

陈蓉,姚锋先,杨忠兰,等. 叶面硒生物营养强化对脐橙果实品质和元素积累的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(19):143-149.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.19.022

# 叶面硒生物营养强化对脐橙果实品质和元素积累的影响

陈蓉<sup>1</sup>,姚锋先<sup>1</sup>,杨忠兰<sup>1</sup>,杨杰<sup>1</sup>,温莉<sup>1</sup>,刘桂东<sup>1</sup>,张永浩<sup>1</sup>,成臣<sup>1</sup>,李航<sup>2</sup>

(1. 赣南师范大学国家脐橙工程研究技术中心/赣南师范大学生命科学学院,江西赣州 341000; 2. 赣州市果业发展中心,江西赣州 341000)

**摘要:**硒是人体必需的微量元素,而膳食硒是主要摄入渠道,且赣南脐橙在自然生长条件下未能达到富硒标准,因此亟需通过硒生物强化技术来提高脐橙果实中硒的积累量。通过向脐橙叶面喷施不同浓度和次数的硒肥,探究叶面硒生物营养强化对脐橙果实品质及元素积累的影响,为脐橙硒营养强化栽培提供试验支撑和理论依据。以纽荷尔脐橙为试材,设计 2 种喷施次数(幼果期和果实膨大期共喷施 2 次,谢花期、幼果期和果实膨大期共喷施 3 次)、5 种硒肥浓度(0、50、100、200、300 mg/L)的叶面喷施试验,进行果肉总硒和有机硒含量测定并结合果实品质和营养元素状况探究最佳喷施条件。结果表明,随着硒肥浓度的增加,脐橙果肉中总硒和有机硒含量显著提高,果实可溶性固形物含量、维生素 C 含量、固酸比及果肉中 Mg、K、Mn、Fe、Cu、Zn、Mo 元素的积累量整体呈上升趋势。综合果肉硒水平和果实品质指标分析,在谢花期、幼果期和膨大期采用 200 mg/L 亚硒酸钠溶液叶面喷施 3 次处理效果最佳。该技术模式下脐橙鲜样果肉中总硒和有机硒含量分别为 28.01、21.42  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,可溶性固形物含量为 13.83%,维生素 C 含量为 67.86 mg/100 g,固酸比为 26.05,且果肉中锰、铜、锌和钼元素含量较对照分别提高了 3.95%、23.92%、19.22% 和 18.75%。以上研究表明,叶面施硒可有效提高脐橙果实品质和营养元素含量,最佳喷施条件是喷施 3 次,浓度为 200 mg/L,此浓度下果实硒含量达到富硒标准。

**关键词:**脐橙;硒;生物营养强化;果实品质;元素积累

**中图分类号:**S666.406 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)19-0143-06

硒(Se)是哺乳动物必需的微量元素,在改善生物体的健康和抵抗氧化损伤方面起着重要作用<sup>[1]</sup>。世界范围内约 2/3 的土壤缺硒,我国约 72% 的土壤中硒含量不足 0.1 mg/kg,处于缺硒状态,这严重制约了人体对硒的摄入<sup>[2-3]</sup>。生物强化技术可促进无机硒转化成有机硒,增强人体对硒的吸收利用,因此该技术在贫硒地区被普遍采用,主要包括土施和叶面喷施<sup>[4-5]</sup>。土施硒肥可缓解土壤硒缺乏,改善植物硒营养,但施入土壤的硒肥当季利用率低、成本相对较高,施用不当容易造成土壤污染,因此在实际应用中具有局限性<sup>[6]</sup>。叶面喷施硒肥的措施能将硒直接由叶片转移到植物体内,有效提高果实对硒和矿质养分的利用率<sup>[7]</sup>,且操作简便、经济有效,在硒生物强化方面占绝对优势,因此得到广泛

应用<sup>[8]</sup>。

前人对甜柿<sup>[9]</sup>、猕猴桃<sup>[10]</sup>等水果和水稻<sup>[11]</sup>、小麦<sup>[12]</sup>等农作物研究发现,施硒能提高硒含量和品质。硒也会影响部分营养元素的吸收和积累,李财运等研究表明,喷硒处理后山核桃种仁中硒、锌、锰、镁含量提高<sup>[13]</sup>;刘群龙等研究发现,梨果实中硒元素含量随喷硒浓度增加而明显提高,且喷施低浓度硒,可显著提高果实铁和铜元素的含量<sup>[14]</sup>。在脐橙上,现有的研究多集中于外源喷硒对果实中硒的积累量和果实品质的影响<sup>[15-16]</sup>,但关于脐橙中其他养分吸收的研究报道较少。

脐橙富含人体所需的各类营养成分,在世界大部分地区广泛种植<sup>[17]</sup>。江西赣南地区气候条件优越,脐橙品质良好,是我国脐橙的重要优势产区之一<sup>[18]</sup>。赣南脐橙以果大形正、肉质脆嫩、口感甜酸适度著称,富含人体所必需的各类营养元素。在自然条件下,水果中硒含量较低<sup>[19]</sup>,且赣南脐橙果肉中硒含量普遍小于 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[20]</sup>,因此亟需通过外源硒生物强化技术来提高脐橙总硒含量。本研究拟通过向脐橙树体叶面喷施不同浓度和不同次数的硒肥,分析果肉中硒的积累情况及硒对果实品质、

