

土壤硒干预与5种作物集硒特性研究

杨涛¹, 龙澜², 商龙臣¹, 万海英², 张驰¹, 向极钎^{3*} (1. 湖北民族大学生物科学与技术学院, 湖北恩施 445000; 2. 恩施州农业科学院, 湖北恩施 445000; 3. 湖北省富硒产业技术研究院, 湖北恩施 445000)

摘要 [目的]探究不同施硒浓度对5种作物的影响,了解不同作物的硒吸收及积累特性,为筛选适宜大规模种植的硒蛋白原料提供理论依据。[方法]选用油菜、玉米、洋葱、番茄、绿豆分别代表不同科作物进行盆栽试验,以亚硒酸钠为硒源调控土壤基质中的施硒浓度分别达20、40、60、80 mg/kg,同时以不施硒的基质为对照组(CK),培育作物直至开花期,采收其地上部分并测定其硒含量、蛋白含量及蛋白中的硒含量,结合作物生物学产量计算硒积累量与蛋白中硒积累量,从而分析5种作物对硒的吸收与积累情况,并筛选出适合硒蛋白生产的最佳原料。[结果]玉米、洋葱、绿豆、番茄和油菜最佳施硒浓度分别为60、20、60、40、60 mg/kg。在最佳施硒浓度下玉米、洋葱、绿豆、番茄和油菜的蛋白中硒积累量表现为油菜>玉米>番茄>绿豆>洋葱。[结论]与玉米、洋葱、番茄和绿豆相比,油菜的蛋白含量与蛋白硒含量最高,是潜在优良的硒蛋白来源作物,且在施硒浓度为60 mg/kg时表现出最佳的集硒特性。

关键词 土壤施硒;集硒特性;硒蛋白;硒

中图分类号 S311 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)01-0143-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.01.032



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on Soil Selenium Intervention and Accumulation Characteristics of Five Crops

YANG Tao¹, LONG Lan², SHANG Long-chen¹ et al (1. College of Biological Science and Technology, Hubei Minzu University, Enshi, Hubei 445000; 2. Enshi Tujia & Miao Autonomous Prefecture Academy of Agricultural Sciences, Enshi, Hubei 445000)

Abstract [Objective] To explore the effects of different selenium application concentrations on selenium accumulation in five kinds of crops, so as to provide a theoretical basis for understanding the characteristics of selenium absorption and accumulation in different crops and screening selenium-containing protein extraction materials suitable for large-scale planting. [Method] Rape, corn, onion, tomato, and mung bean were selected to represent crops for pot experiment. Sodium selenite was used as the selenium source to control the soil selenium concentration to reach 20, 40, 60 and 80 mg/kg, respectively, taking no selenium soil as the control group (CK). The crops were cultivated until the flowering stage. The aerial parts were harvested and the selenium content, protein content and selenium content in protein were determined, and the accumulation of selenium and the accumulation of selenium in protein were calculated in combination with the biological yield of crops, so as to analyze the absorption and accumulation of selenium by five crops, and analyze the selenium accumulation and accumulation of 5 crops. Screen out the best raw material suitable for selenium containing protein production. [Result] The optimum selenium application concentrations for corn, onion, mung bean, tomato and rapeseed were 60, 20, 60, 40 and 60 mg/kg. The relationship between the accumulation of selenium in protein of corn, onion, mung bean, tomato and rapeseed at the optimum selenium application concentration was in the following order: rape > corn > tomato > mung bean > onion. [Conclusion] Compared with corn, onion, tomato and mung bean, rapeseed has the highest protein content and protein selenium content, which is a potential good source of selenium containing protein, and shows the best selenium accumulation characteristics when the selenium concentration is 60 mg/kg.

Key words Soil application of selenium; Selenium collection characteristics; Selenium containing protein; Selenium

硒是人体必需的微量元素,硒缺乏会导致大骨节病、克山病等疾病^[1]。国内仅湖北恩施、陕西紫阳两地是当前已探明的富硒区,其他大部分地区土壤均表现出一定的低硒或缺硒状况,由此导致在地区种植的农作物难以达到富硒标准^[2]。在人口剧增与倡导大健康的时代背景下,食用富硒农产品及其加工产品是当前缺硒地区人群最有效、最直接与最安全的补硒途径^[3-5]。目前,硒的生物强化主要是通过土壤施硒、叶面喷硒以及营养液水培等方式来提高农作物的硒含量^[6]。但相较而言,叶面喷硒易形成表面残留,存在食品安全风险,而营养液水培多用于水培植物且不宜大规模生产。因此,使用土壤施加硒肥方式是改善缺硒地区农作物营养状况的有效途径。咎亚玲等^[7]以硒酸钠为硒源,在不同硒浓度土壤中种植向日葵,结果表明,200 mg/kg 组籽粒硒含量相较于对照组硒含量增加了156.8%。马小艳等^[8]探究了

