

硒素对草莓果实抗氧化活性及相关物质含量的影响

张守花, 许真, 蒋安, 王永刚*
(鹤壁职业技术学院, 河南 鹤壁 458030)

摘要:该试验以草莓“章姬”“红颜”为试材, 叶面喷施不同浓度亚硒酸钠溶液, 探究硒素对草莓果实抗氧化活性及相关物质含量的影响。结果表明: 在适当浓度范围内, 草莓果实中总硒、抗氧化活性和抗氧化物质含量都随着施硒浓度的升高而增加。硒浓度为 20 mg/L 时, 总硒含量、抗氧化活性和抗氧化物质含量均达最大值, 此浓度为最佳喷施浓度。
关键词:草莓; 硒; 抗氧化活性; 抗氧化物质; 含量

Effects of Selenium on Antioxidant Capacity and Antioxidant Substance of Strawberry

ZHANG Shou-hua, XU Zhen, JIANG An, WANG Yong-gang*

(Hebi College of Vocation and Technology, Hebi 458030, Henan, China)

Abstract: In order to explore the selenium treatment effects on strawberry antioxidant activity and related substances content, the strawberry “Zhang Ji” “Hong Yan” as the test material, were applicated of different concentrations of sodium selenite. The results showed that: in the appropriate concentration range, the strawberry in total selenium, antioxidant activity and antioxidant substances content increased with increasing of concentration of sodium selenite, concentration was 20 mg/L, total selenium, antioxidant activity and antioxidant substances reached maximum value, this concentration was the best.

Key words: strawberry; selenium; antioxidant capacity; antioxidant substance; content

作者简介: 张守花(1977—), 女(汉), 副教授, 本科, 研究方向: 精细化工和食品品质研究。

* 通信作者: 王永刚(1983—), 男(汉), 讲师, 硕士, 研究方向: 食品保鲜技术。

- human hepatoblastoma HepG-2 cells[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 138: 123-133
- [5] 于丽娜, 高俊安, 杨庆利, 等. 不同处理条件对花生抗氧化肽抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(11): 104-110
- [6] 魏君慧, 薛媛, 冯莉, 等. 杏鲍菇分离蛋白和清蛋白的理化性质及功能分析[J]. 食品科学, 2018, 39(18): 54-60
- [7] 陈雪洋, 刘亚琼, 于振林, 等. 杏鲍菇蛋白质提取及功能性质测定[J]. 食品科技, 2017, 42(5): 235-240
- [8] 冯笑笑. 翅果油树种仁蛋白制备及其活性肽研究[D]. 太原: 山西大学, 2017
- [9] 庞庭才, 胡上英, 范和良, 等. 羊栖菜蛋白质提取及功能性质研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(9): 148-152
- [10] 张艳荣, 高宇航, 刘婷婷, 等. 白灵菇蛋白提取及功能特性和结构分析[J]. 食品科学, 2018, 39(14): 42-50
- [11] 杨华连, 陈莉, 卢红梅, 等. 薏仁米糠多肽的功能特性研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(4): 126-130
- [12] 林洋. 黑木耳蛋白质的提取、分离纯化及特性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016
- [13] 郭丰铭. 杏鲍菇蛋白质提取及其功能特性研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2017
- [14] 王艳菲. 黑木耳四种蛋白质的提取及特性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017
- [15] 管军军, 裴爱泳, 周瑞宝. 提高大豆分离蛋白乳化性及乳化稳定性的研究[J]. 中国油脂, 2003, 28(11): 38-4
- [16] 傅亮, 田利春. 均质条件与大米饮料乳化稳定性关系研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(3): 20-21
- [17] 郭兴凤, 阮诗丰. 影响大豆分离蛋白乳化稳定性测定的几种因素研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(6): 59-61
- [18] 朱卫红, 许时婴, 江波. 微胶囊壁材辛烯基琥珀酸酯化淀粉的界面性质和乳化稳定性[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 79-84
- [19] 王艳萍, 李双喜, Zaheer Ahmed, 等. 蚕豆蛋白的提取及 NaCl 浓度和 pH 值对其溶解性和乳化性的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 380-384

