

不同减肥技术对马铃薯养分高效利用的影响

梁玲玲^{1,2}, 周霞³, 李志强³, 张海清^{1,2}, 聂碧华¹, 宋波涛¹, 赵竹青^{1,2}, 刘新伟^{1,2*}

(1. 农业农村部马铃薯生物学与生物技术重点实验室, 湖北 武汉 430070; 2. 华中农业大学微量元素研究中心, 湖北 武汉 430070; 3. 曾都区耕地质量与肥料管理站, 湖北 随州 441300)

摘要: 马铃薯是一种对肥料较敏感的高产作物, 合理施肥能够增加马铃薯产量, 提高品质, 降低成本。然而, 目前马铃薯种植中普遍存在施肥量较高的问题。通过马铃薯减肥增效田间试验, 研究了不同减肥技术对马铃薯产量、养分分配及肥料利用率的影响。结果表明, 相比习惯施肥, 推荐施肥(专用肥)处理N、P、K养分总量减少20%, 马铃薯产量提高6 075 kg/hm², 增产率为13.8%; 推荐施肥(专用肥)处理肥料利用率均高于习惯施肥, N、P、K肥料利用率分别为39.28%、22.60%、53.85%, 相比习惯施肥N、P肥料利用率分别增加13.93和13.43个百分点, K肥利用率差异不显著。相比推荐施肥(专用肥), 在专用肥减量的同时配施几种新型肥料(中微量元素肥、腐植酸水溶肥、生物有机肥)均能达到减肥稳产的效果, 且专用肥减施30%的同时配施生物有机肥的马铃薯产量最高, 与推荐施肥(专用肥)相比增产1 913 kg/hm², 增产率为3.8%, 氮肥利用率提高4.83个百分点, 磷肥利用率提高7.70个百分点, 钾肥利用率提高14.17个百分点。综上所述, 相比习惯施肥, 推荐施肥(专用肥)的施用能够有效提高马铃薯产量, 增加养分积累量, 提高肥料利用率; 专用肥配施其他新型肥料可在减肥的基础上进一步增加马铃薯产量, 提高肥料利用率, 其中配施生物有机肥效果最优。

关键词: 马铃薯; 产量; 养分积累; 肥料利用率

Effects of Different Fertilizer Reduction Techniques on Efficient Nutrient Absorption of Potato

LIANG Lingling^{1,2}, ZHOU Xia³, LI Zhiqiang³, ZHANG Haiqing^{1,2}, NIE Bihua¹, SONG Botao¹, ZHAO Zhuqing^{1,2}, LIU Xinwei^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Potato Biology and Biotechnology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan, Hubei 430070, China;
2. Microelement Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China;
3. Farmland Quality and Fertilizer Management Station of Zengdu District, Suizhou, Hubei 441300, China)

Abstract: Potato is a high-yielding crop that is sensitive to fertilizers. The rational fertilization can increase potato yield, improve quality and reduce the cost. However, at present, the problem of over-fertilization is widespread in potato planting. In this research, field experiments were conducted to investigate the effects of different fertilizer reduction techniques on potato yield, nutrient accumulation and distribution, and utilization rate of fertilizer. Compared with conventional fertilization, the total amount of N, P and K nutrients of special fertilizer treatment was decreased by 20%, but potato yield was increased by 6 075 kg/ha, with an increase rate of 13.8%. Fertilizer utilization efficiency of special fertilizer treatment was higher than that of conventional fertilization. The utilization efficiency of N, P and K fertilizers

收稿日期: 2019-03-24

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200801); 中央高校基本科研业务费专项资金(2662018PY002)。

