

微生物酵素有机硒肥对金花葵幼苗生长的影响

张晓丽*, 李冰, 朱秀敏#, 李代, 郝长敏, 万敬敬

邢台学院, 河北 邢台

收稿日期: 2022年8月23日; 录用日期: 2022年9月23日; 发布日期: 2022年9月29日

摘要

选用不同硒浓度(0 mg·L⁻¹、1 mg·L⁻¹、2 mg·L⁻¹、4 mg·L⁻¹、8 mg·L⁻¹、12 mg·L⁻¹)梯度的微生物酵素有机硒肥喷施于金花葵幼苗, 测定比较金花葵的主根根长、主根直径、茎高、茎直径、叶片面积、鲜重等生长指标, 研究微生物酵素有机硒肥对金花葵幼苗生长的影响及最适浓度。结果显示, 微生物酵素有机硒肥对金花葵幼苗生长有明显的促进作用, 可以有效增加幼苗鲜重, 且促进作用随浓度增加呈现先增长后降低的趋势, 有机硒肥硒浓度为4 mg·L⁻¹时, 对金花葵幼苗侧根、叶片及鲜重的促进作用最为明显。本实验可以为以后富硒植物的研究提供资料, 为金花葵的种植提供一些参考。

关键词

微生物酵素, 有机硒肥, 金花葵, 幼苗, 生长指标

Effect of Microbial Enzyme Organic Selenium Fertilizer on the Growth of *Hibiscus manihot* L. Seedlings

Xiaoli Zhang*, Bing Li, Xiumin Zhu#, Dai Li, Changmin Hao, Jingjing Wan

Xingtai University, Xingtai Hebei

Received: Aug. 23rd, 2022; accepted: Sep. 23rd, 2022; published: Sep. 29th, 2022

Abstract

In this experiment, Microbial enzyme organic selenium fertilizer with different concentration gradients (0 mg·L⁻¹, 1 mg·L⁻¹, 2 mg·L⁻¹, 4 mg·L⁻¹, 8 mg·L⁻¹, 12 mg·L⁻¹) were applied in seedlings, com-

*第一作者。

#通讯作者。

paring the root length, root diameter, stem height, stem diameter, leaf area, fresh weight, etc. The effects of microbial enzyme organic selenium fertilizer on the growth of *Hibiseu manihot* L. seedlings and the optimum concentration were studied. The results showed that the microbial enzyme organic selenium fertilizer had an obvious promoting effect on the growth of *Hibiseu manihot* L. seedlings and could effectively increase the fresh weight of seedlings, and the promoting effect showed a trend of first increasing and then decreasing with the increase of concentration. When the concentration of organic selenium fertilizer was $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, the promoting effect on the lateral roots, leaves and fresh weight of *Hibiseu manihot* L. seedlings was most obvious. This experiment can provide information for the research of selenium-rich plants in the future, and can provide some reference for the planting of *Hibiseu manihot* L.

Keywords

Microbial Ferment, Organic Selenium Fertilizer, *Hibiseu manihot* L., Seedlings, Growth Target

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

硒是人体必需的微量元素之一,有调节免疫、抗衰老、抗癌等多种功能,对人体的健康具有重要的意义[1]。植物作为硒循环的中间环节,可以把无机硒转变成有机硒,帮助人体和动物摄取硒[2]。硒也是植物生长所需营养元素,对农作物使用硒可以提高产量和品质,如水稻等作物的单产有降低空秕率的作用。人体内的硒只能靠饮食摄入,在硒含量较低的地区,补充硒能促进机体的硒含量增加[3]。通过叶面喷施硒肥使植物含硒量增加,从而达到经食物链补硒的目的。刘曦等[4]研究发现,增施适量的硒肥可以提高紫花苜蓿产量和品质,同时促进对N、P、K的吸收。梁祎等[5]研究显示,喷施适宜的硒肥可促进生菜生长,地上部鲜重增幅达13.16%~56.13%,可有效改善生菜品质,而过量施硒反而抑制作物生长,产量下降,但作物果实硒含量一直呈增加的趋势[6]。宋会明等[7]研究认为,喷施适宜浓度硒可显著提高金丝小枣的产量和品质,贾亚琴等[8]发现,黑小麦在拔节至孕穗期喷施硒肥增产效果较好,在不减产的前提下可提高黑小麦籽粒硒含量,使籽粒中硒达到膳食富硒标准,增加其营养价值。喷施硒肥可以通过影响植物体内的一些有机化合物进而对植物品质产生影响[9]。李志等对水稻施加不同硒肥的实验得出硒肥可有效提高土壤的硒含量[10]。植物体内含硒量的增加,既可以提高植物的抗病抗虫能力,又可以通过食物链提高动物和人体内的硒含量。

