

外源硒对芒果硒含量及果实营养品质的影响

秦玉燕, 陈永森, 吴 凤, 黄国弟*, 王运儒, 时鹏涛, 蓝 唯, 蒋越华, 唐莹莹

[广西壮族自治区亚热带作物研究所 / 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室
(南宁), 广西 南宁 530001]

摘 要: 探讨叶面喷施和土施外源硒对芒果叶片和果实硒含量、果实矿质元素含量及营养品质的影响, 以期为富硒芒果的安全生产提供理论依据和技术支持。以“桂热 82 号”芒果为试材, 叶面喷施以亚硒酸钠为硒源, 设置 0.0、25.0、50.0、100.0、150.0 和 200.0 mg/L 6 个浓度水平, 于生理落果结束后, 每 15 d 喷施一次, 连喷 2 次。土施设置亚硒酸钠处理和硒酸钠处理, 施肥量为 10 g/株, 于花期沟施。结果表明, 芒果叶片和果实中的硒含量随着叶面喷施浓度的增加而递增。叶面喷施 50 mg/L 亚硒酸钠可显著提高果实 Vc 含量, 200 mg/L 亚硒酸钠可显著提高果实 K、可滴定酸含量, 100 ~ 200 mg/L 亚硒酸钠可显著降低果实 Zn、Ca 含量。土施相同量的亚硒酸钠和硒酸钠均可显著提高芒果叶片和果实硒含量。土施硒酸钠叶片和果实硒含量显著高于亚硒酸钠。土施 10 g/株亚硒酸钠显著降低果实 Ca、Mg 含量, 土施 10 g/株硒酸钠显著提高果实 K、Vc 含量, 降低果实 Ca 含量。叶面喷施和土壤施硒均可显著提高芒果叶片和果实硒含量, 其中叶面喷施提高幅度远大于土壤施硒提高幅度。土施硒酸钠比亚硒酸钠更容易被芒果吸收。富硒芒果生产上推荐叶面喷施 25.0 ~ 50.0 mg/L 亚硒酸钠, 或者土施 10 g/株硒酸钠。

关键词: 芒果; 硒; 矿质元素; 营养品质

芒果 (*Mangifera indica* L.) 属漆树科芒果属, 在热带水果中排名第三, 素有“热带果王”之美称。我国是世界第二大芒果生产国。芒果营养丰富, 口感及风味独特, 果实含有丰富的 V_A、V_C、有机酸、糖、蛋白质、粗纤维和矿质元素等。硒是人和动物必需的微量营养元素, 是形成谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 和硫氧蛋白还原酶 (TrxR) 的重要组分, 在清除体内活性氧自由基、抗肿瘤和抗癌等方面具有重要作用。我国普遍缺硒或低硒的土壤条件使得自然情况下果实中的硒含量普遍偏低, 因此, 通过人工施用外源硒肥, 借助植株叶片或根部吸收硒, 然后转移到果实中, 在快速提高果实硒含量的同时将果实硒含量控制在合理范围内, 对富硒水果的安全生产和改善我国居民普遍缺硒现状具有重要意义。

相关研究表明, 外源硒在提高植物硒含量的同时, 也可影响植物生长及植物整体的营养价值。贾

莉芳等^[1]研究发现叶面喷施 20 mg/L 亚硒酸钠, 核桃果实硒含量是对照的 5.67 ~ 15.00 倍; 叶面喷施 0.33 ~ 0.5 mL/L 的氨基酸硒可改善草莓果实品质^[2]。韩旭等^[3]的研究却认为天然矿物质富硒肥、竹荪富硒肥、亚硒酸钠 3 种硒肥对黄瓜苗生长发育有显著的抑制作用。何彩梅等^[4]研究发现富硒大果山楂中铅、镉、铬重金属含量较普通大果山楂显著降低, 而总游离氨基酸、V_C、可滴定酸和可溶性总糖的含量较普通大果山楂分别增加了 17.3%、9.5%、8.4% 和 29.0%。众多研究表明, 外源硒对植物的影响与硒肥浓度有关。朱磊等^[5]研究表明, 2.5 mg/L 亚硒酸钠处理提高了萝卜果实产量, 40.0 mg/L 亚硒酸钠处理对萝卜果实生长具有抑制作用。张海英等^[6]研究认为草莓和枣的最佳叶面施硒浓度分别为 5.0、10.0 mg/L。叶面喷施适当浓度的硒肥不仅可提高甜玉米的籽粒硒含量, 改善甜度口感, 还可提高其鲜穗产量, 其中以甜玉米大喇叭口期叶面喷施硒肥“锌硒葆”0.80 ~ 1.00 g/L 的效果最佳^[7]。史雅静等^[8]研究发现土施不同浓度亚硒酸钠对菠菜品质有不同程度的影响, 1 mg/kg 亚硒酸钠处理, 菠菜叶中 V_C 含量先增后减, 可溶性糖含量没有变化; 30 mg/kg 亚硒酸钠处理, 菠菜叶中可溶性糖含量减少, V_C 含量没有变化。

