

# 叶面喷施硒肥对3个葡萄品种果实产量、品质和硒含量的影响

印宁<sup>1</sup> 穆兰<sup>2</sup> 梁银丽<sup>1,3\*</sup> 郝旺林<sup>3</sup> 尹鸿飞<sup>1</sup> 朱帅蒙<sup>4</sup> 安小娟<sup>5</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究院, 西安 710061; <sup>3</sup>中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; <sup>4</sup>河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南焦作 454000; <sup>5</sup>天水师范学院生物工程与技术学院, 甘肃天水 741000)

**摘要** 以‘红芭拉蒂’、‘夏黑’、‘户太8号’3个葡萄品种为材料, 研究叶面喷施有机硒肥对温室葡萄品质和硒含量的影响。结果表明: 在果实幼果期和膨大期, 叶面喷施  $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  氨基酸螯合态富硒叶面肥不仅能使葡萄果实产量和硒含量显著提高, 还能显著提高各品种葡萄果实综合品质(可溶性糖、有机酸、可溶性蛋白质、可溶性固形物、Vc和原花青素等), 但白藜芦醇未显著提高。各品种中, 2017和2018年夏黑的硒含量较对照分别增加36.7%和37.1%, 其增幅高于红芭拉蒂和户太8号; 施硒组红芭拉蒂以高糖低酸的口感及高保健成分在品质综合比较中表现较优; 2018年施硒的户太8号硒含量为  $53.26 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 显著高于其他品种, 硒富集能力较强。因此, 夏黑硒含量增幅较大; 红芭拉蒂在营养价值和品质上表现较优; 户太8号适合富硒葡萄生产。

**关键词** 叶面有机硒肥; 鲜食葡萄; 葡萄品种; 营养品质

**Effects of foliar selenium fertilizer on fruit yield, quality and selenium content of three varieties of *Vitis vinifera*.** YIN Ning<sup>1</sup>, MU Lan<sup>2</sup>, LIANG Yin-li<sup>1,3\*</sup>, HAO Wang-lin<sup>3</sup>, YIN Hong-fei<sup>1</sup>, ZHU Shuai-meng<sup>4</sup>, AN Xiao-juan<sup>5</sup> (<sup>1</sup>College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>2</sup>Northwest Institute of Historical Environment and Socio-Economic Development, Shaanxi Normal University, Xi'an 710061, China; <sup>3</sup>Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>4</sup>School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China; <sup>5</sup>College of Bioengineering and Biotechnology, Tianshui Normal University, Tianshui 741000, Gansu, China).

**Abstract:** With three grape varieties, Red Barbara, Summer Black and Hutai No. 8 as test materials, we investigated the effects of foliar spraying of organic selenium fertilizer on greenhouse grape quality and selenium content. The results showed that spraying  $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  amino acid chelated selenium-enriched foliar fertilizer on grape leaves significantly increased selenium content and the quantity and quality of grape yield, including the contents of soluble sugar, organic acid, soluble protein, soluble solids, vitamin C and proanthocyanidins. However, there was no increase in resveratrol. Among the three varieties, selenium content of Summer Black in 2017 and 2018 was increased by 36.7% and 37.1%, respectively, being higher than that of Red Barbara and Hutai No. 8. Red Barbara sprayed with selenium fertilizer had better quality due to high sugar and low acid contents, as well as high health-care components. Moreover, the selenium content of Hutai No. 8 in 2018 was  $53.26 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , higher than the others, indicating a stronger ability of selenium enrichment. We concluded that the increase range of Se content was larger in Summer Black, Red Barbara showed the better nutrition value and quality, and Hutai No. 8 was a suitable variety for selenium-rich grape production.

**Key words:** foliar organic selenium fertilizer; table grape; grape variety; nutrition and quality.

本文由国家科技支撑计划项目(2014BAD14B006)资助 This work was supported by the National Science and Technology Support Program (2014BAD14B006).

2019-08-12 Received, 2020-01-14 Accepted.

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liangyl@ms.iswc.ac.cn

硒是动植物体内重要酶(如谷胱甘肽过氧化物酶)的组成成分,有防癌抗癌、抗氧化和调节人体维生素吸收的功效。区域性疾病(如克山病、大骨节病等)的发生与环境硒含量有密切关系<sup>[1-2]</sup>。另外,硒还能拮抗重金属,有效减少重金属元素在食物链上的富集<sup>[3]</sup>。目前,我国对硒肥的研究主要集中在对提高果蔬的产量、品质上,如硒肥可以改善水果营养品质,提高可溶性糖、Vc、可溶性蛋白、可溶性固形物含量等<sup>[4]</sup>;不同种类或不同浓度的硒肥对水果产量和品质皆有影响<sup>[5]</sup>。另外,关于硒在果蔬植物体内的转化途径也有较多研究,如硒肥可延缓果蔬衰老等<sup>[6]</sup>。现代工业进程的加快导致重金属污染问题频发,为避免重金属富集危害人体健康,利用硒肥降低蔬果重金属含量的研究也逐渐成为热点<sup>[7]</sup>。