收稿日期:2022-04-01

基金项目:国家自然科学基金(编号:31760606,32160763);江西省重点研发项目(编号:20181BBF60011)。

作者简介:陈蓉(1998—),女,浙江台州人,硕士研究生,研究方向为柑橘品质与施肥研究。E-mail:997347158@qq.com。

通信作者:姚锋先,博士,副教授,主要从事柑橘栽培生理研究。E-mail:fengxianyao@aliyun.com。

元素积累的影响,以期为脐橙硒营养强化栽培提供试验支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2020 年在江西省赣州市赣南师范大学国家脐橙工程技术研究中心脐橙基地(25°47′53″N, 114°52′45″E)进行,土壤类型为酸性红壤(pH 值为 4.5),有机质含量为(6.94 ± 0.59) mg/g,碱解氮含量为(46.43 ± 5.18) mg/kg,速效磷含量为(5.63 ± 0.64) mg/kg,速效钾含量为(159.67 ± 11.73) mg/kg。供试材料为纽荷尔脐橙果树,树龄 6 年,树体长势良好。

1.2 试验方法

本试验以亚硒酸钠(Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>)为硒源对脐橙树进行叶面喷硒,设置 5 个硒肥浓度和 2 个喷硒次数(表 1),共 9 个处理,每个处理重复 3 次。分别在谢花期(4 月 9 日)、幼果期(6 月 16 日)和果实膨大期(7 月 13 日)外源喷施硒肥或水,每株果树单次喷施量为 4.0 L,每次喷至叶面均匀布满雾状水滴;果园其他管理措施不变,各处理田间管理保持一致。于当年 11 月果实成熟期,在树冠外围 1.5 ~ 2.0 m 高,东、南、西、北方向和中部分别随机采取 1 个果实样品,进行元素测定和品质分析(施用外源硒肥对产量无显著差异)。

表 1 大田试验处理

处理	喷硒浓度 (mg/L)	喷施次数及时期
T1 (CK)	—	谢花期、幼果期、膨大期共喷 3 次水
T2	50	谢花期喷水,幼果期和膨大期共喷 2 次叶面肥
T3	100	谢花期喷水,幼果期和膨大期共喷 2 次叶面肥
T4	200	谢花期喷水,幼果期和膨大期共喷 2 次叶面肥
T5	300	谢花期喷水,幼果期和膨大期共喷 2 次叶面肥
T6	50	谢花期、幼果期、膨大期共喷 3 次叶面肥
T7	100	谢花期、幼果期和膨大期共喷 3 次叶面肥
T8	200	谢花期、幼果期和膨大期共喷 3 次叶面肥
T9	300	谢花期、幼果期和膨大期共喷 3 次叶面肥

1.3 指标测定

1.3.1 总硒和无机硒的测定 取果实鲜样,根据 GB 5009.93—2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》进行总硒含量的测定。无机硒测定参照 DB36/T 1243—2020《稻米中有机硒和无机硒含量的测定 氢化物原子荧光光谱法》,采用差减法,用

氢化物发生-原子荧光光谱仪(HG-AFS, AFS-922,北京吉天)进行测定。

有机硒含量 = 总硒含量 - 无机硒含量。

1.3.2 矿质元素含量测定 称取 0.300 0 g 样品,用电炉碳化至无烟,再放入马弗炉中 500 ℃灰化 6 h,取出后加入 10 mL 的 5% 硝酸,过滤,用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, Agilent 7900, USA)测定硼、锰、铁、铜、锌、钼、镁、磷、钾和钙含量;称取 0.300 0 g 样品放入 50 mL 消煮管中,经 LWY84B 型控温式远红外消煮炉消煮,过滤,用全自动间断化学分析仪(Smartchem200)测定氮含量。

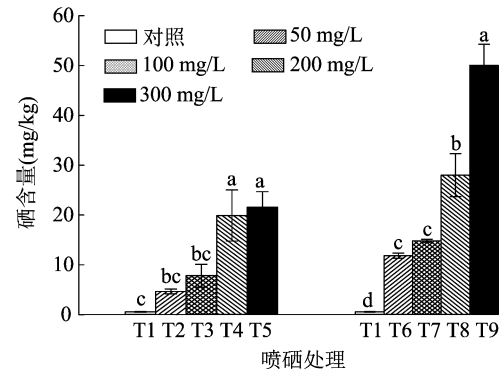
1.3.3 果实品质测定 果实可滴定酸含量用氢氧化钠滴定法测定;维生素 C 含量用 2,6-二氯酚靛酚染料滴定法测定;可溶性固形物含量用 WYT 型手持糖度计测定。

1.4 统计分析

试验数据采用 DPS 9.50 软件分析不同处理间的差异显著性( $P < 0.01$ ),利用 Excel 可视化。

2 结果与分析

2.1 叶面喷硒对脐橙鲜样果肉中总硒的影响 脐橙果肉鲜样总硒(Se)的含量随着喷硒浓度的增加而增加,且喷施 3 次果肉中的 Se 含量高于喷施 2 次的处理。T5、T9 处理中脐橙果肉的 Se 含量达到 21.55、50.03 μg/kg,分别为对照处理的 37.91 倍、88.00 倍(图 1),但是该浓度处理后果树出现落叶、落果现象,表明高浓度硒对脐橙树体有一定损伤。



