

# 镉对东北枫和东北山梅花生长和叶绿素荧光特性的影响

曹 玲<sup>1</sup>, 司守霞<sup>1</sup>, 王庆成<sup>2</sup>

(1. 河南林业职业学院, 河南 洛阳 471002; 2. 东北林业大学 林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘 要:**采用盆栽法研究了 4 种土壤镉浓度处理: 0、50、100 mg · kg<sup>-1</sup> 和 200 mg · kg<sup>-1</sup> (以风干土计) 对东北枫(*Acer mandshuricum*) 和东北山梅花(*Philadelphus schrenkii*) 1 年生苗生物量及叶绿素荧光参数的影响。结果表明, 在含有不同浓度镉的土壤中共生长 70 d 后, 随着土壤中镉处理浓度的增加, 2 树种的荧光参数  $Fv/Fm$ 、 $\Phi PS II$  和  $qP$  均逐渐降低,  $qNP$  则逐渐上升; 一个生长季结束后, 2 树种苗木生物量累积随镉浓度的增大均逐渐降低。不同镉浓度处理间东北枫的生物量和荧光参数变化幅度较大, 相对而言, 东北山梅花具有较强的抗镉污染能力。

**关键词:**土壤镉污染; 叶绿素荧光; 东北枫; 东北山梅花

**中图分类号:** S718.516      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-7461(2017)03-0067-04

## Effect of Cadmium on Biomass Accumulation and Chlorophyll Fluorescence Characteristics of *Acer mandshuricum* and *Philadelphus schrenkii*

CAO Ling<sup>1</sup>, SI Shou-xia<sup>1</sup>, WANG Qing-cheng<sup>2</sup>

(1. Forestry Vocational College, Luoyang, Henan 471002, China; 2. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

**Abstract:** In this study, the effects of soil cadmium contamination on the biomass and chlorophyll fluorescence characteristics of the seedlings of two species (*Acer mandshuricum* and *Philadelphus schrenkii*) were investigated. Four concentrations of Cd (0, 50, 100 mg · kg<sup>-1</sup> and 200 mg · kg<sup>-1</sup>) were applied to air-dried soil of the potted 1-year-old seedlings. The results showed that the chlorophyll fluorescence parameters ( $Fv/Fm$ ,  $\Phi PS II$ , and  $qP$ ) of the two species gradually decreased after 70 days' treatment, whereas  $qNP$  increased gradually. After one growing season, biomass accumulation of two kinds of seedlings declined with the increase of Cd concentration. Biomass and chlorophyll fluorescence parameters of *A. mandshuricum* had greater variation range, indicating that *P. schrenkii* had relatively stronger resistant ability to cadmium contamination.

**Key words:** soil cadmium contamination; chlorophyll fluorescence; *Acer mandshuricum*; *Philadelphus schrenkii*

重金属污染目前已成为全球关注的热点问题之一。镉因其在土壤中的高度移动性和对植物的严重危害, 被视为重金属中最具危害性的污染元素之一。城市土壤中镉已有不同程度累积<sup>[1-6]</sup>。绿化树木是城市生态系统的重要组成部分, 在绿化、美化城市, 减少城市污染, 维持城市生态平衡中发挥着重要的作用<sup>[2,7-9]</sup>。北方城市绿化植物种类相对较少, 难以

满足城市绿化的多种需求。在进行城市园林绿化植物的选择时, 必须考虑该植物是否能对重金属污染有一定的抗性<sup>[10]</sup>。选择适于城市环境特点的具有较高美学价值和环境效益的树种是保证城市园林生态系统健康和持续稳定的关键。

东北枫(*Acer mandshuricum*) 和东北山梅花(*Philadelphus schrenkii*) 是我国东北东部的山地

树种。东北枫的枝干、叶、花、果在一年四季中有不同程度的变化,特别是春、秋季变化最大,具有很好的园林绿化前景;东北山梅花生长速度快,花雪白、芳香,抗性强,是良好的园林观赏植物。目前,这些树种在城市绿化中的应用十分有限。本研究拟通过探讨 2 树种生物量和叶绿素荧光参数对土壤镉胁迫的响应,探讨 2 树种抗镉污染的生理机制,为城市绿化树种的选择和进一步合理推广提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

