

## 外源纳米硒和亚硒酸钠对魔芋生长的影响

杜慧娟<sup>1</sup>, 李奕斐<sup>2</sup>, 王郑琪<sup>2</sup>, 刘晨钰<sup>2</sup>, 周邳昊<sup>2</sup>, 贺茂昌<sup>1</sup>

(1. 安康市汉滨区农业技术推广站, 陕西 安康 725000;

2. 安康学院 现代农业与生物科技学院, 陕西 安康 725000)

**摘要:**以盆栽花魔芋为试验材料,分析不同浓度化学硒  $\text{NaSeO}_3$  和生物纳米硒  $\text{SeNPs}$  对魔芋农艺性状、病虫害发生率及产量的影响。结果表明,化学硒和纳米硒对魔芋的株高和地径影响不显著。化学硒处理中,5 mg/kg、25 mg/kg 和 125 mg/kg  $\text{NaSeO}_3$  处理的魔芋软腐病发病率均较对照增加 100%,但 125 mg/kg、200 mg/kg  $\text{NaSeO}_3$  处理的魔芋虫伤率均较对照降低 66.7%。5 mg/kg 纳米硒处理的魔芋软腐病发病率和虫伤率较对照分别降低 100%和 66.7%。不同浓度纳米硒处理的魔芋鲜质量均高于相同浓度的化学硒处理。5 mg/kg 纳米硒处理显著提高了魔芋球茎鲜质量和根茎个数,其分别较对照显著增加 41.2%和 46.2%。综上所述,纳米硒较化学硒对魔芋的防病促生效果更好,其中 5~125 mg/kg 纳米硒处理能够明显促进魔芋生长发育。

**关键词:**花魔芋;农艺性状;纳米硒;化学硒; $\text{NaSeO}_3$

中图分类号:S350 文献标识码:A 文章编号:0488-5368(2026)04-0063-05

## Effects of Exogenous Nano-Selenium and Sodium Selenite on Growth of *Amorphophallus konjac*

DU Huijuan<sup>1</sup>, LI Yifei<sup>2</sup>, WANG Zhengqi<sup>2</sup>, LIU Chenyu<sup>2</sup>, ZHOU Zhihao<sup>2</sup>, HE Maochang<sup>1</sup>

(1. Hanbin District Agricultural Technology Extension Station, Ankang, Shaanxi 725000, China;

2. School of Modern Agriculture & Biotechnology, Ankang University, Ankang, Shaanxi 725000, China)

**Abstract:** *Amorphophallus konjac* is an important economic crop, and appropriate selenium application may enhance its growth and resistance to diseases and insect damage. Potted *A. konjac* plants were used in this study to investigate the effects of different concentrations of chemical selenium ( $\text{NaSeO}_3$ ) and biosynthesized nano-selenium ( $\text{SeNPs}$ ) on agronomic traits, disease incidence, insect damage rate, and yield. The results showed that neither chemical selenium nor nano-selenium had significant effects on plant height or basal stem diameter. Under chemical selenium treatments, the incidence of soft rot at 5, 25, and 125 mg/kg  $\text{NaSeO}_3$  was 100% higher than that in the control, whereas the insect injury rate at 125 and 200 mg/kg  $\text{NaSeO}_3$  was 66.7% lower than the control values. Under the 5 mg/kg nano-selenium treatment, the incidence of soft rot and the insect injury rate were 100% and 66.7% lower than the control values, respectively. At each concentration tested, the fresh weight of konjac corms under nano-selenium treatment was higher than that under the corresponding chemical selenium treatment. In addition, the 5 mg/kg nano-selenium treatment significantly increased fresh corm weight and rhizome number, representing increases of 41.2% and 46.2% over the control, respectively. In conclusion, nano-selenium exhibits superior disease-preventive and growth-promoting effects compared with chemical selenium, and 5~125 mg/kg nano-selenium significantly promotes the growth and development of kon-

收稿日期:2025-04-15 修回日期:2025-06-21

基金项目:陕西省科技厅项目(2025-JC-QN-1597, 2025NC-YBXM-029);陕西省教育厅高校工程中心项目(24JR002, 25JR001);安康学院校内专项(2023AYKCYZ05, 2024AYXNZX04, 2023JCRC01)。

第一作者简介:杜慧娟(1982-),女,农艺师,主要从事农作物栽培研究工作。

jac.

