of soil and nutrient content in tuber, stem and leaf

项目 Item	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	钾 Potassium
土壤速效养分含量 (mg/kg) Available nutrient content of soil	138.2	41.5	222.3
马铃薯块茎养分含量 (mg/kg) Nutrient content of potato tuber	18.8	4.5	23.4
马铃薯茎叶养分含量(mg/kg) Nutrient content of potato stem and leaf	19.5	5.9	10.9
缺素区块茎干重 (kg/hm ²) Dry weight of tuber in no nutrition applied plots	7758.0	9456.0	8652.0
缺素区茎叶干重 (kg/hm ²) Dry weight of stem and leaf in no nutrition applied plots	831.8	984.5	898.5

注: 表中块茎养分含量和茎叶养分含量是表4中施肥水平 N₂P₂K₂ (常规施肥) 测定值。

Note: Tuber nutrient content and stem and leaf nutrient content of the table is fertilization N₂P₂K₂ (conventional fertilization) measured values of Table 4.

土壤有效养分校正系数: 利用表5数据, 根据公式(2)计算, 由土壤有效养分校正系数法公式, 计算出施肥量为 N : 45 kg/hm², P₂O₅ : 0 kg/hm², K₂O : 90 kg/hm²。

由目标产量配方法计算的最佳施肥量: 当地历年来马铃薯产量平均为 28 000 kg/hm², 按照提高 18%的增产幅度, 将目标产量定为 33 000 kg/hm², 无肥区产量根据本试验结果得出, 是 21 749.5 kg/hm², 由已知数据(目标产量、无肥区产量、单位经济产量养分吸收量、化肥养分含量及肥料利用率数据)通过地力差减法公式(公式3), 计算出施肥量为 N : 105 kg/hm², P₂O₅ : 206 kg/hm², K₂O : 234 kg/hm²。

根据(公式4)求得N施肥量与产量的一元二次方程为: $Y(\text{kg}/\text{hm}^2) = 25\,400.7 + 166.5 N - 0.35 N^2$ ($R^2 = 0.958$), 当N施用量为 238 kg/hm²时, 产量最高。磷肥施用量与产量的一元二次方程为: $Y(\text{kg}/\text{hm}^2) = 35\,669.7 + 181.7 P - 2.2 P^2$ ($R^2 = 0.948$), 当 P₂O₅施用量为 41 kg/hm²时, 产量最高。钾肥施用量与产量的一元二次方程为: $Y(\text{kg}/\text{hm}^2) = 32\,714.5 +$

$107.2 K - 0.4 K^2$ ($R^2 = 0.997$), 当 K₂O施用量 134 kg/hm²时, 产量最高。

2.2 基于“3414”试验的测土配方施肥各实施方案对比试验结果

2.2.1 测土配方施肥不同施肥方案对马铃薯产量的影响

马铃薯实收测产结果表明, 测土配方施肥不同方案对产量及经济效益的影响不同, 各施肥处理产量均显著高于空白处理, 表明这5个处理施肥均为正效应。通过回归方程得出的施肥方案获得的鲜薯产量显著高于其它处理(表6)。在地力差减法的基础上减少磷肥施用量 50%, 也获得了高于常规施肥的产量, 而地力差减法的产量则与常规施肥无显著差异。土壤养分校正系数法建立的施肥方案应用效果不好。

2.2.2 测土配方施肥不同施肥方案对马铃薯经济效益的影响

各处理的经济效益差异主要表现在肥料成本和产量上, 因此计算经济效益时, 只考虑了这两个因

表6 不同施肥模式下的马铃薯产量及经济效益

Table 6 Yield and economical benefit under different fertilization patterns

处理 Treatment	产量 (均值±SE) (kg/hm ²) Yield (mean ± SE)	较常规施肥增产 (%) Percent of increased yield than general fertilization	经济效益 (均值±SE) (CNY/hm ²) Economical benefit (mean ± SE)	较常规施肥增收 (CNY/hm ²) Increased economical benefit than general fertilization
常规施肥 General fertilization	26784.6±357.5 c	0	30279.5±429.1 b	0
校正系数法 Soil available nutrient correlation coefficient method	22610.3±503.0 d	-15.6	26288.3±603.6 d	-3991.2
地力差减法I Land fertility subtraction method I	26767.5±135.6 c	-0.1	28854.0±162.7 c	-1425.5
地力差减法II Land fertility subtraction method II	27853.0±122.3 b	4.0	30717.6±146.7 b	438.1
回归方程法 Regression equation method	28868.4±162.0 a	7.8	32417.1±194.4 a	2137.6
空白 Blank control	19581.2±74.0 e	-26.9	23497.4±88.8 e	-6782.1

