

张美德, 艾伦强, 卢超, 等. 硒对镉胁迫下白术幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 306-308.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.101

# 硒对镉胁迫下白术幼苗生理特性的影响

张美德, 艾伦强, 卢超, 何银生, 刘海华

(湖北省农业科学院中药材研究所/湖北省农业科技创新中心中药材分中心, 湖北恩施 445000)

**摘要:**以白术为材料,研究了在200、300  $\mu\text{mol/L}$   $\text{CdCl}_2$  胁迫下加入4  $\mu\text{mol/L}$   $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  对白术幼苗生长和部分生理特性的影响。结果表明,在200  $\mu\text{mol/L}$   $\text{CdCl}_2$  处理中,当加入硒元素后,白术叶片的镉含量显著下降,SOD、APX和POD活性显著增强,过氧化氢和丙二醛含量显著下降,白术植株鲜质量显著上升,表明硒能有效缓解镉引起的逆境胁迫。而在300  $\mu\text{mol/L}$   $\text{CdCl}_2$  处理中,当加入硒元素后,白术叶片的镉含量几乎不变,尽管SOD和APX活性显著增强,但过氧化氢和丙二醛含量继续上升,白术植株鲜质量进一步下降,表明此时的硒加剧了镉引起的逆境胁迫。上述结果说明硒主要通过减少白术叶片对镉的吸收来缓解镉胁迫,而抗氧化酶系统在硒缓解镉胁迫中发挥的作用尚有待深入研究。

**关键词:**白术;镉;硒;逆境胁迫;生理特性

**中图分类号:** S567.23\*3.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0306-03

镉是常见的重金属污染物,可通过农药化肥、污水排放或灌溉等多种方式对土壤造成污染。土壤中的镉通过作物的吸收富集对作物产生不良的影响,严重时会导致作物生长受抑、枯萎甚至死亡<sup>[1]</sup>。硒是植物生长发育的有益元素<sup>[2]</sup>,对镉有拮抗作用,相关研究表明添加硒元素能减少植物对镉的吸收<sup>[3-4]</sup>,并且增强植物抗氧化能力<sup>[5-6]</sup>,从而在一定程度上能缓解镉对植物的毒害。白术(*Atractylodes macrocephala* Koidz.)是菊科多年生植物,以根茎入药,能健脾益气、燥湿利水、止汗、安胎,用于脾虚食少、腹胀泄泻、痰饮眩悸、水肿、自汗、胎动不安<sup>[7]</sup>。湖北省咸丰县是白术的重要产地之一,然而咸丰县白术产区的土壤重金属调查结果表明,部分土地存在镉污染问题<sup>[8]</sup>,而土壤镉超标会影响白术的生长以及药材的品质。本研究以白术幼苗为材料,研究硒对镉胁迫下白术幼苗生理特性的影响,旨在探讨硒缓解镉对白术伤害的生理生化机制,以为中药材种植的重金属污染防治提供理论依据,从而实现中药材的优质、安全种植。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验材料与处理

选取当年成熟的白术种子,在25  $^{\circ}\text{C}$ 下暗培养7 d催芽,挑选整齐一致的白术幼苗进行下列不同条件的水培:在1/2 Hoagland's 营养液中分别加入4  $\mu\text{mol/L}$   $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  (Se处理组)、200  $\mu\text{mol/L}$   $\text{CdCl}_2$  (Cd1处理组)、300  $\mu\text{mol/L}$   $\text{CdCl}_2$  (Cd2处理组)、4  $\mu\text{mol/L}$   $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  + 200  $\mu\text{mol/L}$   $\text{CdCl}_2$  (Se + Cd1处理组)、4  $\mu\text{mol/L}$   $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  + 300  $\mu\text{mol/L}$   $\text{CdCl}_2$  (Se + Cd2处理组),并设空白对照(0处理组)。温室培养条件如下:光源为白色荧光灯(6 000 lx, 16 h 白天/8 h 晚上),温度为

