

硒的价态与浓度水平对 6 种植物种子发芽和根际生长的影响

毛 晖¹, 王朝辉^{1*}, Graham Lyons², Glenn McDonald²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2. School of Agriculture and Wine, University of Adelaide, Waite Campus, Glen Osmond, SA 5064, Australia)

摘 要:本文研究了硒的价态(Se^{6+} 和 Se^{4+})和浓度水平($0\sim 100\text{ mgSe}\cdot\text{L}^{-1}$)对 6 种植物(大麦、小麦、花椰菜、萝卜、苜蓿和欧芹)种子萌发和根际生长特性的影响。结果表明,低浓度硒($<1\text{ mgSe}\cdot\text{L}^{-1}$)对种子发芽促进作用不明显,而高浓度硒($>4\text{ mgSe}\cdot\text{L}^{-1}$)则有显著抑制作用,不同种子对硒的抗性表现不同。根长和芽长的测定结果表明,低浓度对花椰菜和小麦种子生长具有显著促进作用,对欧芹种子表现出抑制作用。较高浓度($1\sim 4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)即对花椰菜、苜蓿和欧芹的根生长表现出抑制作用,高浓度对小麦、大麦和萝卜根生长有抑制作用,且使芽生长受到抑制的硒浓度高于根生长。比较价态,低硒时六价对花椰菜生长的促进作用显著高于四价,高硒时小麦和苜蓿对硒的抗性表现为六价硒强于四价硒,其余科属差异不显著。不同科属对硒的抗性为禾本科小麦和大麦最强,十字花科花椰菜和萝卜次之,豆科苜蓿较差,伞形科欧芹最差。

关键词:硒;价态;浓度;种子发芽;根际生长

中图分类号:X503.231 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)10-1958-08

Effects of Selenium Valence States and Concentration on Germination and Root Growth of Six Crop Species

MAO Hui¹, WANG Zhao-hui^{1*}, Graham Lyons², Glenn McDonald²

(1. College of Resources and Environment, Northwest Agricultural and Forestry University, Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China; 2. School of Agriculture and Wine, University of Adelaide, Waite Campus, Glen Osmond, SA 5064, Australia)

Abstract: Effects of selenium on seeds germination and root growth were studied by culture experiment with 6 species under different Se valence states(Se^{6+} and Se^{4+}) and concentrations($0\sim 100\text{ mgSe}\cdot\text{L}^{-1}$). The results showed that the significant inhibition effect can be found at high Se concentration, germination resistance to Se for the crop species sequence was: barley and broccoli>wheat>radish and medic>parsley. Results of root and shoot length showed that the seed growth of broccoli and wheat was improved below $1\text{ mgSe}\cdot\text{L}^{-1}$ while parsley was inhibited. The inhibition effects on root growth were found when Se concentration was higher than $2\text{ mgSe}\cdot\text{L}^{-1}$ for broccoli, medic and parsley, and higher than $4\text{ mgSe}\cdot\text{L}^{-1}$ for wheat, barley and radish. The inhibiting Se concentrations for shoot growth were found higher than that for root growth, at the same time. Selenate showed more obvious improvement effect on broccoli growth than selenite at low concentration. Wheat and medic had higher resistance to Se with selenate than with selenite at high Se concentration, while other species did not show significant difference. The species sequence of root growth resistance to Se was: wheat and barley(*gramineous*) was the best, followed by broccoli and radish(*cruciferous*), and then was medic(*leguminous*), parsley(*umbelliferous*) was the worst.

Keywords: selenium; valence states; concentration; germination; root growth

收稿日期: 2011-03-11

基金项目: 国家自然科学基金(30871596, 30971866); 农业公益性行业科研专项经费项目(201103003)

作者简介: 毛 晖(1977—), 男, 陕西咸阳市人, 博士研究生, 主要从事农业环境保护与食品安全方面研究。E-mail: maohui@nwsuaf.edu.cn

* 通讯作者: 王朝辉 E-mail: w-zhaohui@263.net

硒是动物和植物不可或缺的微量元素,能显著提高人体免疫功能、增强抗癌能力和预防心血管疾病等^[1]。我国是国际公认的缺硒区,土壤缺硒面积约占国土面积的 2/3^[2]。缺硒地区分布从我国东北至西南,与克山病和大骨节病区分布相吻合^[3-5],硒缺乏是引起我国人体大骨节病和克山病的主要原因之一,北方牧区牲畜白肌病也是由于饲料中硒含量过低造成的^[6-7]。与药物和食物中(如食用加硒食盐)这些无机态硒补充相比,通过食物链,依靠土壤-植物系统,以植物体有机硒来提高人体硒水平最为有效和安全^[8-9]。

