

叶面施硒对沙棘果实品质及药用成分的影响

李曦光¹, 高健¹, 王蕾¹, 牛俊莉^{1,2,3}, 罗磊^{1*}

(¹新疆林业科学院, 乌鲁木齐 830000; ²新疆林木资源与利用国家林业和草原局重点实验室, 乌鲁木齐 830000; ³新疆林果树种选育与栽培重点实验室, 乌鲁木齐 830000)

摘要:【目的】探讨叶面施硒对沙棘果实主要营养指标及药用成分的影响,明确沙棘果树耐硒能力及最优喷施浓度,以期富硒沙棘的生产提供理论依据。【方法】以新疆无刺丰沙棘作为富硒载体,选取亚硒酸钠(Na_2SeO_3)溶液为硒源,设置0、5、10、20、50、100、200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 7个质量浓度水平处理,于果实膨大期每隔15 d对整个植株进行均匀喷洒,共计喷施6次。采用氢化物发生原子荧光光谱法等9种化学检测方法对沙棘果实的硒含量、含水量及蛋白质、维生素C、总酸、可溶性糖、多糖、总黄酮、果实各部分(果皮、种子、果肉)脂肪含量进行测定,结合显著性差异分析法和权重赋分分析法对测定结果进行分析讨论。【结果】当喷施质量浓度 $>100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,沙棘树出现硒中毒现象,各项品质指标均出现不同程度的降低。除水分含量以外,随着喷施浓度的不断提高,沙棘果实的蛋白质、维生素C、总酸、可溶性糖、多糖、总黄酮、果实各部分(果皮、种子、果肉)脂肪含量均呈现不同程度的先升高后下降的趋势,与对照相比,最优处理浓度的果实各项品质指标均有不同程度的增加,其硒含量提升了10倍。【结论】叶面施硒可有效提高沙棘果实的品质及药用价值,最优施硒质量浓度为 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

关键词:沙棘; 硒; 施硒浓度; 果实品质; 药用成分

中图分类号: S793.6

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2021)11-1956-10

Effects of foliar application of selenium on fruit quality and medicinal ingredients of seabuckthorn

LI Xiguang¹, GAO Jian¹, WANG Lei¹, NIU Junli^{1,2,3}, LUO Lei^{1*}

(¹Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830000, Xinjiang, China; ²Key Laboratory of Forest Resources and Utilization in Xinjiang of National Forestry and Grassland Administration, Urumqi 830000, Xinjiang, China; ³Key Laboratory of Fruit Tree Species Breeding and Cultivation in Xinjiang, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

Abstract: 【Objective】Selenium (Se) is one of the essential trace elements in the human body, and it is the composition ingredient of glutathione peroxidase (GPX). It is of great significance for preventing cardiovascular and cerebrovascular diseases, and improving the body's immunity and delaying aging, and therefore it is called 'life elements' by the medical community. Seabuckthorn is a medicine and food homologous forest fruit. Its leaves and fruits contain a variety of vitamins, amino acids and a large amount of flavonoid compounds and fatty substances. It has a good clinical efficacy in anti-oxidation, anti-tumor and reducing high blood pressure, high blood sugar, and high blood lipids. The forest fruits have a good absorption conversion effect as a selenium carrier. However, there have been few reports on the effect of application of selenium on fruit quality and medicinal ingredients in Xinjiang seabuckthorn. The aim of this paper was to study the effects of foliar application of selenium on the main nutritional indicators and medicinal components of seabuckthorn fruits and to clarify the tolerance of seabuckthorn trees to selenium and the optimal concentration for the spray of selenium. 【Methods】The variety of Xinjiang seabuckthorn Wucifeng was used as the experimental material. The experiments were

收稿日期: 2021-05-26 接受日期: 2021-06-24

基金项目: 新疆维吾尔自治区公益性科研院所基本科研业务经费资助项目(ky2020020); 新疆维吾尔自治区财政林业专项资金(新财资环(2021)18号)

作者简介: 李曦光, 男, 助理研究员, 主要从事林果化学检测及数字林业的研究工作。Tel: 15099178048, E-mail: 79733357@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13899809063, E-mail: 23799341@qq.com

performed in the town of Agedala, Qinghe county, Xinjiang, China. The soil of the field was sandy and yellow brown with pH 7.19, organic matter $23.83 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, alkali-hydrolyzable nitrogen $137 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, available phosphorus $10.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, available potassium $188 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, and total Se $0.0919 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The planting density of seabuckthorn trees was $1800 \text{ plants} \cdot \text{hm}^{-2}$, the spacing is $2 \text{ m} \times 4 \text{ m}$. The sodium selenite (Na_2SeO_3) solution was selected as selenium source for the experiment. There were seven Se concentrations for spray treatment including 0, 5, 10, 20, 50, 100, 200 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Randomized block design was used, four trees for each treatment, each treatment was repeated three times. The amount of water for each tree was 1 L. Spray was conducted in the fruit expansion period (June 22, 2020), one spray every 15 days, and the spray of clear water was used as the control (CK). Totally six sprays were conducted until September 18. The seabuckthorn fruits samples collection was performed on September 27, 2020, and three bags samples were randomly picked up from each sample tree. The samples were placed in the insulation foam boxes equipped with a ice bag and were taken back to the laboratory, stored in the $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ refrigerator. The pulp and seeds were separated for analyses of Se content, moisture contents, protein, Vitamin C, total acid, soluble sugar, polysaccharide, flavonoid and fat content in various parts of the fruit (peel, seed, pulp) of seabuckthorn fruit. The values of each item obtained from different treatments were subjected to ANOVA and significant difference analysis by SPSS 20.0 software. Excel 2019 were used to accomplish the data finishing and generate graphs and tables. **【Results】**Spraying Na_2SeO_3 significantly increased Se content of the seabuckthorn fruits and the increment increased with the increase of Se concentration. When the treatment concentration was too high ($100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ to $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), leaves of the seabuckthorn trees turned yellow and fell off. The various quality indexes decreased to various degrees. Except for moisture contents, with the continuous increase of spray concentration, the protein, vitamin C, total acid, soluble sugar, polysaccharide, flavonoid and fat content in various parts of the fruit (peel, seed, pulp) of seabuckthorn fruit showed a trend of increase first and then decrease to various degrees. The optimal treatment for each index is compared with the control. The selenium content of the fruits for the treatment 7 was $0.4486 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, which was 83 times as much as that of the control. The protein content of the fruits for the treatment 4 was 1.918%, which was 155.62% of that of the control. The vitamin C content of the fruits for the treatment 5 was $186.4 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, which was 162.51% of that of the control. The total acid content of treatment 2 and treatment 6 were $6.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $9.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively, which was 87.08% and 118.93% of the control. The polysaccharide content and soluble sugar content of the fruits for the treatment 4 were 9.63% and 4.59%, respectively, which were 104.89% and 23.39% of those of the control. The flavonoid content of the fruits for the treatment 4 was $185 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, which was 81.37% of those of the control. The fat content (peel, seed, pulp) of the fruits for the treatment 4 was $16.65 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, $18.98 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, and $13.06 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, which were 48.26%, 38.44%, and 39.08% of those of the control. This paper used the weighting method to evaluate the comprehensive impact of various indicators. The treatment 4 had the highest comprehensive impact evaluation score (92.5). Finally, it was determined that the optimal spray concentration was $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. **【Conclusion】**For seabuckthorn, at a spraying volume of $1800 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$, the highest safe concentration of Se was $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The protein, vitamin C, total acid, soluble sugar, polysaccharide, total flavonoid, and the fruit (peel, seed, pulp) fat content of the seabuckthorn treated with the optimal spray concentration were all increased compared with the control. In particular, the selenium content of the seabuckthorn fruits increased by about 10 times, and the selenium content reached the standard for selenium-rich forest fruits.

