

## 外源补硒对农产品增产提质的研究进展

王德美<sup>1</sup>, 范成五<sup>2</sup>, 刘桂华<sup>2</sup>, 陈晓燕<sup>3</sup>, 秦松<sup>2\*</sup>

(1. 贵州大学, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州省农业科学院土壤肥料研究所, 贵州贵阳 550006; 3. 开阳县硒产业发展中心, 贵州开阳 550300)

**摘要** 硒是人体不可缺少的微量元素之一, 缺硒会对身体产生不利影响。食用富集硒元素的农产品是缺硒人群最有效的补硒途径。土壤中硒含量因受母质影响普遍较低, 土壤理化性质对其有效性影响强烈, 导致作物吸收的硒较少。施用适量硒肥能增加作物硒含量、提高作物产量、改善作物品质。简要综述了植物体内硒形态、转化及影响因素, 不同作物对硒肥的响应, 硒肥种类和硒肥施用技术等方面研究动态, 期为农产品增产提质施硒关键技术及应用提供参考。

**关键词** 硒肥; 农产品; 增产提质; 施用技术

中图分类号 S147 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)20-0014-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.20.004



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Research Progress of Exogenous Selenium Supplement on Yield and Quality of Agricultural Products

WANG De-mei<sup>1</sup>, FAN Cheng-wu<sup>2</sup>, LIU Gui-hua<sup>2</sup> et al (1. Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025; 2. Institute of Soil and Fertilizer, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang, Guizhou 550006)

**Abstract** Selenium is one of the indispensable trace elements in human body, and lack of selenium will have adverse effects on the body. Eating selenium enriched agricultural products is the most effective way to supplement selenium for selenium deficient people. The content of selenium in soil is generally low due to the influence of parent material, and the physical and chemical properties of soil have a strong influence on its availability, resulting in less selenium absorbed by crops. Applying appropriate amount of selenium fertilizer can increase selenium content, increase crop yield and improve crop quality. This paper briefly reviewed the research trends of selenium forms, transformation and influencing factors in plants, the response of different crops to selenium fertilizer, the types of selenium fertilizer and the application technology of selenium fertilizer, in order to provide the reference for the key technology and application of increasing yield and improving quality of agricultural products.

**Key words** Selenium fertilizer; Agriculture products; Increase production and improve quality; Application technology

大部分土壤的含硒量在 0.01~2.00 mg/kg, 平均硒含量是 0.40 mg/kg<sup>[1]</sup>, 我国土壤硒含量背景值为 0.21 mg/kg<sup>[2]</sup>。食物中硒的正常含量应在 0.1~5.0 mg/kg, 过高或过低的硒摄入量都会引发机体功能受损<sup>[3]</sup>。土壤缺硒, 一般导致作物缺硒。目前, 缺硒是一个全球性的问题, 数以亿计的人口膳食结构中硒的来源较少, 导致人体内硒含量一直处于低水平状态<sup>[4]</sup>。适量补充硒元素, 可增强人体免疫力、提高抗氧化能力阻断病毒突变。人体自身无法合成硒, 生物源有机硒是人体最重要的硒源。因此, 食用富硒农产品就成为缺硒地区人群最经济、最有效、最安全的补硒途径<sup>[5-6]</sup>。

目前, 国内对硒肥的研究主要集中在提高果蔬和粮食作物的产量、品质上, 有研究表明, 硒肥可以改善水果营养品质, 果肉的 V<sub>c</sub>、可溶性糖以及可溶性蛋白质含量的提高<sup>[7]</sup>; 硒肥能促进蔬菜的生长发育, 提高蔬菜产量, 大幅度提高品质, 部分蔬菜叶片硒的含量均大于 0.02 mg/kg<sup>[8]</sup>, 食用部分的硒含量达到富硒蔬菜标准。为此, 笔者简要综述了近年来国内学者关于植物体内硒形态、转化及影响因素, 不同作物对硒肥的响应, 硒肥种类和硒肥施用技术等方面的研究动态, 期为农产品增产提质施硒关键技术提供参考。