我国仅有小部分地区土壤中富含硒元素,如湖北恩施土壤硒含量均值为 $3.958 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[8]</sup>。但在全国涉及近7亿人口的72%的地区,土壤硒资源仍处于缺乏或严重缺乏状态<sup>[9]</sup>。大量研究表明,农作物生产中人工添加硒元素可以弥补这些地区缺硒的问题,例如在水稻<sup>[10]</sup>、玉米<sup>[11]</sup>等粮食作物生长过程中添加硒肥,可以有效提高籽粒中的硒含量。人们日常食用的蔬菜水果如杏鲍菇<sup>[12]</sup>、葡萄<sup>[13]</sup>、甜柿<sup>[5]</sup>等也可作为硒的载体为人体补充硒元素。目前,人工添加硒元素的方式主要有叶面喷施、土壤施加两种。在土壤中施加亚硒酸钠肥料可以提高作物品质、产量,但肥料易被土壤表面吸附<sup>[9]</sup>,降低转化率,而叶面喷施硒肥可以有效避免浪费。在市场上,硒肥种类有硒酸钠、亚硒酸钠、有机硒肥等。部分研究表明,有机硒肥相较于无机硒肥在提高产品品质的同时,可有效提高转化率和植物吸收率。因此,叶面喷施有机硒肥是一种可提高作物产量和品质的有效方式。

葡萄美味可口,对人体大有裨益,其特有的白藜芦醇可抗癌、抗氧化;原花青素能够有效清除体内自由基,具有抗动脉硬化和保护心血管等作用;Vc能预防和治疗坏血病、防止衰老、预防癌症<sup>[14-16]</sup>。不同品种的葡萄营养品质和口感不同。近年来,有关硒肥在葡萄上的应用研究主要集中在以下几个方面:确定最适葡萄生长、能综合提高果实品质的最佳硒浓度;确定葡萄叶面喷施不同种类硒肥的最佳时期<sup>[17]</sup>;硒肥拮抗重金属的研究<sup>[18]</sup>;葡萄果实内硒含量的变化<sup>[19]</sup>;追施硒肥后葡萄树体抗氧化能力的变化,以及叶片光合参数和相关酶活性的变化等<sup>[20]</sup>。但不同品种葡萄对叶面喷施硒肥的响应研

究还未见报道。本研究以‘红芭拉蒂’、‘夏黑’、‘户太8号’3个鲜食葡萄品种为材料,研究了在日光温室环境下叶面喷施硒肥对不同品种鲜食葡萄果实营养品质的影响,并分析不同品种葡萄对硒肥的吸收效果,进而选择高品质的富硒葡萄品种,以期为提高葡萄果实营养品质和富硒葡萄的市场化推广提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与试验设计

试验区位于陕西杨凌西北农林科技大学日光温室(34°16'N, 108°04'E)。试验连续进行两年,供试土壤为黑垆土,土壤pH为7.9,0~30 cm土壤容重 $1.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,土壤持水力24%,电导率 $0.7 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ,有机质 $14.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全氮 $0.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全磷 $0.99 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效氮 $9.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效磷 $30.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效钾 $153.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,硒含量 $68 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

在2017和2018年均设置3个试验品种‘红芭拉蒂’、‘夏黑’、‘户太8号’,每个品种设置两个处理:对照(CK 纯水)和硒肥处理(SE 氨基酸螯合态富硒叶面肥)。试验组有红芭拉蒂(CK<sub>1</sub>、SE<sub>1</sub>)、夏黑(CK<sub>2</sub>、SE<sub>2</sub>)和户太8号(CK<sub>3</sub>、SE<sub>3</sub>)共6个处理,采用随机区组设计。每处理9株,重复3次,株距1.2 m,行距2.6 m。每个品种选取树龄及树体一致的葡萄树进行处理,在2017年所有品种葡萄树龄为4年,每年每株保留9串果穗,每穗保留80~90个果粒。

氨基酸螯合态富硒叶面肥由陕西杨凌澳邦生物科技有限公司提供,有机硒含量为 $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在果实幼果期和膨大期的17:00—18:00,使用电动喷雾器按统一流速对叶面喷施相同时间,分别在2017年5月27日、6月6日、16日和2018年5月6日、16日、26日喷施,喷施浓度为有机Se含量 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,同时在对照上喷施等量纯水(约每棵300 mL)。田间管理统一采用常规葡萄栽培管理技术。在整个生育期,每隔7 d用TDR时域水分测定仪测定0~80 cm土壤水分,当土壤含水量小于田间持水量的60%时进行滴灌,直到土壤含水量达到田间持水量的80%。