Key words: Seabuckthorn; Selenium; Concentration of selenium; Fruit quality; Medicinal ingredient

沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)属胡颓子科多年生落叶灌木或小乔木,为药食同源植物,叶和果实中含有多种维生素、氨基酸等营养物质以及大量的黄酮类化合物、脂肪类物质^[1],在抗氧化、抗肿瘤、降低“三高”等方面具有很好的临床疗效,沙棘籽中提炼的沙棘油更是可以改善骨髓造血环境,有利于造血干细胞的生长、增殖和分化,可以促进化疗后造血功能的重建。硒是谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)的组成成分,是人体必需的一种微量元素,对预防心脑血管疾病、提高机体免疫力和延缓衰老具有重要意义,被医学家称为“生命元素”^[2]。硒是地壳中最稀缺的元素,且受地质、气候等因素影响,在我国分布并不均匀,据统计我国有72%的地区属于缺硒地区^[3]。新疆的沙棘资源较为丰富,分布范围广,南北疆均有分布。沙棘适宜生长在海拔800~3000 m的冷凉地区,一般生长在低山河谷地带、河漫滩和山前洪积冲积扇的河流两岸阶地,在田园渠边也有少量生长。在新疆乌鲁木齐河谷、额尔齐斯河谷平原,博尔塔拉河谷、伊犁河谷及其各支流和天山南坡河谷、帕米尔东坡、昆仑山北麓的河谷、河漫滩阶地有大面积集中成片的野生纯林。在新疆最为寒冷的阿勒泰地区,在极端的气候中,生长在清河县的沙棘最为出名。目前新疆沙棘资源总面积已近3.33万hm²,在伊犁河谷、塔城、阿勒泰、博州、克拉玛依、和田、阿克苏等地区已建成超过10个万亩连片沙棘基地。现有栽培品种以中国沙棘为主,占85%,栽培的大果沙棘品种有无刺丰、深秋红、辽阜、齐棘1号、乌兰格木、楚伊、优胜等。同时,在伊犁哈萨克自治州、阿勒泰地区、阿克苏地区、哈密市、昌吉回族自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、喀什地区等地已形成了以沙棘为原料生产沙棘罐头、沙棘浓缩汁、沙棘冻干全果粉、沙棘油胶囊、沙棘果醋、沙棘茶等产品的加工企业,且产品质量都达到了国家标准。近年来,沙棘的药用价值越来越受到国内外的关注,新疆沙棘产业也得到前所未有的发展机遇,通过研究富硒沙棘的理化特征指标,可为优化沙棘栽培技术提供理论依据,促进新疆沙棘产业高质量发展。

林果作为富硒载体,具有很好的吸收转化效果,目前国内外已有了大量的研究,邓小芳等^[4]研究表明,随着Na₂SeO₃喷施浓度的增加,猕猴桃果实中的硒含量显著增加,在幼果期进行喷施,猕猴桃果肉对硒的吸收利用率最高且更容易向果肉中转移,果肉

和果皮的硒有机化率分别可超过60%和75%。戚霄晨等^[5]研究表明,甜樱桃果实和叶片中的硒含量随施硒浓度的增加而递增,重金属镉和铅的含量均有不同程度的降低。同时叶面喷硒可显著提高甜樱桃叶片和果实中超氧化物歧化酶(SOD)的酶活性,降低丙二醛(MDA)的含量,减少脯氨酸(Pro)的积累。贾莉芳等^[6]研究表明,叶面喷施亚硒酸钠可以提高核桃果实的单果质量、横径、仁质量及可溶性糖、可溶性蛋白、脂肪、硒、钙、锰、锌元素含量,同时降低果实中铜元素含量。人体自身无法合成硒元素,只能通过外界补给。补充硒主要是无机硒与有机硒两种形式,无机硒主要通过含有亚硒酸钠添加剂的食品或药物、保健品等获取,但是吸收率较低,且有一定的毒副作用^[7];有机硒可通过水果、蔬菜、粮食等自然作物获取,因植物具有吸收和富集外施无机态硒、并将其转化为生物有效态硒的特性,所以相较于无机硒,有机硒更易于吸收且安全性更高。随着人民生活水平的提高,健康意识不断增强,富硒农、林产品逐渐成为研究热点^[8],但富硒沙棘的相关研究甚少,目前尚无关于沙棘对硒的耐受程度、不同施硒浓度对果实硒元素吸收程度及果实品质、药用成分影响的相关研究。笔者在本研究中以新疆沙棘为材料,通过对其喷施不同浓度的富硒叶面肥,研究叶面施硒对沙棘果实品质及药用成分的影响,确定其安全施硒浓度范围和最优施硒浓度,以期在推广富硒沙棘生产中提供理论依据。

