



刘双全,姬景红,郑雨,等.黑龙江省马铃薯磷肥适宜用量研究[J].黑龙江农业科学,2022(1):20-23.

# 黑龙江省马铃薯磷肥适宜用量研究

刘双全<sup>1</sup>,姬景红<sup>1</sup>,郑雨<sup>1</sup>,刘颖<sup>1</sup>,刘卫平<sup>2</sup>,李志新<sup>2</sup>,张微<sup>2</sup>,赵雪<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室/黑龙江省肥料工程技术研究中心,黑龙江 哈尔滨 150086;2. 黑龙江省农业科学院 克山分院,黑龙江 齐齐哈尔 161000)

**摘要:**为促进黑龙江省马铃薯生产中化肥减量增效,在黑龙江省马铃薯主产区克山县和赵光农场进行马铃薯磷肥用量定位试验,设置养分专家系统推荐施肥处理(NE),在NE处理的基础上,不施磷肥处理(NE-P)、减少磷肥50%处理(NE-50%P)、减少磷肥25%处理(NE-25%P)、增加磷肥25%处理(NE+25%P)和增加磷肥50%处理(NE+50%P),研究不同施磷量处理对马铃薯产量、养分回收率以及经济效益的影响。两年试验结果表明:优化施肥处理的磷肥回收率和农学效率均高于其他的磷肥处理,不同施磷量处理的磷肥回收率为5.5%~7.8%,NE处理的磷肥回收率最高,为7.8%。磷肥农学效率为13.4~48.9 kg·kg<sup>-1</sup>,NE处理的磷肥农学效率较高,为33.9 kg·kg<sup>-1</sup>。本试验通过分析不同施磷量对产量和效益及磷回收率和农学效率的影响得出,在黑龙江省马铃薯主产区磷肥的适宜用量为87~92 kg·hm<sup>-2</sup>。

**关键词:**马铃薯;产量;肥料回收率;磷肥适宜用量

马铃薯是我国的第四大主粮作物<sup>[1-2]</sup>。马铃薯适应性极强,能够广泛种植,因而成为贫困地区促进粮食生产和脱贫致富的优势农作物<sup>[3]</sup>。黑龙江省是全国马铃薯五大主产省区之一,有着悠久的种植历史和生产传统,黑龙江省种植马铃薯具有得天独厚的自然优势,在中国马铃薯生产中占有重要的地位<sup>[4]</sup>，“克山土豆”全国闻名。2016年,黑龙江省马铃薯种植面积约20万hm<sup>2</sup>,马铃薯种植户约400万户,对黑龙江省粮食稳产和农民增收具有极其重要的作用<sup>[5-6]</sup>。黑龙江省绥化、齐齐哈尔(讷河、克山)是马铃薯主产地,主要品种是荷兰系列。

目前我国主要粮食作物的氮磷钾肥料利用率均呈逐渐下降趋势,产生这一现象的主要原因是肥料用量的增加。我国主要粮食作物氮肥利用率变幅为10.8%~40.5%,平均为27.5%;磷肥利用率变幅为7.3%~20.1%,平均为11.6%;钾肥利用率变幅为21.2%~35.9%,平均为31.3%<sup>[7-8]</sup>。如何进行精准施肥,优化作物养分管理措施,提高肥料利用率,是我国发展绿色生态农

业面临的严峻挑战之一<sup>[9-10]</sup>。优化施肥能够增加马铃薯的产量和效益,目前黑龙江省马铃薯生产中普遍存在氮磷钾肥用量和比例不合理的现象,从而造成化学肥料回收率低。因此,优化施肥对黑龙江省马铃薯高产高效生产尤为重要。

养分专家(Nutrient Expert, NE)推荐施肥是以4R原则为基础的优化施肥措施,4R是指应用合适的肥料品种、给予合适施用量、在合适的时间、施在合适的位置。磷肥的合理施用不仅要保障粮食产量,还要提高磷肥的利用效率。我国土壤普遍缺磷,缺磷土壤约占我国耕地面积的67%<sup>[11]</sup>。磷肥的施用是作物增产的重要保证,但施入土壤的磷肥不能完全被植株吸收,大部分磷肥被土壤固定而无效化<sup>[12]</sup>。施肥量、作物养分吸收以及施肥后的产量效应存在着密切关系<sup>[9]</sup>。适宜的磷肥管理是改善马铃薯淀粉理化性质和提高淀粉产量的重要措施<sup>[13]</sup>。优化处理NE的设定考虑了目标产量、土壤养分基础供应、上季作物残留养分,同时也考虑了磷素的平衡。当前,已在玉米、水稻等多个作物上开展了磷肥施用限量标准的相关研究。

