

Effect of Foliar Spraying Selenium Fertilizer on Selenium Accumulation in Chinese Yam

Lin Jinyu^{1,2} Chen Qingqing^{2,4} Cao Sheng³ Zhang Zezhou²

Lu Yapu² Yin Xuebin^{1,2} Yan Huabing³ Wang Zhangmin^{2*}

1. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei;
2. Suzhou Setek. Co., LTD, Jiangsu Bio-Engineering Research Center for Selenium, Suzhou;
3. Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning;
4. Yichun University, Yichun

Abstract: To explore the effect of selenium fertilizer on the selenium content of Chinese yam in Guangxi region, field experiment was applied in this study. The study areas were Lijian Town in Nanning and RenHou Town in Yulin. GuiHuai 7 and Ziyu Chinese yam were taken as experiment materials, both grew in two study areas. Then the selenium fertilizer was sprayed at the tuber early stage, tuber enlargement stage and tubers maturation stage, and the amount respectively was 0 kg/hm², 10 kg/hm² and 25 kg/hm². In Nanning study area, spraying selenium fertilizer on the leaves at the tuber early stage and tuber enlargement stage could significantly increase the selenium content of Chinese yam, which was 6.5 times and 9.8 times of the control group ($p<0.05$), and the tuber enlargement stage was significantly higher than the early ($p<0.05$); The selenium content of Chinese yam was significantly increased by spraying

10 kg/hm² and 25 kg/hm² selenium fertilizer, which was 9.2 times and 10.4 times of the control group ($p<0.05$), but there was no significant difference between the two. The average selenium content in Guihuai 7 was higher than that in Ziyu. In Yulin study area, spraying selenium fertilizer on the leaves at the tuber early stage significantly increased selenium content of Chinese yam, which was 3.7 times that of control group ($p<0.05$); Application of 25 kg/hm² selenium fertilizer significantly increased selenium content of Chinese yam to 4.2 times of the control group ($p<0.05$); The average selenium content in Ziyu was higher than that in Guihuai 7. It is suitable to plant Guihuai 7 in Nanning area, and spraying 10 kg/hm² selenium fertilizer at tuber enlargement stage has the best effect. And it is suitable to plant Ziyu in Yulin area, and spraying 25 kg/hm² selenium fertilizer at tuber early stage has the best effect. The results of this study have guiding effects on the planting and foliar spraying of Chinese yam in Nanning and Yulin, Guangxi.

Key words: Selenium biofortification; Foliar spraying; Chinese yam varieties; Field test; Accumulation of selenium

Received: 2020-08-25; Accepted: 2020-08-31; Published: 2020-09-09

叶面喷施硒肥对淮山硒积累的影响

林锦钰^{1,2} 陈清清^{2,4} 曹 升³ 张泽洲² 鲁亚普² 尹雪斌^{1,2}
严华兵³ 王张民^{2*}

1. 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 合肥;
2. 苏州硒谷科技有限公司江苏省硒生物工程技术研究中心, 苏州;
3. 广西壮族自治区农业科学院经济作物研究所, 南宁;
4. 宜春学院, 宜春

邮箱: wzm19880108@163.com

摘要: 为了探究广西地区叶面喷施硒肥对淮山硒含量的影响, 本研究采用大田试验, 研究区域为南宁市武鸣县里建镇和玉林市玉州区仁厚镇, 在两个试验地均种植桂淮 7 号和紫玉淮山, 并分别在块茎初期、块茎膨大期和块茎成熟期喷施硒肥, 硒肥喷施量分别为 0 kg/hm^2 、 10 kg/hm^2 和 25 kg/hm^2 。结果表明, 南宁试验地在块茎初期和块茎膨大期叶面喷施硒肥均可显著提高淮山硒含量, 为对照组的 6.5 倍和 9.8 倍 ($p < 0.05$), 且块茎膨大期显著高于块茎初期 ($p < 0.05$); 喷施 10 kg/hm^2 和 25 kg/hm^2 硒肥, 淮山硒含量均显著提高, 为对照组的 9.2 倍和 10.4 倍 ($p < 0.05$), 但两者之间没有显著差异; 成熟后桂淮 7 号平均硒含量高于紫玉淮山。玉林试验地在块茎初期喷施叶面硒肥, 可显著提高淮山硒含量, 为对照组的 3.7 倍 ($p < 0.05$); 喷施 25 kg/hm^2 硒肥可将淮山硒含量显著提高为对照组的 4.2 倍 ($p < 0.05$); 成熟后紫玉淮山平均硒含量高于桂淮 7 号。因此, 南宁地区适宜种植桂淮 7 号, 并在块茎膨大期喷施 10 kg/hm^2 硒肥效果最佳; 玉林地区适宜种植紫玉淮山, 并在块茎初期喷施 25 kg/hm^2 的硒肥效果最佳。本研究结果对广西南宁、玉林地区的淮山种植和叶面喷施硒肥具有指导意义。

