

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.202423.0590

叶面喷施硒肥对南瓜果实硒含量、产量及营养品质的影响

肖兴中, 闫 妞, 马朝喜, 赵玉玲, 陈 坤, 卢娇娇, 李秀启, 陈 丽

(河南省济源市农业科学院 河南济源 459002)

摘要: 通过研究不同时期叶面喷施硒肥对南瓜果实硒含量、产量及营养品质的影响, 明确南瓜最适喷施时期和施硒浓度, 以期为富硒南瓜生产提供最佳富硒方案和理论依据。以南瓜品种橄榄贝贝 2 号为试材, 亚硒酸钠为硒源, 设置 3 个喷施时期(伸蔓期+雌花期、伸蔓期+膨果期、雌花期+膨果期)和 4 个浓度水平(0、207、321 和 723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)的叶面喷施试验。结果表明, 与 CK 相比, 喷施硒肥后, 果实硒含量显著提高, 随硒液浓度的增加而升高, 且全部为有机硒; 相同浓度处理的果实硒含量“雌花期+膨果期”>“伸蔓期+膨果期”>“伸蔓期+雌花期”。叶面喷施硒肥不仅可以提高单果质量, 而且不同程度地提高了果肉中 β -胡萝卜素、维生素 C、淀粉、可溶性蛋白、可溶性固形物和可溶性糖的含量, 但对氨基酸含量无显著影响; 对南瓜果实矿质元素含量的影响主要表现在对 Pb、Cd 的富集有抑制作用, 显著提高 Fe、K 的含量, 适宜浓度硒肥处理显著降低 Zn、Cu 含量, 对 Na、Mg、Ca 含量没有影响。通过回归方程计算得出在雌花期和膨果期各喷施一次 1~197 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 亚硒酸钠溶液, 果实硒含量符合富硒标准。

关键词: 南瓜; 硒; 产量; 营养品质; 矿质元素

中图分类号: S642.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)09-081-09

Effects of foliar spraying selenium solution on selenium content, yield and nutrition quality of pumpkin fruit

XIAO Xingzhong, YAN Niu, MA Chaoxi, ZHAO Yuling, CHEN Kun, LU Jiaojiao, LI Xiuqi, CHEN Li
(Henan Jiyuan Academy of Agricultural Sciences, Jiyuan 459002, Henan, China)

Abstract: In order to provide the best selenium enrichment scheme and theoretical basis for the safe production of selenium rich pumpkins, the optimal spraying period and concentration were determined by studying the effects of foliar spraying selenium solution at different stages on the selenium content, yield, quality and mineral element content of the pumpkin fruits. In this paper, Olive Beibei No. 2 was used as the test material and the sodium selenite as the selenium source. Three spraying periods (vines stage+female flowering stage, vines stage+fruit expansion stage, female flowering stage+fruit expansion stage) and four concentration levels (0, 207, 321 and 723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) were set up in the experiment of foliar spraying selenium solution. The results showed that after spraying selenium fertilizer, the selenium content of pumpkin fruits compared with CK increased significantly with the increase of selenium solution concentration and the seleniums in pumpkin fruits were all organic. The selenium contents of pumpkin fruits which treated with the same concentration were "female flowering stage + fruit expansion stage" > "vines stage + fruit expansion stage" > "vines stage + female flowering stage". It was found that spraying selenium solution on pumpkins leaves not only could improve the quality of individual fruits, but also could increase the content of carotene, vitamin C, starch, soluble protein, soluble solids and soluble sugar in pumpkin fruits at different degrees. But there was no significant impact on amino acid content after spraying selenium solution. The impact of spraying selenium solution on the mineral element content of pumpkin fruit manifested in the inhibitory effect on the enrichment of Pb and Cd and the significant increase of the content of Fe and K. The content of Zn and Cu is significantly reduced after applying an appropriate concentration of selenium solution, but the Na, Mg, and Ca content had no change. By regression equations, the selenium content of pumpkin fruits met the selenium enrichment standard after spraying sodium selenite solution at 1-197 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ once in the female flowering stage and fruit expansion stage respectively.

Key words: Pumpkin; Selenium; Yield; Nutrition quality; Mineral element

收稿日期: 2023-09-07; 修回日期: 2023-12-23

基金项目: 河南省大宗蔬菜产业技术体系专项(s2010-03); 河南省农业科学院“四优四化”科技支撑行动计划项目(SYSH20200107007); 济源市科技攻关项目(20021011)

作者简介: 肖兴中, 男, 副研究员, 主要从事农业科技推广与开发工作。E-mail: maqueniu@qq.com

通信作者: 李秀启, 男, 副研究员, 主要从事高效农业及农业产业发展研究工作。E-mail: 13938176372@139.com

陈 丽, 女, 助理研究员, 主要从事农业经济研究。E-mail: chenli8555471@sohu.com

硒是人和动物所必需的微量元素^[1],是构成人体内硒蛋白的重要组成部分^[2],与免疫、衰老、抗氧化等人体机能紧密相关^[3],在修复损伤和改善人体健康等方面有重要作用^[4]。缺硒会导致大骨节病、克山病、心血管病等多种疾病^[5]。而人体自身无法直接合成硒,必须通过食物获取^[6]。我国是一个缺硒大国^[7],很多地区存在不同程度的硒摄入不足,难以维持人体机能的正常运作。有研究表明,低硒或缺硒人群通过适量补硒不仅可以提高机体免疫力,维护心、肝、肺、胃等重要器官的正常功能,而且能够预防肝病、心脑血管疾病的发生^[8]。《中华人民共和国供销合作行业标准 富硒农产品》中规定富硒蔬菜类(以干质量计)硒含量(w,后同)为0.10~1.00 mg·kg⁻¹,硒代氨基酸含量占总硒含量大于65%^[9]。由于无机硒对动物的毒性和低有效性^[10],需要通过植物的转化才能被人体高效利用。经过植物转化的硒主要由高分子硒和以硒代氨基酸及其衍生物形式存在的低分子硒化物等有机硒组成^[11],更容易被人体吸收^[12]。

