

孟 丽,李德生,李海茹,等. 重金属镉对日本櫟木叶绿素和保护酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):178-180.

重金属镉对日本櫟木叶绿素和保护酶活性的影响

孟 丽¹, 李德生¹, 李海茹¹, 吴 强²

(1. 天津理工大学环境科学与安全工程学院, 天津 300384; 2. 天津市宁河县林业局, 天津 300384)

摘要:以一年生日本无刺櫟木为试验材料,采用气候室盆栽试验方法,研究了不同浓度 Cd^{2+} 处理对日本櫟木叶绿素含量和保护酶活性的影响。结果表明:叶绿素 a 含量随着 Cd^{2+} 处理浓度的增加呈现先升高后下降的趋势,当 Cd^{2+} 浓度为 5 mg/kg 时较对照显著增加 ($P < 0.05$);各浓度 Cd^{2+} 处理的叶绿素 b 含量均低于对照组,但变化规律不明显;当 Cd^{2+} 处理浓度达到 20 mg/kg 时,叶绿素总量、叶绿素 a、叶绿素 b 含量均低于对照,说明高浓度的 Cd^{2+} 能够抑制日本櫟木叶绿素的合成。过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性随着 Cd^{2+} 处理浓度的增高呈现先增加后下降的趋势;当 Cd^{2+} 浓度为 2~5 mg/kg 时,POD 活性与对照组相比有显著性差异 ($P < 0.05$)。随着 Cd^{2+} 处理浓度的增大,丙二醛(MDA)累积量逐渐增大,但不同处理间未达到显著性差异。

关键词: Cd; 日本櫟木; 叶绿素; 保护酶

中图分类号: X171.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)08-0178-03

随着工业、城市污染的加剧和农用化学物质种类、数量的增加,土壤重金属污染日益严重,并已成为当今环境科学研究的主要内容^[1]。据统计,我国受重金属污染的耕地面积近

2 000 万 hm^2 ,约占总耕地面积的 1/5,其中镉污染的耕地占 1.33 万 hm^2 ,污染面积较大^[2]。镉对植物有明显的毒害作用,易被植物体吸收,且当超过一定剂量时会抑制植物体正常代谢过程,从而阻碍植物的生长发育甚至导致植物死亡。研究表明,镉对植物生长发育会造成一系列影响,表现为生长迟缓、植株矮小、酶活性下降等^[3-4],此外还可以通过破坏叶绿体的结构而降低叶绿素的含量,影响植株的光合作用^[5]。

目前对重金属生理效应的研究大多以蔬菜和大田作物等草本类植物为主^[6-7],关于木本蔬菜对重金属响应的研究报道较少。日本无刺櫟木(*Arlia elata* var. *inermis*)作为代表性木本蔬菜资源之一,具有很高的药用和食用价值,因其生长迅

收稿日期:2013-01-12

基金项目:天津市科技支撑计划重点项目(编号:12AZCZDC00400);

天津市农业科技成果转化与推广项目(编号:0801160)。

作者简介:孟 丽(1987—),女,山东临沂人,硕士研究生,从事环境生态学的研究。E-mail: mengli.1987.lovely@163.com。

通信作者:李德生,博士,教授,硕士生导师,主要从事城市生态、农业环境保护和水文生态研究与教学工作。E-mail: deshli@tjut.edu.cn。

[8] 黄有总,张国平. 叶绿素荧光测定技术在麦类作物耐盐性鉴定中的应用[J]. 麦类作物学报,2004,24(3):114-116.

[9] 徐呈祥,刘友良,马艳萍. 硅对盐胁迫下库拉芦荻叶绿素荧光参数和叶绿体超微结构的影响[J]. 园艺学报,2007,34(4):979-984.

[10] Munns R, James R A, Sirault X R R, et al. New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit[J]. J Exp Bot, 2010, 61(13):3499-3507.

[11] Scagel C F. Changes in cutting composition during early stages of adventitious rooting of miniature rose altered by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2004, 129(5):624-634.