金花葵(*Hibiseu manihot* L.)为锦葵科秋葵属一年生草本植物,花可入药,药食同源,具有药用、食用、保健等功能[11],在清热降温、解毒、止痛、抗衰老等方面有显著功效。金花葵营养丰富,富含黄酮类化合物、不饱和脂肪酸、微量元素等化学成分及生物活性物质[12]。金花葵的主要生物活性物质是黄酮类化合物,并且其含量也比目前被用来作为生产黄酮的常用原料银杏等要高[13][14][15][16]。黄酮类化合物可以抑制细菌的生长,并且可以对酪氨酸酶活性进行抑制进而影响黑色素细胞的合成,起到美白功效,在医美上有潜在应用价值[17]。前期研究已证明金花葵富硒能力较强,且能很好地吸收,转化和利用土壤中的硒[18]。无机硒具有毒性,直接用作叶面肥会带来食品安全隐患[19]。在农作物的苗期和花期喷施硒有提高产量的作用,农作物中的硒含量也增加。本研究选取对硒具有一定富集作用的金花葵,喷施不同硒浓度的自制微生物酵素有机硒叶面肥,测定植株形态(茎高、茎直径、主根长)和鲜样生物量等多个生长

指标变化, 探明金花葵幼苗生长的适宜硒肥浓度, 为富硒金花葵生产中合理施用微生物酵素有机硒肥提供参考。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

金花葵种子(河北省内丘县鹤山湖金花葵种植基地); 微生物酵素有机硒肥(邢台学院生物实验室自制); 高精度电子天平(JM1002, 昆山金珂华电子有限公司); 叶面积测量仪(YMJ-D, 浙江托普云农科技股份有限公司); 游标卡尺; 刻度尺; 花盆; 喷壶; 吸水纸; 草炭土; 沙子等。

2.2. 金花葵栽培

筛选出饱满的金花葵种子, 加入适量水做浸泡处理, 时长约为 12 h, 放于室温下进行。花盆装入基质(基质由草炭土与沙子 2:1 混合), 浇透水。将浸泡好的种子均匀点入花盆中, 覆土, 置于培养室培养架上, 进行培育(温度 25℃、空气湿度 40%、光照 15,000 lux)。金花葵种子萌发形成幼苗, 待到幼苗长出 2~3 片真叶时, 挑选大小一致、形态健康的幼苗, 进行分组实验。

2.3. 样品处理

首先记录幼苗各项指标(主根长度、主根直径、侧根条数、侧根长度)作为初始数据, 并开始对同组其他幼苗进行处理, 实验设置 6 个处理组, 分别为 0 mg·L⁻¹、1 mg·L⁻¹、2 mg·L⁻¹、4 mg·L⁻¹、8 mg·L⁻¹、12 mg·L⁻¹ 六个硒浓度梯度(制作时亚硒酸钠的添加量), 每组做三个重复。

将不同浓度的硒肥用喷壶均匀的喷施于金花葵幼苗上, 第一次喷施完成后间隔一周再进行第二次喷施, 按照上述方法重复对金花葵幼苗喷施三次, 每盆每次喷施 100 mL, 待第三次喷施完成等待一周后, 将金花葵植株带土取出, 清洗根部表面土壤, 用吸水纸吸干残余水分, 保持根系完整, 测量金花葵幼苗各生长指标。

2.4. 数据测量

样品处理结束后, 首先统计金花葵幼苗侧根数量、茎节个数、叶片个数等; 用直尺测量金花葵幼苗主根和侧根的长度、茎高; 用游标卡尺测量金花葵幼苗茎直径、近地径和主根直径。然后从叶柄处取下第 3、第 4 片叶片, 用叶面积测量仪测量叶片面积; 用电子天平称量植株鲜重。记录所有测量数据, Excel 统计计算平均值。