2.2 叶面喷硒对脐橙果肉中硒形态的影响 不同浓度施硒处理后,果肉中的硒主要以有机态形式存在,且含量变化趋势与总硒一致,即有机硒含量随喷硒浓度增加而迅速上升(表 2)。在果肉中有机硒的含量比无机硒高,占总硒的 73.13% ~ 85.68%。与对照相比,叶面喷硒后果肉中有机硒和

无机硒含量均显著增加。T2、T3、T4 和 T5 处理果肉中有机硒含量分别占总硒的 82.23%、85.68%、75.55% 和 73.13%，且在 T4 处理中有机硒含量迅速上升，其含量与喷硒 2 次后的最高值(T5)无显著差异。T9 处理脐橙有机硒和无机硒含量均显著高于其他处理，此时果肉有机硒含量较 T6、T7、T8 处理分别增加了 3.23 倍、2.23 倍、0.79 倍。

表 2 不同处理脐橙果肉中有机硒和无机硒含量的变化		
处理	有机硒含量 (μg/kg)	无机硒含量 (μg/kg)
T1 (CK)	0.50 ± 0.01g	0.06 ± 0.03g
T2	3.84 ± 1.83fg	0.83 ± 0.13fg
T3	6.70 ± 3.10ef	1.12 ± 0.48ef
T4	15.02 ± 2.94c	4.86 ± 2.09c
T5	15.76 ± 0.10c	5.79 ± 0.40c
T6	9.08 ± 0.41de	2.76 ± 0.60de
T7	11.87 ± 3.40cd	2.98 ± 0.28cd
T8	21.42 ± 6.91b	6.59 ± 1.30b
T9	38.37 ± 0.38a	11.66 ± 3.54a

注：同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

2.3 叶面喷硒对脐橙果实品质的影响

整体上分析，在一定浓度硒处理范围内可以显著提高果实的可溶性固形物和维生素 C 含量，而可滴定酸含量和固酸比无显著规律性变化。由表 3 可知，喷施 2 次叶面肥时，T2 和 T3 处理可溶性固形物和维生素 C 含量均显著高于其他处理；且在 T2 处理中，可溶性固形物和维生素 C 含量达到最大值，较对照分别提高了 13.25% 和 30.37%；T2、T4 和 T5 处理可滴定酸含量较对照降低了 15.85%、23.17% 和 10.98%，固酸比较对照增加了 34.86%、20.91% 和 14.09%。喷施 3 次叶面肥时，T6、T7 和 T8 处理可溶性固形物和维生素 C 含量显著高于对照；T8 和 T9 处理可滴定酸含量较对照分别降低了 35.37% 和 19.51%，固酸比分别提高了 66.03% 和 3.00%。表明不同喷硒浓度和次数对脐橙品质的作用效果存在较大差异，且喷硒 3 次处理对果实品质的提升效果要优于喷施 2 次的处理。

方差分析表明，浓度单因素对可溶性固形物、维生素 C、可滴定酸含量及固酸比的影响均达极显著水平( $P < 0.01$ )，而次数单因素、浓度和次数的交互作用对各指标无显著性影响，由此可知，对脐橙果实品质影响最大的因素是喷硒浓度。

表 3 不同处理对脐橙果实品质的影响				
处理	可溶性 固形物 含量(%)	维生素 C 含量 (mg/100 g)	可滴定酸 含量 (%)	固酸比
T1 (CK)	12.83 ± 0.23c	64.63 ± 0.47e	0.82 ± 0.02bcd	15.69 ± 0.49de
T2	14.53 ± 0.35a	84.26 ± 2.86a	0.69 ± 0.01def	21.16 ± 0.63b
T3	13.83 ± 0.29b	83.42 ± 1.55a	0.94 ± 0.02ab	14.66 ± 0.62e
T4	11.97 ± 0.15d	54.59 ± 0.51g	0.63 ± 0.05ef	18.97 ± 1.51bc
T5	13.03 ± 0.23c	61.82 ± 0.78f	0.73 ± 0.02cde	17.90 ± 0.71cd
T6	13.73 ± 0.21b	73.81 ± 1.56bc	0.87 ± 0.27abc	16.68 ± 4.57cde
T7	14.00 ± 0.11b	74.83 ± 2.06b	1.03 ± 0.04a	13.64 ± 0.49e
T8	13.83 ± 0.06b	67.86 ± 1.35d	0.53 ± 0.01f	26.05 ± 0.18a
T9	10.70 ± 0.26e	71.60 ± 1.79c	0.66 ± 0.03def	16.16 ± 0.74cde
方差分析				
浓度	**	**	**	**
次数	—	—	—	—
浓度 × 次数	—	—	—	—

注：数据均为 3 次重复的平均值。\*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平显著。表 4、表 5 同。