1 研究区概况

青河县位于准噶尔盆地东北边缘,南北最长258 km,东西最宽110 km,总面积为15 579.5 km²。青河县地势是北高南低向西倾斜,依次分为高山、中山、低山、丘陵、戈壁、沙漠等地带。县城海拔1218 m,境内最高点海拔3659 m,最低处900 m。青河县属大陆性北温带干旱气候,高山高寒,四季变化不明显,空气干燥,冬季漫长而寒冷,风势较大,夏季凉爽,年降雨量小,蒸发量大。极端最低气温为-53℃,最高达36.5℃;年平均气温0℃,年均降水量161 mm,蒸发量达1495 mm,无霜期平均为103 d。

2 材料和方法

2.1 材料与试验设计

供试植物为新疆阿勒泰地区青河县大果沙棘,

品种为无刺丰,树龄为5年生,树势中庸。硒源为亚硒酸钠(Na_2SeO_3 ,天津市北联精细化学品开发有限公司,AR纯)。果园土为壤砂土,pH为7.19,有机质含量(w,后同)23.83 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮含量137 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷含量10.34 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量188 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,全硒含量0.0919 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

试验:试验于2020年6—10月在新疆青河县阿格达拉镇青河县林草局沙棘育种种植基地进行,沙棘种植密度为1800株 $\cdot\text{hm}^{-2}$,株行距为2 m \times 4 m。试验设0、5、10、20、50、100、200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2SeO_3 处理,采用随机区组排列,试验共设计7个处理,每个处理4株树,3次重复。用水量均为每4株4 L,于开花后50 d果实膨大期(6月22日)每隔15 d使用喷雾器对整个植株进行均匀喷洒,直至9月18日共计喷施6次,另喷施等量清水作为对照(CK),期间田间水肥管理基本一致。

2.2 测定分析

采样:试验样地的沙棘果实成熟期为2020年9月27日,每株样本树均按照从树冠由外围至内层多方位进行枝果一体采摘,放置于装有冰袋的保温泡沫箱中运回实验室,冷冻于 $-15\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱中备用,后将果肉与种子分离,待测。土壤采集为按照“五点法”采集果园地表下30 cm左右的耕作层土壤,采样过程兼顾土壤类型、成土母质、地形地貌等特征。

硒含量测定^[9]:植物果实样本采用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ (4:1)微波消解,消解液在6 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HNO_3 介质中还原,冷却后,加入2.5 mL铁氰化钾溶液(100 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)去离子水定容至25 mL,采用氢化物发生原子荧光光谱法(AFS-933,北京吉天仪器有限公司)测定硒含量。土样采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\text{-HF}$ (质量比5:1:1)电热板消解,初期温度为 $150\text{ }^\circ\text{C}$,后期升至 $220\text{ }^\circ\text{C}$,后续步骤同植物果实硒含量测定。

采用恒重法进行水分含量测定;总酸含量测定参照GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》;维生素C含量测定参照GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》;可溶性糖含量测定参照NY/T 2742—2015《水果及制品可溶性糖的测定》,使用3,5-二硝基水杨酸比色法进行测定;果实及种子脂肪含量测定参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》;总黄酮含量采用亚硝酸钠-硝酸铝比色法测定;多糖含量采用苯酚硫酸法测定。

2.3 数据分析

采用SPSS 20.0进行数据方差分析,使用Excel 2019进行数据整理及制表绘图。

3 结果与分析

3.1 不同施硒浓度对沙棘果实硒含量及树势生长状况的影响

如表1所示,处理2至处理7与对照相比,其果实中硒含量均呈显著性差异($p < 0.05$,后同)。处理2与处理3、处理4相比,其果实硒含量无显著性差异;处理2、处理3、处理4与处理5、处理6、处理7之间相比,其硒含量呈显著性差异。在试验设置的6个喷施浓度里,6个处理样本的硒含量随喷施浓度的升高而显著增加,当喷施质量浓度 $>100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,尽管果实样本的硒含量依然大幅增加,但果树叶片出现发黄现象。当喷施质量浓度 $>200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,果树叶片逐渐出现焦枯损伤现象,随后叶片开始脱落,这说明喷施硒浓度过高会导致果树硒中毒。因此,对于新疆无刺丰沙棘而言,以 Na_2SeO_3 作为硒源叶面喷施的安全质量浓度上限为 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

表1 不同施硒浓度对沙棘果实硒含量及树势生长状况的影响

Table 1 Effect of different spraying Se concentrations on Se contents of seabuckthorn fruits and tree vigor growth

处理 Treatment	ρ (处理) Treatment content/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	w(硒) Selenium content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	果树生长状态 Tree vigor growth
1(CK)	0	(0.005 4 \pm 2.76) $\times 10^{-7}$ e	良好 Good condition
2	5	(0.041 4 \pm 3.59) $\times 10^{-6}$ d	良好 Good condition
3	10	(0.053 3 \pm 3.86) $\times 10^{-6}$ d	良好 Good condition
4	20	(0.059 6 \pm 3.75) $\times 10^{-6}$ d	良好 Good condition
5	50	(0.119 2 \pm 2.45) $\times 10^{-5}$ c	良好 Good condition
6	100	(0.241 0 \pm 3.22) $\times 10^{-4}$ b	叶片发黄 Yellow leaves
7	200	(0.448 6 \pm 3.41) $\times 10^{-4}$ a	叶片焦枯损伤 Leaves scorch damage

注:同列数值后不同小写字母代表在 $p < 0.05$ 差异显著。试验数据以“平均值 \pm 方差”的形式表达。下同。

Note: Different small letters indicate significant differences at $p < 0.05$. The test data is expressed in the form of “mean \pm variance”. The same below.