3. 结果与分析

金花葵幼苗生长指标的测量结果见表 1。

Table 1. Measurement results of growth index of *Hibiseu manihot* L. seedlings

表 1. 金花葵幼苗生长指标测量结果

硒浓度 (mg·L ⁻¹)	主根长 度(cm)	主根直 径(cm)	侧根条 数(条)	侧根长 度(cm)	茎高 (cm)	茎节数 (节)	茎直径 (cm)	茎近地 径(cm)	叶片数 (片)	叶片面 积(cm ²)	鲜重 (g)
0	3.50	0.16	5.33	1.13	7.65	5.00	0.24	0.27	5.00	17.88	1.68
1	3.60	0.19	7.00	1.53	7.66	4.33	0.26	0.28	5.66	19.68	2.21
2	4.15	0.21	7.66	1.47	8.45	5.00	0.27	0.28	6.00	19.95	2.17

Continued

4	3.77	0.24	9.00	2.51	9.57	5.33	0.28	0.30	6.66	25.75	2.34
8	3.58	0.18	6.00	1.85	8.55	4.00	0.25	0.23	5.66	23.89	1.76
12	2.93	0.17	5.00	1.81	7.43	4.66	0.24	0.20	5.00	23.74	1.88

3.1. 微生物酵素有机硒肥对金花葵幼苗根生长的影响

3.1.1. 对主根生长的影响

由表 1 和图 1 可见，低浓度的有机硒对主根长度的生长具有促进作用，与对照组有显著差异，硒浓度为 $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时促进作用最为明显，当硒浓度高于 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时开始抑制金花葵幼苗主根长度的生长。

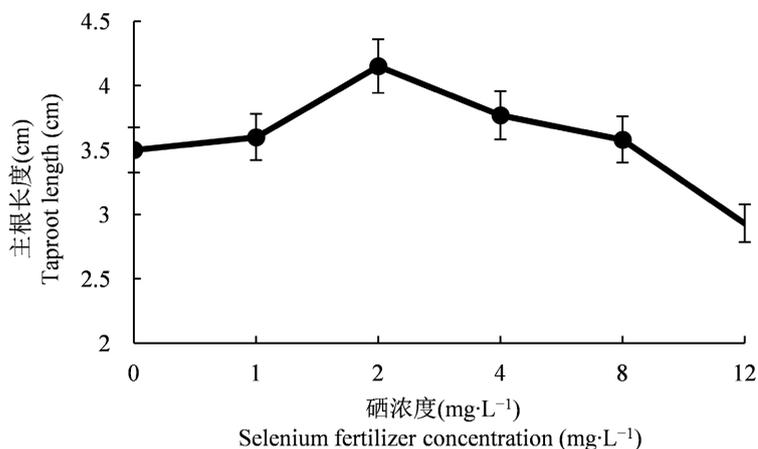


Figure 1. Effects of selenium fertilizers on taproot growth
图 1. 硒肥对主根生长的影响

通过根整体生长状况可以看出，喷施硒肥后金花葵的主根直径增粗，说明硒肥对金花葵根维管形成层的活动有影响，能促进形成层细胞的分裂，从而促进根的增粗。由表 1 和图 2 可见，主根直径随硒浓度的增加呈现先增长后降低的趋势，在硒浓度为 $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之后，金花葵主根增粗趋势降低，实验范围内的硒浓度并未对主根增粗形成抑制，抑制金花葵幼苗主根生长的有机硒肥硒浓度有待进一步实验。

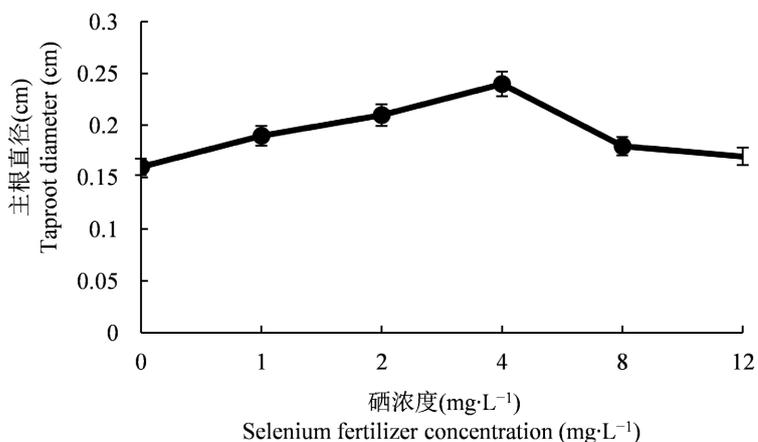


Figure 2. Effects of selenium fertilizers on taproot diameter
图 2. 硒肥对主根直径的影响

3.1.2. 对侧根生长的影响

喷施硒肥后金花葵的主根直径增粗，同时金花葵的侧根也在进行处理后增多且增长，且有机硒肥的作用更加明显。由表 1 和图 3、图 4 可以看出，侧根条数和侧根长度随硒浓度的增加均出现先增长后降低的现象，硒浓度为 $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时更有利于侧根的生长，实验浓度范围内，有机硒肥未出现抑制侧根生长现象。