### 1.2 测定方法

于葡萄果实成熟期,在每个处理、每个重复的葡萄果穗同一位置随机采集20个果粒,带回实验室进行品质测定。采用九阳榨汁搅拌机将葡萄果实榨成匀浆,装入容器中。随后测定可溶性糖、可溶性蛋白

质、Vc、可溶性固形物、有机酸、白藜芦醇、原花青素和硒含量共 8 个指标。采用苯酚-浓硫酸法测定可溶性糖含量<sup>[21]</sup>,紫外分光光度法测定可溶性蛋白质和原花青素含量<sup>[22]</sup>,钼蓝比色法测定 Vc 含量,PRO-101 型糖度计测定可溶性固形物含量,NaOH 法测定可滴定酸含量,高锰酸钾褪色分光光度法测定白藜芦醇含量<sup>[23]</sup>,电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定总硒含量<sup>[24]</sup>。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 21.0 软件对数据进行统计分析。采用单因素(one-way ANOVA)和 Duncan 法进行方差分析和多重比较( $\alpha = 0.05$ )。用 Pearson 法对 3 个品种葡萄的硒含量和各品质指标进行相关分析。图表中数据为平均值 $\pm$ 标准差。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶面喷施硒肥对葡萄果实产量和硒含量的影响

由表 1 可知 3 个品种的葡萄产量显著不同,其中户太 8 号产量显著高于其他品种。喷施硒肥后,

表 1 不同处理葡萄果实产量和硒含量

Table 1 Yield and Se content of grape berries under different treatments

处理 Treat- ment	产量 Yield ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )		硒含量 Se content ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	
	2017	2018	2017	2018
CK <sub>1</sub>	1.6 $\pm$ 0.0d	1.6 $\pm$ 0.0d	16.0 $\pm$ 0.3f	16.7 $\pm$ 0.6f
SE <sub>1</sub>	1.7 $\pm$ 0.0c	1.8 $\pm$ 0.0c	17.6 $\pm$ 0.6e	19.8 $\pm$ 0.1e
CK <sub>2</sub>	1.2 $\pm$ 0.0f	1.2 $\pm$ 0.0f	21.8 $\pm$ 0.7d	26.0 $\pm$ 1.2d
SE <sub>2</sub>	1.3 $\pm$ 0.0e	1.4 $\pm$ 0.0e	29.8 $\pm$ 0.3c	35.1 $\pm$ 0.6c
CK <sub>3</sub>	1.8 $\pm$ 0.0b	1.8 $\pm$ 0.0b	41.4 $\pm$ 1.9b	46.4 $\pm$ 0.5b
SE <sub>3</sub>	2.0 $\pm$ 0.0a	2.1 $\pm$ 0.0a	53.3 $\pm$ 2.5a	53.0 $\pm$ 1.0a

CK<sub>1</sub>、SE<sub>1</sub> 表示红芭拉蒂对照组和硒肥处理组,CK<sub>2</sub>、SE<sub>2</sub> 表示夏黑对照组和硒肥处理组,CK<sub>3</sub>、SE<sub>3</sub> 表示户太 8 号对照组和硒肥处理组 CK<sub>1</sub> and SE<sub>1</sub> represented control group and selenium fertilizer treatment group of Red Barbara, CK<sub>2</sub> and SE<sub>2</sub> represented control group and selenium fertilizer treatment group of Summer Black, and CK<sub>3</sub> and SE<sub>3</sub> represented control group and selenium fertilizer treatment group of Hutai No. 8. 同列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

表 2 不同处理下不同品种葡萄果实可溶性糖、有机酸、可溶性蛋白质和可溶性固形物含量

Table 2 Contents of soluble sugar, organic acid, soluble protein, soluble solid in grape berries of different varieties under different treatments