不同科属及同一科不同品种植物对于硒元素的吸收以及生长响应都有较大差别^[10-11]。低浓度($<0.5 \text{ mgSe} \cdot \text{L}^{-1}$)的亚硒酸钠溶液对小麦种子萌发过程的各项生理指标有促进作用,高浓度($>5 \text{ mgSe} \cdot \text{L}^{-1}$)则产生抑制作用^[12],小白菜试验也得到类似的结果^[13]; $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硒能够促进大豆萌发生长,而高浓度则出现抑制作用^[14]。Juana Frias 等在 Lupin 种子发芽试验中发现,硒酸钠对种子发芽率、氨基酸以及硒含量提高的影响优于亚硒酸钠^[15]。由于对种子培养方式的选择、硒浓度与形态的设置不同,这些结果难以说明不同种类种子发芽对硒浓度与形态的响应,从而选择合适的硒形态与浓度处理种子,以提高和改善植物生长及营养品质。本研究在相同培养条件下,比较了不同浓度水平硒酸钠和亚硒酸钠对于不同科属植物种子发芽与根际生长的影响,以期对硒缺乏地区提高植物硒含量的硒肥安全施用提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试种子有 4 科:禾本科的小麦和大麦,十字花科的花椰菜和萝卜,豆科的苜蓿,伞形科的欧芹。小麦、大麦和苜蓿种子由澳大利亚阿德莱德大学农业食品与葡萄酒学院提供,花椰菜、萝卜和欧芹种子从澳大利亚新南威尔士州 Mr.Fothergill's 种子公司购买。

1.2 试验方法

试验设置不施硒对照和 0.5、1、2、4、10、20、50、100 $\text{mg Se} \cdot \text{L}^{-1}$ 8 个施硒浓度,采用硒酸钠和亚硒酸钠两种硒价态,共 18 个处理。每个处理设置 3 个重复。先用高纯水浸种 0.5 h 后,选取大小均匀、健康饱满的种子 10 粒放入 9 cm 塑料培养皿中,每个培养皿底部垫一张 Whatman 无灰滤纸,加入 10 mL 溶液确保种子被浸润而不被淹没,盖上留有空隙的盖子,置于培养箱中,于 24 $^{\circ}\text{C}$ 下避光培养。

1.3 测定方法

发芽期间,逐日记载发芽粒数,经 5 d 完成发芽培养,计算种子发芽率和发芽指数。于第 5 d 将培养皿拿出置于冰箱内停止生长,同时测定根长和芽长(每个培养皿中测定 10 株,取平均值)。

计算公式如下^[9]:

发芽率(%)=(第 5 d 内正常发芽的种子数/供试种子总数) $\times 100\%$

发芽指数: $GI = \sum Gt/Dt$ Dt 为发芽日数; Gt 为在 t 日内的发芽数。

1.4 数据处理

采用 SPSS Statistics 17.0 软件对试验数据进行统计分析。方差分析和显著性检验采用 LSD 最小显著差数法进行。

2 结果与分析

2.1 硒对种子发芽率的影响

发芽率表示种子最终发芽数目所占的比例。发芽率结果(表 1)表明,四价硒与六价硒处理小麦种子,均在浓度超过 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,发芽受到显著抑制,且受到抑制时四价硒处理小麦种子发芽率平均为 52.5%,显著低于六价硒处理的 70%。大麦种子在四价硒处理浓度高于 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,发芽受到显著抑制,而六价硒各浓度处理与对照相比未出现显著发芽抑制作用,两价态硒处理,大麦发芽率无显著差异,平均分别为 67% 和 68%。四价硒处理,花椰菜种子在高于 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时发芽显著受到抑制,六价硒在高于 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时显著受到抑制。在 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度时,六价硒处理下花椰菜的发芽率显著高于四价硒处理,分别为 83% 和 63%。四价硒和六价硒处理,萝卜种子均在高于 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时出现显著抑制发芽,两价态出现抑制作用的平均发芽率分别为 58% 和 55%,无显著差异。苜蓿种子两价态处理均在高于 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时受到显著抑制,受抑时四价硒处理平均发芽率为 45%,显著低于六价硒处理的 60%。欧芹种子在四价硒处理高于 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时开始有显著发芽抑制作用,在六价硒高于 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时出现抑制。比较抑制平均发芽率,四价硒处理为 57%,显著高于六价硒处理的 37%。

2.2 硒对种子发芽指数的影响

发芽指数是种子活力指标之一,反映了种子活力大小。发芽指数结果(表 2)表明,四价硒与六价硒处理小麦种子,均在硒浓度超过 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,发芽指数显著降低,在硒浓度为 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,发芽指数分别

表 1 硒的不同价态与浓度对于不同植物种子发芽率(%)的影响

Table 1 Effects of Se valence states and concentrations on germination rate of different crop species

处理/ mg Se·L ⁻¹	小麦		大麦		花椰菜		萝卜		苜蓿		欧芹	
	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺
Control	90.0cA	90.0aA	70.0abA	70.0aA	83.3abA	83.3aA	93.3abA	93.3abA	100.0aA	100.0aA	96.7aA	96.7aA
0.5	90.0cA	90.0aA	70.0abA	60.0aA	80.0abA	83.3aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	96.7aA	80.0abB
1	97.5abA	90.0aA	66.7abA	70.0aA	76.7bcA	83.3aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	96.7aA	90.0aA
2	92.5bcA	92.5aA	86.7aA	70.0aA	83.3abA	96.7aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	90.0aA	76.7abA
4	100.0aA	92.5aA	66.7abA	63.3aA	93.3aA	93.3aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	86.7abA	80.0abA
10	87.5cA	95.0aA	76.7abA	66.7aA	76.7bcA	83.3aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	66.7bcA	76.7abA
20	87.5cA	92.5aA	53.3cA	80.0aA	93.3aA	83.3aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	100.0aA	70.0bcA	56.7bA
50	90.0cA	87.5aA	50.0cA	70.0aA	63.3cB	83.3aA	80.0cA	70.0cA	76.7bB	90.0bA	53.3cdA	30.0cB
100	52.5dB	70.0bA	60.0cA	60.0aA	60.0cA	60.0bA	36.7dA	40.0dA	13.3cA	30.0cA	36.7dA	23.3cA

注:同一列不同小写字母代表浓度间差异显著($P<0.05$);相同植物同行不同大写字母代表价态间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different small letters within the same column show significant difference ($P<0.05$) between germination rates of the same crop at different Se concentrations, while the capital letters show the difference between germination rates of the same crop species at same Se concentrations but different valence states. The same below.