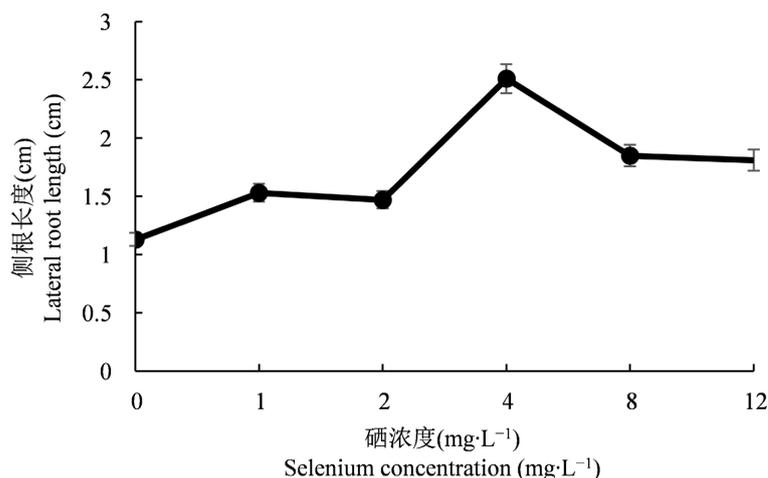


Figure 3. Effects of selenium fertilizers on lateral root growth

图 3. 硒肥对侧根生长的影响

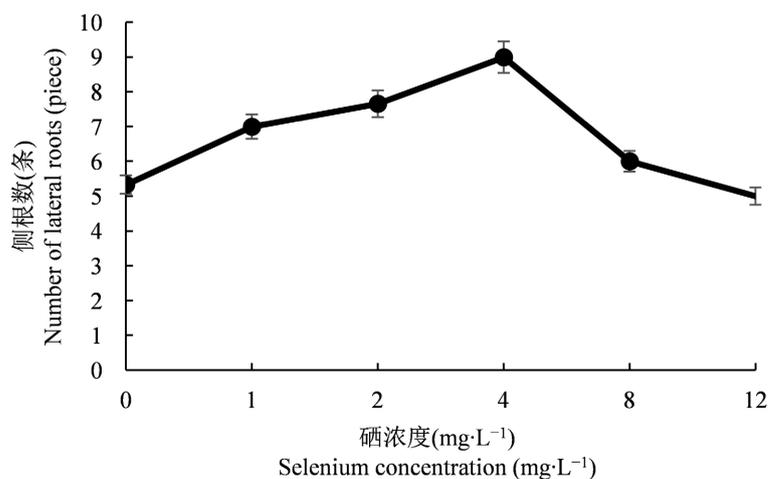


Figure 4. Effects of selenium fertilizers on the number of lateral roots

图 4. 硒肥对侧根数量的影响

3.2. 微生物酵素有机硒肥对金花葵茎生长的影响

3.2.1. 对茎高及茎节生长的影响

微生物酵素有机硒肥对金花葵茎生长具有促进作用，由表 1 和图 5、图 6 可以看出，茎节没有出现明显变化，茎高的生长状况随浓度的增加呈现先增长再降低的趋势，硒浓度为 $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理对金花葵茎高生长促进明显，之后逐渐降低，硒浓度为 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理开始出现抑制，与蒲琦等[20]关于喷施硒肥对凉粉草生长影响的研究结果一致。与彭晓伟等[21]关于叶面喷施硒肥对谷子生长方面的研究结果一致。

