

水肥一体化条件下马铃薯对肥料的吸收和利用规律的研究

尹 东

黑龙江农业经济职业学院智慧农业系，黑龙江 牡丹江

收稿日期：2024年6月5日；录用日期：2024年7月6日；发布日期：2024年7月29日

摘 要

随着现代农业科技的日新月异，马铃薯水肥一体化技术已成为一种备受推崇的先进农业管理策略，并在马铃薯种植领域得到了广泛的应用。这种技术不仅提高了种植效率，还促进了马铃薯产量的稳定增长。本试验研究旨在探讨在水肥一体化条件下大量元素N、P、K对马铃薯产量的影响；氯化钾及硫酸钾对不同马铃薯品种的肥料效应；不同磷肥品种及中微量元素肥料在马铃薯生产中对产量的影响作用，筛选出马铃薯最佳吸收和利用效用的含N、P、K及中微量元素的肥料和最佳的施用方案，为优化马铃薯水肥一体化技术、增加产量、提升品质提供科学依据。

关键词

马铃薯，肥料，水肥一体化

Study on the Pattern of Fertilizer Absorption and Utilization by Potatoes under the Water-Fertilizer Integration Conditions

Dong Yin

Department of Smart Agriculture, Heilongjiang Agricultural Economy Vocational College, Mudanjiang Heilongjiang

Received: Jun. 5th, 2024; accepted: Jul. 6th, 2024; published: Jul. 29th, 2024

Abstract

With the rapid development of modern agricultural science and technology, potato water-fertilizer integration technology has become a highly respected advanced agricultural management strate-

gy and has been widely used in the field of potato planting. This technology not only improves planting efficiency, but also promotes the stable growth of potato yield. This experimental study aims to explore the effects of macrolelements N, P, and K on potato yield under the conditions of water-fertilizer integration; the fertilizer effects of potassium chloride and potassium sulfate on different potato varieties; the effects of different phosphate fertilizer varieties and medium and trace element fertilizers on yield in potato production, and screen out fertilizers containing N, P, K and medium and trace elements with the best absorption and utilization of potatoes and the best application plan, so as to provide a scientific basis for optimizing potato water-fertilizer integration technology, increasing yield, and improving quality.

Keywords

Potato, Fertilizer, Water-Fertilizer Integration

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着现代农业技术的持续进步,水肥一体化技术因其高效且环保的特性,已成为一种广受欢迎的农业管理模式[1]。这种技术已经普遍应用于多种作物的种植中,为农业生产带来了显著的效益。其中,马铃薯作为我国重要的粮食和经济作物,其产量和品质的提升一直是农业科研的重点[2]。在马铃薯的种植过程中,N、P、K等肥料是不可或缺的养分来源[3],对于促进马铃薯的生长发育、提高产量和品质具有至关重要的作用。

然而,要实现水肥一体化技术在马铃薯种植中的广泛应用,我们需要深入了解马铃薯对N、P、K等肥料的吸收、利用规律。这是因为不同作物对养分的吸收和利用存在差异性,只有掌握了这些规律,我们才能根据马铃薯的生理需求,科学合理地制定施肥方案,实现水肥的高效利用。

因此,本研究旨在通过对马铃薯水肥一体化技术中N、P、K等肥料吸收、利用规律的探究,为马铃薯的科学、合理施肥,提供理论依据和技术支持。通过深入研究,我们期望能够揭示马铃薯在不同生长阶段对N、P、K等养分的吸收特点、利用效率和影响程度,为马铃薯的现代化科学栽培提供技术指导。

2. 材料及方法

2.1. 试验小区情况

试验小区坐落于黑龙江省牡丹江市温春镇的黑龙江农业经济职业学院内,其地理位置为北纬44.61°,东经129.60°。该地区年平均降雨量450~550 mm,此地区的农业耕作以旱田为主,年平均日照总时长2295.2 h,平均活动积温范围为2300°C至2500°C,这些气候参数使其归属于第二和第三积温带。

试验小区土壤类型为草甸土,质地为壤质黏土,田间持水量为25.6%,饱和土壤含水量平均为37.8%,容重1.35 g/cm³,在试验之前,前茬作物为大豆,且经过秋季的深翻处理。水源方面,该试验田使用江水灌溉,并由电力驱动进行灌溉操作。这样的地理位置和气候条件,以及土壤和水源特征,为各种作物的种植提供了理想的试验环境[4]。