硒酸钠对小麦各器官硒聚集能力的影响,结果表明,施硒增加了小麦产量及地上生物量,提高了小麦各器官的硒含量,并促进了小麦对微量元素硒的利用。

研究表明,部分植物吸收土壤、水分以及肥料中的硒元素,往往以硒代半胱氨酸形式特异性插入到蛋白质中并储存在植物体内^[9]。硒蛋白除具备蛋白质本身的营养特性外,还具有硒的抗氧化、抗炎、抗癌、改善免疫应答等多种生物学功能^[10-14]。由于植物源硒蛋白具有来源广泛、获得成本低、环境友好度高等特点,其研究与商业价值备受学者关注^[15]。研究表明,不同科植物对硒的耐受、吸收能力存在差异,集硒能力表现为十字花科>百合科>豆科>禾本科^[16],而目前有关农作物植株富硒、耐硒力的研究相对较少。笔者以5种不同科常见作物为研究对象,探究其在不同浓度硒处理下硒的吸收能力,揭示其硒积累与耐受特性,筛选出最适合种植的施硒浓度及最优的硒蛋白生产原料,从而为硒蛋白的工业化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料基本信息见表1。

仪器设备:BJ-1000A 样品粉碎机(杭州拜杰科技有限公

基金项目 武汉市对口帮扶恩施州项目“硒蛋白产业化关键技术研究与应用”(21001)。

作者简介 杨涛(1998—),男,山东郓城人,硕士研究生,研究方向:植物硒代谢及其活性。*通信作者,正高级农艺师,从事生物技术与植物提取研究。

收稿日期 2022-07-05

司);GXZ-9140 数显鼓风干燥箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂);AFS-9760 双道原子荧光光度计(北京海光仪器公司);MARS6 微波消解仪(美国 CEM 公司);K9860 全自动凯式定氮仪(郑州海能仪器公司);SH220F 石墨消解仪器(海能仪器公司);UPH-I-20T 型超纯水制造系统(成都超纯科技有限公司);B11-2 恒温磁力搅拌器(上海凌仪生物有限公司)。

试剂:亚硒酸钠、氢氧化钠、氢氧化钾、硼酸、硫酸钾、硫酸铜、浓硫酸、硼氢化钾、过氧化氢、硫酸、95%乙醇、硫酸铵、氯化钡均为分析纯;氢氧化钠、过氧化氢、硝酸、盐酸均为优级纯;考马斯亮蓝 G250、溴甲酚绿;甲基红;硒标准品 GSB-04-1751-2004。

表 1 材料基本信息

Table 1 Materials' basic information

材料 Materials	品种 Cultivars	采购公司 Purchasing corporation
油菜(十字花科) Rape (Brassicaceae)	硒滋园 1 号	中国农业科学院油料作物研究所
玉米(禾本科) Maize (Gramineae)	信糯 601	湖北蔬谷农业科技有限公司
洋葱(百合科) Onion (Liliaceae)	SIBIR 喜伯	广东金作农业科技有限公司
番茄(茄科) Tomato (Solanaceae)	台湾粉圣美	西安市民乐科技种子繁育场
绿豆(豆科) Mung bean (Fabaceae)	毛绿 1 号	山西侯马市农人种业有限公司
土壤基质 Soil matrix		武汉市生升永和农业有限公司
透析袋 Dialysis bag		北京瑞达恒辉科技发展有限公司

1.2 盆栽试验设计 盆栽试验在 2021 年 4—9 月于恩施州农业科学院(109°29'11.77"E、30°16'12.44"N)园区大棚进行作物种植。2021 年 4 月向土壤基质中加入 Na_2SeO_3 (分析纯)调节营养液,使土壤中 Se 浓度达 20、40、60、80 mg/kg,同时以不施硒基质为对照组(CK),充分混匀后加入 30 cm×20 cm(直径×高)的塑料盆中,保持土壤湿度为 60%。筛选颗粒大小均匀的种子播种,其中,玉米、番茄、油菜每盆 3 株,绿豆每盆 30~40 株,洋葱每盆 5 株,每种浓度设置 4 次重复。播种后定期观察并适量浇水。

1.3 样品采收及预处理 开花期采收植株地上部分,清水洗净后烘干、称重,粉碎后过 80 目筛储存备用。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 作物与土壤硒含量测定。作物硒含量测定参照国标《GB 5009.93—2017 食品安全国家标准 食品中硒的测定》第一法:氢化物原子荧光光谱法-微波消解仪法,土壤硒含量测定参照严琦莉^[17]的氢化物原子荧光光谱-微波消解法。

