

基施硒肥对蚕豆籽粒硒含量、营养成分及抗氧化性的影响

张华华¹ 李放¹ 李航宇¹ 葛军勇¹ 徐东旭² 康玉凡^{1*}

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院,北京,100193;

2. 张家口市农业科学院,河北 张家口 075000)

摘要 为探明硒对蚕豆籽粒产量、硒含量、营养物质含量及抗氧化性的影响,以“崇礼蚕豆”和“凤豆6号”2个品种为试验材料,采用盆栽试验研究5个土壤施硒水平(Na_2SeO_3 ,以Se计0、3.1、6.2、12.4和24.8 mg/kg)对硒在蚕豆籽粒中的富集规律、营养物质含量及1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除力的影响。结果表明:在本试验条件下,适宜硒浓度能够提高蚕豆籽粒产量,而高浓度硒则降低蚕豆产量;施硒能够显著提高蚕豆籽粒硒含量(崇礼蚕豆和凤豆6号分别较对照提高21.3~35.8和4.97~7.60倍),籽粒硒含量与施硒浓度之间呈对数关系;硒同时可以影响籽粒中粗蛋白、粗纤维、粗灰分和单宁等物质的含量,而对总碳水化合物及植酸含量的影响并不显著;施硒可以显著提高籽粒提取物DPPH自由基清除力;硒对籽粒中物质含量和抗氧化性的影响在蚕豆品种间也存在一定的差异。因此,合理施硒具有增加硒含量和改善蚕豆营养品质的双重效益,低浓度硒处理(3.1 mg/kg)便适于富硒蚕豆的开发。

关键词 硒;蚕豆;营养物质;抗营养物质;DPPH自由基清除力

中图分类号 S 143

文章编号 1007-4333(2014)05-0066-07

文献标志码 A

Effects of selenium application on Se content, nutritional compositions and antioxidant capacity in faba bean seeds

ZHANG Hua-hua, LI Fang¹, LI Hang-yu¹, GE Jun-yong¹, XU Dong-xu², KANG Yu-fan^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences, Zhangjiakou 075000, China)

Abstract Selenium (Se) is an essential micronutrient for both human and animals, and also affects plant metabolism. In this study, the effects of increasing doses of Se application (0, 3.1, 6.2, 12.4, 24.8 mg Se/kg) on the yield, Se content, nutritional and anti-nutritional substances as well as antioxidant capacity in grains of two faba bean cultivars were investigated under a pot experiment. The analysis showed that increasing Se concentrations correlated positively with Se content in grains and negatively with yield and raw protein content. Se contents of Chongli and Fengdou No. 6 increased by 21.3 to 35.8 times and 4.97 to 7.60 times compared with each control, respectively. In addition, Se application enhanced tannin content and 1, 1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical 2, 2-Diphenyl-1-(2, 4, 6-trinitrophenyl) hydrazyl (DPPH) free-radical-scavenging potential. However, the contents of total carbohydrates and phytic acid were affected slightly and were not statistically significant. The results also indicated that effects of Se on those changes studied differed among faba bean varieties. Therefore, for the production of Se-enriched food the recommended Se concentrations should be based not just on Se content in grains, but also on the yield and changes of both nutrients and anti-nutrients. Se treatment at low concentration of 3.1 mg/kg was suitable for production of Se-enriched faba bean according to this study.

Key words selenium; faba bean; nutrient; anti-nutrient; DPPH free-radical-scavenging potential

收稿日期: 2013-09-02

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项资金(CARS-09)