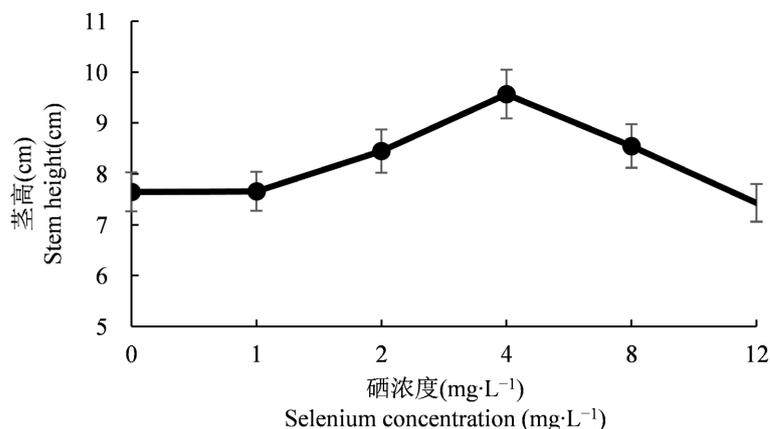


Figure 5. Effect of selenium fertilizers on stem height

图 5. 硒肥对茎高的影响

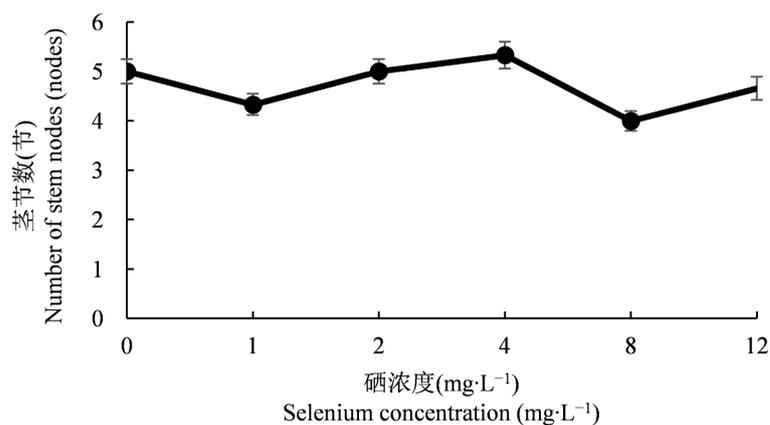


Figure 6. Effects of selenium fertilizers on the number of stem nodes

图 6. 硒肥对茎节数的影响

3.2.2. 对茎直径及茎近地茎生长的影响

图 7 和图 8 可见茎直径和近地径在硒浓度 4 mg·L⁻¹ 时有一定的促进作用，促进作用较为明显，硒浓度 8 mg·L⁻¹ 处理时出现抑制，尤其是对近地径的生长抑制作用较为明显。

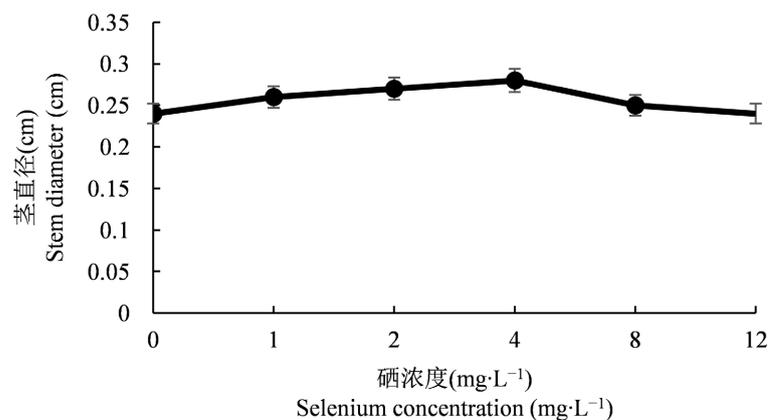


Figure 7. Effects of selenium fertilizers on stem diameter

图 7. 硒肥对茎直径的影响

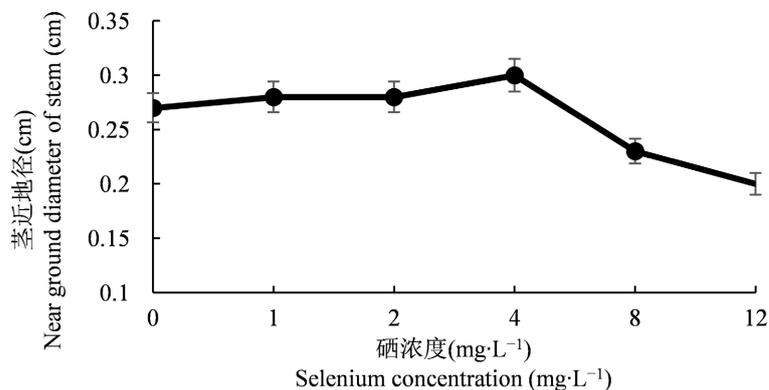


Figure 8. Effects of selenium fertilizers on the near ground diameter of stems
图 8. 硒肥对茎近地径的影响

