



刘双全,姬景红,刘颖,等.养分专家系统推荐施肥对黑龙江省马铃薯产量及肥料回收率的影响[J].黑龙江农业科学,2020(7):55-59.

# 养分专家系统推荐施肥对黑龙江省马铃薯产量及肥料回收率的影响

刘双全<sup>1</sup>,姬景红<sup>1</sup>,刘颖<sup>1</sup>,张明怡<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 161005)

**摘要:**为研究马铃薯养分专家系统在黑龙江省马铃薯生产中的应用效果,分别在黑龙江省马铃薯主产区克山县和赵光农场进行马铃薯养分专家系统推荐施肥的验证试验。设置养分专家系统推荐施肥处理(NE),在NE处理基础上设置不施氮肥处理(NE-N)、不施磷肥处理(NE-P)及不施钾肥处理(NE-K),同时设置农户习惯施肥处理(FP)和测土配方施肥处理(ST),研究马铃薯养分专家系统推荐施肥对马铃薯产量、养分回收率以及经济效益的影响。结果表明:与NE处理相比较,FP处理两年平均减产13.2%,ST处理减产9.7%;NE处理较FP处理的氮、磷和钾肥回收率分别提高1.6、8.6和8.1百分点;NE处理较ST处理的氮、磷肥回收率分别提高3.8和7.3百分点。通过优化推荐施肥量和施肥方法,养分专家推荐施肥提高了肥料回收率,同时增加了黑龙江省马铃薯主产区的马铃薯产量。

**关键词:**养分专家系统;推荐施肥;马铃薯;产量;肥料回收率

马铃薯是我国的第四大主粮作物。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,“克山土豆”全国闻名<sup>[1]</sup>。2016年黑龙江省马铃薯的种植面积约20万hm<sup>2</sup>,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>[2]</sup>。黑龙江省绥化市和齐齐哈尔市(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下降趋势,产生这一现象的主要原因是肥料用量的不合理。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>[3]</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>[4]</sup>。优化施肥方式能够增加马铃薯的产量和效益,提高肥料利用率,解决目前黑龙江省马铃薯生产中普遍存在的氮磷钾

肥应用不合理的问题。因此,优化施肥对黑龙江省马铃薯高产高效生产显得尤为重要。

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、在合适的时间及施在合适的位置。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>[5]</sup>,因此如何平衡其关系成为了优化施肥的重点。合理施肥不仅要保障粮食产量,还要提高养分利用效率。养分专家推荐施肥系统综合考虑了目标产量、土壤养分基础供应及上季作物残留养分,同时考虑了大量和中微量元素的全面平衡,并应用计算机技术将复杂且不易操作的养分管理原则简单化、智能化,研制了可被农技推广人员操作的养分专家推荐施肥系统。当前,养分专家系统已在玉米<sup>[6]</sup>、水稻<sup>[7]</sup>、小麦<sup>[8]</sup>、马铃薯<sup>[9]</sup>等多个作物上开展推荐施肥等相关研究。但该系统在黑龙江省马铃薯主产区的应用效果还未见报导,因此本研究在黑龙江省黑土区进行了两年试验,分析了养分专家优化管理施肥对马铃薯产量、肥料回收率、农学效率以及经济效益等指标的影响,旨在将马铃薯养分专家推荐施肥系统本地化,为促进黑龙江省农业生产可持续稳定发展提供科学依据。

收稿日期:2020-05-12

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0200101);黑龙江省自然科学基金(D201705)。

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 2017-2018 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化学性状见表 1。

表 1 试验点土壤基本化学性状

Table 1 Basic chemical characters of soil in test site

试验点 Test site	有机质 Organic matter/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH	碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available phosphorus/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available potassium/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
克山 Keshan	35.7	5.94	176.7	42.1	238
赵光农场 Zhaoguang Farm	60.6	5.91	212.7	36.5	144