**Key words:** *Amorphophallus konjac*; Agronomic traits; Nano selenium; Chemical selenium;  $\text{NaSeO}_3$

硒(selenium, Se)被世界卫生组织列为继碘、锌之后第三位重要的微量元素,在维持人体和动物免疫系统健康、降低疾病风险中起到关键作用<sup>[1]</sup>。人畜机体所需的硒基本都是通过食物摄取,但由于我国土壤普遍缺少硒元素,且富硒地区因土壤偏酸性导致硒有效性较低,植物吸收困难,作物硒含量普遍偏低,天然食物中硒含量极低,导致多数人群不同程度缺硒。因此,外源施硒成为提升作物中硒含量的主要手段<sup>[2-4]</sup>。

大量研究表明,外源施硒能提高甜荞、桑椹、糯玉米、小麦等作物的硒含量<sup>[2, 5-10]</sup>。雷新慧等<sup>[5]</sup>研究表明,叶面喷亚硒酸钠显著提高甜荞各部位硒含量。王华等<sup>[2]</sup>研究表明,在桑果膨大期喷施不同类型外源硒可提高桑椹及桑叶硒含量,同时提高果实抗氧化能力,进而提高果实品质。邹成林等<sup>[6]</sup>研究发现,外源硒肥浓度的增加可显著提高不同品种糯玉米籽粒的硒含量。喷施硒肥也能提高小麦的产量和硒含量,改善小麦营养品质<sup>[7, 8]</sup>。段龙飞等<sup>[9]</sup>研究发现,在土壤硒含量不超过 10.3 mg/kg 区域可生产富硒魔芋。蔡阳光等<sup>[10]</sup>研究认为,6.25~25 mg/kg 土壤施硒量促进岚皋花魔芋的生长发育。

在之前的植物富硒研究中,外源硒主要是亚硒酸钠、硒酸钠和商业复合硒肥,它们用量相对较高,有潜在环境风险<sup>[11]</sup>。纳米硒是一种纳米级单质硒,具有生物活性高、安全易吸收等优势<sup>[12]</sup>。目前,关于纳米硒对魔芋生长表型、产量和硒含量影响的研究尚未见报道。本研究探索了不同浓度化学硒亚硒酸钠和生物纳米硒对魔芋生长的影响,确定了最佳纳米硒施用量,旨在为富硒魔芋的生产提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试魔芋品种:岚皋花魔芋,购买自安康本地市场。

供试硒源:(1)化学硒,亚硒酸钠( $\text{NaSeO}_3$ ),购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司;(2)纳米硒(SeNPs),由波卓链霉菌(*Streptomyces bottropensis*)菌株 A1 通过液体培养合成。

供试土壤总硒含量为 0.04 mg/kg,种芋未检出总硒含量(硒检测标准/方法:GB5009.93-2017;

仪器:原子荧光光度计;仪器型号:BAF-2000;仪器编号:E-098-05EAL)。

### 1.2 试验方法

试验于 2022 年 4~10 月在安康学院繁育中心进行。盆栽试验使用 24 cm×20 cm 的营养钵。每盆装过筛去杂的大田土壤 5 kg,添加 50 g/kg 有机肥作为底肥。试验设置 2 个处理组:(1)化学硒(亚硒酸钠  $\text{NaSeO}_3$ );(2)生物硒(纳米硒 SeNPs)。两组浓度梯度均为:0 mg/kg、5 mg/kg、25 mg/kg、125 mg/kg、200 mg/kg。分别以亚硒酸钠、纳米硒为硒源,配成含硒 1 mg/mL 的水溶液,于魔芋展叶后通过灌根一次性施加外源硒,每个处理重复 20 盆。试验种芋选用质量为 25 g,顶芽健康露白且无病斑魔芋球茎。播种前进行表面消毒。播种后,盆栽魔芋置于透光率为 50% 的遮阳网下生长,定期浇水保持适宜的温度,直到植株倒苗。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 农艺性状及产量的测定 魔芋株高稳定后,采用常规方法测量每株魔芋的最大冠幅、地径和株高。魔芋即将倒苗前,将球茎挖出,去除泥土并称量球茎鲜质量、根茎个数。记录发病魔芋和虫害魔芋球茎个数。计算公式如下:

$$\text{发病率}(\%) = \text{发病个数} / \text{调查总个数} \times 100$$

$$\text{虫伤率}(\%) = \text{虫伤个数} / \text{调查总个数} \times 100$$

1.3.2 叶绿素含量的测定 于球茎膨大期,从每处理随机采集 6 株魔芋植株顶数第 4 片小叶,立即放入冰盒带回实验室。每处理称取三份各 1.0 g 剪碎混匀的叶片,研磨匀浆,10 000 r/min 离心收集上清液。采用 80% 丙酮提取法<sup>[13]</sup>测定叶绿素含量。

1.3.3 硒含量的测定 利用原子荧光光度计,采用 GB5009.93-2017 硒检测标准/方法对收获后的魔芋球茎硒含量进行测定。

### 1.4 数据处理

采用 SPSS 22.0 进行数据方差分析,数据用“平均值±标准偏差”表示,以 Duncan's 法进行差异显著性检验( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 施硒对魔芋农艺性状的影响

由表 1 可知,双因素方差分析表明,硒源对魔芋株高、地径和最大冠幅有显著影响,浓度仅对最

大冠幅有显著影响( $P<0.05$ ),但硒源与浓度的交互作用对各项指标无显著影响( $P>0.05$ )。

外源化学硒  $\text{NaSeO}_3$  和生物纳米硒  $\text{SeNPs}$  处理对魔芋的株高和地径影响均不显著。200 mg/kg

外源  $\text{NaSeO}_3$  处理的魔芋最大冠幅较对照减少 12.9%;其他浓度化学硒对魔芋最大冠幅无显著影响(表 1)。

表 1 不同浓度外源硒对魔芋农艺性状的影响

处理		株高/cm	地径/cm	最大冠幅/cm
硒源	浓度(mg/kg)			
$\text{NaSeO}_3$	0	34.67±1.76a	1.94±0.06ab	67.33±2.52abc
	5	34.33±1.15a	1.90±0.13ab	65.00±2.65bcd
	25	34.67±0.58a	2.00±0.11ab	70.03±5.01abc
	125	35.00±1.00a	1.83±0.11b	64.04±4.02cd
	200	34.50±0.87a	1.83±0.13b	58.67±2.31d
$\text{SeNPs}$	0	35.67±2.08a	1.97±0.11ab	70.67±4.62abc
	5	35.67±3.51a	2.12±0.18a	72.33±7.37ab
	25	36.00±1.00a	2.06±0.07ab	74.67±5.51a
	125	36.33±1.53a	2.02±0.11ab	71.08±1.02abc
	200	36.33±0.58a	1.96±0.17ab	69.02±1.06abc
方差分析	硒源	12.639**	7.928*	19.093**
	浓度	0.271 <sup>NS</sup>	1.575 <sup>NS</sup>	3.353*
	硒源×浓度	0.195 <sup>NS</sup>	0.357 <sup>NS</sup>	0.649 <sup>NS</sup>

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。\*\* $P<0.01$ ; \* $P<0.05$ ; <sup>NS</sup> $P>0.05$ ,下同。

## 2.2 施硒对魔芋叶绿素含量的影响

双因素方差分析(表 2)表明,硒源和浓度显著影响魔芋叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 含量( $P<0.01$ ),硒源与浓度的交互作用对魔芋叶片叶绿素 a、叶绿素 a+b 含量有显著影响。

由表 2 可知,5 mg/kg  $\text{NaSeO}_3$  和纳米硒( $\text{SeNPs}$ )处理均显著提高了魔芋叶片叶绿素 a 和叶绿素 a+b 含量,但其他浓度  $\text{NaSeO}_3$  和纳米硒处理的魔芋叶片叶绿素含量呈下降趋势。