关键词: 硒生物营养强化; 叶面喷施; 淮山品种; 大田试验; 硒积累

收稿日期: 2020-08-25; 录用日期: 2020-08-31; 发表日期: 2020-09-09

Copyright © 2020 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1 引言

硒 (Se) 是人体必需的微量元素, 环境的硒低水平是导致地方性疾病如克

山病、大骨节病、地方性癌等的重要因素之一 [1] [2] [3] [4]。但人体自身无法合成所需的硒,只能通过膳食摄入。我国约有 72% 地区属于低硒和缺硒地区 [5],天然条件下,从食物中摄入硒含量,无法满足人体需求。因此,通过外源添加硒来提高土壤、作物的硒含量,是解决人体缺硒问题的有效途径。

叶面喷施硒肥是国内外均有应用的外源硒强化技术,具有针对性强、养分吸收运转快等优点 [6]。早在 1981 年, Gissel-Nielsen 等 [7] 发现叶面喷施硒肥 5 g/hm^2 可以使大麦、燕麦和小麦可食部分硒含量满足人和动物的营养要求。我国学者发现叶面喷施硒肥不仅可以提高水稻 [8] [9]、小麦 [10]、玉米 [11] 等主粮作物的硒含量,且对产量和经济效益有显著影响。除主粮作物外,叶面喷施硒肥还可提高荞麦硒含量 [12],对番茄、胡萝卜、大蒜等蔬菜的硒含量也有显著提高 [13]。

目前,叶面喷施硒肥的研究多集中于水稻、小麦等主粮,杂粮和蔬菜等作物。富硒山药能够增强山药本身营养和药用价值 [14],高浓度时有保护小鼠急性肝损伤的作用 [15]。采用叶面喷施技术,开展淮山硒生物营养强化研究较少,但广西是我国农业大省,也是富硒土壤面积最大的省份 [16],水稻、玉米、薯类、水果等均有广泛种植,是开发富硒农产品的绝佳之地。本研究选取南宁和玉林两地,进行大田试验,选取桂淮 7 号和紫玉淮山两种淮山,在块茎初期、块茎膨大期和块茎成熟期分别叶面喷施 0 kg/hm^2 、 10 kg/hm^2 和 20 kg/hm^2 ,通过测定淮山中硒含量,筛选出较好的品种、较适的施肥时期和施肥量。本研究不仅可以优化外源喷施硒肥条件,充实外源硒强化技术研究范围,同时可以为生产实践提供指导。

2 材料和方法

2.1 研究区域概况

本文研究区域选在广西壮族自治区南宁市和玉林市,均属亚热带季风性气候区。大田试验地执行具体地点选在南宁市武鸣县里建镇和玉林市玉州区仁厚

镇。里建镇试验地土壤总硒含量为 544.4 $\mu\text{g/kg}$ ，有效硒含量为 61.8 $\mu\text{g/kg}$ ，土壤类型为壤土，pH 为 6.2。仁厚镇试验地土壤总硒含量为 183.7 $\mu\text{g/kg}$ ，有效硒含量为 12.1 $\mu\text{g/kg}$ ，土壤类型为沙土，pH 为 4.9。