收稿日期: 2018-01-23

引文格式:

张守花,许真,蒋安,等. 硒素对草莓果实抗氧化活性及相关物质含量的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(14):62-67

ZHANG Shouhua, XU Zhen, JIANG An, et al. Effects of Selenium on Antioxidant Capacity and Antioxidant Substance of Strawberry[J]. Food Research and Development, 2020, 41(14):62-67

硒是人体必需的微量元素之一,在合成硒代半胱氨酸时,作为酶结构上的一部分^[1],具有清除自由基、抗氧化、抗癌和提高机体免疫力的作用^[2]。人体的多种疾病与缺硒有关,如克山病、癌症等^[3]。我国大部分地区处于缺硒地带^[4],成人每天摄入的硒元素量远远低于生物需要量^[5]。很多研究已证实,食用含有丰富植物素的植物对人体健康因子的激发具有促进作用。人类的健康和植物营养之间具有显著地正向关系,很多植物需要的基本营养成分同样也被人类和动物需要,多数情况下,具有相似的作用机理^[6],因此,提高作物中硒元素的含量是人体补硒最安全经济的方法。

草莓(*Fragaria ananassa* Duch)是蔷薇科草莓属多年生草本浆果植物,鲜嫩多汁,营养丰富,其抗氧化能力是苹果、柑橘等园艺作物的2倍~11倍^[6]。草莓果实中抗氧化物质对人类健康的影响越来越受到关注,抗氧化活性也成为衡量其果实品质的重要指标之一^[7]。

迄今为止,有关硒肥对草莓果实的抗氧化活性及相关物质含量的影响尚未见报道。本试验通过对开花期草莓施用不同浓度的亚硒酸钠(Na_2SeO_3)溶液,对其果实中总硒含量和抗氧化活性及相关物质含量进行测定,以期为提高草莓品质,生产高抗氧化活性的草莓提供科学合理的施硒方法,为生产富硒果蔬提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

草莓:品种为“章姬”“红颜”,本地栽培。

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH):上海如吉生物科技有限公司;福林-酚试剂:上海跃腾生物科技有限公司;硝酸(优级纯)、亚硒酸钠、 FeSO_4 、水杨酸、香草醛、亚硝酸钠、2,6-二叔丁基对甲酚(2,6-di-tert-butyl-4-methyl phenol, BHT)、邻苯三酚、甲醇(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

UV-2000 型紫外分光光度计:上海尤尼可仪器有限公司;AFS-920 型双道原子荧光光谱仪:北京吉天仪器有限公司;Agilent 1290 Infinity II LC 型色谱仪:安捷伦公司;TP-114 电子分析天平:赛多利斯仪器有限公司;

司;TGL-16gR 型台式离心机:上海安亭科学仪器厂。

1.3 试验方法

1.3.1 草莓栽培

试验在本地大棚内进行。2016年9月10日选取3叶1心生健壮,整齐一致的草莓苗进行定植,起垄栽培,每垄2行,行距为40 cm,株距为25 cm。待草莓长至初花期,开始进行叶面喷施亚硒酸钠溶液,同时设清水喷施为对照(CK),喷施程度以叶面均匀布满雾状溶液为标准。试验选择硒浓度为0(CK)、5、10、15、20、25 mg/L共6个处理,每个处理20株,3次重复。每隔10 d喷施一次,直至初果期(果实颜色为绿色)停止喷施。

1.3.2 样品预处理

选取果实发育充分,着色面积达到90%左右,大小基本一致,无病虫害,无机械伤的果实采收。取不同处理的果实,清洗后切碎,在液氮中快速冷冻,用封口袋包装,置于-18℃冰箱中保存,用于硒、抗氧化活性、总酚、原花青素、总黄酮、维生素C和维生素E的含量测定。

