

# 镉胁迫对银条生物量及光合特性的影响

刘会超,刘孟刚,姚连芳,贾文庆

(河南科技学院 园林学院,河南 新乡 453003)

**摘要:**通过盆栽试验,研究了  $\text{CdCl}_2$  胁迫对银条叶片光合特性的影响。结果表明,随着  $\text{CdCl}_2$  浓度的增加,银条生物量下降明显,叶片光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和气孔导度( $G_s$ )降低,在镉浓度为 250 mg/L 时分别为对照的 25.00%、35.52%、54.02%;水分利用效率(WUE)呈现先升高再降低的变化趋势,而胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )只在高浓度( $\geq 200$  mg/L)时才逐步升高,但增幅相对较小,在 2.40%~9.15% 之间。

**关键词:**银条;镉胁迫;光合特性

中图分类号:S63 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2010)04-0162-04

## Effects of Cadmium Stress on Biomass and Photosynthetic Characteristics of *Stachys floridana*

LIU Hui-chao, LIU Meng-gang, YAO Lian-fang, JIA Wen-qing

(School of Horticulture Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

**Abstract:** With pot cultivation, the effects of cadmium stress on the leaf photosynthetic characteristics of *Stachys floridana* were studied. The results showed that with the increasing of cadmium concentration, the biomass of *Stachys floridana* decreased significantly. Cadmium reduced the photosynthetic rate( $P_n$ ), transpiration rate( $T_r$ ) and stomatal conductance( $G_s$ ) to 25.00%, 35.52%, 54.02% respectively at a concentration of 250 mg/L. The water use efficiency (WUE) was firstly increased, and then decreased. The intercellular  $\text{CO}_2$  concentration( $C_i$ ) was gradually escalated with the higher cadmium concentration (greater than or equal to 200 mg/L), but the increasing of intercellular  $\text{CO}_2$  concentration ( $C_i$ ) was relatively less and the increase amplitude was 2.40%~9.15%.

**Key words:** *Stachys floridana* Schuttl. ex Benth.; Cadmium stress; Photosynthetic characteristics

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>[1,2]</sup>。银条菜作为一种绿色环保蔬菜,主食地下根茎,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,可腌渍、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>[3]</sup>;银条菜中丰富的有机酸、糖类、酚类、水苏糖、水苏碱、胆碱、葫芦巴碱物质,不仅具有润肺、补血、益肾之功效<sup>[1]</sup>;并且还可治疗气喘、淋巴结核、咯血<sup>[4]</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>[5]</sup>。

近几年来,人们对重金属引起的土壤、环境污染问题有较多的报道<sup>[6,7]</sup>。镉是环境中具有毒害作用的主要重金属之一,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>[8,9]</sup>,研究表明,镉对植物的生长发育造成一系列的伤害,如植株矮化、物候期延迟、DNA 合成受阻、酶活性下降等<sup>[10]</sup>;镉对植物光合作用的影响程度则与植物种类及环境条件有关,但多数情况下,镉浓度很低时对作物就有明显的影响,尤其在开花期对植株的光合作用影响更大<sup>[11-15]</sup>。本研究以银条沙培试验为基础,浇灌改良 Hoagland 营养液,通过在银条开花期浇灌不同质量

收稿日期:2010-06-16

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

作者简介:刘会超(1964-),男,河南南阳人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事种质资源与生物技术研究。

浓度的  $\text{CdCl}_2$  溶液,测定其生物量与光合特性变化,以期探讨不同浓度的  $\text{Cd}^{2+}$  处理对银条生长发育及光合作用的影响,旨在为银条规模生产和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 材料

材料培养: 2009 年 3 月于河南偃师市西寺庄村采购银条地下茎,2009 年 5 月选取粗度、长度、芽点数基本一致的银条地下茎作为种根栽种到营养钵里进行沙培,每钵栽种 2~3 根银条,每根银条长 5~10 cm,共约 10~15 个芽点。

沙子消毒处理: 将直径为 0.5 mm 的沙子经自来水多次冲洗后,用体积分数为 2% 的  $\text{HNO}_3$  溶液浸泡过夜,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)。