相关研究表明,施用硒肥不仅可以显著提高西瓜^[13]、脐橙^[14]、番茄^[15]等作物果实中硒的含量,且适量的硒肥还能提高农作物产量和营养品质。目前,富硒栽培技术已广泛应用于各类农作物生产中,而关于富硒南瓜的研究鲜见报道。南瓜在我国栽培历史悠久,从南到北均有种植,富含蛋白质、胡萝卜素、多种维生素、磷、钙等营养成分^[16],深受消费者喜爱。笔者通过南瓜叶面喷施硒肥试验,探索不同浓度与不同时期叶面喷施硒肥对南瓜果实硒含量、产量及营养品质的影响,探讨富硒南瓜安全生产途径,为富硒南瓜生产提供理论依据和技术支持。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2021年3—7月在河南省济源市农业科学院试验地大棚中进行。该地区属暖温带季风气候,年降水量650 mm左右,年平均气温14.3℃,无霜期213.2 d。试验大棚南北走向,面积510 m²(8.5 m×60 m)。棚内土壤pH 7.6,有机质和全氮含量(w,后同)分别为17.2、1.4 g·kg⁻¹,有效磷、速效钾、总硒、Pb、Cd、Cu、Zn含量分别为28.3、239.0、0.36、27.3、0.76、27.3、81.5 mg·kg⁻¹,阳离子交换量为18.1 cmol·kg⁻¹。

1.2 供试材料

南瓜品种为橄榄贝贝2号,由国家蔬菜工程技术研究中心京研益农(寿光)种业科技有限公司提

供;硒肥为南京化学试剂股份有限公司生产的分析纯亚硒酸钠(含量99%)。

1.3 试验设计与方法

采用2因素随机区组设计,设置4个硒液浓度(S)和3个喷施时期组合[P1(伸蔓期+雌花期),P2(雌花期+膨果期),P3(伸蔓期+膨果期)],共12个处理,详见表1,每个处理3次重复。垄上双行,吊蔓种植,行距0.7 m,株距0.6 m,小区面积11.2 m²(4 m×2.8 m)。根据试验设计,在相应的生育期,对南瓜叶面喷施对应处理硒液;施硒时对雌花、膨果期植株的幼瓜用南瓜叶遮盖,避免果实无机硒残留。试验期间各小区管理措施一致。

表1 试验处理

Table 1 Test Treatment

| 处理 Treatment | c(硒液) Selenium concent/ (μmol·L ⁻¹) | 硒肥喷施次数 Selenium fertilizer spraying times | | |
|-----------------|--|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| | | 伸蔓期 Vine extension stage | 雌花期 Female flowering stage | 膨果期 Fruit expansion stage |
| T1 | 0(CK) | 1 | 1 | 0 |
| T2 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| T3 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| T4 | 207 | 1 | 1 | 0 |
| T5 | 207 | 0 | 1 | 1 |
| T6 | 207 | 1 | 0 | 1 |
| T7 | 321 | 1 | 1 | 0 |
| T8 | 321 | 0 | 1 | 1 |
| T9 | 321 | 1 | 0 | 1 |
| T10 | 723 | 1 | 1 | 0 |
| T11 | 723 | 0 | 1 | 1 |
| T12 | 723 | 1 | 0 | 1 |

1.4 测定指标与方法

品质性状指标及矿质元素含量测定均在南瓜采摘贮藏20 d后进行,每个处理的重复中选取2个有代表性的南瓜测定,结果取其平均值。相同指标取样部位一致。

1.4.1 产量及产量相关性状的测定 采收前调查、记录各处理南瓜株数、结瓜数;授粉45 d后采摘,称质量测产。

1.4.2 硒含量的测定 参照《食品安全国家标准 食品中硒的测定》第3法测定总硒含量^[17];参照《稻米中有机硒和无机硒含量的测定 原子荧光光谱法》测定无机硒含量^[18]。有机硒含量为总硒含量减去无机硒含量。

1.4.3 品质性状测定 参照《食品安全国家标准 食品中胡萝卜素的测定》测定β-胡萝卜素含量^[19];参照

《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》测定维生素 C 含量^[20];参照《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》测定淀粉含量^[21];参照《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》测定可溶性蛋白含量^[22];用手持式糖度计(PAL-103,杭州齐威仪器有限公司)测定可溶性固形物含量;采用茚三酮比色法测定氨基酸含量^[23];采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[24]。

1.4.4 矿质元素含量的测定 参照《食品安全国家标准 食品中铅的测定》测定铅(Pb)含量^[25];参照《食品安全国家标准 食品中镉的测定》测定镉(Cd)含量^[26];参照《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》第一篇第一法测定总砷(As)含量^[27];参照《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》第一篇第一法测定总汞(Hg)含量^[28];采用电感耦合等离子体原子发射光谱法测定其他矿质元素(K、Ca、Mg、Na、Fe、Zn、Cu)含量^[29]。

1.5 数据整理与分析

采用 Excel 2016 进行试验数据处理;采用 SPSS 21.0 进行方差分析与回归分析;采用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同浓度硒液和喷施时期对南瓜果实硒含量的影响

在南瓜不同生长时期喷施亚硒酸钠溶液后,果实中未检出无机硒,全部为有机硒,这可能是亚硒酸钠与果实无直接接触、南瓜有机硒转化效率高,抑或无机硒检测方法不适用、无机硒含量小于方法检出限等造成的。

由表 2 可知,“伸蔓期+雌花期”和“伸蔓期+膨果期”处理的南瓜果实硒含量随着施硒浓度的增加呈先升高后降低的变化趋势,“雌花期+膨果期”处理南瓜果实硒含量随着施硒浓度的增加而升高。“伸蔓期+雌花期”各施硒处理与 CK 差异不显著,各施硒处理的南瓜果实硒含量较 CK 分别提高了 1.1、7.8 和 5.4 倍。“雌花期+膨果期”各施硒处理与 CK 均呈显著差异,且 321、723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理与 CK 呈极显著差异,各施硒处理的南瓜果实硒含量较 CK 分别提高了 9.9、13.8 和 39.0 倍。“伸蔓期+膨果期”低浓度处理南瓜果实硒含量与 CK 差异不显著,中高浓度处理与 CK 呈显著差异,各施硒处理的南瓜果实硒含量比 CK 分别提高了 4.1、10.1 和 7.7 倍。