第一作者: 张华华, 硕士研究生, E-mail: 0701080918@cau.edu.cn

通讯作者: 康玉凡, 教授, 主要从事豆类种子生物学及现代芽菜产业发展理论与技术研究, E-mail: yfkang@cau.edu.cn

硒(Selenium, Se)是自然环境中广泛存在的一种非金属元素^[1]。尽管没有直接证据显示硒对植物是必需的,但它已被证实是人类和动物所必需的微量元素^[2],与心脑血管疾病、人体免疫、抗癌和抗病毒等代谢活动有重要关系^[3-4]。据研究估计全世界大约10亿人硒摄入量不足^[3]。此外,世界上大多数人口所消费的食物中硒含量为亚适宜水平。受酸雨、土壤酸化及长时间密集种植农作物的影响,食物中的硒含量将会进一步减少^[5]。研究和实践表明生物强化硒(Selenium biofortification)是提高居民硒摄入量的有效措施^[6-7]。该项措施不仅能提高整个食物链中的硒含量水平,同时也能提高作物的产量,改善作物品质^[7]。研究表明,硒处理能够显著提高独行菜^[8]、大蒜^[9]等作物的总抗氧化力,并提高产量和蛋白质、必需氨基酸、维生素C的含量。因此生物强化硒是人体补硒高效、低廉、简便易行的途径,富硒农产品的生产技术研究也已成为当前研究的热点之一。

蚕豆(*Vicia faba* L.),又名佛豆、胡豆等,广泛用作粮食、蔬菜、饲料等,是淀粉、蛋白质、纤维素的优良来源^[10]。蚕豆具有很高的营养价值,但同时也含有单宁、植酸等抗营养因子^[10],不利于人体对营养物质的吸收与利用。目前大量研究主要集中于硒处理对植物生长的影响、植物吸收和转化硒规律、硒在植物中的存在形态等方面,而硒对作物营养品质、抗营养物质含量、抗氧化性的影响及其之间关系的报道仍然很少。因此,重视硒在蚕豆中的富集、生物有效性及对营养物质的影响,对提高豆类作物硒含量和改善营养品质有重要意义,可使富硒蚕豆等相关食品成为居民补充硒和其他营养物质的一种理想途径。本试验以2种蚕豆为研究对象,采用盆栽试验研究土壤添加硒对蚕豆籽粒的营养品质、硒含量及抗氧化性的影响,以期丰富植物强化硒的理论研究并为富硒蚕豆的生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试蚕豆品种为“崇礼蚕豆”和“凤豆6号”,分别由河北省张家口市农业科学院作物研究所和云南省大理州农科所提供。

供试土壤取自张家口市农业科学院张北县坝上试验田,前茬作物为小麦,为栗钙土。土风干后过5 mm筛,晒干装盆。采用30 cm×30 cm的白色不

透光塑料花盆装土,每盆装土10 kg。土壤理化性状为:有机质20.7 g/kg,碱解氮67 mg/kg,有效磷93.0 mg/kg,有效钾240 mg/kg,全硒0.08 mg/kg, pH 8.25。

1.2 试验设计

盆栽试验于2012年5月—2012年9月在河北省张家口市农业科学院张北县坝上试验站盆栽试验场地进行。试验采用随机区组设计。试验设计6个硒浓度处理,分别为:0(CK)、3.1(Se1)、6.2(Se2)、12.4(Se3)、24.8(Se4)和50.0(Se5) mg/kg,每个浓度3次重复。由于Se5处理的蚕豆在生长过程中逐渐死亡,故仅对前5个处理的蚕豆进行取样测定。将亚硒酸钠(Na_2SeO_3)配置成一定浓度溶液后均匀喷施在土中,充分混合均匀后装盆。播种时每个花盆中等距播10粒蚕豆,播深2 cm。出苗后进行定苗,每盆3株。根据植株长势和土壤状况及时浇水。

1.3 测定方法

蚕豆成熟后,对籽粒进行采收。籽粒用不锈钢粉碎机粉碎后过40目筛后待测。常规成分按照下列方法分别测定:粗蛋白采用凯氏定氮法^[11];粗纤维采用ANKOM纤维分析仪测定^[11];粗灰分采用干灰化法^[11];高氯酸水解后用萘酮比色法测定淀粉含量^[12]。植酸含量测定采用 FeCl_3 比色法^[13],单宁含量测定采用Folin-Denis法^[14]。1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除率测定采用Brand-William的方法^[15],清除力用清除50% DPPH自由基时的样品浓度(IC_{50})表示。硒含量测定采用氢化物发生—原子吸收分光光度法^[16]。

1.4 数据处理

试验数据采用Excel 2010及SPSS 17.0软件进行方差分析与作图,采用Duncan's新复极差法进行方差显著性检验($P=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 硒对蚕豆产量及籽粒硒含量的影响

