

# 镉胁迫对银条开花期生理生态的影响

刘孟刚, 刘会超, 姚连芳, 贾文庆

(河南科技学院 园林学院, 河南 新乡 453003)

**摘要:** 为了探讨镉胁迫对银条开花期生理生态的影响, 采用盆栽试验方法, 研究了镉胁迫对银条叶片生理特性的影响。结果表明: 随着 Cd 浓度的提高, 银条叶片叶绿素含量显著降低, Cd 浓度与叶片叶绿素含量呈极显著负相关, 相关系数  $r = -0.9852^{**}$  ( $P < 0.01$ ); 细胞质膜透性、SOD 活性均随镉处理浓度的增加显著升高, 相关系数分别为  $r = 0.9850^{**}$  ( $P < 0.01$ )、 $r = 0.9923^{*}$  ( $P < 0.05$ ); MDA 含量、POD 活性则先升高再降低, 与镉浓度呈显著正相关, 相关系数  $r$  分别为  $0.9845^{**}$  ( $P < 0.01$ )、 $0.9018^{*}$  ( $P < 0.05$ )。

**关键词:** 银条; 镉胁迫; 开花期; 生理生态

**中图分类号:** S 632.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)04-0008-04

镉是环境中具有毒害作用的主要重金属之一, 随着我国经济的发展, 采矿业发展迅速, 致使产生的废气、废水、废渣不断排入环境, 造成土壤、农田、环境污染<sup>[1]</sup>。镉容易被作物吸收利用, 严重影响作物生产水平和食物链安全<sup>[2]</sup>。近几年来, 人们对重金属引起的土壤、环境污染问题已有较多的报道<sup>[3,4]</sup>。镉对植物的生长发育容易造成一系列的伤害, 如植株矮化、物候期延迟、DNA 合成受阻、酶活性下降等<sup>[5]</sup>。而由于镉具有易溶性、易迁移性及难降解性<sup>[6]</sup>, 可通过粮食、蔬菜、水果等可食部分进入食物链, 并通过食物链逐级富集, 威胁人类健康。如今镉含量是否超标已作为无公害蔬菜品质检测的重要指标。

银条 (*Stachys floridana* Schuttl. ex Benth.) 又名银条菜、银白条、银苗、银根菜等, 属唇形科水苏属, 是原产于我国的一种野生草本薯芋类蔬菜<sup>[7,8]</sup>。银条菜主食用地下根茎, 肉质脆嫩、多汁, 无纤维, 富含蛋白质 (5.5%)、脂肪 (0.3%)、碳水化合物 (23%) 和氨基酸, 可盐渍、酱制、凉拌等, 风味独特, 营养丰富; 可解酒清神, 消腥除腻, 增进食欲、帮助消化, 并含有多种矿物质、维生素、粗蛋白, 对肥胖症和软化血管均有很好的辅助效果<sup>[9]</sup>; 银条菜中丰富的有机酸、糖类、酚类、水苏糖、水苏碱、胆碱、胡芦巴

碱等物质, 不仅具有润肺、补血、益肾之功效<sup>[7]</sup>; 并且对治疗气喘、肺虚咳嗽、肾虚腰痛、淋巴结核、咯血<sup>[10]</sup>, 甚至能够降低血液浓度、改善血液循环, 尤其是水苏碱对 KCN 所引起的缺氧症具有很好的疗效<sup>[11]</sup>。试验以沙培为基础, 浇灌改良 Hoagland 营养液的方法进行银条开花期浇灌不同浓度的  $Cd^{2+}$ , 观察及测定相关生理生化指标, 以期探讨不同浓度的  $Cd^{2+}$  处理对银条生长发育的影响, 旨在为银条规模生产、食用安全性等方面提供理论支持和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