25  $^{\circ}\text{C}$ 。水培14 d后分别检测地上和地下部位的生物量,并取叶片进行下列生理指标测量。

### 1.2 测定项目及方法

叶片镉含量采用原子吸收分光光度法检测<sup>[9]</sup>,叶片硒含量采用原子荧光光度法检测<sup>[10]</sup>,丙二醛含量用硫代巴比妥酸(TBA)法<sup>[11]</sup>测定,过氧化氢含量采用二甲酚橙法<sup>[12]</sup>测定,抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性采用ASA法测定<sup>[13]</sup>,超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性测定参照文献[11]的相关方法。

### 1.3 数据处理

用Excel软件和SPSS 18.0软件进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 硒对镉胁迫下白术幼苗生长发育的影响

从表1可以看出,与对照相比,镉胁迫处理(不加硒)严重影响了白术幼苗的生长,植株鲜质量显著下降。在镉胁迫条件下加入硒元素后,Cd1处理组和Cd2处理组植株鲜质量变化显著。硒的加入促进了Cd1处理组的生长,植株鲜质量显著上升,比添加硒元素前增加24.0%,表明硒有效缓解了镉产生的逆境胁迫;而Cd2处理组植株鲜质量在加入硒后进一步下降,表明硒加剧了镉产生的逆境胁迫。

### 2.2 硒对镉胁迫下白术幼苗镉含量积累的影响

白术叶片镉含量检测结果(表2)表明,镉可以被白术吸收并运输到叶片部位。此外,硒元素能减少叶片部位对镉的吸收,有利于缓解镉胁迫造成的逆境伤害。在Cd1组处理中添加硒元素显著减少了白术叶片对镉元素的吸收,降幅达到26.4%;而在Cd2组处理中添加硒元素只使白术叶片对镉元素的吸收减少了5.6%。值得注意的是,在2个镉处理组中加入硒元素后,与Se处理组相比,叶片中的硒含量都显著上升,且Se + Cd2组处理组叶片部位的硒含量最高。

### 2.3 硒对镉胁迫下白术幼苗叶片抗氧化系统的影响

2.3.1 叶片SOD、CAT、APX、POD等抗氧化酶活性的变化  
SOD是所有植物抗氧化防御机制中不可或缺的部分,它能迅

收稿日期:2014-10-27

基金项目:湖北省研究与开发计划(编号:2011BCB018);湖北省农业科学院青年基金(编号:2011NKYJJ23)。

作者简介:张美德(1978—),男,江西奉新人,博士,副研究员,主要从事药用植物生理研究。Tel:(0718) 8416633;E-mail:emailtoecho@163.com。

表1 镉、硒处理对白术幼苗鲜质量的影响

处理	地上部分鲜质量 (g)	地下部分鲜质量 (g)	总鲜质量 (g)
0	24.8 ± 0.49a	6.26 ± 0.5b	31.06 ± 0.95a
Se	23.2 ± 1.01a	6.98 ± 0.38a	30.16 ± 1.38a
Cd1	14.7 ± 1.59c	5.31 ± 0.36c	20.04 ± 1.95c
Cd2	13.2 ± 0.89c	5.04 ± 0.43cd	18.19 ± 1.28c
Se + Cd1	18.9 ± 0.43b	5.97 ± 0.4b	24.84 ± 0.73b
Se + Cd2	11.23 ± 0.67d	4.6 ± 0.17d	15.83 ± 0.75d

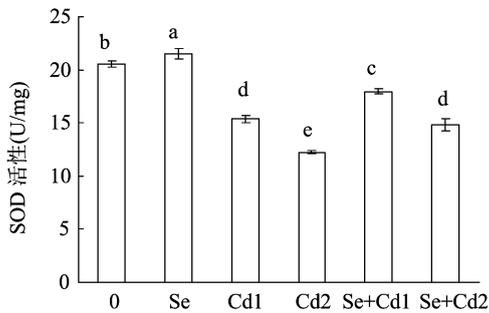
注:  $n=60$  株, 3次独立重复。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。