双因素方差分析表明,硒液浓度、喷施时期及“硒液浓度×喷施时期”交互作用对南瓜果实硒含量的影响均达极显著水平。

2.1.1 不同浓度硒液处理对南瓜果实硒含量的影响

由表 2 可知,在不同浓度硒处理下,南瓜果实

表 2 不同处理果实硒含量

Table 2 Selenium content in fruits under different treatments

| c(Na ₂ SeO ₃)/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) | w(硒)Selenium concent/(mg·kg ⁻¹) | | | 平均值 Mean |
|--|---|---------------------|----------------------|---------------------|
| | P1 | P2 | P3 | |
| 0(CK) | 0.008 8±0.000 7 aA | 0.009 5±0.000 9 cC | 0.008 5±0.002 4 cB | 0.008 9±0.001 4 dC |
| 207 | 0.018 7±0.008 6 aA | 0.103 3±0.019 6 bBC | 0.043 3±0.007 8 bcAB | 0.055 1±0.039 4 cBC |
| 321 | 0.077 3±0.106 2 aA | 0.140 3±0.063 6 bB | 0.094 0±0.024 5 aA | 0.103 9±0.069 2 bB |
| 723 | 0.056 0±0.013 8 aA | 0.380 0±0.090 0 aA | 0.074 0±0.028 6 abAB | 0.170 0±0.164 8 aA |
| 平均值 Mean | 0.040 2±0.054 2 bB | 0.153 8±0.150 5 aA | 0.055 0±0.037 6 bB | |

注:同一分析数据后不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same analysis data indicate significant difference among different treatments at 0.05 level, and different capital letters in the same analysis data indicate significant difference among different treatments at 0.01 level.

平均硒含量随着硒液浓度的增加而升高;不同浓度处理呈显著差异,且 321、723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理与 CK 呈极显著差异。说明喷施不同浓度的亚硒酸钠溶液可以显著提高南瓜果实中的硒含量。

2.1.2 不同喷施时期对南瓜果实硒含量的影响 由表 2 可知,南瓜果实中的硒含量“雌花期+膨果期”>“伸蔓期+膨果期”>“伸蔓期+雌花期”,且“雌花期+膨果期”处理与“伸蔓期+雌花期”“伸蔓期+膨果期”处理呈极显著差异。表明在 0~723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓

度范围内,“雌花期+膨果期”喷施亚硒酸钠溶液的效率最高,硒富集效果最好。

2.1.3 富硒南瓜安全生产 参考河北、江西等地相关地方标准^[30-31],新鲜富硒蔬菜的硒含量范围为 0.01~0.10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验中各施硒处理果实硒含量均大于 0.01 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。“伸蔓期+雌花期”和“伸蔓期+膨果期”不同浓度硒液处理(不含 CK)的硒含量均符合富硒蔬菜标准,其中 321 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的硒富集效果最好;“雌花期+膨果期”不同浓度硒液

处理(不含 CK)的硒含量均超过新鲜蔬菜富硒标准上限,分别是其最高上限的 1.03、1.40 和 3.80 倍。

由表 3 可以看出,“雌花期+膨果期”回归方程

的 R^2 值最大,回归系数最大,模型拟合度最高。通过回归方程可以计算出在“雌花期+膨果期”喷施 $1\sim 197 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 亚硒酸钠溶液,其南瓜果实硒含量符合新鲜蔬菜富硒安全标准。

表 3 不同喷施时期的回归模型

Table 3 Regression models for different spraying periods

| 时期 Stage | 回归方程 Regression equation | R^2 | F | p |
|-------------|--|-------|--------|-------|
| P1 | $y=0.011+1.003x$ | 0.480 | 9.228 | 0.013 |
| P2 | $y=9.47\times 10^{-3}+6.22\times 10^{-4}x-1.08\times 10^{-6}x^2+1.28\times 10^{-9}x^3$ | 0.899 | 23.840 | 0.000 |
| P3 | $y=8.5\times 10^{-3}-1.77\times 10^{-4}x+2.19\times 10^{-6}x^2-2.51\times 10^{-9}x^3$ | 0.809 | 11.269 | 0.003 |

2.2 不同处理对南瓜产量及产量要素的影响

由表 4 可知,叶面喷施不同浓度亚硒酸钠溶液,可不同程度提高南瓜单果质量、单株果数及产量。不同喷施时期硒处理结果表明,不同浓度硒液处理对单株果数无显著影响,但 207、321、723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理比 CK 分别提高 5.82%、8.99% 和 2.65%;207、723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的单果质量较 CK 分别显著提高 11.23% 和 11.76%,与 321 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理差异不显著;207 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的产量和单株产量较 CK 分别显著提高 18.46% 和 18.41%。以上结果

说明喷施不同浓度硒液可不同程度地提高南瓜产量,207 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的硒液增产效果最为显著。

方差分析结果表明(表 5),硒液浓度、喷施时期及“硒液浓度 \times 喷施时期”交互作用对南瓜单果质量、单株果数和产量均无显著影响。

2.3 不同处理对南瓜果实品质性状的影响

不同喷施时期硒处理结果表明(表 6),与 CK 相比,不同浓度硒液处理均可显著提高果实的 β -胡萝卜素、维生素 C、可溶性蛋白和可溶性糖含量,而对氨基酸含量无显著影响。321、723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硒液处

