

叶面喷施锌、硒肥对冬种紫色马铃薯产量及品质的影响

罗永明¹, 钟莉传¹, 刘云¹, 周晓欢¹, 何虎翼², 张慧娜¹, 杨苛¹, 谢恩倍¹

(1. 广西农业职业技术大学 南宁 530007; 2. 广西农业科学院 南宁 530007)

摘要: 为了研究不同类型的锌肥和硒肥对马铃薯产量及品质的影响, 选用 $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (A)、糖醇锌(B)、EDTA-硒(D)和糖醇硒(E)4种肥料, 以喷施清水为对照(CK), 设置纯锌浓度(ρ , 后同)梯度为 0、0.1、0.4、0.7、1.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 纯硒浓度梯度为 0、6、9、12、15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 对紫色马铃薯进行叶面喷施试验。结果表明, 4种肥料均能提高紫色马铃薯的商品薯率及其等级和产量, 降低块茎中的可溶性糖和还原糖含量, 提升块茎中的锌和硒含量。不同锌肥处理中, $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的最佳喷施浓度为 0.4 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 产量较 CK 显著提高 18.58%, 糖醇锌的最佳喷施浓度为 0.7 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 产量较 CK 显著提高 69.97%; $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 和糖醇锌处理块茎锌含量均在喷施浓度为 0.7 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到最高, 较 CK 分别提高 71.94% 和 32.89%。不同硒肥处理中, EDTA-硒的最佳喷施浓度为 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 产量较 CK 显著提高 44.36%, 糖醇硒的最佳喷施浓度为 9 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 产量较 CK 显著提高 105.22%; EDTA-硒、糖醇硒处理块茎硒含量分别在喷施浓度为 12 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 6 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到最高, 分别是 CK 的 17.33 倍和 12.67 倍。综合产量和品质各项指标, 糖醇锌比 $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 喷施效果更好, 最佳浓度为 0.7 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; 糖醇硒的喷施效果明显优于 EDTA-硒, 最佳浓度为 9 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。本研究结果为马铃薯优质高效生产中锌肥和硒肥的科学施用提供了理论依据。

关键词: 马铃薯; 锌肥; 硒肥; 产量; 品质

中图分类号: S532

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)03-090-07

Effects of foliar application of zinc and selenium fertilizers on the yield and quality of winter-planted purple potato

LUO Yongming¹, ZHONG Lichuan¹, LIU Yun¹, ZHOU Xiaohuan¹, HE Huiyi², ZHANG Huina¹, YANG Ke¹, XIE Enbei¹

(1. Guangxi Vocational University of Agriculture, Nanning 530007, Guangxi, China; 2. Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China)

Abstract: To investigate the effects of different types of zinc and selenium fertilizers on the yield and quality of potato, this study selected four fertilizers: $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (A), Zinc Polyol(B), EDTA-Selenium(D), and Selenium Polyol(E), with water spraying as the control(CK). Concentration gradients were set with pure zinc at 0, 0.1, 0.4, 0.7, and 1.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ and pure selenium at 0, 6, 9, 12, and 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. A foliar spray experiment was conducted on purple potato. The results showed that all four fertilizers increased the number of marketable purple potato and their grade, as well as the yield, while reducing the content of soluble sugar and reducing sugar in the tubers, and enhancing the zinc and selenium content in the tubers. Among the different zinc fertilizer treatments, the optimal application concentration for $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ was 0.4 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, resulting in a yield increase significantly of 18.58%; while for zinc polyol, the optimal concentration was 0.7 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, leading to a yield increase significantly of 69.97%. The zinc content in potato tubers treated with both $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ and zinc polyol reached its peak at an application concentration of 0.7 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, increasing by 71.94% and 32.89% compared with CK, respectively. Among the different selenium fertilizer treatments, the optimal application concentration for EDTA-Se was 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, resulting in a yield increase significantly of 44.36%; while for selenium polyol, the optimal concentration was 9 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, leading to a yield increase significantly of 105.22%. The selenium content in potato tubers treated with EDTA-Se and selenium polyol reached its peak at application concentrations of 12 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and 6 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively,

收稿日期: 2025-08-06; 修回日期: 2025-10-25

基金项目: 2022 年度广西农业科技自筹经费项目(Z202238)

作者简介: 罗永明, 女, 副教授, 主要从事作物栽培与土壤肥料研究。E-mail: 694919714@qq.com

通信作者: 谢恩倍, 女, 高级实验师, 主要从事食用菌及作物遗传育种和栽培研究。E-mail: 269735445@qq.com

which were 17.33 times and 12.67 times higher than that of the control group. Considering both yield and quality indicators, zinc polyol demonstrated better spraying effects than $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, with an optimal concentration of $0.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. Selenium polyol demonstrated significantly better application effects than EDTA-Se, with an optimal concentration of $9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The results of this study provide a theoretical basis for the scientific application of zinc fertilizer and selenium fertilizer in the high-quality and efficient production of potato.