## 1 植物体内硒形态、转化及影响因素

### 1.1 植物体内硒的形态及转化 植物体内的硒元素通常以

有机、无机形式并存, 还有少部分挥发态硒。3 种形态硒主要以有机硒为主, 其以可溶性蛋白形式存在<sup>[9]</sup>; 无机态硒次之, 硒酸盐占大部分, 亚硒酸盐和元素硒只有少许; 挥发态硒最少。小麦籽粒对于有机态硒的吸收占总硒含量的 80.0%~92.3%<sup>[10]</sup>。植物体主要通过根系及叶片吸收累积硒素, 根系与土壤接触汲取无机态的硒, 还有少部分的有机硒, 叶片主要吸收大气中的硒源<sup>[11]</sup>。硒的形态是影响植物中硒的运输形式以及植物的吸收状况的重要原因<sup>[12]</sup>。硒酸盐被作物根部吸收之后, 在木质部通过导管这一媒介往上运输, 基本不会改变组分, 但当硒酸盐被运输至叶片时, 硒酸盐则转化为亚硒酸盐。亚硒酸盐被作物吸收后会发生一些形态上的转变, 不能运输到地上部, 只能够累积于根部, 主要以硒甲基半胱氨酸、硒氧化物等形态存在<sup>[13]</sup>。

**1.2 影响作物吸收硒的因素** 作物通过根系和叶片向土壤及空气中吸收硒, 同时通过叶片向空气中排放硒。植物吸收的硒与排出硒的结构状态和数量是不同的。另外, 多种外部因素影响作物对硒的吸收, 包括土壤中的硒总量和有效硒含量、作物种植模式、土壤的黏性和有机质含量、土壤阳离子交换量(CEC)和 Eh 值、共存元素的相互关系等。在 pH 偏高的土壤中, 有利于硒溶解, 增加可溶性硒含量, 植物可吸收利用的可溶性硒增多; 而在 pH 偏低的土壤中, 可溶态硒含量少, 能被植物吸收利用的有效态硒减少<sup>[14]</sup>。有研究表明, 当土壤 pH 在 4.5~7.0 时, pH 越高, 水溶态的硒含量越多<sup>[15]</sup>。在土壤有机质含量高的地区, 硒含量相对于有机质贫瘠的地区要高很多, 说明土壤有机质富集硒的效果显著<sup>[16]</sup>, 黄春雷

**基金项目** 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2019]2368号, 黔科合支撑[2018]2338号)。

**作者简介** 王德美(1995—), 女, 贵州铜仁人, 硕士研究生, 研究方向: 土壤学。\* 通信作者, 研究员, 博士, 硕士生导师, 从事土壤肥料与农业环境研究。

**收稿日期** 2021-03-02

等<sup>[17]</sup>进一步证实了这一观点,富硒土壤区的土壤含硒量与土壤有机质呈显著正相关。另有研究表明,水稻吸收硒素与土壤 Eh 值有关,干湿交替和好氧条件下可提高土壤 Eh 值进而显著影响土壤中的有效态硒含量增加,结果表明干湿交替灌溉的水稻籽粒硒含量高淹水灌溉,每 1 kg 水稻籽粒硒含量较淹水灌溉高出 0.16 mg<sup>[18]</sup>。

