



曾维超, 罗文亮, 罗金玲, 等. 镉对上海青种子萌发及生长生理特性的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2020(1):62-67.

镉对上海青种子萌发及生长生理特性的影响

曾维超¹, 罗文亮², 罗金玲¹, 麦淑华¹, 黄东华², 陈大清²

(1. 仲恺农业工程学院 园艺园林学院, 广东 广州 510225; 2. 仲恺农业工程学院 农业与生物学院, 广东 广州 510225)

摘要:为保障农产品安全和生态安全,以上海青(*Brassica rapa* var. *chinensis* L.)作研究材料,生理生化指标。结果表明:当镉浓度 $\leq 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,镉对上海青种子萌发、芽和根的伸长、鲜重质量、生物量等没有显著影响,随着镉浓度的增加,对种子萌发和幼苗的茎长、根长、鲜重质量、干重质量都有显著的抑制作用,幼苗体内保护酶活性增加,幼苗生长受到抑制。结果表明上海青为镉敏感植物,可作为土壤镉污染的指示植物。

关键词:上海青;镉;发芽率;生长指标;生理特性

重金属污染作为当前全球重要的一类环境问题,受到广泛关注^[1]。镉(Cd),属第五周期 IIB 族,镉的生物毒性较大,在重金属中仅低于汞^[2];自然界中,镉的污染范围较广,常见于土壤污染、水污染^[3],镉的毒性会影响植物光合作用、水分和矿物质的吸收转运、抗氧化酶活性等不同生理功能^[4-5]。同时,镉也会影响植物的生长,镉胁迫下植物茎和根的伸长受到抑制,叶片出现畸形和黄化^[6],根部侧根形成受到抑制,主根变硬、变形、变色^[7],吸收作用受到严重影响^[8]。镉的生物利用度高于其他重金属,因此它可以更容易吸收植物和生物富集的方式进入食物链,对人体造成危害和生态系统。镉的生物有效性高于其他重金属,因而它可以更容易地被植物吸收,进一步通过生物富集方式对人体和生态系统产生危害^[2,9-10]。

上海青(*Brassica rapa* var. *chinensis* L.)是十字花科蔬菜,是白菜的一个变种,广泛栽培于中国南方^[11]。通过研究镉胁迫对上海青的影响,为保障农产品安全和生态安全提供基础研究。

1 材料与方法

1.1 材料

上海青种子为勿忘农种业股份有限公司出产的不结球小青菜,种子许可证号:(农)农种经许

字(2009)0336 号。

供试试剂为 MS 培养基、酒精、次氯酸钠、氯化镉、PBS 磷酸缓冲液(PVP, pH 7.8)、磷酸缓冲液(pH 7.0)、磷酸缓冲液(pH 7.5)、愈创木酚、 H_2O_2 ,所用试剂均为国产分析纯。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 筛选出生长状态一致、饱满的上海青种子,用无菌水浸种 12 h,75%酒精消毒 1 min,10%次氯酸钠消毒 10 min,再用无菌水清洗 3 次,每次 30 s,将消毒过的种子分别置于含有终浓度为 0,5,10,50,100,200,300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化镉的 MS 培养基或单盐培养基中,每个培养基接种数为 20 颗,每个处理重复 3 次,在 20 °C 光照恒温培养室中培养。

1.2.2 测定项目及方法 每天统计种子萌发情况,计算发芽率和发芽指数,计算公式:发芽率(%)=第 7 天正常发芽种子数/种子总数 $\times 100$;发芽势(%)=从实验开始至第 3 天内正常发芽种子数/种子总数 $\times 100$ 。

测定不同浓度处理组的根长和株高。培养 7 d 后,从不同处理中任意选择 10 株幼苗,测定其鲜质量,随后置于烘箱中以 105 °C 杀青,并烘干至恒重后测定干质量;POD 活性通过愈创木酚法测定^[12],CAT 活性以紫外吸收法测定^[13]。

1.2.3 数据分析 试验采用 Excel 2016、SPSS 22.0 对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 镉胁迫对上海青种子发芽情况的影响