东北枫(*Acer mandshuricum*)和东北山梅花(*Philadelphus schrenkii*)1 年生实生苗。栽培基质为东北地区典型黑土和河沙的混合物(黑土和河沙比为 3∶1)。采用 99%分析纯 Cd(Cl)<sub>2</sub>·2.5H<sub>2</sub>O 试剂,配置成镉质量浓度分别为 50、100 mg·kg<sup>-1</sup>与 200 mg·kg<sup>-1</sup>基质,以不加镉溶液的基质为对照(简称为 Cd50,Cd100,Cd200 和 CK)。

1.2 测定方法

土壤处理、苗木栽植及指标测定方法参见文献[2,8,11-12]。苗木栽植好后,桶下垫托盘,采用常规的水分管理措施,每次浇水后渗到托盘中的溶液倒回桶中。

1.3 数据处理

数据计算采用 Excel2003,采用 SPSS13.0 进行

差异显著性( $P<0.05$ )分析。

2 结果与分析

2.1 镉污染对东北枫和东北山梅花生物量的影响

与对照相比,2 种苗木单株生物量的累积对不同浓度的镉污染反应不同。东北枫在不同浓度镉胁迫下生物量均低于对照,Cd200 处理时降为对照的 21.04%,且差异显著( $P<0.05$ );东北山梅花在 Cd50 处理时生物量高于对照,而后随着镉胁迫浓度的增加生物量迅速降低,至 Cd200 处理时降为对照的 54.48%。随着镉胁迫浓度的增加,东北山梅花的生物量的降低幅度小于东北枫的降低幅度(表 1)。

2.2 镉对东北枫和东北山梅花叶片叶绿素荧光参数的影响

东北枫和东北山梅花的叶片 PSⅡ光化学效率( $F_v/F_m$ )随着镉处理浓度的增加均呈下降趋势(表 2)。CK 处理 2 树种的  $F_v/F_m$  值均在 0.81~0.82 之间,比较一致。在 Cd50 处理时,东北枫和东北山梅花分别下降了 5.04%和 2.82%,东北枫的下降幅度较东北山梅花大。在 Cd100 处理时,2 树种的  $F_v/F_m$  值均显著下降,东北枫和东北山梅花分别下降了 14.64%和 6.73%,东北枫下降幅度较大。随着镉处理浓度的增加,2 树种的  $F_v/F_m$  值与对照相比均显著下降。Cd200 处理时,东北枫和东北山梅花分别比对照降低了 29.03%和 8.57%。

表 1 镉污染对 2 种苗木单株生物量累积的影响

Table 1 Effects of cadmium contamination on biomass in seedlings of two tree species

处理	东北枫( <i>A. mandshuricum</i> )		东北山梅花( <i>P. schrenkii</i> )	
	生物量/g	处理/对照/%	生物量/g	处理/对照/%
CK	4.61±0.51a	100.00	5.69±0.52a	100.00
Cd50	2.05±0.22b	44.47	5.91±0.83a	103.87
Cd100	1.08±0.10c	23.43	4.70±0.38a	82.60
Cd200	0.97±0.10c	21.04	3.10±0.18b	54.48

注:CK、Cd50、Cd100 和 Cd200 分别为镉质量浓度 0、50、100 mg·kg<sup>-1</sup>和 200 mg·kg<sup>-1</sup>。表中数据为平均值±标准差。同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

表 2 镉对 2 树种叶片叶绿素荧光参数的影响

Table 2 Effect of cadmium on chlorophyll fluorescence in leaves of two tree species

树种	处理	$F_v/F_m$	$\Phi PSⅡ$	$qP$	$qNP$
东北枫( <i>A. mandshuricum</i> )	CK	0.813±0.005a	0.658±0.019a	0.808±0.036a	0.164±0.036a
	Cd50	0.772±0.009ab	0.593±0.004b	0.745±0.020ab	0.200±0.013a
	Cd100	0.694±0.009b	0.559±0.003b	0.690±0.003b	0.243±0.015ab
	Cd200	0.577±0.035c	0.427±0.019c	0.549±0.038c	0.282±0.026b
东北山梅花( <i>P. schrenkii</i> )	CK	0.817±0.004a	0.674±0.012a	0.885±0.015a	0.186±0.021a
	Cd50	0.794±0.001b	0.643±0.006b	0.840±0.006b	0.198±0.020ab
	Cd100	0.762±0.001c	0.610±0.002c	0.775±0.002c	0.234±0.013ab
	Cd200	0.747±0.007d	0.574±0.014d	0.763±0.017c	0.267±0.016b