表 2 硒的不同价态与浓度对不同植物种子发芽指数的影响

Table 2 Effects of Se valence states and concentrations on germination index of different crop species

处理/ mg Se·L ⁻¹	小麦		大麦		花椰菜		萝卜		苜蓿		欧芹	
	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺	Se ⁴⁺	Se ⁶⁺
Control	8.0bA	8.0aA	6.6abcdA	6.6abA	5.4deA	5.4bA	9.0aA	9.0aA	8.7cA	8.7bA	3.8abA	3.8abA
0.5	8.4abA	8.9aA	7.0abcA	5.6abA	6.1cdeA	7.5aA	9.5aA	9.8aA	9.0bcA	9.0aA	4.1a A	2.1d B
1	9.5aA	8.4aA	6.3bcdA	6.6abA	6.8bcdeA	7.7aA	9.8aA	9.7aA	8.8bcA	9.1aA	2.9abcA	4.3aA
2	8.5abA	8.1aA	8.7aA	6.8abA	7.2abcdA	7.4aA	10.0aA	9.8aA	9.2bcA	9.0aA	3.0abcA	3.1bcdA
4	8.8abA	8.2aA	6.7abcA	6.1abA	8.8aA	7.4aA	9.6aA	9.4aA	8.7cA	9.2aA	2.8bcA	3.1bcA
10	8.2abA	8.7aA	7.3abA	6.2abA	7.3abcA	6.4abA	9.7aA	9.7aA	9.5abA	9.7aA	2.2cdA	3.1bcdA
20	7.8bA	8.6aA	4.9cdA	7.6aA	8.1abA	6.9abA	9.7aA	9.8aA	10.0aA	9.8aA	2.1cdA	2.3cdA
50	8.2bA	7.9aA	4.5dB	7.0aA	5.0eA	6.8abA	5.9bA	5.2bA	5.3dB	7.4cA	1.3dA	0.7eB
100	4.3cA	6.2bA	4.9cdA	4.5bA	5.1eA	3.8bA	1.8cA	2.3cA	0.9eA	1.6dA	1.1dA	0.6eB

为 4.3 和 6.2,无显著差异。四价与六价硒处理,大麦种子各硒浓度的发芽指数与对照相比无显著差异,但在 50 mg·L⁻¹ 时,四价硒处理的发芽指数显著低于六价硒处理,两者分别为 4.5 和 7.0。各硒浓度处理花椰菜种子与对照相比亦无显著差异,两硒价态间同样差异不显著,平均发芽指数分别为 6.7 和 6.6。四价与六价硒处理的萝卜种子,发芽指数均在高于 20 mg·L⁻¹ 时显著降低,价态间无显著差异,受抑时两硒价态处理的平均发芽指数分别为 3.9 和 3.7。苜蓿种子在硒浓度高于 20 mg·L⁻¹ 时,发芽指数显著降低,硒浓度为 50 mg·L⁻¹ 时,四价硒处理的发芽指数显著低于六价硒处理,发芽指数分别为 5.3 和 7.4。四价硒处理,浓度为 10~20 mg·L⁻¹ 时,发芽指数显著高于对照;六价硒浓度 0.5~20 mg·L⁻¹ 时,苜蓿种子发芽指数均显著