1.3 方法

1.3.1 试验设计 本研究共设 6 个处理,3 次重复,随机排列,小区面积 40 m<sup>2</sup>。6 个试验处理分别为 ST(测土配方施肥:根据播前土壤测试给出推荐施肥量)、FP(农户习惯施肥)、NE(养分专家系统推荐施肥量)、NE-N(在 NE 基础上不施氮肥)、NE-P(在 NE 基础上不施磷肥)和 NE-K(在 NE 基础上不施钾肥),具体施肥量见表 2。

表 2 不同施肥处理养分用量

Table 2 Nutrient dosage of the different fertilizer treatments (kg·hm<sup>-2</sup>)

处理 Treatments	2017			2018		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
ST	150	75	150	150	75	180
FP	120	60	150	126	97	226
NE	160	103	194	160	102	192
NE-N	0	103	194	0	102	192
NE-P	160	0	194	160	0	192
NE-K	160	103	0	160	102	0

氮肥总量的 50%与全部的磷、钾肥在播种时作基肥施入,余下的 50%氮肥在马铃薯开花期进行追施。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。

1.3.2 测定项目及方法 收获时,每个小区取有代表性的两垄,分别收获并统计小区产量。每个小区分别取 5 株马铃薯,每处理 3 次重复,处理烘干后测定秸秆和块茎干重,送化验室测定秸秆和块茎的氮磷钾含量。采用凯氏定氮法测定全氮含

1.2 材料

2017 年克山试验点马铃薯品种为延薯 4 号,赵光农场试验点为荷兰 15,2018 年均均为延薯 4 号。供试肥料为黑龙江省倍丰集团氮磷钾肥,其中氮肥用尿素(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%)。

量,采用钒钼黄比色法测定全磷含量,采用火焰光度计法测定全钾含量<sup>[10]</sup>。

肥料养分回收率主要指施入土壤中的肥料养分被当季作物吸收利用的比例,一般定义为施用某种养分与不施用该养分作物养分吸收量之差与养分施用量的比值<sup>[5]</sup>。

养分农学效率是指施入单位养分的作物增产量,由施入某种养分小区与不施入该养分小区的产量差与养分施入量的比值计算所得。

1.3.3 数据分析 试验所得数据用 Excel 2013 和 SPSS 13.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对马铃薯产量和效益的影响

由表 3 可以看出,与 NE 处理相比较,FP 处理和 ST 处理均减产,且 FP 处理减产显著,两年平均减产 13.2%,ST 处理减产 9.7%,减产未达显著水平。说明 NE 处理优于农民习惯施肥处理和测土配方施肥处理。不施氮肥减产 29.0%,不施磷肥减产 6.5%,不施钾肥减产 18.1%,说明大量元素养分中氮是影响马铃薯产量的第一限制因子,其次是钾和磷。

从不同施肥处理对马铃薯经济效益影响来看,NE 处理的效益最高,显著高于 FP 处理和 ST 处理。与 NE 处理相比较,不施氮肥、钾肥和磷肥分别减少效益 12 752,7 317 和 2 364 元·hm<sup>2</sup>,不施氮肥对马铃薯效益影响最大,其次是钾肥,然后是磷肥。NE 处理较 FP 处理增收 5 878 元·hm<sup>2</sup>,NE 处理较 ST 处理增收 4 080 元·hm<sup>2</sup>。可以看

出,NE 处理较农户习惯施肥处理和测土配方处 理有较好的增收效果。

表 3 不同施肥处理产量效益

Table 3 Yield and benefit of the different fertilizer treatments

处理 Treatments	产量 Yield/ (t·hm <sup>-2</sup> )	减产率 The reduction rates/%	效益 Benefit/ (yuan·hm <sup>-2</sup> )	减效 Benefit reduction/ (yuan·hm <sup>-2</sup> )	肥料成本 Fertilizer cost/ (yuan·hm <sup>-2</sup> )
ST	28.0 ab	9.7 cd	39794 b	4080 cd	2258
FP	26.9 bc	13.2 c	37996 bc	5878 c	2278
NE	31.0 a	-	43874 a	-	2656
NE-N	22.0 d	29.0 a	31122 d	12752 a	1824
NE-P	29.0 ab	6.5 d	41510 ab	2364 d	1990
NE-K	25.4 c	18.1 b	36557 c	7317 b	1498

