亚硒酸钠对草莓抗坏血酸含量及其相关代谢酶的影响

蔡莉萍^{1,2}, 高尚^{2,3}, 单长卷^{2*}

(1. 漯河食品职业学院, 河南 漯河 462000; 2. 河南科技学院, 河南 新乡 453003; 3. 长江大学, 湖北 荆州 434023)

摘要: 采用盆栽试验以及叶面喷施亚硒酸钠(Na_2SeO_3)溶液的方法, 研究不同浓度亚硒酸钠对“甜查理”草莓果实中抗坏血酸含量及相关代谢酶活性的影响。结果表明, 外源喷施亚硒酸钠溶液可显著提高草莓果实中抗坏血酸(AsA)含量, 一定程度上降低果实中脱氢抗坏血酸(DHA)含量, 同时提升抗坏血酸过氧化物酶(APX)、抗坏血酸氧化酶(AAO)、谷胱甘肽还原酶(GR)、L-半乳糖-1,4内酯脱氢酶(GalLDH)、单脱氢抗坏血酸还原酶(MDHAR)及脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)的活性。在各处理中, 以30 mg/L亚硒酸钠处理效果最佳, 适合应用于“甜查理”草莓生产中以提高果实抗坏血酸含量。

关键词: 亚硒酸钠; 草莓; 抗坏血酸; 代谢酶

中图分类号: S668.4

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)02-0114-03

Effects of Different Concentrations of Selenium on Ascorbate Content and Related Metabolic Enzymes in Strawberry

CAI Liping^{1,2}, GAO Shang^{2,3}, SHAN Changjuan^{2*}

(1. Luohe Vocational College of Food, Luohe 462000; 2. Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003; 3. Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

Abstract: By pot experiment and foliar spray, the effects of different concentrations of sodium selenite (Na_2SeO_3) on ascorbate (AsA) content and related metabolic enzymes in "Sweet Charlie" strawberry fruits were studied. The results showed that exogenous Na_2SeO_3 could significantly improve AsA content in fruit, and decrease dehydroascorbate (DHA) content. Meanwhile, Na_2SeO_3 improve the activities of ascorbic acid peroxidase (APX), ascorbic acid oxidase (AAO), glutathione reductase (GR), L-galactosate-1, 4-lactone dehydrogenase (GalLDH), monodehydroascorbate reductase (MDHAR), dehydroascorbate reductase (DHAR) in the fruit of strawberry. Among different concentrations of Na_2SeO_3 , 30 mg/L Na_2SeO_3 show the best effects, which can be applied in strawberry production to improve ASA content in fruits.

Key words: Sodium selenite; Strawberry; Ascorbate; Metabolic enzyme

硒(Se)是人体必需的微量元素, 具有抗氧化、抗毒及调节机体免疫力等作用。缺硒会导致人体多种疾病的发生, 同时通过补硒治疗亦可抑制病变、减轻机体氧化应激损伤。因此, 硒在人体健康中发挥着不可或缺的作用^[1]。

抗坏血酸(AsA, Ascorbate), 亦称 V_C 。是高等植物中普遍存在的高丰度小分子物质, 具有

重要的抗氧化作用, 是动植物生长发育过程中不可或缺的重要物质。由于人类抗坏血酸合成途径中关键酶基因的缺失, 故不能在体内进行自发合成, 仅能依靠外界摄入获取^[2]。所以提高果蔬中抗坏血酸含量的相关研究显得尤为重要。研究表明, 外源施硒可以显著改善果实中抗坏血酸代谢关键酶的活性, 进而提高抗坏血酸含量^[3-4]。近年来, 尽管对硒调控植物果实中抗坏血酸含量的研究已有一定进展, 对硒与草莓果实中抗坏血酸的探索仍集中于浓度与含量的关系方面, 对硒调控草莓果实中抗坏血酸代谢相关酶的研究仍较为少见。故本研究通过盆栽试验并以外源叶面喷施不同浓度亚硒酸钠(Na_2SeO_3)溶液为手段, 对成熟草莓果实中抗坏血酸含量及相关代谢酶的活性进行

