



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

不同时期叶面喷硒对冬枣含硒量与品质的影响

王清华, 井大炜, 杜振宇, 马海林, 马丙尧, 刘方春, 王静

引用本文:

王清华, 井大炜, 杜振宇, 等. 不同时期叶面喷硒对冬枣含硒量与品质的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(2): 226–232.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0107>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

叶面喷施不同形态硒对草莓吸收和转运硒的影响

王晓芳, 罗章, 万亚男, 王琪, 孙宏杰, 郭岩彬, 李花粉

农业资源与环境学报. 2016, 33(4): 334–339 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0023>

基施富硒有机肥料对玉米和土壤硒含量的影响

李圣男, 岳士忠, 李花粉, 乔玉辉

农业资源与环境学报. 2015(6): 571–576 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0140>

不同用量腐植酸对土壤有效硒含量和硒的形态以及大蒜硒吸收的影响

安梦鱼, 张青, 章赞德, 王煌平, 栗方亮, 罗涛

农业资源与环境学报. 2017, 34(2): 128–133 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0219>

宁夏青铜峡农耕土壤硒含量分布特征及其影响因素分析

李晓慧, 高宇, 赵万伏, 刘志坚

农业资源与环境学报. 2018, 35(5): 422–429 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0038>

水稻对外源硒的吸收利用研究

黄太庆, 江泽普, 邢颖, 廖青, 梁潘霞, 刘永贤

农业资源与环境学报. 2017, 34(5): 449–455 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0076>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王清华, 井大炜, 杜振宇, 等. 不同时期叶面喷硒对冬枣含硒量与品质的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(2): 226–232.

WANG Qing-hua, JING Da-wei, DU Zhen-yu, et al. Effects of foliar selenium spray at different growing stages on selenium content and quality of winter jujube fruit[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(2): 226–232.

不同时期叶面喷硒对冬枣含硒量与品质的影响

王清华¹, 井大炜², 杜振宇^{1*}, 马海林², 马丙尧², 刘方春², 王 静¹

(1. 山东省林业科学研究院, 济南 250014; 2. 德州学院, 山东 德州 253023)

摘 要:为了筛选冬枣(*Ziziphus jujuba* Mill. var. *Dongzao*)的最佳施硒方案,通过在展叶期、幼果期、果实膨大期、白熟期分别进行一次性叶面喷施亚硒酸钠溶液(含硒量为 $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,施硒量为 $27\text{ mg}\cdot\text{株}^{-1}$),研究不同时期施硒对冬枣叶片和果实的硒含量、硒有机化程度以及果实品质的影响。结果表明:在果实膨大期或白熟期叶面喷施硒溶液后,叶片和果实的总硒含量均得到显著提高,其中果实膨大期喷硒使总硒和有机硒含量增幅最大,冬枣果实含硒量由 $25\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 提高到 $76\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。不同时期叶面喷硒对冬枣果实品质的作用效果不尽相同,果实膨大期施硒对冬枣品质的改善效果最佳,此时冬枣果实中的可溶性固形物、可溶性糖、维生素C、总黄酮含量和糖酸比均达到最高值,分别较对照显著提高了13.30%、17.17%、16.33%、29.17%和28.89%。综合研究结果表明,生产富硒冬枣以在果实膨大期一次叶面喷硒的效果最佳。

关键词:冬枣;叶面喷硒;生长时期;硒含量;品质

中图分类号:S665.1;S143.7 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2020)02-0226-07 doi: 10.13254/j.jare.2019.0107

Effects of foliar selenium spray at different growing stages on selenium content and quality of winter jujube fruit

WANG Qing-hua¹, JING Da-wei², DU Zhen-yu^{1*}, MA Hai-lin², MA Bing-yao², LIU Fang-chun², WANG Jing¹

(1. Shandong Academy of Forestry, Jinan 250014, China; 2. Dezhou University, Dezhou 253023, China)

