

外源 Na_2SeO_3 对甜查理草莓果实品质的影响

高尚, 晋莹莹, 张妍妍, 单长卷*

(河南科技学院, 河南 新乡 453003)

摘要:为探明草莓果实品质对外源硒的响应及其浓度关系。采用盆栽试验及叶面喷施亚硒酸钠(Na_2SeO_3)溶液的方法,对10、30、60 mg/L共3个浓度梯度 Na_2SeO_3 溶液处理及对照组草莓果实品质指标进行测定。结果表明,外源 Na_2SeO_3 能显著提升草莓果实平均单果重,果形指数,糖酸比,可溶性固形物、总酚及Vc含量,且均以30 mg/L Na_2SeO_3 处理为宜;此外 Na_2SeO_3 还显著提升草莓果实中花色苷及蛋白含量,且二者均以10 mg/L Na_2SeO_3 溶液处理为优。说明外源 Na_2SeO_3 能显著提升草莓果实品质指标,总体上以30 mg/L处理效果最佳;在提升花色苷及蛋白含量上,10 mg/L处理表现最佳,生产中可根据不同需求灵活调整喷施浓度,以达到提升草莓果实品质的目的。

关键词:草莓;糖酸比;Vc;亚硒酸钠;果实品质

中图分类号:S668.4

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2023)04-0090-05

Effects of Exogenous Na_2SeO_3 on Fruit Quality of Sweet Charlie Strawberry

GAO Shang, JIN Yingying, ZHANG Yanyan, SHAN Changjuan*

(He'nan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: In order to explore the response of the strawberry fruit quality to exogenous selenium (Se) and the relationship between fruit quality and the concentration of Se. Through pot experiment and foliar spraying, the effects of different concentrations of sodium selenite (Na_2SeO_3) on quality indexes of strawberry fruit were studied. The results showed that exogenous Na_2SeO_3 could significantly increase fruit average weight, fruit shape index, sugar/acid ratio and the contents of soluble solids, total phenol and Vc in strawberry fruit. For above fruit indexes, 30 mg/L Na_2SeO_3 was the appropriate treatment concentration. In addition, Na_2SeO_3 also significantly increased the contents of anthocyanin and protein in strawberry fruit, and the appropriate treatment concentration was 10 mg/L Na_2SeO_3 . Above results suggested that exogenous Na_2SeO_3 could significantly improve quality indexes of strawberry fruit. Overall, 30 mg/L Na_2SeO_3 was the appropriate treatment concentration. However, 10 mg/L Na_2SeO_3 was the appropriate treatment concentration in improving the contents of anthocyanin and protein. Therefore, this study indicated that the concentration of Se could be flexibly adjusted according to different requirements, in order to improve corresponding quality of strawberry fruit.

Key words: Strawberry; Sugar acid ratio; Vc; Na_2SeO_3 ; Fruit quality

草莓(*Fragaria ananassa* Duch)果实营养丰富,富含多种人体必需元素,具有较好的商业价值和市场前景。此外,医学上还认为草莓提取物可保护视力、预防多种疾病,具有一定药用价值^[1]。硒(Se)是人体必需的微量元素,适当补硒能够提高人体免疫力,且在抗癌、防治心血管疾

病等方面具有一定功效^[2]。此外,施硒还能够提升植物果实品质,同时在抵御胁迫及拮抗重金属等方面起到积极作用。外源施硒能够显著提升火龙果中Vc、蛋白及总糖含量^[3];硒不仅能够显著提升辣椒果实的品质及产量,还能减少其果实对土壤中重金属的吸收^[4]。大量研究表明,硒还能显著提升樱桃^[5]、葡萄^[6]等众多植物果实品质。因此,探究草莓果实品质对外源硒的响应,对在生产中提升草莓果实品质具有重要意义。

甜查理草莓是2003年由北京农林科学院自美国引进的优质草莓品种,具有产量高、抗虫害、品质佳、耐储存等特点,市场竞争优势相对明显,

收稿日期:2020-05-07

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:高尚(1992-),男,在读硕士,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