3.3. 微生物酵素有机硒肥对金花葵叶片生长的影响

由表 1 和图 9、图 10 可见, 有机硒肥对金花葵叶片生长具有促进作用, 喷施有机硒肥对金花葵叶片数目及叶面积的促进作用表现为先增长后减弱, 与周成河等[18]研究硒肥浓度对藤茶叶片数目增长的结果一致, 硒浓度 $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理对金花葵叶片数量的促进作用较为明显, 生长出现抑制。硒浓度 $12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时金花葵叶片数量出现抑制, 叶面积的影响不明显。

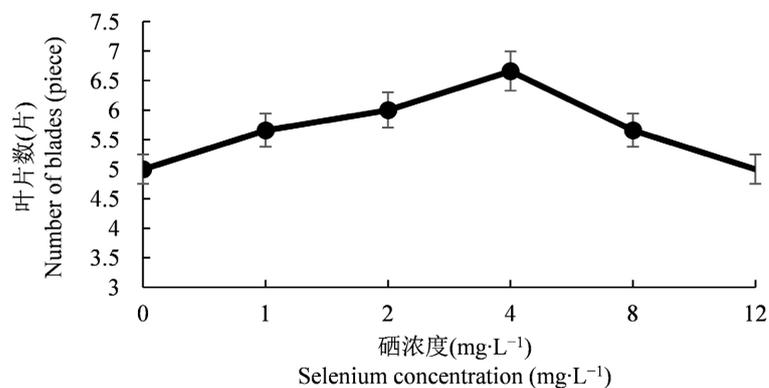


Figure 9. Effects of selenium fertilizers on leaf growth
图 9. 硒肥对叶片生长的影响

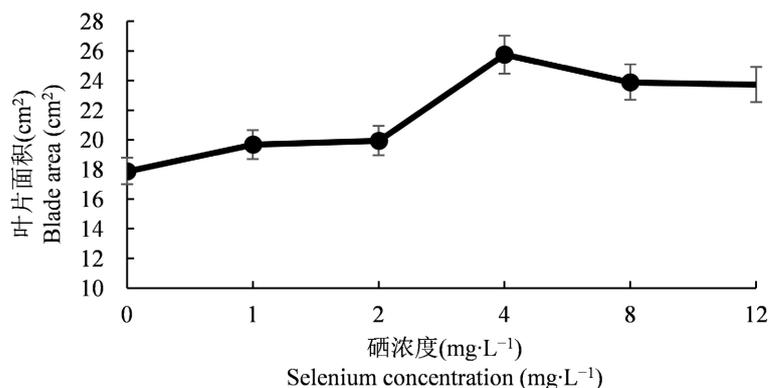


Figure 10. Effects of selenium fertilizers on leaf area
图 10. 硒肥对叶片面积的影响

3.4. 微生物酵素有机硒肥对金花葵鲜重的影响

由表 1 和图 11 可以看出,有机硒肥对金花葵幼苗鲜重增长的促进作用随浓度的增加同样呈现先增长再降低的趋势,硒浓度 $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的金花葵,鲜重增加的最多。

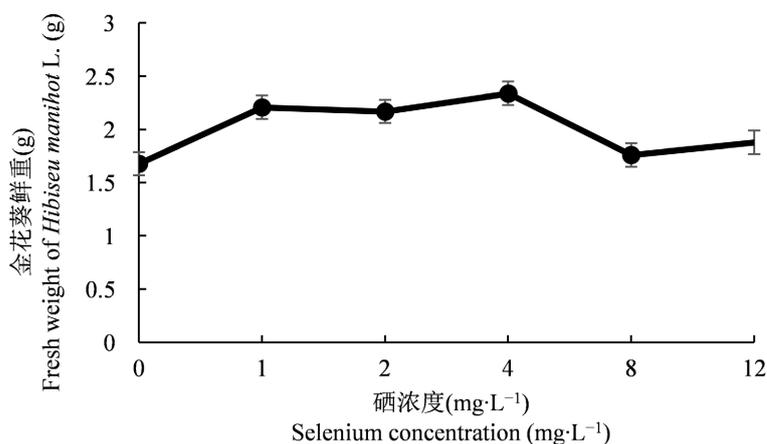


Figure 11. Effects of different selenium fertilizers on fresh weight of *Hibiscus manihot* L.