通过土壤施硒可以显著影响2种蚕豆的籽粒产量及籽粒硒含量(表1)。随着施硒量的增加,崇礼蚕豆籽粒产量呈先增加后降低的趋势,其中Se2和Se4显著高于(提高12.5%)和低于(降低37.5%)对照(CK)产量。对于凤豆6号,其籽粒产量呈现随施硒量的增加而降低的趋势,其中CK处理显著高于Se4处理,而和其他施用硒处理无显著性差异。

土壤施硒可以显著提高蚕豆籽粒硒含量(表1)。

施硒使崇礼蚕豆和凤豆6号籽粒硒含量分别达到4.23~7.38 mg/kg和4.66~6.71 mg/kg,分别较对照提高21.3~35.8和4.97~7.60倍。通过拟合方程描述蚕豆籽粒硒含量(y)与土壤硒含量(x)之间关系,大致呈现对数增长趋势。崇礼蚕豆为 $y=1.271\ln(x)+3.3064(R^2=0.9644)$;凤豆6号为 $y=1.066\ln(x)+3.5093(R^2=0.9952)$ 。由此可知,尽管施硒能显著提高蚕豆籽粒硒含量,但籽粒硒含量与土壤施硒量之间并非线性增加关系,施少量硒(3.1 mg/kg)便可以极大地提高籽粒硒含量。随施硒量的进一步增加,籽粒硒含量增加幅度降低。在不施加硒时(CK),崇礼蚕豆和凤豆6号籽粒硒含

量分别为0.19和0.78 mg/kg,后者是前者的4.1倍。这说明在土壤硒浓度低时,蚕豆品种间对硒的富集能力不同,存在基因型的差异。

综合考虑籽粒产量与硒含量,2种蚕豆每盆富集到籽粒中的硒总量变化趋势一致,均呈现先增加后降低的趋势,且2种蚕豆每盆硒总量均在Se3时达到最大(崇礼蚕豆和凤豆6号分别为117.30和56.06 $\mu\text{g}/\text{盆}$)。同一处理,崇礼蚕豆每盆富集硒总量要远高于凤豆6号,其主要原因是崇礼蚕豆每盆产量较高(表1)。由此可见,富硒农产品开发不仅要重视产品中硒含量的提升,也要兼顾经济器官的产量。

表1 不同硒浓度处理对蚕豆产量及籽粒硒含量的影响

Table 1 Grain yield and selenium content in grains of two fava bean cultivars subjected to Se applications

品种 Variety	Se处理/ (mg/kg) Treatment	产量/ (g/pot) Yield	增幅/% Rate of increase	硒含量/ (mg/kg) Se content	增加倍数 Times of increase	硒总量/ ($\mu\text{g}/\text{pot}$) Total Se	增加倍数 Times of increase
崇礼蚕豆 Chongli	CK	17.6 ab	—	0.19 c	—	3.34	—
	Se1	18.7 ab	6.25	4.23 b	21.3	79.10	22.68
	Se2	19.8 a	12.50	5.57 ab	28.3	110.29	32.02
	Se3	15.9 b	-9.66	7.38 a	37.8	117.30	34.12
	Se4	11.0 c	-37.50	7.00 a	35.8	77.00	22.05
凤豆6号 Fengdou No. 6	CK	10.2 a	—	0.78 b	—	7.96	—
	Se1	9.7 ab	-4.90	4.66 a	4.97	45.20	4.68
	Se2	9.0 ab	-11.77	5.60 a	6.18	50.40	5.33
	Se3	8.8 ab	-13.73	6.37 a	7.17	56.06	6.04
	Se4	8.0 b	-21.57	6.71 a	7.60	53.68	5.74

注:同列数据后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

Note: Values followed by different letters within a column are significantly different at the 0.05 level. The same as below.