2.2 试验设计

大田试验所用淮山品种为“桂淮 7 号”和“紫玉淮山”，“桂淮 7 号”（以下简称 GH）由桂平市金田村家春合作社提供，“紫玉淮山”（以下简称 ZY）由玉林市兴业县大水庄园提供。2019 年 4 月 30 日，基施淮山生长必需的氮磷钾肥和有机肥，在里建镇和仁厚镇分别播种“桂淮 7 号”和“紫玉淮山”，并分别在块茎初期（2019 年 8 月 20 日）、块茎膨大期（2019 年 9 月 30 日）、块茎成熟期（2019 年 11 月 30 日）叶面喷施硒浓度为 2000 mg/kg 的液态硒肥（由广西农科院资源与环境研究所提供，为氨基酸螯合态硒），试验设 3 个处理：CK（不施加硒肥）、低硒组（10 kg/hm^2 ）、高硒组（25 kg/hm^2 ），具体处理方法见表 1。试验田划分为多个小区，每个小区 60 m^2 ，随机排列，3 次重复，各小区田埂用塑料薄膜进行包裹隔离，淮山生长过程中按大田常规栽培管理操作。

表 1 南宁和玉林大田试验处理方式

Table 1 Treatment method of Nanning and Yulin field test

施肥时间 Fertilization time		叶面喷施 Spraying on the leaf (kg/hm^2)	
		GH	ZY
块茎初期 Tubers early stage	CK	0	0
	低硒	10	10
	高硒	25	25
块茎膨大期 Tuber enlargement stage	CK	0	0
	低硒	10	10
	高硒	25	25
块茎成熟期 Tuber maturation stage	CK	0	0
	低硒	10	10
	高硒	25	25

2.3 样品采集、处理和硒浓度检测

在淮山成熟时（2020 年 1 月 10 日）进行采样，采样时，每个试验小区内采集 3 个淮山成熟块茎样品，密封保鲜，带回实验室。将所有样品用清水反复冲洗，再用去离子水冲洗，低温烘干，研磨，过 200 目筛，同一试验小区内的 3 个样品等质量混匀作为 1 个样品。样品干燥后进行粉碎，过 100 目筛，称取约 1.0 g 样品置于锥形瓶中，加入 8 mL 浓硝酸和 2 mL 高氯酸混合制成的混酸消解过夜，继续在电热板上梯度加热进行消解至冒白烟，取下冷却。加入 5 mL 盐酸，并用 18.2 MΩ·cm 超纯水定容至 25 mL，采用氢化物发生原子荧光光谱法（HG-AFS）测定样本的总硒含量 [17]。

2.4 数据分析和处理

本研究中，采用 Excel 2019 软件整理数据，并计算平均值和标准偏差，并绘制图件。此外，在不同实验条件下，成熟期淮山中硒含量，采用 SPSS 25.0 软件 ANOVA（Duncan's 法）进行显著性差异检验。

3 结果与分析

3.1 施肥时期对淮山硒积累的影响

从表 2 可知，在南宁里建镇试验田，在块茎初期和块茎膨大期喷施叶面硒肥，淮山硒含量分别为 $157.4 \pm 45.4 \mu\text{g/kg}$ 和 $238.3 \pm 51.8 \mu\text{g/kg}$ ，而 CK 组为 $24.4 \pm 4.9 \mu\text{g/kg}$ ，淮山硒含量显著提高，约 6.5 倍和 9.8 倍（ $p < 0.05$ ），且块茎膨大期组显著高于块茎初期组。但在块茎成熟期喷施硒肥，淮山硒含量为 $32.0 \pm 5.8 \mu\text{g/kg}$ ，与 CK 组无显著差异，由此说明在块茎初期和块茎膨大期叶面喷施硒肥可以有效提高淮山硒含量，并在块茎膨大期喷施效果最佳。

在玉林仁厚镇试验田，块茎初期喷施叶面硒肥，淮山硒含量为 $64.1 \pm 35.4 \mu\text{g/kg}$ ，为 CK 组（ $17.1 \pm 0.9 \mu\text{g/kg}$ ）的 3.7 倍（ $p < 0.05$ ），而块

茎膨大期和块茎成熟期喷施所得淮山硒含量为 $35.8 \pm 17.4 \mu\text{g/kg}$ 和 $24.1 \pm 7.2 \mu\text{g/kg}$ ，与 CK 组无显著差异，说明在块茎初期喷施硒肥最有利于提高淮山硒含量。

表 2 不同时间施肥后最终成熟淮山硒含量 ($\mu\text{g/kg}$)