注:N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和 K<sub>2</sub>O 价格分别是 5.2、6.5 和 6.0 元·kg<sup>-1</sup>,马铃薯价格 1.5 元·kg<sup>-1</sup>;不同小写字母代表 P<0.05,下同。

Note:The price of N,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O is 5.2,6.5 and 6.0 yuan·kg<sup>-1</sup> respectively,and the price of potato is 1.5 yuan·kg<sup>-1</sup>. Different lowercase indicate P<0.05,the same below.

2.2 不同施肥处理对马铃薯肥料回收率和农学效率的影响

肥料回收率是评价施肥是否有效果的重要指标。由表 4 可以看出,氮肥回收率 NE 处理显著高于 ST,与 FP 差异不显著,磷肥回收率 NE 处理显著高于 ST 和 FP,钾肥回收率 NE 处理显著高于 FP,与 ST 差异不显著。2017-2018 年克山和赵光农场试验中的 NE 处理较 FP 处理的氮和磷和钾肥回收率分别高 1.6、8.6 和 8.1 百分点;NE 处理较 ST 处理的氮肥和磷肥回收率分别高 3.8 和 7.3 百分点。由于 NE 处理的氮磷肥回收率均高于 FP 处理和 ST 处理。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氮、磷、钾养分的吸收,从而提高了肥料的回收率。

表 4 不同施肥处理肥料回收率比较

Table 4 Fertilizer recovery rate of different treatments

处理 Treatments	氮回收率 Nitrogen Recovery rate/%	磷回收率 Phosphorus recovery rate/%	钾回收率 Potassium recovery rate/%
ST	42.5 b	9.9 b	41.7 a
FP	44.7 ab	8.6 b	28.9 b
NE	46.3 a	17.2 a	37.0 a

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。2017-2018 年克山和赵光农场试验中的 ST、FP 和 NE 处理的氮农学效率平均分别是 40.0、39.8 和 56.6 kg·kg<sup>-1</sup>,NE 氮肥农学效率较 ST 和 FP 分别提高 16.6 和 16.8 kg·kg<sup>-1</sup>,差异达显著水平;钾农学效率平均分别是 15.8、8.0 和 29.0 kg·kg<sup>-1</sup>,NE 钾肥农学效率较 ST 和 FP 分别提高 13.2 和 21.0 kg·kg<sup>-1</sup>,各处理之间差异显著;而 ST 和 FP 处理施磷量在 75 和 60 kg·hm<sup>-2</sup> 时,与不施磷肥处理相比,马铃薯产量并未表现出增产效果(表 3),当施磷量达到 103 kg·hm<sup>-2</sup> (NE) 时马铃薯表现出增产效果,因此 ST 和 FP 处理没有表现出磷肥农学效率,NE 处理磷肥农学效率为 19.5 kg·kg<sup>-1</sup>。

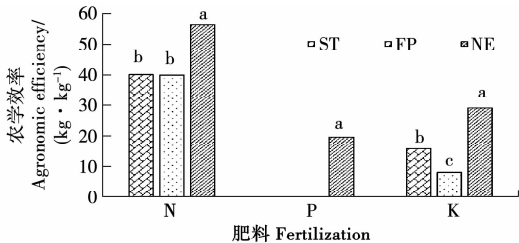


图 1 不同施肥处理氮磷钾肥农学效率

Fig. 1 Agronomic efficiency of N,P and K fertilizers under different fertilization treatments