Abstract: In order to select the best period for selenium (Se) application for winter jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *Dongzao*), a field experiment was conducted to study the effects of different Se application (via foliar spraying) periods on total Se content, organic Se ratio, and fruit quality. The NaSeO_3 solution ($27\text{ mg Se per plant}$) was applied only once at different growth stages including leaf expansion period (LEP), fruitlet period (FLP), fruit swelling period (FSP), and fruit ripening period (FRP). The results indicated that total Se content in leaf and fruit increased rapidly when the Se foliar spray was applied at FSP or FRP, and the maximum values were observed when Se was applied at FSP. The Se content in fruit was enhanced from $25\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ to $76\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Various effects on the fruit quality of winter jujube were found depending on different Se application periods. Foliar Se spray application at FSP showed the best effects for improvement of fruit quality yielding the maximum values of soluble solid, soluble sugar, vitamin C, total flavone content and sugar-acid ratio, which were significantly higher by 13.30%, 17.17%, 16.33%, 29.17%, and 28.89%, respectively, in comparison to that in the control. These results suggested that foliar NaSeO_3 spray, at a Se concentration of $45\text{ mg Se}\cdot\text{L}^{-1}$, applied at FSP was a good method for the production of Se-enriched winter jujube fruits.

Keywords: winter jujube; foliar Se spray; growth period; Se content; fruit quality

收稿日期: 2019-03-02 录用日期: 2019-04-10

作者简介: 王清华(1973—),女,山东烟台人,高级工程师,主要从事林木营养和森林生态方面的研究。E-mail: wqh0228@163.com

*通信作者: 杜振宇 E-mail: zydu@qq.com

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2015GNC111010)

Project supported: The Key Research and Development Program of Shandong Province, China (2015GNC111010)

硒(Se)是维持人体和动物机体健康所必需的微量元素之一^[1],研究发现人类有40多种疾病与体内缺硒或低硒有关。从地理分布来看,我国从东北到西南存在一条广泛的低硒带,居民日常饮食中硒的摄入量明显偏低,容易导致克山病、大骨节病等^[2]。近年来的研究证实,最安全最有效的补硒途径是通过土壤-植物(动物)-人的食物链方式^[3]。

大量研究表明,外源硒在提高植物的抗氧化能力、降低重金属吸收、增加产量以及提高农产品的品质等多个方面发挥了有益作用^[4-9]。然而,硒在生物体内发挥有益的生物学功能不仅与其含量紧密相关,其存在形式也至关重要。硒在自然界中的主要形态为无机硒和有机硒,在生物体内主要以含硒氨基酸、含硒蛋白质、含硒多糖等有机硒化合物形式存在;而在土壤、水体等自然环境中主要以无机态的硒酸盐和亚硒酸盐存在^[2]。由于无机硒毒性较大,被人畜摄入后易在体内积累而中毒^[10],因此在农产品富硒营养研究中,应尤其重视硒在果实中有机态和无机态的比例,而不能只关心可食部位对全硒的富集效果,这样才更有利于有效而安全补硒。目前有关外源硒对果树果实产量和品质影响的研究已有较多报道^[2,4,11-14],但关于硒元素在果树果实中赋存形态的研究相对较少。

枣果品质是决定其商品价值和种植效益的重要因素。除了常规营养物质,如糖分、维生素C(Vc)等,枣果中还含有丰富的黄酮类和三萜类化合物,前者具有清除自由基、延缓衰老、预防心脑血管疾病的生理活性^[15],后者具有保护肝肾、增加白细胞、提高免疫力、杀伤癌细胞的功能^[16]。目前关于增施硒元素对枣果品质影响的研究已有较多报道^[17-19],但针对冬枣(*Zizyphus jujuba* Mill. var. *Dongzao*)的研究较为少见^[20-21],特别是关于不同生长时期施硒效果的研究尚少。对枣果品质的研究多局限在糖分、Vc和酸度等常规指标上,针对冬枣果实中黄酮类和三萜类化合物对外源硒的响应研究鲜有文献报道。

我国主要落叶果树(枣、葡萄、桃、猕猴桃、梨、苹果)的果实硒含量普遍较低,平均值为1.3~7.3 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中枣的富硒能力较强,平均硒含量最高^[22]。冬枣主要产自北方环渤海地区,是我国著名的优质鲜食枣品种,因脆甜可口、营养丰富而深受城乡居民喜爱。同时,冬枣也是天然的含硒植物,可以作为硒尤其是有机硒的载体,通过富硒技术而成为一种理想的补硒食品。为探讨不同生长时期施硒对冬枣富硒量与品质的影响,本研究通过叶面喷施亚硒酸钠溶液,筛