处理 Treat- ment	可溶性糖 Soluble sugar ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		有机酸 Organic acid (%)		可溶性蛋白质 Soluble protein ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		可溶性固形物 Soluble solid (%)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
CK <sub>1</sub>	111.5 $\pm$ 0.8e	121.4 $\pm$ 2.7d	0.4 $\pm$ 0.0de	0.4 $\pm$ 0.0d	74.0 $\pm$ 0.4f	84.4 $\pm$ 0.9e	17.3 $\pm$ 0.0d	17.1 $\pm$ 0.0e
SE <sub>1</sub>	121.6 $\pm$ 0.7d	129.4 $\pm$ 2.5c	0.4 $\pm$ 0.0e	0.3 $\pm$ 0.0e	88.0 $\pm$ 2.3e	94.5 $\pm$ 1.7d	18.0 $\pm$ 0.0b	17.8 $\pm$ 0.1d
CK <sub>2</sub>	123.4 $\pm$ 1.9cd	114.7 $\pm$ 2.8e	0.5 $\pm$ 0.0a	0.5 $\pm$ 0.0a	103.8 $\pm$ 1.4d	103.6 $\pm$ 0.9c	17.9 $\pm$ 0.0c	18.2 $\pm$ 0.0c
SE <sub>2</sub>	134.3 $\pm$ 0.8b	156.2 $\pm$ 1.9a	0.5 $\pm$ 0.0b	0.5 $\pm$ 0.0bc	107.6 $\pm$ 0.6c	110.5 $\pm$ 1.6b	19.0 $\pm$ 0.1b	18.9 $\pm$ 0.0b
CK <sub>3</sub>	126.7 $\pm$ 0.1c	124.8 $\pm$ 1.3cd	0.5 $\pm$ 0.0cd	0.5 $\pm$ 0.0b	115.9 $\pm$ 1.0b	112.7 $\pm$ 0.1b	18.6 $\pm$ 0.2b	18.9 $\pm$ 0.1b
SE <sub>3</sub>	167.0 $\pm$ 3.1a	139.0 $\pm$ 0.7b	0.4 $\pm$ 0.0b	0.4 $\pm$ 0.0c	168.3 $\pm$ 0.0a	169.4 $\pm$ 0.4a	21.6 $\pm$ 0.2a	19.8 $\pm$ 0.0a

各品种产量显著提高,但增幅不同,2017 和 2018 年夏黑产量增幅均较高,分别为 18.2%和 18.0%。

各品种对硒元素的富集能力不同,导致硒含量不同。在未施硒肥下,2017 和 2018 年,户太 8 号对土壤中的硒吸收能力较强,果实硒含量显著高于其他品种,分别为 41.39 和 46.43  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。叶面喷施硒肥可显著提高各品种硒含量,连续两年,叶面喷施有机硒肥使夏黑硒含量分别增加 36.7%和 37.1%,根据 DB61/T 556—2018<sup>[25]</sup>,富硒水果适宜硒含量为 20~100  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,夏黑和户太 8 号葡萄都达到了富硒标准。硒肥组除户太 8 号外,2018 年硒含量均高于 2017 年,连续喷施硒肥提高果实硒含量的效果因品种而异。

### 2.2 叶面喷施硒肥对葡萄果实品质指标的影响

2.2.1 果实口感指标 由表 2 可知,不同品种葡萄对照组可溶性糖含量存在显著差异;喷施硒肥在 2017 和 2018 年均显著提高了葡萄果实的可溶性糖含量,其中 2017 年户太 8 号葡萄增幅最大,而 2018 年夏黑增幅最大。红芭拉蒂葡萄对照组的有机酸含量在 2017 年差异不显著,但在 2018 年差异显著;叶面喷施硒肥显著降低了夏黑和户太 8 号葡萄果实有机酸含量,3 个品种中夏黑含量最高,其次是户太 8 号。可溶性糖和有机酸含量共同影响葡萄的口感与风味,优质的鲜食葡萄应为高糖中酸,而叶面喷施有机硒肥可有效提高可溶性糖含量,降低有机酸含量,改善葡萄风味。

不同品种葡萄对照组可溶性蛋白质和可溶性固形物含量差异显著。喷施有机硒肥可显著提高葡萄果实可溶性蛋白质含量,以户太 8 号连续两年的增幅最大,其次是红芭拉蒂。叶面喷施硒肥的葡萄果实可溶性固形物含量也比对照显著提高,2017 年户太 8 号增幅最大。叶面喷施有机硒肥显著提高了葡萄果实可溶性蛋白质和可溶性固形物含量,葡萄的口感有所改善。

表 3 不同处理下葡萄果实 Vc、白藜芦醇和原花青素含量

Table 3 Vc, resveratrol and procyanidins contents of grape berries under different treatments