故成为我国东北、华北等地区主栽草莓品种之一。截至目前,有关硒调控草莓果实品质方面的研究较为少见,尤其是硒对甜查理草莓品质调控方面的研究尚未见报道。基于此,本研究拟采用叶面喷施的手段研究不同浓度 Na_2SeO_3 溶液对甜查理草莓果实品质的影响,旨在探究草莓果实产量及品质指标对外源硒的响应,并筛选出合适浓度。以期为今后硒应用于草莓种植生产以提升果实品质提供理论依据。

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 7:3 混合而成。培养土容重为 1.20 g/cm^3 ,有机质含量 19.7 g/kg ,速效氮、速效磷和速效钾含量分别为 156.33 、 167.62 、 228.49 mg/kg ,土壤 pH 值 6.9。

1.2 试验设计

选取长势良好草莓苗置于培养箱中培养,设置昼夜温度 $25 \text{ }^\circ\text{C}/15 \text{ }^\circ\text{C}$,日间光强 $600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,夜间光强 $0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光周期为 10 h,相对湿度 60%。其间利用称重法控制含水量在 70%~75%。现蕾期开始,对草莓苗进行不同浓度 Na_2SeO_3 叶面喷施处理,每 6 天 1 次,直至果实成熟,每盆每次喷施溶液 50 mL。参照预试验所得结果,本次研究共设 4 个处理,分别为 T_1 (10 mg/L)、 T_2 (30 mg/L)、 T_3 (60 mg/L) Na_2SeO_3 处理和对照组 (CK),对照组仅采用等量清水喷施叶片,每个处理 3 个重复。

1.3 测定方法

待果实成熟,选取着色达 80% 以上、无畸形果实进行取样。果实横纵径用电子游标卡尺进行测量,果实硬度用 GY-1 型手持硬度计测量,可溶性固形物用 WYZ 型手持折光仪测定。可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定^[7],有机酸含量采用标准滴定法测定。果实 Vc 含量参照于玲等^[8]方法测定,可溶性总糖含量参照黄艳等^[9]的方法测定,总

酚含量采用福林酚法^[10]测定,花色苷含量采用杨艳等^[11]方法测定,每个指标测定 3 次。所得数据采用 Office Excel 2019、SPSS statistics 25 进行处理。

2 结果与分 析

2.1 外源 Na_2SeO_3 对草莓果形指数、果实硬度、平均单果重及可溶性固形物含量的影响

果形指数是衡量草莓品质的主要指标之一,也是果品定级的重要依据,其值以果实纵径与横径之比表示。如表 1 所示,各组处理果实横径随硒浓度的增加呈现先降后增的变化趋势, T_1 、 T_2 处理较 CK 出现小幅度下降, T_3 处理高于 CK,各组处理按照 $T_3 > \text{CK} > T_2 > T_1$ 的顺序排列。各浓度处理,果实纵径呈现先增后减的变化趋势, T_2 、 T_3 处理均显著高于 CK。 T_1 处理略高于 CK,未达显著水平,各组处理按照 $T_2 > T_3 > T_1 > \text{CK}$ 的顺序排列。草莓果实果形指数亦呈先高后低的变化趋势,于 T_2 处达高点,且 T_2 显著高于 CK, T_1 和 T_3 略高于 CK,各组处理按照 $T_2 > T_3 > T_1 > \text{CK}$ 的顺序排序。说明外源 Na_2SeO_3 能显著提升草莓果形指数,以 T_2 即 30 mg/L 处理最为显著。

果实硬度是衡量草莓商品价值的重要指标,关系到果实货架期与损耗量,直接影响果农经济效益。由表 1 可知,各浓度 Na_2SeO_3 处理果实硬度较 CK 虽有所提升,但未达显著水平。与 CK 相比,各浓度处理果实平均单果重均有显著提升,其值呈先高后低的变化趋势,于 T_2 达高点,随后有所回落,且各组处理均显著高于 CK。说明外源 Na_2SeO_3 能显著提升草莓果实平均单果重,以 T_2 即 30 mg/L 处理效果最佳,但硒浓度变化对果实硬度的影响并不显著。