作者简介: 梁玲玲(1995-), 女, 硕士研究生, 从事马铃薯施肥技术研究。

*通信作者(Corresponding author): 刘新伟, 讲师, 主要从事马铃薯施肥与贮藏品质方面研究, E-mail: lxw2016@mail.hzau.edu.cn。

were 39.28%, 22.60% and 53.85%, respectively, of which N and P were 13.93 and 13.43 percentage points higher than that of conventional fertilization, but K fertilizer utilization difference was not significant. Compared with the special fertilizer treatment, several new fertilizers (medium and trace element fertilizer, water-soluble humic acid fertilizer, and bio-organic fertilizer) reduced fertilizer consumption and stabilize the yield while reducing the amount of special fertilizer. The highest yield of potato was obtained when special fertilizer was reduced by 30% and bio-organic fertilizer was applied at the same time. Compared with the application of special fertilizer, the yield was increased by 1 913 kg/ha, with an increase rate of 3.8%, and the N, P and K fertilizer utilization rates was increased by 4.83, 7.70 and 14.17 percentage points, respectively. In conclusion, compared with conventional fertilization, the application of special fertilizer could effectively improve potato yield, increase nutrient accumulation, and improve fertilizer utilization rate. Special fertilizer combined with other new fertilizers could further increase potato yield and fertilizer utilization rate on the basis of reducing fertilizer, and among them, the effect of bio-organic fertilizer is the best.

Key Words: potato; yield; nutrient accumulation; fertilizer utilization rate

马铃薯是世界第四大粮食作物, 仅次于水稻、小麦、玉米^[1]。随着 2015 年马铃薯主粮化战略的提出, 作为粮菜兼用和工业原料作物, 马铃薯在保障粮食供给和经济发展中发挥着越来越重要的作用^[2]。中国是全球马铃薯生产第一大国, 种植面积和总产量居世界首位, 但单产水平远低于发达国家^[3,4]。中国马铃薯栽培遍及全国, 主产区在西北、西南和东北^[5]。马铃薯是湖北省重要的粮食作物, 在开发利用冬闲田、调整粮食种植结构、增加粮食产量和提高农民收入中发挥巨大作用^[6]。同时, 也是一种对肥料较敏感的高产作物, 合理的肥料配比对提高产量具有重要作用^[7,8]。有研究表明, 青海省每生产 1 000 kg 块茎需要吸收 N、P₂O₅、K₂O 养分分别为 2.97, 1.15 和 3.73 kg, 三者比例为 1 : 0.39 : 1.26^[9]; 甘肃省马铃薯最佳施肥方案为 N 150 kg/hm²、P₂O₅ 75 kg/hm² 和 K₂O 120 kg/hm²^[10]; 沈阳地区氮、磷、钾肥用量分别为 N 150 kg/hm²、P₂O₅ 75 kg/hm² 和 K₂O 180 kg/hm² 时马铃薯产量最高^[11]; 湖北襄阳氮、磷、钾肥施用量分别在 180, 90 和 210 kg/hm² 时马铃薯产量达到最高^[12]。由此可知, 不同地区马铃薯的需肥量及适宜的养分配比不同。因此, 在湖北省不同地区通过大量的肥效梯度试验, 用一元二次方程拟合曲线最终确定了适宜的肥料配比, 但其实际应用效果有待进一步验证。

新型肥料是指采用新的技术或者新的工艺而制备的新功能、新效果的肥料。在施用化学肥料的同时, 配施新型肥料能够提高作物产量, 提高肥料利

用率。腐植酸类水溶肥作物吸收快, 可满足高产作物快速生长期的营养需求, 不仅能促进作物根系的生长, 还能与氮结合, 提高肥料利用率和产量^[13,14]。研究表明在常规施肥的基础上, 增施腐植酸水溶肥料可以在一定程度上增加马铃薯株高和茎粗, 增加各部位氮磷钾含量, 提高马铃薯商品率和产量^[15,16]。中微量元素也是作物生长所必需的营养元素, 虽然需求量少, 但中微量元素的施用不仅会影响产量和品质, 提高植物抗性和酶活性, 还会对养分吸收产生一定的影响^[17]。相关研究表明, 在马铃薯生育过程中适量施入 Ca、Mg、S、Fe、Zn、Mn、B、Mo 等中微量元素, 对提高其产量和品质具有十分重要的意义^[18-22]。有机肥料和无机肥料配合施用是中国现代化农业生产中提倡的重要的科学施肥技术。一方面, 有机肥合理配施化肥, 结合了有机肥的肥效持久性和化学肥料的速效性, 可以使养分较为快速地结合, 并且持续稳定地为作物生长发育提供养分, 以满足作物需求; 另一方面, 有机肥不仅可以减少氮素损失和磷素固定, 而且为土壤中的微生物提供充足的碳、氮养分, 因而使土壤的供肥能力有所提升^[23,24]。有机肥还增加了作物根系生物量和根系的分泌物等, 改善土壤微生物活性和群落结构^[25], 提高土壤肥力, 提高作物产量。多种新型肥料分别在马铃薯上的应用效果均有所研究, 但是缺少专用肥及其与各种新型肥料配施进行对比的研究结果。