处理 Treat- ment	Vc (g · kg <sup>-1</sup> )		白藜芦醇 Resveratrol (mg · kg <sup>-1</sup> )		原花青素 Procyanidins (g · kg <sup>-1</sup> )	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
	CK <sub>1</sub>	14.1±0.1f	8.6±0.2d	26.4±0.1a	18.7±0.0c	1.1±0.1e
SE <sub>1</sub>	15.5±0.4e	17.9±0.3c	25.7±0.2b	19.0±0.0a	2.0±0.0d	4.78±0.1b
CK <sub>2</sub>	12.4±0.2b	9.9±0.1e	17.4±0.7e	18.5±0.0d	1.8±0.1d	1.80±0.0e
SE <sub>2</sub>	134.0±0.2c	12.0±0.3d	19.3±0.3c	18.9±0.1b	2.1±0.1c	2.61±0.0c
CK <sub>3</sub>	18.0±1.0d	14.2±0.2b	18.5±0.3d	17.9±0.1e	3.5±0.1b	4.70±0.1b
SE <sub>3</sub>	21.4±1.2a	17.5±0.4a	17.8±0.1e	18.6±0.1d	4.4±0.1a	5.53±0.0a

表 4 硒含量与葡萄品质指标间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between Se content in grape berries and fruit quality index

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar	有机酸 Organic acid	可溶性蛋白质 Soluble protein	可溶性固形物 Soluble solid	Vc	白藜芦醇 Resveratrol	原花青素 Procyanidins
SE <sub>1</sub>	0.862**	-0.958*	0.883*	0.974**	0.988*	0.374	0.961**
SE <sub>2</sub>	0.995**	-0.733*	0.864*	0.845*	0.644*	0.864	0.981**
SE <sub>3</sub>	0.851*	-0.913*	0.897*	0.856*	0.884*	0.267	0.782*

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

2.2.2 果实保健指标 Vc、白藜芦醇、原花青素含量是衡量葡萄保健价值的重要指标,各个品种的 Vc、白藜芦醇、原花青素含量都存在显著差异(表 3)。施加硒肥显著提高了 2017 和 2018 年葡萄的 Vc 含量,在 2017 年,与对照相比户太 8 号的 Vc 增幅最大,且 Vc 含量最高,其次是红芭拉蒂;在 2018 年,红芭拉蒂的增幅最大,且 Vc 含量最高,其次是户太 8 号。在 2017 年,红芭拉蒂和户太 8 号处理组的葡萄白藜芦醇含量显著低于对照组,而在 2018 年 3 个品种葡萄白藜芦醇含量显著高于对照,连续喷施硒肥可能会导致白藜芦醇含量的提高,从而改善葡萄营养价值。原花青素多存在于葡萄籽中,而夏黑无籽,且原花青素含量较低,叶面喷施有机硒肥显著提高了红芭拉蒂、户太 8 号葡萄果实两年的原花青素含量。葡萄是少数同时含有白藜芦醇、原花青素的鲜食水果,叶面喷施有机硒肥能有效改善葡萄保健品质。

### 2.3 硒含量与葡萄品质指标之间的相关性

由表 4 可知,对连续两年不同葡萄品种的品质指标进行相关性分析,结果表明,硒含量与可溶性糖、可溶性蛋白质、可溶性固形物、Vc、原花青素含量呈显著正相关,与有机酸含量呈显著负相关,说明叶面喷施有机硒肥对葡萄品质有重要影响。但白藜芦醇与硒含量的相关性不高,红芭拉蒂两者相关性为 0.374,户太 8 号为 0.267,相关性均不显著;而夏黑硒含量与白藜芦醇的相关系数为 0.864,强于其他两个品种,但仍不显著。

### 2.4 葡萄品质的综合评价

将葡萄果实的硒含量、可溶性糖、有机酸、可溶

性蛋白质、可溶性固形物、Vc、原花青素、白藜芦醇隶属于葡萄品质,采取各指标隶属函数值的平均值评价各品种葡萄综合营养品质(表 5)。日光温室栽培环境下,叶面喷施有机硒肥的红芭拉蒂果实品质的综合隶属函数值  $U(X_i)$  连续两年最大,且显著高于其他处理,因此其综合品质最优。

表 5 不同品种葡萄品质综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of grape quality of different varieties

处理 Treatment	综合隶属函数值 Comprehensive subordinate function	
	2017	2018
CK <sub>1</sub>	0.711b	0.684b
SE <sub>1</sub>	0.750a	0.842a
CK <sub>2</sub>	0.464d	0.521e
SE <sub>2</sub>	0.455e	0.643c
CK <sub>3</sub>	0.435f	0.636d
SE <sub>3</sub>	0.540c	0.414f

## 3 讨 论

在农业生产中,有多种方法可以提高果实品质和产量,例如选择优质品种、合理修剪等,但人工添加肥料的方法更为直接高效。本研究结果发现,施加叶面硒肥是既能提高硒含量又能改善营养品质的高效便捷方法。这在不同种类粮食和果蔬上有所体现,如水稻、玉米<sup>[10]</sup>等粮食作物,大蒜、生菜、番茄、杏鲍菇<sup>[11]</sup>等蔬菜,以及冬枣、猕猴桃、甜柿等水果。就葡萄而言,改善效果主要体现在产量、品质和硒含量上。