2.4 叶面喷硒对脐橙果肉大量元素含量的影响

由表 4 可知，大量元素的总积累量遵循  $K > N > Ca > P > Mg$  的规律，其中 Mg、K 和 N 含量整体呈上升趋势，而 P 和 Ca 含量整体呈下降趋势。T2 和 T3 处理 Mg 含量较对照降低了 1.30% 和 9.09%；T4 和 T5 处理 Mg、P、K 和 N 的含量都高于对照，分别增加了 27.27% ~ 37.66%、3.97% ~ 7.14%、17.86% ~ 28.66%、77.91% ~ 95.82%。叶面喷施 3 次处理，果实的 Mg、K 和 N 含量均高于对照处理，分别增加了 11.69% ~ 35.06%、11.20% ~ 24.52% 和 28.66% ~ 95.52%；而 P 和 Ca 含量均低于对照，分别降低了 3.17% ~ 24.60% 和 2.96% ~ 41.78%，但处理间差异不显著。喷施 3 次叶面肥比喷施 2 次叶面肥处理的果实中 Mg 和 K 含量更高。

方差分析表明，浓度单因素对钙含量的影响达到显著水平，对镁、磷、钾和氮含量的影响均不显著；浓度与次数之间的交互作用及次数单因素对大量元素含量的影响都不显著，所以喷硒浓度对钙元素含量有显著影响，对其他大量元素无显著效果。

2.5 叶面喷硒对脐橙果肉微量元素含量的影响

微量元素总量遵循着  $B > Fe > Mn > Zn > Cu > Mo$  的规律(表 5)。其中 Fe、Mn、Cu、Zn 和 Mo 含量相比对照整体呈升高趋势，B 含量相比对照总体呈降低趋势。T2、T4 和 T5 处理 Mn、Fe、Cu 和 Zn 含量较对照分别增加了 9.74% ~ 46.32%、27.48% ~ 62.09%、3.35% ~ 49.76% 和 11.39% ~ 28.83%。

表 4 不同处理对脐橙果肉大量元素吸收的影响

处理	镁含量 (%)	磷含量 (%)	钾含量 (%)	钙含量 (%)	氮含量 (%)
T1 (CK)	0.077 ± 0.004a	0.126 ± 0.013ab	0.991 ± 0.046ab	0.371 ± 0.033a	0.335 ± 0.071d
T2	0.076 ± 0.004a	0.121 ± 0.012abc	1.021 ± 0.074ab	0.344 ± 0.048a	0.589 ± 0.072ab
T3	0.070 ± 0.011a	0.086 ± 0.002c	0.826 ± 0.157b	0.298 ± 0.039ab	0.588 ± 0.036ab
T4	0.106 ± 0.036a	0.135 ± 0.044a	1.168 ± 0.297a	0.284 ± 0.076ab	0.596 ± 0.053a
T5	0.098 ± 0.007a	0.131 ± 0.017ab	1.275 ± 0.114a	0.297 ± 0.029ab	0.656 ± 0.061a
T6	0.086 ± 0.012a	0.095 ± 0.015bc	1.153 ± 0.101a	0.360 ± 0.128a	0.506 ± 0.030abc
T7	0.104 ± 0.052a	0.112 ± 0.022abc	1.129 ± 0.233ab	0.255 ± 0.079ab	0.431 ± 0.058bcd
T8	0.088 ± 0.008a	0.120 ± 0.014abc	1.102 ± 0.150ab	0.303 ± 0.040ab	0.517 ± 0.187abc
T9	0.097 ± 0.002a	0.122 ± 0.018abc	1.234 ± 0.169a	0.216 ± 0.008b	0.655 ± 0.078a
方差分析					
浓度	—	—	—	*	—
次数	—	—	—	—	—
浓度 × 次数	—	—	—	—	—

表 5 不同处理对脐橙果肉微量元素吸收的影响

处理	硼含量 (mg/kg)	锰含量 (mg/kg)	铁含量 (mg/kg)	铜含量 (mg/kg)	锌含量 (mg/kg)	钼含量 (mg/kg)
T1 (CK)	14.91 ± 0.90a	3.80 ± 0.46ab	9.68 ± 0.45c	2.09 ± 0.91c	2.81 ± 0.08bc	0.048 ± 0.003b
T2	12.30 ± 0.78abc	5.56 ± 0.28a	12.34 ± 1.74abc	2.16 ± 0.46bc	3.13 ± 0.37b	0.063 ± 0.011b
T3	10.39 ± 0.05c	2.81 ± 0.70b	10.57 ± 0.80c	1.83 ± 0.21c	2.33 ± 0.20c	0.043 ± 0.001b
T4	14.47 ± 4.38ab	4.17 ± 0.98ab	12.88 ± 3.32abc	2.94 ± 0.94a	3.62 ± 0.92ab	0.041 ± 0.008b
T5	15.23 ± 0.61a	4.65 ± 0.62ab	15.69 ± 4.22a	3.13 ± 0.17a	3.56 ± 0.21ab	0.031 ± 0.003b
T6	15.44 ± 1.25a	5.73 ± 2.98a	13.01 ± 1.89abc	3.10 ± 0.30a	4.33 ± 0.59a	0.432 ± 0.501a
T7	11.36 ± 0.86bc	2.60 ± 0.69b	11.00 ± 0.77bc	2.86 ± 0.29ab	3.32 ± 0.49b	0.074 ± 0.015b
T8	13.30 ± 2.17abc	3.95 ± 0.33ab	11.46 ± 0.79bc	2.59 ± 0.20abc	3.35 ± 0.20b	0.057 ± 0.001b
T9	12.01 ± 0.69abc	2.84 ± 0.33b	14.94 ± 1.28ab	2.48 ± 0.28abc	3.15 ± 0.05b	0.058 ± 0.011b
方差分析						
浓度	—	**	**	—	*	—
次数	—	—	—	—	—	—
浓度 × 次数	—	—	—	—	—	—