3.2 不同施硒浓度对沙棘果实水分含量的影响

研究表明,处理2至处理7与对照相比,其处理的沙棘果实含水率均呈无显著性差异,说明硒元素对沙棘果实水分含量无显著影响(表2)。

表2 不同施硒浓度对沙棘果实含水率的影响

Table 2 Effect of different spraying Se concentrations on moisture contents of seabuckthorn fruits

处理 Treatment	ρ (处理) Treatment content/(mg·L ⁻¹)	含水率 Moisture content/%
1(CK)	0	(84.12±8.68)×10 ³ a
2	5	(82.78±2.91)×10 ³ a
3	10	(85.10±5.64)×10 ³ a
4	20	(83.92±4.07)×10 ³ a
5	50	(83.99±1.33)×10 ³ a
6	100	(82.93±1.33)×10 ³ a
7	200	(83.73±2.59)×10 ³ a

3.3 不同施硒浓度对沙棘果实蛋白质含量的影响

研究表明,处理2至处理7与对照相比,其果实蛋白质含量均呈显著性差异。处理2与处理5相比,其果实蛋白质含量无显著性差异;处理2、处理5与处理3、处理4、处理6、处理7之间相比,其蛋白质含量呈显著性差异。处理2至处理5的蛋白质含量均高于对照样本的蛋白质含量(w ,后同)1.480 7%,而处理6和处理7的蛋白质含量则低于对照样本。结果表明,随着喷施叶面肥中的硒含量不断增加,处理样本的蛋白质含量呈现先增加随后下降的趋势,处理4的蛋白质含量最高,为1.918 2%;当喷施质量浓度 $> 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,处理样本的蛋白质含量迅速下降,处理7蛋白质含量最低,为0.848 1%。说明过量的硒元素会导致沙棘树硒中毒,阻碍果实中的氨基酸合成蛋白质,进而降低果实蛋白质含量(表3)。

表3 不同施硒浓度对沙棘果实蛋白质含量的影响

Table 3 Effect of different spraying Se concentrations on protein contents of seabuckthorn fruits

处理 Treatment	ρ (处理) Treatment content/(mg·L ⁻¹)	w (蛋白质) Protein content/%
1(CK)	0	(1.480 7±5.91)×10 ⁵ d
2	5	(1.607 6±5.48)×10 ⁴ c
3	10	(1.781 5±1.28)×10 ⁴ b
4	20	(1.918 2±4.92)×10 ⁴ a
5	50	(1.610 5±2.16)×10 ⁴ c
6	100	(1.246 1±2.31)×10 ⁴ e
7	200	(0.848 1±4.60)×10 ⁴ f

3.4 不同施硒浓度对沙棘果实维生素C含量的影响

沙棘果实中含有丰富的维生素类,素有“维生素宝库”的美称,在众多维生素类中维生素C含量最高。研究表明,处理2至处理7与对照相比,其果实维生素C含量均呈显著性差异。处理3与处理4、处理5相比,果实维生素C含量差异不显著;处理3、处

理4、处理5与处理2、处理6、处理7之间相比,维生素C含量呈显著性差异。结果表明,随着施硒浓度不断增加,处理样本的维生素C含量呈现先增加随后下降的趋势,处理3的维生素C含量(w ,后同)最高,为180.3 mg·100 g⁻¹;当喷施质量浓度 $> 50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,处理样本的维生素C含量呈现缓慢下降的趋势,由此可见过量的硒元素会抑制沙棘果实维生素C的产生,进而降低果实维生素C含量。整体上处理2至处理7的维生素C含量均高于对照样本的维生素C含量114.7 mg·100 g⁻¹,说明硒元素对于增加沙棘果实维生素C含量具有显著的作用,根据《中国食物成分表标准版(第6版 第一册)》列举的水果蔬菜维生素C含量统计数据,处理后的沙棘果实维生素C含量高于野苋菜,排名处于所有果蔬的前五,具有较高的营养价值^[10](表4)。

表4 不同施硒浓度对沙棘果实维生素C含量的影响

Table 4 Effect of different spraying Se concentrations on vitamin C contents of seabuckthorn fruits

处理 Treatment	ρ (处理) Treatment content/ (mg·L ⁻¹)	w (维生素C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹)
1(CK)	0	114.7±1.32 e
2	5	149.2±2.40 d
3	10	180.3±1.96 a
4	20	178.5±1.68 ab
5	50	186.4±2.33 a
6	100	167.6±1.75 bc
7	200	158.2±1.62 cd

3.5 不同施硒浓度对沙棘果实总酸含量的影响

酸含量是决定水果味感的一项重要成分,沙棘果实中含有苹果酸、柠檬酸、琥珀酸、酒石酸及草酸等多种有机酸。研究表明(表5),处理4至处理6与对照相比,果实总酸含量呈显著性差异。处理2与处理3、处理7相比,果实总酸含量无显著性差异;处理2、处理3、处理7与处理4、处理5、处理6之间相比,总酸含量呈显著性差异。结果表明,随着施硒浓度不断增加,处理样本的总酸含量呈现先降低后升高再降低的趋势,处理2的总酸含量(w ,后同)最低,为6.67 mg·kg⁻¹,处理6的总酸含量最高,为9.11 mg·kg⁻¹,当喷施质量浓度 $> 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,处理样本的总酸含量高于对照样本的总酸含量;当喷施质量浓度到达200 mg·L⁻¹时,总酸含量出现大幅下降。由此可见少量或过量的硒元素均可抑制沙棘果酸的产生,进而提升沙棘果实的口感,而适量的硒元素可以使沙

表 5 不同施硒浓度对沙棘果实总酸含量的影响

Table 5 Effect of different spraying Se concentrations on total acid contents of seabuckthorn fruits

处理 Treatment	ρ (处理) Treatment content/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	w(总酸) Total acid content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
1(CK)	0	7.66±0.029 bc
2	5	6.67±0.031 c
3	10	7.28±0.031 bc
4	20	8.72±0.013 a
5	50	9.04±0.014 a
6	100	9.11±0.022 a
7	200	7.37±0.025 bc

棘果酸含量不断上升,含酸量高的沙棘果实可用于果酸加工。

3.6 不同施硒浓度对沙棘果实糖分含量的影响

糖分是评价果实品质的一项重要营养成分,沙棘果实中的糖分主要由可溶性糖和多糖组成。如表 6 所示,处理 3 至处理 6 与对照相比,果实可溶性糖含量呈显著性差异,其余处理的可溶性糖含量无显著性差异;处理 4 与对照相比,果实多糖含量呈显著性差异。处理 4 与处理 2、处理 3、处理 5、处理 6、处理 7 相比,果实可溶性糖和多糖含量均呈显著性差异。通过表 6 可以看出,随着处理硒浓度的不断增加,处理样本的可溶性糖和多糖含量均呈现先增加随后下降的趋势,处理 4 的可溶性糖和多糖含量最高,分别为 9.63% 和 4.59%,当喷施质量浓度 $>20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,处理样本的可溶性糖和多糖含量迅速下降,说明过量的硒元素会抑制沙棘果实产生可溶性糖,同时抑制其合成多糖。