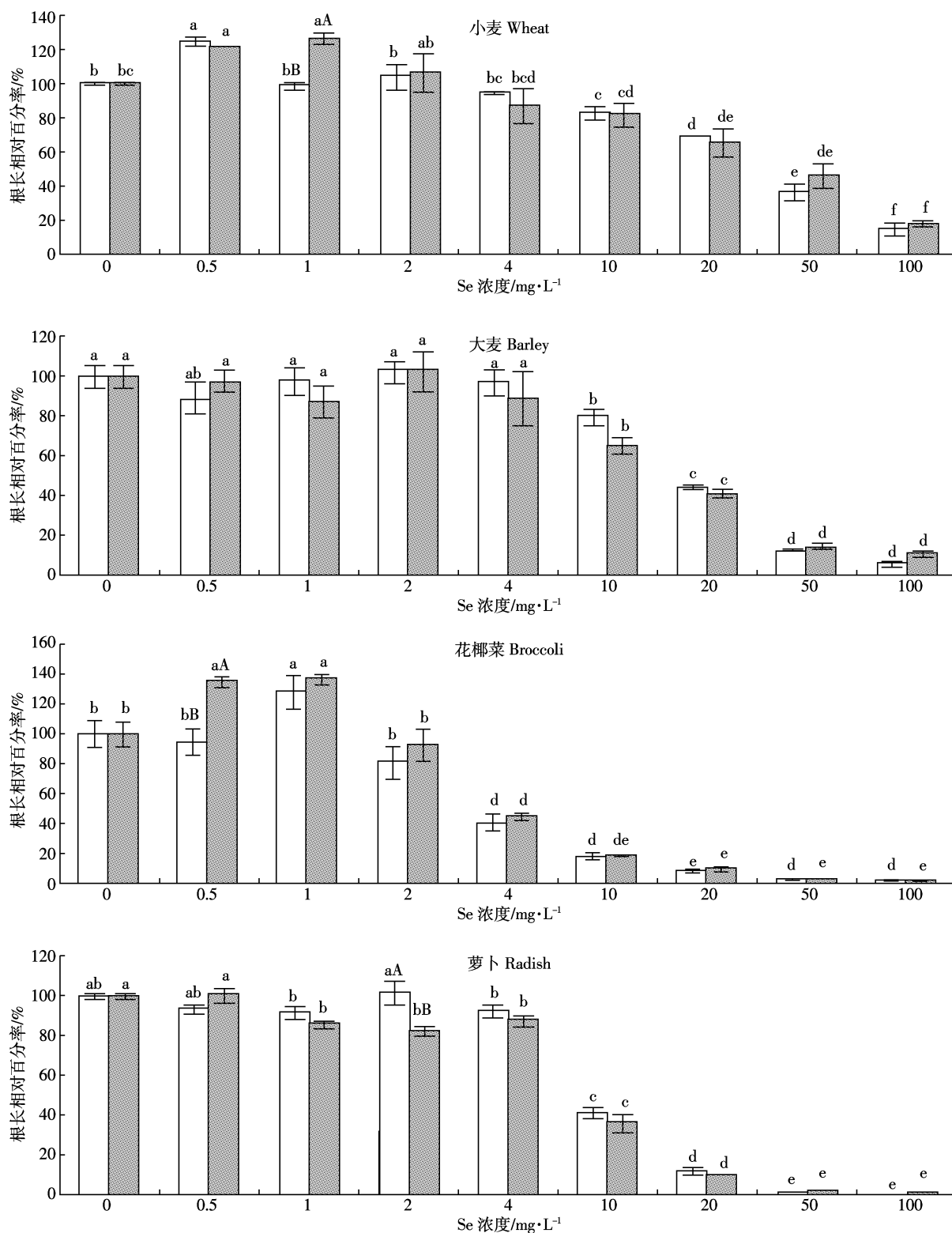
高于对照。四价硒处理,欧芹种子在硒浓度高于 4 mg·L⁻¹ 时,发芽指数显著降低,六价硒处理在高于 20 mg·L⁻¹ 时显著降低,抑制后四价硒处理的发芽指数平均值为 1.7,显著高于六价硒处理的 1.2。