喷施 3 次硒肥,Fe、Cu、Zn 和 Mo 含量整体较对照均提高;T6 和 T8 处理中 Mn 含量较对照分别增加了 50.79% 和 3.95%。喷硒 3 次较喷硒 2 次处理微量元素含量提升更为明显。

方差分析表明,喷施次数单因素处理对微量元素含量影响不显著;喷施浓度单因素处理对 Mn 和 Fe 元素含量影响极显著,对 Zn 元素含量影响显著,对其他元素含量影响不显著;浓度和次数交互作用对微量元素含量影响不显著。这说明 Mn、Fe、Zn 含量对喷硒浓度敏感。

2.6 脐橙果肉元素之间的相关性分析

脐橙果肉元素之间的相关性分析结果(表 6)表明,大量元素 Mg、P、K 相互呈极显著正相关,微量元素中 B 与 Cu、Zn、Mn,Fe 与 Cu、Zn、Se,Zn 与 Mo 呈显著或极显著正相关,表明大量元素 Mg、P、K,微量

元素 B、Fe、Cu、Zn 之间具有相互促进吸收的作用。微量元素中 Se、Fe 和 Cu 也与大量元素呈显著或极显著相关,Se 和 Fe 都与 Mg、K 呈显著或极显著正相关,Cu 与 P、K 呈显著或极显著正相关,表明脐橙果实中 Mg、P、K、Se、Fe 和 Cu 的吸收具有相互促进作用。此外,施用硒肥能显著提高脐橙果肉中 Se 元素的含量,而硒的吸收又能促进 Mg、K、P、Fe 和 Cu 元素的积累。

3 讨论与结论

3.1 不同处理对脐橙果实品质的影响

大量研究发现,外源硒能显著提高农产品的品质<sup>[7-10]</sup>,这可能与硒参与植物体内的生理代谢有关。由于硒能影响原卟啉 - IX、Mg - 原卟啉酯的积累,而这两者与叶绿素的形成相关,所以硒能影响

表 6 脐橙果肉元素之间的相关性

元素	相关系数										
	硒	镁	磷	钾	钙	硼	锰	铁	铜	锌	钼
硒	1.000 0										
镁	0.3686 *	1.000 0									
磷	0.142 8	0.498 8 **	1.000 0								
钾	0.495 3 **	0.793 3 **	0.571 2 **	1.000 0							
钙	-0.538 3 **	0.095 5	0.064 4	0.009 5	1.000 0						
硼	-0.106 4	0.309 3	0.289 2	0.484 8 **	0.190 3	1.000 0					
锰	-0.199 1	0.163 4	0.059 7	0.308 3	0.659 4 **	0.375 4 *	1.000 0				
铁	0.567 3 **	0.448 5 *	0.194 9	0.607 3 **	-0.141 5	0.300 3	0.244 7	1.000 0			
铜	0.329 2	0.619 2 **	0.371 4 *	0.757 0 **	-0.175 1	0.513 7 **	0.216 2	0.508 5 **	1.000 0		
锌	0.230 3	0.527 0 **	0.252 7	0.675 5 **	-0.032 8	0.580 2 **	0.346 4	0.488 1 **	0.891 9 **	1.000 0	
钼	-0.036 3	0.043 4	-0.205 4	0.083 5	-0.047 8	0.034 8	0.036 0	-0.045 4	0.321 7	0.505 6 **	1.000 0

注: \* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

叶绿素的合成<sup>[21]</sup>。另外,在植物体内,硒还可以通过调节 -SH 的 5 - 氨基乙酰丙酸脱水酶 (ALAD) 和胆色素原脱氨酶 (PB - GD) 来合成叶绿素<sup>[22]</sup>。因此叶面施硒能提高作物叶绿素含量,增强光合作用效率,增加果实中的同化产物<sup>[9]</sup>。在本试验中外源喷硒后,促进了植物体内同化和转化能力,也提高了可溶性固形物和维生素 C 的合成效率。

### 3.2 不同处理对果肉元素累积的影响

矿质营养是植物生长发育所必需的,也是果实形成良好品质的基础。硒对果肉中矿质元素的影响机理复杂,元素之间既有拮抗作用,又相互促进,其效应可能与果树的生理代谢相关<sup>[23]</sup>。本研究中,叶面喷施硒肥后,Mg、K、Mn 和 Zn 含量呈现出低硒浓度下有不同程度上升,在高硒浓度时均有所降低的趋势,该结果与郭开秀等研究鸡毛菜的结果<sup>[24]</sup>一致;随着硒肥浓度增加,果肉中 Fe、Cu 和 N 含量增加,P 和 Ca 含量降低,与在西瓜<sup>[25]</sup>和紫甘薯<sup>[26]</sup>中的研究结果相同。硒肥对 Mo 含量和 B 含量的影响分别表现出上升和下降的趋势,这与前人研究一致,Arvy 等证实,在植物体内,Se 与 Mo 元素呈正相关<sup>[27]</sup>;段碧辉等研究发现适量硒可降低油菜幼苗硼的吸收累积<sup>[28]</sup>。硒不仅能直接影响果实品质,还能通过改变果实中营养元素含量,间接影响其内在品质。然而也有部分研究差异较大,如袁伟玲等研究表明,加硒后,生菜地上部 Ca、Zn 和 Mg 等元素含量增加,P、K 和 Fe 含量下降,对生菜地下部分而言,随着硒浓度增加,P、Ca、Mg、Fe 和 Zn 含量下降<sup>[29]</sup>;秦玉燕等报道,喷施低浓度硒可提高茶树叶片 Zn、K、Fe、Ca 和 Mg 含量,高浓度对叶片有毒害作用,会抑制叶片对 Zn、K 和 Fe 的积累<sup>[8]</sup>。总的来说,营养元