收稿日期: 2020-02-24

基金项目: 河南省重点研发与推广专项(科技攻关)(192102110130)

作者简介: 蔡莉萍(1983-), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为植物生理调控。

通讯作者: 单长卷, 男, 博士, 教授, E-mail: shchjuan1978@aliyun.com

测定进而加以分析,旨在从酶的角度揭示不同浓度亚硒酸钠对草莓果实中抗坏血酸代谢的调控机制,并筛选出最佳喷施浓度。以期为硒在生产中提升草莓果实品质及相关研究提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试材料为“甜查理”草莓苗,定植于塑料盆中,盆高 14 cm,直径 15 cm。每盆装培养土 2 kg,由泥炭和园土按照 7:3 的比例混合而成。

1.2 试验设计

选取长势良好且植株大小基本一致的草莓苗置于光照培养箱中进行培养,设置昼夜温度(25/15)℃,昼夜光强(600/0) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光周期 12 h,相对湿度 60%。其间利用称重法控制含水量在 70%~75%。自现蕾期开始,对草莓苗叶面进行不同浓度亚硒酸钠喷施处理,每 6 天 1 次,每盆每次喷施溶液 50 mL。共设 4 个处理,分别为 10、30、60 mg/L 3 个浓度亚硒酸钠溶液处理及对照组(CK),对照组仅采用等量清水喷施叶片,直至果实成熟,每个处理 3 个重复。

1.3 测定方法

待果实成熟,选取着色 80% 以上且无明显损伤、病虫害、授粉均匀的果实进行取样,取样后立即进行检测。(1)抗坏血酸(AsA)采用宫国辉等^[5]的方法测定,脱氢抗坏血酸(DHA, Dehydroascorbic acid)含量以 Takahama 等^[6]的方法进行测定;(2)抗坏血酸过氧化物酶(APX, Ascorbate peroxidase)及谷胱甘肽还原酶(GR, glutathione reductase)的活性采用 Pignocchi 等的方法测定^[7];(3)抗坏血酸氧化酶(AAO, ascorbic acid oxidase)活性采用李杨瑞^[8]的方法进行测定;(4)L-半乳糖-1,4 内酯脱氢酶(GalLDH, L-galactos-1, 4 internal lipid dehydrogenase)采用 Tabata 等^[9]的方法测定;(5)单脱氢抗坏血酸还原酶(MDHAR, Monodehydroascorbic acid reductase)按照 Jimenez 等^[10]的方法进行测定;(6)脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR, Dehydroascorbic acid reductase)的活性按照 Chen 等^[11]的方法进行测定。上述各酶活性均以 1 min 内转化 1 μmol 底物的酶量(即 1U)记为一个酶活性单位进行计量,每个指标测定 3 次,所得数据以 WPS XLSX 软件进行计算及制图处理,并以 SAS 9.1 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度亚硒酸钠对草莓果实 AsA 及 DHA 含量的影响

由表 1 可知,各处理草莓果实中 AsA 含量均

显著高于对照组,以 30 mg/L 处理为最优,高于对照组 49.7%;10 mg/L 处理次之,高于对照组 31.4%;60 mg/L 处理最低,高于对照组 14.1%。同时,各组处理草莓果实中 DHA 含量呈先下降后上升的趋势,其中仅 30 mg/L 处理达显著水平,低于对照组 27.7%,其余两组均仅略低于对照组,未达显著水平。说明外源施硒可以显著改善草莓果实中 AsA 含量,且以 30 mg/L 浓度处理为最佳,同时会在一定程度上降低果实中 DHA 含量,且亦以 30 mg/L 浓度处理最为显著。