表 4 不同处理对南瓜产量及构成要素的影响

Table 4 Effects of different treatments on pumpkin yield and yield components

| 处理 Treatment | 单果质量 Mass per fruit/kg | 单株果数 Fruit number per plant | 单株产量 Yield per plant/kg | 产量 Yield/(kg·hm ²) |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| T1 | 1.84±0.04 a | 1.78±0.19 a | 3.28±0.30 a | 78 042.83±7 095.56 a |
| T2 | 1.93±0.03 a | 1.95±0.15 a | 3.77±0.23 a | 89 860.53±5 603.30 a |
| T3 | 1.84±0.05 a | 1.92±0.04 a | 3.53±0.05 a | 84 082.64±1 245.76 a |
| Mean | 1.87±0.06 bA | 1.89±0.14 aA | 3.53±0.29 bA | 83 995.33±6 856.69 bA |
| T4 | 2.04±0.25 a | 1.99±0.09 a | 4.07±0.58 a | 96 929.71±13 786.61 a |
| T5 | 2.16±0.24 a | 2.12±0.26 a | 4.61±0.99 a | 109 842.67±23 650.91 a |
| T6 | 2.03±0.16 a | 1.89±0.36 a | 3.85±0.87 a | 91 720.09±20 833.39 a |
| Mean | 2.08±0.20 aA | 2.00±0.24 aA | 4.18±0.80 aA | 99 497.49±19 004.10 aA |
| T7 | 1.96±0.13 a | 1.91±0.26 a | 3.73±0.29 a | 88 958.92±6 974.24 a |
| T8 | 2.00±0.21 a | 2.14±0.19 a | 4.31±0.84 a | 102 559.99±20 178.76 a |
| T9 | 1.95±0.16 a | 2.12±0.25 a | 4.13±0.56 a | 98 296.41±13 241.53 a |
| Mean | 1.97±0.15 abA | 2.06±0.23 aA | 4.06±0.59 abA | 96 605.11±13 931.42 abA |
| T10 | 2.12±0.14 a | 1.93±0.15 a | 4.08±0.06 a | 97 247.98±1 452.67 a |
| T11 | 2.13±0.31 a | 1.93±0.25 a | 4.10±0.70 a | 97 716.24±16 773.33 a |
| T12 | 2.03±0.03 a | 1.97±0.15 a | 4.00±0.36 a | 95 271.75±8 515.11 a |
| Mean | 2.09±0.18 aA | 1.94±0.17 aA | 4.06±0.40 abA | 96 745.32±9 500.16 abA |

注:同一列不同小写字母表示同一浓度不同喷施时期处理在 0.05 水平差异显著;同一列不同大小写字母表示不同喷施时期处理下硒处理的均值在 0.01、0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among the same concentration and different spraying periods at 0.05 level; Different capital and small letters in the same column indicate significant difference among the means of different spraying periods at 0.01 and 0.05 level. The same below.

表5 浓度、喷施时期及其交互作用对南瓜产量及构成要素的方差分析(*F*值)

Table 5 Analysis of variance (*F*-value) of concentration, spraying period, and their interaction on pumpkin yield and constituent elements

| 因素 Factor | 单果质量 Single fruit mass | 单株果数 Fruit number of single plant | 单株产量 Yield per plant | 产量 Yield |
|-----------|------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|
| S | 3.039 | 1.044 | 2.190 | 2.187 |
| P | 0.892 | 1.084 | 1.588 | 1.583 |
| S×P | 0.080 | 0.432 | 0.342 | 0.341 |

注: *、**分别表示在 0.05、0.01 水平上差异显著。下同。

Note: * indicates significant difference at 0.05 level; ** indicates significant difference at 0.01 level. The same below.

表6 不同处理对南瓜果实品质性状的影响

Table 6 Effects of different treatments on the quality characters of pumpkin fruit

| 处理 Treatment | w(β-胡萝卜素) Beta-carotene content / (mg · 100 g ⁻¹) | w(维生素 C) Vitamin C content/ (mg · 100 g ⁻¹) | w(淀粉) Starch content/ % | w(可溶性蛋白) Soluble protein content/% | w(可溶性固形物) Soluble solid content/% | w(氨基酸) Amino acid content/% | w(可溶性糖) Soluble sugar content/% |
|--------------|---|---|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| T1 | 0.67±0.05 b | 24.46±4.38 a | 2.76±0.50 a | 0.30±0.03 b | 12.44±0.84 a | 0.52±0.06 a | 4.36±0.57 a |
| T2 | 0.97±0.08 a | 19.20±1.00 a | 2.65±0.65 a | 0.44±0.04 a | 10.29±0.56 b | 0.53±0.08 a | 4.28±1.09 a |
| T3 | 0.68±0.04 b | 21.69±2.24 a | 3.03±1.04 a | 0.32±0.03 b | 11.60±0.87 a | 0.54±0.08 a | 4.42±0.19 a |
| Mean | 0.77±0.15 bB | 21.78±3.39 cB | 2.81±0.68 bB | 0.35±0.07 cB | 11.44±1.15 bB | 0.53±0.06 aA | 4.35±0.63 bB |
| T4 | 0.92±0.08 a | 31.01±6.60 a | 2.72±0.76 a | 0.54±0.07 ab | 11.27±0.15 b | 0.57±0.12 a | 5.72±0.10 a |
| T5 | 1.42±0.34 a | 21.71±2.16 a | 3.92±0.78 a | 0.73±0.17 a | 12.83±1.16 a | 0.53±0.06 a | 5.46±0.79 a |
| T6 | 0.71±0.19 a | 28.31±1.59 a | 2.58±0.50 a | 0.39±0.07 b | 11.77±0.55 ab | 0.57±0.12 a | 5.53±1.43 a |
| Mean | 1.02±0.37 aAB | 27.01±5.46 bB | 3.07±0.88 bB | 0.55±0.18 bB | 11.95±0.95 bB | 0.55±0.09 aA | 5.57±0.83 aAB |
| T7 | 0.94±0.15 b | 24.82±3.16 a | 4.40±1.31 a | 0.59±0.14 a | 12.47±0.85 a | 0.60±0.12 a | 5.68±0.66 a |
| T8 | 1.47±0.29 a | 23.91±4.20 a | 5.74±1.32 a | 0.93±0.21 a | 14.07±0.72 a | 0.65±0.07 a | 5.83±0.57 a |
| T9 | 0.80±0.19 b | 31.52±7.11 a | 4.64±1.02 a | 0.80±0.18 a | 13.63±0.32 a | 0.47±0.04 a | 6.07±0.74 a |
| Mean | 1.07±0.36 aA | 26.75±5.70 bB | 4.93±1.23 aA | 0.77±0.21 aA | 13.39±0.92 aA | 0.57±0.11 aA | 5.86±0.60 aA |
| T10 | 0.97±0.22 b | 36.50±3.42 a | 3.77±0.75 b | 0.51±0.17 b | 12.66±1.04 a | 0.47±0.19 a | 4.79±0.56 a |
| T11 | 1.50±0.21 a | 27.63±5.84 b | 6.17±0.44 a | 1.07±0.29 a | 15.27±0.86 a | 0.45±0.07 a | 6.51±1.56 a |
| T12 | 0.82±0.22 b | 37.12±1.81 a | 4.32±0.70 b | 0.65±0.10 ab | 13.60±1.20 a | 0.55±0.13 a | 6.00±1.65 a |
| Mean | 1.10±0.36 aA | 33.75±5.78 aA | 4.75±1.22 aA | 0.74±0.31 aAB | 13.84±1.46 aA | 0.49±0.13 aA | 5.77±1.40 aA |