[12] Eelin H, Kapoor R, Giri B. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress; a review[J]. Ann Bot, 2009, 104(7):1263-1280.

[13] 孙吉庆,刘润进,李 敏. 丛枝菌根真菌提高植物抗逆性的效应及其机制研究进展[J]. 植物生理学报,2012,48(9):845-852.

[14] 陆 爽,郭 欢,王绍明,等. 盐胁迫下 AM 真菌对紫花苜蓿生长及生理特征的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(2):227-231.

[15] Sheng M, Tang M, Chen H, et al. Influence of arbuscular mycorrhizae on the root system of maize plants under salt stress[J]. Can J

Microbiol, 2009, 55(7):879-886.

[16] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999.

[17] Sawers R J H, Gutjahr C, Paszkowski U. Cereal mycorrhiza: an ancient symbiosis in modern agriculture[J]. Trends Plant Sci, 2008, 13(2):93-97.

[18] Colla G, Rouphael Y, Cardarelli M, et al. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration[J]. Biol Fertil Soils, 2008, 44(3):501-509.

[19] Sheng M, Tang M, Chen H, et al. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress[J]. Mycorrhiza, 2008, 18(6/7):287-296.

[20] Giri B, Mukerji K G. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake[J]. Mycorrhiza, 2004, 14(5):307-312.

[21] Henriques F S. Leaf chlorophyll fluorescence: background and fundamentals for plant biologist[J]. Bot Rev, 2009, 75(3):249-270.

[22] Qin L Q, Li L, Bi C, et al. Damaging mechanisms of chilling- and salt stress to *Arachis hypogaea* L. leaves[J]. Photosynthetica, 2011, 49(1):37-42.

速、适应性强等特点而受到广泛关注。因此本试验通过模拟在重金属镉污染的土壤中栽培日本榉木,研究重金属镉对日本榉木叶片叶绿素含量和保护酶活性的影响,以期揭示日本榉木对重金属胁迫的反应和适应机制,为日本榉木的规模化和安全性生产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

选用长势均匀的一年生日本无刺榉苗木为供试材料。采用盆栽技术,每盆种植 1 株苗木,每个处理 3 个重复。试验在天津理工大学的气候室内进行,选用花园土壤作为栽培基质,花盆尺寸 30 cm(径)×20 cm(高),每盆装土 5.5 kg,盆下垫托盘。基质土壤有机质含量 53.07 mg/kg,总氮含量 8.46 g/kg,总磷含量 0.96 g/kg,总钾含量 0.71 g/kg,土壤的 pH 值为 7.57。

2011 年 10 月 29 日完成苗木移植,7 d 后对苗木进行重金属胁迫处理。其中 Cd²⁺ 处理浓度分别 0(对照)、1、2、5、10、20 mg/kg;每次测定 3 个重复,结果采用 3 次测定结果的平均值进行分析。

1.2 试验方法

叶绿素含量的测定:采用分光光度法^[8],以 95% 乙醇为提取介质,计算叶绿素的鲜重含量,单位为 mg/g。

保护酶活性测定:过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶

(CAT)活性的测定参照《植物生理学实验技术》的相关方法^[9];丙二醛(MDA)含量用硫代巴比妥酸法^[10]测定。

2 结果与分析

2.1 重金属镉对日本榉木叶片叶绿素含量的影响

由表 1 可以看出,不同浓度的 Cd²⁺ 处理对日本榉木叶片叶绿素含量的影响不同,随着 Cd²⁺ 浓度的增加,叶绿素 a 含量呈现先增加后下降的趋势。当 Cd²⁺ 处理浓度为 5、10 mg/kg 时,叶绿素 a 含量显著高于对照组($P < 0.05$),分别增加了 62.96%、56.26%,说明低浓度的 Cd²⁺ 处理能够促进叶绿素 a 的生成。在重金属 Cd²⁺ 胁迫下,随着 Cd²⁺ 浓度增加,叶绿素 b 含量较对照在整体上呈现下降的趋势,但规律性不明显。当 Cd²⁺ 处理浓度达到 20 mg/kg 时,叶绿素总含量、叶绿素 a、叶绿素 b 含量均低于对照,由此可见,高浓度的 Cd²⁺ 会影响日本榉木叶绿素的正常合成,进而影响植物的光合作用。