为研究马铃薯种植施磷的限量标准及应用效果,在黑土区进行两年试验,主要进行了不同磷肥施用量对马铃薯产量、肥料回收率、农学效率以及经济效益等影响的研究,旨在为黑龙江省马铃薯产业化化肥减量增效提供科学施肥依据。

收稿日期:2021-10-24

基金项目:黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX20);国家重点研发计划项目“粮食作物养分推荐方法与限量标准”(2016YFD0200101)。

第一作者:刘双全(1973—),男,硕士,研究员,从事作物养分管理研究。E-mail:shuangquanliu@126.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2019—2020 年分别在黑龙江省马铃薯主产区克山县和赵光农场进行。供试土壤为黑土,两个试验点土壤的基本理化性状详见表 1。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验共设 6 个处理,3 次重

表 1 供试黑土基本理化性状

地点	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	pH	碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )
克山	35.7	5.94	176.7	42.1	238
赵光农场	60.6	5.91	212.7	36.5	144

表 2 不同施肥处理养分用量

处理	N/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / (kg·hm <sup>-2</sup> )	K <sub>2</sub> O/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	肥料成本/ (元·hm <sup>-2</sup> )
NE—P(CK)	150	0	150	1680
NE—50%P	150	50	150	2005
NE—25%P	150	75	150	2168
NE	150	100	150	2330
NE+25%P	150	125	150	2493
NE+50%P	150	150	150	2655

注:尿素含 N46%,2 400 元·t<sup>-1</sup>;重过磷酸钙含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%,3 000 元·t<sup>-1</sup>;氯化钾含 K<sub>2</sub>O 60%,3 600 元·t<sup>-1</sup>;马铃薯 1.5 元·kg<sup>-1</sup>。

氮肥用尿素(N 46%),磷肥用重过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%),钾肥用氯化钾(K<sub>2</sub>O 60%)。氮肥的一半与全部的磷、钾肥的一半在播种时作基肥施入,余下的一半氮肥和钾肥在马铃薯开花期追施。供试品种:2019 年克山试验点为延薯 4 号、赵光农场试验点为荷兰 15;2020 年均为延薯 4 号。试验采用垄作管理,垄距 90 cm,株距 25 cm。5 月上旬播种,9 月中旬收获。

1.2.2 测定项目及方法 在 9 月中旬收获时,每个小区取有代表性的两垄,分别称重统计产量。每个小区分别取 5 株马铃薯,处理烘干后测定秸秆和块茎干重,送试验室测定秸秆和块茎的全磷含量,采用钒钼黄比色法测定全磷含量。

磷肥回收率主要指施入土壤中的磷被当季作物吸收利用的比例,一般定义为施磷与不施磷马铃薯磷吸收量之差与施磷量的比值<sup>[14]</sup>。

磷农学效率是指施入单位磷的作物增产量,由施磷肥小区与不施磷肥小区的产量差与磷肥施入量的比值计算所得。

复,随机排列,小区面积 40 m<sup>2</sup>。6 个试验处理分别为 NE—P(在 NE 基础上不施磷肥)、NE—50%P(在 NE 基础上减施 50%磷肥)、NE—25%P(在 NE 基础上减施 25%磷肥)、NE(养分专家系统优化施肥量)、NE+25%P(在 NE 基础上增施 25%磷肥)、NE+50%P(在 NE 基础上增施 50%磷肥),具体施肥量详见表 2。

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2016 进行数据统计分析<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施磷处理对马铃薯产量和效益的影响

2.1.1 2019 年试验结果 由表 3 可以看出,与 NE—P 处理(对照)相比较,不同施磷量处理增产幅度为 8.0%~15.5%,随着施磷量的增加,马铃薯产量先增加后减少,施磷量与产量方程是  $Y = -0.381X^2 + 70.914X + 22\,445$ ,当施磷量为 93 kg·hm<sup>-2</sup>时,马铃薯最大产量为 25.75 t·hm<sup>-2</sup>。

表 3 2019 年不同施磷肥处理的产量和效益比较

处理	产量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	增产 率/%	效益/ (元·hm <sup>-2</sup> )	增效/ (元·hm <sup>-2</sup> )
NE—P(CK)	22.6	-	32220	-
NE—50%P	24.5	8.4	34745	2525
NE—25%P	25.8	14.2	36532	4312
NE	26.1	15.5	36820	4600
NE+25%P	25.3	11.9	35457	3237
NE+50%P	24.4	8.0	33945	1725