## 2 不同作物对硒肥的响应

### 2.1 粮食作物

研究表明,叶面喷施亚硒酸钠可显著提高小麦籽粒的总硒含量,最高可达 2.515 5 mg/kg,为空白组的 35.8 倍<sup>[19]</sup>。硒肥的施用对水稻籽粒中的硒含量也有促进作用,籽粒蛋白质含量及秸秆含硒量随着外源硒量的增加得到改善,含量分别增加 10.45% 和 0.443 mg/kg<sup>[20]</sup>。低浓度的亚硒酸钠可以促进谷子的健康生长,谷子籽粒的可溶性糖、可溶性蛋白质含量分别为 6.72% 和 8.41 mg/g,分别增加了 42.68% 和 109.73%;籽粒的含硒量可达 0.331 mg/kg,是对照的 7.2 倍;但高浓度的外源硒会阻碍谷子籽粒的生长进而产生毒害<sup>[21]</sup>。给硒含量贫瘠的地区添加外源硒,可以有效提高土壤环境的含硒量,从而加大谷子对硒元素的吸收积累<sup>[22-23]</sup>。穆婷婷等<sup>[24-25]</sup>研究发现,低浓度的硒处理谷子籽粒粗蛋白、赖氨酸、叶酸含量分别升高了 13.9%、17.9% 和 7.5%,谷子品质改善;依次在水稻的苗期、抽穗期、灌浆期喷施硒肥,能够有效提高籽粒的硒含量,籽粒中的有机硒转化率分别较对照提高 4~6 百分点,其中在稻谷灌浆期喷施硒肥后,其籽粒含硒量的累积程度最好,达 0.28 mg/kg,其次为抽穗期。

研究表明,添加适当浓度的硒酸钠、亚硒酸钠可促进小麦生长,增强其抗氧化酶活性<sup>[26]</sup>。叶面喷施 116 g/hm<sup>2</sup> 的亚硒酸钠可使小麦籽粒中的硒含量平均提高至 647.8 μg/kg,而叶面喷施 100 g/hm<sup>2</sup> 的硒酸钠甚至可以将籽粒硒含量增加至 2 619.0 μg/kg<sup>[27-28]</sup>。在甜玉米的灌浆前期适量喷施富硒营养素可提高甜玉米的产量及硒含量,改善甜玉米的外观品质,硒含量达 0.17 mg/kg,硒玉米纯收益高达 29 910 元/hm<sup>2</sup>,较对照组提高 53.5%<sup>[29]</sup>。喷施一定含量的硒肥于大豆叶表面上,可以提高大豆的产量与含硒量,其蛋白质、蛋脂总含量均比对照组增加,其中蛋白质、蛋脂含量较高,分别可达 42.11%、63.84%<sup>[30]</sup>。喷施硒肥能改善红小豆的部分品质,施硒量为 45 g/hm<sup>2</sup> 处理的籽粒蛋白质含量增加 11.91%,但籽粒的脂肪含量增加效果不显著<sup>[31]</sup>。

### 2.2 蔬菜作物

富硒蔬菜营养价值丰富,口感良好。一定浓度的外源硒可以增加部分蔬菜的叶绿素含量,提高其光合作用。添加 4 mg/L 浓度的硒肥对提高生菜叶绿素含量有显著效果,并适当缓解逆境胁迫对植物叶绿素的损伤<sup>[32-33]</sup>,叶绿素含量达 0.72 mg/g,较对照增加了 13.8%。外源补充适量硒肥(0.5 mg/L 农用硒肥)可增加生菜干物质积累量,产量提高 40%,硒含量增加 43.02 倍并降低生菜 20.87% 的硝酸盐含量<sup>[34]</sup>。大蒜施用外源硒肥,与空白相比,叶片颜色更绿,随着硒肥浓度的增加,大蒜的硒含量相应增加,硒含量为 6.90 mg/kg<sup>[35]</sup>。施用硒肥可显著提高辣椒果实中的硒含量,

当辣椒果实的硒含量达最高值(128.81 μg/kg)时,与空白相比,硒含量增加 127.09 μg/kg,其土壤的施硒量是 20 kg/hm<sup>2</sup><sup>[36]</sup>。施用 0.3 mg/kg 的硒肥能提高油麦菜的品质,叶绿素及可溶性糖均有一定程度的提高,蛋白质的含量随着施硒浓度的提高而增加,表现为正抛物线趋势,蛋白质的最高含量达 90 μg/mL<sup>[37]</sup>。相关研究表明,施用硒肥可加强番茄对硒的富集及转运,适宜的硒浓度能够增加番茄产量、促进矿质元素的吸收和改善果实品质,当外源硒浓度为 5.00 μmol/L 时,番茄产量达 103 651.8 kg/hm<sup>2</sup>,可最大程度使番茄增产增效<sup>[38]</sup>。在胡萝卜等块根类作物上,适量浓度外源硒均能促进增产、提质及增加硒含量等方面的作用,叶面喷施 1.0 mg/L 的处理产量最高,达 77.167 kg/hm<sup>2</sup><sup>[39]</sup>;添加缓释硒肥等新型硒肥,较常规外源硒更能够增加菠菜的生物量,单株干重增加 5.7%,菠菜硒含量为(0.22±0.09)mg/kg,比不添加硒素的缓效肥的硒含量增加 21.14 倍<sup>[40]</sup>。