Table 2 Selenium content of mature Chinese yam after fertilization at different time ($\mu\text{g/kg}$)

施肥时间 Fertilization time	研究地点 Study area	
	南宁 Nanning	玉林 Yulin
对照 CK	$24.4 \pm 4.9 \text{ C}$	$17.1 \pm 0.9 \text{ b}$
块茎初期 Tubers early stage	$157.4 \pm 45.4 \text{ B}$	$64.1 \pm 35.4 \text{ a}$
块茎膨大期 Tuber enlargement stage	$238.3 \pm 51.8 \text{ A}$	$35.8 \pm 17.4 \text{ ab}$
块茎成熟期 Tuber maturation stage	$32.0 \pm 5.8 \text{ C}$	$24.1 \pm 7.2 \text{ ab}$

注：数据后大写字母不同表示南宁各处理组间差异显著 ($p < 0.05$, $n = 8$)，数据后小写字母不同表示玉林各处理组间差异显著 ($p < 0.05$, $n = 8$)。

3.2 施肥量对淮山硒积累的影响

针对南宁试验地，在块茎膨大期分别喷施 10 kg/hm^2 (低硒) 和 25 kg/hm^2 (高硒) 硒肥，淮山硒含量分别为 $223.8 \pm 66.2 \mu\text{g/kg}$ 和 $252.9 \pm 35.1 \mu\text{g/kg}$ ，均显著提高为 CK 组 ($24.4 \pm 4.9 \mu\text{g/kg}$) 的 9.2 倍和 10.4 倍 ($p < 0.05$) (表 3)，但低硒组和高硒组之间没有显著差异。

针对玉林试验地，在块茎初期分别喷施 10 kg/hm^2 (低硒) 和 25 kg/hm^2 (高硒) 硒肥，低硒组淮山硒含量为 $53.2 \pm 41.7 \mu\text{g/kg}$ ，与 CK 组 ($17.1 \pm 0.9 \mu\text{g/kg}$) 无显著差异，但高硒组淮山硒含量显著提高至 $74.9 \pm 29.1 \mu\text{g/kg}$ ，为 CK 组的 4.2 倍 ($p < 0.05$) (表 3)。

表 3 南宁膨大期和玉林初期施加不同量硒肥后的成熟淮山硒含量 ($\mu\text{g/kg}$)Table 3 Selenium content of Chinese yam between tuber enlargement stage in Nanning and tuber early stage in Yulin after different selenium fertilization amount ($\mu\text{g/kg}$)

施肥量 Fertilization amount	研究地点及时期 Study area and time	
	南宁—膨大期 Nanning-enlargement stage	玉林—初期 Yulin-early stage
对照 CK	24.4 \pm 4.9 B	17.1 \pm 0.9 b
低硒 Low selenium	223.8 \pm 66.2 A	53.2 \pm 41.7 ab
高硒 High selenium	252.9 \pm 35.1 A	74.9 \pm 29.1 a

注：数据后大写字母不同表示南宁各处理组间差异显著 ($p < 0.05$, $n = 4$)，数据后小写字母不同表示玉林各处理组间差异显著 ($p < 0.05$, $n = 4$)。

3.3 淮山品种对硒积累的影响

根据淮山施肥时期和施肥量的结果，选择南宁里建镇淮山块茎膨大期喷施 10 kg/hm^2 和玉林仁厚镇淮山块茎初期喷施 25 kg/hm^2 作为本试验最佳施肥时期的最佳施肥量组，对比 GH 与 ZY 硒积累情况。由表 4 可知，在南宁里建镇试验田块茎膨大期喷施 10 kg/hm^2 硒肥，GH 硒含量为 $249.8 \pm 25.7 \mu\text{g/kg}$ ，ZY 硒含量为 $197.8 \pm 82.2 \mu\text{g/kg}$ ，两者之间没有显著差异。在玉林仁厚镇试验田块茎初期喷施 25 kg/hm^2 硒肥，GH 硒含量为 $54.3 \pm 17.6 \mu\text{g/kg}$ ，ZY 硒含量为 $95.5 \pm 23.2 \mu\text{g/kg}$ ，两者之间没有显著差异。

表 4 不同品种经施肥处理后的成熟淮山硒含量 ($\mu\text{g/kg}$)Table 4 Selenium content in different varieties of Chinese yam after different selenium fertilization treatment ($\mu\text{g/kg}$)