Key words: Potato; Zinc fertilizer; Selenium fertilizer; Yield; Quality

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是全球四大主要粮食作物之一,其产量在全年中仅次于水稻、小麦和玉米^[1]。中国是世界上马铃薯产量最高的国家,特别是在西南山区,种植面积最大,约占全国种植总面积的三分之一^[2]。广西地处亚热带,有丰富的水热条件,山地丘陵多,种植马铃薯具有明显优势,近年来已发展成为中国冬季马铃薯的主产区之一。紫色马铃薯果皮和果肉均为紫色,除了含有普通马铃薯的基本营养成分外,还富含天然水溶性色素——花青素。这种紫色的蔬菜营养丰富,具有增强免疫功能、延缓老化、增强体质、预防癌症、美容以及降低高血压风险等多种健康优势。随着人们健康意识的普及,紫色马铃薯将成为未来粮食作物以及医药行业的重要原料,拥有广阔的产业化开发潜力^[3]。

研究表明,在马铃薯生长阶段适当施用锌等微量元素,不仅加快马铃薯植株的生长,还能提升马铃薯的产量和品质,基施适当量(如 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)或喷施适宜浓度(如 0.4%)的处理效果最佳^[4-7]。糖醇锌比硫酸锌更有利于马铃薯对营养成分的吸收,增产效果更显著^[8-9]。土壤施硒可显著提高马铃薯块茎总硒和有机硒含量,但仅限于在适量情况下对产量和品质有促进作用,过高时抑制马铃薯生长,降低产量和品质^[10]。纳米硒对紫色马铃薯的生长和块茎数量增加有显著促进作用,能提高硒含量和改善块茎的品质特性,施硒还能提高紫色马铃薯块茎的锌、铁、绿原酸、咖啡酸和花青素含量^[11-12]。

上述研究表明,通过在土壤中施用锌肥或采用叶面喷施锌肥的方法,在特定的施用量与浓度范围内,能有效提升马铃薯的产量和品质。在极少量的增施硒肥研究中,硒肥可促进紫色马铃薯生长,提高产量及花色苷和硒含量,有效改善品质,对生产实践具有重要的指导意义。然而,在锌肥种类的选择方面,此类研究大多聚焦于无机锌,对有机锌的探索较为有限;硒肥对马铃薯影响的研究更少,缺少更多的实证案例,尤其在中国南方冬种薯区少有研究。鉴于此,笔者选用一水硫酸锌($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、糖醇锌、EDTA-硒和糖醇硒 4 种肥料在广西南宁开

展研究,采用在紫色马铃薯现蕾期叶面喷施的方法,旨在探索 4 种肥料不同浓度对紫色马铃薯块茎产量和品质的影响,以期为该地区紫色马铃薯推广种植过程中锌肥和硒肥的合理施用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2024 年 11 月至 2025 年 3 月在广西南宁市西乡塘区广西八桂田园农业科技有限公司种植大棚内进行。该地区冬季冷凉无雪,阳光充足,是适宜马铃薯生长的季节。试验地属于黄壤土,前茬作物是番茄,种植前测定土壤耕作层全氮含量(w ,后同) $2.78 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷含量 $218.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $1260 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,锌含量 $190 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,硒含量 $0.87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{pH}=7.41$ 。

1.2 材料

参试的紫色马铃薯品种为黑金刚,由山东三色农业科技发展有限公司提供,植株类型为叶型。试验采用一水硫酸锌 [$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Zn 含量(ρ ,后同) 35%]、糖醇锌(Zn 含量 $\geq 100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,复合糖醇含量 $\geq 100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)、EDTA 螯合硒(Se 含量 $\geq 15\%$)、有机螯合糖醇硒(Se 含量 $\geq 140 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) 4 种肥料,分别来源于山东四海汇农生物科技有限公司、濮阳市中祥巴斯夫生物科技有限公司、山东聚萍科技股份有限公司、联农瑞丰德集团。

1.3 试验设计

采用单因素随机区组试验设计,设置配施清水为对照(CK), $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (A)、糖醇锌(B)、EDTA-硒(D)、糖醇硒(E)为处理,设置锌肥处理组纯锌浓度梯度为 0.1 、 0.4 、 0.7 、 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,分别记作 A1~A4、B1~B4;硒肥处理组纯硒浓度梯度为 6 、 9 、 12 、 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,分别记作 D1~D4、E1~E4;共 17 个处理,每个处理设置 3 个重复,共 51 个小区。每个小区种植面积 3.5 m^2 ,单垄双行种植模式,株行距为 $50 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ 。田间水分管理采用滴灌方式进行灌溉,保证冬季水分充足且稳定均匀。在马铃薯出苗后第 55 天(现蕾期)用手执小型喷雾器进行 1 次叶