### 2.3 果类作物

含有丰富硒元素的水果产品,营养价值和价格高,需求大,市场空间广阔。生产实践中,一般通过添加外源硒补充果类作物的硒含量,增加水果产量。徐锴等<sup>[41]</sup>研究表明在“早酥”梨树叶面喷施硒肥,可提高果实 V<sub>c</sub> 含量较对照组增加 32.47% 以及硒元素含量可提高 4.25~12.25 倍。提高硒肥的喷施浓度有助于增加梨果实的硒含量,增强对矿质元素的累积,有利于果实的贮藏,较空白组各矿质元素增加幅度为 13.78%~64.29%,贮藏期延长,与对照相比果实发病率明显降低了 58.78%<sup>[42]</sup>。氨基酸硒肥能显著改善梨果实口感,华酥梨在果实发育期、盛花期喷施氨基酸硒肥,可分别减少 47.6% 和 42.1% 的果实石细胞含量;果肉中硒含量显著增加,为不施硒肥的 8.8 倍和 16.3 倍,风味品质明显提升<sup>[43]</sup>。苹果喷施外源硒可达到相同效果<sup>[44]</sup>。施用硒肥能很好地改善葡萄的品质,效果较好的聚福葡萄硒含量 71.59 μg/kg,总酸含量降低 0.17%<sup>[45]</sup>。硒肥以喷施方式效果最佳,可显著提高葡萄产量,单株产量达 3.99 kg,较空白组增加 4.45%,增加葡萄果肉中的硒含量较对照增加 4.3~9.0 倍,V<sub>c</sub> 和可溶性糖含量分别提高 43.2%、17.4%<sup>[46-48]</sup>。在其他藤本果树猕猴桃上施用硒肥同样表现出富硒、增产、提质等方面的积极作用<sup>[49]</sup>。喷施 500 倍液的氨基多糖硒肥,可增加西瓜叶片的叶绿素含量,减少胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,同时提高 SOD、POD 的活性,降低 MDA 含量,增强植株对逆境环境的抗性,增强植株对硒的吸收利用,西瓜果肉中硒、可溶性糖、V<sub>c</sub>、番茄红素含量分别增加 12.19%、24.21%、14.63%、14.98%,可滴定酸含量降低 20.45%,西瓜品质改善<sup>[6]</sup>。西瓜叶面喷施 15~30 mg/L 的外源硒肥,较对照增产 14.2%~17.3%,果实可溶性固形物含量提高 1.50~1.64 百分点,果实总硒含量增加 18~20 倍<sup>[50]</sup>。相关研究结果显示,施用硒肥可以大幅度提高李子、冬枣等核果类果实的含硒量,达富硒水果标准,营养品质明显改善<sup>[51-52]</sup>。

### 2.4 菌类

食用菌的生长、子实体硒的含量等都可以通过添加一定浓度的外源硒肥进行改善<sup>[53]</sup>。在猴头菇培养料中加入低含量的硒(100 mg/kg),菌丝体的酶活性得到改善,猴头

菇快速生长,与不加外源硒相比,猴头菇子实体的多糖提高28.53%,同时猴头菇其他部分营养元素含量得到相应的改善<sup>[54]</sup>。施用5 μg/mL的外源硒,茶树菇菌丝的多糖含量较对照组提高6.8%,V<sub>C</sub>含量为空白组的1.7~2.1倍,脂肪含量降低37.4%,茶树菇的营养品质提高<sup>[55]</sup>。有研究表明,通过添加亚硒酸钠或亚硒酸以0~100 μg/mL的浓度富硒;菌丝体干物质中硒的浓度从0.001 mg/g(在不含硒的培养基中培养的菌丝体)上升至50 mg/g(在含硒100 μg/mL的培养基中培养的菌丝体);当培养基中硒浓度低于20 μg/mL时,菌丝体生长速率最高(0.46 cm/d)<sup>[56]</sup>。在体外,硒化菌丝对硒的生物利用度与硒的制备方式密切相关,干菌丝和菌丝冻干的硒生物利用度分别为60%和82%;与对照相比,施硒(40 μg/g 硒酸盐和亚硒酸盐)使蛹虫草子实体硒含量分别提高130.9和128.1 μg/g,而总氨基酸含量保持稳定<sup>[57]</sup>。通