试验于2022~2023年4~9月进行,应用膜下滴灌水肥一体化栽培方式,垄距0.8 m,株距0.25 m,滴头间距0.2 m,流速1~2 L/h。4月25日播种,9月15日收获。

2.2. 试验材料与方案

2.2.1. 水肥一体化条件下大量元素 N、P、K 对马铃薯产量影响的试验方案

供试品种为尤金原种。小区行长 10 m，宽 5 m，每小区 50 m²。试验设置 14 个处理[5]：1) N0P0K0、2) N0P2K2、3) N1P2K2、4) N2P2K2、5) N3P2K2、6) N4P2K2、7) N2P0K2、8) N2P1K2、9) N2P3K2、10) N2P4K2、11) N2P2K0、12) N2P2K1、13) N2P2K3、14) N2P2K4，采用完全随机区组设计，3 次重复。试验地有机肥在种植前施入且与耕层土壤混匀，具体见表 1。

Table 1. Potato treatment plans with different fertilizer dosages

表 1. 马铃薯不同肥料用量试验处理方案

| 处理 | 肥料水平 | 有机肥用量 (kg/667m ²) | N (kg/667m ²) | P ₂ O ₅ (kg/667m ²) | K ₂ O (kg/667m ²) |
|----|--------|----------------------------------|------------------------------|--|---|
| 1 | N0P0K0 | 2000 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | N0P2K2 | 2000 | 0 | 6 | 7.5 |
| 3 | N1P2K2 | 2000 | 5 | 6 | 7.5 |
| 4 | N2P2K2 | 2000 | 10 | 6 | 7.5 |
| 5 | N3P2K2 | 2000 | 15 | 6 | 7.5 |
| 6 | N4P2K2 | 2000 | 20 | 6 | 7.5 |
| 7 | N2P0K2 | 2000 | 10 | 0 | 7.5 |
| 8 | N2P1K2 | 2000 | 10 | 3 | 7.5 |
| 9 | N2P3K2 | 2000 | 10 | 9 | 7.5 |
| 10 | N2P4K2 | 2000 | 10 | 12 | 7.5 |
| 11 | N2P2K0 | 2000 | 10 | 6 | 0 |
| 12 | N2P2K1 | 2000 | 10 | 6 | 3.75 |
| 13 | N2P2K3 | 2000 | 10 | 6 | 11.25 |
| 14 | N2P2K4 | 2000 | 10 | 6 | 15 |

Table 2. Treatment schemes for different potato varieties using potassium chloride and potassium sulfate [6]

表 2. 不同马铃薯品种施用氯化钾和硫酸钾试验处理方案[6]

| 主处理 马铃薯品种 | 副处理 钾肥品种 | 有机肥用量 (kg/667m ²) | 化肥 N 用量 (kg/667m ²) | 化肥 P ₂ O ₅ 用量 (kg/667m ²) | 化肥 K ₂ O 用量 (kg/667m ²) | 马铃薯品种 |
|--------------|----------------|----------------------------------|------------------------------------|--|---|--------|
| 1 | 氯化钾 A 硫酸钾 B | 1800 | 11.5 | 5 | 6.5 | 尤金 |
| 2 | 氯化钾 A 硫酸钾 B | 1800 | 11.5 | 5 | 6.5 | 费乌瑞它 |
| 3 | 氯化钾 A 硫酸钾 B | 1800 | 11.5 | 5 | 6.5 | 实验 1 号 |

2.2.2. 氯化钾和硫酸钾对不同马铃薯品种的肥料效应的试验方案[7]

采用裂区设计,主处理为不同的品种:1 尤金、2 费乌瑞它、3 实验 1 号,副处理为不同的钾肥品种:A 氯化钾、B 硫酸钾。小区行长 8 m,宽 5 m,每小区 40 m²(每副小区 20 m²),3 次重复,有机肥于种植前施入且与耕层土壤混匀。试验地肥料用量根据目标产量 2500 kg/667m² 制定,具体见表 2。