已有试验表明,叶面喷施亚硒酸钠能提高酿酒葡萄美乐和赤霞珠的品质,如提高 Vc 和可溶性固形物含量等,而果实单粒质量、横径、纵径的提高是产量提高的间接表现<sup>[14]</sup>。另外,有试验对无核白鸡心、87-1、夕阳红等鲜食葡萄品种施加氨基酸硒肥,发现可改善葡萄可溶性固形物、还原糖、Vc 等指标<sup>[18]</sup>。而本研究聚焦在固定浓度的叶面有机硒肥处理对不同品种葡萄风味、口感、营养方面的品质差异性分析,结果显示,与亚硒酸钠和氨基酸硒肥效果相似,果实内糖酸比明显改善,Vc 含量明显提高。此外,本研究还发现,原花青素作为葡萄特有的保健指标,在连续施硒的情况下,其含量也有所提高。叶面喷施硒肥同时提高了葡萄硒含量。这在许多浆果类植物上也有相同的结果,例如,在施加硒肥的蓝莓果实中,除了含有较高的花青素外,还有较高的有机硒,可作为补硒的功能性产品<sup>[26]</sup>。

硒肥对葡萄果实葡萄糖酸含量的影响主要是通过其对葡萄生理代谢的影响产生的。施肥后,硒肥间接促进果实内酸性转化酶活性的提高,促进浆果糖积累,减少有机酸,且硒肥使叶绿素含量和叶片光合速率提高<sup>[27]</sup>,使得在相同时间内的糖积累量升高,因此,硒肥处理组的可溶性糖含量高于对照组,有机酸含量则相反。此外,硒独特的抗氧化功能使其能延缓葡萄树体的衰老,尤其是延缓功能叶中叶绿素的降解,促使光合时间延长,为积累更多有机物提供了可能<sup>[28]</sup>。

另外,有机硒肥进入植株后,硒元素参与合成硒代蛋氨酸和硒代半胱氨酸后,结合到蛋白质中参与并影响了重要的蛋白质反应和合成<sup>[29]</sup>;硒还是谷胱甘肽过氧化物酶等酶的组成部分,在一定的浓度下,硒通过非酶促机制直接清除活性氧,使植物整体抗氧化性能提高<sup>[30]</sup>,减少了活性氧对蛋白质的影响。因此,喷施硒肥后的果实可溶性固形物和可溶性蛋白质含量显著提高。植物体内 Vc 的合成主要通过半乳糖途径,合成抗坏血酸后,其分解再合成过程中有谷胱甘肽过氧化物酶参与<sup>[31]</sup>,而硒是此酶的重要组分,因此喷施硒肥造成了 Vc 含量的升高。叶面喷施有机硒肥影响白藜芦醇、原花青素含量的生理机制尚不明确,仍需要进一步研究。

不同品种葡萄的品质不同。相比于欧亚种,欧美种葡萄叶片较厚,叶绿素含量较多,光合速率较高,转化成的有机物相对较多<sup>[7]</sup>。夏黑、户太 8 号属于欧美种,其可溶性糖含量高于红芭拉蒂,而可溶性固形物含量在一定程度上可反映含糖量,所以欧美

种可溶性固形物含量高于欧亚种。另外,不同品种白藜芦醇含量有显著差异,这是由品种有无籽粒决定的;而原花青素多存在于葡萄籽中,因此带籽的葡萄品种户太 8 号和红芭拉蒂原花青素含量较高。叶面喷施有机硒肥显著提高了不同品种葡萄的风味、口感及营养价值,果实硒含量与产量显著提高的同时,也使葡萄果实可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物含量显著提高,有机酸显著降低。另外,葡萄果实内的 Vc、原花青素含量显著提高。综合比较,3 个品种中,施用叶面有机硒肥使夏黑果实内硒含量增加幅度较大,红芭拉蒂综合品质评价的隶属值较高,而户太 8 号对硒的富集能力较强,硒含量较高,适宜富硒葡萄生产。