1.4.2 作物硒积累计算。样品硒积累量可反映出作物对硒积累能力,硒积累量计算公式:

$$\text{硒积累量} = \text{作物干重总质量} \times \text{硒含量}$$

1.4.3 蛋白含量测定。样品蛋白含量测定参照国标《GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》第一法:自动凯式定氮仪法。

1.4.4 蛋白硒含量测定。参照唐巧玉^[18]的方法并略作修

改。称取 1 g 原料,按照料液比 1:20、提取温度 60 ℃、提取时间 3 h、碱液浓度 0.25 mol/L 的提取条件提取粗蛋白,加入硫酸铵使溶液达到 4 ℃ 硫酸铵溶解度的 50%,4 ℃ 冷藏放置过夜,12 000 r/min、4 ℃ 离心后取沉淀加入 5 mL 提取液至透析袋透析 24 h,透析后测定硒含量及利用考马斯亮蓝法测定蛋白含量。

1.4.5 蛋白中硒积累量计算。蛋白中硒积累量反映出蛋白与硒结合量,进而判断出最适合生产硒蛋白的最佳原料,计算公式:

$$\text{蛋白中硒积累量} = \text{蛋白硒含量} \times \text{蛋白含量}$$

1.5 数据处理 分别采用 SPSS Statistics 21 和 OriginPro 2022 对试验数据进行统计分析及可视化处理。

2 结果与分析

2.1 土壤硒含量 经测定土壤中实际硒含量与施硒浓度基本一致(图 1)。

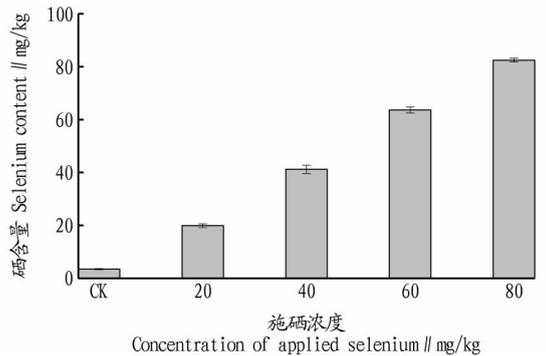
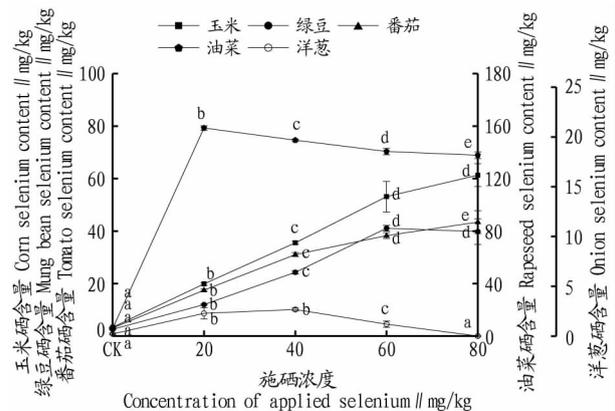


图 1 土壤中实际硒含量

Fig. 1 Actual selenium content in soil

2.2 作物硒含量 不同施硒浓度下 5 种作物植株地上部分的硒含量见图 2。总体上看,5 种作物硒含量均达到 GH/T 1135—2017《富硒农产品》中的富硒标准(蔬菜类以干质量计)。玉米与番茄的硒含量随施硒浓度的升高逐渐增加,油菜、绿豆、洋葱的硒含量均出现峰值。



注:小写字母表示不同施硒浓度间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different selenium concentrations at 0.05 level.

图 2 不同施硒浓度下 5 种作物的硒含量

Fig. 2 Selenium content of five crops under different application of selenium concentrations

植物根系吸收的硒主要以硒蛋白、硒多糖等有机硒的形态储存于各个组织^[19]。玉米硒含量随施硒浓度的升高而逐渐升高,且 CK~60 mg/kg 施硒浓度组硒含量有显著差异($P<0.05$)。CK 组玉米硒含量为 2.057 0 mg/kg,80 mg/kg 施硒浓度组玉米硒含量达到最大值 60.813 1 mg/kg,约为 CK 的 30 倍。

CK~40 mg/kg 组洋葱硒含量随着施硒浓度的升高逐渐升高,CK 组和 20 mg/kg 施硒浓度组洋葱硒含量有显著差异($P<0.05$),20 与 40 mg/kg 组洋葱硒含量无显著差异。40 mg/kg 施硒浓度组洋葱硒含量达到最大值 3.920 9 mg/kg,40~80 mg/kg 组洋葱硒含量随着施硒浓度的升高而逐渐降低,且硒含量间有显著差异($P<0.05$)。