2.2 硒对蚕豆籽粒常规营养成分的影响

土壤硒处理不仅可以影响蚕豆产量和籽粒硒含量,对蚕豆籽粒营养成分也有一定影响。由表2看出,硒处理可以降低籽粒粗蛋白质含量,高浓度硒处理时(崇礼蚕豆为 >24.8 mg/kg,凤豆6号为 >12.4 mg/kg)显著减低了蚕豆籽粒粗蛋白含量。虽然凤豆6号在Se1处理粗蛋白含量高于CK,但并无显著差异。2种蚕豆籽粒中粗纤维含量的变化规律也不尽相同。对崇礼蚕豆而言,粗纤维含

量以Se2最低(4.84%),以Se4最高(5.41%);而凤豆6号籽粒粗纤维含量随施硒量的增加而增加,Se4时显著高于对照,其含量提高了17.8%。Se4浓度下凤豆6号的粗灰分含量最高(7.35%),显著高于对照;而各个硒浓度处理下崇礼蚕豆籽粒粗灰分含量之间并无显著差异。总碳水化合物含量虽然随着土壤施硒量的增加呈下降趋势,但每个蚕豆品种内,硒处理间籽粒中碳水化合物含量均无显著差异。

表 2 不同硒浓度处理对蚕豆籽粒常规营养成分含量的影响
Table 2 Effects of selenium applications on nutrient compositions in grains of two fava bean cultivars

品种 Variety	Se 处理 Treatment	粗蛋白 Crude protein	粗纤维 Crude fiber	粗灰分 Crude ash	总碳水化合物 Carbohydrate
崇礼蚕豆 Chongli	CK	26.52 a	4.97 ab	4.32 a	56.4 a
	Se1	24.62 ab	5.26 ab	3.36 a	55.3 a
	Se2	24.69 ab	4.84 b	4.36 a	56.5 a
	Se3	24.34 ab	5.02 ab	4.72 a	55.7 a
	Se4	22.46 b	5.41 a	4.44 a	55.1 a
凤豆 6 号 Fengdou No. 6	CK	21.10 a	6.24 b	4.85 b	59.7 a
	Se1	23.43 a	6.40 ab	4.91 ab	57.8 a
	Se2	20.53 a	6.53 ab	4.98 ab	57.9 a
	Se3	15.90 b	6.61 ab	4.53 ab	57.2 a
	Se4	15.88 b	7.35 a	5.68 a	56.4 a

2.3 硒对蚕豆籽粒抗营养成分的影响

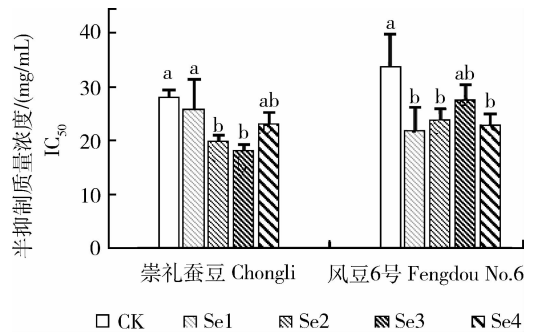
土壤施硒也可以不同程度影响一些抗营养物质的含量。由表 3 可见,2 种蚕豆籽粒中植酸含量受土壤硒含量的影响较小,崇礼蚕豆籽粒植酸含量变化范围为 17.37~17.75 mg/g,凤豆 6 号籽粒植酸含量的变化范围为 19.13~19.56 mg/g,各处理间差异不显著。施硒可以显著提高蚕豆籽粒中单宁含量。崇礼蚕豆的单宁含量在 Se3 处理时比对照显著提高了 7.63%。凤豆 6 号单宁含量在 Se2 和 Se4 处理时分别比对照显著提高了 24.8% 和 23.6%。

表 3 不同硒浓度处理对蚕豆籽粒抗营养成分含量的影响
Table 3 Effects of selenium applications on anti-nutrient compounds in grains of two fava bean cultivars

Se 处理 Treatment	植酸 Phytic acid		单宁 Tannin	
	崇礼蚕豆	凤豆 6 号	崇礼蚕豆	凤豆 6 号
CK	17.53 a	19.56 a	4.85 b	7.42 b
Se1	17.37 a	19.36 a	4.90 ab	9.03 ab
Se2	17.75 a	19.13 a	5.00 ab	9.26 a
Se3	17.45 a	19.48 a	5.22 a	8.26 ab
Se4	17.55 a	19.28 a	5.07 ab	9.17 a