素在不同植物上表现差异较大,相关影响机理仍需进一步的分析。

本研究中外源施硒降低了果肉中的磷含量,且在低浓度下抑制作用更强。这可能是由于磷酸盐和亚硒酸盐在植物体内吸收转运过程同属一个磷酸盐转运通道<sup>[30]</sup>,而作物对磷酸盐的选择吸收作用要高于亚硒酸盐<sup>[25]</sup>。而随着喷硒浓度增加,亚硒酸盐抑制和生长稀释作用使硒减弱了对果实生长的促进作用,生物稀释效应降低,磷元素含量缓慢提高<sup>[14]</sup>。

### 3.3 不同处理对果肉硒形态转化的影响

目前,国内外仍在探索更多的关于富硒农产品的研究。我国是典型的缺硒大国,且硒分布不均匀,生物利用率极低。缺硒会引起克山病、心血管疾病和大骨节病<sup>[31]</sup>,对人体造成损害。因此通过开发富硒农作物增加人体硒摄入量,是近年来关注的热点。随着喷硒浓度的增加,果肉中总硒含量显著增加,这与前人在甜樱桃<sup>[7]</sup>和西瓜<sup>[25]</sup>中的研究结果一致,表明脐橙对硒的富集程度不受高浓度硒肥的抑制,也未减弱对硒的吸收同化。但是叶面喷硒存在硒肥浓度过高造成树体受损的安全问题,本试验中喷施高浓度亚硒酸钠 (300 mg/L) 时,树体出现落叶落果现象,与秦玉燕等在芒果上研究结果<sup>[23]</sup>相同,表明此浓度已经超出了脐橙耐受范围,因此需综合考虑果肉硒含量、品质、养分等因素来确定最适宜的喷施浓度。

有机硒生物活性强,利于人体吸收,是衡量农产品富硒的重要指标<sup>[32]</sup>。本试验中,随着叶面喷施浓度的增加,脐橙果肉中有机硒含量逐渐增加,最高可占总硒的 85.68%。但有机硒转化率随着硒肥浓度的增加呈现先升高后降低的趋势,该结果与杜

振宇等研究茄子发现施用高浓度硒会显著降低有机硒转化率的结果<sup>[33]</sup>一致。这表明了叶面喷施无机硒后大部分都已转化为有机硒,且作物种类、硒肥浓度和喷施次数的不同会使试验结果产生差异。

从食用安全角度考虑,脐橙等柑橘果实富硒标准为总 Se $\geq 10 \mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[34]</sup>,本试验中 T4~T9 处理达到富硒标准。中国营养学会提出,成年人每日硒摄入量推荐值为 50~65  $\mu\text{g}/\text{d}$ ,最大安全摄入量为 400  $\mu\text{g}/\text{d}$ ,本研究叶面喷硒后获得的果肉硒含量范围为 11.83~50.03  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,按每人每天摄入 2~3 个脐橙(1 kg)计算,可从中摄取 11.83~50.03  $\mu\text{g}$  硒。若加上中国居民来自其他 8 类食物的硒摄入量 62.24  $\mu\text{g}/\text{d}$ <sup>[19]</sup>,则每人每日硒摄入量为 74.07~112.27  $\mu\text{g}/\text{d}$ 。因此,本试验所得富硒脐橙对人体是安全的。

叶面喷硒后脐橙果肉中总硒和有机硒含量随施用浓度的增加而递增,且喷施 3 次处理提高幅度大于喷施 2 次处理,最高安全施硒浓度为 200  $\text{mg}/\text{L}$ 。T2 和 T8 处理对脐橙果实品质的改善效果较好,可提高可溶性固形物、维生素 C 含量和固酸比,降低可滴定酸含量。T6、T7、T8 和 T9 处理可增加 Mg、K、N 含量;T2 和 T8 处理可提高果肉 Fe、Mn、Cu、Zn 和 Mo 含量。

综上所述表明,T8 处理是生产富硒脐橙的最优喷施措施,该处理下脐橙果肉总硒含量和有机硒含量分别为 28.01、21.42  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,可溶性固形物含量为 13.83%,维生素 C 含量为 67.86  $\text{mg}/100 \text{g}$ ,固酸比为 26.05,且果肉中锰、铜、锌和钼元素含量较对照分别提高了 3.95%、23.92%、19.22% 和 18.75%。