银条地下茎 (在 2009 年 3 月采于河南偃师市西寺庄村)。试验在河南科技学院园林学院盆景园温室大棚内进行, 待在其开花期时采其叶片进行试验测定。

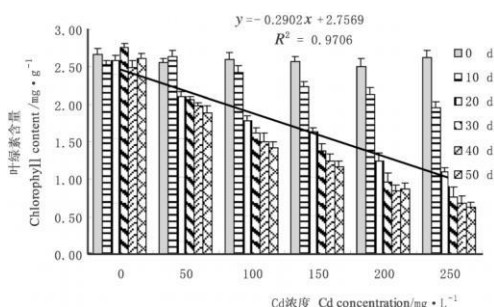


图 1 镉胁迫对银条叶片叶绿素含量的影响

Fig.1 Effects of different Cd concentrations on the chlorophyll content in leaves of *Stachys floridana*

### 1.2 材料处理

沙子消毒处理: 用去离子水洗净, 将 0.5 mm 的沙子经自来水多次冲洗后, 用体积分数为 2% 的  $HNO_3$  溶液

**第一作者简介:** 刘孟刚 (1982-), 男, 山东聊城人, 在读硕士, 研究方向为蔬菜种质资源与育种。E-mail: liumenggang2008@163.com.

**通讯作者:** 姚连芳 (1955-), 女, 教授, 硕士生导师, 现主要从事野生观赏植物种质资源方面的教学和研究工作。E-mail: yaolf1955@yahoo.com.cn.

**基金项目:** 河南省创新人才工程资助项目 (2005126-49); 河南科技学院博士基金资助项目 (HK05-1226)。

**收稿日期:** 2009-11-20

浸泡过夜,再用自来水冲洗干净,最后用去离子水再洗多次,直至无氯离子反应为止,待用;用营养钵装沙,规格为 26 cm×21 cm(口径×高)。选取重量、长度、芽点数基本一致的银条地下茎作为种根播种到营养钵里,每钵播种 2~3 根银条,每根银条的长度为 5~10 cm,共约 10~15 个芽点;用改良的 Hoagland 完全营养液浇灌,每隔 3 d 浇灌 1 次,每盆浇 100~150 mL/盆。

待银条长到第 1 朵花的花蕾出现时,选择长势基本一致、无病害、健壮的银条植株,浇灌不同浓度的 Cd<sup>2+</sup>(CdCl<sub>2</sub>分析纯)(50、100、150、200 和 250 mg/L),以不施镉为对照(以 CK 表示)。每处理 10 盆,每周浇灌 1 次,直至地下茎成熟为止,试验设 3 次重复。每 10 d 取同向、同节位的同龄叶片测定相关指标。

1.3 测定方法

叶绿素含量参照李得孝(2006)的方法测定<sup>[12]</sup>,单位为 mg·g<sup>-1</sup>;细胞膜透性采用李合生的方法<sup>[13]</sup>;丙二醛(MDA)采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定<sup>[14]</sup>,单位为 μmol·g<sup>-1</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定<sup>[15]</sup>,以 SOD 抑制 NBT 光还原相对百分率为 50%的酶量作为一个酶活力单位(U),单位用 U·g<sup>-1</sup>表示;过氧化物酶(POD)活性用愈创木酚法测定<sup>[16]</sup>,酶活性以每分钟内 A 变化 0.01 为一个酶活单位,单位用 U·min<sup>-1</sup>·g<sup>-1</sup>表示。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 软件处理数据和作图,采用 DPS 统计软件中的 Duncan 新复极差法对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 镉胁迫对银条叶片叶绿素含量的影响

镉离子对叶绿素含量影响总趋势是随着镉浓度的增加逐渐降低,如图 1 所示,当镉的浓度较低(50 mg/L)时,叶绿素含量的变化与 CK 相比并不明显,甚至在短时间内还有增加的趋势;但随着镉浓度的增加和处理时间的延长,各处理叶绿素的含量逐渐降低,在 Cd 浓度为 250 mg/L 时对银条叶绿素伤害最为严重,第 50 天时叶绿素含量降至 0.64 mg/g,与 CK 相比降幅达到了 75.57%;图 1 中可知叶片叶绿素含量与镉胁迫浓度呈极显著负相关,相关系数  $r=-0.9852^{***}$  ( $P<0.01$ )。