面喷施锌肥和硒肥试验,CK 喷施清水,出苗后第 100 天收获。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 产量指标测定 收获时,每个小区随机选取 3 个植株,分别统计单株结薯数及一级薯(≥ 150 g)、二级薯(100~149 g)、三级薯(75~99 g)、小薯(< 75 g,非商品薯)数量,计算商品薯率,其中商品薯质量 ≥ 75 g^[13]。采用感量 0.01 g 天平称量单薯质量,并以此平均单株商品薯质量来评估产量,将其换算成 1 hm² 产量。商品薯率/%=单株商品薯质量/单株块茎总质量 $\times 100$ 。

1.4.2 品质指标测定 于块茎收获时,每个处理各从 3 个重复中各随机选取 1 个块茎共 3 个块茎组成混合样品,送至广西西大检测有限公司进行品质检测。每个混合样品重复测定 2 次,数据取平均值。分别参照《食品安全国家标准》(GB 5009.9—2023、GB 5009.5—2016、GB 5009.7—2016、GB 5009.268—2016、GB 5009.93—2017)食品中各营养元素的测定方法测定淀粉、蛋白质、还原糖、锌和硒含量^[14-18];采用《水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法》(NY/X 2742—2015)测定

可溶性糖含量^[19];采用 pH 示差法测定花色苷含量^[20]。

1.5 数据处理

采用 DPS19.05 专业版数据处理系统软件进行方差分析;采用 WPS 2025 版 Excel 整理试验数据和作图。

2 结果与分析

2.1 不同锌肥喷施处理对紫色马铃薯产量及产量构成的影响

由表 1 可知,在单株薯数方面,除了 A4 处理外,其他锌肥处理与 CK 差异不显著,但 A2、B2、B3 处理相对最多。根据块茎的等级分类,施锌处理的马铃薯在单株一级薯数量上均高于 CK,其中 B3、B2、A1、A2 处理显著高于 CK,B3 处理的效果最为突出;CK 的二级薯数量最多,显著高于 A1 处理,但与其他处理差异不显著;CK、B2 处理的三级薯数量最多,但与其他处理差异不显著;B1 处理的小薯数量最多,显著高于 A4 处理,与其他处理差异不显著。综合以上数据,两种锌肥喷施处理中,B3 处理在结薯性状方面相比其他处理更有优势。

表 1 不同锌喷施处理对紫色马铃薯产量及产量构成的影响

Table 1 Effects of various zinc foliar application treatments on the yield and its constituent factors of purple potato

处理 Treatment	单株薯数 Tuber number per plant	单株一级薯数 Number of grade-one tubers per plant	单株二级薯数 Number of grade-two tubers per plant	单株三级薯数 Number of grade-three tubers per plant	单株小薯数 Number of small-sized tubers per plant	平均单株产量 Average yield per plant/g	单株商品薯率 Marketable tuber rate per plant/%	折合商品薯产量 Estimated marketable tuber yield/(kg·hm ²)
CK	4.67 ab	1.00 d	1.67 a	1.00 a	1.00 ab	658.17 cde	90.34 ab	19 846.89 d
A1	4.00 ab	3.33 ab	0.00 b	0.00 a	0.67 ab	737.46 c	95.13 a	23 308.33 c
A2	5.33 a	2.67 abc	1.33 ab	0.67 a	1.00 ab	722.00 c	98.13 a	23 535.00 c
A3	4.67 ab	2.33 abcd	1.00 ab	0.33 a	1.00 ab	689.82 c	96.09 a	21 892.78 cd
A4	2.67 b	2.33 abcd	0.67 ab	0.00 a	0.00 b	590.41 de	100.00 a	19 680.44 d
B1	4.33 ab	1.33 cd	1.00 ab	0.00 a	2.00 a	566.71 e	81.22 b	15 406.55 e
B2	5.33 a	3.00 ab	0.33 ab	1.00 a	1.00 ab	848.60 b	94.38 a	27 008.11 b
B3	5.33 a	3.67 a	0.67 ab	0.00 a	1.00 ab	1 058.48 a	93.67 a	33 733.67 a
B4	4.67 ab	2.00 bcd	1.33 ab	0.00 a	1.33 ab	674.98 cd	93.36 a	20 601.00 cd

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

从产量特征来看,B3 处理的单株产量最高,显著高于其他处理,较 CK 显著提高 60.82%,其次是 B2 处理,较 CK 显著提高 28.93%。A4 处理的单株商品薯率显著高于 B1 处理,但是由于 A4 处理的薯块数量较少,其产量仍然较低,除 B1 处理外,其他各处理均高于 CK。从折合商品薯产量结果来看,除 A4 和 B1 处理低于 CK 外,其他处理均高于 CK,