1.3.3 测定方法

1.3.3.1 总硒含量测定

称取5 g样品于微波消解管中,加入16 mL硝酸,消化过夜,用微波消解仪消解。将消解液转移至100 mL容量瓶,用高纯水定容,滤纸过滤,取10 mL滤液,加入2.5 mL HCl,沸水浴2 h,用荧光光谱仪测定总硒含量。每份样品平行测定3次,取平均值^[8](下同)。

1.3.3.2 DPPH 自由基清除率的测定

取草莓汁2 mL,加入0.1 mg/mL DPPH溶液2 mL,混匀,放置30 min,在517 nm处测 $A_{\text{样品}}$ 吸光光度值,计算清除率^[9]。

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = (A_{\text{空白}} - (A_{\text{样品}} - A_{\text{对照}})) / A_{\text{空白}} \times 100$$

式中: $A_{\text{样品}}$ 为样液与DPPH溶液混合后的吸光光度值; $A_{\text{对照}}$ 为样液与溶剂混合后的吸光光度值; $A_{\text{空白}}$ 为溶剂与DPPH溶液混合后的吸光光度值。

1.3.3.3 OH 自由基清除率的测定

依次加入6 mmol/L FeSO_4 溶液、6 mmol/L 水杨酸-乙醇溶液、草莓汁各2 mL,混匀,加入6 mmol/L H_2O_2

溶液 2 mL,混匀,放置 15 min,在 510 nm 处测 $A_{\text{样品}}$ 吸光光度值,计算清除率^[9]。

OH 自由基清除率/%=($A_{\text{空白}}-(A_{\text{样品}}-A_{\text{对照}})/A_{\text{空白}})$ ×100

式中: $A_{\text{样品}}$ 为样液加 H_2O_2 的吸光光度值; $A_{\text{对照}}$ 为样液未加 H_2O_2 的吸光光度值; $A_{\text{空白}}$ 为空白液的吸光光度值。

1.3.3.4 O_2^- 自由基清除率的测定

取 0.05 mol/L 的 Tris-HCl 缓冲溶液 4.5 mL,加入 1 mL 草莓汁和 25 mmol/L 邻苯三酚溶液 0.5 mL,25 °C 水浴反应 4 min,加入 8 mol/L HCl 溶液 0.5 mL,320 nm 处测 $A_{\text{样品}}$ 吸光光度值,计算清除率^[9]。

O_2^- 自由基清除率/%=($A_{\text{空白}}-(A_{\text{样品}}-A_{\text{对照}})/A_{\text{空白}})$ ×100

式中: $A_{\text{样品}}$ 为样液加邻苯三酚的吸光光度值; $A_{\text{对照}}$ 为样液未加邻苯三酚的吸光光度值; $A_{\text{空白}}$ 为空白液的吸光光度值。

1.3.3.5 总酚含量测定

去籽草莓果肉打浆、离心,取草莓汁,加 4 倍蒸馏水稀释。精确量取稀释后的样品溶液 0.5 mL,加 30 mL 蒸馏水混匀,加入 2.5 mL 福林酚试剂,7.5 mL 20 % Na_2CO_3 溶液,用蒸馏水定容至 50 mL,混匀,75 °C 水浴 10 min,冷却后在 760 nm 处测其吸光度^[10]。

1.3.3.6 原花青素含量测定

冻干样品粉碎,加入 80 % 甲醇溶液,28 °C 振荡 24 h,4 000 r/min 离心 10 min,取上清液过滤,装于棕色瓶,-4 °C 保存,待用。用锡箔纸将试管包严,仅留管口用于加样。取上清液 1 mL,加入 40 g/L 香草醛甲醇溶液 6 mL,再加入 3 mL 浓盐酸,混匀,室温 25 °C 条件下,暗处放置 15 h,在 500 nm 波长处比色^[11]。