收稿日期: 2019-09-04; 录用日期: 2019-10-13

基金项目: 广西科技基地和人才专项项目 (桂科 AD17129008); 广西青年科学基金项目 (2018GXNSFBA281171)。

作者简介: 秦玉燕 (1987-), 女, 广西桂林人, 助理研究员, 硕士, 研究方向农产品质量安全。E-mail: 956346090@qq.com。

通讯作者: 黄国弟, E-mail: gxhgd@126.com。

目前,有关富硒栽培技术在梨^[9-10]、猕猴桃^[11]、苹果^[12]、樱桃^[13]等水果上已有相关研究,但富硒芒果的研究鲜见报道,本研究通过叶面喷硒和土壤施硒的方式研究外源硒对芒果硒、果实矿质元素含量及营养组分含量的影响,旨在为富硒芒果的科学生产提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2018年3~7月在广西壮族自治区亚热带作物研究所芒果种植资源圃进行,供试芒果品种为桂热82号,树龄30年。试验植株长势、结果情况基本一致。硒源为亚硒酸钠和硒酸钠(分析纯)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

土壤施硒:土施硒肥设不同价态硒处理,分别为4价硒处理(亚硒酸钠,T1)和6价硒处理(硒酸钠,T2),施肥量为10 g/株(以Se计)。同时做空白试验(对照,T0)。单株芒果树作为一个处理,每个处理设3个重复。于芒果花期(2018年3月13日)在树冠周围离主干20 cm处开一条长×宽×深分别为40 cm×20 cm×20 cm的施肥沟,亚硒酸钠或硒酸钠以水溶液形式均匀浇于施肥沟中,盖土。对照施等量清水。

叶面喷硒:叶面喷施亚硒酸钠设6个浓度(以Se计),分别为0(对照,Y0)、25.0(Y1)、50.0(Y2)、100.0(Y3)、150.0(Y4)和200.0 mg/L(Y5)。单株芒果树作为一个处理,每个处理设3个重复。于芒果生理落果结束后(2018年5月8日),每15 d喷施一次,每个处理喷施量为15.0 L,连喷2次。喷施时以叶面均匀布满雾状水滴为宜,对照喷施等体积清水。

1.2.2 样品采集与处理

在果实成熟期(2018年7月30日),在树东、西南、北4个方向随机摘取无病虫害、无机械损伤的芒果30个,室温放置2周,待果实完成后熟,取果肉用果汁机打成匀浆,用于测定硒含量及各项品质指标。同时采摘果树叶片约500 g,用水洗净,再用去离子水洗,晾干,置于烘箱中105℃杀青30 min后,60℃烘至恒重,粉碎,过0.25 mm筛后装袋储存于干燥器中,进行总硒含量测定。

1.2.3 测定项目及方法

硒及矿质元素含量测定:称取2.5 g芒果鲜样(或0.1 g叶片干样),加8.0 mL HNO₃和2.5 mL H₂O₂,浸泡过夜后微波消解,消解完全后转移至25.0 mL容量瓶定容。消解液经稀释后直接用火焰原子吸收光度计测定Zn、Fe、Ca、Mg、K含量;取10.0 mL消解溶液,赶酸至约1.0 mL,加入3.0 mL 6 mol/L HCl于120℃还原15 min,冷却,定容至10.0 mL,用原子荧光光度计测总硒含量。用国家标准物质茶叶GBW10016作为质控样,对样品测定过程进行质量监控。

可溶性固形物和可滴定酸、总糖(以转化糖计)、Vc含量的测定分别按照标准GB/T 8210-2011《柑桔鲜果检验方法》、GB 5009.8-2016《食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》、GB 5009.86-2016《食品中抗坏血酸的测定》进行测定。