选出冬枣适宜的施硒时期,分析硒元素在果树中的有机化程度以及硒对果实品质的影响,旨在优化叶面施硒方案,为在冬枣生产中安全有效施硒提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验于2016年在山东省滨州市沾化区下洼镇王家村冬枣园进行。土壤类型为盐化潮土,有机质含量为10.32 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效氮为138.69 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷为28.91 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效钾为186.75 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤pH值为8.5(土壤/水悬浊液1:2.5)。供试对象为常规管理下长势相近的沾化冬枣果树,树龄13年,株行距为1.5 m×2 m,平均树高和胸径分别为2.63 m和7.91 cm。

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,共设置4个喷施硒时期,分别为展叶期(5月15日)、幼果期(7月2日)、果实膨大期(8月12日)和白熟期(9月12日),重复三次,以未施硒的空白试验作为对照。所用硒原料为分析纯亚硒酸钠试剂,每株冬枣树的喷硒量为27 mg,喷施前配成含硒量为45 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶液,每株喷施600 mL。每个试验小区共有10株冬枣树,选择树体大小和长势相近的果树,单行排列,两小区间设1个保护行。为避免水分快速蒸发,喷硒于当日下午16时之后进行;喷施时使用电动喷雾器均匀喷到叶片正反两面,以叶面均匀布满雾状水滴为宜。

1.3 样品采集及预处理

样品采集时间为冬枣的脆熟期(10月12日)。在各处理中分别选取有代表性的5株果树采集叶片和果实样品。叶片样品选自树冠外围枝条中部的成熟叶片,果实样品选自树冠中部发育正常且无病虫害的果实。将采集后的样品立即放置于冰壶中,12 h内带回实验室,用去离子水洗净,置于冷库中保藏备用。

1.4 测定项目

冬枣叶片和果实中的总硒含量按照国家标准GB/T 5009.93—2017应用AFS-2100原子荧光仪测定。无机硒含量采用Sun等^[23]的方法测定,总硒含量与无机硒含量的差值即为果实中有机硒含量。

冬枣果实中的可溶性固形物含量采用手持糖度计测定;可溶性糖采用硫酸蒽酮法测定;Vc含量采用2,6-二氯酚蓝法测定;可滴定酸采用氢氧化钠中和滴定法测定;总黄酮含量采用硝酸铝络合比色法测定^[24];总三萜酸含量的测定参照Guo等^[25]的方法。

1.5 数据处理

测定结果均为三次重复的平均值,用鲜样含量表示。采用Excel 2013处理数据并制图,采用SPSS 11.5软件进行方差分析和多重比较(LSD法)。

2 结果与分析

2.1 硒对冬枣果实和叶片总硒含量的影响

不同时期叶面喷硒后冬枣果实和叶片的含硒量如图1所示。从图1可以明显看出,与CK相比,喷硒处理后冬枣果实和叶片中的总硒含量均呈上升趋势,冬枣富硒效果非常明显。相比之下,叶片对硒的富集作用明显大于果实,这可能与叶片喷施方式有关,多数外源硒优先被叶面组织吸收和转化。

通过比较不同喷施时期冬枣富硒量可知,当在展叶期、幼果期喷硒时,果实中的总硒含量与对照差异不显著;而在果实膨大期、白熟期喷施硒后,冬枣果实含硒量得到较大幅度提升,分别较对照提高了2.04倍和1.64倍;虽然这两个处理间的差异没有达到显著水平,但均显著高于其他喷施时期的硒含量,其中在果实膨大期喷硒的冬枣果实含硒量最高。与展叶期、幼果期、白熟期叶面喷硒相比,在果实膨大期喷硒处理后,冬枣果实含硒量分别增加了1.0、0.43、0.15倍,这表明不同时期施用外源硒对冬枣富硒影响差异显著。不同处理下冬枣果实的富硒效果依次为果实膨大期>白熟期>幼果期>展叶期,在果实膨大期通过叶面喷硒能使冬枣的果实富集更多的硒元素。

2.2 硒对冬枣果实和叶片中硒形态的影响

由图2和图3可以看出,不同时期施硒处理后果

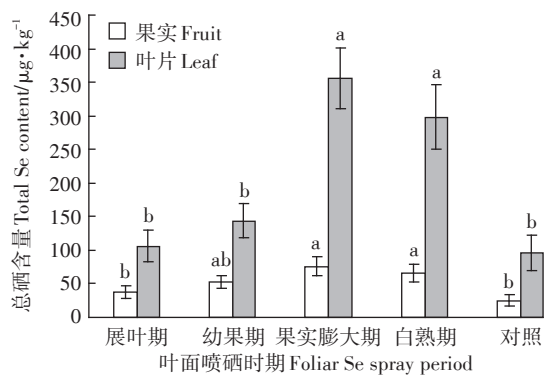


图1 不同喷施时期对冬枣叶片和果实总硒含量的影响
Figure 1 Effects of different Se application periods on total Se contents in leaves and fruits of jujube