#### 参考文献:

- [1] Liu N N, Wang M, Zhou F, et al. Selenium bioavailability in soil - wheat system and its dominant influential factors: a field study in Shaanxi Province, China [J]. Science of the Total Environment, 2021, 770: 144664 - 144672.
- [2] Xia Q, Yang Z P, Shui Y, et al. Methods of selenium application differentially modulate plant growth, selenium accumulation and speciation, protein, anthocyanins and concentrations of mineral elements in purple - grained wheat [J]. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 1114 - 1125.
- [3] Yadav S K, Singh I, Singh D, et al. Selenium status in soils of northern districts of India [J]. Journal of Environmental Management, 2005, 75 (2): 129 - 132.
- [4] Schiavon M, Nardi S, Vecchia F D, et al. Selenium biofortification in the 21st century: status and challenges for healthy human nutrition [J]. Plant and Soil, 2020, 453 (1/2): 245 - 270.
- [5] de Oliveira V C, Faquin V, Andrade F R, et al. Physiological and

- physicochemical responses of potato to selenium biofortification in tropical soil [J]. Potato Research, 2019, 62 (3): 315 - 331.
- [6] 黄婷苗, 于 荣, 王朝辉, 等. 不同硒形态和施硒方式对小麦硒吸收利用的影响及残效 [J]. 作物学报, 2022, 48 (6): 1516 - 1525.
  - [7] 戚霄晨, 简在海, 张 琦, 等. 叶面喷施硒对甜樱桃硒和重金属含量及果实品质的影响 [J]. 果树学报, 2019, 36 (6): 748 - 754.
  - [8] 秦玉燕, 王运儒, 时鹏涛, 等. 叶面喷硒对茶树叶片硒及矿质元素含量的影响 [J]. 南方农业学报, 2019, 50 (3): 622 - 627.
  - [9] 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 [J]. 园艺学报, 2013, 40 (3): 523 - 530.
  - [10] 邓小芳, 吕臣浩, 黄立强, 等. 喷施时期和硒源对‘金桃’猕猴桃硒吸收累积及主要品质指标的影响 [J]. 果树学报, 2018, 35 (11): 1385 - 1392.
  - [11] de Lima Lessa J H, Araujo A M, Ferreira L A, et al. Agronomic biofortification of rice (*Oryza sativa* L.) with selenium and its effect on element distributions in biofortified grains [J]. Plant and Soil, 2019, 444 (1): 331 - 342.
  - [12] Radawiec A, Szulc W, Rutkowska B. Selenium biofortification of wheat as a strategy to improve human nutrition [J]. Agriculture, 2021, 11 (2): 144.
  - [13] 李财运, 胡旭雅, 倪钟涛, 等. 硒处理对薄壳山核桃果实品质及矿质元素积累的影响 [J]. 果树学报, 2018, 35 (10): 1235 - 1243.
  - [14] 刘群龙, 郝燕燕, 郝国伟, 等. 叶面喷硒对梨果实矿质元素积累和贮藏特性的影响 [J]. 植物生理学报, 2015, 51 (5): 655 - 660.
  - [15] 罗序燕, 任力理, 夏美林, 等. 施亚硒酸钠对纽荷尔脐橙含硒量的影响 [J]. 有色金属科学与工程, 2011, 2 (4): 92 - 96.
  - [16] 温明霞, 吴韶辉, 王 鹏, 等. 不同喷施次数对柑橘生长发育及果实品质的影响 [J]. 浙江柑橘, 2021, 38 (2): 17 - 21.
  - [17] 谢凯柳, 商庆银, 王小慧, 等. 赣南脐橙园种植区和背景区不同土层养分丰缺状况 [J]. 果树学报, 2021, 38 (9): 1503 - 1514.
  - [18] 王瑞东, 姜存仓, 刘桂东, 等. 赣南脐橙园立地条件及种植现状调查与分析 [J]. 中国南方果树, 2011, 40 (1): 1 - 3.
  - [19] 聂继云, 匡立学, 李志霞, 等. 中国主要落叶果树果实硒含量及其膳食暴露评估 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (15): 3015 - 3026.
  - [20] 祝 强. 赣南部分地区不同农作物硒含量特征及富硒能力研究 [J]. 江西煤炭科技, 2021 (3): 128 - 130.
  - [21] 吴 军, 刘秀芳, 徐汉生. 硒在植物生命活动中的作用 [J]. 植物生理学通讯, 1999, 35 (5): 417 - 423.
  - [22] 袁思莉, 余 垚, 万亚男, 等. 硒缓解植物重金属胁迫和累积的机制 [J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31 (6): 545 - 550.
  - [23] 秦玉燕, 陈永森, 吴 凤, 等. 外源硒对芒果硒含量及果实营养品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (5): 213 - 219.
  - [24] 郭开秀, 姚春霞, 周守标, 等. 施用硒肥对鸡毛菜产量、品质及生理特性的影响 [J]. 水土保持学报, 2010, 24 (5): 195 - 198, 203.
  - [25] 杜少平, 马忠明, 薛 亮. 喷施硒肥对砂田西瓜产量、品质及养分吸收的影响 [J]. 果树学报, 2020, 37 (5): 705 - 713.
  - [26] 侯 松, 田 侠, 刘 庆. 叶面喷施硒对紫甘薯硒吸收、分配及品质的影响 [J]. 作物学报, 2018, 44 (3): 423 - 430.