CK~60 mg/kg 组绿豆硒含量随着施硒浓度的升高逐渐升高,且硒含量有显著差异($P<0.05$),当施硒浓度达 80 mg/kg 时,其硒含量下降至 39.000 5 mg/kg,此时绿豆硒含量与 60 mg/kg 组相比无显著差异。CK 组绿豆硒含量为 1.270 0 mg/kg,60 mg/kg 施硒浓度组绿豆硒含量达到最大值 40.279 3 mg/kg,约为 CK 组的 32 倍。

番茄硒含量随着施硒浓度升高而逐渐升高,且硒含量有显著差异($P<0.05$)。CK 组番茄硒含量为 1.762 6 mg/kg,80 mg/kg 施硒浓度组番茄硒含量达到最大值 42.674 2 mg/kg,约是 CK 的 24 倍。

油菜硒含量随着施硒浓度的升高呈先升高后降低的趋势。CK 组油菜硒含量为 3.236 5 mg/kg,20 mg/kg 施硒浓度组油菜硒含量达到最大值 157.999 6 mg/kg,约是 CK 的 49 倍,不同施硒浓度组油菜硒含量有显著差异($P<0.05$)。

5 种作物在不同施硒浓度下对硒的吸收情况拟合方程及相关系数见表 2,玉米和绿豆的硒含量与施硒浓度呈线性正相关关系,洋葱和番茄的硒含量与施硒浓度呈非线性负相关关系,油菜的硒含量与施硒浓度在 20~80 mg/kg 呈非线性正相关。综上所述,土壤施硒可以增加受试作物对硒的吸收与利用,但不同作物对硒的吸收明显不同。研究表明,百合

科(洋葱)植物的硒吸收能力仅次于十字花科(油菜)植物^[20],但该研究结果表明,受试作物吸收硒能力表现为油菜>玉米>番茄>绿豆>洋葱,原因在于相同科属,不同品种的植物吸收硒能力也不同。如大蒜与洋葱同属于百合科葱属植物,洋葱硒含量最大为 3.920 9 mg/kg,而王永勤等^[21]使用土壤施硒方式种植富硒大蒜,在施硒浓度 10 g/m² 时大蒜平均硒含量可达 142.13 mg/kg。因此,作物对硒的吸收能力不能仅通过科属判断。

表 2 5 种作物在不同施硒浓度下对硒的吸收情况拟合方程

Table 2 Fitting equations for selenium uptake by five crops under different soil selenium concentrations

品种 Cultivars	施硒浓度 Selenium concentration mg/kg	拟合方程 Fitting equation	R^2
玉米 Corn	0~80	$y_1 = 0.756 1x + 3.527 5$	0.988 6
洋葱 Onion	0~80	$y_2 = -0.001 5x^2 + 0.112x + 1.633$	0.919 5
绿豆 Mung bean	0~80	$y_3 = 10.287 0x - 5.183 1$	0.957 6
番茄 Tomato	0~80	$y_4 = -0.004 5x^2 + 0.874 3x + 1.503 8$	0.998 6
油菜 Rapeseed	20~80	$y_5 = 0.004 1x^2 - 0.765 9x + 171.95$	0.994 8

2.3 作物硒积累量 研究表明,硒会影响蛋白质的空间结构与功能,过量施硒会对作物产生毒害作用,影响作物生长代谢^[9,22]。种植在不同施硒浓度下的 5 种作物生物学产量(干重)见表 3。由表 3 可知,在适宜硒浓度土壤中,硒会促进植物生长,硒浓度过高则降低产量。硒积累量见图 3。由图 3 可知,5 种作物的硒积累量随着施硒浓度的增加先增加后减少。5 种作物在不同施硒浓度下的硒积累量最大值分别为玉米 7.599 1 mg、洋葱 0.050 7 mg、绿豆 3.505 9 mg、番茄 2.029 1 mg、油菜 22.818 3 mg,油菜的硒积累量最高。由此可知,作物最佳施硒浓度分别为玉米 60 mg/kg、洋葱 20 mg/kg、番茄 40 mg/kg、绿豆 60 mg/kg、油菜 60 mg/kg,5 种作物硒富集能力表现为油菜>玉米>绿豆>番茄>洋葱。

表 3 5 种作物在不同浓度施硒浓度处理下的生物学产量(干重)

Table 3 Biological yield of 5 crops at different concentrations of selenium (dryweight)