2.4 硒对蚕豆籽粒提取物 DPPH 自由基清除率的影响

本试验采用清除 DPPH 自由基抗氧化体系对蚕豆籽粒中抗氧化活性进行评价,半抑制质量浓度 (IC₅₀) 越低则表明 DPPH 自由基清除力越强。硒处理蚕豆籽粒的抗氧化性均高于对照(图 1)。计算不同试样各自的 IC₅₀,CK、Se1、Se2、Se3 和 Se4 处理的崇礼蚕豆籽粒提取物的 IC₅₀ 分别为 28.1、25.9、20.0、18.3 和 23.1 mg/mL;抗氧化力随浓度呈现先增加后稍微降低的趋势,其中 Se2 和 Se3 处理的抗



不同小写字母代表 0.05 水平存在显著差异。

Values followed by different letters are significantly different at the 0.05 level.

图 1 不同硒浓度处理 2 种蚕豆籽粒提取物清除 DPPH 自由基的能力

Fig. 1 DPPH free-radical-scavenging potential in grains of two fava bean cultivars subjected to doses of Selenium

氧化力显著高于对照。CK、Se1、Se2、Se3 和 Se4 处理的凤豆 6 号籽粒提取物的 IC_{50} 分别为 33.7、21.9、23.8、27.5 和 22.9 mg/mL, 其中 Se1、Se2 及 Se4 处理的抗氧化力显著高于对照。可以看出, 土壤添加硒可以提高蚕豆籽粒提取物对 DPPH 自由基的清除能力, 提高籽粒抗氧化活性, 这可能是籽粒中抗氧化物质含量增加的结果。

2.5 测定指标的相关性分析

由表 4 可见, 崇礼蚕豆籽粒中硒含量与粗蛋白

质含量、单宁含量之间存在显著的相关性。凤豆 6 号籽粒硒含量与粗纤维含量之间也存在显著的相关性。崇礼蚕豆与凤豆 6 号籽粒硒含量与籽粒提取物 DPPH 自由基清除力(用 IC_{50} 表示)之间存在极显著相关性。2 种蚕豆籽粒硒含量与粗灰分、总碳水化合物及植酸含量之间并无显著相关性。2 种蚕豆籽粒中单宁含量与 DPPH 自由基清除力之间存在显著的相关性, 而与粗蛋白、粗纤维、粗灰分、粗碳水化合物、植酸之间相关性较差。

表 4 2 种蚕豆品种籽粒硒含量、营养成分含量、抗营养成分含量及 DPPH 自由基清除力之间的相关性

Table 4 Correlations between indexes determined in grains of two fava bean cultivars

品种 Variety		营养成分 Nutrients				抗营养成分 Anti-nutrients		DPPH (IC_{50})
		粗蛋白质 Crude protein	粗纤维 Crude fiber	粗灰分 Crude ash	碳水化合物 Carbohydrate	植酸 Phytic acid	单宁 tannin	
崇礼 蚕豆 Chongli	硒含量 Se content	-0.533*	0.317	0.005	-0.180	-0.095	0.520*	-0.677**
	DPPH (IC_{50})	0.225	0.020	-0.024	0.216	-0.158	-0.650**	1.000
凤豆 6 号 Fengdou No. 6	硒含量 Se content	-0.288	0.517*	0.135	-0.213	-0.169	0.418	-0.747**
	DPPH (IC_{50})	-0.180	-0.419	-0.096	0.270	0.226	-0.640*	1.000

注: * 与 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平差异显著。

Note: * and ** mean significant differences at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

3 讨论

3.1 硒对蚕豆籽粒产量与硒含量的影响

硒经植物的吸收和转化进入食物链, 从而被人体吸收与利用。研究表明, 适宜浓度硒处理不仅可以提高食物链的硒水平和营养价值, 改善作物的品质, 也可以提高作物的产量^[7]。高浓度的硒对植物具有毒害作用, 通过影响植物的生理和正常代谢降低植物的生物产量与经济产量^[17]。郝玉波等^[17]证实低含量(<10 mg/kg)的硒能促进玉米的生长、提高生物产量和籽粒产量; 高浓度硒抑制玉米的正常生长和干物质累积量, 籽粒产量和品质下降。本研究崇礼蚕豆籽粒产量在适宜浓度(<6.2 mg/kg)有所增加, 但随土壤硒浓度的继续增加而急剧下降,