1.3 统计分析

试验数据采用SPSS 22.0进行统计分析,采用Duncan's新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 外源硒对芒果叶片和果实硒含量的影响

2.1.1 叶面喷硒对芒果叶片和果实硒含量的影响

由表1可知,芒果叶面喷施25.0~200.0 mg/L亚硒酸钠后,叶片、果实硒含量增加,且随着亚硒酸钠浓度的增加而递增。各处理芒果叶片硒含量是果实硒含量的31.31~62.34倍。处理Y1、Y2、Y3、Y4、Y5叶片硒含量分别比对照(Y0)提高25.36、54.71、58.74、110.83、125.84倍。除处理Y2叶片硒含量与Y3间无显著性差异外,其他处理间差异均达极显著水平。除处理Y1果实硒含量与Y0间无显著性差异外,其他处理(Y2、Y3、Y4、Y5)果实硒含量均显著高于Y0。处理Y2、Y3、Y4、Y5果实硒含量分别比对照(Y0)提高14.16、30.01、50.23、53.28倍。其中,处理Y3果实硒含量极显著高于处理Y0、Y1、Y2,处理Y4和Y5果实硒含量极显著高于Y0、Y1、Y2、Y3。此外,处理Y3、Y4、Y5的果实在叶面喷硒后20 d左右出现由于果皮受损产生的褐色斑点症状,其中处理Y3症状较轻,处理Y4、Y5症状较严重,说明高浓度亚硒酸钠处理(大于100.0 mg/L)对芒果表皮具有一定伤害作用。

表 1 叶面喷硒处理芒果叶片、果实硒含量 ($\mu\text{g/kg}$)

处理	叶片硒含量	果实硒含量
Y0	82.06 $\pm$ 20.38 Ee	5.05 $\pm$ 1.65 Cd
Y1	2 163.09 $\pm$ 115.54 Dd	34.70 $\pm$ 3.21 Ced
Y2	4 571.63 $\pm$ 140.59 Cc	76.56 $\pm$ 7.02 Cc
Y3	4 902.60 $\pm$ 107.39 Cc	156.58 $\pm$ 16.16 Bb
Y4	9 176.59 $\pm$ 436.28 Bb	258.71 $\pm$ 54.04 Aa
Y5	10 408.24 $\pm$ 1 097.49 Aa	274.09 $\pm$ 51.15 Aa

注：同列数据后的不同大、小写字母分别表示处理间差异极显著 ($P<0.01$) 和显著 ($P<0.05$)。表 2 ~ 表 6 同。

2.1.2 土壤施硒对芒果叶片和果实硒含量的影响

由表 2 可知，土施相同量 (10 g/株) 的亚硒酸钠和硒酸钠均可提高芒果叶片和果实硒含量。处理 T1、T2 叶片硒含量分别是果实硒含量的 19.34、33.29 倍。处理 T1 和 T2 叶片硒含量分别比对照 (T0) 提高 1.37 和 4.77 倍，果实硒含量分别比 T0 提高 0.98 和 1.80 倍。其中处理 T1 叶片和果实硒含量均与 T0 间差异达显著性水平，处理 T2 叶片和果实硒含量均与 T0 间达极显著水平，且处理 T2 叶片硒含量极显著高于处理 T1，果实硒含量显著高于处理 T1。说明土施不同价态硒肥对芒果叶片和果实硒含量的影响不同，土施 6 价硒 (硒酸钠) 更容易被芒果树吸收。

表 2 土壤施硒处理芒果叶片、果实硒含量 ($\mu\text{g/kg}$)

处理	叶片硒含量	果实硒含量
T0	70.33 $\pm$ 24.83 Be	4.35 $\pm$ 0.84 Be
T1	166.89 $\pm$ 49.82 Bb	8.63 $\pm$ 0.47 ABb
T2	406.13 $\pm$ 49.03 Aa	12.21 $\pm$ 2.44 Aa

对比广西地方标准 DB45/T 1061-2014《富硒农产品硒含量分类要求》中规定富硒水果的硒含量为 10.0 ~ 100.0 $\mu\text{g/kg}$ ，叶面喷施 25.0 ~ 50.0 mg/L 亚硒