不同浓度的镉胁迫处理都使东北枫和东北山梅花的  $\Phi PS II$  下降,当镉胁迫浓度达到  $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时,和对照相比  $\Phi PS II$  值差异显著,表明浓度  $\geq 50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的镉胁迫已使东北枫和东北山梅花的电子传递受到显著抑制。但2树种  $\Phi PS II$  的下降幅度明显不同,随Cd浓度的增加,东北枫的降低幅度分别为9.88%、15.05%和35.11%;东北山梅花在不同浓度处理下分别下降了4.60%、9.50%和14.84%。东北枫的下降幅度大于东北山梅花,说明镉胁迫对东北枫光电子传递效率的抑制作用较东北山梅花强。

2树种的  $qP$  值均呈下降趋势。随处理浓度的增加,东北枫的  $qP$  分别下降了7.80%、14.60%和32.05%,东北山梅花的分别下降了5.08%、12.43%和13.79%,东北枫的下降幅度较东北山梅花大。最高浓度处理时,2树种间均产生明显差异。与  $Fv/Fm$  和  $qP$  的变化趋势相反,随着镉处理浓度的增加,2树种的非光化学猝灭系数( $qNP$ )呈上升趋势,东北枫分别上升了21.95%、48.17%、71.95%,而东北山梅花分别上升了6.45%、25.81%、43.55%。东北枫的变化幅度明显高于东北山梅花。

### 3 结论与讨论

植物受到镉污染后,首先反映在生长量的变化,即根、茎、叶等正常生长发育会受到影响<sup>[10]</sup>,同时,其生理生化指标发生变化<sup>[2,13-18]</sup>。随着镉处理浓度的提高,东北山梅花的生物量出现先升后降的趋势,东北枫的生物量呈下降的趋势。低浓度镉刺激了东北山梅花苗木生物量的累积,说明低浓度重金属对植物生长的促进作用可能是对最初伤害的一种保护反应<sup>[13]</sup>,可能是镉刺激某些酶的活性,促进了植物生长。随着镉浓度的增大,保护反应消失,导致植物生长下降。

叶绿素荧光参数  $Fv/Fm$  代表充分暗适应的光合机构潜在的  $PS II$  光化学效率,反映  $PS II$  反应中心内禀光能转换效率<sup>[19]</sup>。镉污染导致2树种的  $Fv/Fm$  值降低,说明叶片  $PS II$  的原初光化学效率和从天线色素到  $PS II$  反应中心的传能效率明显受到镉污染的影响,出现了光抑制现象<sup>[2,8-9,20]</sup>。 $\Phi PS II$  表示植物光合机构将吸收的光能进行转化的能力,是  $PS II$  功能的指标之一<sup>[19,21]</sup>。随着土壤镉浓度的增加,2树种的  $\Phi PS II$  值均显著降低,说明土壤镉污染降低了  $PS II$  反应中心进行光化学反应的效率。荧光猝灭分为2种,即光化学猝灭和非光化学猝灭。 $qP$  和  $qNP2$  参数反映了叶片对激发能利

用的情况<sup>[19]</sup>。随着处理浓度的增加,2树种的  $qP$  值均呈下降趋势, $qNP$  值呈上升趋势,表明镉污染胁迫降低了2树种  $PS II$  反应中心中开放部分的比例,减少了用于推动光合电子传递的光能,降低了光合电子传递能力,增加了  $PS II$  天线色素吸收的光能中被用于非光化学反应如热耗散等的比例<sup>[2,8-9,20,22]</sup>。