2.2.3. 不同磷肥品种对马铃薯产量的影响试验方案

试验种薯实验 1 号脱毒原种,试验共设 6 个处理。

处理 1 (CK1): 过磷酸钙(P₂O₅-12%) 116 kg/667m² + 尿素(N-46%) 54 kg/667m²,折合 P₂O₅ 14 kg/667m²、N 10 kg/667m²; 磷肥结合深耕以底肥一次性施入。

处理 2 (CK2): 磷酸二铵(N-18%, P₂O₅-46%) 30 kg/667m² + 尿素(N-46%) 42 kg/667m²,折合 P₂O₅ 14 kg/667m²、N 10 kg/667m²。磷肥结合深耕以底肥一次性施入。

处理 3: 磷酸一铵(N-11%, P₂O₅-44%) 32 kg/667m² + 尿素(N-46%) 46 kg/667m²,折合 P₂O₅ 14 kg/667m²、N 10 kg/667m²。磷肥结合深耕以底肥一次性施入。

处理 4: 磷酸一铵(N-11%, P₂O₅-44%) 32 kg/667m² + 尿素(N-46%) 46 kg/667m²,折合 P₂O₅ 14 kg/667m²、N 10 kg/667m²。磷肥 2/3 作为基肥随深耕以底肥施入,1/3 作为追肥,于出苗——结薯期分 4 次随滴灌施入。

处理 5: 磷酸一铵(N-11%, P₂O₅-44%) 32 kg/667m² + 尿素(N-46%) 46 kg/667m²,折合 P₂O₅ 14 kg/667m²、N 10 kg/667m²。磷肥 1/3 作为基肥随深耕以底肥施入,2/3 作为追肥,于出苗——结薯期分 4 次随滴灌施入。

处理 6: 磷酸一铵(N-11%, P₂O₅-44%) 32 kg/667m² + 尿素(N-46%) 46 kg/667m²,折合 P₂O₅ 14 kg/667m²、N 10 kg/667m²。磷肥全部作为追肥,于出苗——结薯期分 4 次随滴灌施入。

2.3.4. 中微量元素肥料对马铃薯产量的影响的试验方案

试验种薯采用实验 1 号脱毒原种,试验设 5 个处理:

处理 1: 种薯 + 苯甲·咯·噻虫 12 g/667m² + 微肥(B ≥ 2.5%, Zn ≥ 3%, Mn ≥ 3%, Fe ≥ 16%)混合溶液(微肥 250 g 兑水 6~18 kg 拌种 190 kg)均匀喷雾作种薯处理,喷施微肥 3 次,滴灌钙镁肥 2 次。

处理 2: 微肥 4 kg + 滑石粉 200 kg 拌匀 + 苯甲·咯·噻虫 12 g/667m²,拌薯块 200 kg,作种薯处理,喷施微肥 3 次,滴灌钙镁肥 2 次。

处理 3: 种薯 + 苯甲·咯·噻虫 12 g/667m² + 微肥混合溶液(微肥 250 g 兑水 6~18 kg 拌种 190 kg)均匀喷雾作种薯处理,滴灌钙镁肥 2 次。

处理 4: 微肥 4 kg + 滑石粉 200 kg 拌匀 + 苯甲·咯·噻虫 12 g/667m²,拌薯块 200 kg,作种薯处理,滴灌钙镁肥 2 次。

处理 5 (CK): 清水对照,种薯块不拌任何微肥和药,于苗期、初蕾期、花展末期各喷施等量于微肥的清水。

喷施微肥:于苗期、初蕾期、花展期各喷施 1 次,次施微肥 250 g/667m²,兑水 35 kg。滴灌钙镁肥:从马铃薯膨大期开始滴灌钙镁肥,间隔 15 天后,滴灌第 2 次,次用量 5 kg/667m²。钙镁肥为江苏常州多阳生物科技有限公司生产的钙镁肥(CaO 23.41%, MgO 1.56%, N 23.73%, H₃BO₃ 0.25%, 元素总量 48.95%, Ca:Mg = 15:1)。