酸钠，芒果果实硒含量在富硒标准范围内，叶面喷施亚硒酸钠浓度为 100.0 ~ 200.0 mg/L 时果实硒含量超出富硒标准范围。土施 10 g/株亚硒酸钠时芒果果实硒含量低于富硒标准范围，土施相同量的硒酸钠果实硒含量在富硒标准范围。说明生产富硒芒果可叶面喷施 25.0 ~ 50.0 mg/L 亚硒酸钠，或者土施 10 g/株硒酸钠。

2.2 外源硒对芒果果实矿质元素含量的影响

2.2.1 叶面喷硒对芒果果实矿质元素含量的影响

由表 3 可知，叶面喷施不同浓度亚硒酸钠，果实中各元素含量受到不同程度的影响。其中，处理 Y1、Y2 果实 Zn 含量与 Y0 间差异未达显著性水平，处理 Y3 果实 Zn 含量显著低于 Y0，处理 Y4、Y5 果实 Zn 含量极显著低于 Y0。处理 Y3、Y4、Y5 果实 Zn 含量分别比 Y0 下降了 10.26%、19.23%、14.10%，这说明叶面喷施 100 ~ 200 mg/L 亚硒酸钠可显著降低果实 Zn 含量。与对照 (Y0) 相比，叶面喷硒降低了果实 Ca 含量。所有硒处理果实 Ca 含量均显著低于 Y0，其中，处理 Y2、Y3、Y4、Y5 与 Y0 间的差异达极显著水平。处理 Y1、Y2、Y3、Y4、Y5 果实 Ca 含量分别比 Y0 下降了 15.90%、21.96%、28.30%、26.05%、39.45%，这说明叶面喷施 25 ~ 200 mg/L 亚硒酸钠显著降低了果实 Ca 含量。

叶面喷施较高浓度硒可提高果实 K 含量。处理 Y1、Y2、Y3、Y4 果实 K 含量与 Y0 间差异不显著，但处理 Y5 果实 K 含量极显著高于 Y0 及其他处理，处理 Y5 果实 K 含量比 Y0 高 42.49%，说明叶面喷施 200 mg/L 亚硒酸钠可显著提高果实 K 含量。由于高浓度硒对果皮有一定迫害作用，果实 K 含量的升高可能与 K 增强植物抗逆性作用有关。

叶面喷硒对果实 Fe、Mg 含量的影响不显著。各处理果实 Fe、Mg 含量与 Y0 处理无显著差异，说明叶面喷施 25 ~ 200 mg/L 亚硒酸钠对果实 Fe、Mg 含量的影响不显著。

表 3 叶面喷硒处理芒果果实矿质元素含量

处理	含量				
	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (g/kg)
Y0	1.56 $\pm$ 0.05Aa	2.76 $\pm$ 0.21Aab	75.47 $\pm$ 5.11Aa	140.47 $\pm$ 7.98Aa	1.93 $\pm$ 0.10Bb
Y1	1.52 $\pm$ 0.08ABab	2.53 $\pm$ 0.22Ab	63.47 $\pm$ 11.27ABb	142.45 $\pm$ 10.27Aa	1.91 $\pm$ 0.15Bb
Y2	1.50 $\pm$ 0.08ABab	2.90 $\pm$ 0.09Aa	58.90 $\pm$ 5.04BCb	135.50 $\pm$ 14.08Aa	1.94 $\pm$ 0.06Bb
Y3	1.40 $\pm$ 0.06ABCbc	2.72 $\pm$ 0.20Aab	54.11 $\pm$ 3.07BCbc	136.97 $\pm$ 9.26Aa	1.92 $\pm$ 0.14Bb
Y4	1.26 $\pm$ 0.07Cc	2.46 $\pm$ 0.06Ab	55.81 $\pm$ 2.02BCbc	137.20 $\pm$ 5.21Aa	2.08 $\pm$ 0.06Bb
Y5	1.34 $\pm$ 0.09BCc	2.48 $\pm$ 0.25Ab	45.70 $\pm$ 5.12Cc	134.88 $\pm$ 9.97Aa	2.75 $\pm$ 0.09Aa

2.2.2 土壤施硒对芒果果实矿质元素含量的影响

由表 4 可知，土施不同价态硒肥对果实矿质元素含量的影响不同。与对照（T0）相比，处理 T1、T2（土施亚硒酸钠和硒酸钠处理）果实 Zn、Fe 含量无显著变化，但显著降低了果实 Ca 含量。处