可溶性固形物指果实中糖、酸、维生素等可溶化合物的总量,是判定果品营养价值的常用技术参数。由表 1 可知,各组处理果实中可溶性固形物含量呈先降后增再降的变化趋势。与 CK 相比, T_1 处理果实中可溶性固形物含量显著降低, T_2 处理则显著高于 CK, T_3 处理略低于 CK。说明 T_2

表 1 外源 Na_2SeO_3 对草莓果形指数、果实硬度、平均单果重及可溶性固形物含量的影响

处理	果实横径(mm)	果实纵径(mm)	果形指数	果实硬度(g/cm^2)	平均单果重(g)	可溶性固形物含量(%)
CK	$31.56 \pm 0.30\text{ab}$	$27.04 \pm 0.28\text{b}$	$0.86 \pm 0.079\text{b}$	$2.2 \pm 0.23\text{a}$	$27.4 \pm 2.79\text{d}$	$5.35 \pm 0.51\text{b}$
T_1	$30.35 \pm 0.31\text{b}$	$27.89 \pm 0.28\text{b}$	$0.92 \pm 0.093\text{b}$	$2.4 \pm 0.22\text{a}$	$30.2 \pm 3.15\text{c}$	$4.95 \pm 0.49\text{c}$
T_2	$30.77 \pm 0.31\text{b}$	$35.81 \pm 0.35\text{a}$	$1.16 \pm 0.105\text{a}$	$2.4 \pm 0.23\text{a}$	$36.1 \pm 3.71\text{a}$	$6.10 \pm 0.59\text{a}$
T_3	$33.27 \pm 0.33\text{a}$	$34.06 \pm 0.33\text{a}$	$1.02 \pm 0.103\text{ab}$	$2.5 \pm 0.24\text{a}$	$33.6 \pm 3.31\text{b}$	$5.00 \pm 0.51\text{bc}$

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

即 30 mg/L Na_2SeO_3 处理能显著提升草莓果实中可溶性固形物含量,浓度过高或过低均会阻碍可溶性固形物积累。

2.2 外源 Na_2SeO_3 对草莓果实糖、酸含量及糖酸比的影响

糖酸比是衡量果实品质及其价值的重要指标,直接关系到草莓的风味,其值以果实中可溶性糖与有机酸含量之比表示,糖酸比愈高,其果实风味愈佳。由表 2 可知,外源 Na_2SeO_3 能够显著降低果实中有机酸的含量,其趋势呈现先降后增的“V”型变化。于 T_2 达到低点,随后回升。 T_2 处理果实中可溶性糖含量略高于 CK, T_3 处理略低于 CK, T_1 处理则显著低于 CK。草莓果实糖酸比呈现先高后低的变化趋势,即随硒浓度增加其比值不断增高,于 T_2 处达到高点,随后有所回落。与 CK 相比,各浓度处理下草莓果实糖酸比均有明显提升,其值按照 $T_2>T_3>T_1>\text{CK}$ 的顺序排列。说明外源 Na_2SeO_3 能显著降低果实中有机酸含量,一定程

度上提升可溶性糖含量,进而提升草莓果实糖酸比,以 T_2 即 30 mg/L 处理为最优。

2.3 外源 Na_2SeO_3 对草莓果实蛋白质、Vc、花色苷及总酚含量的影响

果实蛋白质含量是评价水果营养价值的重要指标。如图 1 所示,外源 Na_2SeO_3 能显著提升草莓果实中蛋白质含量, $T_1\sim T_3$ 随硒浓度增加逐渐减小,且各浓度处理均显著高于 CK,以 T_1 处理最为显著。Vc 亦称抗坏血酸,是人体重要的抗氧化物质,在对活性氧自由基的清除中起重要作用。由于人体不能自身合成 Vc,只能依靠摄取食物中的 Vc 进行补充。因此,果实中 Vc 含量在果实品质评价体系中显得尤为重要。如图 1 所示,与 CK 相比, T_1 和 T_2 处理草莓果实中 Vc 含量均显著提升,呈先高后低的变化趋势,在 T_2 处达高点,后回落,其值按照 $T_2>T_1>T_3>\text{CK}$ 的顺序排列。