其中最高产量的 B3 处理显著高于其他处理,较 CK 显著提高 69.97%,其次是 B2 处理,较 CK 显著提高 36.08%。随着喷施浓度的增加,A、B 两种锌处理的块茎商品薯产量均呈先升高后降低的变化趋势,其中 A 处理的最佳喷施浓度是 0.4 g·L⁻¹ (A2),较 CK 显著增产 18.58%;而 B 处理是 0.7 g·L⁻¹ (B3) 效果最好,较 CK 显著增产 69.97%。

综合各项产量指标数据表明,适当增施锌肥可提高紫色马铃薯商品薯数及其等级、商品薯率和产量。B处理的增产效果优于A处理。

2.2 不同硒肥喷施处理对紫色马铃薯产量及产量构成的影响

由表2可知,在单株结薯性状方面,喷施不同浓度硒肥的处理中,E2处理的单株结薯数显著高于其他处理,其次为E4、E1和E3处理,与CK和其他处理均没有显著差异(D1最低除外)。从块茎分级来看,在单株一级薯数量上,所有施硒处理均高于CK,其中E2、E3、E4、D4处理显著高于CK,其他处理与CK差异不显著;E2处理的二级薯数量显著高于D1、E3和E4处理;E4处理的小薯数量最多,显著高于D4处理,与其他处理差异不显著。综合以上数据,不同硒肥喷施处理中,E2处理在结薯性状

方面的表现优于其他处理。

从产量构成来看,E2处理的单株产量最高且显著高于其他处理,较CK显著提高95.87%,其次是E3处理。D4处理的商品薯率最高且显著高于E1处理,除E1处理外,其他处理的商品薯率均高于CK,但差异不显著。从折合商品薯产量来看,随着硒肥喷施浓度增加,D处理的产量逐渐升高,在D4处理浓度($15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)时取得较好的增产效果,较CK显著提高44.36%;而E处理则表现为先升高后降低的趋势,在E2处理浓度($9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)时产量最高,较CK显著提高105.22%。

由此可见,适当喷施硒肥对紫色马铃薯产量构成因素有积极影响,主要通过提高商品薯数及其等级和商品薯率来提高紫色马铃薯产量。E处理的增产效果明显优于D处理。

表2 不同硒喷施处理对紫色马铃薯产量及产量构成的影响

Table 2 Effects of various selenium foliar application treatments on the yield and its constituent factors of purple potato

处理 Treatment	单株薯数 Tuber number per plant	单株一级薯数 Number of grade-one tubers per plant	单株二级薯数 Number of grade- two tubers per plant	单株三级薯数 Number of grade-three tubers per plant	单株小薯 Number of small-sized tubers per plant	平均单株产量 Average yield per plant/g	单株商品薯率 Marketable tuber rate per plant/%	折合商品薯产量 Estimated marketable tuber yield/(kg·hm ⁻²)
CK	4.67 b	1.00 b	1.67 ab	1.00 a	1.00 ab	658.17 d	90.34 ab	19 846.89 de
D1	2.67 c	2.00 ab	0.00 b	0.33 a	0.33 ab	575.05 d	94.72 ab	18 211.00 e
D2	4.33 bc	2.00 ab	0.33 ab	1.00 a	1.00 ab	666.61 d	96.49 ab	21 385.89 de
D3	3.67 bc	2.33 ab	0.33 ab	0.00 a	0.67 ab	705.14 d	93.53 ab	22 121.67 d
D4	4.00 bc	3.00 a	0.67 ab	0.33 a	0.00 b	859.50 c	100.00 a	28 650.11 c
E1	5.33 b	2.33 ab	1.00 ab	0.67 a	1.33 ab	907.19 c	87.10 b	27 768.67 c
E2	7.67 a	3.33 a	2.00 a	0.67 a	1.67 ab	1 289.15 a	94.64 ab	40 729.78 a
E3	5.33 b	3.33 a	0.00 b	1.00 a	1.00 ab	1 061.79 b	95.76 ab	33 908.11 b
E4	5.67 b	3.00 a	0.00 b	0.67 a	2.00 a	870.58 c	91.87 ab	26 952.44 c

2.3 不同锌肥喷施处理对紫色马铃薯块茎品质的影响

从图1可以看出,随着喷施浓度的增加,A处理块茎中的淀粉含量呈先降低后升高的趋势,但均高于CK。A、B两种锌处理对块茎中蛋白质含量的影响较小,但降低了可溶性糖和还原糖含量。随着浓度增加,A、B两种锌处理对块茎中花色苷含量的影响存在差异,其中A处理在A1浓度时达到峰值,较CK提高45.83%,而B处理的峰值在B3浓度时出现,较CK提高129.17%。B处理与CK相比均提高了块茎花色苷含量,略优于A处理。除B1处理外,A、B两种锌处理均提高了块茎锌含量,而且均随着浓度增加呈先升高后降低的趋势,其中A处理总体上升幅度大于B处理,最佳喷施浓度均为 $0.7\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,块茎锌含量分别是CK的1.72倍和1.33