试验在河南科技学院园林学院盆景园温室大棚内进行。

1.2 处理

用改良的 Hoagland 完全营养液浇灌盆栽的银条,每隔 3 d 浇灌一次,每盆浇 100~150 mL。待银条长到第一朵的花蕾出现时,选择长势基本一致、无病害、健壮的银条,分别浇灌 50,100,150,200 和 250 mg/L 不同浓度的  $\text{CdCl}_2$  溶液(分析纯),以不施镉为对照(以 CK 表示)。每处理 10 盆,每周浇灌一

次,2 个月后选取健壮植株倒数第二片功能叶测定其光合特性,每株测定 3 片,3 次重复,计算平均值。

1.3 测定方法

采用 LI-6400P(美国 LI-COR 公司)便携式光合作用测定系统测定叶片光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $Tr$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )和水分利用效率( $WUE$ ),测定时使用开放式气路, $\text{CO}_2$  浓度为  $(320 \pm 10) \mu\text{mol/mol}$ ,温度  $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ ,人工光源,光强为  $1\,000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。每处理各指标均测 5 株,取平均值;水分利用效率( $WUE$ )的计算公式为:  $WUE = P_n/Tr$ 。

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  $\text{CdCl}_2$  对银条生物量的影响

如表 1 所示,银条受到 Cd 胁迫处理后,其生长量随着浓度的增加逐渐降低,中高浓度( $\geq 100 \text{ mg/L}$ )的 Cd 胁迫下整株银条的叶片、地上茎、地下茎,与对照均存在极显著差异;在  $\text{CdCl}_2$  浓度为 250 mg/L 时,叶片、地上茎、地下茎与对照相比鲜质量分别下降 36.36%,26.06%,49.93%,干质量分别下降 67.29%,61.63%,72.42%。

表 1 不同质量浓度  $\text{CdCl}_2$  对银条生长的影响

Tab. 1 Effects of different Cadmium concentrations on the growth of <i>Stachys floridana</i> g/株						
浓度 (mg/L) Concentration	叶片 Leaves		地上茎 Aerial stem		地下茎 Subterranean stem	
	鲜质量 Fresh weight	干质量 Dry weight	鲜质量 Fresh weight	干质量 Dry weight	鲜质量 Fresh weight	干质量 Dry weight
0	12.68 ± 0.24aA	2.14 ± 0.06aA	11.05 ± 0.07aA	2.45 ± 0.06aA	37.55 ± 0.63aA	9.68 ± 0.35aA
50	12.42 ± 0.39bA	1.97 ± 0.04bA	10.06 ± 0.08bB	1.84 ± 0.05bB	35.35 ± 0.50bA	7.35 ± 0.54bB
100	11.35 ± 0.16cB	1.50 ± 0.04cB	9.30 ± 0.42cBC	1.52 ± 0.02cC	32.35 ± 0.66cB	5.45 ± 0.60cC
150	9.93 ± 0.10dC	1.11 ± 0.03dC	9.10 ± 0.14cC	1.31 ± 0.07dD	27.70 ± 0.99dC	4.42 ± 0.42dD
200	9.30 ± 0.28eD	0.78 ± 0.02eD	9.02 ± 0.02cC	1.22 ± 0.04dD	22.61 ± 0.84eD	3.21 ± 0.23eE
250	8.07 ± 0.12fE	0.70 ± 0.08eD	8.17 ± 0.24dD	0.94 ± 0.04eE	18.80 ± 1.13fE	2.67 ± 0.14fE

2.2  $\text{CdCl}_2$  对银条叶片  $P_n$ 、 $Tr$ 、 $WUE$  的影响

如表 2 所示,与对照相比, $\text{CdCl}_2$  胁迫造成银条叶片  $P_n$ 、 $Tr$  下降,在  $1\,000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  固定光强照射下, $\text{CdCl}_2$  处理浓度越高, $P_n$ 、 $Tr$  下降的幅度越大。低浓度的  $\text{CdCl}_2$  处理时, $P_n$  没有显著的变化;当  $\text{CdCl}_2$  质量浓度增加到 100 mg/L 时, $P_n$  比对照极显著下降; $\text{CdCl}_2$  质量浓度 250 mg/L 时, $P_n$  比对照下降了 74.96%。250 mg/L  $\text{CdCl}_2$  浓度胁迫下, $Tr$  下降为  $0.77 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,仅为对照的 35.52%。