这与前人^[18]在其他作物上的相关研究规律相符。凤豆 6 号与崇礼蚕豆稍有不同, 籽粒产量随硒浓度的增加而不断下降, 并未出现产量增加的现象, 这可能与品种对硒的敏感度有关。对水稻^[19-20]玉米^[17]和谷子^[21]等作物的研究表明, 不同品种对硒的吸收和响应规律不同, 存在基因型的差异。在不添加硒时, 崇礼蚕豆富集硒的能力要弱于凤豆 6 号(崇礼蚕豆为 0.19 mg/kg, 凤豆 6 号为 0.78 mg/kg), 但随着硒浓度增加, 崇礼蚕豆的硒含量增加倍数要远大于凤豆 6 号。可见不同蚕豆品种对硒的累积能力也存在基因型的差异。

Pappa 等^[22]报道来自希腊的食用豆硒含量为 0.024~0.444 mg/kg, 平均为 0.165 mg/kg。本试验对照蚕豆籽粒中硒含量与该范围基本一致。本研

究表明添加少量的硒(3.1 mg/kg)即可极大地提高蚕豆籽粒硒含量(崇礼蚕豆提高 21.3 倍;凤豆 6 号提高 4.97 倍),且随浓度继续增加,籽粒中硒含量增加幅度降低,这一研究结果与田秀英等^[23]对苦荞的研究结果相一致。玉米富集硒的盆栽试验显示玉米籽粒中硒含量与土壤施硒量之间呈直线增长关系^[17],而本研究则认为对数增长关系拟合度更佳,这可能与作物种类、处理浓度的设置等因素有关。此外,杜振宇等^[24]研究发现尽管茄子硒含量随施硒量增加而显著增加,但无机硒转化为有机硒的比率下降。经计算,食用施硒量为 3.1 mg/kg 处理所生产的崇礼蚕豆 13.0 g 或凤豆 6 号 11.8 g 即可达到推荐的每日硒摄入量 55 $\mu\text{g}/\text{d}$,而达到 400 $\mu\text{g}/\text{d}$ 的上限摄入量^[25]则需要 3.1 mg/kg 生产的崇礼蚕豆 94.5 g 或凤豆 6 号 85.8 g,不宜过量食用。硒是一把双刃剑,缺硒和高硒都会对人体产生危害,并且硒的有益到有害范围非常窄,故富硒蚕豆的安全评价与合理摄取的相关研究还需进一步完善。

3.2 硒对蚕豆籽粒营养成分与抗营养因子含量的影响

合理施用微量元素可以促进作物生长,提高作物对养分的吸收能力,有效改善作物营养物质^[26]。本试验中,蚕豆籽粒粗蛋白含量随施硒浓度增加而降低,凤豆 6 号在低浓度时粗蛋白含量有所增加,但差异并不显著。适宜浓度时(6.2 mg/kg)崇礼蚕豆粗纤维含量最低,而高浓度(24.8 mg/kg)时粗纤维含量显著增加;凤豆 6 号粗纤维含量随施硒浓度增加而不断增加。2 种蚕豆品种籽粒中灰分变化趋势也不尽相同。李明等^[18]报道称,施硒量增加可降低莜麦籽粒中粗蛋白的含量,但提高粗纤维的含量,本研究与之类似。但也有研究与上述结果相反。Lee 等^[27]研究发现小麦籽粒中硒含量与蛋白质含量存在正相关性。田秀英等^[23]报道称苦荞的粗蛋白含量随施硒浓度增加而升高。李登超等^[28]报道称低浓度硒肥能增加小白菜纤维素的含量,高浓度则降低了粗纤维的浓度。以上研究结果之所以不同,可能与施硒浓度范围、施硒的方式与时期及作物种类等因素有关,还有待进一步研究。故农作物富硒研究要综合考虑各因素,从而得到满意的富硒效果。