倍。综合以上数据得出,合理施用锌肥能够有效提升紫色马铃薯品质,其中A处理在提高淀粉和锌含量方面略优于B处理。

2.4 不同硒肥喷施处理对紫色马铃薯块茎品质的影响

由图2可知,不同硒肥喷施处理对紫色马铃薯块茎品质的影响存在差异。与CK相比,除D2处理外,其他处理的块茎淀粉含量均得到提高,其中E4处理最高,较CK提高9.62%。除E1处理的蛋白质含量高于CK外,其他处理均低于CK。所有处理的可溶性糖含量均低于CK,其中D4和E4处理最低,较CK均降低0.11百分点。除E3处理的还原糖含量高于CK外,其他处理均低于CK。随着喷施浓度增加,D、E处理块茎中花色苷含量的变化趋势相反,D处理在D2时最高,较CK提高

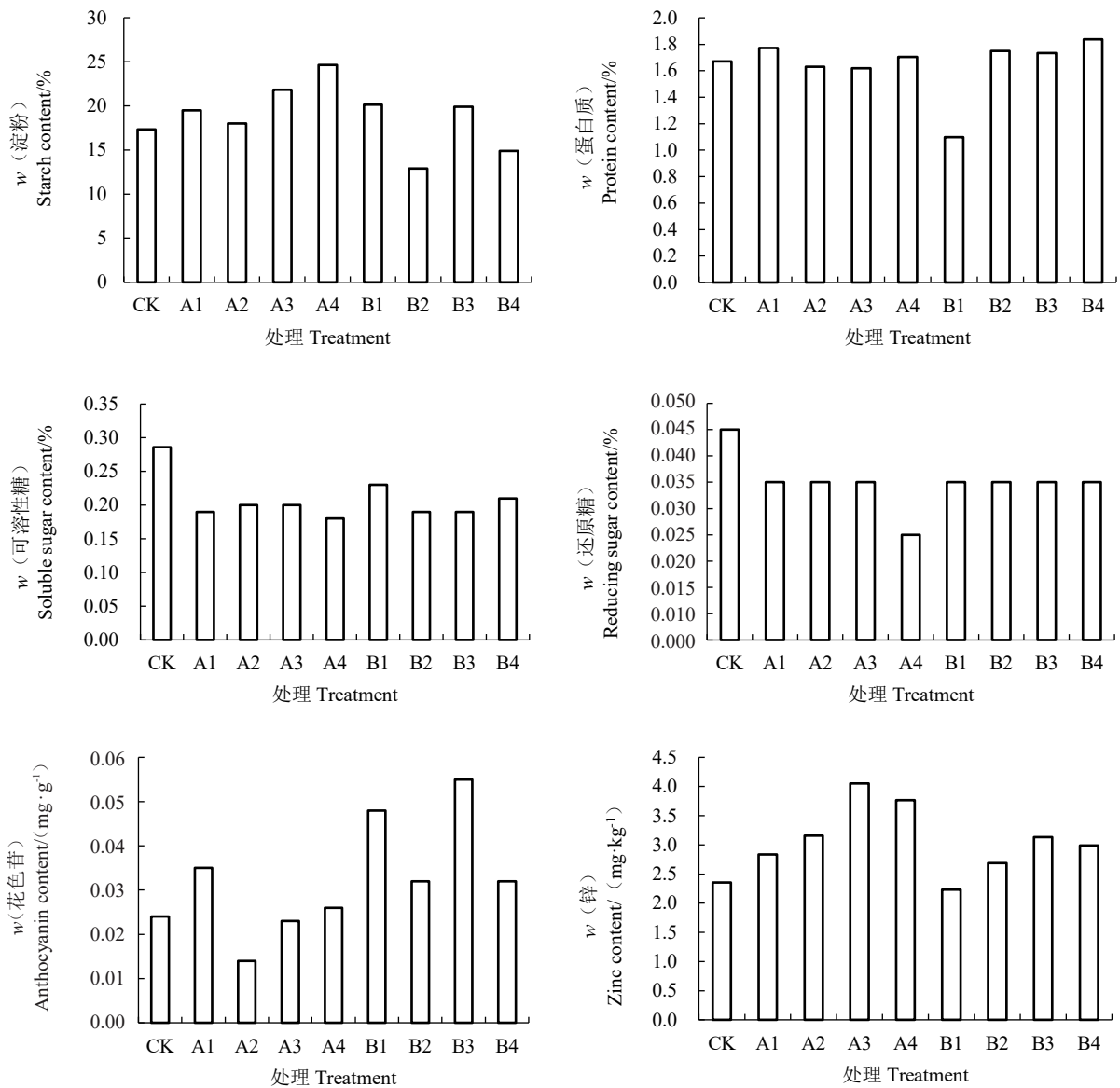


图1 不同锌肥喷施处理对紫色马铃薯块茎品质的影响

Fig. 1 Effects of different zinc fertilizer foliar application treatments on the quality of purple potato tuber