过液体培养秀珍菇菌丝营养代谢时,添加3.0 μg/mL的外源硒,有机硒含量、蛋白质及灰分含量显著高于对照组,分别为41.24 mg/kg、9.86%、5.73%<sup>[58]</sup>。祝传望等<sup>[59]</sup>研究发现,随着外源硒浓度的提高,平菇子实体的硒含量改善,最高含量达77.45 μg/g,且菌盖和菌柄的硒含量与栽培料中添加的外源硒呈正相关,相关系数(*r*)分别为0.998 7、0.991 9。

### 3 硒肥的施用技术

**3.1 硒肥种类** 硒肥的主要类别为无机硒肥、有机硒肥,以及少量生物硒肥、纳米硒肥和缓释硒肥等新型硒肥。无机硒肥具有有效成分高、易形成水溶性肥料的特点,矿质元素较多。通常是在无机肥料中加入一定量的硒肥,例如亚硒酸钠、硒矿粉和硒酸钠等制成。有机硒肥以氨基酸硒肥、腐殖酸硒肥等为主,能够明显提高土壤的肥力,效果显著、利用率较高。硒肥种类及其优缺点见表1<sup>[18]</sup>。

表1 硒肥种类及其优缺点

Table 1 Types of selenium fertilizers and their advantages and disadvantages

硒肥种类 Types of selenium fertilizers	优点 Advantages	缺点 Disadvantages
有机硒肥 Organic selenium fertilizer	作为土壤改良剂,具有利用率高、效果显著等特点	肥效期有限,只是一种辅助性肥料
无机硒肥 Inorganic selenium fertilizer	有效成分高,易溶于水,易被作物吸收利用	价格昂贵,容易造成土壤硒污染

**3.2 硒肥施用技术** 土壤基施、叶面喷施和淋施是现今常用的硒肥施用方式。不同施用方式效果比较见表2。土壤基施硒肥须检测分析土壤的理化性质,投资大、硒肥用量高;拌种因作物品种不同和施用硒肥的浓度不易控制,作物富硒效果不明显。加之2种施用硒肥方式在一定程度上会产生污染。

为此,在富硒农产品的施硒方式多采用具有吸收效果好、用量小、安全少污染等特性的叶面喷施。叶面喷施作物富硒成效明显,对于土壤含硒量低的地区,是一项操作简便、经济实惠的方法<sup>[60]</sup>。

表2 不同施硒方式比较

Table 2 Comparison of different selenium application methods

序号 No.	施硒方式 Selenium application method	效果比较 Comparison of effects	参考文献 References
1	土壤施用与叶面喷施	花生中可溶性蛋白质的含量在叶面施硒的条件下最高,在土壤施硒的条件下最低	[61]
2	拌种与喷施	拌种处理谷子籽粒中硒含量明显低于喷施处理	[62]
3	叶面喷施与淋根施硒	叶面喷施硒肥相对于淋根施硒肥途径更能明显增加双低油菜硒含量	[63]
4	土施硒肥与叶面喷施	与土施相比,经过喷施处理后促进了梨对硒的吸收,并且其吸收和积累效率高	[43]
5	叶面喷施与根部淋施	根部淋施没有叶面喷施对红衣花生对硒的吸收效果好	[64]