$WUE$  反映的是植物消耗单位数量的水分所同化  $\text{CO}_2$  的数量,它能准确地反映植物叶片的瞬间或短期  $\text{CO}_2$  交换情况。随着  $\text{CdCl}_2$  质量浓度的增加, $WUE$  总的变化趋势是先升高再下降;在 50 mg/L Cd 浓度胁迫时, $WUE$  上升到最大值,为  $6.99 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ ,而后随着  $\text{CdCl}_2$  质量浓度的升高, $WUE$  逐渐下降,在 250 mg/L 时降到最低,为  $4.13 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ ,与对照相比下降了 29.04%。

表 2 不同质量浓度  $\text{CdCl}_2$  对银条叶片  $\text{Pn}$ 、 $\text{Tr}$ 、 $\text{WUE}$  的影响

Tab.2 Effects of Cd on  $\text{Pn}$ ,  $\text{Tr}$  and  $\text{WUE}$  in leaves of *Stachys floridana*

$\text{CdCl}_2$ 浓度 / (mg/L) $\text{CdCl}_2$ concentration	光合速率 / ( $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) Photosynthetic rate( $\text{Pn}$ )	蒸腾速率 / ( $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) Transpiration rate( $\text{Tr}$ )	水分利用效率 / ( $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ ) Water use efficiency( $\text{WUE}$ )
0	$12.54 \pm 0.47 \text{aA}$	$2.16 \pm 0.09 \text{aA}$	$5.82 \pm 0.46 \text{bcAB}$
50	$13.18 \pm 0.31 \text{aA}$	$1.89 \pm 0.08 \text{bB}$	$6.99 \pm 0.45 \text{aA}$
100	$10.17 \pm 0.38 \text{bB}$	$1.62 \pm 0.09 \text{cC}$	$6.31 \pm 0.41 \text{abAB}$
150	$7.90 \pm 0.40 \text{cC}$	$1.41 \pm 0.05 \text{dD}$	$5.62 \pm 0.39 \text{bcB}$
200	$4.48 \pm 0.48 \text{dD}$	$0.83 \pm 0.04 \text{eE}$	$5.39 \pm 0.39 \text{cB}$
250	$3.14 \pm 0.25 \text{eE}$	$0.77 \pm 0.07 \text{eE}$	$4.13 \pm 0.69 \text{dC}$

### 2.3 $\text{CdCl}_2$ 对银条叶片 $\text{Gs}$ 的影响

图 1 所示, 镉胁迫对银条叶片的气孔导度影响较大, 随着镉胁迫浓度升高, 气孔导度与蒸腾速率有相似的变化趋势, 即二者均呈下降趋势。在低浓度时,  $\text{Gs}$  下降较为缓慢, 但到高浓度胁迫时,  $\text{Gs}$  下降明显, 其中在浓度 200 mg/L 时  $\text{Gs}$  仅为对照的 65.17%, 而  $\text{CdCl}_2$  浓度增加到 250 mg/L 时,  $\text{Gs}$  下降到  $0.11 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

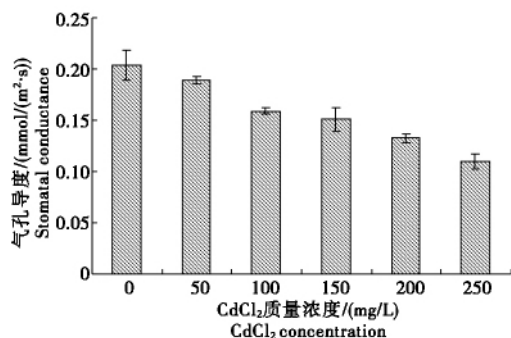


图 1 不同  $\text{CdCl}_2$  浓度处理对银条叶片气孔导度的影响

Fig.1 Effects of  $\text{CdCl}_2$  on stomatal conductance(  $\text{Gs}$ ) in leaves of *Stachys floridana*