1.3.3.7 总黄酮含量测定

冻干样品粉碎,加入 80 % 甲醇溶液,28 °C 振荡 24 h,4 000 r/min 离心 10 min,取上清液过滤。取滤液 10 mL 与 1 mL 50 g/L 亚硝酸钠溶液混合,5 min 后加入 100 g/L 六水氯化铝 1 mL,混匀,反应 5 min 后,再加入 1 mol/L 氢氧化钠 10 mL,充分混匀,15 min 后在 510 nm 波长处测定吸光度^[12]。

1.3.3.8 维生素 C 含量测定

取去籽草莓果肉 5.0 g,研磨均匀置于锥形瓶中,加入 2 % 偏磷酸溶液 10 mL,塞紧瓶口,30 °C,超声辅助提取 30 min,加入 10 mL 蒸馏水,13 000 r/min 下离心 10 min,取上清液 2 mL 加蒸馏水定容至 10 mL,在 246 nm 处测定吸光度^[13]。

1.3.3.9 维生素 E 含量测定

取少量去籽草莓果肉,研磨细碎后取 0.1 g,加入含 0.01 % BHT 的甲醇:氯仿(2:1,体积比)混合液 2 mL,避光静置 20 min,然后加入 0.8 mL 氯仿和 1.5 mL 水,振荡混匀,13 000 r/min 下离心 15 min,取下层蒸干,用二氯甲烷:甲醇(1:5,体积比)的混合液溶解至 800 μ L,置于样品瓶中上机测定,进样量 20 μ L。色谱柱为 Li-CHrospher 100 Diol 250 mm×4 mm,粒径 5 μ m;流动相,甲醇:水(97:3,体积比);流速 1.2 mL/min;荧光激发 292 nm,发射 330 nm^[14]。

1.4 数据分析

数据采用 SPSS12.0 软件进行数据分析,利用 Microsoft Excel 2007 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同硒处理浓度对草莓果实中总硒含量的影响

植物在一定硒浓度范围内,对硒的吸收能力随硒浓度的增加而增大,但施硒过量时,植物体富硒能力下降,严重时会对植物体造成不同程度的伤害^[15]。不同硒浓度处理对草莓果实中总硒含量的影响见图 1。

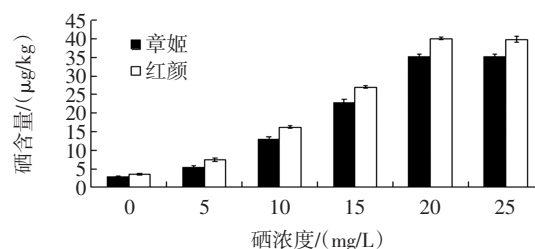


图 1 不同硒浓度处理对草莓果实中总硒含量的影响

Fig.1 Effect of different selenium treatments on selenium content of strawberry

由图 1 可知,清水(CK)喷施时,果实中硒含量非常低,随着硒浓度的增加,“章姬”“红颜”果实中硒含量都呈明显上升趋势,当硒浓度为 20 mg/L 时,果实中的硒富集量分别为 35.32、40.12 μ g/kg,达最大值;硒浓度为 25 mg/L 时,果实中硒含量几乎没有变化,说明果实对硒的吸收能力已达饱和状态。由此可见,提高硒处理浓度对草莓果实中硒的积累是有积极作用的,草莓对外源硒的吸收具有饱和性。

“红颜”对硒的富集能力高于“姬章”,可能是因为品种间的差异性。

2.2 不同硒处理浓度对草莓果实抗氧化活性的影响

研究发现,谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)能清除生物体内过多自由基,而硒对该酶具有活性调节作用^[16]。不同硒浓度处理的草莓对自由基的清除作用如图 2~图 4 所示。