表 1 不同浓度亚硒酸钠对草莓果实中 AsA 及 DHA 含量的影响

处理	AsA	DHA
CK	43.56d	7.37a
10 mg/L	57.23b	6.99a
30 mg/L	65.20a	5.33b
60 mg/L	49.72c	7.06a

2.2 不同浓度亚硒酸钠对草莓果实 GalLDH 及 AAO 活性的影响

由表 2 可知,各组处理 GalLDH 活性均显著高于对照组,其中 10 mg/L 处理活性最高,高于对照 80.0%;30 mg/L 处理次之,高于对照 71.9%;60 mg/L 处理活性最低,高于对照 55.6%。各处理 AAO 活性均显著高于对照,以 30 mg/L 处理为最高,高于对照 21.2%;60 mg/L 处理次之,高于对照 16.4%;10 mg/L 处理活性最低,高于对照 14.5%。说明外源施硒可显著增加草莓果实中 AAO 及 GalLDH 的活性。

表 2 不同浓度亚硒酸钠对草莓果实中 GalLDH 及 AAO 活性的影响

处理	GalLDH	AAO
CK	3.85b	17.18b
10 mg/L	6.93a	19.67a
30 mg/L	6.62a	20.83a
60 mg/L	5.99a	20.00a

2.3 不同浓度亚硒酸钠对草莓果实中 APX、DHAR、MDHAR、GR 活性的影响

由表 3 可知,各组处理 APX 活性均高于对照,其中 60 mg/L 处理活性最高,高于对照 30.1%;30 mg/L 处理次之,高于对照 21.5%,且二者均达显著水平;10 mg/L 处理最低,仅略高于对照 0.43%。各处理 DHAR 活性均显著高于对照,其中 30 mg/L 处理活性最高,高于对照 90.1%;10 mg/L 处理次之,高于对照 78.2%;60 mg/L 处理活性最低,高于对照 43.7%。各组处理 MDHAR 活性均显著高于对照

表3 不同浓度亚硒酸钠对草莓果实中APX、DHAR、MDHAR、GR活性的影响 U/g

处理	APX	DHAR	MDHAR	GR
CK	18.58b	4.35c	6.03c	6.6c
10 mg/L	18.66b	7.75a	8.50b	9.2b
30 mg/L	22.58a	8.27a	11.15a	21.7a
60 mg/L	24.17a	6.25b	9.75b	10.0b

组,其中30 mg/L处理活性最高,高于对照84.9%;60 mg/L处理次之,高于对照61.7%;10 mg/L处理最低,高于对照41.0%。各组处理中GR活性均显著高于对照组,其中30 mg/L处理活性最高,高于对照228.8%;60 mg/L处理次之,高于对照51.5%;10 mg/L处理活性最低,仍高于对照39.4%。说明外源施硒可显著增加草莓果实APX、DHAR、MDHAR以及GR的活性,且总体上以30 mg/L处理为最优。

3 讨论与结论

迄今为止,在高等植物中发现的抗坏血酸合成途径共计4种,本研究着重对L-半乳糖途径进行研究,该途径是目前公认大多数植物体内AsA合成主要途径^[12-13]。本研究表明,外源喷施亚硒酸钠可以显著影响草莓果实抗坏血酸代谢相关酶的活性,进而显著改善草莓果实中的抗坏血酸含量,一定程度上降低果实中DHA含量,这与前人研究结果相对一致^[3, 14-15]。硒可通过参与蛋白质的合成,进而对植物体内的多种酶产生激活促进作用^[16]。本研究还发现,虽然外源施硒可以显著提升草莓果实中AsA含量,但不同浓度亚硒酸钠处理下草莓果实中AsA合成代谢途径的侧重方向并不完全相同,其中10 mg/L浓度处理下草莓果实主要依靠提升GalLDH进而促进草莓抗坏血酸前端合成途径来提高果实中AsA含量;30 mg/L浓度则主要依靠提升DHAR、MDHAR及GR的活性,进而促进草莓MDHA及DHA的还原过程,从而提高抗坏血酸含量;在60 mg/L浓度亚硒酸钠处理下,虽然各类酶的活性均有所提高,但总体低于30 mg/L浓度处理,这可能是由于过量的硒会导致植物中毒,进而影响植物生理机能,并在一定程度上对酶的活性产生抑制作用造成的。不同浓度硒对植物体内酶活性的影响也各不相同,其原因可能是由植物对硒的耐受能力决定的^[4]。