品种 Variety	研究地点及时期 Study area and time			
	南宁—CK Nanning-CK	南宁—膨大期 Nanning-enlargement stage	玉林—CK Yulin-CK	玉林—初期 Yulin-early stage
桂淮 7 号 GH	19.8 \pm 2.2 C	249.8 \pm 25.7 A	16.4 \pm 0.5 b	54.3 \pm 17.6 ab

续表

品种 Variety	研究地点及时期 Study area and time			
	南宁—CK Nanning—CK	南宁—膨大期 Nanning—enlargement stage	玉林—CK Yulin—CK	玉林—初期 Yulin—early stage
紫玉淮山 ZY	28.9 ± 1.4 BC	197.8 ± 82.2 AB	17.8 ± 0.5 b	95.5 ± 23.2 a

注：数据后大写字母不同表示南宁各处理组间差异显著（ $p < 0.05$ ， $n = 4$ ），数据后小写字母不同表示玉林不同处理组的品种间差异显著（ $p < 0.05$ ， $n = 4$ ）。

4 讨论

叶面喷施硒肥可以提高淮山硒含量，是外源硒强化的有效途径。赵玉文等 [18] 在马铃薯发棵期、现蕾—结薯期叶面喷施硒肥，马铃薯硒含量达 0.02 ~ 0.07 mg/kg，达到富硒马铃薯标准。臧传江等 [19] 对山药进行叶面喷施硒肥 200 倍液，山药含硒量为 0.27 mg/kg，比无喷施组增加 170%，与本试验结果一致。但是，过早进行叶面喷施硒肥并不一定有利于作物对外源硒的积累。不同处理下冬枣的硒含量依次为果实膨大期 > 白熟期 > 幼果期 > 展叶期，果实膨大期喷施硒肥，冬枣中总硒和有机硒含量的增幅最大，其中总硒量由 25 $\mu\text{g/kg}$ 提高到 76 $\mu\text{g/kg}$ [20]。

本研究中在淮山块茎初期、块茎膨大期和块茎成熟期分别喷施硒肥，硒含量存在明显差异，其中南宁里建镇试验田在块茎膨大期喷施效果更好，玉林仁厚镇试验田在块茎初期喷施效果更好（表 2），由此说明，在淮山块茎初期和块茎膨大期喷施硒肥淮山硒含量更高。地区间的差异可能是因土壤因素导致，由 1.1 内容可知，南宁试验地土壤总硒和有效硒含量显著高于玉林试验地（ $p < 0.05$ ），土壤硒含量较高，对作物的硒供应较充足，作物对叶面硒的富集能力主要取决于个体大小和叶龄 [21]，因此块茎初期对外源硒的富集能力弱，而在块茎膨大期淮山个体增大，富集能力增强，此时施硒可以显著提高淮山硒含量。

玉林仁厚镇试验田土壤总硒和有效硒含量较低，在低硒土壤条件下，土壤硒供应不足，施硒可以有效增加叶长、叶宽等 [21]，并且块茎初期未成熟的叶片角质层有大量空隙，幼龄叶的吸收功能较强 [22]，因此，在块茎初期施硒更有利于促进植株生长并提高对硒的富集能力。此外，两地适宜施肥时期不

同还可能与地区气温、降水量、土壤类型、土壤 pH 等因素有密切关系。

叶面喷施可以有效提高作物硒含量,但并不是施肥量越高效果就越好。李磊等 [23] 对辣椒喷施 5.00 mg/L 的硒溶液,辣椒的产量、硒含量和品质均有显著提高,但当施硒量过高时对辣椒并无增产作用。杨益花等 [24] 对稻谷进行不同施肥量 (7.5、15.0、22.5 g/hm²) 试验,结果表明 22.5 g/hm² 无法显著提高水稻产量和硒含量,最终选择了经济施用量 15.0 g/hm²。本研究在南宁块茎膨大期和玉林块茎初期探究不同施硒量对淮山硒含量的影响,发现在南宁试验田喷施 10 kg/hm² (低硒) 和 25 kg/hm² (高硒) 硒肥均可以提高淮山硒含量,但与低硒组相比,高硒组淮山硒含量无显著提高 (表 3); 在玉林试验田喷施硒肥 10 kg/hm²,淮山硒含量较 CK 组无显著提高,喷施硒肥 25 kg/hm²,可以显著提高淮山硒含量 (表 3)。淮山的生长情况会影响其自身对硒的吸收,土壤中硒含量不足,外源硒含量高有利于促进植物生长发育 [25],但喷施硒肥过量有可能会造成毒害作用 [26]。因此,玉林试验田宜喷施高浓度硒肥,南宁试验田宜喷施低浓度硒肥。