#### 参考文献

- [1] Schwarz K, Foltz CM. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Nutrition Reviews*, 1978, **36**: 338-340
- [2] Viezeliene D, Jansen E, Rodovicius H, et al. Protective effect of selenium on aluminium-induced oxidative stress in mouse liver *in vivo*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2011, **31**: 302-306
- [3] Ognjanovic BI, Markovic SD, Pavlovic SZ, et al. Effect of chronic cadmium exposure on antioxidant defense system in some tissues of rats: Protective effect of selenium. *Physiological Research*, 2008, **57**: 403-411
- [4] 吴军,刘秀芳,徐汉生. 硒在植物生命活动中的作用. *植物生理学通讯*, 1999, **35**(5): 417-423 [Wu J, Liu X-F, Xu H-S. Functions of selenium in plants. *Plant Physiology Journal*, 1999, **35**(5): 417-423]
- [5] 杨燕君,刘晓华,宁婵娟,等. 叶面施硒对甜柿果实品质及重金属含量的影响. *园艺学报*, 2013, **40**(3): 523-530 [Yang Y-J, Liu X-H, Ning C-J, et al. Effects of foliar feeding of selenium on fruit quality and accumulation of cadmium lead and mercury in sweet persimmon. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, **40**(3): 523-530]
- [6] 吴洁,王倩,高丽朴,等. 硒延缓果蔬成熟衰老与抗逆机理研究进展. *北方园艺*, 2015(19): 174-179 [Wu J, Wang Q, Gao L-P, et al. Effect of selenium on ripening and senescence stresses resistance of fruit and vegetables. *Northern Horticulture*, 2015(19): 174-179]
- [7] Zhu SM, Liang YL, Gao DK, et al. Spraying foliar selenium fertilizer on quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) from different source varieties. *Scientia Horticulturae*, 2017, **218**: 87-94
- [8] 李卫东,万海英,朱云芬,等. 恩施州天然硒资源特征及其开发利用研究进展. *生物技术进展*, 2017, **7**(5): 545-550 [Li W-D, Wan H-Y, Zhu Y-F, et al. Progress on utilization and characteristic of natural selenium resources in Enshi Autonomous Prefecture. *Current Biotechnology*, 2017, **7**(5): 545-550]
- [9] 姜英,曾昭海,杨麒生,等. 植物硒吸收转化机制及生理作用研究进展. *应用生态学报*, 2016, **27**(12): 4067-4076 [Jiang Y, Zeng Z-H, Yang Q-S, et al. Selenium (Se) uptake and transformation mechanisms and physiological function in plant: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, **27**(12): 4067-4076]
- [10] Zhang M, Tang S, Huang X, et al. Selenium uptake dynamic changes in selenium content and its influence on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in rice.