理的淀粉和可溶性固形物含量均显著高于 CK, 207 μmol · L⁻¹ 处理的淀粉和可溶性固形物含量均与 CK 差异不显著。

方差分析结果表明(表 7), 硒液浓度对 β-胡萝卜素和可溶性糖含量有显著影响, 对维生素 C、淀粉、可溶性蛋白及可溶性固形物含量的影响达极显著水平; 对氨基酸含量的影响不显著。喷施时期对 β-胡萝卜素、维生素 C、淀粉和可溶性蛋白含量有极

显著影响, 对可溶性固形物含量影响显著, 对氨基酸和可溶性糖含量影响不显著。“硒液浓度×喷施时期”交互作用仅对可溶性固形物含量有极显著影响, 对其他品质性状影响不显著。

2.4 不同处理对南瓜果实矿质元素含量的影响

2.4.1 不同处理对南瓜果实铅、镉等有害重金属含量的影响 由表 8 可知, 所有处理均未检测出 Hg 和 As; 不同喷施时期硒处理结果表明, CK 的

表7 浓度、喷施时期及其交互作用对南瓜果实品质性状影响的方差分析(*F*值)

Table 7 Analysis of variance (*F*-value) of the effects of concentration, spraying period, and their interaction on pumpkin fruit quality traits

| 因素 Factor | β-胡萝卜素含量 Beta-carotene content | 维生素 C 含量 Vitamin C content | 淀粉含量 Starch content | 可溶性蛋白含量 Soluble protein content | 可溶性固形物含量 Soluble solid content | 氨基酸含量 Amino acid content | 可溶性糖含量 Soluble sugar content |
|-----------|--------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| S | 4.805* | 12.636** | 13.473** | 14.275** | 18.073** | 1.045 | 4.453* |
| P | 27.542** | 9.316** | 6.068** | 13.958** | 3.791* | 0.022 | 0.567 |
| S×P | 0.739 | 1.272 | 1.274 | 1.801 | 5.296** | 1.118 | 0.660 |

表8 不同处理对南瓜果实 Pb、Cd 等重金属含量的影响
Table 8 Effects of different treatments on the content of Pb, Cd and other heavy metals in pumpkin fruits

| 处理 Treatment | (mg·kg ⁻¹) | | | |
|-----------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | w(铅) Pb content | w(镉) Cd content | w(汞) Hg content | w(砷) As content |
| T1 | 0.050 0±0.000 0 b | - | - | - |
| T2 | 0.100 0±0.020 0 a | 0.003 3±0.005 8 a | - | - |
| T3 | 0.076 7±0.015 3 a | 0.006 7±0.005 8 a | - | - |
| Mean | 0.075 6±0.025 1 aA | 0.003 5±0.001 9 | - | - |
| T4 | - | - | - | - |
| T5 | - | - | - | - |
| T6 | 0.030 0±0.026 5 a | - | - | - |
| Mean | 0.010 0±0.020 0 bB | - | - | - |
| T7 | - | - | - | - |
| T8 | - | - | - | - |
| T9 | - | - | - | - |
| Mean | - | - | - | - |
| T10 | - | - | - | - |
| T11 | - | - | - | - |
| T12 | - | - | - | - |
| Mean | - | - | - | - |

注:-表示未检出(小于方法检出限)。

Note: - indicates heavy metal cannot be determined under this detection method.

Pb、Cd 含量分别为 0.075 6 和 0.003 5 mg·kg⁻¹, 321 和 723 μmol·L⁻¹ 处理均未检测出 Pb、Cd; 207 μmol·L⁻¹ 处理也未检测出 Cd, Pb 的含量为

0.010 0 mg·kg⁻¹, 显著低于 CK。以上结果表明不同浓度硒液处理对南瓜果实 Pb、Cd 的富集有抑制作用。

方差分析结果表明(表 9), 硒液浓度对 Pb、Cd 含量均有极显著影响; 喷施时期和“硒液浓度×喷施时期”交互作用仅对 Pb 含量有显著影响, 对 Cd 含量影响不显著。

表9 浓度、喷施时期及其交互作用对南瓜果实 Pb、Cd 等重金属含量影响的方差分析(F 值)

Table 9 Analysis of variance (F-value) of the effects of concentration, spraying period, and their interaction on the content of heavy metals such as Pb and Cd in pumpkin fruits

| 因素 Factor | 铅含量 Pb content | 镉含量 Cd content | 汞含量 Hg content | 砷含量 As content |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| S | 102.531** | 31.934** | - | - |
| P | 6.180** | 1.101 | - | - |
| S×P | 5.894** | 1.101 | - | - |

2.4.2 不同处理对南瓜果实其他矿质元素含量的影响 由表 10 可知, 南瓜果实中的矿质元素含量 K>Ca>Mg>Na>Fe>Zn>Cu; 不同喷施时期硒处理结果表明, 与 CK 相比, 喷施不同浓度硒液可以显著提高南瓜果实中 Fe、K 的含量, 且适宜浓度可降低 Zn、Cu 的含量。不同浓度硒液处理的 Zn 含量存在差异, 207、723 μmol·L⁻¹ 处理较 CK 显著降低; 321 μmol·L⁻¹ 处理与 CK 差异不显著。207、321 μmol·L⁻¹ 硒液处理 Cu 含量较 CK 显著降低; 723 μmol·L⁻¹ 处理与 CK 差异不显著。207、