单位:g

硒浓度 Selenium content//mg/kg	玉米 Corn	洋葱 Onion	绿豆 Mung bean	番茄 Tomato	油菜 Rapeseed
0	48.77±3.64 b	2.50±0.16 c	22.65±1.26 bc	19.94±1.97 b	26.40±2.48 e
20	55.23±3.11 a	3.59±0.27 a	24.33±1.22 ab	23.97±2.18 a	30.45±1.66 d
40	46.73±4.27 b	3.05±0.18 b	25.59±1.08 a	16.84±2.37 c	35.63±3.28 b
60	36.18±2.93 c	2.26±0.21 c	21.76±1.47 c	11.12±1.50 d	40.79±2.93 a
80	27.21±2.77 d	2.11±0.24 c	18.77±1.26 d	8.03±1.12 e	34.47±2.61 c

注:同列不同小写字母表示不同施硒浓度间差异显著($P<0.05$)。

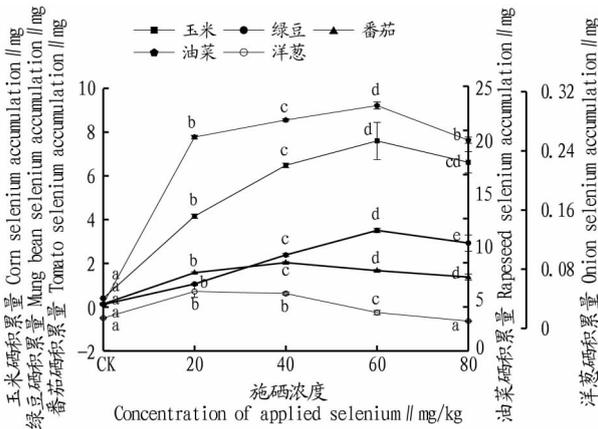
Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different selenium concentrations at 0.05 level.

2.4 作物蛋白含量与蛋白硒含量 根据硒积累量结果,选择玉米 60 mg/kg、洋葱 20 mg/kg、番茄 40 mg/kg、绿豆 60 mg/kg、油菜 60 mg/kg 的样品进行总蛋白与蛋白硒含量的测定。由图 4 可知,5 种作物蛋白含量分别为玉米 16.01%、洋葱 13.35%、番茄 25.81%、绿豆 24.26%、油菜 27.85%。蛋白含量表现为油菜>番茄>绿豆>玉米>洋葱,经 SPSS 单因素显著性分析,5 种作物蛋白含量有显著差异($P<0.05$)。

玉米蛋白硒含量为 33.769 2 mg/kg,占玉米总硒含量的

64.31%;洋葱蛋白硒含量为 2.816 5 mg/kg,占洋葱总硒含量的 79.76%;番茄蛋白硒含量为 19.535 4 mg/kg,占番茄总硒含量的 52.18%;绿豆蛋白硒含量为 5.482 6 mg/kg,占绿豆总硒含量的 23.55%;油菜蛋白硒含量为 126.279 1 mg/kg,占油菜总硒含量的 90.31%。蛋白硒含量表现为油菜>玉米>番茄>绿豆>洋葱,经 SPSS 软件单因素显著性分析,5 种作物蛋白硒含量有显著差异($P<0.05$)。

2.5 作物蛋白中硒积累量 经计算得,5 种植物蛋白中硒积

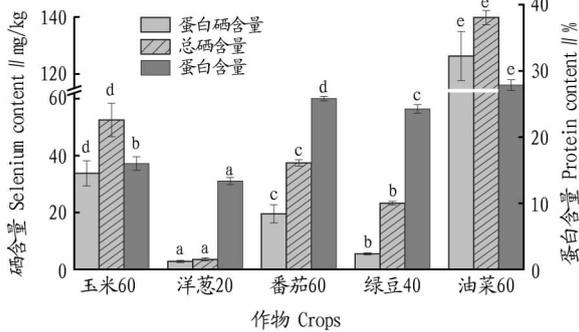


注:不同小写字母表示不同施硒浓度间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different selenium concentrations at 0.05 level.

图3 5种植物在不同施硒浓度处理下的硒积累量

Fig.3 Selenium accumulation of five crops under different application of selenium concentration



注:不同小写字母表示不同作物间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different crops at 0.05 level.