Cd^{2+} 处理对上海青种子发芽率和发芽势影响表现为低浓度下无显著影响,高浓度起抑制作

收稿日期:2019-09-03

基金项目:国家自然科学基金(31560579);广东省科技计划(2015A030302081);广东省教育厅人才引进项目(粤财教 2010343 号);广东省技术质量监督局项目(粤财农[2017]66 号)资助。

第一作者:曾维超(1995-),男,在读硕士,从事环境污染与植物修复研究。E-mail: zengvivi@foxmail.com。

通信作者:陈大清(1962-),男,博士,教授,从事植物逆境生理分子生物学研究。E-mail: daqingchen@vip.sina.com。

用,随着浓度的提高,其发芽率和发芽势显著降低(表 1)。无论是单盐 + Cd²⁺ 处理或 MS + Cd²⁺,当 Cd²⁺ 浓度≤5 mg·L⁻¹时,对上海青种子的发芽率和发芽势影响不显著($P<0.05$)。当

Cd²⁺ 处理浓度≥10 mg·L⁻¹时,上海青种子的发芽率和发芽势受到显著抑制,且随着 Cd²⁺ 浓度的逐步提高,上海青种子的发芽率和发芽势不断降低,在最高浓度时达到最低值。

表 1 不同浓度的镉处理对上海青种子发芽率的影响

Table 1 Effects of different concentrations of cadmium on germination rate and germination energy of *Brassica* seeds

处理 Treatments	单盐 + Cd ²⁺ Single salt medium + Cd ²⁺		MS + Cd ²⁺ MS culture medium + Cd ²⁺	
	发芽势 Germination energy/%	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination energy/%	发芽率 Germination rate/%
0(CK)	93.33±1.17 d	93.33±1.17 d	93.33±1.26 e	95.00±2.00 e
5 mg·L ⁻¹	91.67±2.03 d	93.33±2.88 d	91.67±1.95 e	95.00±1.35 e
10 mg·L ⁻¹	86.67±1.53 c	86.67±1.53 c	88.33±1.51 d	90.00±2.41 d
50 mg·L ⁻¹	86.67±1.46 c	86.67±1.46 c	88.33±1.51 d	88.33±1.51 d
100 mg·L ⁻¹	80.00±0.35 b	81.67±2.47 b	83.33±1.80 c	85.00±1.40 c
200 mg·L ⁻¹	81.67±1.57 b	83.33±2.15 bc	76.67±1.84 b	81.67±1.82 b
300 mg·L ⁻¹	71.67±1.28 a	71.67±1.28 a	73.33±2.06 a	75.00±1.40 a

注:同列数字后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference($P<0.05$), the same below.

与 Cd²⁺ 处理对上海青种子萌发影响类似,当 Cd²⁺ 处理浓度≤5 mg·L⁻¹时,对上海青种子的成苗率无显著影响,而 Cd²⁺ 处理浓度≥10 mg·L⁻¹时,上海青的成苗率显著下降(表 2)。随着 Cd²⁺ 浓度的升高,成苗率逐渐下降,单盐 + Cd²⁺ 处理

在 Cd²⁺ 浓度为 300 mg·L⁻¹成苗率达到最低值且与其他处理存在显著差异。而 MS + Cd²⁺ 处理在 Cd²⁺ 浓度为 200,300 mg·L⁻¹时达到最低值,且两组处理间差异不显著,与其他处理存在显著差异。

表 2 不同浓度的镉处理对上海青种子成苗率的影响

Table 2 Effects of different concentrations of cadmium on the seedling rate of *Brassica*

处理 Treatments	单盐 + Cd ²⁺ Single salt medium + Cd ²⁺		MS + Cd ²⁺ MS culture medium + Cd ²⁺	
	3 d 成苗率 Seedling rate/%	7 d 成苗率 Seedling rate/%	3 d 成苗率 Seedling rate/%	7 d 成苗率 Seedling rate/%
0(CK)	73.33±0.87 e	88.33±1.01 e	85.00±1.32 d	95.00±1.16 e
5 mg·L ⁻¹	73.33±0.71 e	90.00±1.09 e	86.67±1.47 d	93.33±1.58 e
10 mg·L ⁻¹	71.67±1.27 e	81.67±1.00 d	81.67±1.33 c	90.00±1.16 d
50 mg·L ⁻¹	68.33±1.64 d	80.00±1.09 d	81.67±1.26 c	85.00±1.12 c
100 mg·L ⁻¹	48.33±2.83 c	66.67±1.50 c	40.00±1.58 b	48.33±1.08 b
200 mg·L ⁻¹	6.67±0.59 b	10.00±0.77 b	8.33±0.70 a	11.67±0.76 a
300 mg·L ⁻¹	3.33±0.78 a	5.00±1.54 a	10.00±0.53 a	10.00±0.53 a