因此, 本试验研究专用肥对马铃薯产量、养分累积分配及肥料利用率的影响, 研究在专用肥减量

的基础上配施几种新型肥料的应用效果,旨在明确本地区化学肥料的适宜减施量,以及配施新型肥料的施用效果,提高肥料利用率,提高马铃薯产量和品质,为马铃薯减肥增效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2018年在湖北省随州市万店镇先觉庙村(N 31°48'37.8"; E 113°30'49.3"; 海拔 88 m)进行。供试土壤:黄潮土, pH 7.11, 有机质 11.59 g/kg, 碱解氮 34.30 mg/kg, 速效磷 21.79 mg/kg, 速效钾 80.95 mg/kg。

1.2 供试材料

供试马铃薯品种为‘华薯1号’。供试肥料:51%复合肥(N:P₂O₅:K₂O = 17:17:17)、40%块茎专用肥(N:P₂O₅:K₂O = 14:8:18)、腐植酸水溶肥(腐植酸 ≥

30 g/L, N + K₂O ≥ 200 g/L, 武汉皓达农业科技有限公司提供)、中微量元素肥(主要成分为 Ca 0.5%、Mg 8%、B 3%、Zn 2%, 武汉飞喜乐农业科技有限公司提供)、生物有机肥(有机质 ≥ 45%, 总养分 ≥ 6%, 宜昌市汇丰生物科技有限公司提供)。

1.3 试验设计

试验共设7个处理。T1:不施肥(CK); T2:习惯施肥, 51%复合肥 1 500 kg/hm²; T3:推荐施肥, 40%专用肥 1 500 kg/hm²; T4:专用肥减施 15%, 40%专用肥 1 275 kg/hm² + 0.4%腐植酸水溶肥(5 400 mL/hm², 拌肥); T5:专用肥减施 15%, 40%专用肥 1 275 kg/hm² + 0.4%腐植酸水溶肥(5 400 mL/hm², 喷施); T6:专用肥减施 15%, 40%专用肥 1 275 kg/hm² + 中微量元素肥(150 kg/hm²); T7:专用肥减施 30%, 40%专用肥 1 050 kg/hm² + 生物有机肥(2 250 kg/hm²)。各处理具体施肥量如表 1 所

表 1 不同处理具体施肥量

Table 1 Fertilization rates of different treatments

肥料 Fertilizer	51%复合肥 (kg/hm ²) 51% Compound fertilizer (kg/ha)	40%专用肥 (kg/hm ²) 40% Special fertilizer (kg/ha)	腐植酸水溶肥 (mL/hm ²) Water – soluble humic acid fertilizer (mL/ha)	中微量元素肥 (kg/hm ²) Medium and trace element fertilizer (kg/ha)	生物有机肥 (kg/hm ²) Bio – organic fertilizer (kg/ha)
T1–不施肥 No fertilization	–	–	–	–	–
T2–习惯施肥 Conventional fertilization	1 500	–	–	–	–
T3–推荐施肥 Recommended fertilization	–	1 500	–	–	–
T4–减施 15% + 腐植酸水溶肥 (拌肥) 15% Reduced special fertilizer + water – soluble humic acid fertilizer (dressing fertilizer)	–	1 275	5 400	–	–
T5–减施 15% + 腐植酸水溶肥 (喷施) 15% Reduced special fertilizer + water – soluble humic acid fertilizer (spray)	–	1 275	5 400	–	–
T6–减施 15% + 中微量元素肥 15% Reduced special fertilizer + medium and trace element fertilizer	–	1 275	–	150	–
T7–减施 30% + 生物有机肥 30% Reduced special fertilizer + bio – organic fertilizer	–	1 050	–	–	2 250