陈文红等 [27] 研究不同品种马铃薯的最佳施肥时期,结果表明不同时期喷施硒肥均能提高紫色马铃薯块茎的硒含量,但其硒含量增加的幅度各不相同,在花期喷施硒肥,可以最大幅度增加黑美人块茎硒的含量,在蕾期施肥,反而紫云一号块茎硒含量增加效果最好,说明施肥效果的最佳时期与马铃薯品种有关。结合研究地点、施肥时期和施肥量等因素,本研究选择了南宁块茎膨大期喷施硒肥 10 kg/hm²,玉林块茎初期喷施硒肥 25 kg/hm² 作为最佳施肥时期的最佳施肥量组进行品种间对比。结果如表 4 所示,在南宁试验田的最佳时期喷施 10 kg/hm² 硒肥,GH 平均硒含量高于 ZY,在玉林试验田块茎初期喷施 25 kg/hm² 硒肥,ZY 平均硒含量高于 GH。由此可知,在南宁试验地 GH 为优势品种,在玉林试验地 ZY 为优势品种。

5 结论

虽然叶面喷施硒肥是提高作物硒含量的有效途径,但不同地区间的最佳施肥时期不同,且施肥量也不是越高越好,应结合地区土壤性质与实际种植情况,

综合考虑施肥期和生产成本等因素,选择最佳的施肥方案。本研究结果表明:在南宁地区,推荐种植“桂淮 7 号”,并在块茎膨大期叶面喷施 10 kg/hm^2 的硒肥。在玉林地区,推荐种植“紫玉淮山”,并在块茎初期叶面喷施 25 kg/hm^2 的硒肥,可以产出硒含量较高的淮山,以上结论对于实际生产活动具有一定的指导意义。

6 问题与展望

本研究为一年田间试验,虽得到了初步结果,但是,在南宁地区种植“桂淮 7 号”并在块茎膨大期叶面喷施 10 kg/hm^2 的硒肥、在玉林地区种植“紫玉淮山”并在块茎初期叶面喷施 25 kg/hm^2 的硒肥,是否为两地富硒淮山种植的最佳方案还有待进一步研究。后续可以继续田间试验,在南宁和玉林地区种植“桂淮 7 号”和“紫玉淮山”,并设置叶面喷施硒肥浓度梯度为 0、10、15、20 和 25 kg/hm^2 ,有利于得出更准确、科学的结论,指导广西地区的富硒淮山种植。

基金项目

广西创新驱动发展专项资金项目(桂科 AA17202027)。

参考文献

- [1] 袁丽君,袁林喜,尹雪斌,等. 硒的生理功能、摄入现状与对策研究进展[J]. 生物技术进展, 2016(6).
- [2] Long Z, Yuan L, Hou Y, et al. Spatial variations in soil selenium and residential dietary selenium intake in a selenium-rich county, Shitai, Anhui, China [J]. J Trace Elem Med Bio, 2018, 50: 111–116.
<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.06.019>
- [3] Zhang Z, Yuan L, Qi S, et al. The threshold effect between the soil bioavailable molar Se: Cd ratio and the accumulation of Cd in corn (Zea mays L.) from natural Se–Cd rich soils [J]. Science of the Total Environment, 2019, 688: 1228–1235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.331>
- [4] 张敏明,袁林喜,尹雪斌,等. 人体发硒水平影响因素研究进展[J].