花色苷是草莓果实中重要的着色物质,与草莓色泽形成直接相关,同时也是植物中重要的抗氧化物质。如图 1 所示,外源 Na_2SeO_3 处理草莓果实中花色苷变化形式与蛋白质较为相近,但趋势略显平缓,各浓度处理下,果实花色苷含量较 CK 均显著提升,以 T_1 处理最为显著,但随硒浓度上升其值逐渐下降,其值按照 $T_1>T_2>T_3>\text{CK}$ 的顺序排列。

酚类作为草莓体内抗氧化作用的物质基础,其含量直接关系到果实抗氧化能力。如图 1 所示,与 CK 相比,各浓度 Na_2SeO_3 处理下草莓果实中

表 2 外源 Na_2SeO_3 对草莓果实有机酸、可溶性糖含量及果实糖酸比的影响

处理	有机酸含量 (mg/g·FW)	可溶性糖含量 (mg/g·FW)	糖酸比
CK	45.37±4.39a	71.15±7.27ab	1.568±0.15b
T_1	27.14±2.67c	50.74±4.85c	1.869±0.18b
T_2	21.05±2.26d	75.84±7.53a	3.602±0.34a
T_3	33.68±3.26b	64.31±6.2b	1.909±0.18b

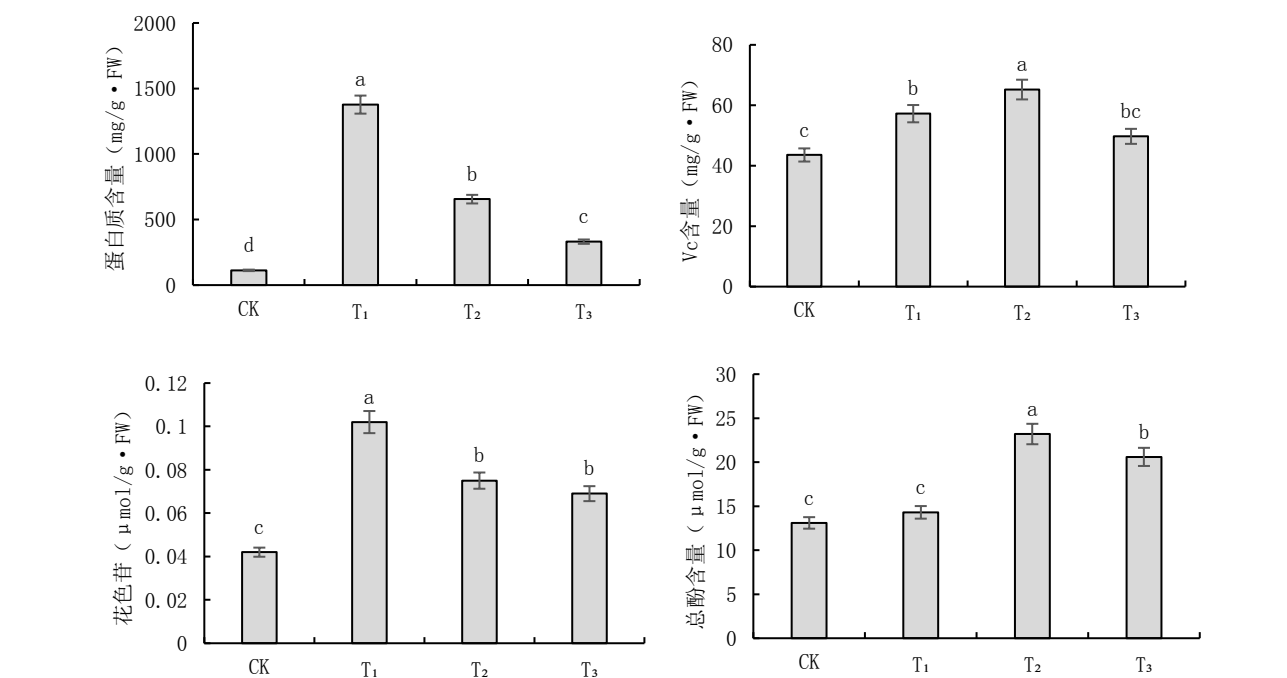


图 1 外源 Na_2SeO_3 对草莓果实蛋白、Vc、花色苷及总酚含量的影响

总酚含量均有不同幅度提升,其中 T₂、T₃处理果实中总酚含量显著高于CK,以 T₂最为显著,T₃次之,T₁仅略高于CK,其值按照 T₂>T₃>T₁>CK 的顺序排列。说明外源 Na₂SeO₃能显著提升草莓果实中蛋白质及花色苷含量,且以 T₁即 10 mg/L 处理效果最佳,浓度过高会使硒的作用效果下降,同时 Na₂SeO₃还会明显提升草莓果实中 Vc 含量,一定程度上提升总酚含量,且二者均以 T₂即 30 mg/L 处理效果最佳。

2.4 草莓果实各品质指标间的相关性分析

本研究对草莓果实各项品质指标间进行相关性分析,结果如表 3 所示。草莓果实有机酸与 Vc 含量间呈显著负相关关系,其相关系数达 0.975。草莓果实蛋白质与花色苷含量、总酚与单果重呈显著正相关关系,其相关系数分别为 0.954、0.977。说明草莓果实 Vc 积累过程与有机酸合成、花色苷积累与蛋白质合成、总酚与果实有机物质积累过程两两间可能存在较为密切的联系。