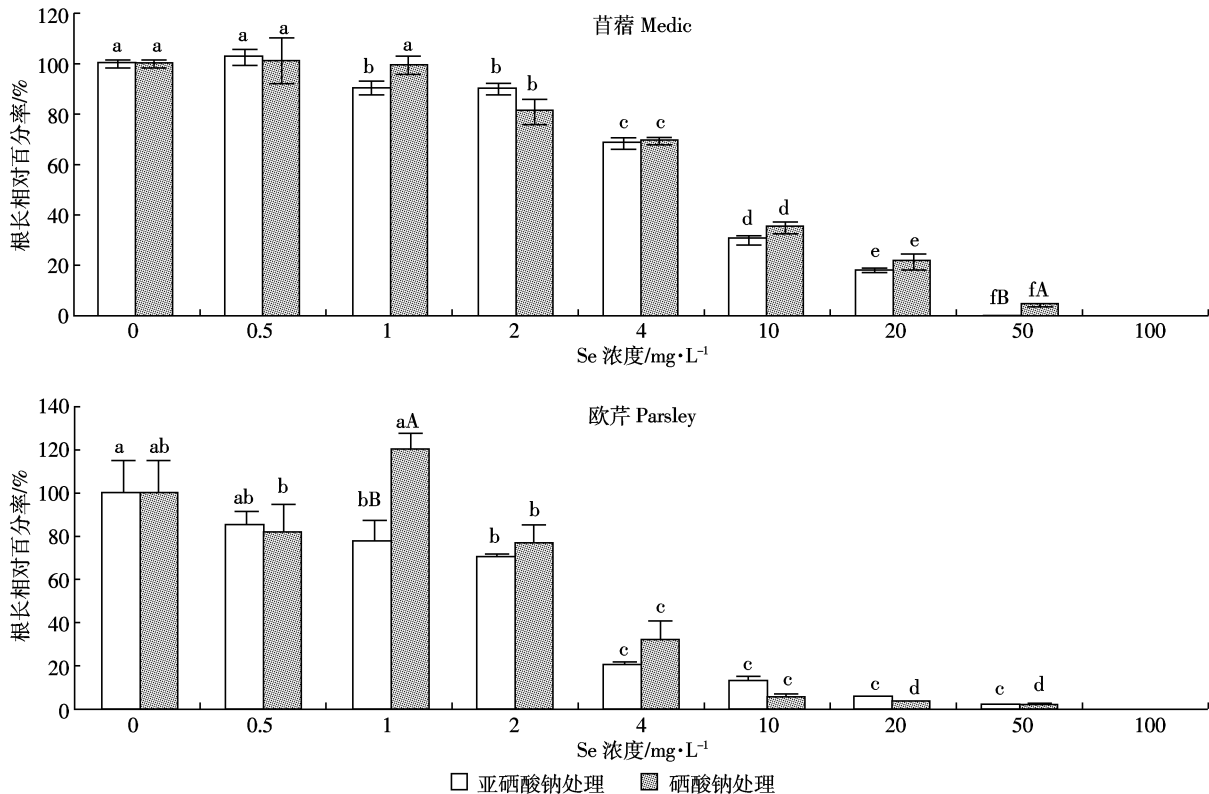
2.3 硒对于种子根长的影响

发芽试验根长结果(图 1)表明,高浓度硒处理时植物种子根生长表现出抑制。小麦种子在硒浓度高于 4 mg·L⁻¹ 时,根生长显著受到抑制,但相对根长仍能达到 83%,比较四价硒和六价硒处理,四价硒对根生长的抑制作用强于六价硒。大麦种子在硒处理浓度高于 4 mg·L⁻¹ 时也出现对根生长的抑制作用,相对根长达到 83%,硒价态间抑制作用差异不明显。花椰菜种子在硒处理浓度高于 2 mg·L⁻¹ 时,根生长显著受到抑制,相对根长为 45%,两价态间抑制作用无显著差异。

使萝卜种子出现抑制作用的硒浓度高于 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 抑制后相对根长最大为 42%, 两价态硒的抑制作用无显著差异。苜蓿种子在硒浓度高于 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 根生长受到显著抑制, 相对根长最大为 69% 左右, 且四价硒的抑制作用高于六价硒。欧芹种子受到抑制的硒浓度

高于 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 抑制后相对根长最大为 31% 左右, 两价态硒的抑制作用无显著差异。比较各种子在 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 高浓度硒处理下的表现, 小麦和大麦的相对根长能够分别达到 40% 和 20%, 15% 和 10%, 花椰菜为 2% 左右, 萝卜小于 2%, 苜蓿和欧芹在





分别以对照处理下的根长作为参照,取 100%。同一价态处理不同小写字母代表浓度处理间差异显著 ($P<0.05$),同一浓度处理间不同大写字母代表价态间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

Different small letters within the same valence state showed significant difference ($P<0.05$) between concentrations, while different capital letters within the same concentration showed significant difference ($P<0.05$) between valence states. The same below.

图 1 不同硒价态和浓度对 6 种植物种子根长的影响

Figure 1 Effects of different Se valence states and concentrations on root length of six crop species

硒浓度 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时接近 0%,停止生长。

根长的测定(图 1)也表明,部分植物种子在低浓度硒处理时,表现出对根生长的刺激作用。小麦种子在 $0.5 \sim 2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的较低硒浓度处理时出现显著的刺激生长作用,且四价硒在 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、六价硒在 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时出现刺激作用峰值,最大相对根长均为 126%左右。花椰菜种子在低浓度硒处理下也出现了刺激生长作用,硒浓度为 $0.5 \sim 1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时均显著促进根生长发育,且四价与六价硒都在 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时出现刺激作用峰值,六价硒略有滞后,最大相对根长为 136%左右。伞形科欧芹种子在六价硒处理浓度为 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时出现促进生长作用,相对根长为 120%左右。大麦、萝卜和苜蓿种子未出现低浓度下的刺激作用。

2.4 硒对于种子芽长的影响

芽长结果(图 2)表明,植物种子在高浓度硒处理下芽的生长同样受到抑制。在硒浓度高于 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,小麦芽生长受到显著抑制,相对芽长最大为 74%,价态间无显著差异。大麦种子芽长在硒高于 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

时受到显著抑制,相对芽长最大为 78%,四价硒抑制作用高于六价硒。硒浓度高于 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,花椰菜芽生长受到显著抑制,相对芽长最大为 42%,四价硒抑制作用高于六价硒。硒浓度高于 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,萝卜种子芽生长受到显著抑制,相对芽长最大为 50%,四价硒处理抑制作用高于六价硒。硒浓度高于 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,苜蓿种子芽生长受到显著抑制,四价抑制作用显著高于六价,相对芽长最大为 67%。欧芹种子在硒浓度高于 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,受到显著抑制,抑制作用同样为四价高于六价,相对芽长最大为 73%。比较 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 高浓度硒处理的芽生长,发现小麦和大麦能够达到 40%~30% 的相对芽长,花椰菜为 30%~10%,萝卜为 40%~10%,苜蓿和欧芹芽生长趋于停止。