## 4 结论与展望

为满足人们对富硒农产品的需求,在硒素贫乏的土壤种植的富硒农产品只有通过外源补硒这一途径,土壤施硒、喷施硒肥于作物表面、拌种等施硒方式均可使作物吸收累积硒素,提高作物产量、改善作物品质以及增加农产品硒含量,部分农产品的有效硒含量占比高,达到富硒农产品。土壤pH、有机质是影响硒的有效性的主要因素。最佳的施用方式、施用时期、施用量及硒转化效率因作物不同而异。简言之,施用适量硒肥对于粮食作物、蔬菜作物、果类作物和菌类作物有积极影响,不仅能提高作物产量和作物硒含量,还对作物体内的矿质元素积累、品质的提高具有良好促进效果。但硒肥的施用量不易掌控,硒含量超过限量标准,可对人和动物产生毒害作用。硒肥施用方式以喷施最佳,增产效果以蔬菜作物最好,其次为果类作物;品质指标改善以V<sub>C</sub>、作物硒含

量、蛋白质较明显。

目前,硒肥对提高作物产量、硒含量、品质等方面的研究颇多,但对硒肥与其他肥料混合施用及其交互作用研究较少,例如与氮肥的结合施用研究较少,深入探讨硒与作物营养元素的配合施用技术及其交互效应,可进一步发挥硒与作物营养元素的功能。硒是一种微量元素,缺乏与过量范围尺度较小,不同土壤特性、不同栽培措施,硒的生物有效性不同,在低硒地区通过外源补硒措施不当,易造成毒害,深入研究不同土壤特性、不同栽培措施下的安全补硒阈值,是科学合理施用硒肥应予关注的重点。作物的不同生育期对硒元素的有效吸收及转化效率不同,探明不同作物的硒元素最佳有效吸收与转化效率生育期,可为提高作物可食部位的有机硒含量提供理论依据,是作物富硒技术的重要基础研究方向。