示。试验采取完全随机区组设计, 3次重复, 共21个小区。小区面积20 m², 种植密度67 500穴/hm², 覆膜起垄种植。所有肥料作为基肥于播种前一次性施入, T5腐植酸水溶肥除外, 于块茎形成初期喷施。所有田间种植管理、灌溉及病虫害防治均按照当地习惯统一管理。2018年1月22日种植, 5月24日收获。

1.4 测定指标

收获时测定各小区马铃薯块茎产量, 调查大、中、小薯(<50 g为小薯, 50~100 g为中薯, >100 g为大薯)率、单株块茎重及最大块茎重。于5月24日收获时各小区随机取3株植株样(植株开始衰老, 未全部死亡), 用蒸馏水冲洗干净, 分为根、茎、叶3部分, 然后在105℃下杀青30 min, 65℃烘干至恒重, 测各部位干物质重。各小区随机取大、中、小薯若干, 洗净擦干后称鲜重, 烘干后测定干重, 计算其干物质率^[26]。

根、茎、叶、块茎的烘干样品用H₂SO₄-H₂O₂消煮, 全自动定氮仪测定全氮含量, 钼锑抗比色法测定全磷含量, 火焰光度计法测定全钾含量^[27]。

1.5 计算公式

养分累积量 = $\sum$ 各部位干物质重 $\times$ 各部位养分含量

肥料利用率(%) = $(\text{施肥区养分吸收量} - \text{不施肥区养分吸收量}) / (\text{肥料施用量} \times \text{肥料中养分含量}) \times 100$

1.6 数据处理

利用Excel 2010和SPSS 20.0对数据进行统计分

析($P < 0.05$)。

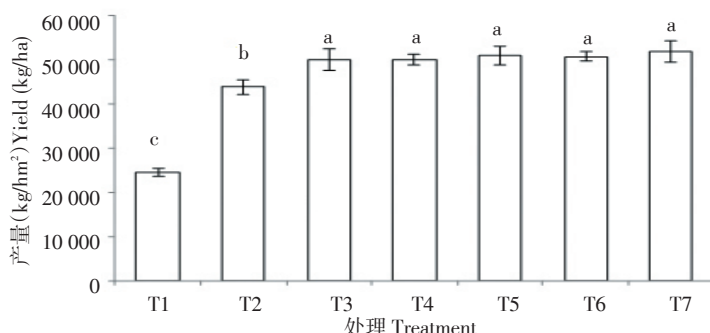
2 结果与分析

2.1 不同减肥技术对马铃薯产量的影响

与T1不施肥相比, 施肥显著提高了马铃薯块茎产量。与T2习惯施肥相比, T3~T7处理均不同程度的提高块茎产量, 其中, T3推荐施肥相比T2习惯施肥增产6 075 kg/hm², 增产率为13.8%, 说明合理的氮磷钾配比对提高马铃薯产量具有重要作用。T4~T7专用肥减施的同时配施新型肥料与T3推荐施肥(单施专用肥)相比达到减肥稳产的效果, T7专用肥减施30%的基础上配施生物有机肥的马铃薯产量最高, 与T3相比增产1 913 kg/hm², 增产率为3.8% (图1)。由此可知, 在化学肥料减量施用的情况下, 生物有机肥的配施能够显著提高产量。

2.2 不同减肥技术对马铃薯产量构成的影响

与T1不施肥相比, 施肥提高了马铃薯大中薯率, 增长率为2.8%~6.3%。与T2习惯施肥相比, T3~T7减肥处理大中薯率无显著差异, 但中薯率均高于T2, T3推荐施肥的单株块茎重显著高于T2习惯施肥。与T3相比, T4~T7在专用肥减施的条件下配施新型肥料的马铃薯大中薯率、单株块茎重无显著差异, 配施生物有机肥的单株块茎重最大。不同的施肥处理对最大块茎重也有一定的影响, 与T1不施肥相比, 施肥可提高马铃薯最大块茎重, T3和T7处理的最大块茎重高于T2习惯施肥(表2)。



不同小写字母表示处理间差异达0.05水平显著, 采用Duncan's新复极差法。误差线代表标准差。

Different small letters indicate significant difference between treatments at 0.05 level using Duncan's multiple range test. Error bars represent standard deviation.