表 2 不同浓度外源硒对魔芋叶绿素含量的影响

处理		叶绿素 a 含量 (mg/kg)	叶绿素 b 含量 (mg/kg)	叶绿素 a+b 含量 (mg/kg)
硒源	浓度(mg/kg)			
$\text{NaSeO}_3$	0	2.35±0.08b	0.91±0.04b	3.26±0.12c
	5	3.51±0.09a	0.82±0.11bc	4.33±0.20b
	25	1.82±0.13d	0.56±0.07ef	2.38±0.19e
	125	1.61±0.10e	0.50±0.11fg	2.10±0.20f
	200	1.35±0.14f	0.40±0.02g	1.75±0.15g
$\text{SeNPs}$	0	2.42±0.10b	0.92±0.05b	3.50±0.15c
	5	3.62±0.10a	1.11±0.12a	4.73±0.22a
	25	2.11±0.08c	0.71±0.03cd	2.83±0.10d
	125	2.06±0.04c	0.70±0.07cd	2.76±0.11d
	200	1.97±0.06cd	0.68±0.06de	2.65±0.05d
方差分析	硒源	82.197**	65.563**	85.768**
	浓度	404.821**	50.544**	221.324**
	硒源×浓度	9.308**	1.042 <sup>NS</sup>	3.977*

## 2.3 施硒对魔芋病虫害发生率的影响

由表 3 可知,不同浓度外源硒对花魔芋病虫害发生率的影响不同。随着  $\text{NaSeO}_3$  浓度的升高,魔芋软腐病发病率降低,但 5 mg/kg、25 mg/kg 和 125

mg/kg  $\text{NaSeO}_3$  处理下,魔芋软腐病发病率均较对照增加 100%,125 mg/kg 和 200 mg/kg  $\text{NaSeO}_3$  处理的魔芋球茎虫伤率均较对照降低 66.7%。

纳米硒对魔芋病虫害发生率的影响也不同。5

mg/kg 纳米硒处理显著降低软腐病发病率及虫伤率,降幅分别为 100%和 66.7%。

表 3 不同浓度外源硒对魔芋病虫害发生率的影响

处理		软腐病发病率/%	虫伤率/%
硒源	浓度(mg/kg)		
NaSeO <sub>3</sub>	0	10	30
	5	20	30
	25	20	40
	125	20	10
	200	10	10
SeNPs	0	10	30
	5	0	10
	25	10	0
	125	10	10
	200	10	0

#### 2.4 施硒对魔芋产量和球茎硒含量的影响

双因素方差分析结果(表 4)表明,硒源极显著影响魔芋地上鲜质量、根茎个数及球茎硒含量( $P < 0.01$ ),硒浓度极显著影响魔芋地上鲜质量、球茎鲜质量、根茎个数及球茎硒含量( $P < 0.01$ ),硒源和浓度的交互作用显著影响魔芋地上鲜质量及球茎硒含量( $P < 0.05$ )。

由表 4 可知,5 mg/kg NaSeO<sub>3</sub> 处理显著提高了魔芋地上鲜质量和球茎鲜质量,其分别较对照显著增加 24.8%和 35.4%。5 mg/kg 纳米硒处理显著提高了魔芋地上鲜质量、球茎鲜质量和根茎个数,其分别较对照显著增加 23.4%、41.2%和 46.2%。相同浓度条件下,纳米硒处理的魔芋地上鲜质量、球茎鲜质量及根茎个数明显高于化学硒处理。125 mg/kg NaSeO<sub>3</sub> 和纳米硒处理的魔芋球茎硒含量最高,分别为 41.99 mg/kg 和 42.70 mg/kg。