图4 作物总硒、蛋白含量及蛋白中硒含量

Fig.4 Crops selenium, protein content and selenium content in protein

量表现为油菜(35.18 mg/g) > 玉米(5.41 mg/g) > 番茄红柿(5.04 mg/g) > 绿豆(1.33 mg/g) > 洋葱(0.38 mg/g)。

综上所述,以60 mg/kg施硒浓度种植的油菜,蛋白中硒积累量最高,是最优的硒蛋白生产原料。

3 讨论

3.1 施硒肥对作物硒吸收的影响 土壤施加硒肥是一种有效提高作物硒含量的方式。王晓丽等^[23]发现施硒浓度为250 kg/hm时,淮山的硒含量达0.767 mg/kg,约为对照组的31倍。袁伟玲等^[24]发现随着施硒浓度的增加,叶用莴苣的总硒含量逐渐增加,而生物产量先增加后降低,这与该试验中玉米与番茄的硒含量及生物产量一致。研究表明,植物对土壤中硒实际吸收情况主要取决于土壤中硒浓度及植物本身的特性^[8,20,25]。该研究中5种作物地上对硒的吸收情况与能力有明显差异,如油菜的硒含量受品种影响,其硒含量变化符合“S”型曲线,其原因是该试验使用的油菜品种是中国农业科学院油料作物研究所的“硒滋园1号”,其对硒的吸收

与积累能力远超过于其他研究中使用的油菜品种。植物对硒的吸收除受施硒浓度和植物本身的特性外还与施硒方式、施硒时期、硒的形态、土壤中其他元素营养含量、土壤中硒元素的有效性等多重因素影响^[26-29]。

3.2 施硒肥对作物硒积累及产量的影响 有关硒对作物硒积累量及产量的影响,目前还存在一定的争议。研究表明,适量施硒会提高作物的产量与硒积累量,但过量施硒会对作物产生毒害作用,导致作物植株矮小、产量降低等^[7,8,20,24,26,28,30-32];研究表明,施硒对作物产量无显著影响^[3,6,29,33-34]。而该研究中,施硒可增加作物的硒含量及提高生物学产量,施硒浓度过高时,5种作物的生物学产量均呈下降趋势,硒积累量均出现峰值,作物产量与硒积累量均明显下降,表明硒对作物的生物学产量有低浓度促进、高浓度抑制的作用。

3.3 作物总硒含量、蛋白硒含量对硒蛋白原料筛选的影响 总硒含量、蛋白含量、蛋白中硒含量与作物产量是硒蛋白原料筛选的重要指标。该研究中,绿豆在最佳施硒浓度中总硒含量为40.279 3 mg/kg,蛋白硒含量为5.482 6 mg/kg,仅占总硒含量的23.55%,而玉米、洋葱、番茄、油菜的蛋白硒含量分别占总相应作物总硒含量的64.31%、79.76%、52.18%、90.31%。由此可知,与其他作物相比,种植在最佳施硒浓度中的作物总硒含量与其蛋白中硒含量不一定呈正相关关系,作物的蛋白硒含量也与作物本身特性有关。因此,通过计算蛋白中硒积累量可以有效筛选出生产硒蛋白的最佳原料。

4 结论

该研究中,通过土壤施硒种植后,得到了5种富硒农作物,且5种作物最大硒含量均符合GH/T 1135—2017《富硒农产品》(蔬菜类以干质量计)标准。此外,分析作物中硒含量、硒积累量、蛋白含量、生物产量、蛋白硒含量、蛋白中硒积累量,发现十字花科植物甘蓝型油菜的吸收与积累硒的能力最强,是最优的硒蛋白提取原料,最佳施硒浓度为60 mg/g,在此条件下种植的油菜硒含量为60.813 1 mg/kg、硒积累量22.818 3 mg、蛋白含量27.85%、蛋白硒含量126.279 1 mg/kg、蛋白中硒积累量35.18 mg/g。该研究为工业生产硒蛋白筛选出最优提取原料提供一定的理论基础。

参考文献

- [1] PRABHU K S, LEI X G. Selenium[J]. Advances in nutrition, 2016, 7(2): 415-417.
- [2] 郭军, 刘明, 汤恒佳, 等. 湖南汨罗市范家垸地区富硒土壤特征及其影响因素研究[J]. 华南地质, 2021, 37(4): 387-397.
- [3] PYRZYNSKA K, SENTKOWSKA A. Selenium in plant foods: Speciation analysis, bioavailability, and factors affecting composition[J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2021, 61(8): 1340-1352.
- [4] 岳琳祺, 郭佳暉, 白雄辉, 等. 叶面喷施硒肥对不同基因型谷子农艺性状及籽粒硒含量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(4): 154-163.
- [5] ZHANG H, ZHAO Z, ZHANG X, et al. Effects of foliar application of selenate and selenite at different growth stages on selenium accumulation and speciation in potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. Food chemistry, 2019, 286: 550-556.
- [6] 黄婷苗, 于荣, 王朝辉, 等. 不同硒形态和施硒方式对小麦硒吸收利用的影响及残效[J]. 作物学报, 2022, 48(6): 1516-1525.