2.2 镉盐胁迫对上海青幼苗生长的影响

单盐 + Cd²⁺ 处理对上海青茎长的生长发育表现为低浓度下(5 mgL⁻¹)无显著影响,高浓度则抑制生长(图 1)。当单盐 + Cd²⁺ 处理浓度为 0 或

5 mg·L⁻¹时,上海青株高达到最大值,两组间无显著差异,但与其他处理存在显著差异。随着 Cd²⁺ 处理浓度的升高,上海青株高不断降低,当单盐 + Cd²⁺ 处理浓度为 100 mg·L⁻¹时,上海青株高达到

最小值,且与其他处理存在显著差异。

与单盐+ Cd^{2+} 处理上海青结果相似,MS+ Cd^{2+} 处理对上海青茎长的生长发育的影响同样表现为低浓度下($5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)无显著影响,高浓度则抑制生长(图2)。当MS+ Cd^{2+} 处理5 d后, Cd^{2+} 浓度为0或 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,上海青株高达到最大值,两组间无显著差异,但与其他处理存在显著差异。但在处理10 d后, Cd^{2+} 浓度为0或 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 间上海青株高无显著差异, Cd^{2+} 浓度为5或 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 间上海青株高同样无显著差异。当MS+ Cd^{2+} 处理10 d以内时, Cd^{2+} 处理浓度为 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,上海青株高达到最小值,且与其他处理存在显著差异。

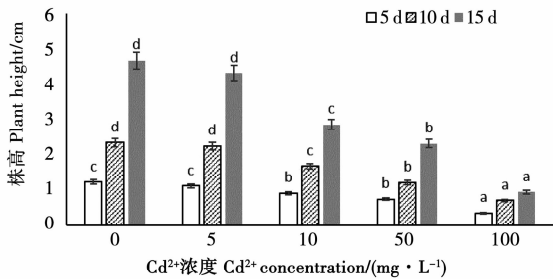


图1 不同浓度单盐+镉处理对上海青幼苗茎长的影响
Fig. 1 Effects of different concentrations of single salt+cadmium on the stem length of *Brassica*

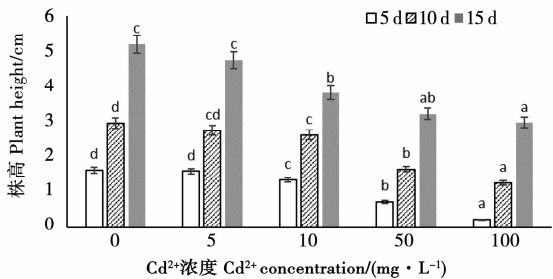


图2 不同浓度MS+镉处理对上海青幼苗茎长的影响
Fig. 2 Effects of different concentrations of MS+cadmium on the stem length of *Brassica*

单盐+ Cd^{2+} 处理对上海青根长的生长发育表现为低浓度下($5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)无显著影响,高浓度则抑制生长(图3)。当单盐+ Cd^{2+} 处理浓度为0或 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,上海青根长达到最大值,两组间无显著差异,但与其他处理存在显著差异。随着 Cd^{2+} 处理浓度的升高,上海青根长不断降低,当单盐+ Cd^{2+} 处理浓度为 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,上海青根长达到最小值,且与其他处理存在显著差异。