叶绿素是植物在光合作用过程中吸收光能的物质,其含量高低在一定程度上反映了光合作用的水平。在 0 ~ 20 mg/kg Cd²⁺ 胁迫下,叶绿素 a/叶绿素 b 值整体上呈现先升高后下降的趋势。当 Cd²⁺ 浓度在 1 ~ 10 mg/kg 范围时,叶绿素 a/叶绿素 b 值逐渐降低,与对照相比具有显著性差异($P < 0.05$);随着 Cd²⁺ 处理浓度的进一步升高,叶绿素 a/叶绿素 b 值又大幅度降低。

表 1 重金属 Cd 对日本榉木叶片叶绿素含量的影响

Cd ²⁺ 浓度 (mg/kg)	叶绿素 a 鲜重含量 (mg/g)	叶绿素 b 鲜重含量 (mg/g)	叶绿素 a + b 鲜重含量 (mg/g)	叶绿素 a/叶绿素 b (mg/g)
0(CK)	1.015 ± 0.224b	0.642 ± 0.137a	1.658 ± 0.118abc	1.581 ± 0.646b
1	1.048 ± 0.099b	0.326 ± 0.045b	1.374 ± 0.140c	3.210 ± 0.167a
2	1.408 ± 0.144ab	0.511 ± 0.014ab	1.919 ± 0.159abc	2.758 ± 0.204a
5	1.654 ± 0.396a	0.637 ± 0.201a	2.291 ± 0.589a	2.597 ± 0.294a
10	1.586 ± 0.339a	0.627 ± 0.243a	2.214 ± 0.581ab	2.529 ± 0.392a
20	1.014 ± 0.101b	0.570 ± 0.077ab	1.584 ± 0.335bc	1.780 ± 0.396b

注:同列数字后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 重金属镉对日本榉木叶片保护酶活性的影响

2.2.1 重金属镉对日本榉木叶片 POD 活性的影响 POD 是构成植物体内抗氧化酶系统的重要组成部分之一,能催化 H₂O₂ 氧化酶类的反应而使植物免受毒害,其活性高低能反映植物受胁迫的程度^[11]。图 1 是不同浓度 Cd²⁺ 处理下日本榉木 POD 活性的变化,可以看出,随着 Cd²⁺ 处理浓度的增大,POD 活性呈现先上升后下降的趋势。当 Cd²⁺ 浓度达到 2 mg/kg 时,POD 的活性显著高于对照,增加了约 93.2%,说明低浓度 Cd²⁺ 对日本榉木的 POD 活性有诱导作用,与对照相比酶的活性显著提高;随着 Cd²⁺ 处理浓度增加到 20 mg/kg 时,日本榉木的 POD 活性比对照下降了 2.91%,表明高浓度 Cd²⁺ 会对 POD 活性产生一定抑制作用,但与对照相比并不是很显著。

2.2.2 重金属镉对日本榉木叶片 CAT 活性的影响 当植物受到胁迫时,叶片细胞会产生大量的 H₂O₂,随着 H₂O₂ 增加,会诱导 CAT 活性的增加,从而能够催化 H₂O₂ 的直接水解。由图 2 可以看出,在 Cd²⁺ 胁迫条件下,当 Cd²⁺ 浓度 ≤ 2 mg/kg 时,随着处理浓度的升高,CAT 的活性逐渐升高,当 Cd²⁺ 浓度达到 2 mg/kg 时,CAT 活性达到最大值,比对照增加 30.4%。