3. 结果与分析

3.1. 水肥一体化条件下大量元素 N、P、K 对马铃薯产量的影响

关于大量元素 N。由表 3 和表 4 看出,不同肥料用量对马铃薯产量达到了差异显著的影响。2022 年

处理 9 (氮、磷、钾施用量分别为 10、9、7.5 kg/667m²) 的产量最高, 平均为 2381 kg/667m²; 处理 1 (不施用化肥) 的产量最低, 平均为 1412 kg/667m²。较处理 1 (不施用化肥), 其他各处理增产幅度为 22.12%~68.62%。2023 年各处理的产量均高于对照处理 1 (NOP0K0), 其中处理 13 (N2P2K3) 的 667 m² 产量最高, 为 2628.41 kg, 比对照处理 1 (NOP0K0) 提高 27.33%; 第二位是处理 4 (N2P2K2), 为 2569.15 kg, 比对照处理 1 (NOP0K0) 提高 24.46%; 第三位是处理 11 (N2P2K0), 为 2448.16 kg, 比对照处理 1 (NOP0K0) 提高 18.6%; 处理 1 (NOP0K0) 的 667 m² 产量最低, 为 2064.21 kg。

Table 3. Effect of different fertilizer usage on potato yield in 2022 (kg/667m²)

表 3. 2022 年不同肥料用量对马铃薯产量的影响(kg/667m²)

| 处理 | I | II | III | 平均值 | 位次 |
|----|------|------|------|--------|----|
| 1 | 1381 | 1404 | 1452 | 1412b | 14 |
| 2 | 1604 | 1941 | 2407 | 1984ab | 10 |
| 3 | 2111 | 2015 | 2611 | 2246a | 4 |
| 4 | 2204 | 2196 | 2552 | 2317a | 3 |
| 5 | 2093 | 1530 | 1552 | 1725ab | 13 |
| 6 | 1700 | 1015 | 2496 | 1737ab | 12 |
| 7 | 2019 | 1915 | 2770 | 2235a | 5 |
| 8 | 2344 | 1563 | 2567 | 2158a | 7 |
| 9 | 2289 | 2556 | 2300 | 2381a | 1 |
| 10 | 1804 | 2604 | 2559 | 2322a | 2 |
| 11 | 1944 | 2311 | 2415 | 2223a | 6 |
| 12 | 1896 | 2367 | 1867 | 2043ab | 9 |
| 13 | 1111 | 2307 | 2348 | 1922ab | 11 |
| 14 | 1993 | 2130 | 2078 | 2067ab | 8 |

注: 不同小写字母表示处理间显著($P \leq 0.05$); 不同大写字母表示处理间极显著($P \leq 0.01$)。下同。

Table 4. Effect of different fertilizer dosages on potato yield in 2023 (kg/667m²)

表 4. 2023 年不同肥料用量对马铃薯产量的影响(kg/667m²)

| 处理 | I | II | III | 平均 | 位次 |
|----|------|------|------|---------|----|
| 1 | 2144 | 2030 | 2019 | 2064c | 14 |
| 2 | 2356 | 2511 | 2233 | 2367abc | 6 |
| 3 | 2293 | 2537 | 2233 | 2354abc | 7 |
| 4 | 2507 | 2300 | 2900 | 2569ab | 2 |
| 5 | 2311 | 2356 | 1900 | 2189bc | 11 |

续表

| | | | | | |
|----|------|------|------|---------|----|
| 6 | 2019 | 1841 | 2363 | 2074c | 13 |
| 7 | 2274 | 2063 | 2141 | 2159c | 10 |
| 8 | 2122 | 2241 | 1863 | 2075c | 12 |
| 9 | 2430 | 2463 | 2404 | 2432abc | 4 |
| 10 | 2137 | 2363 | 2678 | 2393abc | 5 |
| 11 | 2468 | 2433 | 2443 | 2448abc | 3 |
| 12 | 2041 | 2285 | 2526 | 2284abc | 9 |
| 13 | 2485 | 2656 | 2744 | 2628a | 1 |
| 14 | 2274 | 2100 | 2685 | 2353abc | 8 |

由图 1 看出, 在探索氮肥用量对马铃薯产量的影响时, 我们观察到随着氮肥用量的递增, 马铃薯的产量首先呈现增长趋势, 但随后逐渐降低。尽管这种变化在统计学上并未达到显著水平, 但产量与氮肥施用量之间的相关性却相当高, 相关系数高达 0.8073。通过回归分析, 我们确定当氮肥施用量为 6.95 kg/667m²时, 马铃薯产量达到峰值, 即 2199 kg/667m²。