表10 不同处理对南瓜果实矿质元素含量的影响

Table 10 Effects of different treatments on the contents of mineral elements in pumpkin fruits (mg·kg⁻¹)

| 处理 Treatment | w(锌) Zn content | w(铜) Cu content | w(铁) Fe content | w(镁) Mg content | w(钠) Na content | w(钙) Ca content | w(钾) K content |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| T1 | 6.18±0.48 a | 2.27±0.33 a | 48.39±2.57 a | 140.50±31.95 a | 122.97±6.54 a | 329.83±10.96 a | 2 033.33±222.10 a |
| T2 | 7.56±0.60 a | 2.40±0.66 a | 44.82±10.22 a | 117.53±9.14 a | 94.32±14.96 ab | 272.07±42.77 a | 2 205.00±183.61 a |
| T3 | 6.89±1.13 a | 1.98±0.09 a | 48.06±5.24 a | 141.00±23.54 a | 91.77±10.73 b | 363.90±117.64 a | 1 936.67±124.80 a |
| Mean | 6.88±0.91 aA | 2.22±0.42 aA | 47.09±6.13 bB | 133.01±23.44 aA | 103.02±17.91 aA | 321.93±74.59 aA | 2 058.33±196.23 bA |
| T4 | 4.19±1.52 a | 1.99±0.61 a | 54.87±5.22 a | 130.90±21.65 a | 104.00±20.80 a | 289.83±87.12a b | 2 307.00±85.42 ab |
| T5 | 4.60±0.78 a | 1.67±0.25 a | 60.42±3.02 a | 131.17±19.86 a | 105.23±13.10 a | 240.37±10.88 b | 2 137.33±202.08 b |
| T6 | 5.86±1.77 a | 1.99±0.16 a | 54.82±1.61 a | 137.70±36.16 a | 94.23±22.84 a | 358.53±35.56 a | 2 316.33±148.14 a |
| Mean | 4.88±1.44 bB | 1.89±0.37 bAB | 56.70±4.18 aA | 133.26±23.53 aA | 101.16±17.57 aA | 296.24±69.89 aA | 2 253.56±158.53 aA |
| T7 | 5.68±1.72 a | 1.84±0.22 a | 56.10±5.91 a | 110.23±18.90 a | 105.93±15.79 a | 364.03±195.75 a | 2 275.00±341.86 a |
| T8 | 5.10±1.02 a | 1.57±0.14 a | 60.81±5.28 a | 122.57±31.77 a | 113.60±24.53 a | 385.27±179.60 a | 2 326.33±288.90 a |
| T9 | 6.92±1.40 a | 1.75±0.23 a | 54.74±10.11 a | 131.67±24.05 a | 100.20±12.31 a | 327.93±132.76 a | 2 243.33±129.07 a |
| Mean | 5.90±1.46 abAB | 1.72±0.21 bB | 57.21±6.99 aA | 121.49±23.94 aA | 106.58±16.87 aA | 359.08±150.60 aA | 2 281.56±235.72 aA |
| T10 | 5.06±1.07 a | 2.06±0.39 a | 57.44±3.99 a | 116.77±13.92 a | 105.23±11.36 a | 290.27±130.53 a | 2 450.67±124.13 a |
| T11 | 5.07±1.44 a | 1.82±0.23 a | 61.27±4.04 a | 111.83±24.02 a | 107.03±27.25 a | 382.87±146.83 a | 2 302.33±266.94 a |
| T12 | 5.95±0.50 a | 2.01±0.18 a | 57.67±6.12 a | 121.70±11.61 a | 102.94±19.56 a | 349.43±197.21 a | 2 214.33±188.23 a |
| Mean | 5.36±1.03 bAB | 1.97±0.27 abAB | 58.79±4.57 aA | 116.77±15.64 aA | 105.07±17.80 aA | 340.86±144.99 aA | 2 322.44±203.04 aA |

321、723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理 Fe 含量较 CK 极显著提高。K 含量随硒液浓度的增加而提高,各施硒处理与 CK 呈显著差异。各处理间 Mg、Na 和 Ca 含量差

异不显著。

方差分析结果表明(表 11),硒液浓度对 Zn、Cu 的含量有显著影响,对 Fe 含量的影响达极显著水

表 11 浓度、喷施时期及其交互作用对南瓜果实矿质元素含量影响的方差分析(*F* 值)

Table 11 Analysis of variance (*F*-value) of the effects of concentration, spraying period, and their interaction on the content of mineral elements in pumpkin fruits

| 因素 Factor | 锌含量 Zn content | 铜含量 Cu content | 铁含量 Fe content | 镁含量 Mg content | 钠含量 Na content | 钙含量 Ca content | 钾含量 K content |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| S | 4.475* | 4.162* | 6.832** | 1.050 | 0.150 | 0.382 | 3.000 |
| P | 2.770 | 1.032 | 0.866 | 0.794 | 1.366 | 0.221 | 0.616 |
| S×P | 0.678 | 0.926 | 0.491 | 0.300 | 0.688 | 0.438 | 0.878 |

平,对 Mg、Na、Ca 和 K 等矿质元素含量的影响均不显著;喷施时期和“硒液浓度×喷施时期”交互作用对矿质元素含量均无显著影响。

3 讨论与结论

3.1 硒肥施用对农作物果实硒含量的影响

植物可将无机硒大部分转化为有机硒,其结果与硒液浓度、喷施次数和作物种类密切相关^[14];施用硒肥可以显著提高农作物果实的硒含量,并随硒液浓度或施用量的增加而提高^[13-15,32,33],与本研究结果一致。相关富硒试验的施硒时期大都集中在开花期至坐果期^[15,33-34],与本试验研究结果一致(膨果期富硒效率最高),表明硒元素在开花期至挂果期的转运、积累及有效利用率最高。这可能与植物在生殖生长阶段大量营养元素快速向果实聚集有关。而挂果期施用无机硒,应充分考虑采摘安全间隔期,减少无机硒残留。