从不同施磷处理对马铃薯经济效益影响来看,与 NE—P 处理(对照)相比较,不同施磷量处理效益增加幅度为 2 525~4 600 元·hm<sup>-2</sup>,随着施磷量的增加,马铃薯效益先增加后减少,施磷量与效益方程是,  $Y = -0.571\,4X^2 + 99.865X + 31\,988$ ,当施磷量为 87 kg·hm<sup>-2</sup>时,马铃薯的最大效益为 36 351 元·hm<sup>-2</sup>。

2.1.2 2020 年试验结果 由表 4 可以看出,与 NE—P 处理(对照)相比较,不同施磷量处理增产幅度为 7.3%~14.6%,随着施磷量的增加,马铃薯产量先增加后减少,施磷量与产量方程是  $Y =$

$-0.295\ 2X^2 + 58.686X + 21\ 727$ , 当施磷量为  $99\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时, 马铃薯最大产量为  $24.64\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

表 4 2020 年不同施磷肥处理的产量和效益比较

处理	产量/ ( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	增产 率/%	效益/ ( $\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	增效/ ( $\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ )
NE—P(CK)	21.9	-	31170	-
NE—50%P	23.5	7.3	33245	2075
NE—25%P	24.3	11.0	34282	3112
NE	25.1	14.6	35320	4150
NE+25%P	24.7	12.8	34557	3387
NE+50%P	23.6	7.8	32745	1575

从不同施磷处理对马铃薯经济效益的影响来看, 与 NE—P 处理(对照)相比较, 不同施磷量处理效益增加幅度为  $1\ 575\sim4\ 150\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 随着施磷量的增加, 马铃薯效益先增加后减少, 施磷量与效益方程是  $Y = -0.442\ 8X^2 + 81.522X + 30\ 911$ , 当施磷量为  $92\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  时, 马铃薯的最大效益为  $34\ 663\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

综合施磷处理对马铃薯的产量和经济效益影响来看, 在黑龙江省马铃薯主产区的磷肥适宜用量为  $87\sim92\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2.2 不同施磷处理对马铃薯磷肥回收率和磷农学效率的影响

肥料回收率是评价施肥效果的重要指标。磷肥回收率是施磷小区与不施磷小区磷素吸收量之差除以投入磷肥量的百分数。由表 5 可以看出, 2019—2020 年克山和赵光农场试验中的不同施磷量处理的磷肥回收率为  $5.5\%\sim7.8\%$ , NE 处理的磷肥回收率最高, 为  $7.8\%$ 。由此可见, 优化处理的施肥量和养分投入比例增加了马铃薯对磷素养分的吸收, 从而提高了肥料的回收率。

表 5 不同施磷肥处理的回收率和农学效率比较

处理	磷回收率/%	磷农学效率/( $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
NE—P(CK)	-	-
NE—50%P	6.2	31.2
NE—25%P	5.5	13.4
NE	7.8	33.9
NE+25%P	7.1	32.3
NE+50%P	7.3	48.9

肥料的农学效率能够反映施肥的增产效果, 是施肥增产效应的重要指标。2019—2020 年克山和赵光农场试验中, 不同施磷量处理的磷肥农学效率为  $13.4\sim48.9\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , NE 处理的磷肥农学效率较高, 为  $33.9\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3 讨论

科学合理的养分管理技术是实现马铃薯高产和养分高效利用的关键。目前, 我国主要研究和应用的推荐施肥技术有测土配方和养分专家系统两大类, 其中养分专家系统推荐施肥在国内的研究和应用起步虽然相对较晚, 但近年来发展迅速并不断完善, 已在很多地区和作物上取得了很好的应用效果<sup>[6,9,14]</sup>, 马铃薯上的相关研究结果也显示出较好的适用性<sup>[11]</sup>。

总体而言, 马铃薯养分专家推荐的施肥方法在黑龙江省马铃薯主产区的适用性较好, 起到了增产增效的良好效果。

综合考虑两年两个典型试验区研究不同施磷肥处理对马铃薯产量、肥料回收率以及经济效益的影响, 在黑龙江省马铃薯主产区磷肥的适宜用量为  $87\sim92\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 既可实现养分供应与马铃薯养分需求的平衡, 保证马铃薯产量稳定, 又可实现马铃薯经济效益的最大化。

本研究中, 马铃薯养分专家系统通过采用 4R 养分管理措施优化了磷肥的用量, 从而有效提高了磷肥回收率, 也获得了马铃薯磷肥的最佳农学效率。

4 结论

马铃薯养分专家系统推荐的优化施肥配方能够增产增收, 两年试验的平均结果表明优化施肥处理的磷肥回收率和农学效率均高于其他磷肥处理, 这说明马铃薯养分专家系统能够在黑龙江省本地化, 对马铃薯肥料养分管理具有指导意义, 是测土施肥技术的新助力。

参考文献:

[1] 马丽亚, 刘浩莉. 黑龙江省马铃薯生产优势与差距探析[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2018, 30(3): 86-92.  
[2] 陈孝赏, 陈伟强, 张中熙, 等. 马铃薯新品种兴佳 2 号优化施肥研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(7): 176-178.  
[3] 王天, 张舒涵, 闫士朋, 等. 干旱胁迫和磷肥用量对马铃薯根系形态及生理特征的影响[J]. 干旱地区农业研究, 38(1): 117-124.