### 2.4 $\text{CdCl}_2$ 对银条胞间 $\text{CO}_2$ 浓度的影响

由图 2 可知, 随着  $\text{CdCl}_2$  浓度的增大, 银条叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度变化的幅度很小, 总的变化趋势是升高的, 在  $\text{CdCl}_2$  浓度小于 150 mg/L 时,  $\text{Ci}$  基本没有变化, 当  $\text{CdCl}_2$  浓度大于 150 mg/L 时,  $\text{Ci}$  缓慢上升, 增幅在 2.40% ~ 9.15% 之间, 并在  $\text{CdCl}_2$  浓度为 250 mg/L 时达到  $220.78 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

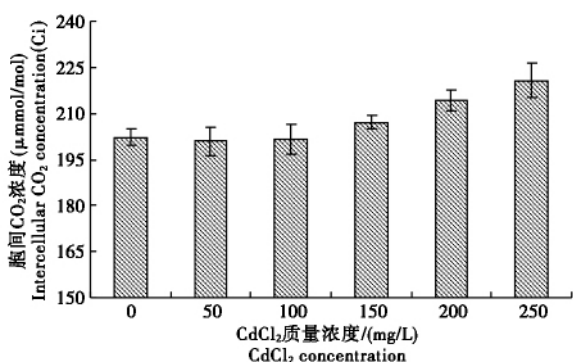


图 2 不同  $\text{CdCl}_2$  浓度对银条叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度的影响

Fig.2 Effects of  $\text{CdCl}_2$  on intercellular  $\text{CO}_2$  concentration(  $\text{Ci}$ ) in leaves of *Stachys floridana*

## 3 讨论

光合速率、气孔导度是植物光合特性中的重要指标, 其中  $\text{Pn}$  通过叶片对  $\text{CO}_2$  的吸收同化作用来反映植物对外界环境变化的影响<sup>[16]</sup>, 而  $\text{Gs}$  则与  $\text{Pn}$  直接相关。本试验研究表明低浓度 (50 mg/L) 的  $\text{CdCl}_2$  胁迫下  $\text{Pn}$  与对照无差异, 只是数值略有增加的趋势, 这可能是由于植物在受到外界胁迫后, 短期内需要消耗过多的能量来抵制不良环境; 而随着  $\text{CdCl}_2$  浓度的增加 ( $\geq 100 \text{ mg/L}$ ) 以及胁迫时间的延长,  $\text{Pn}$  极显著下降, 可能是由于叶片中积累的  $\text{CdCl}_2$  能激发活性氧的大量产生<sup>[17]</sup>, 使膜脂过氧化; 或是  $\text{Cd}^{2+}$  抑制参与光合作用的酶系的活性、甚至影响到光系统 II (PS II) 的活性<sup>[18]</sup>、抑制光合电子的传递, 从而抑制了光合作用的进行, 使得  $\text{Pn}$  下降。气孔导度在较高  $\text{CdCl}_2$  浓度 ( $\geq 100 \text{ mg/L}$ ) 处理时,  $\text{Gs}$  呈下降趋势, 而气孔作为气体交换的调节机构,  $\text{Gs}$  导度的变化可以直接影响光合作用, 这可能也是  $\text{Pn}$  下降的一个重要原因。