79.17%, E 处理在 E1 时含量最高, 较 CK 提高了 50.00%。所有处理的块茎总硒含量均明显高于 CK, 其中 D 处理中 D3 最高, 总硒含量是 CK 的 17.33 倍; E 处理中 E1 最高, 总硒含量是 CK 的 12.67 倍。由此可见, D 处理比 E 处理更有助于叶片对硒素的吸收和转运, 使块茎富集硒素效果更好。

3 讨论

3.1 叶面喷施不同锌肥对紫色马铃薯结薯性状、产量及品质的影响

本研究显示, 喷施不同类型的锌肥可以不同程度地提高紫色马铃薯的商品薯数及其等级、单株产量、商品薯率以及折合商品薯产量。当 $ZnSO_4 \cdot H_2O$

的喷施浓度为 $0.4 g \cdot L^{-1}$ 时, 单株的薯块数量和总产量较为理想, 而当使用糖醇锌进行处理时, 其最佳喷施浓度为 $0.7 g \cdot L^{-1}$, 此时单株商品薯数以及总产量均高于 $ZnSO_4 \cdot H_2O$ 。说明在适宜浓度下喷施糖醇锌比 $ZnSO_4 \cdot H_2O$ 更能促进植物吸收, 增产效果更优。这与王延明等^[9]、孙小龙等^[21]、唐彩梅等^[22]的研究结果相似。马振勇等^[23]、索海翠等^[24]、惠领领等^[25]研究表明, 施用锌肥对马铃薯的叶绿素含量、根系活力均有显著提升, 施用适量的锌肥对马铃薯叶片的光合作用起到了促进作用, 提高了马铃薯叶片 SPAD 值、叶面积指数, 改善了光合特性, 并且有助于提高马铃薯干物质积累量、产量和锌含量, 但当锌浓度过量时, 降低了马铃薯叶片的光合效率。这