理 T1 的芒果果实 Mg 含量显著低于对照（T0）和 T2，处理 T2 的 K 含量显著高于对照（T0）和 T1，这说明土施亚硒酸钠显著降低果实 Ca、Mg 含量，土施硒酸钠显著降低果实 Ca 含量，提高果实 K 含量。

表 4 土壤施硒处理芒果果实矿质元素含量

处理	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (g/kg)
T0	1.56 ± 0.03Aa	2.79 ± 0.16Aa	75.80 ± 3.48Aa	142.03 ± 4.75Aa	1.90 ± 0.08Bb
T1	1.46 ± 0.10Aa	2.70 ± 0.09Aa	49.52 ± 9.74Bb	126.16 ± 7.51Ab	1.94 ± 0.05Bb
T2	1.50 ± 0.04Aa	2.66 ± 0.21Aa	46.53 ± 7.29Bb	140.51 ± 3.42Aa	2.32 ± 0.10Aa

2.3 外源硒对芒果果实营养品质的影响

2.3.1 叶面喷硒对芒果果实营养品质的影响

由表 5 可知，叶面喷硒各处理（Y1、Y2、Y3、Y4、Y5）芒果果实总糖含量和可溶性固形物含量与对照（Y0）间没有显著差异，这说明叶面喷施 25 ~ 200 mg/L 亚硒酸钠对果实总糖、可溶性固形物含量的影响不显著。Y5 处理的可滴定酸含量显著高于对照（Y0）和 Y1、Y2、

Y3、Y4 处理，Vc 含量以 Y2 处理最高，显著高于其他处理。与对照相比，叶面喷 200 mg/L 亚硒酸钠果实可滴定酸含量提高 49.91%，叶面喷施 50 mg/L 亚硒酸钠果实 Vc 含量提高 76.2%，这说明叶面喷硒对可滴定酸、Vc 含量的影响与浓度有关，喷 200 mg/L 亚硒酸钠可显著提高果实可滴定酸含量，喷 50 mg/L 亚硒酸钠可显著提高果实 Vc 含量。

表 5 叶面喷硒处理芒果果实总糖、可滴定酸、Vc、可溶性固形物含量

处理	总糖 (g/100 g)	可滴定酸 (g/kg)	Vc (mg/100 g)	可溶性固形物 (%)
Y0	16.78 ± 2.73Aa	5.29 ± 1.46Ab	9.52 ± 0.44Bb	20.96 ± 3.07Aa
Y1	16.18 ± 0.37Aa	5.75 ± 0.82Ab	10.88 ± 1.90Bb	18.02 ± 1.92Aa
Y2	17.18 ± 0.84Aa	5.46 ± 0.77Ab	16.77 ± 0.57Aa	20.14 ± 1.05Aa
Y3	16.50 ± 0.97Aa	5.83 ± 1.52Ab	11.13 ± 2.80Bb	19.54 ± 0.16Aa
Y4	16.60 ± 1.04Aa	5.61 ± 0.55Ab	11.33 ± 0.59Bb	20.31 ± 0.43Aa
Y5	16.33 ± 1.17Aa	7.93 ± 1.36Aa	12.67 ± 2.18ABb	19.91 ± 1.84Aa

2.3.2 土壤施硒对芒果果实营养品质的影响

由表 6 可知，各处理间总糖、可滴定酸、可溶性固形物含量没有显著差异，说明土施不同价态硒肥对果实总糖、可滴定酸、可溶性固形物含量的影响不显著。T2 处理 Vc 含量显著高于 T0、T1 处

理，而 T0、T1 处理 Vc 含量没有显著差异，这表明土施硒酸钠可显著提高果实 Vc 含量。与对照相比（T0），土施 10 g/株硒酸钠处理的果实 Vc 含量升高 41.80%。

表 6 土壤施硒处理芒果果实总糖、可滴定酸、Vc、可溶性固形物含量

处理	总糖 (g/100 g)	可滴定酸 (g/kg)	Vc (mg/100 g)	可溶性固形物 (%)
T0	17.45 ± 1.63Aa	5.69 ± 1.25Aa	9.33 ± 0.36Ab	21.96 ± 1.54Aa
T1	17.94 ± 1.55Aa	4.91 ± 1.31Aa	9.89 ± 1.37Ab	20.34 ± 1.44Aa
T2	16.49 ± 0.97Aa	6.43 ± 1.26Aa	13.23 ± 1.65Aa	19.44 ± 0.64Aa