另一方面, 在磷肥用量的试验中, 我们设定了五个不同的水平: 0、5、10、12 和 20 kg/667m²。与之对应的马铃薯产量分别为 1984、2246、2317、1725 和 1737 kg/667m²。然而, 这些不同磷肥用量处理间的产量差异也并未达到显著水平。

考虑到土壤肥力的维持和追求较高的马铃薯产量, 在中等肥力的风沙地中, 我们推荐每 667 m²的马铃薯田施用氮肥量为 10 kg。这一推荐用量旨在实现土壤肥力的平衡利用, 同时确保马铃薯产量的最大化。

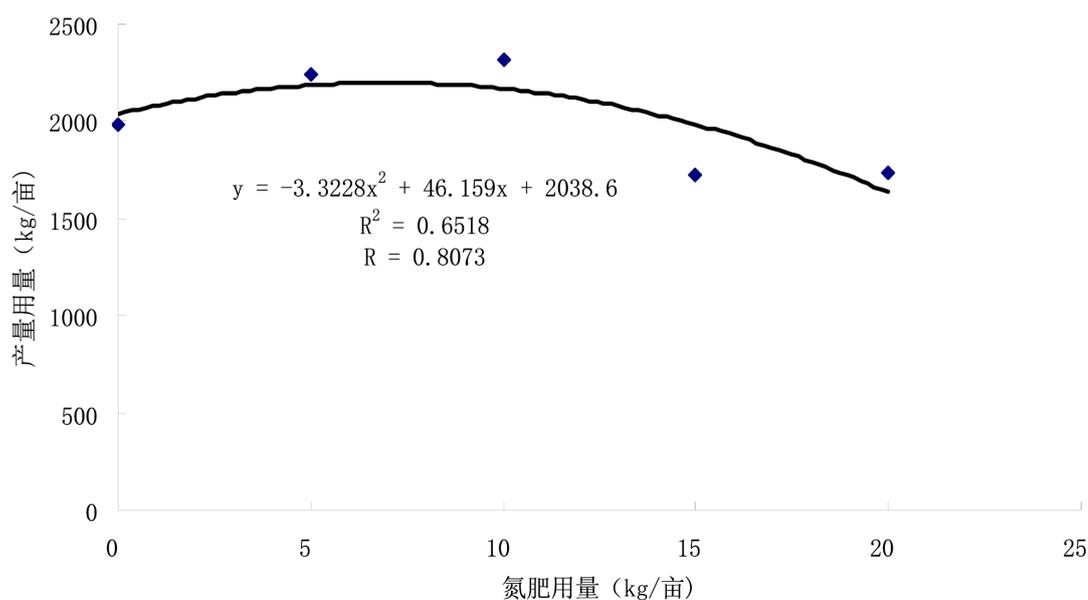


Figure 1. Effect of different nitrogen fertilizer application rates on potato yield in 2022

图 1. 2022 年不同氮肥用量对马铃薯产量的影响

关于大量元素 P。在试验磷肥用量范围内，随着氮肥用量的增加，马铃薯产量呈先增后减的趋势，虽然没有达到差异显著水平，但产量与施磷量的相关系数还是较高，为 0.7295。由回归方程计算得出，磷肥施用量为 19.84 kg/667m² 时，最大产量为 2383 kg/667m²。

在评估磷肥对马铃薯产量的影响时，我们注意到尽管通过试验得到的最大产量所对应的磷肥用量(10 kg/667m²)并不在设定的磷肥用量范围内，但通过对实际试验数据的分析，我们发现磷肥的施用量对马铃薯产量的提升作用相对有限。

具体来说，当磷肥用量分别为 0、3、6、9 和 12 kg/667m² 时，马铃薯的产量分别为 2235、2158、2317、2381 和 2312 kg/667m²。尽管随着磷肥用量的增加，产量有所波动，但各处理间的产量差异并不显著，这表明在本试验条件下，磷肥并不是决定马铃薯产量的主要因素。