图 11. 不同硒肥对金花葵鲜重的影响

4. 讨论与结论

4.1. 硒肥对金花葵幼苗生长的促进作用

本试验结果表明,有机硒肥对金花葵幼苗主根根长、茎、叶的生长有明显的促进作用,可以有效增加幼苗鲜重,且促进作用随浓度增加呈现先增长后降低的趋势,有机硒肥硒浓度为 $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对金花葵幼苗侧根、叶片及鲜重的促进作用最为明显,只有主根根长的促进作用硒浓度为 $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,施硒量高于 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时出现下降的趋势,这与其他学者的研究结果相似,同样证实了适量施硒对农作物生长发育具有促进作用。曹昌林等[22]研究发现苦荞产量随喷施硒肥浓度的增加呈先升高后下降的变化趋势,以施硒浓度 $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时产量最高,增幅达 9.9%~12.4%。徐云等[23]研究发现,硒能促进植物生长初期的糖代谢,提高可溶性糖含量和 α -淀粉酶活力。适量施用硒肥可显著提高作物叶绿素含量和光合速率,延长光合时间,增强光合能力,通过增加蔗糖、还原糖、可溶性糖和淀粉等营养品质,增强碳水化合物代谢,促进作物生长,达到增产效果[24]。对金花葵根、茎、叶的生长及鲜重增长的促进作用随浓度的增加呈现先增长后降低的趋势,硒浓度为 $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时促进作用最为明显,之后出现下降趋势,对金花葵幼苗生长和鲜重增加促进作用较强的微生物酵素有机硒肥硒浓度为 $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

4.2. 硒肥对金花葵幼苗生长的抑制效应

本次实验范围内,微生物酵素有机硒肥仅茎的生长出现抑制现象,且主要是对近地茎的抑制,在 $12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时抑制较为明显,而金花葵幼苗的主根、叶片生长均未出现抑制现象,鲜重增长也无抑制。一定浓度范围内的硒能刺激农作物的硒积聚植物的生长,对硒非积聚物质生长有抑制作用。一般而言,植物的生长与硒含量有很大的关系,施用适量的硒确实能促进植物生长发育,反之硒含量过高则会抑制植物生长[25]。蒋方山等[26]研究表明,合理的施硒量可促进作物生长,提高产量和品质,但施硒量过高反而抑制作物生长,甚至有毒害作用[27]。潘丽萍等研究认为喷施 $6000 \text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 氨基酸螯合硒肥可提高马铃薯产量,但提高硒肥量($9000 \text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $12,000 \text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$)产量均有所下降[28]。生物对硒的要求范围

很小,在较高硒浓度下大部分植物出现中毒症状,生长及生理活动受抑制。李登超等[29]在水培小白菜试验中发现,营养液中硒浓度低于 $1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,可以促进小白菜的生长发育,但当硒浓度高于 $2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,小白菜的生长发育受到明显抑制。黄爱缨等[30]研究发现,硒对水稻生长具有双重作用,一定范围内的外源硒浓度,水稻中硒积累量随外源硒含量增加而增加;当硒含量超过一定值时,则水稻会发生不同程度的硒中毒,抑制水稻的生长。吴永尧等[31]通过盆栽土培与水培相结合,研究了水稻对硒元素的富集作用以及硒对水稻生长的影响,发现施用适量硒肥可以增强根系的还原能力、促进分蘖、增加株高、提高产量。当施硒量过多时,可能会减弱作物的光合能力,影响光合产物和营养元素在作物体内的转运,间接抑制果实内酸性转化酶活性的提高,减少果实糖积累量,导致减产和品质低劣[24]。

综上所述,微生物酵素有机硒肥对金花葵幼苗生长有明显的促进作用,促进作用较强的微生物酵素有机硒肥硒浓度为 $4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,本试验范围内微生物酵素有机硒肥仅茎的生长出现抑制现象,有关微生物酵素有机硒肥对金花葵幼苗生长抑制的浓度还有待进一步试验研究。