2.4 叶面喷硒果实硒含量与果实矿质元素、营养组分含量的相关性分析

相关性分析结果(表7)表明,果实硒含量与果实 Zn、Ca 含量在 1% 水平上显著负相关,与果实 Fe 含量在 5% 水平上显著负相关,与果

实 K 含量在 1% 水平上显著正相关,与果实可滴定酸含量在 5% 水平上显著正相关,与果实 Mg、总糖、Vc、可溶性固形物含量相关性不显著。结果进一步说明果实 Zn、Ca 含量的降低, K、可滴定酸含量的升高与叶面喷硒有关。

表 7 叶面喷硒芒果硒含量与矿质元素、营养组分含量间的相关性(r)

Zn	Fe	Ca	Mg	K	总糖	可滴定酸	Vc	可溶性固形物
-0.795**	-0.482*	-0.715**	-0.270	0.666**	-0.080	0.488*	0.082	0.028

注: *表示 $P < 0.05$; **表示 $P < 0.01$ 。

3 讨论

3.1 不同施肥方式对芒果硒含量的影响

叶面喷施亚硒酸钠,芒果叶片、果实硒含量均远高于土施亚硒酸钠,说明叶面喷施时果树对硒元素的利用率(处理 Y5,相当于叶面施用 3 g/株亚硒酸钠,叶片硒含量为 10 408.24 $\mu\text{g/kg}$,果实硒含量为 274.09 $\mu\text{g/kg}$)远高于土施硒对硒元素的利用率(处理 T1,土壤根施 10 g/株亚硒酸钠,叶片硒含量为 166.89 $\mu\text{g/kg}$,果实硒含量为 8.63 $\mu\text{g/kg}$),与王海波等^[14]在设施葡萄上的研究结果一致。因此,建议采取叶面喷施的方式生产富硒芒果更为经济有效。同时,叶面喷硒也存在硒肥浓度过高易造成果实表皮受损和果实硒含量超标的安全隐患。本试验中,叶面喷施高浓度亚硒酸钠(100 ~ 200 mg/L),芒果果皮出现褐色斑点且果实硒含量超出富硒范围,说明叶面喷施 100 ~ 200 mg/L 亚硒酸钠已经超出了芒果果实对硒的耐受范围,与秦玉燕等^[15]在茶叶、王清华等^[16]在冬枣上的研究结果相同,因此,叶面喷硒时需严格控制硒肥浓度。

3.2 土施不同价态硒肥对芒果硒含量的影响

本试验中,土施硒酸钠处理的芒果叶片、果实硒含量均显著高于相同量的亚硒酸钠处理,与郭璐等^[17]在小白菜、秦玉燕等^[18]在茶树、Pezzarossa 等^[19]在番茄上的研究结果相同。植物对土壤中不同价态硒肥吸收的差异一方面与两种价态硒在土壤介质中为植物供硒能力的差异有关,硒酸盐在土壤中的移动性和有效性高,容易被植物吸收利用,而亚硒酸盐进入土壤后易被有机物和碳酸盐、铁锰氧化物等结合固定而降低有效性,难以

被植物大量直接吸收^[20-21]。另一方面,还与植物对两种价态硒的转运能力差异有关。硒酸盐被吸收后,可直接转运到果实,而亚硒酸盐则大部分在植物根部转化为有机态硒,少部分转运到植株地上部。因此,土壤施硒可优先选择硒酸钠作为硒源。