蚕豆是淀粉、蛋白质、纤维素和矿物质的优良来源,但其中也含有单宁、植酸等抗营养因子^[8],过多摄入不利于人体对蛋白质、矿物质等营养物质的吸

收。目前的文献报道多侧重于施硒对植物功能性成分影响的研究,如芦丁、黄酮^[23]、Vc、大蒜素^[29]等,对抗营养物质含量变化的报道不多。本研究表明,土壤施硒对蚕豆籽粒中植酸含量影响不大,但可以提高单宁含量。最近研究表明,单宁具有抑制白血病、降血压、清除体内自由基以及抑制蛇毒等多种功能^[30],从该角度来看,抗营养因子的增加未必见得无益。

3.3 硒对蚕豆籽粒 DPPH 自由基清除力的影响

DPPH 是一种有机自由基,因其具有稳定性好、操作简便等优点被广泛应用于评价物质的抗氧化活性^[31],可以用来测定任何植物材料提取物的抗氧化力^[15]。施硒后,2 种蚕豆籽粒提取液的 DPPH 清除力均提高,且与籽粒硒含量、单宁含量之间有显著的相关性,故推测有以下 2 个原因。1)含硒化合物具有较强的抗氧化能力,而这些含硒物质随籽粒中硒含量增加而增加。硒在植物体内的存在形式主要是有机硒,占 80% 以上^[32]。由于硒与硫之间化学性质相似,硒也可以非特异结合形成与硫相关的化合物^[2,8],这些化合物通常被认为具有抗氧化能力,这些物质的形态及功能还有待确定。2)施硒改变了植物正常的生理代谢过程,为响应硒的刺激,植物可以产生多种抗氧化物质,如黄酮类^[23]、单宁、叶绿素^[33]、Vc、酚类^[34]等。这些抗氧化物质含量与品种、生长环境及种子成熟度等因素有关^[33]。结合本试验结果可知,蚕豆籽粒提取物 DPPH 自由基清除力与单宁含量存在显著相关性,这说明籽粒中单宁含量的提高是增强 DPPH 自由基清除力的原因之一。蚕豆籽粒中还可能存在其他的抗氧化物质(尤其是含硒化合物),这些物质的形态及含量与抗氧化能力的内在联系还需要进一步研究。

4 结论

土壤施硒能够显著提高蚕豆籽粒硒含量,但随土壤硒浓度增加,籽粒硒含量增加幅度降低,且品种间对硒的富集规律也存在一定差异。硒处理可以改变蚕豆籽粒中一些常规营养成分和抗营养物质的含量,并能够通过影响单宁等抗营养物质含量提高籽粒的抗氧化能力。综合考虑低浓度硒处理(3.1 mg/kg)适于富硒蚕豆的开发。富硒蚕豆的开发应因地制宜,筛选适合的蚕豆品种及处理方法,建立起标准化、规范化的技术体系。