## 参考文献

- [1] FORDYCE F M. Selenium deficiency and toxicity in the environment [M]//SELINUS O. Essentials of medical geology. Berlin: Springer Netherlands, 2013.
- [2] 徐文. 硒的生物有效性及植物对硒的吸收[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(23): 46-47.
- [3] 李金峰, 聂兆君, 赵鹏, 等. 土壤—植物系统中硒营养的研究进展[J]. 南方农业学报, 2016, 47(5): 649-656.
- [4] 王琪, 刘禹含, 杨景娜, 等. 新疆伊犁土壤硒资源分布及与土壤性质的关系分析[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(6): 555-559.
- [5] 王沛, 张小村, 孔凡美, 等. 小麦籽粒硒在面粉及其馒头加工过程中的变化研究[J]. 生物技术进展, 2016, 6(6): 422-427.
- [6] 王玮, 汪国蓬, 梁双林, 等. 叶面喷施氨基多糖硒肥对西瓜生长及产量品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(6): 1413-1420.
- [7] 史祥宾, 刘凤之, 王孝娣, 等. 氨基酸硒叶面肥对梨果实硒含量及品质的影响[J]. 中国南方果树, 2016, 45(5): 105-107, 112.
- [8] 谯祖勤, 陈思帆, 周昌平, 等. 硒肥不同施用量对生菜生长品质及硒含量的影响[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(4): 54-56.
- [9] 赵中秋, 郑海雷, 张春光, 等. 土壤硒及其与植物硒营养的关系[J]. 生态学杂志, 2003, 22(1): 22-25.
- [10] 黄思思, 余侃, 饶登峰, 等. 生物有机硒对小麦产量及硒含量的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(10): 19-26.
- [11] 赵敏. 富硒水稻基因型筛选及水稻和水果富硒、铁、锌技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [12] 周鑫斌, 于淑惠, 赖凡. 水稻品种间吸收和转运硒特性差异机制研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 594-599.
- [13] 王晓芳, 陈思罗, 罗章, 等. 植物对硒的吸收转运和形态转化机制[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(6): 539-544.
- [14] 兰叶青, 毛景东, 计维浓. 土壤中硒的形态[J]. 环境科学, 1994, 15(4): 56-58.
- [15] 潘金德, 李晓春, 毛春国, 等. 瑞安市农产地土壤硒含量、形态与分布及其与土壤性质的关系[J]. 浙江农业科学, 2007, 48(6): 682-684.
- [16] 韩笑, 周越, 吴文良, 等. 富硒土壤硒含量及其与土壤理化性质的关系: 以江西丰城为例[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(6): 1177-1183.
- [17] 黄春雷, 宋明义, 魏迎春. 浙中典型富硒土壤区土壤硒含量的影响因素探讨[J]. 环境科学, 2013, 34(11): 4405-4410.
- [18] 王瑞昕, 杨静, 方正, 等. 水分管理对水稻籽粒硒积累及根际土壤细菌群落多样性的影响[J/OL]. 土壤学报, 2020-09-22 [2021-01-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20200922.1255.002.html>.
- [19] 张平平, 马鸿翔, 姚金保, 等. 叶面喷施硒肥对小麦籽粒及面粉硒含量的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(11): 2254-2260.
- [20] 王小英, 薛志和, 强雨竹, 等. 施用硒肥对陕北地区谷子品质的影响[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(1): 32-34.
- [21] 高贞攀, 郭平毅, 原向阳, 等. 叶面喷施亚硒酸钠对谷子籽粒含硒量及品质的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2015, 35(2): 157-161.
- [22] 伊虎英, 郝玉怀, 鱼宏斌, 等. 硒肥对低硒区谷子籽粒含硒量及产量的影响[J]. 土壤通报, 1991, 22(1): 47.
- [23] 兰敏, 尹美强, 温银元, 等. 纳米硒对谷子生物量和微量元素含量的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(4): 515-519, 555.
- [24] 穆婷婷, 杜慧玲, 张福耀, 等. 外源硒对谷子生理特性、硒含量及其产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(1): 51-63.
- [25] 穆婷婷, 张福耀, 李志华, 等. 不同时期施硒对谷子硒含量、有机硒转化率及谷子品质的影响[J]. 华北农学报, 2018, 33(6): 193-198.
- [26] 付小丽. 不同硒源对小麦和油菜生长及硒累积的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [27] 张翼, 王宏富. 不同生育时期喷施硒肥对谷子籽粒含硒量的影响[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(14): 85-86, 235.
- [28] 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.
- [29] 罗连光, 郭亚飞, 杨勇, 等. 富硒植物营养素对桂东山区夏甜玉米产量及硒含量的影响[J]. 作物研究, 2013, 27(4): 310-313.
- [30] 卫玲, 肖俊红, 刘博, 等. 硒肥对黑大豆农艺性状、产量及品质的影响[J]. 山西农业科学, 2019, 47(9): 1581-1584.
- [31] 罗金华, 胡承伟, 李必钦, 等. 叶面喷施硒肥对红小豆品质及硒含量的影响[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2018, 36(1): 15-17.