3.3 外源硒对芒果矿质元素含量、营养品质的影响

外源硒影响果实矿质元素含量、营养品质的机理较为复杂,可能与硒参与植物体内生理生化代谢密切相关。本研究中,叶面喷施 50 mg/L 亚硒酸钠可显著提高果实 Vc 含量,与王清华等^[16]在冬枣上的研究结果一致;叶面喷硒促进果实对 K 的吸收与刘群龙等^[9]通过叶面喷施 10 ~ 20 mg/L 亚硒酸钠提高梨果实 K 含量的研究结果相同。外源硒浓度过高(叶喷 100 ~ 200 mg/L 亚硒酸钠)时对植物有一定毒害作用,显著降低果实 Zn、Ca 含量,可能与过量外源硒导致植物生理代谢能力减弱有关。硒与矿质元素间存在一定的拮抗或协同效应,与浓度有关。付冬冬等^[22]认为低浓度硒对于小白菜 K、Mg、Zn 的吸收表现为促进,高浓度则为抑制。此外,王海波等^[14]在设施葡萄上的研究表明,土施 0.1 ~ 0.2 g/株亚硒酸钠可显著提高果实的可溶性固形物含量;宁婵娟等^[23]研究发现叶面喷施亚硒酸钠可增加苹果果实中可溶性固形物、可溶性糖和 Vc 含量;刘群龙等^[10]在梨果实上的研究结果表明,叶面喷施 20 mg/L 亚硒酸钠可使梨果实 Vc 含量显著降低 12.81%;贾莉芳等^[1]研究结果表明,叶面喷施 20 mg/L 亚硒酸钠,核桃果实钙含量极显著提高 48.21% ~ 65.22%,可溶性糖含量显著提高 18.86% ~ 19.21%,这些研究结果与本研究结果存在差异,可能与施肥浓度和

作物种类不同有关。外源施硒对植物组织矿质元素含量、营养品质的影响, 不仅与硒肥浓度、价态和施肥方式有关, 还与植物种类、部位和生长阶段等均有一定关系, 有关机理仍需进一步深入研究。

4 结论

叶面喷施 25.0 ~ 200.0 mg/L 亚硒酸钠、土施 10 g/株亚硒酸钠或硒酸钠均可显著提高芒果叶片和果实硒含量, 叶面喷施亚硒酸钠提高幅度远大于土施, 土施硒酸钠提高幅度远大于亚硒酸钠。富硒芒果的生产可选择叶面喷施 25.0 ~ 50.0 mg/L 亚硒酸钠, 或者土施 10 g/株硒酸钠。

叶面喷施 50 mg/L 亚硒酸钠可显著提高果实 Vc 含量, 喷施 200 mg/L 亚硒酸钠可显著提高果实 K、可滴定酸含量, 喷施 100 ~ 200 mg/L 亚硒酸钠可显著降低果实 Zn、Ca 含量, 叶面喷施 25 ~ 200 mg/L 亚硒酸钠对果实 Fe、Mg、总糖、可溶性固形物含量影响不显著。

土施 10 g/株亚硒酸钠显著降低果实 Ca、Mg 含量, 土施 10 g/株硒酸钠显著提高果实 K、Vc 含量, 降低果实 Ca 含量。

参考文献:

- [1] 贾莉芳, 张清元, 丁欣欣, 等. 叶面喷硒对不同核桃品种果实品质的影响 [J]. 山西农业科学, 2019, 47 (4): 620-623.
- [2] 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.
- [3] 韩旭, 李树和, 胡小兰, 等. 根施硒肥对黄瓜产量和硒富集的影响 [J]. 天津农业科学, 2019, 25 (3): 14-16, 55.
- [4] 何彩梅, 何忠伟, 吴桂容, 等. 硒对大果山楂重金属含量及品质的影响 [J]. 食品工业, 2018, 39 (3): 212-214.
- [5] 朱磊, 胡婷, 刘德明, 等. 叶面喷施硒对萝卜硒吸收及抗氧化能力的影响 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47 (3): 127-131.
- [6] 张海英, 韩涛, 田磊, 等. 桃、枣和草莓对硒的吸收及富集特性研究 [J]. 果树学报, 2010, 27 (5): 802-806.
- [7] 黄爱花, 黄开健, 彭楷, 等. 叶面喷施硒肥对甜玉米籽粒富硒、重金属含量及产量的影响 [J]. 南方农业学报, 2019, 50 (1): 40-44.
- [8] 史雅静, 史雅娟, 王玉荣, 等. 无机硒肥对土壤有效氮含量及菠菜品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (2): 274-283.
- [9] 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.
- [10] 刘群龙, 郝燕燕, 吴国良, 等. 外源硒对砀山酥梨果实品质和硒含量的影响 [J]. 河南农业科学, 2015, 44 (8): 113-117.
- [11] 万海英, 杨永康, 殷红清, 等. 叶面喷施硒肥对“红阳”猕猴桃果实品质的影响 [J]. 中国南方果树, 2016, 45 (2): 116-118.
- [12] 李全, 郑斌, 刘丽, 等. 喷施有机硒肥对苹果果实硒含量及品质的影响 [J]. 山西农业科学, 2016, 44 (9): 1316-1319.
- [13] 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, (6): 748-754.
- [14] 王海波, 王孝娣, 毋应龙, 等. 设施葡萄对硒的吸收运转及积累特性 [J]. 果树学报, 2011, 28 (6): 972-976.
- [15] 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.
- [16] 王清华, 井大炜, 杜振宇, 等. 叶面喷硒对沾化冬枣富硒及品质的影响 [J]. 经济林研究, 2019, 37 (2): 23-28.
- [17] 郭璐, 满楠, 梁东丽, 等. 小白菜对外源硒酸盐和亚硒酸盐动态吸收的差异及其机制研究 [J]. 环境科学, 2013, 34 (8): 3272-3279.
- [18] 秦玉燕, 王运儒, 时鹏涛, 等. 土壤施硒对茶树叶片硒及矿质元素含量的影响 [J]. 土壤通报, 2019, 50 (2): 387-394.
- [19] Pezzarossa B, Petruzzelli G, Petacco F, et al. Absorption of selenium by *Lactuca sativa* as affected by carboxymethylcellulose [J]. Chemosphere, 2007, 67 (2): 322-329.
- [20] 彭琴, 李哲, 梁东丽, 等. 不同作物对外源硒动态吸收、转运的差异及其机制 [J]. 环境科学, 2017, 38 (4): 1667-1674.
- [21] 樊俊, 王瑞, 胡红青, 等. 不同价态外源硒对土壤硒形态及酶活性、微生物数量的影响 [J]. 水土保持学报, 2015, 29 (5): 137-141.
- [22] 付冬冬, 段曼莉, 梁东丽, 等. 不同价态外源硒对小白菜生长及养分吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17 (2): 358-365.
- [23] 宁婵娟, 丁宁, 吴国良, 等. 喷硒时期与浓度对红富士苹果果实品质及各部位全硒和有机态硒含量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (5): 1109-1117.

Effects of exogenous selenium on selenium content and fruit quality of *Mangifera indica* L.

QIN Yu-yan, CHEN Yong-sen, WU Feng, HUANG Guo-di*, WANG Yun-ru, SHI Peng-tao, LAN Wei, JIANG Yue-hua, TANG Ying-ying [Subtropical Crops Research Institute of Guangxi Zhuang Autonomous Region/Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agricultural Product (Nanning), Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Nanning Guangxi 530001]

Abstract: This paper aim to explore the effects of foliar and soil application of selenium on the contents of selenium, mineral elements and the fruit quality of *Mangifera indica* L., which will provide the theoretical basis and technology support for the safety production of selenium-rich mango. Mango cultivar “Guire 82” was used as the experimental material, and the sodium selenite solution was selected as selenium source in spraying selenium experiment, and six concentrations were designed, including 0.0, 25.0, 50.0, 100.0, 150.0 and 200.0 mg/L. The solution of treatments was sprayed twice every 15 days after physiological fruit drop time. The soil selenium experiment included 10 g/plant sodium selenite and 10 g/plant sodium selenate treatment at flowering. The results indicated that selenium both in leaves and fruits increased in response to the increasing selenium concentration after spraying different concentrations of sodium selenite on the leaves of *Mangifera indica* L. Both selenite and selenate soil selenium treatments increased the selenium content in leaves and fruits, while selenate treatment was more effective. Spraying 50 mg/L sodium selenite significantly increased the content of Vc in fruit, and 200 mg/L sodium selenite significantly increased the content of K and titration acid in fruit, while spraying 100 ~ 200 mg/L sodium selenite significantly decreased Zn and Ca content in fruit. The soil treatment with 10 g/plant sodium selenite significantly decreased Ca and Mg content in fruit, while the selenate treatment at the same dose significantly increased K and Vc content and decreased Ca content in fruit. Both foliar and soil application of selenium increased the contents of selenium in leaves and fruits, where foliar application increased much more than soil application. Sodium selenate was easier to be absorbed than sodium selenite in soil selenium application. Spraying 25.0 ~ 50.0 mg/L sodium selenite or soil treatment with 10 g/plant sodium selenate could be recommended for the production of Se-enriched mango.

Key words: *Mangifera indica* L.; selenium; mineral element; nutritional quality