表 4 不同浓度外源硒对魔芋地上地下鲜质量、根茎个数和硒含量的影响

处理		地上鲜质量(g/株)	球茎鲜质量(g/株)	根茎个数(个/株)	球茎硒含量(mg/kg)
硒源	浓度(mg/kg)				
NaSeO <sub>3</sub>	0	43.93±2.83bc	83.67±4.17b	3.67±0.58d	0.00±0.00e
	5	54.83±5.74a	113.30±4.45a	4.33±0.58cd	1.58±0.05d
	25	33.90±3.84d	89.30±2.91b	4.67±0.58bcd	13.55±0.34c
	125	31.93±2.25d	89.63±18.44b	4.33±0.58cd	41.99±0.11ab
	200	30.23±1.36d	89.33±0.95b	3.67±0.58d	40.36±0.88b
SeNPs	0	47.50±1.30b	85.33±3.25b	4.33±0.58cd	0.00±0.00e
	5	58.63±2.46a	120.50±1.23a	6.33±1.53a	1.74±0.03d
	25	45.47±3.67bc	96.43±3.03b	5.67±1.16abc	14.17±0.55c
	125	43.67±3.17bc	94.07±4.24b	6.00±0ab	42.70±0.10a
	200	41.40±1.45c	93.47±2.93b	4.00±1.00d	39.66±0.26b
方差分析	硒源	54.652**	4.166 <sup>NS</sup>	14.450**	324.409**
	浓度	44.582**	21.263**	4.675**	1 007.670**
	硒源*浓度	2.862*	0.186 <sup>NS</sup>	1.075 <sup>NS</sup>	114.207**

### 3 讨论与结论

有研究表明,纳米硒作肥料添加剂,可有效增强植株抗逆性,提高作物产量和品质<sup>[14]</sup>。张士敏等<sup>[15]</sup>研究发现,0.3 mg/L、0.5 mg/L 蛋氨酸硒处理可促进苜蓿种子发芽和生长。贾亚琴等<sup>[8]</sup>研究发现,拔节期和孕穗期喷施硒肥对黑小麦有增产效果,而灌浆期喷施硒肥增产效果不明显。本研究发

现,5~125 mg/kg 纳米硒处理显著提高了魔芋球茎鲜质量和根茎个数,其中 5 mg/kg 纳米硒处理的效果最明显,魔芋球茎鲜质量和根茎个数分别较对照显著增加 41.2%和 46.2%。表明适量补硒尤其是纳米硒可有效增加魔芋产量和繁殖系数,但超过一定浓度,又会对作物产量产生影响。

作物在生长过程中会受到各种因素的影响,其中病原物对作物的危害尤其严重,而软腐病则是限

制魔芋产业发展的主要病害。赵小明等<sup>[16]</sup>研究发现,噻霉酮杀菌剂浸种对魔芋软腐病的防效为51.17%,结合壳寡糖拌种,成株期喷施壳寡糖、噻霉酮和海藻酸寡糖诱导剂对魔芋软腐病有较好的防治效果,防效达50%~70%。杨群辉等<sup>[17]</sup>研究表明,固型种球包衣剂+77%氢氧化铜可湿性粉剂处理的效果最好,可使魔芋软腐病发病率控制在5%以下。本研究表明,5 mg/kg 纳米硒处理显著降低魔芋软腐病发病率及虫伤率,其降幅分别为100%和66.7%,其他浓度的纳米硒和化学硒对魔芋病虫害防效不明显。因此,在魔芋生长过程中,施用适宜浓度的纳米硒对魔芋软腐病有一定的防控效果。

不同来源及浓度的硒肥对作物生长及品质改善具有显著影响。曹莉等<sup>[18]</sup>研究发现叶面喷施适宜浓度纳米硒可有效提升西兰花产量与品质;胡万行等<sup>[19]</sup>发现,0.095 mmol/L 纳米硒处理使紫色马铃薯块茎总硒含量达0.106 mg/kg,较对照提高0.65倍,达到富硒标准。李晓嫚等<sup>[20]</sup>研究发现,硒酸钠与亚硒酸钠喷施分别使茶叶总硒含量提升至1.15 mg/kg 和1.47 mg/kg,有机硒含量同步显著增加。蒋方山等<sup>[21]</sup>研究发现,亚硒酸钠喷施显著提高黑粒小麦籽粒硒含量(最高1.295 mg/kg)及粗蛋白含量(增幅达9.49%)。本研究表明,施用125 mg/kg 纳米硒的魔芋球茎硒含量最高,达42.7 mg/kg,说明在一定量外源硒处理下,魔芋的含硒量得到了提高。

## 参 考 文 献:

[1] 黄蕾,杨沁怡,李晨,等. 不同硒水平地区居民硒暴露及健康风险评估[J]. 中国环境科学, 2024, 44(8): 4 683-4 689.