表2 硒对镉胁迫下白术幼苗叶片镉吸收的影响

不同处理	叶片中镉含量 (mg/kg, DW)	叶片中硒含量 (mg/kg, DW)
0		
Se		5.52 ± 0.37c
Cd1	1 082.77 ± 78.21b	
Cd2	1 254.86 ± 31.37a	
Se + Cd1	796.79 ± 31.34c	7.31 ± 0.84b
Se + Cd2	1 184.79 ± 61.53ab	10.99 ± 1.16a

注同表1。

速与超氧阴离子反应并将其歧化成过氧化氢, 在植物的抗逆中起关键性作用。如图1所示, 与对照组相比, 镉胁迫(不加硒)显著抑制了白术叶片的SOD活性, Cd1处理组和Cd2处理组分别下降为对照组的75%和60%。在添加硒元素后, Cd1处理组和Cd2处理组的SOD活性均显著增强, 分别达到对照组的87%和74%。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。下同

图1 镉、硒处理对白术幼苗SOD活性的影响

CAT是植物中清除活性氧的关键酶, 它能使将氧化氢分解成水和氧分子, 除去逆境胁迫条件下植物体内累积的过氧化氢。与SOD变化相反, 镉胁迫(不加硒)诱导了白术叶片CAT活性显著增强; 然而在添加硒元素后, 2种镉胁迫处理组的CAT活性都下降到对照水平(图2)。

APX被认为是叶绿体中清除过氧化氢的关键酶。与对照组相比, 在遭受镉胁迫(不加硒)后, 白术体内的APX酶活性增强, Cd1处理组和Cd2处理组均达到对照组的2倍, 有利于加快体内过氧化氢的清除。在添加硒元素后, Cd1处理组和Cd2处理组的APX活性则进一步上升为对照组的3倍左右(图3)。

POD也是清除过氧化氢的关键酶, 在植物应对镉胁迫中起重要的保护作用。与对照组相比, 镉胁迫(不加硒)处理抑

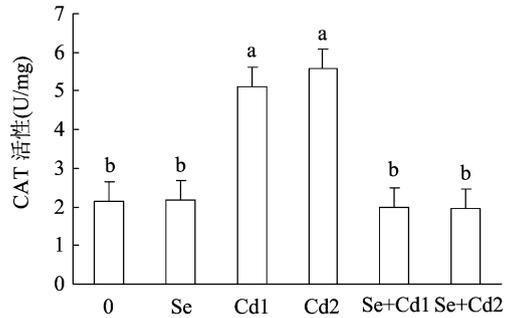


图2 镉、硒处理对白术幼苗CAT活性的影响

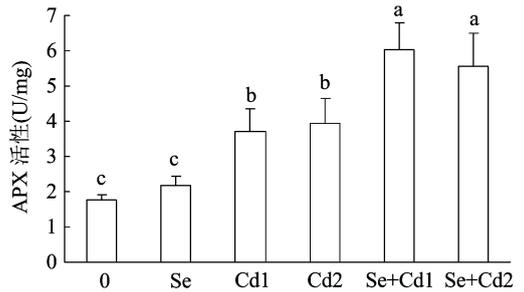


图3 镉、硒处理对白术幼苗APX活性的影响

制了Cd2处理组的POD酶活性, 下降为对照组的89%, 但对Cd1处理组POD酶活性没有影响。在加入硒元素后, Cd1组的POD活性被诱导上升为对照组的115%, 利于加快对过氧化氢的清理; 而Cd2组的POD活性基本没有变化, 为对照的91%(图4)。