图1 不同减肥技术对马铃薯产量的影响

Figure 1 Effects of different fertilizer reduction techniques on potato yields

2.3 不同减肥技术对马铃薯氮、磷、钾累积量的影响

2.3.1 不同减肥技术对马铃薯氮累积量的影响

与T1相比,施肥提高了马铃薯各部位的氮累积量。相比T2习惯施肥,T3的总累积量提高了15.3%,块茎累积量提高了22.9%,分配比例增加4.2%,说明专用肥的施用不仅能促进植株对氮的吸收,也可提高氮素在块茎中的积累量和分配比例。T4~T7在专用肥减量配施新型肥料的情况下,总累积量、块茎中氮累积量及分配比例与T3相比差异不大。7个处理各部位的氮累积量均表现为:块茎>叶>茎>根(图2)。

2.3.2 不同减肥技术对马铃薯磷累积量的影响

与T1不施肥相比,施肥提高了马铃薯磷累积量,T3~T7的总累积量、块茎累积量及分配比例均高于T2习惯施肥。相比T2习惯施肥,T3的总累积量提高了8.0%,块茎累积量提高了10.1%,分配比例增加1.6%。与T3相比,T4~T7在专用肥减量配施新型肥料的情况下,总累积量、块茎中磷累积量及分配比例差异不大。成熟期,马铃薯的磷累积量主要集中在块茎,占总累积量的84.62%~88.14%。其次是叶片、茎秆、根,分别占总累积量的6.67%~8.92%、4.14%~5.44%、1.03%~1.60%(图3)。

表2 不同减肥技术对马铃薯产量及产量构成的影响

Table 2 Effects of different fertilizer reduction techniques on potato yields and yield components

处理 Treatment	大薯率(%) Large-sized tuber rate	中薯率(%) Medium-sized tuber rate	小薯率(%) Small-sized tuber rate	单株块茎重(g FW) Tuber yield per plant	最大块茎重(g FW) Maximum-sized tuber weight
T1	48.0 b	29.3 c	22.7 a	364.3 c	193.3 d
T2	51.8 a	28.3 c	19.9 b	650.7 b	333.3 c
T3	50.5 ab	33.1 a	16.4 c	740.7 a	406.7 ab
T4	51.2 ab	31.6 ab	17.2 bc	741.5 a	360.0 c
T5	48.9 ab	32.0 ab	19.1 bc	755.3 a	346.7 c
T6	50.2 ab	31.0 b	18.8 bc	752.0 a	366.7 bc
T7	51.3 ab	31.0 b	17.7 bc	769.0 a	413.3 a

注: 同列不同小写字母表示处理间差异达0.05水平显著($P < 0.05$), 采用Duncan's新复极差法。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference between treatments at 0.05 level ($P < 0.05$) using Duncan's multiple range test. The same below.

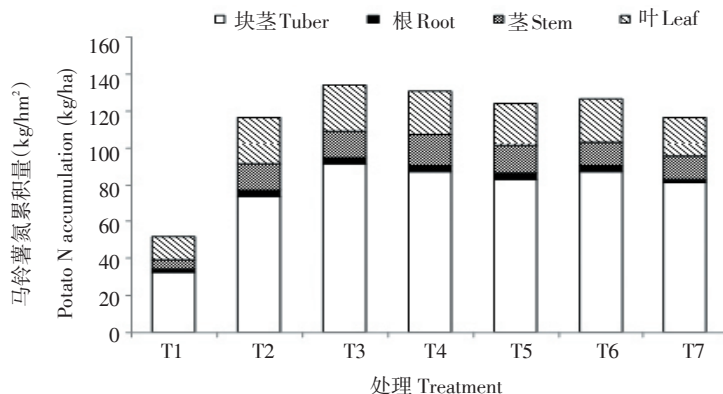


图2 不同减肥技术对马铃薯氮累积量的影响

Figure 2 Effects of different fertilizer reduction techniques on nitrogen accumulation in potatoes