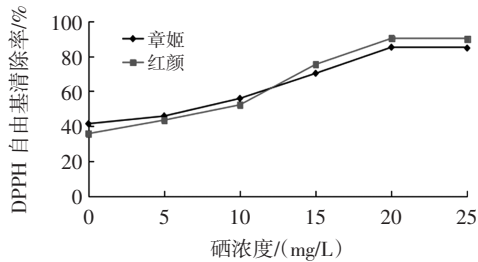


图2 不同硒浓度处理的草莓对 DPPH 自由基的清除作用

Fig.2 DPPH radical-scavenging capability of strawberry by different selenium treatments

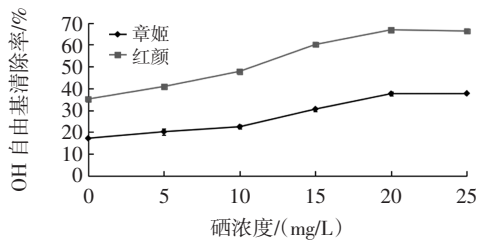
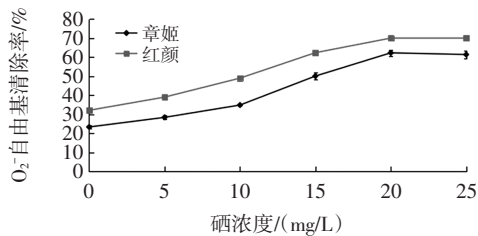


图3 不同硒浓度处理的草莓对 OH 自由基的清除作用

Fig.3 OH radical-scavenging capability of strawberry by different selenium treatment

图4 不同硒浓度处理的草莓对 O₂·⁻ 自由基的清除作用Fig.4 O₂·⁻ radical-scavenging capability of strawberry by different selenium treatments

由图2~图4可以看出,随着硒浓度的增加,“章姬”“红颜”对自由基的清除率均比对照增加。硒浓度为20 mg/L时,“章姬”对 DPPH·、·OH、O₂·⁻ 3种自由基的清除率达最大值,分别为85.09%、58.94%和63.3%;“红颜”对3种自由基的清除率也达最大值,分别为90.17%、66.87%和70.04%。硒浓度为25 mg/L时,两品种对自由基的清除率不再有显著变化,说明对草莓果实喷施适宜浓度的硒溶液,可以增加其对自由基的清除能力,但草莓对硒的吸收具有饱和性,达到一定程度后,抗氧化能力将不再增加。究其原因,主要是硒作为一种诱发因子,以硒代半胱氨酸或硒代甲硫氨酸的形式参与到GSH-Px的结构中,激活GSH-Px合成的相关基因,从而提高酶的活性,但随着硒浓度的增加,植物体内GSH-Px合成达到饱和,再增加硒浓度,酶活性也不再增加,自由基清除率也就不再变化^[17]。由于品种间差异,对硒的吸收能力及自身抗氧化物质含量不同造成施硒后“红颜”对自由基的清除率高于“章姬”。

2.3 不同硒处理浓度对草莓果实抗氧化物质含量的影响

不同硒浓度处理对草莓果实中抗氧化物质含量的影响如表1所示。

2.3.1 对总酚含量的影响

酚类物质通过调节细胞氧化还原状态,有效抑制或清除活性氧自由基,起到抗氧化作用^[18]。喷施硒溶液后,草莓果实中的总酚含量随硒浓度的增加而逐渐升高。如表1所示,与对照相比,5、10、15、20 mg/L和25 mg/L的处理均能显著提高果实中的总酚含量,硒浓

表1 不同硒浓度处理对草莓果实中抗氧化物质含量的影响

Table 1 Effect of different selenium treatments on antioxidant substances content of strawberry