李 辉,李宏业,姚会东,等. 不同摘心方式对克瑞森无核葡萄叶片光合特性及果实品质的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(19):149-155.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.19.023

# 不同摘心方式对克瑞森无核葡萄叶片光合特性 及果实品质的影响

李 辉<sup>1</sup>, 李宏业<sup>3</sup>, 姚会东<sup>1</sup>, 闫威姣<sup>2</sup>, 陈锦永<sup>2</sup>, 郭西智<sup>2</sup>, 赵宝龙<sup>1</sup>, 孙军利<sup>1</sup>

(1. 特色果蔬栽培生理与种质资源利用兵团重点实验室/石河子大学农学院,新疆石河子 832003;  
2. 中国农业科学院郑州果树研究所,河南郑州 450009; 3. 石河子工程技术学院,新疆石河子 832011)

**摘要:**研究不同摘心方式对克瑞森无核葡萄叶片光合特性及果实品质的影响。以克瑞森无核葡萄不摘心处理为对照,利用 Li-6800 便携式光合作仪,测定不同摘心方式处理下葡萄果穗以上第 1 张叶的净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔导度;在果实成熟时测定果穗质量、果穗纵横径、果粒质量、果粒纵横径、果实着色、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、可溶性糖含量、维生素 C 含量等品质,并进行方差分析。结果表明,不同摘心方式处理的葡萄叶片净光合速率日变化均趋势呈“双峰曲线”,在 10:00 左右出现第 1 次高峰,在 16:00 左右和 18:00 左右出现第 2 次高峰,T2 处理的净光合速率日均值最高;蒸腾速率和气孔导度日变化趋势与净光合速率日变化趋势几乎一致,呈典型的“双峰”曲线;胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化趋势总体呈“W”字形,表现为早上和晚上浓度最高,12:00 左右浓度最低;各处理的水分利用率日变化趋势基本一致,总体上呈现先下降再上升的趋势,T1、T2 处理的水分利用率日均值表现相对较高;T2 处理的葡萄果实颜色指数(CIRG)最大,为 4.13,较 CK 处理显著提高了 22.19%,着色效果最好;不同摘心处理的葡萄果穗横径、果粒质量、果粒纵径、果粒横径等外观指标较 CK 处理均有显著提高,其中 T1、T2 处理的果穗质量、果粒质量、果穗横径表现优于其他处理,在果粒纵横径、果粒整齐度、着色一致性等方面表现也较为突出;除 T4 处理外,其他处理的可溶性固形物含量、可溶性糖含量、糖酸比和维生素 C 含量均高于 CK 处理,可滴定酸含量均低于 CK 处理,T2 处理表现最为突出,除可溶性固形物含量较 CK 处理有所提高外,其余指标较 CK 处理均有显著提高或降低。综合分析认为,花前新梢 6 叶摘心+顶端副梢 3~4 张叶摘心+顶端 2 次副梢长放、其余副梢单叶绝后(T2 处理)的摘心处理方式综合表现相对最好,适宜在新疆地区克瑞森无核葡萄生产中推广应用。

**关键词:**不同摘心方式;克瑞森无核葡萄;光合特性;果实品质

**中图分类号:**S663.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)19-0149-07

克瑞森无核(Crimson Seedless)葡萄是由美国

最先进行种植,属于欧亚的品种之一<sup>[1]</sup>,1998 年中国开始引入,因其果实无核且果粒较大加之漂亮的外观、又脆又甜的口感,深受观众的喜爱,属于无核晚熟品种之一,且品种优良<sup>[2]</sup>。克瑞森无核葡萄生长旺盛,生育期长,适宜的田间技术管理措施实施是保证其优质生产的基础,而恰当的摘心方式是调

收稿日期:2021-11-05

基金项目:新疆生产建设兵团重大科技项目(编号:2019AA004)。

作者简介:李 辉(1994—),男,山东潍坊人,硕士研究生,研究方向为果树栽培生理。E-mail:2698116692@qq.com。

通信作者:孙军利,博士,教授,研究方向为园艺植物生理调节。E-mail:1530322722@qq.com。

[27] Arvy M P, Thiersault M, Doireau P. Relationships between selenium, micronutrients, carbohydrates, and alkaloid accumulation in *Catharanthus roseus* cells[J]. Journal of Plant Nutrition, 1995, 18(8):1535-1546.

[28] 段碧辉,刘新伟,矫 威,等. 硒减轻油菜幼苗镉毒害机理的研究[J]. 中国农业科学,2014,47(11):2126-2134.

[29] 袁伟玲,刘志雄,吴金平,等. 硒对生菜生长、品质、养分吸收和硒转化率的影响[J]. 华北农学报,2020,35(增刊1):189-194.

[30] Li H F, McGrath S P, Zhao F J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite[J]. New

Phytologist, 2008, 178(1):92-102.

[31] 孔凡丽,张恩萍,曹庆军,等. 硒的生理功能及在主要作物中的吸收富集[J]. 东北农业科学,2020,45(6):115-118.

[32] 刘 庆,田 侠,史衍玺. 施硒对小麦籽粒硒富集、转化及蛋白质与矿质元素含量的影响[J]. 作物学报,2016,42(5):778-783.

[33] 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.

[34] 王瑞雪. 叶面喷硒对葡萄生长和结果的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.