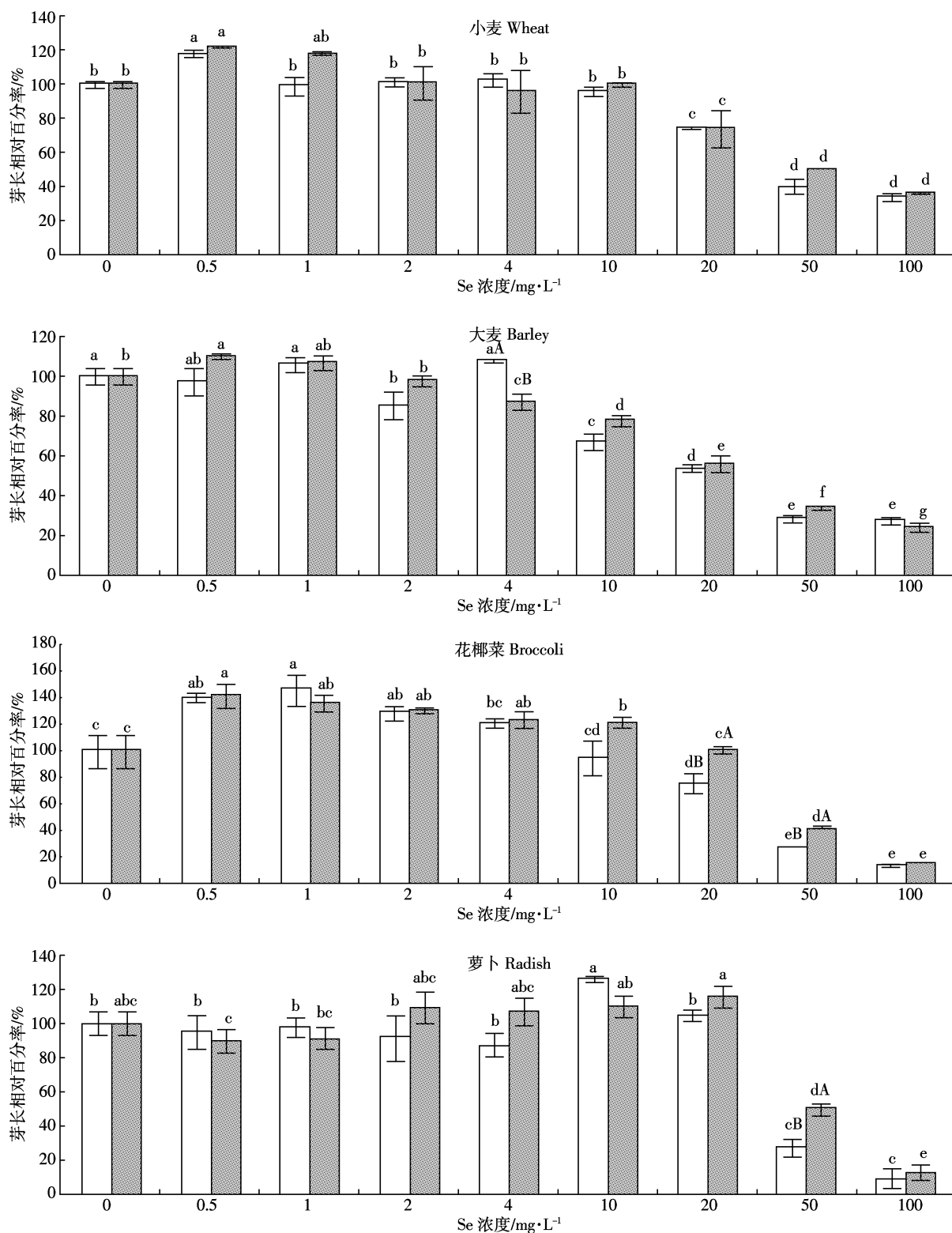
芽长结果(图 2)同样表明,部分植物种子在较低浓度硒处理下芽生长受到促进生长的刺激作用。小麦芽生长在 $0.5 \sim 1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时出现促进作用,相对芽长最大达 120%左右,六价硒的促进作用滞后于四价硒处

理。大麦芽长 $0.5\sim 1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硒浓度处理时出现促进芽生长作用,相对芽长最大为 110%。花椰菜在 $0.5\sim 10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 硒浓度处理时,芽生长均表现出促进生长作用,相对芽长最高达 150%左右,价态间差异不显著。萝卜种子芽生长仅在四价硒处理浓度为 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时