品种	处理/(mg/L)	总酚/(mg/100 g)	原花青素/(mg/100 g)	总黄酮/(mg/100 g)	维生素 C/(mg/100 g)	维生素 E/(μg/g)
章姬	0	270.5±7.8 ^f	20.03±2.63 ^e	32.37±0.63 ^a	54.14±0.79 ^d	12.37±0.21 ^e
	5	275.2±10.9 ^e	20.27±3.58 ^{bc}	32.93±2.55 ^a	55.43±5.99 ^{cd}	12.91±0.54 ^e
	10	282.6±13.4 ^d	21.01±0.56 ^{abc}	35.22±1.76 ^d	57.46±2.76 ^{bc}	15.22±0.32 ^d
	15	292.3±6.8 ^c	21.36±1.43 ^{abc}	37.27±0.48 ^b	58.55±1.73 ^b	17.25±0.71 ^b
	20	298.7±4.9 ^a	22.33±0.65 ^{ab}	40.24±6.72 ^a	64.24±4.67 ^a	18.81±0.63 ^a
	25	296.4±11.3 ^b	21.91±2.84 ^a	36.83±3.61 ^c	63.39±0.69 ^a	18.22±0.02 ^a
红颜	0	262.2±2.4 ^f	21.02±0.78 ^d	35.84±1.36 ^c	72.64±1.02 ^d	8.31±0.07 ^f
	5	265.3±8.6 ^e	21.51±1.29 ^{cd}	36.78±0.71 ^d	74.91±2.74 ^d	9.33±0.13 ^e
	10	273.7±3.1 ^d	22.11±3.52 ^{bcd}	38.88±2.43 ^c	77.34±2.92 ^c	11.43±0.05 ^d
	15	284.9±11.7 ^c	22.90±2.84 ^{abc}	41.31±4.28 ^b	80.31±5.57 ^b	13.86±0.16 ^c
	20	295.3±12.3 ^a	23.88±0.31 ^{ab}	44.59±0.86 ^a	84.43±1.51 ^a	16.84±0.28 ^a
	25	291.4±5.8 ^b	23.41±1.47 ^a	41.61±3.84 ^b	83.98±0.61 ^a	15.76±0.12 ^{ab}

注:不同小写字母表示在0.05水平差异显著($p \leq 0.05$)。

度为 20 mg/L 时,“章姬”“红颜”果实中的总酚含量均达最大值,分别为 298.7 mg/100 g 和 295.3 mg/100 g,比对照提高了 9.5 % 和 12.7 %,差异显著。这是因为苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia lyase, PAL)是连接初级代谢和苯丙烷、苯丙氨酸类代谢的关键酶,参与酚类物质的合成,PAL 活性增高,酚类物质含量呈一致性增加^[19]。由于 PAL 活性与植物体中硒含量有极显著的正相关性^[20],随着果实中硒含量的增加,PAL 活性逐渐增强,促进果实中酚类物质的合成和积累。

2.3.2 对原花青素含量的影响

原花青素(proantho anthocyan, PA)又叫缩合单宁,是广泛存在于高等植物界中的一类聚多酚化合物,具有强大的清除自由基、抗氧化能力^[21]。由表 1 可知,随着硒溶液浓度的增加,草莓果实中原花青素含量越来越高。与对照相比,“章姬”的原花青素含量分别增加 1.2 %、4.9 %、6.6 %、11.5 % 和 9.4 %、“红颜”的原花青素含量分别增加 2.3 %、5.2 %、8.9 %、13.6 % 和 11.4 %。施硒浓度为 20 mg/L 时原花青素含量最高,“章姬”为 22.33 mg/100 g,“红颜”为 23.41 mg/100 g,而 25 mg/L 处理时原花青素含量稍有降低,究其原因可能与原花青素合成途径有关,原花青素合成经历公共苯丙烷途径→核心类黄酮-花青素途径→PA 特异途径^[22],而 PAL 是苯丙烷途径的第一个关键酶,适量硒可以提高 PAL 的活性^[20],PAL 活性增强,原花青素含量相应增加。