表 6 不同施硒浓度对沙棘果实糖分含量的影响

Table 6 Effect of different spraying Se concentrations on sugar contents of seabuckthorn fruits

处理 Treatment	ρ (处理) Treatment content/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	w(可溶性糖) Soluble sugar content/%	w(多糖) Polysaccharide content/%
1(CK)	0	4.70±0.024 d	3.72±0.023 bc
2	5	4.91±0.032 d	3.71±0.013 bf
3	10	5.68±0.018 c	4.05±0.022 b
4	20	9.63±0.022 a	4.59±0.024 a
5	50	6.33±0.006 9 b	3.86±0.011 bc
6	100	5.99±0.014 bc	3.74±0.028 bd
7	200	5.07±0.008 6 d	3.51±0.019 cdef

3.7 不同施硒浓度对沙棘果实总黄酮含量的影响

黄酮含量是沙棘果实药用成分中一项重要的化学指标,黄酮多酚类化合物对癌症和心血管等疾病

具有一定的预防及治疗效果^[1],沙棘中的黄酮含量较高,最为重要的黄酮类化合物是异鼠李素、槲皮素、山奈酚、杨梅素。研究表明,处理 2 至处理 6 与对照相比,果实总黄酮含量均呈显著性差异。处理 3 与处理 4 相比,果实总黄酮含量无显著性差异;处理 3、处理 4 与处理 2、处理 5、处理 6、处理 7 之间相比,总黄酮含量呈显著性差异。通过表 7 可以看出,随着处理硒浓度的不断增加,处理样本的总黄酮含量呈现先增加后下降的趋势,处理 4 的总黄酮含量最高,为 $185 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$,当喷施质量浓度 $>20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,处理样本的总黄酮含量开始下降,当喷施质量浓度为 $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,处理样本的总黄酮含量出现大幅下降,处理 7 的总黄酮含量最低,为 $88 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 。说明适量的硒元素可以有效促进沙棘果实合成黄酮类化合物,而过量的硒元素则会抑制沙棘果实合成黄酮类化合物。

表 7 不同施硒浓度对沙棘果实总黄酮含量的影响

Table 7 Effect of different spraying Se concentrations on Flavonoids contents of seabuckthorn fruits

处理 Treatment	ρ (处理) Treatment content/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	w(总黄酮) Flavonoids content/ ($\text{mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$)
1(CK)	0	102±2.33 d
2	5	148±3.27 c
3	10	173±2.15 ab
4	20	185±3.46 a
5	50	163±3.06 bc
6	100	147±3.54 c
7	200	88±3.27 d

3.8 不同施硒浓度对沙棘果实脂肪含量的影响

脂肪含量则是沙棘果实药用成分中另一项极为重要的化学指标,沙棘的果皮、果肉和种子中都含有较多的甘油三酯、磷脂和游离脂肪酸,这在植物界中较为罕见。其中沙棘籽中的脂肪类物质含量较高,主要以多不饱和脂肪酸(亚油酸、亚麻酸)为主,而果肉和果皮中则主要是单不饱和脂肪酸,包括棕榈烯酸和油酸^[12]。研究表明,处理 2 至处理 7 与对照相比,果皮、种子、果肉中的脂肪含量均呈显著性差异。除处理 2 与处理 5 的果肉脂肪含量无显著性差异外,其余各处理之间的果皮、种子、果肉中的脂肪含量均呈显著性差异。通过表 8 可以看出,同处理下沙棘籽和果皮中的脂肪含量均高于果肉中的含量,随着处理硒含量的不断增加,处理样本的果皮、种子、果肉的脂肪含量呈现先增加随后下降的趋势,

表 8 不同施硒浓度对沙棘果实各部位脂肪含量的影响
Table 8 Effect of different spraying Se concentrations on fat contents in various parts of seabuckthorn fruits

处理 Treatment	ρ (处理) Treatment content/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	w (果皮脂肪) Peel fat content/ ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	w (种子脂肪) Seed fat content/ ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	w (果肉脂肪) Pulp fat content/ ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)
1(CK)	0	11.23±0.062 e	13.71±0.012 e	9.39±0.026 d
2	5	12.88±0.021 d	14.98±0.019 c	10.77±0.022 c
3	10	14.76±0.018 b	17.21±0.037 b	11.82±0.022 b
4	20	16.65±0.017 a	18.98±0.022 a	13.06±0.015 a
5	50	13.61±0.022 c	14.23±0.046 d	10.84±0.022 c
6	100	10.27±0.029 f	12.19±0.022 f	8.41±0.025 e
7	200	9.43±0.020 g	9.67±0.025 g	7.33±0.022 f

处理4的果皮、种子、果肉的脂肪含量最高,分别为16.65、18.98、13.06 $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$,当喷施质量浓度 $>20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,处理样本的果皮、种子、果肉的脂肪含量开始下降,当喷施质量浓度为100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,处理样本的果皮、种子、果肉的脂肪含量均低于对照样本,

处理7果皮、种子、果肉的脂肪含量最低,分别为9.43、9.67、7.33 $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 。由此可见,适量的硒元素可以有效促进沙棘果实各部分脂肪类的形成,而过量的硒元素则会导致果树硒中毒,阻碍果实各部分合成脂肪类物质。

3.9 最优施硒浓度的分析

利用权重赋分的方法来评价不同施硒浓度对沙棘果实各项指标的综合影响,由3.2可知,硒元素对沙棘果实水分含量无显著影响,故选取果实硒、蛋白质、维生素C、总酸、可溶性糖、多糖、总黄酮、果皮脂肪、种子脂肪、果肉脂肪含量10项营养指标进行加权赋分评价。由于本研究中的各项营养指标没有重要程度上的先后顺序,所以利用主观赋权法对以上10项指标进行平均赋权,每项指标的权重值均为0.1(即10%, F_i)。同时对每项指标设置4个平均值域赋分区间,对应25、50、75、100这4个赋分分值(表9)。

表 9 不同指标平均值域赋分区间评分表

Table 9 Assign the score table between the partitions of the average domain of different indicators