- [4] 孙磊,汝甲荣,李庆全,等. 黑龙江省及内蒙古自治区东部马铃薯化肥施用现状调查与分析[J]. 中国马铃薯, 2020, 34(2):94-102.
- [5] 王立谦,曾祥俊. 关于黑龙江省马铃薯产业增长潜力的研究[J]. 黑龙江科学, 2017, 21(8):152-155.
- [6] 梁俊梅,张君,安昊,等. 基于养分专家系统的马铃薯推荐施肥效应[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1):107-112.
- [7] 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):915-924.
- [8] 董文,范祺祺,胡新喜,等. 马铃薯养分需求及养分管理技术研究进展[J]. 中国蔬菜, 2017(8):21-25.
- [9] 徐新朋,张佳佳,丁文成,等. 基于产量反应的粮食作物养分专家系统微信版应用[J]. 中国农业信息, 2019, 31(6):74-84.
- [10] 李瑞,樊明寿,郑海春,等. 基于产量水平的内蒙古阴山地区马铃薯施肥评价[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6):181-188.
- [11] 韩琰祚,娄春荣,王秀娟,等. 不同磷肥利用方式对马铃薯产量及磷肥效率的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3):76-78.
- [12] 孔硕,樊明寿,秦永林,等. 磷素营养诊断技术的发展及其在马铃薯生产中的应用前景[J]. 中国马铃薯, 2019, 33(5):309-313.
- [13] 程瑶,孙磊,原琳,等. 磷肥用量对马铃薯淀粉理化性质及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(9):1603-1613.
- [14] 徐亚新,何萍,仇少君,等. 我国马铃薯产量和化肥利用率区域特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(1):22-35.
- [15] 徐珊珊,刘红霞,王世范,等. 吉林地区马铃薯施肥水平模型建立研究[J]. 农业工程技术, 2019, 39(17):17-18.

## Study on the Appropriate Amount of Phosphate Fertilizer on Potato in Heilongjiang Province

LIU Shuang-quan<sup>1</sup>, JI Jing-hong<sup>1</sup>, ZHENG Yu<sup>1</sup>, LIU Ying<sup>1</sup>, LIU Wei-ping<sup>2</sup>, LI Zhi-xin<sup>2</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>, ZHAO Xue<sup>2</sup>

(1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province/Heilongjiang Fertilizer Engineering Research Center, Harbin 150086, China; 2. Keshan Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161000, China)

**Abstract:** In order to study the appropriate amount of phosphate fertilizer for potatoes in Heilongjiang Province, experiments were carried out to determine the amount of phosphate fertilizer for potatoes in Keshan county and Zhaoguang farm, the main potato producing areas in Heilongjiang Province. The nutrient expert system was set up to recommend fertilization treatment (NE). On the basis of NE treatment, no phosphate fertilizer was applied (NE-P), 50% phosphate fertilizer was reduced (NE-50%P), 25% phosphate fertilizer was reduced (NE-25%P), 25% phosphate fertilizer was increased (NE+25%P), and 50% phosphate fertilizer was increased (NE+50%P), the aim was to study the effects of different phosphate treatments on potato yield, nutrient recovery and economic benefits. The results of two years' average showed that the phosphate recovery rate and agronomic efficiency of the optimized fertilizer treatment were higher than those of other phosphate treatments, the phosphate fertilizer recovery and agricultural efficiency of the optimized fertilization treatment were higher than those of other phosphate fertilizer treatments. The phosphate fertilizer recovery of different phosphate application rates ranged from 5.5% to 7.8%, and the phosphate fertilizer recovery of NE treatment was the highest, which was 7.8%. The agricultural efficiency of phosphate fertilizer was 13.4-48.9 kg·kg<sup>-1</sup>, and that agricultural efficiency of NE treatment was higher, which was 33.9 kg·kg<sup>-1</sup>. According to the preliminary results of this study, the appropriate phosphate fertilizer amount in the potato production areas of Heilongjiang Province is 87-92 kg·ha<sup>-1</sup>, based on the effects of different phosphate application rates on yield and efficiency, phosphate recovery rate and agronomic efficiency.

**Keywords:** potato; yield; fertilizer recovery rate; suitable amount of phosphate fertilizer