- Environmental and Experimental Botany*, 2014, **107**: 39–45
- [11] 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. 应用生态学报, 2012, **23**(2): 411–418 [Hao Y-B, Liu H-L, Ci X-K, et al. Effects of applying selenium on selenium allocation grain yield, and grain quality of two maize cultivar. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, **23**(2): 411–418]
- [12] 王明洋, 方勇, 裴斐, 等. 硒对杏鲍菇营养品质和抗氧化酶活性的影响. 食品科学, 2016, **37**(11): 208–213 [Wang M-Y, Fang Y, Pei F, et al. Effects of selenium on nutritional quality and antioxidant enzyme activities of *Pleurotus eryngii*. *Food Science*, 2016, **37**(11): 208–213]
- [13] 王瑞雪. 叶面喷硒对葡萄生长和结果的影响. 硕士论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016 [Wang R-X. Effect of Foliar Feeding of Selenium on the Growth and Fruit Quality of Grape. Master Thesis. Yangling: Northwest A&F University, 2016]
- [14] 王鹏, 冶军, 侯振安, 等. 叶面喷硒对“美乐”和“赤霞珠”葡萄硒富集和果实品质的影响. 北方园艺, 2018(20): 33–40 [Wang P, Ye J, Hou Z-A, et al. Effects of foliar spraying selenium on selenium accumulation and fruit quality of ‘Merlot’ and ‘Cabernet sauvignon’ grape. *Northern Horticulture*, 2018(20): 33–40]
- [15] Dai ZW, Vivin P, Barrieu F, et al. Physiological and modelling approaches to understand water and carbon fluxes during grape berry growth and quality development: A review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2010, **16**: 70–85
- [16] Shinomiya R, Fujishima H, Muramoto K, et al. Impact of temperature and sunlight on the skin coloration of the ‘Kyoho’ table grape. *Scientia Horticulturae*, 2015, **193**: 77–83
- [17] 岳泰新. 不同生态区酿酒葡萄与葡萄酒品质的研究. 博士论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015 [Yue T-X. Study on Wine Grape and Wine Quality from Different Ecological Regions. PhD Thesis. Yangling: Northwest A&F University, 2015]
- [18] 李小燕, 刘俊, 张欣, 等. 叶面喷硒对葡萄果实品质的影响研究. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2018, **39**(2): 8–12 [Li X-Y, Liu J, Zhang X, et al. The effect of spraying selenium to fruit quality on grape. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science*, 2018, **39**(2): 8–12]
- [19] 朱丽琴, 魏钦平, 许雪峰, 等. 葡萄对硒的吸收、分布和积累特性的初步研究. 园艺学报, 2007, **34**(2): 325–328 [Zhu L-Q, Wei Q-P, Xu X-F, et al. Selenium absorption, distribution and accumulation in grapevine. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, **34**(2): 325–328]
- [20] 赵薇, 惠竹梅, 林刚, 等. 硒对水分胁迫下赤霞珠葡萄幼苗叶片生理生化指标的影响. 果树学报, 2011, **28**(6): 984–990 [Zhao W, Hui Z-M, Lin G, et al. Effect of selenium on physiological and biochemical indexes of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon leaves under water stress. *Journal of Fruit Science*, 2011, **28**(6): 984–990]
- [21] 张立军, 樊金娟. 植物生理学实验教程. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 36–39 [Zhang L-J, Fan J-J. Experimental Course in Plant Physiology. Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 36–39]
- [22] 鲍俊竹, 陈月坤, 徐桂花. 测定葡萄籽提取物中原花青素含量的方法. 农业科学研究, 2005(1): 43–45 [Bao J-Z, Chen Y-K, Xu G-H. Primary study on the determination methods of proanthocyanidin content of grape seed extract. *Journal of Agricultural Sciences*, 2005(1): 43–45]
- [23] 于晶, 任朝阳, 苍晶. 次生代谢物白藜芦醇研究概述. 中国农学通报, 2005, **21**(7): 104–107 [Yu J, Ren Z-Y, Cang J. A promising secondary metabolite: Resveratrol. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, **21**(7): 104–107]
- [24] Toaldo IM, Fogolari O, Pimentel GC, et al. Effect of grape seeds on the polyphenol bioactive content and elemental composition by ICP-MS of grape juices from *Vitis labrusca* L. *Food Science and Technology*, 2013, **53**: 1–8
- [25] 陕西省质量技术监督局. 2018 年富硒含硒食品与相关产品硒含量标准 DB61/T 556—2018 [EB/OL]. [2018-08-27]. <http://snqi.gov.cn/> [Shaanxi Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision. Standard for Selenium Content in Selenium-containing Foods and Related Products. DB61/T 556-2018 [EB/OL]. [2018-08-27]. <http://snqi.gov.cn/>]
- [26] Li MF, Zhao ZQ, Zhou JJ, et al. Effects of a foliar spray of selenite or selenate at different growth stages on selenium distribution and quality of blueberries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, **98**: 4700–4706
- [27] Zhu SM, Liang YL, Xiao JA, et al. Changes in sugar content and related enzyme activities in table grape (*Vitis vinifera* L.) in response to foliar selenium fertilizer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, **97**: 4094–4102
- [28] Feng T, Chen SS, Gao DQ, et al. Selenium improves photosynthesis and protects photosystem II in pear (*Pyrus bretschneideri*), grape (*Vitis vinifera*), and peach (*Prunus persica*). *Photosynthetica*, 2015, **53**: 609–612
- [29] 张均华, 朱练峰, 禹盛苗, 等. 稻田硒循环转化与水稻硒营养研究进展. 应用生态学报, 2012, **23**(10): 2900–2906 [Zhang J-H, Zhu L-F, Yu S-M, et al. Selenium cycling and transformation in paddy field and selenium nutrition of rice: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, **23**(10): 2900–2906]
- [30] 郭静成, 尹顺平. 硒对高等植物中谷胱甘肽过氧化物酶活性及谷胱甘肽含量的影响. 西北植物学报, 1998, **18**(4): 533–537 [Guo J-C, Yin S-P. The effect on glutathione peroxidase activity and glutathione content of higher plants by selenium. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1998, **18**(4): 533–537]
- [31] 安华明, 刘卫, 杨曼, 等. 高等植物维生素 C 合成途径主要参与基因研究进展. 山地农业生物学报, 2015, **34**(6): 9–14 [An H-M, Liu W, Yang M, et al. Advances in research on gene functions involved in ascorbate biosynthesis in higher plants. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2015, **34**(6): 9–14]

作者简介 印宁, 女, 1996 年生, 硕士研究生. 主要从事植物生理生态研究. E-mail: Yin.ning060196@outlook.com

责任编辑 张凤丽

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



印宁, 穆兰, 梁银丽, 等. 叶面喷施硒肥对 3 个葡萄品种果实产量、品质和硒含量的影响. 应用生态学报, 2020, **31**(3): 953–958

Yin N, Mu L, Liang Y-L, et al. Effects of foliar selenium fertilizer on fruit yield, quality and selenium content of three varieties of *Vitis vinifera*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, **31**(3): 953–958