3 结论与讨论

肥料养分回收率主要指施入土壤中的肥料养分被当季作物吸收利用的比例,一般定义为施用

某种养分与不施用该养分作物养分吸收量之差与养分施用量的比值。一般施肥量越大,肥料利用率越低,许多研究表明,随着氮肥用量的增加氮肥利用率降低<sup>[11-13]</sup>,本研究结果表明,氮肥回收率 NE 处理显著高于 ST,但与 FP 差异不显著,这主要是由于不同处理氮肥用量不同造成的,该试验区农户习惯施肥 FP 处理氮肥用量为 120 kg·hm<sup>-2</sup>,而 NE 系统推荐施肥则施氮肥 160 kg·hm<sup>-2</sup>。

磷肥能促进马铃薯根的生长及单株结薯数,但过量的磷肥投入会导致马铃薯单株结薯数过多,商品薯率下降,进而影响产量和经济效益<sup>[14-15]</sup>。本研究结果表明,在 NE 推荐施肥的基础上不施磷肥仅减产 6.5%,而 FP 和 ST 处理虽然氮磷钾肥均有施入,但其马铃薯产量与不施磷肥处理(NE-P)产量差异不显著,甚至还略有降低,一方面说明马铃薯对磷肥的反应要低于是氮和钾,另一方面也说明该试验地块磷含量较高,施磷肥效果不明显,但本试验仅是两年试验结果,若多年连续不施磷肥是否会对马铃薯产量造成影响还有待于进一步的研究。

本研究中,两年试验的平均结果表明氮、磷、钾肥回收率均高于农户习惯施肥和测土配方施肥,该研究结果与梁俊梅等<sup>[9]</sup>采用养分专家系统推荐施肥在内蒙古马铃薯上的试验结果一致。马铃薯养分专家系统通过采用 4R 养分管理措施优化了氮、磷、钾肥料的用量,同时优化氮肥追施比例和追施时间,从而有效提高了肥料回收率,最终提高了马铃薯产量增加了经济效益。这也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] 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):152-15156.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 徐新朋,魏丹,李玉影,等.基于产量反应和农学效率的推荐施肥方法在东北春玉米上应用的可行性研究[J].植物营养与肥料学报,2016,22(6):1458-1467.
- [7] 柳开楼,李大明,余喜初,等.基于养分专家系统评估双季稻区的氮肥减施潜力[J].中国稻米,2019,25(3):44-48.
- [8] 贾良良,杨军芳,孙彦铭,等.小麦养分专家系统推荐施肥对河北省冬小麦产量、养分效率和环境效应的影响[J].中国土壤与肥料,2017(5):51-55.
- [9] 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.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2007.
- [11] 李佩华.氮肥与烯效唑互作对马铃薯干物质积累、分配及产量的影响[J].西南农业学报,2016,29(11):2620-2625.
- [12] 吴晓红,曾路生,李俊良,等.膜下滴灌不同施肥处理对马铃薯产量和品质及肥料利用率的影响[J].华北农学报,2016,31(5):193-198.
- [13] 张悦,岳善超,李婷,等.栽培模式、施氮量对旱作春玉米农田矿质氮和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(1):99-107.
- [14] 于小彬,蒙美莲,刘素军,等.施肥对马铃薯农田土壤水分时空变化及产量的影响[J].作物杂志,2016(3):151-157.
- [15] 陈华,刘孟君,刘如霞.不同施肥水平对菜用马铃薯农艺性状及营养品质的影响[J].西北农业学报,2016,25(2):220-226.