蒸腾作用是植物吸收和转运水分的主要动力, 它能够维持植物各部分的水分饱和量, 保持细胞组织的形态, 促进无机盐类在植物体内的分布和运输; 植物受到镉胁迫后, 其地下根系组织以及地上叶片均有可能受到结构性损伤, 致使其功能发生改变, 造成植物与外界的交流出现障碍。本试验结果表明银条受到镉胁迫时,  $\text{Tr}$  随着  $\text{CdCl}_2$  浓度的增加逐渐降低, 而  $\text{WUE}$  则先升后降, 这可能是镉影响到保卫细胞  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  离子的吸收和运输<sup>[19]</sup>, 使得叶片气孔的阻力增加<sup>[20-21]</sup>、膨压丧失, 最终气孔关闭, 降低了  $\text{WUE}$ 。  $\text{Ci}$  浓度大小与外界大气  $\text{CO}_2$  通过气孔进入细胞的速度以及细胞内部光合器官同化的速度有关,  $\text{Ci}$  浓度在镉处理时呈现出缓慢增高的趋势, 这与马新明等<sup>[22]</sup> 研究结果相似, 而与张金彪<sup>[14]</sup> 对草莓的研究则相反。

镉严重影响着植株的正常生长, 它虽然造成植株  $\text{Pn}$ 、 $\text{Tr}$ 、 $\text{Gs}$ 、 $\text{Ci}$ 、 $\text{WUE}$  的变化, 还会抑制光系统 (PS I 和 PS II) 的顺利进行, 使植物体内的酶活性受到

影响,但是现在关于镉对植株的伤害机理的研究还比较肤浅,今后应开展镉对银条叶片荧光参数的影响方面研究,进一步弄清镉对银条光合特性影响的机制。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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: 中国农业科技出版社 2001: 1128.
- [3] 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
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Das P, Samantaray S, Rout G R. Studies on cadmium toxicity in plants: a review [J]. Environmental Pollution, 1997 98(1): 29-36.
- [9] 刘俊,廖柏寒,周航,等. 镉胁迫对大豆花荚期生理生态的影响[J]. 生态环境学报 2009 18(1): 176-182.
- [10] 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.
- [11] Atal N, Saradhi P P, Mohanty P. Inhibition of the chloroplast photochemical reactions by treatment of wheat seedlings with low concentrations of cadmium: Analysis of electron transport activities and changes in fluorescence yield [J]. Plant and Cell Physiology, 1991 32(7): 943-951.
- [12] Okamoto O K, Asano C S, Aider E, *et al.* Effects of cadmium on growth and superoxide dismutase activity of the marine microalga *Tetraselmis gracilis* (Prasinophyceae) [J]. Journal of Phycology 1996 32(1): 74-79.
- [13] Mendelssohn, McKee K L, Kong T. A comparison of physiological indicators of sublethal cadmium stress in wetland plants [J]. Environmental and Experimental Botany 2001 46(3): 263-275.
- [14] 张金彪,黄维南. 镉胁迫对草莓光合的影响[J]. 应用生态学报 2007 18(7): 1673-1676.
- [15] 陶龙兴,沈波,符冠富,等. 水稻开花期高温胁迫的研究概述[J]. 浙江农业科学 2009 1: 4-7.
- [16] 朱建玲,徐志防,曹洪麟,等. 镉对南美蟛蜞菊光合特性的影响[J]. 生态环境 2008 17(2): 657-660.
- [17] 林冬,朱诚,孙宗修. 镉敏感水稻突变体在镉胁迫下活性氧代谢的变化[J]. 环境科学 2006 27(3): 561-566.
- [18] Siedlecka A, Krupa Z. Interaction between cadmium and iron and its effects on photosynthetic capacity of primary leaves of *Phaseolus vulgaris* [J]. Plant Physiology and Biochemistry 1996 34(6): 833-841.
- [19] 张磊,于燕玲,张磊. 外源镉胁迫对玉米幼苗光合特性的影响[J]. 华北农学报 2008 23(1): 101-104.
- [20] 苏玲,章永松,林咸永,等. 维管植物的镉毒和耐性机制[J]. 植物营养与肥料学报 2000 6(1): 106-112.
- [21] 慈敦伟,姜东,戴廷波,等. 镉毒害对小麦幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 麦类作物学报 2005 25(5): 88-91.
- [22] 马新明,李春明,田志强,等. 镉污染对烤烟光合特性、产量及其品质的影响[J]. 生态学报 2006 26(12): 4039-4044.