李圣男等^[34]对富硒玉米相关文献统计分析表明,仅有 11.5% 的产品符合富硒标准,44.2% 的样本超标。在笔者的研究中,“伸蔓期+膨果期”和“伸蔓期+雌花期”不同浓度硒液处理(不含 CK)的南瓜果实硒含量均在富硒蔬菜相关标准(0.01~0.10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)范围之内;而“雌花期+膨果期”各处理(不含 CK)的果实硒含量均超过 0.10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。因此,富硒农产品生产需提前做好相关试验研究,严格控制硒的施用量,保障食品安全。

3.2 施硒对农作物产量及产量构成要素的影响

大量研究表明,合理施硒可以促进植物生长,提高其产量,而过量施硒则对作物有毒害作用,抑制生长,甚至死亡;西瓜、黄瓜、马铃薯等作物产量随施硒量的增加呈先升后降的趋势^[13,32,35-36],与本试验的研究结果基本一致。

在本试验中,施硒处理的南瓜单果质量较 CK

有显著提高;207 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理增产效果最为显著,321 和 723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理则与 207 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理相比有下降趋势;单株果数较 CK 有上升趋势,但差异不显著,可能与保护地栽培可人为控制有关。而戚霄晨等^[37]、刘群龙等^[38]认为樱桃和梨的单果质量随硒液浓度的增加不断提高;杨丹等^[39]、李鸣凤等^[40]则认为施硒对马铃薯、小麦等作物的产量无影响。以上研究结果的差异可能是由作物种类、品种基因型及试验环境等不同造成的。

3.3 施硒对农作物果实品质性状的影响

施硒可以改善农产品的品质^[37],可能与硒蛋白参与调节各种生理活动,提高植物体内叶绿素含量,提高光合效率^[14],促进有机物的合成有关。施硒可以提高马铃薯、苹果等^[33,35,37,41]果实中的维生素 C 含量,对苹果^[41]和番茄^[42]果实中可溶性糖含量的提高也有促进作用;而李乐等^[36]研究表明,低浓度(0.25~1 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)和高浓度(80 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)硒液处理的番茄维生素 C 含量与 CK 差异不显著;高浓度处理的可溶性糖含量与 CK 无显著差异。施用外源硒可提高苹果果实中可溶性固形物含量^[41],而对甜樱桃^[37]和杧果^[33]无显著影响。马铃薯施用高钙型富硒有机肥和氨基酸螯合硒叶面肥,可提高块茎的淀粉和蛋白质含量^[35];西瓜合理施硒可以提高果实中可溶性蛋白和可溶性固形物含量^[13]。

在笔者的试验中,南瓜喷施不同浓度硒液,果实中的 β -胡萝卜素、维生素 C、可溶性蛋白和可溶性糖含量均较 CK 有显著提高;中高浓度处理的淀粉、可溶性固形物含量较 CK 有显著提高;氨基酸含量各处理间无显著差异。这与前人的研究结果略有差异,可能是由作物种类、试验地土壤理化性质、硒肥种类等不同造成的。

3.4 施硒对农作物果实矿质元素含量的影响

3.4.1 施硒对农作物果实 Pb、Cd 等有害重金属含

量的影响 戚霄晨等^[37]研究认为,喷施不同浓度亚硒酸钠溶液可显著降低甜樱桃果实中的 Pb 含量;不同程度地降低 Cd 含量。这与本试验的研究结果一致。

3.4.2 施硒对农作物果实 Zn、Cu、Fe 等矿质元素含量的影响 陈蓉等^[14]和龚天芝等^[43]认为,喷施亚硒酸钠可不同程度地提高脐橙和核桃仁中的 Zn 含量;而秦玉燕等^[33]则认为杧果中的 Zn 含量随硒液浓度的增加而降低;也有研究认为,土施高浓度硒液促进番茄果实中 Zn 的积累,低浓度处理则有抑制作用^[36]。适宜浓度硒处理可以显著提高脐橙和番茄果实中的 Cu 含量;低浓度对番茄果实 Cu 含量无影响^[14,36]。施硒可以提高脐橙和番茄中 Fe、Mg 的含量^[14,36];对杧果和核桃仁无影响^[33,43]。不同作物施硒对 Ca 含量的影响,研究结果大相径庭,可显著降低杧果和核桃仁中的 Ca 含量^[33,43];显著提高番茄果实的 Ca 含量^[36]。适宜的施硒量或硒液浓度可以显著提高农作物果实中 K 的含量^[6,14,33,43]。低浓度亚硒酸钠溶液抑制番茄果实对 Na 的富集,而高浓度则有促进作用^[36]。

本研究结果表明,与 CK 相比,叶面喷施 207~723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 亚硒酸钠溶液可以显著提高南瓜果实中 Fe 和 K 的含量;适宜浓度降低 Zn、Cu 含量;对 Mg、Na、Ca 含量影响不显著。

植物吸收矿质元素的能力极为复杂,主要通过根和叶片的原生质膜吸收矿物质养分,对养分的吸收、运输和利用都属基因型^[44],各元素间可能存在相互促进或抑制作用。施硒对农作物矿质元素含量的影响在不同作物上表现不同,其具体机制尚未明确,有待进一步深入研究。

综上所述,与 CK 相比,南瓜叶面喷施 207~723 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 亚硒酸钠溶液后,果实中平均硒含量显著提高,且全部为有机硒,随硒液浓度的增加而升高;“雌花期+膨果期”施硒,果实硒的富集效率最高,此时期喷施 1~197 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 亚硒酸钠溶液,果实硒含量符合新鲜蔬菜富硒标准。与 CK 相比,喷施硒液后,不仅可以提高南瓜产量,而且显著提高果实中的 β -胡萝卜素、维生素 C、可溶性蛋白、可溶性糖及 Fe、K 的含量,抑制果实中 Pb、Cd 的富集,提高果实品质。