2.2 镉胁迫对银条叶片细胞质膜透性的影响

植物在逆境的环境下,细胞质膜受到严重的伤害,且细胞质膜透性能直观的反映出植物本身伤害程度。由图 2 可以得出,细胞质膜透性随着镉胁迫浓度的增加而增大,在镉处理伊始,膜透性急剧增加,大约在胁迫 40 d 后,细胞膜透性达到一个最高值,若继续胁迫处理,则植物本身可能会受到不可逆的伤害,甚至死亡。细胞质膜透性与镉浓度呈正相关,且相关系数为 0.9850<sup>\*\*</sup>

( $P<0.01$ );镉浓度在 250 mg/L 时,细胞质膜透性达到了 82.60%,比 CK 增加了 262.2%。

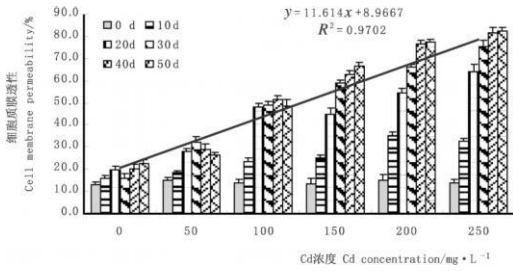


图 2 镉胁迫对银条叶片细胞质膜透性的影响  
Fig.2 Effects of different Cd concentrations on cell membrane permeability in leaves of *Stachys floridana*

2.3 镉胁迫对银条叶片 MDA 含量的影响

从图 3 可以看出,随着镉浓度的增加,银条叶片的 MDA 含量逐渐上升,在 0~100 mg/L 内增幅较小,随着处理时间的延长,MDA 含量逐渐增加,其与镉浓度的增加呈显著正相关,相关系数是 0.9845<sup>\*\*</sup> ( $P<0.01$ );随后 MDA 含量下降,并且维持在一个比 CK 高的水平;镉浓度大于 200 mg/L 时,MDA 含量稍微有所下降,主要可能是因为 SOD、POD 活性较高水平,二者可以有效清除膜脂过氧化作用的产物—MDA。

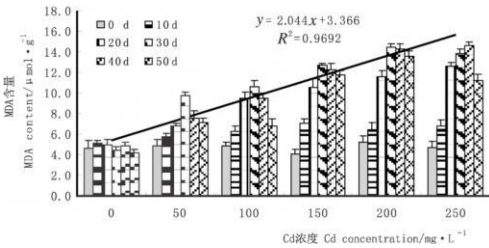


图 3 镉胁迫对银条叶片丙二醛含量的影响  
Fig.3 Effects of different Cd concentrations on MDA content in leaves of *Stachys floridana*

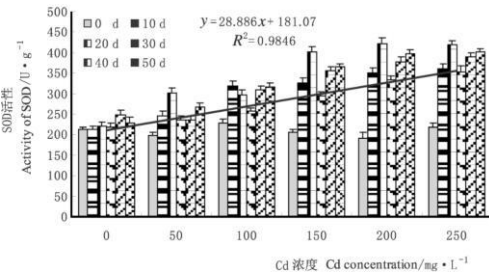


图 4 镉胁迫对银条叶片 SOD 活性的影响  
Fig.4 Effects of different Cd concentrations on activity of SOD in leaves of *Stachys floridana*