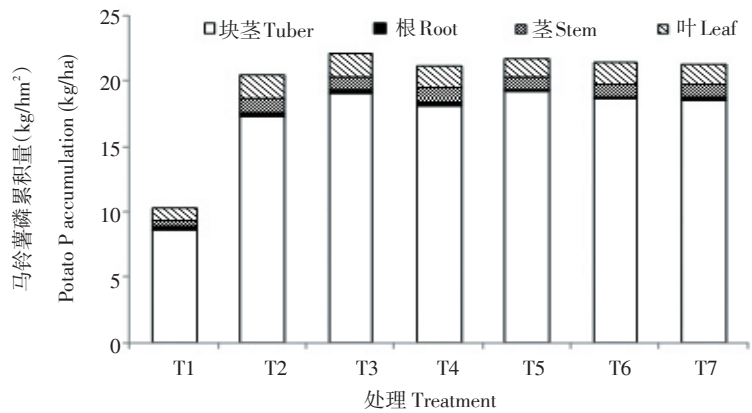


图3 不同减肥技术对马铃薯磷累积量的影响

Figure 3 Effects of different fertilizer reduction techniques on phosphorus accumulation in potatoes

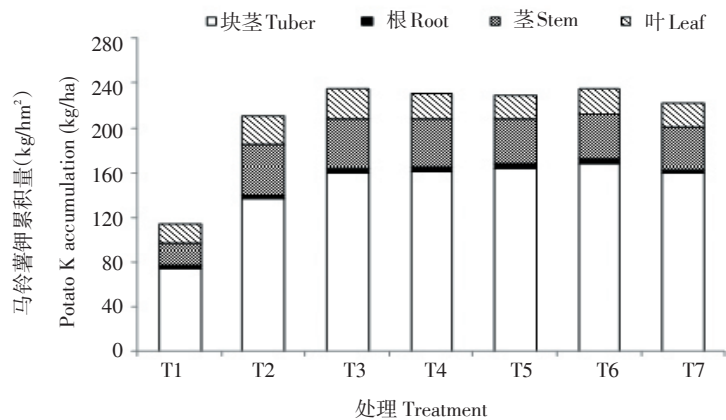


图4 不同减肥技术对马铃薯钾累积量的影响

Figure 4 Effects of different fertilizer reduction techniques on potassium accumulation in potatoes

2.3.3 不同减肥技术对马铃薯钾累积量的影响

不同减肥技术对马铃薯钾累积量的影响如图4所示。相比T2习惯施肥, T3的钾总累积量提高了11.5%, 块茎累积量提高16.4%, 分配比例增加2.8%。T4~T7在专用肥减量配施新型肥料的情况下, 块茎中钾累积量的分配比例要高于T3, 达到70.01%~71.88%。7个处理各部分的钾累积量表现为: 块茎>茎>叶>根(图4)。

2.4 不同减肥技术对马铃薯肥料利用率的影响

与T2习惯施肥相比, T3~T7处理均提高了马铃

薯的氮、磷利用率, T3处理与T2处理相比, 钾利用率没有显著差异, T3专用肥的施用相比习惯施肥氮肥利用率提高13.93%, 磷肥利用率提高13.43%, 表明合理的氮磷钾配比能够促进马铃薯对养分的吸收利用。T7在减肥配施生物有机肥的条件下, 肥料利用率显著高于T3, 氮肥利用率提高4.83个百分点, 磷肥利用率提高7.70个百分点, 钾肥利用率提高14.17个百分点(表3)。这些数据说明, 新型肥料的配施能够有效提高肥料利用率, 且配施生物有机肥的肥料利用率最高。

表3 不同减肥技术对马铃薯肥料利用率的影响

Table 3 Effects of different fertilizer reduction techniques on potato fertilizer utilization rates

处理 Treatment	氮利用率(%) N utilization rate	磷利用率(%) P ₂ O ₅ utilization rate	钾利用率(%) K ₂ O utilization rate
T1	—	—	—
T2	25.35 c	9.17 d	45.55 d
T3	39.28 b	22.60 c	53.85 cd
T4	44.40 a	24.57 bc	60.79 bc
T5	40.79 ab	25.93 b	60.19 bc
T6	41.77 ab	25.16 bc	62.78 b
T7	44.11 a	30.30 a	68.02 a