为了维持土壤矿质营养的均衡和持续，同时确保马铃薯产量相对较高，我们建议在中等肥力的风沙地中，磷肥的推荐用量为 6 kg/667m²。这一推荐用量旨在实现土壤肥力的平衡利用，同时确保马铃薯产量的稳定提升。

关于大量元素 K。在试验钾肥用量范围内，随着钾肥用量的增加，马铃薯产量变化趋势不明显，直线回归和二次方程回归均发现施钾和产量没有明显的相关性。且本试验钾肥用量分别为 0、3.75、7.5、11.25 和 15 kg/667m² 时，产量分别为 2223、2043、2317、1922 和 2067 kg/667m²，各处理间产量没有达到差异显著水平。这也说明了在本试验地土壤上施用钾肥对马铃薯产量的增产作用不大。为了使土壤矿质营养均衡持续，马铃薯产量相对较高，建议在中等肥力的风沙地，钾肥推荐用量为 7.5 kg/667m²。

3.2. 氯化钾和硫酸钾对不同马铃薯品种的肥料效应

由表 5 和表 6 看出，马铃薯不同品种施用氯化钾和硫酸钾对产量达到了差异显著的影响。2022 年的结果是，实验 1 号用氯化钾的产量最高，平均为 4053 kg/667m²，费乌瑞它用硫酸钾的产量最低，平均为 3054 kg/667m²。2023 年的结果是，实验 1 号用硫酸钾的产量最高，平均为 2845 kg/667m²，费乌瑞它用氯化钾的产量最低，平均为 2702 kg/667m²。结合上述图表看出，对于同一品种的马铃薯，使用氯化钾和硫酸钾作为钾肥时，两种处理对产量的影响在统计上并未显示出显著差异。然而，从具体的产量数值来看，施用氯化钾处理马铃薯产量明显高于使用硫酸钾处理的产量。进一步分析显示，相较于使用硫酸钾的处理，使用氯化钾的处理导致马铃薯产量增加了 4.96% 至 23.79% 的幅度。这一数据表明，氯化钾对于马铃薯产量不仅没有负面效果，即不会导致减产，反而具有显著的增产作用。因此，在种植马铃薯时，使用氯化钾作为钾肥可能是一个更为有效的选择。

Table 5. Effects of potassium chloride and potassium sulfate on yield of different potato varieties in 2022 (kg/667m²)

表 5. 2022 年马铃薯不同品种施用氯化钾和硫酸钾对产量的影响(kg/667m²)

| 处理 | I | II | III | 平均值 | 位次 |
|----|------|------|------|---------|----|
| 1A | 4043 | 3772 | 3037 | 3617ab | 3 |
| 2A | 3253 | 4500 | 3679 | 3811ab | 2 |
| 3A | 2957 | 4604 | 4599 | 4053a | 1 |
| 1B | 2901 | 3309 | 3611 | 3274abc | 2 |
| 2B | 3352 | 3111 | 2698 | 3054bcd | 3 |
| 3B | 3420 | 4253 | 3877 | 3850ab | 1 |

Table 6. Effect of potassium chloride and potassium sulfate on yield of different potato varieties in 2023 (kg/667m²)
表 6. 2023 年马铃薯不同品种施用氯化钾和硫酸钾对产量的影响(kg/667m²)

| 处理 | I | II | III | 平均 | 位次 |
|----|------|------|------|---------|----|
| 1A | 2815 | 3722 | 3208 | 3248abc | 1 |
| 2A | 2787 | 2727 | 2593 | 2702bc | 3 |
| 3A | 2857 | 3468 | 2958 | 2974ab | 2 |
| 1B | 2588 | 2560 | 3042 | 2730a | 2 |
| 2B | 1958 | 2444 | 1671 | 1904abc | 3 |
| 3B | 2857 | 3111 | 2569 | 2845ab | 1 |

3.3. 不同磷肥品种对马铃薯产量的影响

试验结果表明(表 7、表 8), 磷酸一铵作为底肥和追肥均较施用过磷酸钙和磷酸二铵有提高植株高度、商品率和平均产量的效果。

Table 7. pH values of different types of phosphate fertilizers and their effects on phosphate utilization of potatoes
表 7. 不同种类磷肥的 pH 值及对马铃薯磷肥利用率的影响

| 磷肥处理 | pH | 偏生产力(kg/kg) | 农学利用率(kg/kg) | 吸收利用率(%) |
|------|------|-------------|--------------|----------|
| 过磷酸钙 | 2.38 | 236.88 | 72.70 | 8.62 |
| 磷酸一铵 | 4.35 | 259.09 | 94.91 | 17.51 |
| 磷酸二铵 | 8.16 | 226.53 | 62.35 | 9.49 |