3 结论与讨论

该试验结果表明,不同配比基质理化性质不同,差异显著,其中处理 T_9 的电导率最大,说明矿物元素营养最为丰富;10种基质配方对百合发芽率影响差异不显著,发芽率均达100%;不同配方基质对百合株高和茎粗等指标影响不同,对百合花苞数的影响差异不显著,对百合切花花蕾长度的影响差异显著,从切花花蕾长度分析, T_7 、 T_8 、 T_9 基质配方生产的切花质量较好,说明栽培基质是影响百合切花质量的重要因素。不同施肥处理对百合株高、茎粗、花径、叶面积有影响,施用高浓度的氮肥对百合生长有利;同时在高氮处理下,磷、钾和钙能有效促进切花形态品质的提升。综合考虑认为,以 $N_4P_3K_2Ca_4$ 施肥处理的百合切花综合品质最佳。但不同品种耐贫瘠程度不同,对不同肥料的敏感度也不同,研究显示“木门”比“西伯利亚”等大部分切花百合品种耐贫瘠^[9],因此,针对不同百合品种最理想的栽培基质,尚有待进一步探索。

影响百合切花品质的因素很多,李斌超等^[10]研究表明土壤的pH和通透性也是影响切花百合生长的主要因子。尤伟忠等^[11]认为空气湿度、温度、水分等与获得百合优质切花密切相关。此外,不同地区土壤理化性质不同,可根据当地土壤特性进一步筛选适宜本土化栽培的价廉基质。研究显示氮肥对百合切花品质提高有影响^[12],主要表现在花径、叶面积、叶片数等农艺性状指标上,适宜高浓度的氮肥对百合生长有利^[13-15]。该研究只选择了氮4个水平梯度,因此在适