基金项目

河北省重点研发计划项目(21322902D);邢台市重点研发计划项目(2020ZZ027)。

参考文献

- [1] 张勇胜,李仁兰,刘妍,等. 硒对人体健康作用的研究进展[J]. 内科, 2018, 13(4): 623-625+662.
- [2] 宋波,温佳乐,陆佳怡,等. 外源硒对沙质栽培生菜生长和品质的影响[J]. 现代园艺, 2021, 44(4): 3-5.
- [3] 岳海峰. 我国对硒的生物学意义的研究进展[J]. 仲恺农业技术学院学报, 1996, 9(1): 83-87.
- [4] 刘颺,赵京,介晓磊,等. 不同硒肥基施用量对紫花苜蓿产量、品质及养分吸收的影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(2): 432-436.
- [5] 梁祎,郝文琴,石玉,等. 不同光周期下叶面喷施纳米硒对生菜生长和品质的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(1): 82-91.
- [6] 蒋曦龙,乔月彤,李晓靖,等. 叶面过量施硒对玉米产量、硒和矿质营养元素含量的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(12): 2841-2849.
- [7] 宋会明,贺敬芝,梁军,等. 叶面喷施纳米硒肥对金丝小枣产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(4): 203-207.
- [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, 41(10): 1266-1271.
- [9] 李志,陈淑娟,侯小云,等. 水稻应用不同硒肥比较试验[J]. 基层农技推广, 2022, 10(3): 11-14.
- [10] 耿敬章,陈俊杰,杨萌,等. 富硒叶面肥安全性评估方法建立[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(7): 1440-1441+1445.
- [11] 杨秀松. 金花葵粗黄酮提取物的免疫调节作用研究[J]. 中国药师, 2013, 16(9): 1307-1311.
- [12] 曹利华,苗明三. 金花葵的现代研究与综合利用分析[J]. 中医学报, 2016, 31(12): 1966-1968.
- [13] 兰蓉,李淳,刘卉,等. 金花葵总黄酮的提取和含量测定[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 280-282.
- [14] 马楠,郑鑫,杨虹,等. 金花葵根部化学成分研究[J]. 沈阳药科大学学报, 2018, 35(12): 1003-1006+1015.
- [15] 李淳,胡定煜,辛秀兰,等. 原子光谱法测定金花葵花瓣及种子中微量元素[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 152-155.
- [16] 彭志兵,吴正平,喻华娟. 金花葵籽油中脂肪酸组成的 GC-MS 分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(34): 16753+16756.
- [17] 雷波,金花葵总黄酮抑制酪氨酸酶活性的研究[J]. 宜春学院学报, 2009, 31(4): 101-102.
- [18] 姬华伟,李傲瑞,乔新星,等. 关中地区中药金花葵富硒研究重要性[J]. 现代园艺, 2021, 44(19): 43-46.
- [19] 蒲琦,黄海连,江智艺,等. 喷施硒肥对凉粉草生长及硒动态积累的影响[J]. 贵州农业科学, 2021, 49(5): 34-39.
- [20] 彭晓伟,蒋沛含,张爱军,等. 叶面喷施硒肥对谷子农艺性状及品质的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),

2022, 42(1): 1-9.

- [21] 周成河, 许敏, 顿春垚, 等. 硒肥浓度对藤茶硒含量及生长发育的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 127-131.
- [22] 曹昌林, 吕慧卿, 郝志萍, 等. 外源硒对‘晋苦荞 5 号’光合特性、籽粒硒积累和产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3): 207-213.
- [23] 徐云, 刘俊华, 王子健, 等. 硒和环境中富里酸对小麦幼苗糖代谢的影响[J]. 环境科学学报, 1998, 18(4): 401-406.
- [24] Zhang, L., Hu, B., Li, W., *et al.* (2014) OsPT2, a Phosphate Transporter, Is Involved in the Active Uptake of Selenite in Rice. *New Phytologist*, **201**, 1183-1191. <https://doi.org/10.1111/nph.12596>
- [25] 阚学飞, 胡萍, 陈彬. 外源硒肥对农作物生长、品质及营养元素含量的影响[J]. 肥料与健康, 2021, 48(6): 49-53.
- [26] 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): 1496-1503.
- [27] Feudis M.D., D’amato, R., Businelli, D., *et al.* (2019) Fate of Selenium in Soil: A Case Study in a Maize (*Zea mays* L.) Field under Two Irrigation Regimes and Fertilized with Sodium Selenite. *Science of the Total Environment*, **659**, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.200>
- [28] 潘丽萍, 邢颖, 陈锦平, 等. 不同硒肥施用模式对冬种马铃薯硒含量、产量及品质的影响[J]. 南方农业学报, 2021, 52(5): 1215-1221.
- [29] 李登超, 朱祝军, 徐志豪, 等. 硒对小白菜生长和养分吸收的影响[J]. 物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 353-358.
- [30] 黄爱纓, 吴珍龄. 亚硒酸钠对稻苗生长及谷胱甘肽过氧化物酶的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1997, 22(4): 421-425.
- [31] 吴永尧, 罗泽民, 彭振坤. 不同供硒水平对水稻生长的影响及水稻对硒的富集作用[J]. 湖南农业大学学报, 1998(3): 8-11.