MS+ Cd^{2+} 处理对上海青根长的生长发育表

现为短期内($\leq 5\text{ d}$)低浓度下($5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)无显著影响,高浓度则抑制生长,当处理时间 $>5\text{ d}$ 时起抑制作用(图4)。当MS+ Cd^{2+} 处理 $\leq 5\text{ d}$ 时,处理浓度为0或 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,上海青根长达到最大值,两组间无显著差异,但与其他处理存在显著差异;随着 Cd^{2+} 处理浓度的升高,上海青根长不断降低,当单盐+ Cd^{2+} 处理浓度为 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,上海青根长达到最小值,且与其他处理存在显著差异。当处理时间 $\geq 10\text{ d}$ 时,空白组根长达到最大值,且与其他处理存在显著差异,随着 Cd^{2+} 处理浓度的升高, Cd^{2+} 对上海青根长的抑制作用不断增强,当 Cd^{2+} 处理浓度为 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,上海青根长达到最小值,且与其他处理存在显著差异。

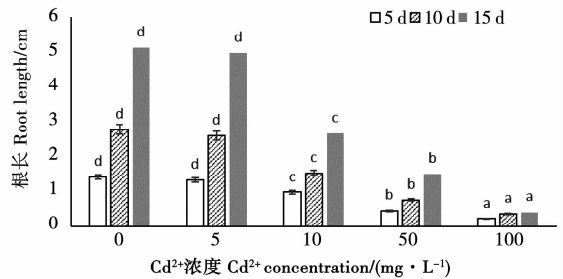


图3 不同浓度单盐+镉处理对上海青幼苗根长的影响
Fig. 3 Effects of different concentrations of single salt+cadmium on the root length of *Brassica*

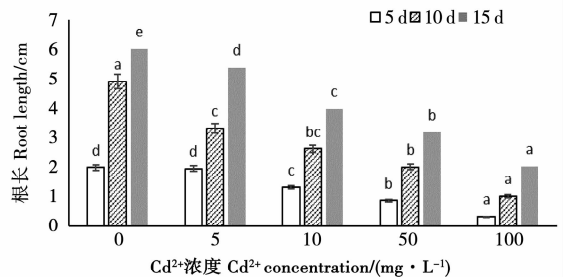


图4 不同浓度MS+镉处理对上海青幼苗根长的影响
Fig. 4 Effects of different concentrations of MS+cadmium on the root length of *Brassica*

2.3 镉盐胁迫对上海青鲜重质量和干重质量的影响

与 Cd^{2+} 处理对上海青种子发芽率和发芽势相似对照组, Cd^{2+} 处理对上海青鲜重与干重影响表现为低浓度下($5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)没有显著影响,较高的浓度抑制生长,抑制作用随着浓度升高而增强(表3)。随着处理时间的增长,最高浓度($100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)鲜重、干重始终为最低值,当处理时间为15 d时与其他处理存在显著差异,镉盐毒害不断加强。

表 3 不同浓度镉处理对上海青鲜重的影响

Table 3 Effects of different concentrations of cadmium on fresh weight of *Brassica*

项目 Items	处理 Treatments	单盐+ Cd^{2+} Single salt medium+ Cd^{2+}			MS+ Cd^{2+} MS culture medium+ Cd^{2+}		
		5 d	10 d	15 d	5 d	10 d	15 d
鲜重 Fresh weight/g	0(CK)	19.4±0.89 c	27.3±2.26 c	35.5±3.97 c	92.6±6.26 c	131.3±6.29 c	206.7±7.92 c
	5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	17.9±0.98 c	26.3±4.59 c	34.2±2.80 c	89.8±7.71 c	130.9±9.33 c	204.9±11.17 c
	10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	12.7±1.15 b	15.6±0.95 b	22.0±2.26 b	72.3±6.97 b	126.9±10.49 c	192.3±16.1 bc
	50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	7.3±1.04 a	12.7±1.31 ab	17.7±1.11 b	61.3±3.61 b	102.0±10.58 b	176.0±11.36 b
	100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	6.6±1.32 a	9.7±1.06 a	12.7±1.65 a	38.5±6.94 a	80.8±8.92 a	92.6±8.75 a
干重 Dry weight/g	0(CK)	1.7±0.04 c	2.4±0.19 c	3.3±0.27 d	8.0±1.56 c	11.0±0.82 c	18.9±1.04 d
	5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1.6±0.04 c	2.3±0.11 c	3.2±0.18 d	7.9±0.38 c	11.0±1.39 c	18.5±0.91 cd
	10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1.2±0.04 b	1.5±0.15 b	2.1±0.11 c	6.2±0.11 b	10.0±0.35 bc	16.5±0.94 bc
	50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.8±0.85 a	1.2±0.13 a	1.7±0.15 b	5.5±0.71 b	8.9±0.36 b	14.8±1.09 b
	100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.7±0.14 a	1.0±0.22 a	1.3±0.15 a	3.3±0.33 a	6.5±0.61 a	9.5±1.52 a