[2] 王华,朱荣才,崔自学,等. 不同种类外源硒对桑椹硒含量及果实品质的影响[J/OL]. 蚕业科学. 2025(1):1-8.

[3] 张木,唐拴虎,钟松臻,等. 施硒对水稻土壤硒有效性的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(9): 2 979-2 987.

[4] 王兆双,涂书新,熊双莲,等. 土壤硒水平和硒肥对水稻硒含量、抗氧化反应及干物质积累的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(12): 2 375-2 384.

[5] 雷新慧,冷佳俊,陶金才,等. 叶面喷施亚硒酸钠对甜菜光合特性、产量及硒积累效应的影响[J]. 作物学报, 2023, 49(6): 1 678-1 689.

[6] 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): 854-859.

[7] 赵建云,汪娟梅,王雅,等. 喷施富硒植物营养素对冬小麦硒含量、产量及品质的影响[J]. 西北农业学报, 2021, 30(9): 1 301-1 308.

[8] 贾亚琴,董飞,杨峰,等. 喷施硒肥对黑小麦籽粒产量及硒含量的影响[J]. 麦类作物学报, 2021(10): 1-6.

[9] 段龙飞,覃剑峰,蔡阳光,等. 不同土壤硒浓度对花魔芋生长发育及硒含量的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2019, 37(3): 39-42.

[10] 蔡阳光,覃剑峰,陈国爱,等. 外源硒对岚皋花魔芋生长发育的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2018, 38(6): 35-42.

[11] 杜利红,梁克红,关奎,等. 基于代谢组学分析喷施纳米硒对小米生长和品质的影响[J]. 中国食物与营养, 2025, 31(1): 72-81.

[12] Li Y, Gu Y, Ao X. Nano selenium and plant extracts supplementation enhanced reproductive performance of parity-2 sows[J]. Scientific Reports, 2025, 15(1): 9 678.

[13] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 203-204.

[14] Joshi SM, De Britto S, Jogaiah S. Myco-engineered selenium nanoparticles elicit resistance against tomato late blight disease by regulating differential expression of cellular, biochemical and defense responsive genes [J]. Journal of Biotechnology, 2021(325):196-206.

[15] 张士敏,朱慧森,赵骄阳,等. 不同硒源及浓度对偏关苜蓿种子萌发及物质转化的影响[J]. 草地学报, 2022, 30(1): 100-107.

[16] 赵小明,李增义,崔鸣,等. 安康魔芋软腐病防治技术初步研究[J]. 西北农业学报, 2021, 30(8): 1 263-1 270.

[17] 杨群辉,何翔,杨佩文,等. 种球包衣剂防治魔芋软腐病试验研究[J]. 西南农业学报, 2020, 33(2): 313-318.

[18] 曹莉,杨建辉,张丽,等. 不同纳米硒肥叶面喷施对西兰花产量、品质及硒含量的影响[J]. 作物杂志, 2024(4): 152-157.

[19] 胡万行,石玉,程玉琦,等. 纳米硒对紫色马铃薯生长及其矿质元素含量和品质特性的影响[J]. 西北植物学报, 2020, 40(2): 296-303.

[20] 李晓嫚,郭丽娜,郝心愿,等. 萌芽前叶面喷施硒酸钠提高茶叶含硒量及品质[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(10): 1 884-1 892.

[21] 蒋方山,张海军,吕连杰,等. 叶面喷施亚硒酸钠对黑粒小麦籽粒硒含量、产量及品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(12): 1 496-1 503.