参考文献

- [1] 王夔. 生命科学中的微量元素(上)[M]. 北京: 计量出版社, 1992.
- [2] 方媛, 张碟, 蔡杰, 等. 硒蛋白的提取方法及生理功能研究进展[J]. 食品科技, 2021, 46(12): 1-7.
- [3] 周贵海. 生物微量元素: 硒[J]. 化学世界, 2000(1): 54-55.
- [4] LIU N N, WANG M, ZHOU F, et al. Selenium bioavailability in soil-wheat system and its dominant influential factors; A field study in Shaanxi province, China[J]. Science of the Total Environment, 2021, 770: 144664.
- [5] 洪善扬, 于维汉, 杜晓阳, 等. 西藏地区克山病等三大地方病初步考察报告: 发病调查及克山病区、非病区硒含量对比分析[J]. 西安交通大学学报(医学版), 1980(1): 65-76.
- [6] SIGRIST M, BRUSA L, CAMPAGNOLI D, et al. Determination of selenium in selected food samples from argentina and estimation of their contribution to the se dietary intake[J]. Food Chemistry, 2012, 134(4): 1932-1937.
- [7] 李海蓉, 杨林生, 谭见安, 等. 我国地理环境硒缺乏与健康研究进展[J]. 生物技术进展, 2017, 7(5): 381-386.
- [8] 梅紫青, 屈锡泰, 王放虎, 等. 硒对人体的生物医学功效[J]. 杨凌职业技术学院报, 2003, 2(2): 46-49.
- [9] 中华全国供销合作总社. 中华人民共和国供销合作行业标准富硒农产品: GH/T 1135-2017[S]. 北京: 中华全国供销合作总社, 2017.
- [10] 王华朗. 硒的营养[J]. 兽药饲料添加剂, 1997(5): 6-8.
- [11] 程建中, 杨萍, 桂仁意. 植物硒形态分析的研究综述[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(2): 288-295.
- [12] 王若军. 硒 Se 的故事: 燎原之火是蔓延的野火还是可控之火焰?[J]. 国外畜牧学(饲料), 1999(3): 18-21.
- [13] 康利允, 李晓慧, 高宁宁, 等. 土壤增施硒肥对西瓜产量、品质及养分吸收的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2022, 53(1): 16-23.
- [14] 陈蓉, 姚锋先, 杨忠兰, 等. 叶面硒生物营养强化对脐橙果实品质和元素积累的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(19): 143-149.
- [15] 刘浩, 庞婕, 李欢欢, 等. 叶面喷施硒与土壤水分耦合对番茄产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(22): 4433-4444.
- [16] 肖兴中, 闫妞, 赵玉玲, 等. 济源早春大棚富硒南瓜绿色高效栽培技术[J]. 园艺与种苗, 2022, 42(8): 10-11.
- [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 食品中硒的测定: GB 5009.93-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [18] 杭州市质量技术监督局. 稻米中有机硒和无机硒含量的测定 原子荧光光谱法: DB 3301/T 117-2007[S]. 杭州: 杭州质量技术监督局, 2007.
- [19] 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 食品中胡萝卜素的测定: GB 5009.83-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [20] 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 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [21] 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 食品中淀粉的测定: GB 5009.9-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [22] 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 食品中蛋白质含量的测定: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

- [23] 唐静,周玲,田小琼,等.茚三酮比色法测定野生及人工培养香菇和黑木耳中氨基酸含量[J].大理学院学报,2008,7(12):6-7.
- [24] 丁雪梅,张晓君,赵云,等.蒽酮比色法测定可溶性糖含量的试验方法改进[J].黑龙江畜牧兽医,2014(23):230-233.
- [25] 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 食品中铅的测定:GB 5009.12—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [26] 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 食品中镉的测定:GB 5009.15—2014[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [27] 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 食品中总砷及无机砷的测定:GB 5009.11—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [28] 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 食品中总汞及有机汞的测定:GB 5009.17—2014[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [29] 中华人民共和国农业部.蔬菜、水果及制品中矿质元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法:NY/T 1653—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [30] 河北省质量技术监督局.富硒农产品硒含量要求:DB 13/T 2702—2018[S].石家庄:河北质量技术监督局,2018.
- [31] 江西省质量技术监督局.富硒食品硒含量分类标准:DB36/T 566—2017[S].南昌:江西质量技术监督局,2018.
- [32] 陈佳佳,李汛,吴沿友,等.增施 CO₂ 条件下施硒对温室黄瓜产量及硒吸收累积的影响[J].江苏农业学报,2020,36(6):1503-1511.
- [33] 秦玉燕,陈永森,吴凤,等.外源硒对杠果硒含量及果实营养品质的影响[J].中国土壤与肥料,2020(5):213-219.
- [34] 李圣男,岳士忠,乔玉辉,等.中国富硒玉米的生产与富硒效应[J].中国农学通报,2014,30(30):6-10.
- [35] 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.
- [36] 李乐,田敏娇,高艳明,等.硒肥对基质培番茄生长和矿质元素积累的影响[J].浙江农业学报,2020,32(2):253-261.
- [37] 戚霄晨,简在海,张琦,等.叶面喷施硒对甜樱桃硒和重金属含量及果实品质的影响[J].果树学报,2019,36(6):748-754.
- [38] 刘群龙,郝燕燕,吴国良,等.外源硒对砀山酥梨果实品质和硒含量的影响[J].河南农业科学,2015,44(8):113-117.
- [39] 杨丹,王素华,李树举,等.马铃薯富硒栽培研究[J].作物研究,2015,29(5):485-488.
- [40] 李鸣凤,邓小芳,付小丽,等.不同硒源对小麦生长、硒吸收利用以及玉米后效的影响[J].农业环境科学学报,2017,36(1):1-7.
- [41] 宁婵娟,丁宁,吴国良,等.喷硒时期与浓度对红富士苹果果实品质及各部位全硒和有机态硒含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(5):1109-1117.
- [42] 韩亚文,韩莹琰,郭婉香,等.土壤施硒对番茄果实品质的影响[J].中国农学通报,2014,30(13):220-224.
- [43] 龚天芝,张德健.外源硒对核桃硒含量和果实品质的影响及生理作用机制[J].果树学报,2022,39(8):1443-1449.
- [44] 关连珠.土壤肥料学[M].北京:中国农业出版社,2001.