## 2.4 镉胁迫对银条叶片 SOD 活性的影响

随着镉胁迫浓度的提高,银条叶片 SOD 活性随处理时间的延长表现出先上升后下降再上升的变化趋势,如图 4 所示,银条受到镉胁迫后 SOD 活性急剧增加,并且低浓度( $< 100 \text{ mg/L}$ )处理时在 20 d 左右达到最高值,镉处理为  $100 \text{ mg/L}$  时, SOD 活性为  $301.0 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ , 是对照组的 1.36 倍,之后 SOD 活性随着处理时间的延长而逐渐下降,可能是由于 SOD、POD 活性较高,对植物受到胁迫作用产生的自由基和活性氧的清除比较彻底,致使 SOD、POD 活性也随之下降;当高浓度( $> 150 \text{ mg/L}$ )镉对植物处理时, SOD 活性又急剧上升,以便清除随之产生的过多活性氧和自由基。

## 2.5 镉胁迫对银条叶片 POD 活性的影响

由图 5 可知,各处理在 10 d 后 POD 活性变化显著,镉胁迫使银条叶片中的 POD 活性与镉浓度的增加呈正相关,且相关系数为  $0.9018^*$  ( $P < 0.05$ ),其总的趋势为随着镉浓度的增加,POD 活性表现出先升高再降低的趋势;而在处理时间上,POD 活性则表现出先缓慢升高、再降低、再升高的变化趋势,但在高镉浓度时,POD 上升比较缓慢。

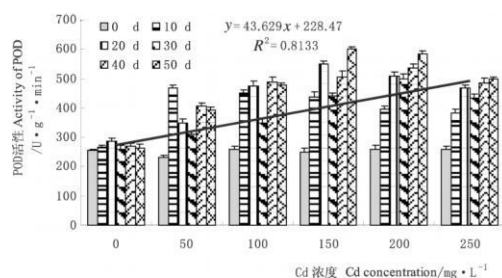


图 5 镉胁迫对银条叶片 POD 活性的影响

Fig. 5 Effects of different Cd concentrations on activity of POD in leaves of *Stachys floridana*

## 3 讨论

重金属对植物毒害作用的主要途径是过量的重金属导致氧化胁迫,结果发生脂质和生物大分子过氧化反应,破坏细胞的膜结构<sup>[17]</sup>。该试验中银条叶片叶绿素含量随着镉浓度的提高而逐渐下降,呈显著负相关,相关系数  $r = -0.9852^{**}$  ( $P < 0.01$ ),可能是由于银条根茎吸收的镉离子逐渐积累,运输至细胞内后,与合成叶绿素相关富含肽链-SH 部分的酶系相结合<sup>[18]</sup>,抑制该酶活性,从而阻碍了叶绿素的合成;也可能与  $\text{Cd}^{2+}$  使叶绿素酶活性增加导致叶绿素分解加快有关,这与赵素达<sup>[19]</sup>、万雪琴<sup>[20]</sup> 研究的结果相同。

植物遭受逆境胁迫过程中,使得细胞内的活性氧产生与清除之间的平衡遭到破坏<sup>[21]</sup>,从而引起自由基的积累和膜脂过氧化,使膜系统的结构和功能受到损伤,造

成植物细胞伤害。丙二醛(MDA)即是膜脂过氧化作用的产物,它可以使纤维素分子间的桥键松弛或抑制蛋白质的合成,并与蛋白质、核酸、氨基酸等物质交联,形成不溶性化合物(脂褐素)沉积,从而干扰细胞正常的生命活动,影响植物的生长发育<sup>[22]</sup>。试验中 MDA 的含量与  $\text{Cd}^{2+}$  处理浓度呈正相关,相关系数为  $r = 0.9845^{**}$  ( $P < 0.01$ )。随着处理时间的增加,  $\text{Cd}^{2+}$  对膜和细胞的伤害持续加深,致使 MDA 含量上升,而后含量下降,可能是与 POD 对其结构破坏有关。细胞质膜透性的增加与细胞质膜的结构和功能受到破坏有着直接的关系,膜遭到伤害,使细胞膜的选择透过性能力下降,致使细胞质膜透性升高。