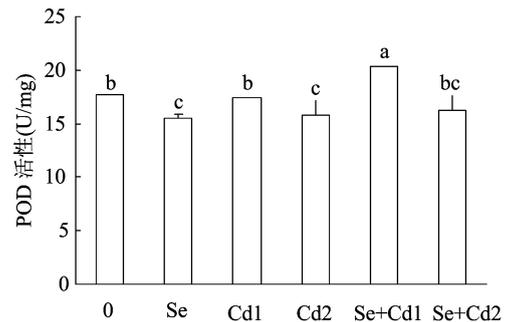


图4 镉、硒处理对白术幼苗POD活性的影响

2.3.2 叶片过氧化氢和丙二醛积累情况 过量的过氧化氢积累是氧化胁迫的标志。当白术幼苗遭受镉胁迫(不加硒)时, 过氧化氢含量也显著上升, Cd1处理组和Cd2处理组分别达到对照组的160%和270%, 表明镉胁迫给白术幼苗造成了较为严重的氧化胁迫。在添加硒元素后, Cd1处理组过氧化氢含量略有下降, 为对照组的138%; 而Cd2处理组过氧化氢含量则继续上升, 达到对照的330%, 表明其氧化胁迫程度进一步加剧(图5)。

MDA是植物逆境和衰老过程中膜质过氧化的终产物, 其含量通常用来衡量膜质过氧化程度。在本试验中, 2种不同浓度的镉处理(不加硒)都导致MDA含量显著上升, 分别为对照(0处理组)的220%和230%。当添加硒元素后, 2个镉处理组出现不同的变化。其中, Cd1处理组的MDA含量显著下降, 仅为对照组的160%; 而Cd2处理组的MDA含量则继续上升, 达到对照组的280%(图6)。

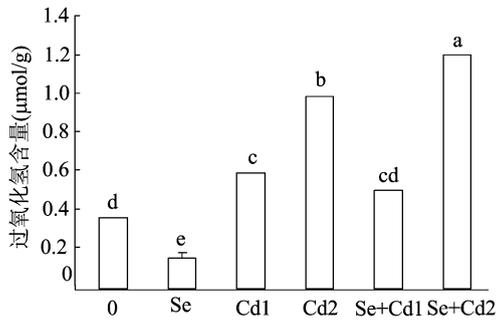


图5 镉、硒处理对白术幼苗过氧化氢含量的影响

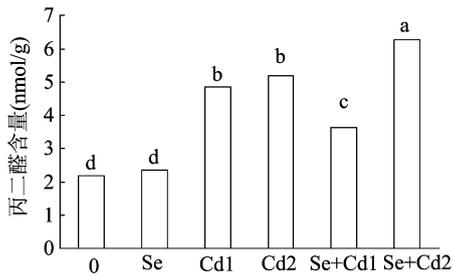


图6 镉、硒处理对白术幼苗丙二醛含量的影响

### 3 结论与讨论

镉是一种重要的非生物胁迫因子,能影响植物的生理特性,包括活性氧(ROS)的产生,从而对植物造成过氧化伤害,并影响植物生长。在本试验中,镉胁迫导致白术叶片部位积累了过量的镉元素,同时叶片的氧自由基代谢失去平衡,产生大量的活性氧,导致白术幼苗遭受较为严重的过氧化损伤,并使生长受抑制。

许多研究表明,硒可通过调节植物的抗氧化酶系统<sup>[14-15]</sup>或减少植物对镉的吸收<sup>[16-17]</sup>来缓解镉造成的逆境胁迫。在本研究中,在不同浓度的镉处理中加入相同浓度的硒产生了不同的结果。在较低浓度的Cd1处理中加入硒元素后,白术叶片的镉含量显著下降;同时抗氧化酶系统也有较大变化,虽然CAT活性减弱,但SOD、APX、POD活性显著增强,过氧化氢和丙二醛含量显著下降;白术植株鲜质量显著上升,表明硒有效缓解了镉引起的逆境胁迫。而在较高浓度的Cd2处理中加入硒元素后,白术叶片的镉含量几乎不变;同时CAT活性也减弱,尽管SOD和APX活性显著增强,但过氧化氢和丙二醛含量继续上升;白术植株鲜质量进一步下降,表明此时的硒加剧了镉引起的逆境胁迫。这2种不同的结果说明硒主要通过减少白术叶片对镉的吸收来缓解镉胁迫,而抗氧化酶系统在硒缓解镉胁迫中发挥的作用尚有待深入研究。