2.4 镉盐胁迫对上海青过氧化物酶 POD 的影响

Cd^{2+} 处理对上海青过氧化物酶(POD)活性的影响表现为随着处理浓度的升高其活性出现了上升趋势,且随着 Cd^{2+} 浓度的升高呈现出愈来愈高的趋势(图 5、图 6)。

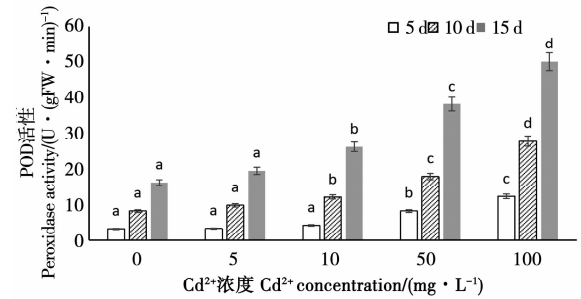


图 5 不同浓度单盐+镉处理对上海青过氧化物酶(PDD)活性的影响

Fig. 5 Effect of different concentrations of cadmium on POD activity of *Brassica*

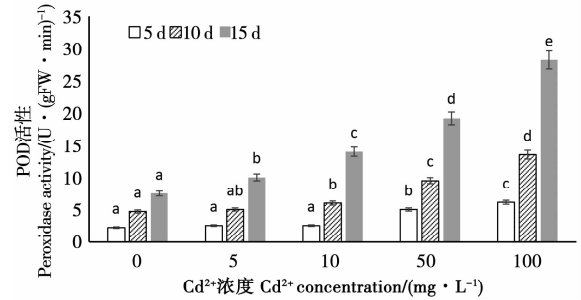


图 6 不同浓度 MS+镉处理对上海青过氧化物酶(PDD)活性的影响

Fig. 6 Effect of different concentrations of cadmium on POD activity of *Brassica*

2.5 镉盐胁迫对上海青过氧化氢酶 CAT 的影响

经 Cd^{2+} 处理后,上海青过氧化氢酶(CAT)活性均有所上升,呈现出波动趋势,无论是单盐+ Cd^{2+} 和 MS+ Cd^{2+} 均在在浓度为 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时活性值达到最高值,且与其他处理存在显著差异。

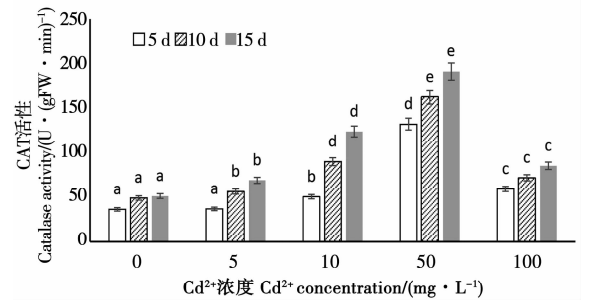


图 7 不同浓度单盐+镉处理对上海青过氧化氢酶(CAT)活性的影响

Fig. 7 Effect of different concentrations of cadmium on CAT activity of *Brassica*

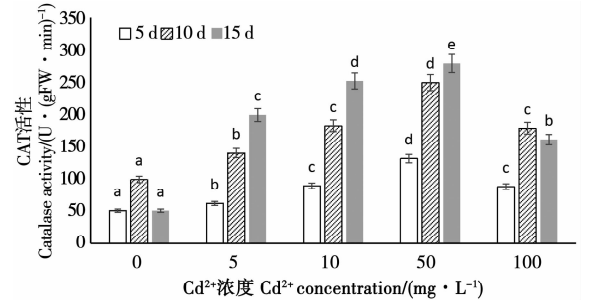


图 8 不同浓度 MS+镉处理对上海青过氧化氢酶(CAT)活性的影响

Fig. 8 Effect of different concentrations of cadmium on CAT activity of *Brassica*