表 3 草莓果实各品质指标间相关性分析

	可溶性糖	有机酸	糖酸比	单果重	可溶固形物	蛋白质	Vc	硬度	花色苷	总酚
可溶性糖	1.000	0.094	0.534	0.329	0.809	-0.736	0.046	-0.303	-0.716	0.486
有机酸	0.094	1.000	-0.786	-0.798	-0.414	-0.658	-0.975*	-0.643	-0.761	-0.658
糖酸比	0.534	-0.786	1.000	0.835	0.875	0.134	0.867	0.29	0.207	0.806
单果重	0.329	-0.798	0.835	1.000	0.533	0.104	0.758	0.738	0.325	0.977*
可溶固形物	0.809	-0.414	0.875	0.533	1.000	-0.199	0.577	-0.175	-0.222	0.576
蛋白质	-0.736	-0.658	0.134	0.104	-0.199	1.000	0.604	0.348	0.954*	-0.109
Vc	0.046	-0.975*	0.867	0.758	0.577	0.604	1.000	0.467	0.660	0.630
硬度	-0.303	-0.643	0.290	0.738	-0.175	0.348	0.467	1.000	0.613	0.663
花色苷	-0.716	-0.761	0.207	0.325	-0.222	0.954*	0.660	0.613	1.000	0.122
总酚	0.486	-0.658	0.806	0.977*	0.576	-0.109	0.630	0.663	0.122	1

注:“*”表示在 0.05 级别(双尾)相关性显著

3 讨论与结论

本研究表明,外源 Na₂SeO₃能一定程度上提升草莓果实的果形指数,同时显著提升平均单果重,这与徐锴等^[12]研究结果一致。硒能提升叶片中的光合色素含量、优化叶片中光合色素分配。光合效率的提升能为果实生长提供更多能量^[13-14]。此外,硒能促进植物对多种无机元素的吸收,在保证植物正常生长发育、维持细胞膨压、促进代谢及参与各类酶促反应中起到重要作用^[15],这些因素均对植物果形及产量具有积极影响。