- 生物技术进展, 2017, 7 (3): 187-192.
- [5] 胡海涛, 袁林喜, 郑璞, 等. 4种食用菌硒积累能力比较与硒形态研究[J]. 中国食用菌, 2012, 31 (3): 38-41.
<https://doi.org/10.1080/03050718.2012.646733>
- [6] 杨亚军. 作物叶面施肥技术与应用分析[J]. 新农业, 2019 (19): 22.
- [7] Gissel-Nielsen G. Foliar application of selenite to barley plants low in selenium [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2008, 12 (6): 631-642. <https://doi.org/10.1080/00103628109367179>
- [8] 吕铃, 谢晓娟, 胡万星, 等. 不同硒肥对水稻产量和籽粒中硒含量的影响[J]. 福建稻麦科技, 2014, 32 (3): 13-15.
<https://doi.org/10.3368/er.32.1.13>
- [9] 陈雪, 沈方科, 梁欢婷, 等. 外源施硒措施对水稻产量品质及植株硒分布的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48 (1): 46-50.
<https://doi.org/10.15358/0340-1650-2017-5-48>
- [10] 李根林, 高红梅. 喷施亚硒酸钠对小麦产量的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25 (18): 253-255. <https://doi.org/10.1177/0266666909349747>
- [11] 邹成林, 翟瑞宁, 黄开健, 等. 叶面喷施硒肥对糯玉米产量、硒含量及重金属含量的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32 (4): 162-167.
- [12] Jiang Y, Zeng Z H, Bu Y, et al. Effects of selenium fertilizer on grain yield, Se uptake and distribution in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) [J]. Plant, Soil and Environment, 2016, 61 (8): 371-377. <https://doi.org/10.17221/284/2015-PSE>
- [13] 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.
- [14] 谷娜, 侯艳秋, 郑晓凤, 等. 山药多糖及其硒多糖抗氧化性的比较研究[J]. 微量元素与健康研究, 2016 (5): 41-43.
- [15] 滕杨, 谷娜, 罗时旋, 等. 山药硒多糖对 CCL₄ 诱导小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 食品工业科技, 2015, 36 (15): 362-364+369.
- [16] 刘光琳, 谢青夏, 梁丽, 等. 富硒农业富硒土壤面积全国最大[J]. 农

- 家之友, 2018 (12) : 32-33. <https://doi.org/10.12968/nuwa.2018.16.32>
- [17] Gao J, Liu Y, Huang Y, et al. Daily selenium intake in a moderate selenium deficiency area of Suzhou, China [J] . Food Chemistry, 2011, 126 (3) : 1088-1093. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.137>
- [18] 赵玉文, 胡建华, 文虹琼. 喷施硒肥对马铃薯产量与硒含量及土壤肥力的影响 [J] . 农技服务, 2020, 37 (4) : 25-28.
<https://doi.org/10.1007/s15013-020-3028-7>
- [19] 臧传江, 许念芳, 刘延详, 等. 叶面喷施硒肥对山药产量和含硒量的影响 [J] . 种子科技, 2019, 37 (1) : 103-104.
<https://doi.org/10.1007/s00350-018-5143-1>
- [20] 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 (2) : 226-232.
- [21] 张琳. 硒对烤烟硒积累及烟叶品质的影响研究 [D] . 中国农业科学院, 2010.
- [22] 李晓梅, 张海贵. 叶面施肥的原理及在果树生产中的应用 [J] . 山西果树, 2009 (4) : 18-19. <https://doi.org/10.5771/1613-0707-2009-2-18>
- [23] 李磊, 尹显慧, 龙友华, 等. 叶面喷施硒对辣椒果实品质及微量元素的影响 [J] . 北方园艺, 2019 (16) : 1-6.
- [24] 杨益花, 袁卫明, 单建明, 等. 叶面硒肥施用量对稻谷总硒含量及产量的影响 [J] . 河北农业科学, 2013, 17 (3) : 51-54.
- [25] 肖真真, 李化银, 焦自高, 等. 叶面喷施外源硒肥对西瓜产量和品质的影响 [J] . 中国瓜菜, 2019, 32 (5) : 38-41.
- [26] Wu Z, Banuelos G S, Lin Z Q, et al. Biofortification and phytoremediation of selenium in China [J] . Front Plant Sci, 2015 (6) : 136.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00136>
- [27] 陈文红, 王晓琴, 万年鑫, 等. 不同时期喷施硒肥对紫色马铃薯块茎硒·花青素含量的影响 [J] . 安徽农业科学, 2015 (21) : 92-94.