综合分析表明,东北山梅花对土壤镉胁迫的耐性大于东北枫。因此,在城市园林绿化中,东北山梅花较适合于镉污染较严重区栽培,而东北枫则适合于轻污染区栽培。

### 参考文献:

- [1] PELFRÉNE A, WATERLOT C, MAZZUCA M, *et al.* Assessing Cd, Pb, Zn human bioaccessibility in smelter-contaminated agricultural topsoils (northern France)[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2011, 33(5): 477-493.
- [2] 曹玲, 王庆成, 崔东海. 土壤镉污染对四种落叶树苗木叶绿素荧光特性和生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(5): 769-772.  
CAO L, WANG Q CH, CUI D H. Impact of soil cadmium contamination on chlorophyll fluorescence characters and biomass accumulation of four broad-leaved tree species seedlings[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, May 2006, 17(5): 769-772. (in Chinese)
- [3] 曹春信, 袁名安, 刘新华. 油菜对镉胁迫的响应及其产地环境安全临界值[J]. *江西农业学报*, 2011, 23(2): 24-26.  
CAO C X, YUAN M A, LIU X H. Response of oilseed rape (*brassica napus*) to cadmium stress and its critical value for environmental safety in producing area[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2011, 23(2): 24-26. (in Chinese)
- [4] 曹玲, 王庆成. 土壤镉污染对4种北方阔叶树根系生理生化指标的影响[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(5): 2114-2116, 2118.  
CAO L, WANG Q C. Effects of soil cadmium contamination on the root physiological and biochemical indexes in the seedlings of four tree species[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 2013, 41(5): 2114-2116, 2118. (in Chinese)
- [5] 李亚藏, 曹玲, 王庆成. 镉对山梨和山荆子叶片气体交换和叶绿素荧光参数的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2013, 41(11): 22-24, 55.  
LI Y C, CAO L, WANG Q C. Influence of cadmium on the leaves gas exchange and parameters of chlorophyll fluorescence based on *Pyrus ussuriensis* Maxim. and *Malus baccata* Linn. borkh[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2013, 41(11): 22-24, 55. (in Chinese)
- [6] 屈雁朋, 房玉林, 刘延琳, 等. 镉胁迫下接种AM真菌对葡萄次生代谢酶活性的影响[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(5): 101-105.  
QU Y P, FANG Y L, LIU Y L, *et al.* Effects of AM fungal on the secondary metabolites of grape under cadmium stress[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2009, 24(5): 101-105. (in Chinese)

[7] 杨小波,吴庆书,邹伟,等. 城市生态学[M]. 北京:科学出版社, 2001:129-147.

[8] 马树华,王庆成,李亚藏. 汽车尾气对四种北方阔叶树叶叶绿素荧光特性的影响[J]. 生态学杂志,2005,24(1):15-20.  
MA S H,WANG Q C,LI Y C. Effects of automobile exhaust on chlorophyll fluorescence of four northern deciduous trees [J]. Chinese Journal of Ecology,2005,24(1):15-20. (in Chinese)

[9] 马树华. 四种北方阔叶树苗木对汽车尾气污染的生理反应及抗性评价[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2004.

[10] 顾翠花,王懿祥,白尚斌,等. 四种园林植物对土壤镉污染的耐受性[J]. 生态学报,2015,35(8):2536-2544.  
GU C H,WANG Y X,BAI S B,*et al.* Tolerance and accumulation of four ornamental species seedlings to soil cadmium contamination[J]. Acta Ecologica Sinica,2015,35(8):2536-2544.

[11] 王荣,胡海清. 白桦叶片对火烧的的生理响应激活后恢复研究[J]. 北京林业大学学报,2013,35(6):1-6.  
WANG R, HU H Q. Physiological response of *betula platyphylla* leaves to fire and the restoration after fire[J]. Journal of Beijing Forestry University,2013,35(6):1-6. (in Chinese)

[12] 王樱琳,韦小丽,段如雁,等. 阔桶幼苗对大量元素缺乏的响应[J]. 西北林学院学报,2014,29(2):61-65.  
WANG Y L,WEI X L,DUAN R Y,*et al.* Effect of nutritional deficiency on the growth of *Phoebe bournei* seedling[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(2):61-65. (in Chinese)

[13] 葛才林,杨小勇,金阳,等. 重金属胁迫对水稻不同品种超氧化物歧化酶的影响[J]. 核农学报,2003,17(4):286-291.  
GE C L,YANG X Y,JIN Y,*et al.* Effects of heavy metals on superoxide dismutase in different rice species [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica,2003,17(4):286-291. (in Chinese)

[14] 孔祥生,郭秀璞,张妙霞. 镉胁迫对玉米幼苗生长及生理生化的影响[J]. 华中农业大学学报,1999,18(2):111-113.  
KONG X S, GUO X P, ZHANG M X. Effect of cadmium stress on seedling growth and physiology-chemistry of maize [J]. Journal of Huazhong Agricultural University,1999,18(2):111-113. (in Chinese)