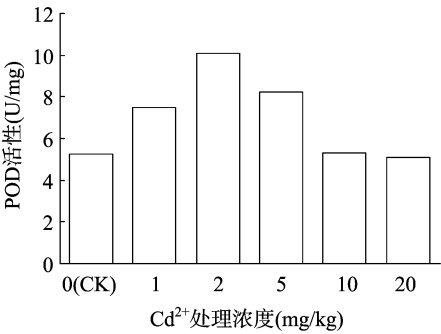


图 1 重金属镉对日本榉木叶片 POD 活性的影响

随着 Cd²⁺ 处理浓度的继续增加,CAT 活性逐渐下降,当 Cd²⁺ 处理浓度达到 20 mg/kg 时,CAT 的活性低于对照,但未表现出显著性差异。

2.2.3 重金属镉对日本榉木叶片丙二醛含量的影响 丙二醛是膜脂过氧化作用的产物,其含量的变化表明了植物细胞的过氧化程度及其对逆境环境反应的强弱^[12]。由图 3 可以看出,在 0 ~ 20 mg/kg Cd²⁺ 胁迫下,随着处理浓度的增加,日

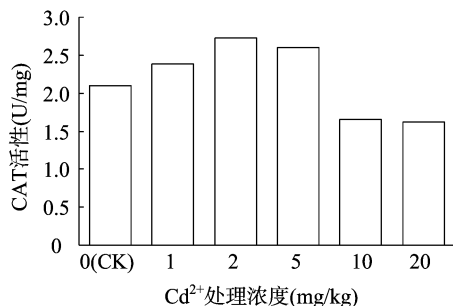


图2 重金属镉对日本櫟木叶片CAT活性的影响

本櫟木叶片中丙二醛含量变化不显著,总体上呈现出缓慢升高的趋势。当 Cd^{2+} 浓度达到 20 mg/kg 时,与对照相比,丙二醛含量增加了 36.1%,表明高浓度 Cd^{2+} 能够导致日本櫟木叶片膜的过氧化作用加剧,使得植物受损程度加重。

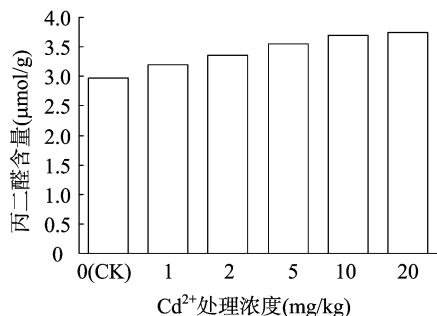


图3 重金属镉对日本櫟木叶片丙二醛含量的影响

3 结论与讨论

叶绿素是参与植物光合作用的基础物质,其含量高低直接影响着物质合成的速率。叶绿素含量和叶绿素 a/叶绿素 b 比值的变化可以反映植物光合作用对胁迫的反应程度^[13]。大量研究表明,在 Cd^{2+} 处理下,植物叶片内的叶绿素含量会发生变化^[14-15]。在本试验中,当 Cd^{2+} 处理浓度为 0 ~ 10 mg/kg 时,日本櫟木的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量呈现出不同的变化趋势,其中叶绿素 a 含量均高于对照,原因可能是低浓度 Cd^{2+} 能够促进植物体内与叶绿素 a 有关酶的合成,从而有利于其生成;当 Cd^{2+} 浓度达到 20 mg/kg 时,日本櫟木叶绿素的含量较对照均有所下降,原因可能由于叶绿体的超微结构受到破坏,与叶绿素合成有关酶的活性发生了改变。当 Cd^{2+} 浓度为 1 ~ 10 mg/kg 时,叶绿素 a/叶绿素 b 值逐渐降低,与对照相比具有显著性差异 ($P < 0.05$)。POD、CAT、超氧化物歧化酶 (SOD) 是植物保护酶系统的重要组成部分,当植物受到重金属等外界胁迫时,它们能够清除植物体内的自由基,从而保护膜系统。研究发现,不同植物在受到重金属胁迫时,体内抗氧化酶的活性变化不同。Shaw 研究表明,镉能降低 *Phaseolus aureus* 叶片中 CAT、抗坏血酸过氧化物酶 (APX)、谷胱甘肽还原酶 (GR) 等酶的活性^[16];于方明等研究发现,镉对不同生育时期抗氧化酶的影响不一致,对植物分蘖期 POD、CAT 活性影响较明显^[17]。本研究表明,随着 Cd^{2+} 处理浓度的增大,CAT 和 POD 活性呈现先升高后降低的趋势,表明在低浓度 Cd^{2+} 处理时,日本櫟木自身具有一定的