另外,在2个不同浓度的镉处理中加入相同浓度的硒元素后,叶片对硒元素的吸收变化显著,Cd2处理的叶片硒含量明显高于Cd1处理。由于普通植物对硒很敏感,一般低浓度的硒就能对普通植物产生毒害<sup>[18]</sup>,因此推理在Cd2处理中该浓度的硒和镉产生了协同作用,加剧了Cd2处理的逆境胁迫程度。

综上所述,在遭受镉胁迫时,硒主要通过减少叶片对镉元素的吸收来保护白术幼苗;同时,硒对镉的拮抗作用取决于适

宜的浓度。

### 参考文献:

- [1] Baryl A, Carrier P, Franck F, et al. Leaf chlorosis in oilseed rape plants (*Brassica napus*) grown on cadmium - polluted soil: causes and consequences for photosynthesis and growth [J]. *Planta*, 2001, 212(5/6): 696 - 709.
- [2] 刘大会, 周文兵, 朱端卫, 等. 硒在植物中生理功能的研究进展 [J]. *山地农业生物学报*, 2005, 24(3): 253 - 259.
- [3] He P P, Lv X Z, Wang G Y. Effects of Se and Zn supplementation on the antagonism against Pb and Cd in vegetables [J]. *Environment International*, 2004, 30(2): 167 - 172.
- [4] Pedrero Z, Madrid Y, Hartikainen H, et al. Protective effect of selenium in broccoli (*Brassica oleracea*) plants subjected to cadmium exposure [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 54: 2412 - 2417.
- [5] Djanaguiraman M, Devi D D, Shanker A K, et al. Selenium - an antioxidative protectant in soybean during senescence [J]. *Plant Soil*, 2005, 272: 77 - 86.
- [6] Kong L A, Wang M, Bi D L. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress [J]. *Plant Growth Regulation*, 2005, 45(2): 155 - 163.
- [7] Li C Q, He L C, Dong H Y, et al. Screening for the anti - inflammatory activity of fractions and compounds from *Atractylodes macrocephala* Koidz [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2007, 114(2): 212 - 217.
- [8] 张 驰, 张 巍, 陈建英, 等. 恩施州 GAP 地道药材品种安全性评价 [J]. *时珍国医国药*, 2005, 16(4): 309 - 311.
- [9] 谢 莹, 曹艳妮. 原子吸收分光光度法测定玉米叶片中重金属 [J]. *吉林化工学院学报*, 2009, 26(2): 35 - 39.
- [10] 田 磊, 李晓燕, 张海英, 等. 酸式消解 - 原子荧光光谱法测定 3 种水果硒含量 [J]. *中国果树*, 2010, 01(1): 41 - 44.
- [11] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000: 192 - 199.
- [12] 李忠光, 宋玉泉, 龚 明. 二甲酚橙法用于测定植物组织中的过氧化氢 [J]. *云南师范大学学报: 自然科学版*, 2007, 27(3): 50 - 54.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 258 - 260.
- [14] Hasanuzzaman M, Hossain M A, Fujita M. Exogenous Selenium pretreatment protects rapeseed seedlings from cadmium - induced oxidative stress by upregulating antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems [J]. *Biological Trace Element Research*, 2012, 149(2): 248 - 261.
- [15] Djanaguiraman M, Devi D D, Shanker A K, et al. Selenium - an antioxidative protectant in soybean during senescence [J]. *Plant Soil*, 2005, 272: 77 - 86.
- [16] Filek M, Keskinen R, Hartikainen H, et al. The protective role of selenium in rape seedlings subjected to cadmium stress [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2008, 165(8): 833 - 844.
- [17] Pedrero Z, Madrid Y, Hartikainen H, et al. Protective effect of selenium in broccoli (*Brassica oleracea*) plants subjected to cadmium exposure [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 54: 2412 - 2417.
- [18] Terry N, Zayed A M, de Souza M P, et al. Selenium in higher plants [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 2000, 51: 401 - 432.