注: 经济效益 = 马铃薯产量 × 价格 - 肥料成本, 尿素、磷酸二铵、硫酸钾、马铃薯价格分别为2.0、3.3、3.6和1.2元/kg。同列不同字母代表差异显著($P=0.05$)。

Notes: Benefit = Yield of potato × price - cost of fertilizer. The price of carbamide, diammonium phosphate, potassium sulfate and potato was 2.0, 3.3, 3.6 and 1.2 CNY/kg, respectively. Different letters in the same column mean the differences were significant (SPSS, One-Way ANOVA : LSD Test, $P = 0.05$).

素, 采用回归方程法建立的施肥方案, 肥料成本居中, 产值最高, 经济效益最好(表6)。

可见, 综合马铃薯产量、肥料成本、经济效益等因素, 采用一元二次回归方程求得的最大产量施肥量, 为本试验条件下的最佳施肥方案。适用于北方寒区马铃薯栽培。

3 讨论

制定科学合理的施肥配方是马铃薯测土配方施肥技术的核心, 本文通过对比试验, 确定了适宜北方寒区马铃薯栽培的测土配方施肥模式, 即基于一元二次回归方程求得的最大产量施肥量。通过一元肥料效应模型计算“3414”试验最佳施肥量时, 拟合成功率高, 且简便易算^[12]。本试验中由地力差减法、土壤有效养分校正系数法和通过回归分析求得的一元二次方程计算出的最佳施肥量有很大差异。地力差减法和校正系数法在计算最佳施肥量时需要参数较多, 各别参数又需要大量田间试验和样品分析测定数据, 任何一个环节的误差对最终结果都有很大的影响, 所以它们计算出的最佳施肥量易偏离真实值。本试验条件下, 地力差减法中磷肥过量是限制产量增加的重要原因。而回归方程法计算最佳施肥量是对不同处理产量数据规律性的反应, 在土壤养分一致的情况下, 比较准确。

[参 考 文 献]

- [1] 向习军, 吴跃明, 王建平, 等. 测土配方施肥技术研究与应用 [J]. 湖南农业科学, 2006(3): 73-74, 76.
- [2] 吕英华. 测土与施肥 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [3] 王坤, 白治辉, 莫国华, 等. 测土配方施肥技术对马铃薯产量和效益的影响 [J]. 贵州农业科学, 2009, 37(4): 44-45.
- [4] 赵晓娟, 肖占国. 万全县马铃薯测土配方施肥技术 [J]. 现代农业科技, 2011(5): 148, 151.
- [5] 洪彩志, 戴树荣. 南安市马铃薯测土配方施肥指标的研究 [J]. 江西农业学报, 2010, 22(9): 79-83.
- [6] 凌永胜, 李锦泉, 林涛, 等. 马铃薯氮磷钾优化施肥效应研究 [J]. 福建农业学报, 2010, 25(3): 314-318.
- [7] 杨顺礼, 石乔龙, 滕树川, 等. 氮钾不同施肥时期对马铃薯产量的影响 [J]. 农技服务, 2009, 26(3): 66-67.
- [8] 邓小强, 范贵国, 周世龙. 氮、钾肥运筹对马铃薯经济性状与产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2011(2): 48-50.
- [9] 郭志平. 马铃薯不同生育期追施K肥增产效果的研究 [J]. 土壤肥料, 2002(3): 15-17.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [11] 叶贞琴, 夏敬源. 马铃薯测土配方施肥技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [12] 王圣瑞, 陈新平, 高祥照, 等. “3414”肥料试验模型拟合的探讨 [J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 409-413.