3 讨 论

马铃薯专用肥的施用能够使养分供应满足作物吸收,减少肥料损失,增加块茎产量,提高大中薯率,提高肥料利用率。李勇等^[28]试验发现合理的氮磷钾配比可以显著提高茎粗和增加分枝数,进而增加马铃薯的产量,且施N 14.4 kg/667m²、P₂O₅ 9.6 kg/667m²、K₂O 17.6 kg/667m²,可以获得较高的马铃薯产量。李昊骏^[10]试验表明马铃薯最佳施肥方案为N 150 kg/hm²、P₂O₅ 75 kg/hm²、K₂O 120 kg/hm²,此方案获得的马铃薯块茎的大薯率、单株薯重及产量最高。陈华^[29]试验表明合理的氮、磷、钾施肥量有利于提高菜用马铃薯块茎的产量、大中薯率、最大块茎重、单株结薯数和单株块茎重。本研究结果与以上结论一致,表明合理的氮磷钾配比能够提高马铃薯块茎产量,增加养分累积,提高肥料利用率。

在专用肥的基础上配施各种新型肥料能够有效增加马铃薯产量,提高肥料利用率。王秀娟等^[21]研究了施用中微量元素对马铃薯产量和养分吸收的影响,结果表明,增施镁肥马铃薯对氮素的吸收较常规施肥增加8%,磷的吸收增加8.33%,增施硼肥和锌肥马铃薯对氮、磷、钾的吸收略有增加,马铃薯产量提高。王学忠^[30]研究表明,无论是基施还是追施硼肥,都能提高植株对氮肥和钾肥的吸收。由此可见,中微量元素肥料均不同程度地促进了马铃薯对氮、磷、钾养分的吸收,有利于提高肥料的利用效率。李鸣凤等^[31]试验表明配施有机水溶肥料后马铃薯氮、

磷、钾养分积累量分别增加1.29~9.55 kg/hm²、0.03~0.32 kg/hm²、1.70~5.83 kg/hm²。本研究结果表明,专用肥减施15%的同时配施中微量元素肥和腐植酸水溶肥均能达到减肥稳产的效果,块茎的养分累积量提高,肥料利用率提高。

专用肥配施生物有机肥在减肥的基础上能够增加马铃薯产量。有机无机肥料配施可以改善根际土壤微生物区系,提高土壤酶活性,达到改良土壤、提高土壤肥力、提高作物产量的目的^[24]。高怡安^[32]试验表明以3 000 kg/hm²普通有机肥替代10%的化肥相比单施化肥增产率为12.6%,氮肥利用率提高19.1%,磷肥利用率提高15.6%,钾肥利用率提高30.7%。岳超等^[33]试验表明在化肥减少20%增施生物有机肥的条件下,相比只施用化肥马铃薯的产量增加6 825 kg/hm²,增产率为16%。史书强等^[34]认为75%化肥配施生物有机肥相比单施化肥增产率为11.16%。本试验在专用肥减施30%的同时配施生物有机肥相比单施专用肥增产1 913 kg/hm²,增产率为3.8%,氮肥利用率提高4.83%,磷肥利用率提高7.70%,钾肥利用率提高14.17%。因此表明,生物有机肥的配施使得养分释放趋势能满足作物生长对养分的需求,对有效提高马铃薯块茎产量、提高肥料利用率具有潜在的促进作用。

综上所述,相比习惯施肥,专用肥的施用能够有效提高马铃薯产量,增加养分累积量,提高肥料利用率;专用肥配施其他新型肥料可在减肥的基础上进一步增加马铃薯产量,提高肥料利用率,其中

配施生物有机肥效果最优。

[参 考 文 献]