抵抗能力和适应性。当 Cd^{2+} 处理浓度在 2 mg/kg 时,POD 活性达到最大值,与对照相比显著增加;随着浓度升高并超过一定限度时,其积累的活性氧类物质到达一定程度,细胞膜受到破坏,导致酶的活性降低。

大量研究证明,随着重金属处理浓度的升高,植物体内积累的丙二醛含量升高,二者具有一定的相关性^[18]。在本研究中,日本櫟木叶片中丙二醛的含量与 Cd^{2+} 浓度呈正相关,与大量研究结果相一致。随着处理浓度的增加,日本櫟木叶片中积累的丙二醛含量缓慢增加,膜脂过氧化程度增强,但与对照相比尚未达到显著水平。

参考文献:

- [1] 崔德杰,张玉龙. 土壤重金属污染现状与修复技术研究进展[J]. 土壤通报,2004,35(3):366-370.
- [2] 郭艳丽,台培东,韩艳萍,等. 镉胁迫对向日葵幼苗生长和生理特性的影响[J]. 环境工程学报,2009,3(12):2291-2296.
- [3] 郑春荣,孙北海,周东美,等. 土壤 Pb Cd 污染的植物效应 II——Cd 污染对水稻生长和 Cd 含量的影响[J]. 农业环境科学学报,2004,23(5):872-876.
- [4] 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.
- [5] 李荣春. Cd、Pb 及其复合污染对烤烟叶片生化及细胞亚显微结构的影响[J]. 植物生态学报,2000,24(2):238-242.
- [6] 马新明,李春明,袁祖丽,等. 铅污染对烤烟光合特性、产量及其品质的影响[J]. 植物生态学报,2006,30(3):472-478.
- [7] 杨金凤,卜玉山,郭小燕,等. 土壤外源镉、铅污染对油菜生长的影响研究[J]. 陕西农业科学,2005(3):25-28.
- [8] Sartory D R, Grobbelaar J U. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis[J]. Hydrobiologia, 1984,114(3):177-187.
- [9] 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.
- [10] 李柏林,梅慧生. 燕麦叶片衰老与活性氧代谢的关系[J]. 植物生理学报,1989,15(1):6-12.
- [11] 郑世英,王丽燕,商学芳,等. Cd^{2+} 胁迫对玉米抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 江苏农业科学,2007(1):36-38.
- [12] 黄薇,林栖凤,李冠一,等. 盐分对红树植物秋茄某些生理特性的影响[J]. 海南大学学报:自然科学版,2002,20(4):328-331.
- [13] 何冰,叶海波,杨肖娥. 铅胁迫下不同生态型东南景天叶片抗氧化酶活性及叶绿素含量比较[J]. 农业环境科学学报,2003,22(3):274-278.
- [14] 寇士伟,倪高风,马岚婷,等. Cd-Pb-Cu 复合污染对芥菜生长及生理特性的影响[J]. 环境科学研究,2011,24(3):281-286.
- [15] 方学智,朱祝军,孙光闻. 不同浓度 Cd 对小白菜生长及抗氧化系统的影响[J]. 农业环境科学学报,2004,23(5):877-880.
- [16] Shaw B P. Effects of mercury and cadmium on the activities of antioxidative enzymes in the seedlings of *Phaseolus aureus* [J]. Biologia Plantarum,1995,37(4):587-596.
- [17] 于方明,刘可慧,刘华,等. 镉污染对水稻不同生育期抗氧化系统的影响[J]. 生态环境学报,2012,21(1):88-93.
- [18] 张玉秀,柴团耀,Burkard G. 植物耐重金属机理研究进展[J]. 植物学报,1999,41(5):453-457.