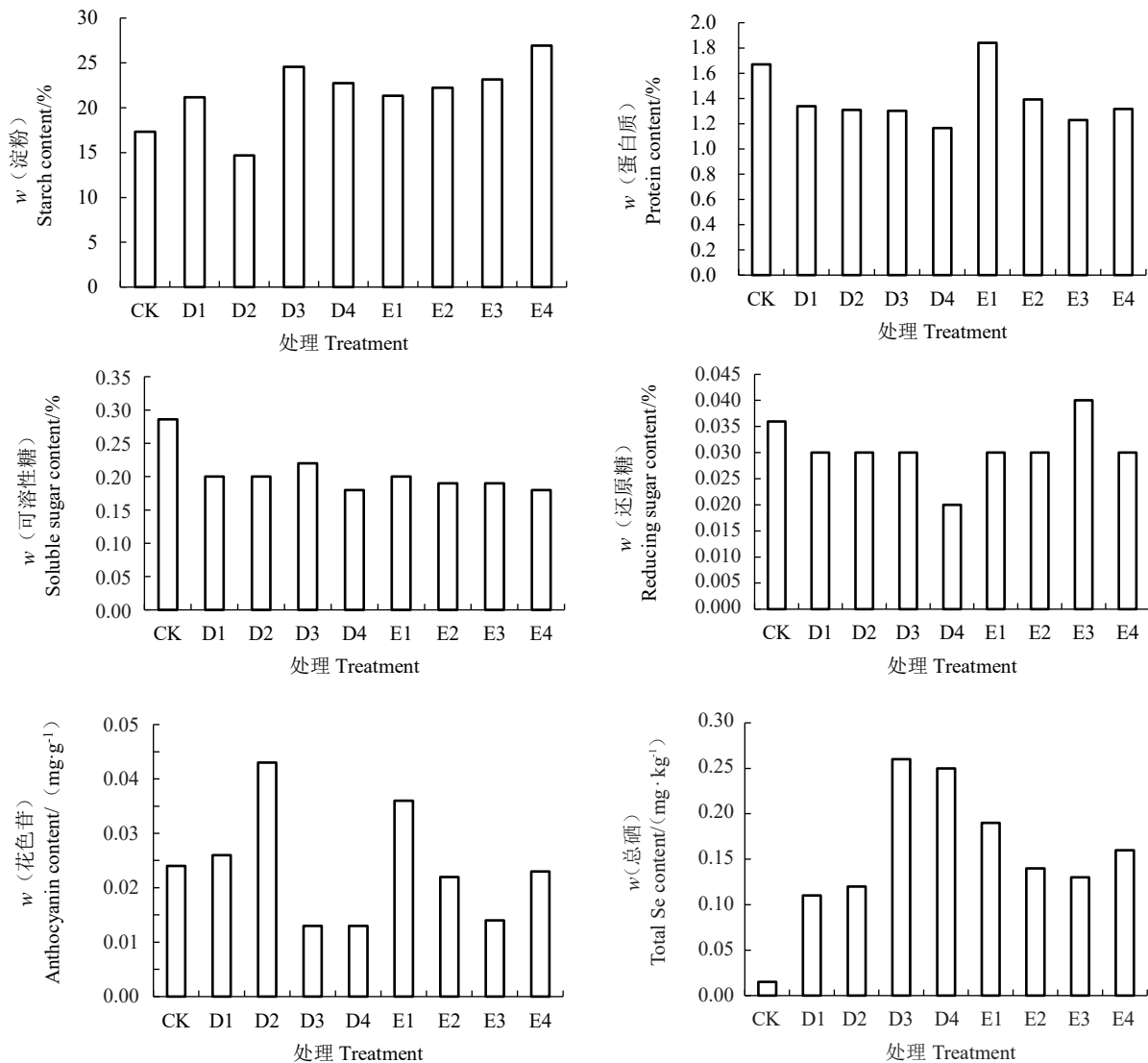


图2 不同硒肥喷施处理对紫色马铃薯块茎品质的影响

Fig. 2 Effects of different selenium fertilizer foliar application treatments on the quality of purple potato tuber

些前人的研究结果为本研究找到锌应用的最优类型和浓度提供了理论依据。在本试验中,糖醇锌在 $0.1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 低浓度时,单株产量低于对照,且小薯数量最多,与前人的研究结果不一致,可能是本试验中低浓度施锌不足以满足马铃薯关键生育期对锌的需求,甚至可能因其“半有效”的生理效应而打乱了植物的正常代谢平衡,最终导致光合产物(碳水化合物)的合成、运输及在块茎中的积累受阻,但这还需要进一步研究证实。

适量喷施锌肥能够提高马铃薯块茎中的淀粉、锌和花色苷含量,降低还原糖和可溶性糖含量。其中,喷施 $\text{ZnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 比糖醇锌更有助于块茎积累锌元素,而喷施糖醇锌则表现出能提升块茎中的花色苷含量,但没有明显规律性。这与马振勇等^[26]采用

浇灌结合喷施进行盆栽试验,发现 ZnSO_4 能够提高马铃薯中的淀粉含量并降低还原糖含量的研究结果一致,但与其能提高可溶性糖含量的结果不一致,可能与试验环境、品种不同有关。

3.2 叶面喷施不同硒肥对紫色马铃薯结薯性状、产量及品质的影响

本研究结果表明,叶面喷施不同硒肥,可以通过提高商品薯数及其等级、商品薯率、单株产量,从而提高紫色马铃薯商品薯产量,与黄思思等^[27]、邢颖等^[28]的研究结果相似。研究表明,EDTA-硒和糖醇硒最高产量的喷施浓度分别为 $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,且喷施糖醇硒处理的增产效果明显优于EDTA-硒处理。研究还显示, $6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ EDTA-硒处理的产量低于对照,可能因为EDTA是一种强力的合成螯合

剂,低浓度不足以发挥硒的有益作用,反而因其独特的化学行为,对马铃薯产生了“亚毒性”胁迫或营养干扰,最终破坏了源-库平衡,导致产量下降,但这还需要进一步研究论证。

研究还发现,施用不同类型的硒肥可以提升块茎中的淀粉含量,但降低了蛋白质、可溶性糖和还原糖含量。喷施不同硒肥各处理均可明显提高块茎总硒含量,均达到广西富硒农产品薯类的硒含量($0.02\sim 0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)要求^[29],但喷施 EDTA-硒比糖醇硒更利于块茎富集硒元素,效果更好。潘丽萍等^[30]研究表明,使用氨基酸螯合硒(即有机硒)作为叶面肥能够有效提升马铃薯块茎中的硒含量,同时还对淀粉、蛋白质和维生素 C 的积累具有促进作用。