参 考 文 献

- [1] Zhu Y G, Pilon-smits E A H, Zhao F J, et al. Selenium in higher plants; Understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation[J]. Trends in Plant Sci, 2009, 14(8): 436-442
- [2] Terry N, Zayed A M, de Souza M P, et al. Selenium in higher plants[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 2000, 51: 401-432
- [3] Combs G F. Status of selenium in prostate cancer prevention [J]. Brit J Cancer, 2004, 91(2): 195-199
- [4] Reilly C. Selenium in Food and Health[M]. 2nd ed. New York: Springer, 2006
- [5] Gissel-Nielsen G. Effects of selenium supplementation of field crops[M]// Frankenberger W T, Engberg R A. Environmental chemistry of selenium. New York: Marcel Dekker Inc, 1998: 99-112
- [6] Haldimann M, Venner T Y, Zimmerli B. Determination of selenium in the serum of healthy Swiss adults and correlation to dietary intake[J]. J Trace Elem Med Bio, 1996, 10(1): 31-45
- [7] Hartikainen H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health[J]. J Trace Elem Med Bio, 2005, 18(4): 309-318.
- [8] Juana F, Protr G, Cristinamartinez M V, et al. Changes in nutritional value and cytotoxicity of Garden Cress germinated with different selenium solutions[J]. J Agr Food Chem, 2010, 58(4): 2331-2336
- [9] Prit P, Tonu T, Anu V, et al. Effect of selenium treatment on mineral nutrition, bulb size, and antioxidant properties of garlic (*Allium sativum* L.) [J]. J Agr Food Chem, 2011, 59(10): 5498-5503
- [10] 唐杰, 薛文通. 蚕豆中抗营养因子的生理功能[J]. 食品工业科技, 2012, 34(5): 1-6
- [11] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 52-80
- [12] 王福荣. 生物工程分析与检测[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 146-147
- [13] 傅启高, 李慧荃. 三氯化铁比色法测定植酸含量的研究[J]. 营养学报, 1997, 19(2): 216-220
- [14] Orak H H, Yagar H, Isbilir S S. Comparison of antioxidant activities of juice, peel, and seed of Pomegranate (*Punica granatum* L) and inter-relationships with total phenolic, tannin, anthocyanin, and flavonoid contents [J]. Food Sci Biotechnol, 2012, 21(2): 373-387
- [15] Brand-William W, Cuvelier M E, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity[J]. LWT-FOOD Sci Technol, 1995, 28(1): 25-30
- [16] 中华人民共和国国家标准. GB 5009. 93—2010. 食品安全国家标准: 食品中硒的测定. 北京: 中国标准出版社, 2010
- [17] 郝玉波, 刘华琳, 慈晓科, 等. 施硒对两种类型玉米硒元素分配及产量、品质的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 411-418
- [18] 李明, 介晓磊, 李建平, 等. 硒肥对苜蓿常规养分和氨基酸变化规律的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(6): 1086-1092
- [19] 周鑫斌, 施卫明, 杨林章. 水稻子粒硒积累机制研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 503-507
- [20] 杜前进, 张永发, 唐树梅, 等. 水稻不同品种在海南富硒土壤中硒的吸收和分配机理[J]. 中国土壤与肥料, 2009(6): 37-40
- [21] 张鹏飞, 张爱军, 张建恒, 等. 叶面施硒对谷子硒富集及品质的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(4): 231-234
- [22] Pappa E C, Pappas A C, Surai P F. Selenium content in selected foods from the Greek market and estimation of the daily intake [J]. Sci Total Environ, 2006, 372(1): 100-108
- [23] 田秀英, 王正银. 硒对苦荞产量、营养与保健品质的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(7): 1266-1272
- [24] 杜振宇, 史衍玺, 王清华. 施硒对茄子吸收转化硒和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 298-301
- [25] Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds, Subcommittee on Upper Reference Levels of Nutrients, Subcommittee on Interpretation and uses of DRIs, et al. Food and Nutrition Board-USA Institute of Medicine Dietary References Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium and Carotenoids[M]. Washington: National Academy Press, 2000
- [26] 笪亚玲, 王朝辉, 毛辉. 施用硒、锌、铁对玉米和大豆产量与营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 252-256
- [27] Lee S, Woodard H J, Doolittle J J. Selenium uptake response among selected wheat (*Triticum aestivum*) varieties and relationship with soil selenium fractions [J]. Soil Sci Plant Nutr, 2011, 57(6): 823-832
- [28] 李登超, 朱祝军, 徐志豪, 等. 硒对小白菜生长和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 353-358
- [29] 夏永香, 刘世琦, 李贺, 等. 硒对大蒜生理特性、硒含量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 733-741
- [30] 陈佩, 李平, 郝艳宾, 等. 柿果成熟过程中可溶性果胶和单宁含量的变化[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 88-92
- [31] 张立华, 张元湖, 安春燕, 等. 石榴皮提取物的大孔树脂纯化及其抗氧化性能[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 142-147
- [32] 左银虎. 环境与植物中硒形态研究进展[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 378-380
- [33] Khattab R, Goldberg E, Li L, et al. Quantitative analysis and free-radical-scavenging activity of chlorophyll, phytic acid, and condensed tannins in canola [J]. Food chem, 2010, 122(4): 1266-1272
- [34] Du G R, Li M J, Ma F W, et al. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits [J]. Food Chem, 2009, 113(2): 557-562