实和叶片中的硒均主要以有机态形式存在,有机硒所占比例较高,占总硒比例为70.15%~77.63%;硒在果实和叶片中的形态变化具有相似规律。当在果实膨大期和白熟期进行喷硒处理时,叶片和果实中的有机硒含量均显著高于对照和其他喷施处理。

与对照相比,叶面喷硒后果实中有机硒和无机硒含量均有一定程度增加,增幅分别为0.50~2.32倍和0.57~1.35倍。当在果实膨大期叶面喷硒时,冬枣果实中的有机硒和无机硒含量均大于其他处理,此时冬枣有机硒含量分别较展叶期、幼果期和白熟期喷硒增加了1.21、0.49倍和0.16倍,有机硒占总硒比例则分别增加了7.48、2.76个百分点和0.67个百分点。在展叶期、幼果期、果实膨大期和白熟期叶面施硒时,冬枣果实的有机硒占总硒比例分别为70.15%、74.87%、77.63%和76.96%。结果表明,在果实膨大期叶面喷硒更有利于外源无机硒在枣果中转化为有机硒。

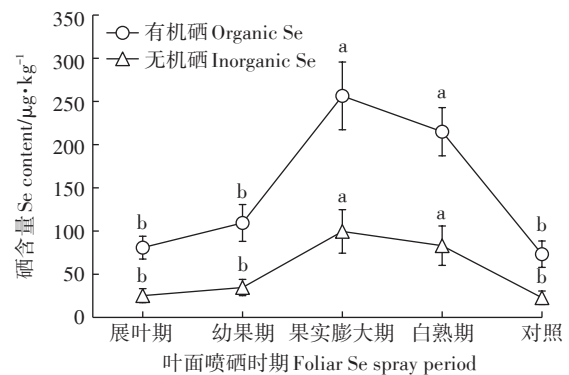


图2 不同喷施时期对冬枣叶片中有机硒和无机硒含量的影响
Figure 2 Effects of different Se application periods on the contents of organic Se and inorganic Se in leaves of jujube

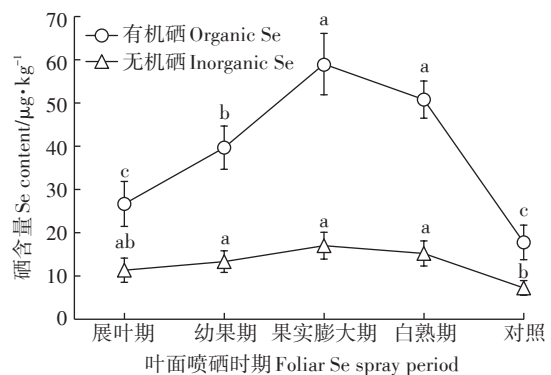


图3 不同喷施时期对果实中有机硒和无机硒含量的影响
Figure 3 Effects of different Se application periods on the contents of organic Se and inorganic Se in fruits of jujube

2.3 硒对冬枣果实糖分和酸度的影响

硒不仅可以影响冬枣果实的硒形态,还对果实的品质产生了一定影响。由表1可知,叶面喷硒可明显提高冬枣果实中的可溶性固形物、可溶性糖含量和糖酸比。相比之下,展叶期和幼果期喷施处理对糖分指标提升幅度不大,与对照的差异未达到显著水平;而在果实膨大期和白熟期喷施后冬枣的可溶性固形物和可溶糖含量较其他处理均有显著增加。当在果实膨大期喷硒时,可溶性固形物、可溶性糖含量和糖酸比均达到最高值,并与其他处理之间的差异达到显著水平,分别较对照提高13.30%、17.17%和28.89%。从表1还可见,叶面喷硒处理使果实的可滴定酸含量略有降低趋势,但并未表现出显著性影响。试验结果表明,在冬枣不同生长期进行叶面施硒,均能在不同程度上增加冬枣果实的糖分指标,改善口感品质。不同喷硒时间对冬枣可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸和糖酸比的作用效果存在较大差异,以在果实膨大期喷硒的改善效果最为明显。