4 结 论

适量喷施不同类型锌肥、硒肥能明显提高紫色马铃薯产量。 $\text{ZnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 、糖醇锌喷施浓度分别在 $0.4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.7\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时单株结薯性状和产量表现最佳, $\text{ZnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 浓度为 $0.7\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时锌含量最高,喷施 $\text{ZnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 更有利于块茎积累锌元素。综合产量和品质指标,喷施糖醇锌比 $\text{ZnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 效果好,最佳浓度为 $0.7\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。EDTA-硒、糖醇硒喷施浓度分别为 $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时单株结薯性状和产量性状表现最优,喷施 EDTA-硒更有利于块茎富集硒元素。综合产量和品质指标,喷施糖醇硒的总体效果明显优于 EDTA-硒,最佳浓度为 $9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在广西冬种区富硒土壤环境下,在现蕾期喷施 1 次硒肥,块茎硒含量即可达到广西薯类富硒农产品要求,在生产中不宜过量施用。

参考文献

- [1] 李勤志.中国马铃薯生产的经济分析[D].武汉:华中农业大学,2008.
- [2] 王兰,邓放明,赵艳艳,等.紫色马铃薯保健功效及其利用研究进展[J].中国酿造,2015,34(7):117-120.
- [3] 高文霞.紫色马铃薯营养保健功能及产业化发展研究[J].现代食品,2019(10):95-96.
- [4] 李凯,张国辉,郭志乾,等.叶面喷施铁锌锰微肥对马铃薯生长、品质与产量的影响[J].作物研究,2018,32(1):28-30.
- [5] 吕军,高青青,赵帆,等.叶面喷施锌肥对马铃薯农艺性状、产量及品质的影响[J].陕西农业科学,2021,67(9):5-8.
- [6] 赵永萍,潘丽娟.不同施钾量和施锌量对旱作马铃薯产量的影响[J].西北农业学报,2019,28(9):1492-1498.
- [7] 张自于.冬种马铃薯锌肥施用效果试验[J].现代农业科技,2020(15):70-75.
- [8] 孙小龙.不同锌肥及锌、铁配施对旱作马铃薯产量和营养品质及其形成规律的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
- [9] 王延明,张春红,邱慧珍,等.半干旱雨养条件下不同锌肥对马铃薯‘新大坪’干物质积累和产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2014,49(6):35-40.
- [10] 殷金岩.不同硒肥对马铃薯硒素吸收转化及产量、品质影响的研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [11] 胡万行,石玉,程玉琦,等.纳米硒对紫色马铃薯生长及其矿质元素含量和品质特性的影响[J].西北植物学报,2020,40(2):296-303.
- [12] 姚兰,雷灿,艾训儒.富硒紫色马铃薯多酚类组成及主要微量元素分析[J].食品研究与开发,2016,37(9):1-5.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.马铃薯商品薯分级与检验规程:GB/T 31784-2015[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 食品中淀粉的测定:GB 5009.9-2023[S].北京:中国标准出版社,2023.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中还原糖的测定:GB5009.7-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中多元素的测定:GB5009.268-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中硒的测定:GB 5009.93-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [19] 中华人民共和国农业部.水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法:NY/X 2742-2015[S].北京:中国农业出版社,2015.
- [20] 青海省标准化协会.黑果枸杞及其制品中花青素(花色苷)的含量测定 pH 示差法:T/QAS 075-2022[S].西宁:青海省标准化协会,2022.
- [21] 孙小龙,王延明,张春红,等.不同锌肥对旱作马铃薯植株锌的吸收、积累与分配的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):72-78.
- [22] 唐彩梅,张小静,袁安明,等.滴施 Ca、Zn 肥对马铃薯生长、产量及品质的影响[J].中国瓜菜,2023,36(1):19-25.
- [23] 马振勇,杜虎林,刘荣国,等.施锌肥对马铃薯干物质积累、生理特性及块茎营养品质的影响[J].干旱区资源与环境,2017,31(1):148-153.
- [24] 索海翠,王丽,李成晨,等.叶面施锌对马铃薯叶片光合特性、超微结构及产量的影响[J].热带作物学报,2021,42(7):1963-1970.
- [25] 惠领领,谢军红,李玲玲,等.铁锌肥对陇中旱农区马铃薯光合特性和产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2023,58(2):68-76.
- [26] 马振勇,杜虎林,刘荣国,等.施锌肥对旱作马铃薯植株锌含量及块茎品质的影响[J].华北农学报,2017,32(1):201-207.
- [27] 黄思思,查升,余侃,等.生物有机硒对马铃薯产量及硒含量的影响[J].湖北农业科学,2021,60(23):71-74.
- [28] 邢颖,梁潘霞,廖青,等.有机硒肥对马铃薯硒素利用及产量品质的影响[J].西南农业学报,2017,30(11):2522-2525.
- [29] 广西壮族自治区质量技术监督局.富硒农产品硒含量分类要求:DF45/T 1061-2014[S].南宁:广西壮族自治区质量技术监督局,2014.
- [30] 潘丽萍,邢颖,陈锦平,等.不同硒肥施用模式对冬种马铃薯硒含量、产量及品质的影响[J].南方农业学报,2021,52(5):1215-1221.