$\text{Cd}^{2+}$  可诱导植物的自由基过氧化损伤,加剧植物体内膜脂过氧化作用。SOD 和 POD 则是细胞内清除自由基和活性氧的重要酶系。SOD 可以将  $\cdot\text{O}_2^-$  分解,它的高活力有助于清除逆境胁迫下产生的  $\cdot\text{O}_2^-$ ,但同时会伴随有  $\text{H}_2\text{O}_2$  的产生;POD 能催化  $\text{H}_2\text{O}_2$  与酚类的反应,可以进一步分解  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,使得植物抵抗在逆境胁迫下代谢过程产生的有害物质对细胞的伤害<sup>[23,24]</sup>。镉胁迫伤害伊始, SOD、POD 的活性上升,保持植物体内自由基的产生和清除之间的平衡,抑制膜脂过氧化产物 MDA 的积累,保持和修复细胞膜,抑制膜脂过氧化作用的产生,随后 SOD、POD 的活性下降;随着胁迫时间的延长,影响植物体内活性氧代谢系统的平衡,促进活性氧在细胞内大量积累,启动和加速细胞膜过氧化作用,致使植物体受到伤害,使得 SOD、POD 活性再次上升,以缓解镉胁迫对植物自身的影响。该试验中, SOD、POD 活性与镉浓度的增加呈显著正相关,且相关系数  $r$  分别为  $0.9923^*$ 、 $0.9018^*$  ( $P < 0.05$ );而在高浓度的镉处理( $> 100 \text{ mg/L}$ )时, POD 活性则稍微有所下降,可能是  $\text{Cd}^{2+}$  与 POD 酶蛋白中的-SH 结合,使其催化中心或酶结构受损,从而导致 POD 活性下降。

Cd 胁迫下能够使植物体内活性氧、自由基增多,诱导体内 SOD、POD 的合成以及酶活性增强,虽然能够表明 SOD 和 POD 在抵御外界不良环境的协同性,避免活性氧自由基的大量积累,降低了细胞膜的破坏程度;但是对于  $\text{Cd}^{2+}$  对 SOD、POD 酶及其活性,以及自由基的影响机理研究的还不够明确,有待于以后的进一步研究。

## 参考文献

- [1] Das P, Samantaray S, Rout G R. Studies on cadmium toxicity in plants: a review[J]. Environmental Pollution, 1997, 98(1): 29-36.
- [2] 刘俊, 廖柏寒, 周航, 等. 镉胁迫对大豆花英期生理生态的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 176-182.
- [3] 季宇彬. 中药材有效成分药理应用[M]. 哈尔滨: 黑龙江科技出版社, 1994: 441-442.
- [4] 周建利, 陈同斌. 我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与

展望[J]. 湖北农学院学报. 2002. 22(5): 476-480.

[5] 宋波. 北京市菜地土壤和蔬菜镉含量及其健康风险分析[J]. 环境科学学报. 2006. 26(8): 1343-1353.

[6] 熊愈辉, 杨肖娥. 镉对植物毒害与植物耐镉机理研究进展[J]. 安徽农业科学. 2006. 34(13): 2969-2971.

[7] 刘伟成, 李明云. 镉毒性毒理学研究进展[J]. 广东微量元素科学. 2005. 12(12): 1-5.

[8] 程智慧, 孟焕文, 周文安, 等. 地灵高产栽培[J]. 西北园艺. 2003(1): 30-32.

[9] 中国农业科学院蔬菜花卉研究所. 中国蔬菜品种志. 下卷[M]. 北京: 中国农业出版社. 2001. 6: 1128.

[10] 成玉梅, 张菊平, 李电涛. 偃师银条高产栽培技术[J]. 河南农业科学. 2003(8): 72.

[11] Yamahara J, Kitani T, Kobayashi H et al. Studies on *Stachys sieboldii* Miq II. Anti-anoxia action and the active constituents[J]. Journal of the Pharmaceutical Society of Japan. 1990. 110(12): 932-935.