出现显著的促进作用。苜蓿种子和欧芹种子在低浓度下没有表现出促进芽生长的作用。

3 讨论

本研究结果表明,不同科属种子发芽率和发芽指



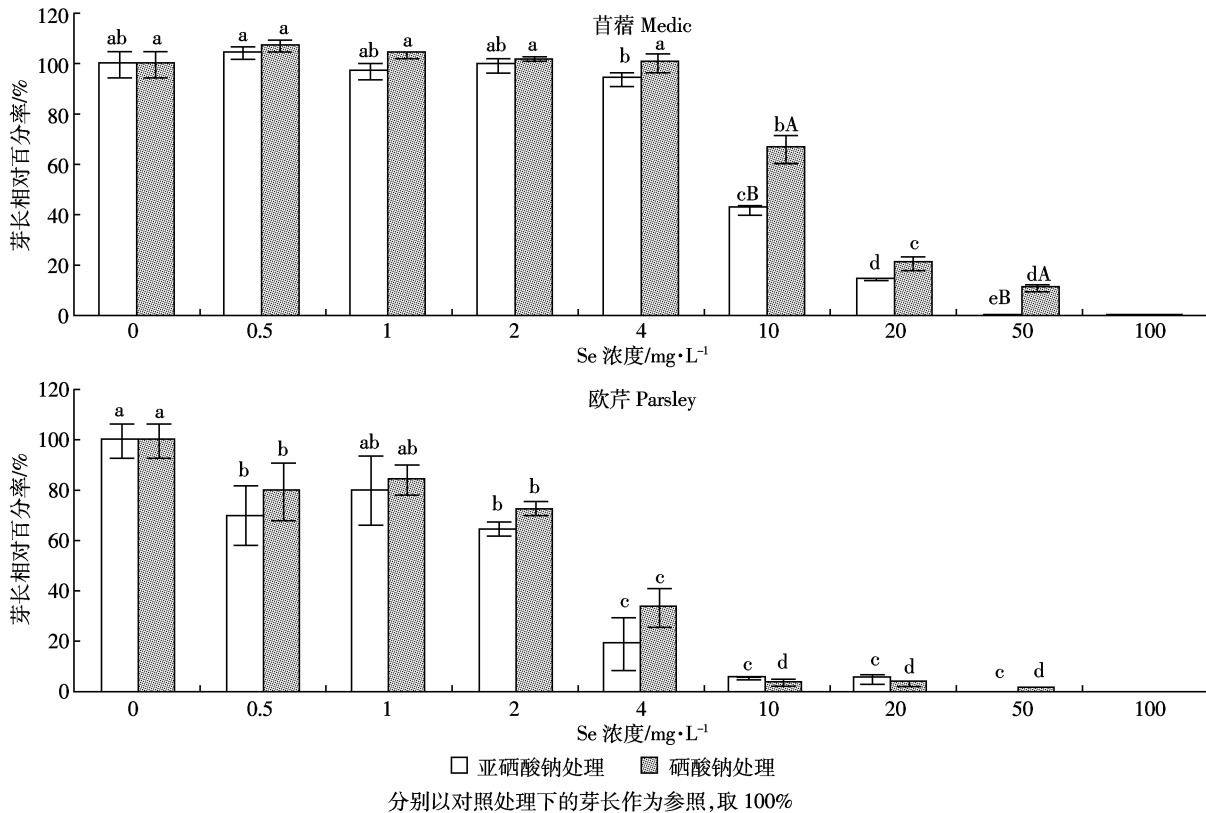


图 2 不同硒价态和浓度对 6 种植物种子芽长的影响

Figure 2 Effects of different Se valence states and concentrations on shoot length of six crop species

数在较低硒浓度时没有明显提高,价态间无差异,高浓度下显著降低,抑制效果显著,部分植物种子价态间差异显著,这与之前的报道一致^[16-19]。这可能是影响种子萌发力大小的水解淀粉酶活力受到硒离子强度的胁迫,从而导致萌发率低,生长缓慢^[12]。不同植物种子水解淀粉酶活力存在差异也导致了抑制效果的不同。本研究中,不同种子发芽对硒的抗性排序为大麦=花椰菜>小麦>萝卜=苜蓿>欧芹。植物种子发芽受抑制作用的硒价态间比较发现,豆科苜蓿发芽率和发芽指数中均表现为六价硒处理显著高于四价硒,伞形科欧芹种子的发芽率表现为四价硒处理高于六价硒。种子根长分析表明,低浓度硒处理对于花椰菜和小麦根生长具有显著促进作用,对大麦、萝卜和苜蓿种子影响不大,对欧芹种子表现出一定抑制生长作用。对于花椰菜的促进作用表现为六价硒显著高于四价硒,其余科属硒价态间差异不显著。Cartes 等报道了六价硒对于黑麦草生长的促进作用显著高于四价硒^[20]。

花椰菜与萝卜同属十字花科,在低硒浓度处理时表现不同,说明同科作物不同品种植物对硒的响应也有差异,这与之前报道的不同水稻以及糙米品种对硒的响应存在差异相一致^[21-22]。本研究根据种子根生长

提出不同科属植物在高浓度硒处理下的抗性顺序为禾本科(小麦和大麦)>豆科(苜蓿)>十字花科(花椰菜和萝卜)>伞形科(欧芹)。有研究报道^[23-24],重金属对种子根的抑制作用大于对芽的抑制作用,高浓度硒能够抑制种子萌发和伸长,作用时间越长,抑制作用越强。比较根与芽的生长发现,除欧芹外其余 5 种植物均表现出高浓度硒处理对于根生长的抑制作用显著高于对芽的抑制作用,与此前 Lyons 报道一致^[25]。

4 结论

本试验进一步确定了低浓度硒处理下,试验植物种子根生长表现有促进作用、无影响和抑制作用,显示出不同品种间对于低硒处理的响应差异。高浓度硒处理下,都表现出了显著抑制生长作用,但出现抑制作用浓度不同,禾本科最高,伞形科最低,且大多数植物表现为根生长的抑制作用强于芽生长。这些结果为确定植物硒肥拌种浓度、大田硒肥施用量以及耐硒种植品种选择提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 左银虎. 环境与植物中硒形态研究进展 [J]. 植物学通报, 1999, 16