本研究发现,Na₂SeO₃会显著降低草莓果实中有机酸含量,同时提升可溶性糖含量,进而对糖酸比产生积极影响。这与马倩^[16]研究结果基本一致。研究表明,硒能够显著提升蔗糖合酶及磷酸蔗糖合酶活性,进而促进果实中糖的积累^[17]。本研究还发现,Na₂SeO₃能够显著提升果实中蛋白质含量。这与郭坤元等^[18]研究结果一致。硒半胱氨酸能显著影响生物体内翻译及合成多肽链的过程^[19],进而提升蛋白质含量。然而过多的硒元素会产生硒蛋白 K,其主要作用是降解其他蛋白质,这就不难解释本研究中蛋白质含量会随硒含量增加而减少的原因^[20]。此外,本研究中硒处理下草

莓果实 Vc 含量显著提升。这与肖真真等^[21]试验结果一致。Vc 是植物体内重要的抗氧化物质,在 ASA-GSH 循环系统中发挥重要作用,硒元素作为其中关键酶—谷胱甘肽过氧化物酶(GR-Px)活性中心的重要组成部分,可以直接影响该酶活性,进而左右整个反应的方向。

本研究发现,Na₂SeO₃能显著提升草莓果实中花色苷含量,这与田明^[22]研究结果一致。有研究发现,硒能显著提升花色苷合成过程中(除天竺葵素-3-O-葡萄糖苷以外的)绝大多数单体的含量,同时提高花色苷合成过程中关键结构的基因及转录因子表达^[23],进而提升花色苷含量。本研究还发现,施硒会显著提升草莓果实中总酚含量。这与刘艳芳^[24]研究结论一致。通过相关性分析发现,草莓果实酚类形成过程与果实物质积累方面可能存在较为密切的联系,但其具体形成原因还有待进一步研究探讨。

综上,外源施加 Na₂SeO₃能够显著改善草莓果实的果形指数、单果重及糖酸比,提升可溶性固形物、Vc 及总酚含量,且均以 30 mg/L 处理效果最佳。此外,Na₂SeO₃还会显著提升果实中蛋白质及花色苷含量,以 10 mg/L 处理为最佳。总体来讲,30 mg/L Na₂SeO₃能较为全面地提升草莓整体果实

品质,适于应用在生产中,亦可以根据相关目标需求自行调节所需硒的喷施浓度以达到最优经济效益。

参考文献:

- [1] 陈玉波,张学明,姚环宇,等. 8个草莓品种在日光温室立体栽培的引种表现[J]. 东北农业科学, 2016, 41(6): 97-99.
- [2] 许真. 硒对草莓营养物质含量的影响[J]. 农家参谋, 2018(24): 86-87.
- [3] 石春兰,叶舜,朱立辉,等. 施硒对火龙果果实品质及总硒含量的影响[J]. 江西农业, 2019(22): 36-37.
- [4] 李磊,尹显慧,龙友华,等. 叶面喷施硒对辣椒果实品质及微量元素的影响[J]. 北方园艺, 2019(16): 1-6.
- [5] 王世明. 叶面喷硒可提高甜樱桃果实品质并降低部分重金属的含量[J]. 中国果业信息, 2019, 36(7): 54.
- [6] 薛竞一,王瑞雪,魏蓉,等. 叶面喷施亚硒酸钠对葡萄果实品质及叶片衰老的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(6): 161-165.
- [7] 耿艳秋,李大勇,吴莹,等. 低温胁迫对玉米萌发出苗期生理生化指标的影响[J]. 东北农业科学, 2016, 41(6): 11-15.
- [8] 于玲,董丽丽. 三种方法测定不同产区酸枣仁中Vc含量的研究[J]. 甘肃科学学报, 2015, 27(5): 66-69.
- [9] 黄艳,文露,庞亚卓,等. 喷施钙肥对‘夏黑’葡萄果实糖酸积累的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(2): 166-172.
- [10] 朱新鹏,金玉洁,邵晓园,等. 4种市售黑蒜主要成分分析和pH对抗氧化活性的影响[J]. 东北农业科学, 2018, 43(2): 44-48.
- [11] 杨艳,祁平,吴永妮,等. 黑木耳花青素提取工艺的优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(9):

70-75.