[15] 李元,祖艳群,王焕校. 镉、铁及其复合污染对烟草叶片氨基酸含量的影响[J]. 生态学报,1998,18(6):640-647.  
LI Y,ZU Y Q,WANG H X. Effects of cadmium and iron on amino acid content in tobacco leaves[J]. Acta Ecologica Sinica,1998,18(6):640-647. (in Chinese)

[16] 罗立新,孙铁珩,靳月华. 镉胁迫下小麦叶中超氧阴离子自由基的积累[J]. 环境科学学报,1998,18(5):495-499.  
LUO L X,SUN T H,JIN Y H. Accumulation of superoxide radical in wheat leaves under cadmium stress[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,1998,18(5):495-499. (in Chinese)

[17] 秦天才,吴玉树,王焕校,等. 镉、铅及其相互作用对小白菜根系生理生态效应的研究[J]. 生态学报,1998,18(3):320-325.  
QIN T C,WU Y S,WANG H X,*et al.* Effect of cadmium, lead and their interactions on the physiological and ecological characteristics of root system of *Brassica chinensis* [J]. Acta Ecologica Sinica,1998,18(3):320-325. (in Chinese)

[18] 古红梅,胡述龙,王红星. 重金属铅对玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 广东农业科学,2011(1):36-37.  
GU H M,HU S L,WANG H X. Effects of heavy mental lead on corn seed germination and seedling growth[J]. Journal of Guangdong Agri. Sci. ,2011(1):36-37. (in Chinese)

[19] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2002:29-37.

[20] 彭长连,林植芳,林桂珠,等. 旅游和工业化对亚热带森林地区大气环境质量及两种木本植物叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物学报,1998,40(3):270-276.  
PENG C L,LIN Z F,LIN G Z,*et al.* Effect of tourism and industrialization on the atmospheric quality of subtropical forests and on chlorophyll fluorescence of two species of woody plants[J]. Acta Botanica Sinica,1998,40(3):270-276. (in Chinese)

[21] 种培芳,杨江山. 4 种金色叶树木叶绿素荧光动力学参数对 SO<sub>2</sub> 胁迫的响应[J]. 西北林学院学报,2013,28(6):14-19.  
ZHONG P F,YANG J S. Responses of the chlorophyll fluorescence parameters to SO<sub>2</sub> stress in four golden-leaf trees [J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(6):14-19. (in Chinese)

[22] 蔡志全,曹坤芳,冯玉龙,等. 夜间低温胁迫对两种生长强光下藤黄幼苗叶片荧光特征和活性氧代谢的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(3):326-331.  
CAI Z Q,CAO K F,FENG Y L,*et al.* Effect of low nocturnal temperature stress on fluorescence characteristics and active oxygen metabolism in leaves of *Garcinia hanburyi* seedlings grown under two levels of irradiance[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2003,14(3):326-331. (in Chinese)

(上接第 66 页)

[17] VITÓRIA A P,DA CUNHAM,AZEVEDO R A. Ultrastructural changes of radish leaf exposed to cadmium[J]. Environ. Exper. Bot. ,2006,58(3):47-52.

[18] 孔德政,裴康康,李永华,等. 铅、镉和锌胁迫对荷花生理生化的影响[J]. 河南农业大学学报,2010,44(4):402-407.  
KONG D Z,PEI K K,LI Y H,*et al.* Effect of Cd,Zn and Pb stresses on physiology and biochemistry of lotus[J]. Journal of Henan Agricultural University,2010,44(4):402-407. (in Chinese)

[19] 陈宏,徐秋曼,王葳,等. 镉对小麦幼苗脂质过氧化和保护酶活性的影响[J]. 西北植物学报,2000,20(3):399-403.  
CHEN H,XU Q M,WANG W,*et al.* The effect of Cd<sup>2+</sup> on the activity of protectase and cell membrane lipid peroxidation change of wheat seedlings[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2000,20(3):399-403. (in Chinese)

[20] 刘大林,曹喜春,张华,等. 铅镉胁迫对饲用高粱部分生理指标的影响[J]. 草地学报,2014,22(1):43-49.  
LIU D L,CAO X C,ZHANG H,*et al.* Effects of lead,cadmium pollution on tested physiological indices of forage sorghum [J]. Acta Agrestia Sinica,2014,22(1):43-49. (in Chinese)