[12] 李得孝, 员海燕, 郭月霞, 等. 混合液浸提法测定玉米叶绿素含量的研究[J]. 玉米科学. 2006. 14(1): 117-119.

[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. 1999.

[14] 汤章城. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社. 1999: 305-306.

[15] 宋福南, 杨传平, 刘雪梅, 等. 盐胁迫对柽柳超氧化物歧化酶活性的

影响[J]. 东北林业大学学报. 2006. 34(3): 54-56.

[16] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社. 2005. 123-124.

[17] 万永吉, 郑文教, 方煜, 等. 重金属铬(Ⅵ)胁迫对红树植物秋茄幼苗SOD、POD活性及其同工酶的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版). 2008. 47(4): 571-574.

[18] Shi G X, Du K H, Xie K B et al. Ultrastructural study of leaf cells damaged from  $Hg^{2+}$  and  $Cd^{2+}$  pollution in *Hydrilla verticillata* [J]. Acta Bot Sin. 2000(42): 373-378.

[19] 赵素达, 付成秋, 朱松龄. 镉对石莼光合作用和呼吸作用及叶绿素含量的影响[J]. 青岛海洋大学学报. 2000. 30(3): 519-523.

[20] 万雪琴, 张帆, 夏新莉, 等. 镉处理对杨树光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 林业科学. 2008. 44(6): 73-78.

[21] Prasad T K. Mechanisms of chilling-induced oxidative stress injury and tolerance in developing maize seedlings: changes in antioxidant system, oxidation of proteins and lipids, and protease activities[J]. Plant Journal. 1996. 10(6): 1017-1026.

[22] 余苹中, 廖柏寒, 宋稳成, 等. 模拟酸雨和Cd对小白菜、四季豆生理生化特性的影响[J]. 农业环境科学学报. 2004. 23(1): 43-46.

[23] 曾超西, 王以桑. 水稻幼苗的低温伤害与膜脂过氧化[J]. 植物学报. 1997. 29(5): 506-512.

[24] 冯昌军, 罗新义, 沙伟, 等. 低温胁迫对苜蓿品种幼苗SOD、POD活性和脯氨酸含量的影响[J]. 草业科学. 2005. 22(6): 29-32.

Effects of Cd on the Physiological and Biochemical Properties of *Stachys floridana* Schuttl. ex Benth. in Flowering Stage

LIU Meng-gang, LIU Hui-chao, YAO Lian-fang, JIA Wen-qing  
(College of Landscape Architecture, Henan University of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003)

**Abstract:** Effects of different cadmium concentrations on growth of physiological index in leaves of *Stachys floridana* Schuttl. ex Benth. were studied with the pot experiment. The results showed that the chlorophyll content of *Stachys floridana* supplemented with Cd was significantly decreased with increase of cadmium concentration, and the chlorophyll content showed a negative relationship with the cadmium concentration, and the coefficient of correlation was  $-0.9852^{**}$  ( $P<0.01$ ). The cell membrane permeability and the activitie of Superoxide Dismutase(SOD) were significantly enhanced with the increase of cadmium concentration. The coefficient of correlation were  $0.9850^{**}$  ( $P<0.01$ ),  $0.9923^{*}$  ( $P<0.05$ ) respectively. Malondialdehyde (MDA) and the activitie of Peroxidase (POD) in leaves, firstly increased, and then decreased, showed a significantly positive relationship with the cadmium concentration. The coefficient of correlation were  $0.9845^{**}$  ( $P<0.01$ ),  $0.9018^{*}$  ( $P<0.05$ ) respectively.

**Key words:** *Stachys floridana* Schuttl. ex Benth.; cadmium stress; flowering stage; physiological and ecological

郑重声明:

本刊所有文章均采用学术不端文献检测系统, 请确保您所投文章无抄袭与剽窃、伪造、篡改、不当署名、一稿多投等学术不端行为! 本刊所有文章文责自负。