表1 不同喷硒时期对冬枣果实糖分和酸度的影响

Table 1 Effects of different Se application periods on the contents of sugar and titratable acid in fruits of jujube

处理 Treatment	可溶性固形物 Soluble solids/ g·100 g ⁻¹	可溶性糖 Soluble sugar/ g·100 g ⁻¹	可滴定酸 Titratable acid/ %	糖酸比 Soluble sugar/ Titratable acid
展叶期	23.9c	16.27c	0.22a	73.95d
幼果期	24.2c	16.82c	0.21a	80.10c
果实膨大期	26.4a	18.83a	0.20a	94.15a
白熟期	25.3b	17.61b	0.20a	88.05b
对照	23.3c	16.07c	0.22a	73.05d

注:同列数据后不同字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。

Note: Different letters in the same column mean significant difference at P<0.05 level. The same below.

2.4 硒对冬枣Vc、总黄酮和总三萜酸含量的影响

外源硒对冬枣Vc、总黄酮和总三萜酸含量的影响如表2所示。从表2可以看出,各处理对冬枣Vc、总黄酮的影响与其对糖分、糖酸比的影响结果具有相似规律。叶面喷硒可明显提高果实中的Vc和总黄酮含量,但不同时期喷硒处理的影响效应存在明显差异。

随着喷施时间的延后,冬枣的Vc和总黄酮含量呈现先升后降的变化趋势,并均在果实膨大期喷硒时达到最高值,二者含量均显著高于其他处理,Vc含量分别较对照、展叶期、幼果期和白熟期提高了

表2 不同施硒处理下冬枣的Vc、总黄酮和总三萜酸含量

Table 2 Effects of different Se application periods on the contents of Vc, total flavone and total triepene acids in fruits of jujube

处理 Treatment	Vc/ mg·100 g ⁻¹	总黄酮 Total flavone/%	总三萜酸 Total triterpene acids/mg·g ⁻¹
展叶期	265.65c	0.25b	0.62a
幼果期	285.68b	0.25b	0.63a
果实膨大期	298.33a	0.31a	0.62a
白熟期	287.39b	0.26b	0.63a
对照	256.46c	0.24b	0.63a

16.33%、12.30%、4.43%和3.81%,总黄酮含量分别提高了29.17%、24.00%、24.00%和19.23%。由表2可以看出,叶面喷硒对冬枣中的总三萜酸含量没有明显影响,各处理间无显著差异。综合而言,不同时期喷硒处理后冬枣果实中Vc和总黄酮含量的大小次序为果实膨大期>白熟期~幼果期>展叶期~对照。以上结果表明,选择适宜的施硒时期对于提高冬枣果实中的Vc和总黄酮含量具有显著作用,而对冬枣中的三萜酸含量没有显著影响。

3 讨论

全球有超过40个国家和地区的土壤处于缺硒状态,我国约有72%的地区属于缺硒或低硒地域^[25-27],而冬枣主产区集中的黄河三角洲地区正处于低硒区域。因此,研究提出冬枣的科学施硒方案可为低硒地区居民的安全补硒提供可行途径,具有重要的理论和实践意义。本试验研究发现,在不同生育时期对冬枣进行叶面施硒,叶片和果实中的硒含量存在较大差异。在展叶期和幼果期喷硒时叶片和果实的总硒含量与对照之间无显著差异,而在果实膨大期和白熟期喷施则总硒含量均得到显著提高,这表明过早进行叶面施硒并不利于冬枣对外源硒的富集效应,其富集能力与喷施时期存在紧密关联。笔者课题组在同期研究中发现,于幼果期进行三次叶面喷硒(含Se量为50 mg·L⁻¹的亚硒酸钠溶液)后,冬枣叶片和果实的总硒含量均较对照有显著提高^[21],而本研究于幼果期喷硒却未发现显著富硒效果,研究结果存在差异的主要原因是本试验为一次性喷硒,且喷施浓度也略低,以致施硒总量相对较小。

研究结果还表明,冬枣叶片和果实中的硒主要以有机形态存在,且有机化程度因喷硒时期不同而存在一定差异。叶片有机硒比率随喷硒时期延后呈逐渐下降趋势,而果实有机硒比率却随喷硒时期延后表现