- [32] 冯两蕊, 杜慧玲, 王曰鑫. 叶面喷施硒对生菜富硒量及产量与品质的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2007, 27(3): 291-294.
- [33] 秦成, 裴红宾, 吴晓薇, 等. 外源硒对铅污染下芥麦生长及生理特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(4): 447-453.
- [34] 孙崇庆, 马晓春, 高艳明, 等. 硒肥对植物工厂水培生菜生长及品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(6): 24-29.
- [35] 王永勤, 曹家树, 李建华, 等. 施硒对大蒜产量和含硒量的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(5): 425-429.
- [36] 余小兰, 张静, 邹雨坤, 等. 不同施硒量对辣椒硒、磷、钾含量及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(24): 146-149.
- [37] 薛原, 刘曙光, 宋娇, 等. 硒肥对油菜产量和品质的影响[J]. 山西农业科学, 2019, 47(9): 1588-1591.
- [38] 李乐, 田敏娟, 高艳明, 等. 硒肥对基质培番茄生长和矿质元素积累的影响[J]. 浙江农业学报, 2020, 32(2): 253-261.
- [39] 杨会芳, 梁新安, 常介田, 等. 叶面喷施硒肥对不同蔬菜硒富集及产量的影响[J]. 北方园艺, 2014(11): 158-161.
- [40] 向天勇, 何文辉, 张正红, 等. 含硒缓释复合肥在菠菜生产上的应用[J]. 浙江农业科学, 2010, 51(2): 253-255.
- [41] 徐锴, 赵德英, 袁继存, 等. 叶面喷施硒肥对梨果实性状的影响[J]. 北方园艺, 2019(22): 35-40.
- [42] 刘群龙, 郝燕燕, 郝国伟, 等. 叶面喷施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.
- [43] 王斐, 姜淑琴, 欧春青, 等. 不同时期和不同方式施用氨基酸硒肥对梨树的影响[J]. 中国南方果树, 2013, 42(6): 89-91.
- [44] 郝浩浩, 郑婷婷, 李梅, 等. 绿色富硒苹果生产技术研究[J]. 现代农业科技, 2016(15): 66, 71.
- [45] 吴代东, 吴艳艳, 黄永才, 等. 不同硒肥类型对凌丰葡萄含硒量及品质的影响[J]. 中国南方果树, 2018, 47(4): 132-134.
- [46] 孙洪强, 庞占荣, 李晓阳, 等. 硒肥在奥迪亚无核葡萄上的应用效果[J]. 果树实用技术与信息, 2011(5): 27.
- [47] 阙小峰, 司文会, 徐良, 等. 魏可葡萄叶面肥富硒的应用效果[J]. 园艺与种苗, 2012, 32(6): 84-86.
- [48] 郑晓翠, 王海波, 王孝娣, 等. 氨基酸硒对露地栽培巨峰葡萄果实品质及叶片质量的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2013(3): 15-17.
- [49] 李亚敏, 姬海宇. 猕猴桃对硒的吸收、分布、积累特性的研究[J]. 河北林果研究, 2011, 26(4): 385-388.
- [50] 肖真真, 李启明, 焦自高, 等. 叶面喷施外源硒营养液对甜瓜产量和品质的影响[J]. 蔬菜, 2019(9): 23-27.
- [51] 戴志华, 高菲, 赵敏, 等. 作物对硒的吸收利用及合理施用硒肥[J]. 生物技术进展, 2017, 7(5): 415-420.
- [52] 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.
- [53] 胡婷, 惠改芳, 赵桂真, 等. 富硒食用菌研究进展[J]. 食用菌学报, 2019, 26(1): 68-76.
- [54] 李好. 富硒猴头栽培及其药理活性初探[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010.
- [55] 王世平, 毛慧玲, 欧阳连, 等. 硒元素对茶树菇 As-1 菌丝营养成分的影响研究[J]. 食用菌, 2010, 32(2): 68-69, 73.
- [56] TURLO J, GUTKOWSKA B, HEROLD F, et al. Optimization of selenium-enriched mycelium of *Lentinula edodes* (Berk.) pegler as a food supplement[J]. Food biotechnology, 2010, 24(2): 180-196.
- [57] HU T, LIANG Y, ZHAO G S, et al. Selenium biofortification and antioxidant activity in *Cordyceps militaris* supplied with selenate, selenite, or selenomethionine[J]. Biological trace element research, 2019, 187(2): 553-561.
- [58] 张炎灼. 液体培养富硒秀珍菇菌丝营养成分代谢动态规律研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- [59] 祝传望, 刘安军, 郑捷, 等. 硒酸精氨酸对富硒平菇子实体品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(6): 67-72.
- [60] 曾艳华, 程伟东, 覃兰秋, 等. 富硒玉米研究现状及广西富硒玉米产业前景展望[J]. 南方农业, 2015, 9(31): 41-45.
- [61] 吴钰澄. 不同施硒方式对花生中蛋白含量的影响[J]. 南方农机, 2018, 49(5): 63, 66.
- [62] 张鹏飞. 谷子硒肥肥效试验研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2010.
- [63] 黄光昱, 李必钦, 陈永波, 等. 硒肥不同施用方式对双低油菜产量和硒含量的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(12): 3018-3020, 3025.
- [64] 刘义明, 凌钊, 韩玉芬, 等. 施用硒肥对红衣花生硒含量的影响[J]. 作物杂志, 2016(2): 105-107.