- [1] 宋志荣. 不同氮钾比例对马铃薯产量和品质的影响 [J]. 中国马铃薯, 2009, 23(3): 155–157.
- [2] 杨帅, 闵凡祥, 高云飞, 等. 新世纪中国马铃薯产业发展现状及存在问题 [J]. 中国马铃薯, 2014, 28(5): 311–316.
- [3] 盛万民. 中国马铃薯品质现状及改良对策 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(3): 166–170.
- [4] 谢开云, 屈冬玉, 金黎平, 等. 中国马铃薯生产与世界先进国家的比较 [J]. 世界农业, 2008(5): 35–38, 41.
- [5] 封岩. 中美马铃薯产业发展比较分析与启示 [J]. 世界农业, 2012(8): 66–69.
- [6] 余贵先, 雷昌云, 刘克文, 等. 湖北省马铃薯产业发展成效与对策 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49(2): 483–486.
- [7] 李成军. 不同肥料的组配施用对马铃薯产量的影响试验 [J]. 中国马铃薯, 2002, 16(5): 294–296.
- [8] 王祥珍. 钾肥和专用肥对马铃薯产量及品质的影响 [J]. 杂粮作物, 2003(6): 359–361.
- [9] 郭恒, 贾豪, 王舰. 氮磷钾肥配施对全膜覆盖马铃薯肥料利用率及产量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 75–78.
- [10] 李昊骏. 氮磷钾配施对全膜马铃薯干物质积累分配、产量形成及品质的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [11] 刘向梅. 氮磷钾施用量及施用时期对马铃薯干物质和养分积累分配的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [12] 杨德桦. 不同施肥量和不同施肥方式对襄阳地区马铃薯产量、养分积累规律和品质的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [13] Chen X G, Kou M, Tang Z H, *et al.* Responses of root physiological characteristics and yield of sweet potato to humic acid urea fertilizer [J]. PloS One, 2017, 12(12): 1–11.
- [14] 张建平, 孙芳, 李玉中. 腐植酸对冬小麦种子的生理调节作用 [J]. 中国农业气象, 2005, 26(3): 174–176.
- [15] 王建阳, 白云龙, 闫东, 等. 含腐植酸水溶肥对马铃薯产量和效益的影响 [J]. 现代农业, 2017(4): 20–22.
- [16] 白雪. 腐殖酸对不同水分条件下马铃薯光合、养分及产质量的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [17] 郝智勇. 中微量元素在马铃薯生产上的应用 [J]. 中国马铃薯, 2017, 30(5): 307–311.
- [18] 马旭凤. 硼肥对马铃薯产量及品质的影响 [J]. 现代农业科技, 2015(24): 94, 96.
- [19] 乌学敏. 中微量元素肥料对马铃薯种植的影响 [J]. 现代农业, 2014(1): 18–21.
- [20] Pavlista A D. Early – season applications of sulfur fertilizers increase potato yield and reduce tuber defects [J]. Agronomy Journal, 2005, 97(2): 599–603.
- [21] 王秀娟, 娄春荣, 董环, 等. 中微量元素对马铃薯产量和养分吸收的影响 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41(1): 93–94.
- [22] Anita I, Alessandra P, Angelo M. Effects of micronutrient fertilization on the overall quality of raw and minimally processed potatoes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 134: 38–44.
- [23] 李淑仪, 邓许文, 陈发, 等. 有机无机肥配施比例对蔬菜产量和品质及土壤重金属含量的影响 [J]. 生态环境, 2007, 16(4): 1125–1134.
- [24] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144–152.
- [25] 臧逸飞, 郝明德, 张丽琼, 等. 26年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1445–1451.
- [26] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版, 2007: 166.
- [27] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 265–271.
- [28] 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.
- [29] 陈华. NPK施肥量对马铃薯产量及品质的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [30] 王学忠. 马铃薯硼肥肥效试验研究 [J]. 宁夏农林科技, 2013, 54(4): 37–38.
- [31] 李鸣凤, 王清林, 鲁明星, 等. 有机水溶肥料与无机肥料配施对马铃薯产量、养分吸收和品质的影响 [J]. 中国马铃薯, 2014, 28(6): 340–347.
- [32] 高怡安. 有机肥替代部分化肥对马铃薯干物质积累与分配及土壤矿质氮含量的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
- [33] 岳超, 王怀义, 滕松, 等. 马铃薯施用缓控释肥、生物有机肥肥效试验 [J]. 中国马铃薯, 2017, 31(6): 341–345.
- [34] 史书强, 赵颖, 何志刚, 等. 生物有机肥配施化肥对马铃薯土壤养分运移及产量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 154–158.