# Effects of Recommended Fertilization by Nutrient Expert System on Potato Yield and Fertilizer Recovery Rate in Heilongjiang Province

LIU Shuang-quan<sup>1</sup>, JI Jing-hong<sup>1</sup>, LIU Ying<sup>1</sup>, ZHANG Ming-yi<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 Engineer-

ing Research Center, Harbin 150086, China; 2. Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161005, China)

**Abstract:** In order to study the application effect of potato nutrient expert system in recommended fertilization of potato in Heilongjiang Province, a fertilization verification experiment recommended by this system was carried out in Keshan County and Zhaoguang Farm, the two main potato producing areas in Heilongjiang Province. Set up recommend fertilization treatment by nutrient expert system (NE), on the basis of NE treatment, no nitrogen fertilizer treatment (NE-N), no phosphate fertilizer treatment (NE-P), and no potassium fertilizer treatment (NE-K). At the same time, the farmer's customary fertilization (FP) and soil testing fertilization (ST) were set up. The potato nutrient expert system were used to study the effect of fertilization on potato yield and nutrient recovery rate. The result showed that the yield of FP treatment by two years reduced by 13.2% compared with NE treatment, the yield of ST treatment reduced by 9.7% compared with NE treatment. Meanwhile, the fertilizer recovery rate of potato under NE treatment, nitrogen recovery rate increased by 1.6 percentage points, phosphate increased by 8.6 percentage points, potassium increased by 8.1 percentage points, compared with FP treatment, nitrogen recovery rate increased by 3.8 percentage points, phosphate increased by 7.3 percentage points, compared with ST treatment. In this study, it was preliminarily believed that nutrient experts' recommendation of fertilization in main potato producing areas of Heilongjiang Province could improve potato yield and fertilizer recovery rate by optimizing the recommended fertilizer application amount and fertilization method.

**Keywords:** nutrient expert; recommended fertilization; potato; yield; fertilizer recovery rate

(上接第 54 页)

# Effects of Nitrogen in Organic Manure Replacing Chemical Nitrogenous Fertilizer on Yield and Nitrogen Use Efficiency in Rice

YANG Zhong-liang<sup>1</sup>, LIU Hai-ying<sup>1</sup>, DONG Wen-jun<sup>2</sup>, JIANG Hao<sup>3</sup>, WU Hong-tao<sup>1</sup>, YU Yan-min<sup>1</sup>, ZHANG Shu-li<sup>1</sup>, XU Zhen-hua<sup>1</sup>

(1. Institute of Biotechnology, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150028, China; 2. Institute of Crop Cultivation and Farming, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150028, China; 3. Heilongjiang Beidahuang Agriculture Limited Company, Jiamusi 156300, China)

**Abstract:** In order to the suitable of replacing partial chemical fertilizer with organic fertilizer, field experiments were conducted to investigate the effects of different organic fertilizers on rice yield and nitrogen use efficiency. Five treatments were set up of 30% (M30), 50% (M50), 100% (M100), ratio of organic fertilizer replacing chemical fertilizer, with control application of chemical fertilizer (M0) and no application of N fertilizer (CK). The results showed that with the increase of proportion of organic fertilizer, the nitrogen content decreased continuously during the growth stage of rice. The nitrogen content of plant M0 and M30 was not significant. Spikes number, grains perpanicle and yield of different ratio organic fertilizer replacing chemical fertilizer significantly decreased with the increase of proportion of organic fertilizer, but the grains weight and seed-settling rate were significant increased. Compared with M0 and M30, replacing 30% organic fertilizer replacing chemical fertilizer increased rice yield by 7.87%. Straw nitrogen uptakes, grain nitrogen uptakes, total nitrogen uptakes, NUE and agronomic efficiency of different ratio organic fertilizer replacing chemical fertilizer significantly decreased with the increase of proportion of organic fertilizer, Compared to M0, NUE and agronomic efficiency of M30 treatment significantly increased by 2.26% and 34.85%. Therefore, 30% organic fertilizer replacing chemical fertilizer improve rice yield, nitrogen content of plant and nitrogen use efficiency, and 30% is the appropriate ratio.

**Keywords:** organic fertilizer replacing chemical fertilizer with equal nitrogenous; rice ; yield; nitrogen use efficiency