2.3.3 对总黄酮含量的影响

草莓果实中总黄酮的含量随硒溶液浓度的增加而升高,硒浓度为 20 mg/L 时,“章姬”“红颜”的总黄酮含量均达最大值,分别为 40.24 mg/100 g 和 44.59 mg/100 g,比对照提高了 19.6 % 和 24.4 %;硒浓度为 25 mg/L 时,总黄酮含量呈下降趋势,这可能是因为,黄酮类化合物由苯丙烷类代谢途径产生,PAL 催化苯丙烷类代谢的第一步,与黄酮类化合物的生成有密切关系。硒含量增加,PAL 活性增强,总黄酮含量上升,硒过高时可能加快了其它次生代谢产物合成,不利于黄酮类物质合成^[20]。

2.3.4 对维生素 C 含量的影响

维生素 C 是一类存在于植物绿色组织中的水溶性抗氧化物质,在清除自由基,提高植物抗胁迫能力方面具有重要意义^[23]。维生素 C 含量随施硒浓度变化动态如表 1 所示,随着硒浓度的增加,果实中维生素 C 含量也逐渐升高,浓度为 20 mg/L 时达最大值,“章姬”为 64.24 mg/100 g,比对照提高了 18.7 %;“红颜”为 84.43 mg/100 g,比对照提高了 16.2 %。这是因为硒被

吸收后会形成硒蛋白能提高植物的合成代谢能力,使维生素 C 合成量增加;植物对硒的吸收具有饱和性,达到一定量后不再吸收,合成代谢能力随之减弱,维生素 C 含量也相应下降。

2.3.5 对维生素 E 含量的影响

维生素 E 又名生育酚,是一类由光合组织合成的脂溶性强抗氧化剂^[24-25],能减弱脂肪氧合酶对不饱和脂肪酸的伤害,清除生物体内自由基,延缓衰老^[26]。试验结果表明,随着硒溶液浓度升高,草莓果实中维生素 E 含量显著提高,硒浓度为 20 mg/L,“章姬”“红颜”果实中的维生素 E 含量均达最大值,分别比对照提高了 52.1 % 和 100 %;硒浓度为 25 mg/L,分别比对照提高了 47.3 % 和 89.7 %,与 20 mg/L 处理差异不显著,说明适宜浓度的外源硒溶液对维生素 E 的合成具有促进作用,这可能是因为硒元素能调控和促进植物叶绿素的合成代谢,提高光合速率^[27],增强光合组织功能,维生素 E 由光合组织合成,硒元素通过对光合组织的积极作用间接促进了维生素 E 的合成。

3 结论

本试验考虑到硒素来源的毒性及对环境的影响,选择了风险性较小的亚硒酸钠为外源硒素,并采用叶面喷施的方式,减少过量硒素对土壤和植物的危害。

由试验结果可知,一定范围内,随着硒浓度的增加,草莓对硒的吸收能力、抗氧化活性和抗氧化物质含量呈上升趋势。叶面喷施硒浓度为 20 mg/L 时,草莓对外源硒的富集力最强,对 DPPH·、·OH、·O₂⁻ 3 种自由基的清除率最大,总酚、原花青素、总黄酮、维生素 C、维生素 E 含量都显著高于对照,硒浓度为 25 mg/L 时,草莓果实对硒的吸收能力、抗氧化活性和抗氧化物质含量都没有显著增加,部分呈下降趋势,因此,可喷施 20 mg/L 的硒溶液,提高草莓果实的抗氧化活性及相关物质含量,提高草莓品质,延长保质期。

参考文献:

- [1] PATRICIA B, JOCELEM MS, JOAO EC, et al. Antioxidant and antiproliferative activities in different maturation stages of broccoli (*Brassica oleracea* Italica) biofortified with selenium[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 771-776
- [2] COMBS GF, CLAEK LC, TUMBULL BW. Reduction of cancer risk with oral supplement of selenium[J]. Biomedical Environmental and Sciences, 1996, 10: 227-234
- [3] 谭见安. 环境硒与健康[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1989: 219-182
- [4] 谭见安, 郑达贤, 侯少范. 克山病与自然环境和硒营养背景[J]. 营养学报, 1982, 4(3): 175-182