赋分区间 Assign partition	硒 Selenium	蛋白质 Protein	维生素C Vitamin C	总酸 Total acid	可溶性糖 Soluble sugar	多糖 Polysac- charide	总黄酮 Flavonoid	果皮脂肪 Peel fat	种子脂肪 Seed fat	果肉脂肪 Pulp fat
25	0.005 4~0.116 2	0.848 1~1.115 6	114.7~132.6	6.67~7.28	4.70~5.93	3.51~3.78	88~112	9.43~11.23	9.67~11.99	7.33~8.76
50	0.116 3~0.227 0	1.115 7~1.383 1	132.7~150.5	7.29~7.89	5.94~7.16	3.79~4.05	113~136	11.24~13.04	12.00~14.32	8.77~10.19
75	0.228 0~0.337 8	1.383 2~1.650 6	150.6~168.4	7.90~8.50	7.17~8.39	4.06~4.32	137~160	13.05~14.85	14.33~16.65	10.20~11.62
100	0.337 9~0.448 6	1.650 7~1.918 2	168.5~186.4	8.51~9.11	8.40~9.63	4.33~4.59	161~185	14.86~16.65	16.66~18.98	11.63~13.06

利用表9中各指标平均值域赋分区间进行不同处理浓度对沙棘果实各项指标的综合影响评价。结果表明,处理4的综合影响评价分值最高,达到92.5分,较次最优处理5高出20分,并且对照

(CK)的得分最低,再次证明了硒元素对沙棘果实各项营养指标具有一定的正相关影响,分析结果具有显著优势,由此得到最优喷施质量浓度为20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (表10)。

表 10 不同施硒浓度对沙棘果实各项指标影响评价评分表

Table 10 Evaluation table for evaluating the influence of different selenium concentration on various indexes of seabuckthorn fruits

处理 Treatment	硒含量 X_1 Selenium	蛋白质 X_2 Protein	维生素C X_3 Vitamin C	总酸 X_4 Total acid	可溶性糖 X_5 Soluble sugar	多糖 X_6 Polysac- charide	总黄酮 X_7 Flavonoid	果皮脂肪 X_8 Peel fat	种子脂肪 X_9 Seed fat	果肉脂肪 X_{10} Pulp fat	综合影响评价分值M Comprehensive impact evaluation score
1(CK)	25	75	25	50	25	25	25	25	50	50	37.5
2	25	75	50	25	25	25	75	50	75	75	50.0
3	25	100	100	25	25	50	100	75	100	100	70.0
4	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92.5
5	50	75	100	100	50	50	100	75	50	75	72.5
6	75	50	75	100	50	25	75	25	50	50	57.5
7	100	25	75	50	25	25	25	25	25	25	40.0

注: 不同施硒浓度对沙棘果实各项指标影响评价分值: $M=\sum X_i F_i$ 。

Note: Evaluation table for evaluating the influence of different selenium concentration on various indexes of Seabuckthorn fruits: $M=\sum X_i F_i$.

4 讨 论

目前,国内外关于富硒农产品的研究处于不断探索中,由于我国大部分区域的土壤含硒量都较低,人工转化成为生产富硒农产品的主要方法。应用较为广泛的人工转化富硒方法主要是土壤施硒法和叶面施硒法。土壤施硒法操作简单但资源损失较大;叶面施硒法比较节约资源但最优浓度难以控制^[13]。富硒林果兼顾着改善饮食结构和补充硒元素营养物质双重作用,逐渐成为了该领域的研究热点。笔者以新疆无刺丰沙棘作为富硒载体,研究表明各个不同浓度 Na_2SeO_3 处理对沙棘果实硒、蛋白质、维生素C、总酸、糖类、总黄酮及果实各部分(果皮、种子、果肉)脂肪含量等各项营养指标的影响各不相同。不同林果树种耐硒能力均不相同,过量的硒元素会导致果树出现硒中毒现象,这是由于硒过量时,硒作为抗氧化剂,致使植物体内诱导氧化应激^[14]。杨燕君等^[15]研究发现,当叶面施硒质量浓度达 $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,甜柿果实中硒含量显著增加,果树树体及叶片并未出现灼烧损伤现象。邓小芳等^[4]研究表明,随着 Na_2SeO_3 喷施浓度的增加,猕猴桃果实中的硒含量显著增加,果肉和果皮的硒有机化率分别可超过60%和75%,当喷施质量浓度 $>100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,猕猴桃树出现叶片变黄、焦枯等中毒症状。在本研究中,沙棘果实硒含量随着处理浓度的提高而不断增加,处理7含硒量达到了对照的83倍,但当处理质量浓度超过 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后,沙棘果树同样出现叶片变黄、焦枯损伤、叶片脱落等硒中毒症状,这说明新疆无刺丰沙棘果树耐硒能力低于柿子等果树,与猕猴桃树的耐硒能力相似,由此可见沙棘果树叶面施硒的最高安全质量浓度为 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。同时,笔者对种植区土壤的硒含量进行了测定,土壤中全硒含量为 $0.0919\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,依据已有研究土壤硒含量 $<0.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为缺硒土壤^[16-17],确定该区域土壤属于缺硒土壤,而通过叶面施硒处理(安全施硒浓度范围内)的果实硒含量均达到了富硒林果的标准^[18],说明沙棘果实对硒元素具有较强的富集能力,通过外源施硒的方式可有效提高果实的含硒量。

果实的蛋白质、维生素C、总酸、可溶性糖、多糖、水分及脂肪含量是衡量沙棘果实品质的主要营养指标。研究表明,与其他鲜果相比,同质量下沙棘果实中蛋白质含量很高,包含有18种氨基酸,其中8

种氨基酸是人体无法合成的。沙棘果实的水溶性多糖具有较强的清除氧自由基活性的作用,而氧自由基与机体衰老有着密切的关系。沙棘果中的多糖对 $\cdot\text{OH}$ 和 $\text{O}_2\cdot$ 有较显著的清除能力,多糖质量浓度增大时,2种自由基清除率增加,且呈量效关系^[19-20]。薛竞一等^[21]研究发现,叶面喷硒后葡萄果实可溶性糖含量得到明显提高。刘仁道等^[22]研究表明,对猕猴桃树进行不同浓度叶面施硒后,其果实中维生素C含量得到显著增加。盛艳等^[23]测定了黄土高原中部不同种植区域沙棘果实中的粗蛋白、鲜水分、总酸及糖类含量,研究表明,其粗蛋白最高含量为0.916%,鲜水分含量最高为48.64%,总酸含量最高为7.98%,糖分含量最高为1.0556%。本研究中,除含水率以外,随着处理浓度的不断提高,沙棘果实的蛋白质、维生素C、总酸、可溶性糖及多糖含量均呈现不同程度的先升高后下降的趋势,同时结合3.5与3.6分析结果,处理后的沙棘果实糖酸比有较为显著的提高,处理4与对照及其他处理相比,各项营养指标均呈显著性差异,并且在权重赋分分析中其综合影响评价分值最高。研究结果与薛竞一^[21]、刘仁道等^[22]研究结论部分一致,且在营养指标值上远高于盛艳等^[23]的测定结果,进一步明确了不同施硒浓度对沙棘果实主要营养指标的影响,通过控制叶面施硒浓度可有效改善沙棘果实品质及风味,其最优喷施质量浓度为 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