出先升后降的趋势,这表明在冬枣生育后期硒元素在果实中的有机化程度较叶片中更强。当在果实膨大期进行叶面喷硒时,冬枣果实中的有机硒占总硒的比例达到最大值。因此,不同施硒时期不仅会对冬枣总硒含量产生显著影响,同时也对有机硒含量和有机化率产生显著影响。与其他生长期相比,在果实膨大期一次性叶面喷硒对于冬枣果实富硒的效果更好。

许多研究表明外源硒对农产品的品质具有较好提升作用^[4-5,10,12,14,25,27],这与硒参与了植物体内的生理生化代谢有关,例如硒可以提高植株的光合速率、蒸腾速率和气孔导度,从而提高光合作用^[28]。本研究发现,在果实膨大期叶面喷硒可显著提高冬枣果实的可溶性固形物、可溶性糖、Vc和总黄酮含量及糖酸比,这表明适宜的外源硒可改善冬枣的口感和营养品质。然而,叶面喷硒对果实可滴定酸和总三萜酸含量未表现出显著影响。结合冬枣果实的硒含量、赋存形态及果实品质来看,在果实膨大期和白熟期进行叶面喷硒处理后,冬枣树对外源硒的吸收利用率相对较高,吸收后硒主要以有机形态贮存在果实中,同时各项品质指标也较佳。相比之下,在果实膨大期施硒效应最好。因此,生产实践中不宜过早进行叶面喷硒,应将施硒时间适当延后到果实生长后期,这样更有利于生产优质富硒冬枣。

我国研发富硒水果始于20世纪末,聂继云等^[22]研究发现水果硒含量一般小于 $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,枣果平均含硒量为 $9.6\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。在本研究中冬枣未施硒时的自然硒含量为 $25\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,且通过叶面喷硒可使果实含硒量大幅提高,这表明冬枣具有较强富硒能力。作为我国优质鲜食枣品种的代表,随着生产规模的不断扩大,冬枣在城乡居民膳食中的比例也呈上升趋势,因此富硒冬枣的补硒作用和开发潜力较大,具有广阔的应用前景。目前我国还没有关于水果含硒量要求的相关国家标准。关于富硒食品的安全食用范围,中国营养学会建议0~7岁的儿童推荐摄入量为 $15\sim 35\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$,7~18岁的青少年为 $35\sim 50\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$,成人的适宜摄入量为 $50\sim 65\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$,成人可耐受的硒最高摄入量为 $400\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ ^[29]。20世纪90年代初的调查显示,我国居民日常饮食中硒的平均摄入量为 $43.3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$,严重缺硒地区的居民摄入量甚至低于 $20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ ^[30]。假如摄硒不足部分通过食用冬枣弥补,按每日摄食 $100\sim 300\text{ g}$ 计算,冬枣满足人类补硒的含硒量范围应为 $67\sim 217\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,最低含硒量为 $67\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

本试验结果表明,通过在冬枣果实膨大期和白熟

期一次性叶面喷硒 $27\text{ mg}\cdot\text{株}^{-1}$,可使冬枣获得较佳富硒效果并显著改善果实品质,果实含硒量可满足人体补硒最低硒量需要,且低于国家食品药品监督管理局2005年发布的《营养素补充剂申报与审评规定(试行)》(国食药监注[2005]202号)的硒最高用量 $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 。由于在果实膨大期喷硒冬枣的总硒含量、有机硒比率和果实品质相对更好,每日食用 $100\sim 300\text{ g}$ 可摄取 $7.6\sim 22.8\text{ }\mu\text{g}$ 的硒,是一个安全有效的补硒量,加上从其他膳食中摄取到的硒量,符合中国营养学会的推荐补硒量范围。因此,实际生产中在果实膨大期喷硒较为适宜。

4 结论

(1)叶面喷硒后冬枣叶片和果实中的总硒含量均呈上升趋势,不同处理下冬枣的富硒效果依次为果实膨大期>白熟期>幼果期>展叶期。当在果实膨大期和白熟期叶面喷施硒溶液后,冬枣果实的总硒含量得到显著提高,其中在果实膨大期喷硒时的总硒和有机硒含量增幅最大。

(2)不同时期施硒处理后叶片和果实中的硒主要以有机态形式存在,有机硒占比超过70%。当在果实膨大期和白熟期进行喷硒处理时,冬枣果实中的有机硒和无机硒含量均明显大于其他处理,有机硒占总硒比例也较高。在果实膨大期叶面喷硒更有利于外源无机硒在枣果中转化为有机硒。