3 结论与讨论

重金属在自然界中普遍存在,其中某些元素是生命活动所必需的微量元素 Zn、Mn、Cu 等,然而另一些重金属不但并非生命活动所必需,而且能够对人类健康和生态环境造成严重危害,如汞、铅、镉等^[14]。上海青作为人们日常食用最多的绿色蔬菜之一,能够吸收并富集土壤中的镉^[15],表明镉可以在上海青内累积,进而危害人体健康。种子萌发是上海青生命开始的起点,许多学者研究了多种作物在重金属胁迫下的种子萌发情况,如小麦^[16]、水稻^[17-18]、棉花^[18]、绿豆^[19]、空心菜^[20-21]、玉米^[22],这些研究表明在高浓度下镉胁迫能够抑制种子萌发,在低浓度下可提高发芽势和发芽率。同样的,在本研究中高浓度的镉同样抑制了上海青种子的萌发,而低浓度下对上海青种子萌发没有明显影响,这与大部分的研究结果不同,可能与上海青是 Cd 敏感型有关^[23]。本试验中空白处理的上海青种子,其发芽率、成苗率、茎长、根长、鲜重、干重均最高,这表明,各浓度 Cd²⁺ 处理对上海青种子和植株的生长都有抑制作用;浓度越高对上海青生长的抑制作用越强。

植物的保护酶可以在植物遭受环境胁迫时,保护生物膜,从而抵御外界胁迫,其活性越高,植物对胁迫的抗性越强。众多研究表明,植物细胞内保护酶越多,清除外界胁迫产生的活性氧的能力就越强^[24]。本试验中各浓度 Cd 处理对上海青过氧化物酶 POD 活性的影响均比对照组有所上升,且随着 Cd²⁺ 浓度的升高呈现出愈来愈强的抑制趋势。说明随着 Cd²⁺ 浓度的升高,上海青植株的老化愈来愈严重。Cd²⁺ 处理相比于对照组过氧化氢酶(CAT)活性均有所提高,表明在适当的 Cd 处理能够提高上海青种子的 CAT 活性,呈现出波动趋势,其中在 50 mg·L⁻¹ 中活性值最高。表明适当的 Cd 处理提高了 CAT 活性,使上海青具有潜在的活性氧清除机能。

种子萌发及根系的生长对作物的生长势有重

大影响,发芽率和根长可以在一定程度上反映该种作物对镉的敏感程度^[25],Cd²⁺ 胁迫下,上海青种子的发芽率、成苗率、茎长、根长、鲜重质量、干重质量均受到抑制,酶活力等都有一定的提高,这些结果表明上海青对镉敏感,在农业生产中可以指示镉污染土壤,以便于提前采取农业措施,保障农业安全。

参考文献:

- [1] 任安芝,高玉葆.铅、镉、铬单一和复合污染对青菜种子萌发的生物学效应[J].生态学杂志,2000(1):19-22.
- [2] Vaculik M, Landberg T, Greger M, et al. Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants[J]. Annals of Botany, 2012, 110(2): 433.
- [3] 孙曰波,杨志堂,赵从凯.盐胁迫对植物影响的研究进展[J].潍坊高等职业教育,2014(3):48-52.
- [4] Kim Y H, Khan A L, Kim D H, et al. Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATPases, *Oryza sativa* low silicon genes, and endogenous phytohormones[J]. BMC Plant Biology, 2014, 14(1): 13.
- [5] Yi T H, Kao C H. Cadmium toxicity is reduced by nitric oxide in rice leaves [J]. Plant Growth Regulation, 2004, 42(3): 227-238.
- [6] Nazar R, Iqbal N, Masood A, et al. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation[J]. American Journal of Plant Sciences, 2012, 3(10): 1476-1489.
- [7] Rascio N, Navari-Izzo F. Heavy metal peraccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting[J]. Plant Science, 2011, 180(2): 169-181.
- [8] Sasaki A, Yamaji N, Yokosho K, et al. Nramp5 is a major transporter responsible for manganese and cadmium uptake in rice[J]. Plant Cell, 2012, 24(5): 2155-2167.
- [9] Kabata-Pendias A, Pendias H. Trace Elements in Soil and Plant[M]. Florida: Florida CRC Press, 1992: 50-53.
- [10] 代晶晶. 镉胁迫对不同品种油菜根系细胞壁多糖组分及其吸附镉的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [11] 高建晓, 刘丹, 古荣鑫, 等. 6-苄氨基嘌呤处理对上海青贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(4): 247-253.
- [12] Rao M V, Pafiyath C, Ormrod D P. Ultraviolet-B and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzymes

- of *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Physiol, 1996, 110: 125-136.
- [13] Aebi H. Catalase in vitro[J]. Methods in Enzymology, 1984, 105:121-126.
- [14] 郑喜坤,鲁安怀,高翔,等. 土壤中重金属污染现状与防治方法[J]. 土壤与环境, 2002(1):79-84.
- [15] 宋阿琳. 小白菜对镉胁迫的响应及硅缓解镉毒害的机制[D]. 南京:南京农业大学, 2009.
- [16] 曹丹,强承魁,白耀博,等. 小麦种子萌发对镉胁迫的生理响应[J]. 现代化农业, 2017(12):17-19.
- [17] 杨明,陈璐,徐庆国,等. 镉胁迫对不同水稻品种种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 作物研究, 2017, 31(6):659-663.
- [18] 秦普丰,铁柏清,周细红,等. 铅与镉对棉花和水稻萌发及生长的影响[J]. 湖南农业大学学报, 2000(3):205-207.
- [19] 陈丽. 镉胁迫下绿豆种子萌发过程中代谢组学的响应[D]. 南昌:南昌大学, 2017.
- [20] 李富荣,朱娜,杨锐,等. 铅、镉单一及复合污染对 11 个空心菜品种种子萌发和幼苗生长效应的影响[J]. 热带作物学报, 2015, 36(11):1951-1958.
- [21] 张琼. 镉对几种常见蔬菜种子萌发影响的研究[J]. 农业环境科学学报, 2006(S2):480-486.
- [22] 李丽君,郑普山,谢苏婧. 镉对玉米种子萌发和生长的影响[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2001(1):93-94.
- [23] 宋阿琳,李萍,李兆君,等. 镉胁迫下两种不同小白菜的生长、镉吸收及其亚细胞分布特征[J]. 环境化学, 2011, 30(6):1075-1080.
- [24] 何士敏,张燕,易涵. 硒浸种对豌豆种子萌发的生理生化效应[J]. 种子, 2012(2):42-47.
- [25] 蒋帅英,陈瑛. 镉对白菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 绍兴文理学院学报(自然科学版), 2007(2):68-72.

Effects of Cadmium on Germination, Seedling Development and Physiological and Biochemical Characteristics of *Brassica rapa* var. *chinensis* L.

ZENG Wei-chao¹, LUO Wen-liang², LUO Jin-ling¹, MAI Shu-hua¹, HUANG Dong-hua², CHEN Da-qing²

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. College of Agriculture and Biology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

Abstract: For the safety of agricultural products and ecological security, the seeds of *Brassica rapa* var. *chinensis* L. were dealt with different concentrations (5, 10, 50, 100, 200, 300 mg·L⁻¹) of CdCl₂. The physiological and biochemical indexes were observed and measured. The results showed that, when the concentration of Cd²⁺ is 5 mg·L⁻¹ or less, Cd²⁺ has no significant impact on the indexes. Significant difference of germination rate, germination potential, root length, plant height, fresh weight and dry weight between low concentration of Cd²⁺ group and high concentration of Cd²⁺ was observed, suggesting that high concentration of Cd²⁺ has a obvious inhibitory effect on *Brassica rapa* var. *chinensis* L. But seedling enzyme activity increased, seedling growth is restrained. As shown in the results that *Brassica rapa* var. *chinensis* L. was a cadmium sensitive plant and could be used as an indicator of soil cadmium pollution.

Keywords: *Brassica rapa* var. *chinensis* L.; cadmium; seed germination; growth and physiological effects