Table 8. Effects of different treatments on potato plant growth characteristics and tuber yield
表 8. 不同处理对马铃薯植株生长特性和块茎产量的影响

| 试验地点 | 处理 | 种植密度 (株/667m ²) | 株高 (cm) | 单株块茎数 (个) | 单株块茎重 (kg) | 商品率 (%) | 小区产量 (kg/50m ²) | 折合产量 (kg/667m ²) |
|---------------|---------|--------------------------------|------------|--------------|---------------|------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 牡丹江农经 学院基地 | 1 (CK1) | 3300 | 84.5 | 3.2 | 1.56 | 79.28 | 257.01 | 3428.51b/B |
| | 2 (CK2) | 3300 | 87.6 | 4.8 | 1.63 | 83.53 | 269.05 | 3589.13ab/AB |
| | 3 | 3300 | 88.2 | 4.2 | 1.64 | 86.12 | 270.85 | 3613.14ab/AB |
| | 4 | 3300 | 88.6 | 3.8 | 1.71 | 87.54 | 282.08 | 3762.95a/AB |
| | 5 | 3300 | 88.3 | 3.6 | 1.73 | 88.58 | 284.96 | 3801.37a/A |
| | 6 | 3300 | 87.9 | 3.6 | 1.64 | 86.35 | 269.76 | 3598.60ab/AB |

使用磷酸一铵的 4 个处理的产量均高于对照, 且均与 CK1 差异显著, 与 CK2 差异不显著。处理 2 的氮、磷肥成本为 187.8 元, 处理 5 的氮、磷肥成本 167.4 元, 施用磷酸一铵较施用磷酸二铵 667 m² 降低肥料投入 20.4 元; 增加产量 126.60 kg/667m², 增加收入 151.92 元/667m², 共计节本增效 172.32 元/667m²。

3.4. 中微量元素肥料对马铃薯产量的影响

从表 9 的数据可以看出, 马铃薯的株高在不同处理中呈现出显著的差异。具体来说, 处理 3 下的马铃薯平均株高最高, 达到了 85.5 厘米, 而对照处理(处理 5)的株高最低, 仅为 75 厘米。这意味着处理 3 的株高相对于对照高出 10.5 厘米, 显示出明显的生长优势。

同样地, 单株块茎数也在不同处理间存在差异。处理 3 下的马铃薯单株块茎数最多, 达到了 7.6 个, 而对照处理的单株块茎数最少, 只有 5.9 个。这意味着处理 3 的马铃薯在单株块茎数上较对照高出 1.7 个, 进一步表明了处理 3 的增产潜力。

商品薯率也是评估马铃薯品质的重要指标之一。在处理 3 下, 马铃薯的商品薯率最高, 达到了 88.60%, 而对照处理的商品薯率最低, 为 75.67%。这意味着处理 3 下的马铃薯商品薯率较对照高出 12.93 个百分点, 显示出更好的市场价值。

最后, 从折合产量来看, 处理 3 下的马铃薯产量最高, 达到了 3497.6 kg/667m², 而对照处理的产量最低, 为 2565.4 kg/667m²。其中, 处理 1、2、3、4 的折合产量均明显高于对照处理。特别是处理 3, 其增产量和增产率均为最高, 分别为 932.2 kg/667m² 和 36.34%, 进一步证明了处理 3 在马铃薯种植中的优越性和增产潜力。