- (4):378-380.
- ZUO Yin-hu. Advances in the studies on forms of selenium in environment and in plants[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(4):378-380.
- [2] 王子健. 中国低硒带生态环境中硒的环境行为研究进展[J]. 环境化学, 1994, 12(3):237-243.
- WANG Zi-jian. Some biogeochemical aspects of selenium in Chinese low-selenium belt[J]. *Environmental Chemistry*, 1994, 12(3):237-243.
- [3] 谭见安. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京:科学出版社, 1989, 83-118.
- TAN Jian-an. The pictures of local diseases and environment in People's Republic of China[M]. Beijing:Science Press, 1989:83-118.
- [4] Tan Jian'an, Zhu Wenyu, Wang Wuyi, et al. Selenium in soil and endemic diseases in China[J]. *The Science of the Total Environment*, 2002, 28(4):227-235.
- [5] 中国科学院地理研究所环境与地方病组. 我国大骨节病的地理流行病学特点和环境病因研究[J]. 地理科学, 1985, 5(1):1-8.
- The Group of Environment and Endemic Disease(Institute of Geography Academia Sinica). The characteristics of geographical epidemiology for kaschin-beck disease in China and its pathogenicity[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1985, 5(1):1-8.
- [6] 胡坚. 动物饲养学[M]. 长春:吉林科学技术出版社, 1990.
- HU Jian. Zootechny[M]. Changchun:Jilin Science & Technology Press, 1990.
- [7] 杨文正, 章世元, 林在光, 等. 动物矿物质营养[M]. 北京:中国农业出版社, 1996.
- YANG Wen-zheng, ZHANG Shi-yuan, LIN Zai-guang et al. Mineral nutrition of animal[M]. Beijing:China Agriculture Press, 1996.
- [8] 胡秋辉, 陈晓红, 安欣欣, 等. 富硒茶提高大鼠非特异性免疫功能的效应[J]. 食品科学, 2000, 21(11):56-58.
- HU Qiu-hui, CHEN Xiao-hong, AN Xin-xin, et al. Se-enriched tea Se content of blood Se content of liver phagocytic index immunity function[J]. *Food Science*, 2000, 21(11):56-58.
- [9] Bawa S S. Screening of different fodder's for selenium absorption capacity[J]. *Indian J Dairy Science*, 1992, 45:457-460.
- [10] Pilon-Smits E A H, et al. Physiological functions of beneficial elements[J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2009, 12:267-274.
- [11] Lyons G, et al. Selenium increases seed production in *Brassica*[J]. *Plant Soil*, 2009, 318:73-80.
- [12] 林匡飞, 徐小清, 郑利, 等. Se 对小麦发芽与根伸长抑制的生态毒理效应[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(5):885-889.
- LIN Kuang-fei, XU Xiao-qing, ZHENG Li, et al. Eco-toxicological effects of selenium on inhibition of seed germination and root elongation of wheat(*Triticum aestivum* L.)[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2004, 23(5):885-889.
- [13] 彭诚, 丁莉, 王军. 硒对白菜种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2006, 24(1):91-93.
- PENG Cheng, DING Li, WANG Jun. The physiological effects of Se on the germinating of cabbage seeds[J]. *Journal of Hubei Institute for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2006, 24(1):91-93.
- [14] 李会芳, 白云生, 樊文华, 等. 不同浓度的硒对大豆种子发芽率及幼苗生长的影响[J]. 山西农业大学学报, 2006(3):256-258.
- LI Hui-fang, BAI Yun-sheng, FAN Wen-hua, et al. Influence of selenium on germination percentage of soybeans seeds [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2006(3):256-258.
- [15] Juana Frias, et al. Influence of germination with different selenium solutions on nutritional value and cytotoxicity of lupin seeds[J]. *J A -gric Food Chem*, 2009, 57:1319-1325.
- [16] 周大寨, 朱玉昌, 张驰, 等. 硒浸种对芸豆种子萌发的影响 [J]. 湖北民族学院学报, 2007, 25(1):91-93.
- ZHOU Da-zhai, ZHU Yu-chang, ZHANG Chi, et al. The effect of selenium on seed germination of kidney bean[J]. *Journal of Hubei Institute for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2007, 25(1):91-93.
- [17] 张驰, 刘信平, 周大寨, 等. 硒对花生种子萌发和脂肪酶活力的影响[J]. 湖北农业科学, 2003(3):36-37.
- ZHANG Chi, LIU Xin-ping, ZHOU Da-zhai, et al. The influence of selenium upon seeds budding and fatase of peanut[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2003(3):36-38.
- [18] 罗海波. 有益元素对水稻种子萌发的生理效应[J]. 种子, 2000(3):24-25.
- LUO Hai-bo. The effects of Na_2SeO_3 on the germinating rice seeds[J]. *Seed*, 2000(3):24-25.
- [19] Carlson C L, Kaplan D I, Adriano D C. Effects of selenium on germination and radicle elongation of selected agronomic species[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 1989, 29(4):493-498.
- [20] Cartes P, Gianfreda L, Mora M L. Uptake of Selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms[J]. *Plant and Soil*, 2005, 276:359-367.
- [21] 吴露露, 杨安富, 耿建梅. 硒对不同类型杂交水稻品种发芽特性的影响[J]. 热带作物学报, 2010, 31(5):711-718.
- WU Lu-lu, YANG An-fu, GENG Jian-mei, et al. The physiological effects of Se on the germinating of hybrid rice varieties[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2010, 31(5):711-718.
- [22] LIU Kun-lun, GU Zhen-xin. Selenium accumulation in different brown rice cultivars and its distribution in fractions[J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57:695-700.
- [23] 张义贤. 重金属对大麦(*Hordeum vulgare*)毒性的研究[J]. 环境科学学报, 1997, 17(2):199-205.
- ZHANG Yi-xian. Toxicity of heavy metals to *Hordeum vulgare*[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1997, 17(2):199-205.
- [24] Chakravarty B Srivastavas. Toxicity of some heavy metals in vivo and in vitro in helianthus annuus[J]. *Mutation Research*, 1992, 283(3):287-294.
- [25] Lyons G, Stangoulis J, Graham R. Tolerance of wheat(*Triticum aestivum* L.) to high soil and solution selenium levels[J]. *Plant and Soil*, 2005, 270:179-188.