(3)不同时期叶面喷硒对冬枣果实品质的作用效果不尽相同,果实膨大期施硒对冬枣品质的改善效果最佳,此时冬枣果实中的可溶性固形物、可溶性糖、维生素C、总黄酮含量和糖酸比均达到最高值,但对果实可滴定酸和三萜酸含量没有显著影响。

(4)在果实膨大期一次性叶面喷施硒量 $27\text{ mg}\cdot\text{株}^{-1}$ 是生产富硒冬枣的较佳措施。

参考文献:

- [1] Finley J W. Increased intakes of selenium-enriched foods may benefit human health[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2007, 87(9): 1620-1629.
- [2] 宁娟娟, 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.
- NING Chan-juan, DING Ning, WU Guo-liang, et al. Effects of different selenium spraying scheme on the fruit quality, total selenium and organic selenium contents in 'Red Fuji' apple trees[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2013, 19(5): 1109-1117.

- [3] Zhao Y, Wu P, Wang Y, et al. Different approaches for selenium biofortification of pear-jujube (*Zizyphus jujuba* M. cv. Lizao) and associated effects on fruit quality[J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2013, 11(2):529-534.
- [4] 李亚敏, 姬海宁. 硒对猕猴桃抗氧化活性的促进作用[J]. 现代食品科技, 2012, 28(1):27-29.
- LI Ya-min, JI Hai-ning. Response of physiology of *Actinidia chinensis* Planch to selenium[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2012, 28(1):27-29.
- [5] 张 承, 龙友华, 吴小毛, 等. 土壤施用硒肥对猕猴桃含硒量、镉铅积累及品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(13):82-88.
- ZHANG Cheng, LONG You-hua, WU Xiao-mao, et al. Application of Se-fertilizer affects selenium content, cadmium and lead accumulation and fruit quality in kiwifruits[J]. *Food Science*, 2016, 37(13):82-88.
- [6] 夏永香, 刘世琦, 李 贺, 等. 硒对大蒜生理特性含硒量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报[J]. 2012, 18(3):733-741.
- XIA Yong-xiang, LIU Shi-qi, LI He, et al. Effects of selenium on physiological characteristics, selenium content and quality of garlic[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2012, 18(3):733-741.
- [7] 赵文龙, 胡 斌, 王嘉薇, 等. 磷与四价硒的共存对小白菜磷、硒吸收及转运的影响[J]. 环境科学学报, 2013, 33(7):2020-2026.
- ZHAO Wen-long, HU Bin, WANG Jia-wei, et al. Combined effects of phosphate and selenite on the uptake and translocation of phosphorus and selenium in pakchoi[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, 33(7):2020-2026.
- [8] 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.
- [9] Ramos S J, Faquin V, Guilherme L R G, et al. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite [J]. *Plant, Soil and Environment*, 2010, 56(12):584-588.
- [10] Dong J Z, Lei C, Ai X R, et al. Selenium enrichment on *Cordyceps militaris* link and analysis on its main active components[J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2012, 166(5):1215-1224.
- [11] 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[J]. 园艺学报, 2007, 34(2):325-328.
- ZHU Li-qin, WEI Qin-ping, XU Xue-feng, et al. Selenium absorption, distribution and accumulation in grapevine[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(2):325-328.
- [12] 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.
- YANG Yan-jun, LIU Xiao-hua, NING Chan-juan, et al. Effects of foliar feeding of selenium on fruit quality and accumulation of cadmium, lead and mercury in sweet persimmon[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(3):523-530.
- [13] 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.
- WANG Hai-bo, WANG Xiao-di, WU Ying-long, et al. Selenium absorption, distribution and accumulation in the protected cultivated grapevine[J]. *Journal of Fruit Science*, 2011, 28(6):972-976.
- [14] Pezzarossa B, Remorini D, Gentile M, et al. Effects of foliar and fruit addition of sodium selenate on selenium accumulation and fruit quality[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, 92:781-786.
- [15] 霍文兰, 刘步明, 曹艳萍, 等. 陕北红枣总黄酮提取及其抗氧化性研究[J]. 食品科技, 2006(10):45-47.
- HUO Wen-lan, LIU Bu-ming, CAO Yan-ping. Study on extraction and anti-oxidation of the total flavones from *Zizyphus jujuba* in north of Shaanxi[J]. *Food Science and Technology*, 2006(10):45-47.
- [16] 曹艳萍, 杨秀丽, 薛成虎. 红枣中齐墩果酸提取工艺的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(10):165-167.
- CAO Yan-ping, YANG Xiu-li, XUE Cheng-hu. Study on extraction technology of oleanolic acid in *Zizyphus jujuba* date[J]. *Food Science*, 2007, 28(10):165-167.
- [17] Zhao Y, Wu P, Wang Y, et al. Different approaches for selenium biofortification of pear-jujube (*Zizyphus jujuba* M. cv. Lizao) and associated effects on fruit quality[J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2013, 11(2):529-534.
- [18] 杨若明, 张经华, 摆亚军, 等. 外源性加硒法增加枣中硒含量的研究[J]. 广东微量元素科学, 2001, 8(1):29-31.
- YANG Ruo-ming, ZHANG Jing-hua, BAI Ya-jun, et al. Study on high-Se-jujube samples by method of leaf spray[J]. *Guangdong Microelement Science*, 2001, 8(1):29-31.
- [19] 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.
- ZHANG Hai-ying, HAN Tao, TIAN Lei, et al. Accumulation of Se in peach, jujube and strawberry after spraying Se fertilizer on leaves[J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(5):802-806.
- [20] 高德凯, 梁银丽, 李文平, 等. 叶面喷施富硒肥对冬枣营养品质的影响及相关性分析[J]. 北方园艺, 2015(13):37-39.
- GAO De-kai, LIANG Yin-li, LI Wen-ping, et al. Effect of spraying Se fertilizer on *Zizyphus jujuba* cv. Dongzao nutritional quality and its correlation analysis[J]. *North Horticulture*, 2015(13):37-39.
- [21] Jing D W, Du Z Y, Ma H L, et al. Selenium enrichment, fruit quality and yield of winter jujube as affected by addition of sodium selenite [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 225:1-5.
- [22] 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.
- NIE Ji-yun, KUANG Li-xue, LI Zhi-xia, et al. Selenium content of main deciduous fruits from China and its dietary exposure assessment [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(15):3015-3026.
- [23] Sun M, Liu G J, Wu Q H. Speciation of organic and inorganic selenium in selenium-enriched rice by graphite furnace atomic absorption spectrometry after cloud point extraction[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141:66-71.
- [24] 赵春艳, 普晓英, 曾亚文, 等. 大麦麦芽总黄酮类化合物含量的测定分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(4):498-502.
- ZHAO Chun-yan, PU Xiao-ying, ZENG Ya-wen, et al. Determination of the content of general flavone in barley malts[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2010, 11(4):498-502.
- [25] Guo S, Duan J, Tang Y, et al. Characterization of triterpenic acids in fruits of *Zizyphus* species by HPLC-ELSD-MS[J]. *Journal of Agriculture*