沙棘果实作为药食两用的林果,除含有大量的营养成分外,还含有很多药用成分,其中最能体现其药用功效的是黄酮类化合物和沙棘油脂2个成分。已有的研究表明,沙棘总黄酮等生物活性成分对免疫系统具有不同程度的调节能力,尤其是对细胞免疫和体液免疫具有明显的调节作用,同时在降低血清胆固醇、抗心率失常、抗肿瘤、抗炎生肌、抗辐射、抗衰老、抗病毒、抗过敏等方面具有一定的临床疗效^[24-25]。沙棘的果皮、种子和果肉中含有大量脂肪类物质,包含有棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸等在内的18种脂肪酸,沙棘中的脂肪酸大部分为不饱和脂肪酸,易被人体吸收。沙棘种子中的脂肪含量最高,沙棘籽油中含有超过85%的不饱和脂肪酸,其中亚油酸、亚麻酸、油酸含量高达90%^[26]。临床研究表明,亚油酸和亚麻酸可促进体内脂肪代谢,有效降低血液中的胆固醇含量,防止胆固醇沉积在血管壁上,还能升高具有调节血脂作用的高密度脂蛋白含量,可

有效预防冠心病和动脉粥样硬化^[27-28]的发生。本研究中,针对沙棘果实各部分脂肪含量不同的特点,对果皮、种子和果肉的脂肪含量分别进行了测定,随着处理浓度的不断提高,沙棘果实中的总黄酮含量及果皮、种子和果肉的脂肪含量均呈现不同程度的先升高后下降的趋势,处理4与对照及其他处理相比,总黄酮和脂肪含量均呈显著性差异,处理4的总黄酮含量相比对照提高了81.37%,果皮、种子和果肉的脂肪含量相比对照分别提高了48.26%、38.44%、39.08%,处理4的总脂肪含量达到48.69 g·100 g⁻¹,远高于盛艳等^[23]测定的黄土高原中部不同种植区域沙棘果实中的粗脂肪含量最高值28.33%。此研究结果充分可以说明,通过控制叶面施硒浓度可有效提高沙棘果实中总黄酮和总脂肪含量,进一步提升沙棘的药用价值。

还有研究证明,影响果实品质的因素不仅仅是喷施浓度,富硒液肥喷施时期对果品硒含量及果实品质也有一定的影响,从物候学角度分析,不同果树需肥时期各不相同,其养分分配机制与植物物候期有密切的联系。为了更有效地利用叶面施硒技术提升沙棘果实的营养价值及药用价值,还需要进一步深入研究不同施硒时期与沙棘果实硒含量、果实品质及药用成分之间的关系。

5 结 论

(1)对新疆无刺丰沙棘进行叶面施硒,可有效提高果实中的硒含量,其最高安全施硒质量浓度为100 mg·L⁻¹。通过显著差异性分析和权重赋分分析对各项指标进行综合影响评价,确定最优喷施质量浓度为20 mg·L⁻¹。

(2)最优喷施浓度处理下,除含水量外,各项指标与对照相比呈现出较大幅度的提高,硒含量达到了富硒林果标准,叶面施硒可有效提高沙棘果实品质及药用价值。

(3)后期将针对不同种植区域、不同施硒时期与果实理化指标特征的影响关系进行深入研究。

参考文献 References:

- [1] 张祚,冉丽霞,万方琼,周吉银. 沙棘叶总黄酮的提取法与药理作用研究进展[J]. 中国临床药理学杂志, 2018, 34(9): 1122-1124.
ZHANG Zuo, RAN Lixia, WAN Fangqiong, ZHOU Jiyin. Progress in extraction of total flavonoids from Hippophae hamni-
- des leaves and its pharmacological effects[J]. The Chinese Journal of Clinical Pharmacology, 2018, 34(9): 122-1124.
- [2] 黄凯丰, 时政, 冯健瑛. 富硒蔬菜的研究现状[J]. 长江蔬菜, 2011(10): 14-17.
HUANG Kaifeng, SHI Zheng, FENG Jianying. Research status of selenium-enriched vegetable[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2011(10): 14-17.
- [3] 刘少梅, 王丽娟, 切岩祥和, 马钊. 富硒蔬菜的研究进展[J]. 北方园艺, 2014(11): 177-181.
LIU Shaomei, WANG Lijuan, Kiriiwa Yoshikazu, MA Zhao. Research advances of selenium-enriched vegetable[J]. Northern Horticulture, 2014(11): 177-181.
- [4] 邓小芳, 吕臣浩, 黄立强, 张海清, 赵竹青, 刘新伟. 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.
DENG Xiaofang, LÜ Chenhao, HUANG Liqiang, ZHANG Haiqing, ZHAO Zhuqing, LIU Xinwei. Effects of spraying selenium in different forms and at different stages on selenium absorption and accumulation and main quality indexes of ‘Jintao’ kiwifruit[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(11): 1385-1392.
- [5] 戚霄晨, 简在海, 张琦, 宋尚伟. 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.
QI Xiaochen, JIAN Zhaihai, ZHANG Qi, SONG Shangwei. Effects of foliar application of selenium on selenium and heavy metal contents and fruit quality in sweet cherry[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(6): 748-754.
- [6] 贾莉芳, 刘群龙, 张清元. 叶面喷施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.
JIA Lifang, LIU Qunlong, ZHANG Qingyuan. Effect of spraying selenium on fruit quality of different walnut varieties[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2019, 47(4): 620-623.
- [7] 温海祥. 食用富硒平菇菌丝生产因子筛选[J]. 食品科学, 2006, 27(9): 52-54.
WEN Haixiang. The influence of factors on selenium enrichment of mycelium of pleurotus ostreatus[J]. Food Science, 2006, 27(9): 52-54.
- [8] 马麦艳, 张相锋, 马正海, 焦子伟. Na₂SeO₃对药食用真菌蛹虫草子实体生长及功能成分腺苷、虫草素的影响[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(8): 1510-1517.
MA Maiyan, ZHANG Xiangfeng, MA Zhenghai, JIAO Ziwei. Effect of sodium selenite (Na₂SeO₃) on fruiting body growth, adenosine and cordycepin of functional components in medical edible fungus of cordyceps militaris[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2019, 56(8): 1510-1517.
- [9] 国家食品药品监督管理局, 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中硒的测定: GB 5009.93—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
China Food and Drug Administration, National Health and Planning Commission. National food safety standard Determination