宜的磷、钾、钙配比条件下,氮肥的最大施用量还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王晓静,刘红,于金平,等.北京延庆百合品种适应性调查[J].北方园艺,2017(5):77-81.
 - [2] 丁芳兵,孙伟博,原雅玲,等.百合花色及相关育种研究进展[J].北方园艺,2017(18):170-175.
 - [3] 毕蒙蒙,曹雨薇,宋蒙,等.百合花色研究进展[J].园艺学报,2021,48(10):2073-2086.
 - [4] 樊金萍,车代弟.百合切花生产现状及市场前景[J].北方园艺,2003(3):48-49.
 - [5] 孟承安,陈黎.百合引种栽培的初步研究[J].林业科学研究,2004,17(6):815-818.
 - [6] 华智锐,马锋旺,李小玲,等.百合转S6PDH基因植株的抗盐性鉴定[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):160-163,174.
 - [7] 穆鼎.观赏百合:生理、栽培、种球生产与育种[M].北京:中国农业出版社,2005.
 - [8] 陈明月,刘娜.百合栽培管理技术[J].现代农村科技,2021(8):42.
 - [9] 周丽霞,李淑英,董丽.不同施肥方式对无土栽培百合生长发育的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2010,36(6):658-661.
 - [10] 李斌超,张可银,郭瑞光.百合高效栽培技术[M].郑州:河南科学技术出版社,2002:11-12.
 - [11] 尤伟忠,成海钟,房伟民.观赏百合生产技术研究进展[J].安徽农业科学,2010,38(27):14907-14910.
 - [12] BADIYAN D, WILLS R B H, BOWYER M C. Use of a nitric oxide donor compound to extend the vase life of cut flowers[J]. HortScience,2004,39(6):1371-1372.
 - [13] 王磊,汤庚国,刘彤.施肥对石蒜叶片生长及生化指标的影响[J].东北林业大学学报,2009,37(7):65-66.
 - [14] POOLE H A, SEELEY J G. Nitrogen, potassium and magnesium nutrition of three orchid genera[J]. J Amer Soc Hort Sci,1978,103(4):485-488.
 - [15] 何春梅,何盈,罗涛,等.施肥方法对百合生长影响的研究[J].北方园艺,2006(4):120-122.
- (上接第146页)
- [7] 咎亚玲,张丽光,王创云,等.土壤施硒酸钠对盐碱地向日葵产量及营养品质的影响[J].土壤,2020,52(5):1011-1016.
 - [8] 马小艳,尹丹,周沫,等.硒酸钠施用对小麦的富硒效应及其残效[J].麦类作物学报,2022,42(5):605-613.
 - [9] TRIPPE R C, PILON-SMITS E A H. Selenium transport and metabolism in plants: Phytoremediation and biofortification implications [J]. Journal of hazardous materials, 2021, 404: 1-12.
 - [10] SHORT S P, PILAT J M, BARRETT C W, et al. Colonic epithelial-derived selenoprotein P is the source for antioxidant-mediated protection in colitis-associated cancer [J]. Gastroenterology, 2021, 160(5): 1694-1708.
 - [11] BIZEREA T O, DEZSI S G, MARGINEAN O, et al. The link between selenium, oxidative stress and pregnancy induced hypertensive disorders [J]. Clinical laboratory, 2018, 64(10): 1593-1610.
 - [12] LAI H Q, ZENG D L, LIU C, et al. Selenium-containing ruthenium complex synergizes with natural killer cells to enhance immunotherapy against prostate cancer via activating TRAIL/FasL signaling [J]. Biomaterials, 2019, 219: 1-12.
 - [13] 王建强,崔璐莹,李建基,等.硒蛋白的功能及其对动物免疫的作用[J].动物营养学报,2019,31(9):4008-4015.
 - [14] SCHOMBURG L, ORHO-MELANDER M, STRUCK J, et al. Selenoprotein-P deficiency predicts cardiovascular disease and death [J]. Nutrients, 2019, 11(8): 1-11.
 - [15] 肖志刚,江睿生,霍金杰,等.植物基人造肉研究进展[J].中国粮油学报,2022,37(7):195-202.
 - [16] 姚台玮,何美军,杨萌,等.药食两用植物富硒研究进展[J].湖北农业科学,2019,58(15):5-8,13.
 - [17] 严绮莉.多种前处理方法测定土壤中硒含量的研究[J].广东化工,2021,48(20):57-58.
 - [18] 唐巧玉.大豆中硒的生理生化及其含硒蛋白的初步分离[D].长沙:湖南农业大学,2004.
 - [19] 王珠琳,袁莉,李建科,等.富硒植物蛋白的研究进展[J].中国粮油学报,2022,37(2):196-202.
 - [20] 侯青光,韦林汕,卢亚妮,等.硒肥不同喷施时期和种类对玉米产量、品质及硒和重金属含量的影响[J].西南农业学报,2021,34(9):1900-1906.
 - [21] 王永勤,曹家树,李建华,等.施硒对大蒜产量和含硒量的影响[J].园艺学报,2001,28(5):425-429.
 - [22] WHITE P J. Selenium metabolism in plants [J]. Biochimica et biophysica acta, 2018, 1862(11): 2333-2342.
 - [23] 王晓丽,张泽洲,曹升,等.土壤施硒对淮山硒含量的影响[J].宜春学院学报,2020,42(9):85-89.
 - [24] 袁伟玲,刘志雄,吴金平,等.不同施硒方式对叶用莴苣产量、含硒量和硒转化率的影响[J].中国蔬菜,2021(2):80-84.
 - [25] 匡恩俊,迟凤琴,张久明,等.叶面喷硒对不同作物籽粒硒含量及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2018(4):133-136.
 - [26] 刘攀峰,秦杰,郝爽楠,等.硒肥浓度、施用时期和施肥方式对不同谷子品种产量和籽粒硒含量的影响[J].作物杂志,2022(2):182-188.
 - [27] 唐昌贵,罗顺福,芮文洁,等.硒在辣木-土壤中的迁移转运规律[J].食品安全质量检测学报,2020,11(19):7135-7141.
 - [28] 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.
 - [29] 李鸣凤,彭文勇,刘新伟,等.外源硒对油菜硒积累及土壤硒残留的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2022,48(2):139-143,221.
 - [30] 蒋曦龙,乔月彤,李晓晴,等.叶面过量施硒对玉米产量、硒和矿质营养元素含量的影响[J].核农学报,2021,35(12):2841-2849.
 - [31] ELKELISH A A, SOLIMAN M H, ALHAITHLOUL H A, et al. Selenium protects wheat seedlings against salt stress-mediated oxidative damage by up-regulating antioxidants and osmolytes metabolism [J]. Plant physiology and biochemistry, 2019, 137: 144-153.
 - [32] 刘雨杉,许佳昕,尹美强,等.喷施纳米硒对谷子幼苗生理特性及农艺性状的影响[J].山西农业科学,2021,49(5):599-602.
 - [33] LIGOWE I S, YOUNG S D, ANDER E L, et al. Selenium biofortification of crops on a Malawi Alfisol under conservation agriculture [J/OL]. Geoderma, 2020, 369 [2022-03-25]. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114315.
 - [34] 晏娟,张忠平,宋同贵.不同硒肥对水稻产量及硒累积效应的影响[J].安徽农业科学,2021,49(19):142-143,156.