综上,本研究发现外源喷施不同浓度亚硒酸

钠溶液会显著改善草莓果实抗坏血酸合成代谢途径中关键酶的活性,进而显著提升果实中抗坏血酸含量,且以30 mg/L浓度亚硒酸钠处理为宜,可适用于草莓生产中以提升果实抗坏血酸含量。

参考文献:

- [1] 王婷婷. 硒的生物学作用[J]. 农家参谋, 2019(3): 148.
- [2] 张凤霞, 陶佩文, 李汉霞, 等. 番茄抗坏血酸合成代谢研究进展[J]. 中国蔬菜, 2016(1): 18-23.
- [3] 鞠明岫, 李小燕, 马强, 等. 不同硒浓度处理对草莓果实品质的影响研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2019, 40(2): 15-18.
- [4] 孙协平, 罗友进, 周广文, 等. 硒的价态与浓度对香橙幼苗生长和AsA-GSH循环的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3527-3534.
- [5] 宫国辉, 孙凯, 姜淑兰, 等. 沼肥与化肥配施对辣椒和番茄生长发育及品质的影响[J]. 东北农业科学, 2017, 42(2): 34-38.
- [6] Takahama U, Oniki T. Regulations of Peroxidase-dependent oxidation of Phenolics in the apoplast of spinach leaves by ascorbate[J]. Plant & Cell Physiology, 1992, 33(4): 379-387.
- [7] Pignocchi C, Kiddle G, Hernandez I, et al. Ascorbate oxidase-dependent changes in the redox state of the apoplast modulate gene transcript accumulation leading to modified hormone signaling and orchestration of defense processes in tobacco[J]. Plant Physiology, 2006, 141(2): 423-435.
- [8] 李杨瑞. 用化学滴定法测定甘蔗叶片抗坏血酸氧化酶和多酚氧化酶活性的探讨[J]. 广西农学院学报, 1988(4): 23-26.
- [9] Tabata K, Oba K, Suzuki K. Generation and properties of ascorbic acid-deficient transgenic tobacco cells expressing anti-sense RNA for L-galactono-1, 4-lactone dehydrogenase[J]. Plant Journal, 2001, 27(2): 139-148.
- [10] Jimenez A, Delrio L A, Sevilla F, et al. Evidence for the presence of the ascorbate-glutathione cycle in mitochondria and peroxisomes of pea leaves[J]. Plant Physiology, 1997, 114(1): 275-284.
- [11] Chen Z, Young T E, Ling J, et al. Increasing vitamin C content of plants through enhanced ascorbate recycling[J]. Plant Biology, 2003, 100: 3525-3530.
- [12] 邹礼平, 陈锦华. 植物抗坏血酸的合成和代谢以及相关酶基因的调控[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(9): 925-930.
- [13] 张磊, 侯云鹏, 王立春. 盐碱胁迫对植物的影响及提高植物耐盐碱性的方法[J]. 东北农业科学, 2018, 43(4): 11-16.
- [14] 孙丽. 外源硒对低温胁迫下草莓幼苗的缓解效应及对AsA-GSH循环的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [15] 王孝娣, 刘凤之, 王帅, 等. 喷施氨基酸叶面肥对设施栽培草莓叶片质量和果实品质的影响[J]. 中国果树, 2014(4): 37-39.
- [16] 樊俊. 硒在土壤-植物中的转化及烟株对硒的富集和抗性机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.

(责任编辑: 王昱)