- [5] 郭文慧,刘庆,史衍玺.施硒对紫甘薯硒素积累及产量和品质的影响研究[J].中国粮油学报,2016,31(9): 31-37
- [6] WANG HONG,CAO GUO HUA,PRIOR R L.Total antioxidant capacity of fruits[J]. Journal Agricultural Food Chemistry, 1996(44): 701-705
- [7] KALT W, FOMEY CF, MARTIN A, et al. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1999, 47(11): 4638-4644
- [8] 田磊,李晓燕,张海英. 酸式消解-原子荧光光度法测定 3 种水果中的硒含量[J]. 中国果树,2010(1): 41-44
- [9] 王海燕,杨金龙,谷山林,等. 桑叶槲皮素提取物抗氧化活性研究[J]. 丝绸,2018,55(3): 15-20
- [10] 徐辉艳,孙晓东,张佩君,等.红枣汁中总酚含量的福林法测定[J]. 食品研究与开发,2009,30(3): 126-128
- [11] TIBOR F, JORGE M R. Catechin and procyanidin composition of seeds from grape cultivars grown in Ontario[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(4): 1156-1160
- [12] CHUN O K, KIM D O, LEE C Y. Superoxide radical scavenging activity of the major polyphenols in fresh plums[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(27): 8067-8072
- [13] 李雁飞,赵妍,田亚停.草莓果实维生素 C 提取条件优化研究[J]. 食品工业,2017,38(8): 35-39
- [14] CAHOON E B, HALL S E, RIPP K G, et al. Metabolic redesign of vitamin E biosynthesis in plants for tocotrienol production and increased antioxidant content[J]. Nature Biotechnology, 2003, 21(9): 1082-1087
- [15] 张雯,耿增超.外源硒对蔬菜硒积累和产量品质影响的研究现状[J].园艺学报,2012,39(9): 1749-1756
- [16] 许凌凌.植物硒的研究进展[J].安徽农学通报,2016,22(12):14-16
- [17] 薛泰麟,侯少范,谭见安,等.硒在高等植物体内抗氧化作用—硒对过氧化作用的抑制效应及酶促机制的探讨[J].科学通报,1993, 38(3): 274-277
- [18] HUANG WUYANG, CAI YIZHONG, ZHANG YANBO. Natural phenolic compounds from medicinal herbs and dietary plants: potential use for cancer prevention[J]. Nutrition and Cancer, 2009, 62(1): 1-20
- [19] 高雪.植物苯丙氨酸解氨酶研究进展[J].现代农业科技,2009,1(1): 30-33
- [20] 田秀英,王正银.硒对苦荞硒、总黄酮和芦丁含量、分布与累积的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(4): 721-727
- [21] 吕丽爽,潘道东.微波对葡萄籽中低聚原花青素(OPC's)提取的影响[J].食品与机械,2004,20(6): 31-32
- [22] 赵文君,张迪,马丽娟,等.原花青素的生物合成途径、功能基因和代谢工程[J].植物生理学通讯,2009,45(5): 509-519
- [23] 郭新波,唐岳立,孙小芬,等.高等植物维生素 C 和维生素 E 代谢调控[J].植物生理学报,2011,47(8): 731-744
- [24] SHINTANI D, DELLAPENNA D. Elevating the Vitamin E content of plants through metabolic engineering[J]. Science, 1998, 282: 2098-2100
- [25] TRADER M G, SIES H. Vitamin E in humans: Demand and delivery[J]. Annual Review of Nutrition, 1996, 16(1): 321-347
- [26] ERIN A N, SKRYPIN V V, TABIDZE I V, et al. Formation of alpha-tocopherol complexes with fatty acids: A hypothetical mechanism of stabilization of biomembranes by vitamin E[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1984, 774(1): 96-102
- [27] 刘大会,周文兵,朱端卫,等.硒在植物中生理功能的研究进展[J].山地农业生物学报,2005,24(3): 253-259

收稿日期:2019-06-03

依法宣传毒品危害
坚决参与禁毒斗争