Table 9. Effects of different micronutrient fertilizer treatments on potato plant growth characteristics and tuber yield
表 9. 不同微肥处理对马铃薯植株生长特性和块茎产量的影响

| 处理 | 种植密度 (株/m ²) | 株高 (cm) | 单株块茎 数(个) | 单株块茎 重(g) | 商品率 (%) | 小区产量 (kg/54m ²) | 折合产量 (kg/m ²) | 较对照增减 产(kg/m ²) | 增产率 (%) |
|--------|-----------------------------|------------|--------------|--------------|------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------|
| 1 | 3700 | 83.2 | 7.3 | 971.5 | 85.54 | 267.24 | 3300.9bA | 735.5 | 28.67 |
| 2 | 3700 | 78.8 | 6.2 | 808.0 | 83.11 | 235.13 | 2904.3cB | 338.9 | 13.21 |
| 3 | 3700 | 85.5 | 7.6 | 1064.1 | 88.60 | 283.17 | 3497.6aA | 932.2 | 36.34 |
| 4 | 3700 | 79.7 | 7.0 | 873.2 | 83.49 | 250.64 | 3095.9cB | 530.5 | 20.68 |
| 5 (CK) | 3700 | 75.0 | 5.9 | 716.1 | 75.67 | 207.69 | 2565.4dC | — | — |

4. 讨论

4.1. 水肥一体化条件下大量元素 N、P、K 对马铃薯产量的影响

本试验结果和预期的一致, 肥料水平 N2P2K2, 即氮、磷和钾施用量分别为 10、6 和 7.5 kg/667m² 时, 马铃薯获得较高的产量和品质, 两年产量分别为 2317 kg/667m² 和 2569 kg/667m²。因此今后风沙土地马铃薯有机肥、化肥氮、磷和钾肥推荐量应该分别是 2000、10、6 和 7.5 kg/667m²。

4.2. 氯化钾和硫酸钾对不同马铃薯品种的肥料效应

两年的试验结果表明, 氯化钾对马铃薯不仅没有减产的作用, 反而有较大幅度的增产潜能, 同时还能提高马铃薯的品质, 在滴灌条件下增加了可操作性, 可以替代硫酸钾进行追肥, 达到节本增效目的。

4.3. 不同磷肥品种对马铃薯产量的影响

经过试验验证, 在滴灌的种植环境下, 磷酸一铵在三种磷肥(过磷酸钙、磷酸一铵、磷酸二铵)中脱颖而出, 成为马铃薯种植的最佳选择。这一发现表明, 磷酸一铵在滴灌条件下对马铃薯的生长和产量有着

更为显著和积极的促进作用。

4.4. 中微量元素肥料对马铃薯产量的影响

经过一系列的实验研究,我们发现微肥处理对于马铃薯植株的生长具有显著的促进作用,特别是能够显著提升马铃薯的株高。不仅如此,微肥处理还显著提高了马铃薯的产量和商品薯率,这表明微肥在提高马铃薯产量和品质方面发挥着重要作用。

通过对不同微肥处理下马铃薯植株性状和产量的综合分析,我们得出结论:采用干拌+叶面喷施微肥三次并结合滴灌钙镁肥两次(即处理 3)的方法效果最佳。这种处理方式不仅能够显著提高马铃薯的产量,还能对马铃薯的品质产生积极的改善作用。这一组合的发现为马铃薯种植中微肥的合理应用提供了有力的科学依据。

基金项目

牡丹江市应用技术研究开发计划项目(HT2022JG037),课题名称:水肥一体化技术在马铃薯生产中的应用研究。

参考文献

- [1] 范书华,董清山,解国庆,等.水肥一体化条件下马铃薯氮肥精准施用[J].黑龙江农业科学,2021(9):29-32.
- [2] 秦永林,于静,陈杨,等.内蒙古灌溉马铃薯施肥现状及肥料利用效率[J].中国蔬菜,2019(11):75-79.
- [3] 张鑫,陈杨,秦永林,等.马铃薯钾素营养研究进展及营养诊断[J].北方农业学报,2016,44(1):109-112.
- [4] 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.
- [5] 张皓,周丽敏,申双和,等.不同钾肥施用量对马铃薯产量、品质及土壤质量的影响[J].江苏农业科学,2019,47(11):116-119.
- [6] 黄美华,冯剑,徐鹏举,等.氯化钾与硫酸钾配施对马铃薯干物质及产量效益的影响[J].广东农业科学,2016,43(3):101-105.
- [7] 李东明,李殿军,杜长玉.马铃薯施用钾肥效果的研究[J].北方农业学报,2018,46(1):64-66.