- tural and Food Chemistry*, 2010, 58(10):6285-6289.
- [26] Yadav S K, Singh I, Singh D, et al. Selenium status in soils of northern districts of India[J]. *Journal of Environmental Management*, 2005, 75:129-132.
- [27] 陈 铭, 谭见安. 环境硒与健康关系研究中的土壤化学与植物营养学[J]. *土壤学进展*, 1994, 22(4):1-10.
CHEN Ming, TAN Jian-an. Soil chemistry and plant nutrition in the studies on relationship between environmental selenium and health [J]. *Progress in Soil Science*, 1994, 22(4):1-10.
- [28] 李亚敏, 刘建中, 张 峰, 等. 硒对猕猴桃叶片光合生理和果实品质的影响[J]. *西部林业科学*, 2012, 40(2):38-42.
LI Ya-min, LIU Jian-zhong, ZHANG Feng, et al. Effects of selenium on photosynthesis and fruit quality of *Actinidia chinensis*[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2012, 40(2):38-42.
- [29] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2006:210-224.
Chinese Nutrition Society. Acceptable daily intake reference of nutrients for Chinese residents[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2006:210-224.
- [30] 王景怀, 施辰子. 富硒农产品开发及含硒量标准的探讨[J]. *天津农林科技*, 2005(3):15-17.
WANG Jing-huai, SHI Chen-zi. Discussion on selenium-food exploitation and standard of selenium contents[J]. *Tianjin Agro-forestry Science and Technology*, 2005(3):15-17.