- of selenium in foods: GB 5009.93—2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [10] 杨月欣. 中国食物成分表标准版(第6版 第一册)[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2018.
YANG Yuexin. Standard edition of chinese food composition table (6th Edition, Volume 1) [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2018.
- [11] KOM J, CHEIGH C I, CHUNG M S. Relationship analysis between flavonoids structure and subcritical water extraction (SWE)[J]. Food Chemistry, 2014, 143(15): 147-155.
- [12] YANG B, KALLIO H P. Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn berries of different origins[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49: 1939-1947.
- [13] 陈玉珍, 白音达来, 贾立国, 高宇江. 富硒蔬菜的研究意义及其开发利用现状[J]. 北方园艺, 2018(18): 152-156.
CHEN Yuzhen, BAI Yindalai, JIA Ligu, GAO Yujiang. Significance of selenium-enriched vegetable research and its exploitation[J]. Northern Horticulture, 2018(18): 152-156.
- [14] GUPTA M, GUPTA S. An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants[J]. Frontiers in Plant Science, 2016 (7): 2074.
- [15] 杨燕君, 刘晓华, 王婵娟. 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 (30): 523-530.
YANG Yanjun, LIU Xiaohua, NING Chanjuan. 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(30): 523-530.
- [16] 张东威. 中国土壤中硒及其土壤环境质量标准研究[J]. 水土保持研究, 1994(S1): 112.
ZHANG Dongwei. Study on selenium in Chinese soil and its soil environmental quality standards [J]. Soil and Water Conservation Research, 1994(S1): 112.
- [17] 李家熙, 张光弟, 葛晓立, 张绮玲. 人体硒缺乏与过剩的地球化学环境特征及其预测[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
LI Jiayi, ZHANG Guangdi, GE Xiaoli, ZHANG Qiling. Characteristics and prediction of geochemical environment of human selenium deficiency and excess[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.
- [18] 江西省质量技术监督局. 富硒食品硒含量分类标准: DB 36/T 566—2017[S]. 2017.
Bureau of Quality and Technical Supervision of Jiangxi Province. Classification standard of selenium content in selenium rich food: DB 36/T 566—2017 [S]. 2017.
- [19] 关奇, 杨万政, 温中平. 沙棘果皮、叶中多糖的提取及其抑菌作用研究[J]. 水资源开发与管理, 2005(2): 17-20.
GUAN Qi, YANG Wanzheng, WEN Zhongping. Extraction of polysaccharide from seabuckthorn pericarp and leaves and its bacteriostasis research[J]. Water Resources Development and Management, 2005(2): 17-20.
- [20] 张海容. 沙棘果皮多糖清除氧自由基的活性研究[J]. 植物学通报, 2005, 22(6): 703-707.
ZHANG Hairong. Study of the scavenging radical activities of polysaccharide of hippophae rhamnoides fruit peel[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2005, 22(6): 703-707.
- [21] 薛竟一, 王瑞雪, 魏蓉, 张朝红. 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.
XUE Jingyi, WANG Ruixue, WEI Rong, ZHANG Chaohong. Effect of foliar-spraying Na_2SeO_3 on the fruit quality and leaf senescence of grapevine[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2018(6): 161-165.
- [22] 刘仁道, 黄仁华, 吴世权, 何仕松. 外源 Na_2SeO_3 对红阳猕猴桃果实品质、不同组织硒含量及形态的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 15(33): 23-35.
LIU Rendao, HUANG Renhua, WU Shiquan, HE Shisong. Effects of exogenous Na_2SeO_3 on fruit quality, selenium content and morphology in different tissues of actinidia chinensis[J]. Food Industry Science and Technology, 2012, 15(33): 23-35.
- [23] 盛艳, 吴泽柱. 沙棘的营养保健功能及其开发利用研究进展[J]. 农产品加工, 2017, 439(9): 58-63.
SHENG Yan, WU Zezhu. Research progress in nutrition and health care functions of sea buckthorn and its development and utilization[J]. Farm Products Processing, 2017, 439(9): 58-63.
- [24] VAHID B G, MUSTAFA G, ALI Y. *Hippophae rhamnoides* L.: chromatographic methods to determine chemical composition, use in traditional medicine and pharmacological effects[J]. Journal of Chromatography B, 2004, 812(1/2): 291.
- [25] CHEN C, XU X M, CHEN Y. Identification, quantification and antioxidant activity of acylated flavonol glycosides from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 1573.
- [26] 张程慧, 祁玉霞, 程康蓉, 冯叙桥, 陈叙生. 沙棘的综合价值研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(22): 331-335.
ZHANG Chenghui, QI Yuxia, CHENG Kangrong, FENG Xuqiao, CHEN Xusheng. Advances on research and applications of hippophae rhamnoides[J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(22): 331-335.
- [27] 艾木拉古丽·阿布拉, 张迎春. 沙棘果对小鼠血糖及血脂的影响[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2008, 27 (4) : 39-41.
Amuraguli·Abra, ZHANG Yingchun. Effect on mice blood sugar and blood grease with hippophae[J]. Journal of Xinjiang Normal University (Natural Sciences Edition), 2008, 27(4): 39-41.
- [28] 李淑珍, 武飞, 陈月林, 段云. 沙棘活性成分及功效研究进展[J]. 中国民族民间医药, 2015, 24(1): 51-53.
LI Shuzhen, WU Fei, CHEN Yuelin, DUAN Yun. Research progress of hippophae active ingredients and efficacy[J]. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2015, 24(1): 51-53.