- [12] 徐锴,赵德英,袁继存,等. 叶面喷施硒肥对梨果实性状的影响[J]. 北方园艺, 2019(22): 35-40.
- [13] 仰路希,谢永东,贺忠群. 施硒对人参莱生长及生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2019, 39(9): 1636-1641.
- [14] 闫帅,李晓光,徐锴,等. 硒叶面肥对‘南果梨’幼树叶片光合、叶绿素荧光参数及组织结构的影响[J]. 中国果树, 2018(4): 23-26, 30.
- [15] 韩丹,熊双莲,许自成,等. 硒对烤烟生长、化学指标及矿质营养元素含量的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(10): 2072-2079.
- [16] 马倩. 南丰蜜橘在成熟过程中营养及功能性成分的变化规律研究[D]. 南昌: 江西科技师范大学, 2019.
- [17] 陈建伟. 叶面喷施沼液和硒肥对苹果果实及蔗糖酶活性的调控效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [18] 郭坤元,何银生,林先明,等. 亚硒酸盐对葛根幼苗形态及生理指标的影响[J]. 中药材, 2020, 43(3): 532-535.
- [19] 谭景莹. 发现参与蛋白质生物合成的第21种氨基酸[J]. 生理科学进展, 1988(4): 309.
- [20] 袁丽君,袁林喜,尹雪斌,等. 硒的生理功能、摄入现状与对策研究进展[J]. 生物技术进展, 2016, 6(6): 396-405.
- [21] 肖真真,李启明,焦自高,等. 叶面喷施外源硒营养液对甜瓜产量和品质的影响[J]. 蔬菜, 2019(9): 23-27.
- [22] 田明. 硒处理对西兰花中硫代葡萄糖苷合成及代谢影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [23] 孙媛媛,悦晓孟,贾礼,等. 亚硒酸钠促进大豆芽苗菜下胚轴花青苷合成的机制[J]. 南京农业大学学报, 2020, 43(2): 267-273.
- [24] 刘艳芳. 富硒萝卜苗发芽过程中营养组分的动态变化[J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版), 2019, 36(3): 21-24.

(责任编辑:王昱)

(上接第61页)

- [8] Fan X J, Liu X L, Huang R, et al. Identification and characterization of a novel thermostable pyrethroid-hydrolyzing enzyme isolated through metagenomic approach[J]. Microbial Cell Factories, 2012, 5(1): 11-33.
- [9] 许超,曲勤凤,顾文佳,等. 新型可降解高效氯氰菊酯微生物菌株的筛选、鉴定及条件优化[J]. 东北农业科学, 2016, 41(2): 70-73.
- [10] Yang Z, Fu X. Monitoring of total type II pyrethroid pesticides in citrus oils and water by converting to a common product 3-phenoxybenzoic acid[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(3): 50-65.

- [11] Balasubramanian V, Lakshminarayanan A K, Varahamoorthy R, et al. Application of response surface methodology to prediction of dilution in plasma transferred arc hardfacing of stainless steel on carbon steel[J]. Journal of Iron and Steel Research, International, 2009, 16(1): 44-53.
- [12] 董照锋. 不同药剂混合处理对茶树主要病虫害的防治效果研究[J]. 东北农业科学, 2020, 45(2): 36-40.
- [13] Cycon M, Wojcik M, Piotrowska-Seget Z. Biodegradation of the organophosphorus insecticide diazinon by *Serratia sp.* and *Pseudomonas sp.* and their use in bioremediation of contaminated soil[J]. Chemosphere, 2009, 76(6): 494-501.

(责任编辑:王昱)