

Hg、Cd 复合污染对千屈菜生理生化指标的影响

张秀娟¹, 孙润生², 吴 楚¹, 许凤英³

(1. 长江大学 园艺园林学院, 湖北 荆州 434025; 2. 南京农业大学 园艺学院, 江苏 南京 210000; 3. 长江大学 农学院, 湖北 荆州 434025)

摘 要:以千屈菜为试材,研究了不同浓度汞(Hg)(0、0.5、5.0、50.0 mg/L)及镉(Cd)(0、0.5、5.0、50.0 mg/L)胁迫对其生理生化指标的影响。结果表明:低浓度 Hg、Cd 刺激千屈菜生长;随着 Hg、Cd 浓度的增加,叶绿素相对含量呈现小幅上涨而后下降;低浓度 Cd²⁺ 对超氧化物歧化酶(SOD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性有提高作用,但过氧化氢酶(CAT)活性随重金属浓度增加而下降,丙二醛(MDA)含量处于波动状态;随着 Hg、Cd 浓度的增加,细胞膜相对透性增加。Hg、Cd 复合污染重于 Hg、Cd 单一胁迫处理。总之,千屈菜能够通过调节抗氧化系统来适应重金属环境,较耐 Hg 和 Cd 胁迫,是具有优良前景的环境治理及园林绿化水生花卉。

关键词:千屈菜;汞;镉;抗氧化系统

中图分类号:S 688 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)18-0074-04

随着工业化及城市化进展的加快,环境污染日益严重,工业废水及生活污水的排放不断增加,导致河流与湖泊水质生态恶化,污泥淤积,恶臭产生,从而引发了一系列的环境问题。环境污染重金属既包括汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)和类金属砷(As)等生物毒性明显的重金属,也包括锌(Zn)、铜(Cu)、钴(Co)、镍(Ni)等有一定毒性的一般重金属。重金属污染已成为世界性的

重大环境问题,成为环境生物学关注的焦点。找到或发现有一定耐(积累)重金属复合抗性的新的植物材料,用于重金属污染的水环境修复和改良,必将有效缓解水环境重金属污染危机给人类带来的压力。千屈菜(*Lythrum salicaria* Linn.)属千屈菜科千屈菜属多年生挺水宿根草本植物,喜温暖及光照充足、通风好的环境,喜水湿,具有生长快、生物量大等特点^[1],适应性广,在我国南北各地均有野生,多生长在沼泽地、水旁湿地和河边、沟边,在众多的园林景观中得到应用,是园林水景布置的良好水生观赏植物材料。关于重金属胁迫对园林水生植物的影响,目前多见于重金属对植物生长及生理活性方面的研究。李星等^[2]研究发现,千屈菜对重金属有一定的耐性,在废水净化和生态系统修复中具有一定的作

第一作者简介:张秀娟(1979-),女,博士,讲师,研究方向为园林植物应用和生态系统恢复。E-mail:zxj510@yahoo.com.cn.

责任作者:吴楚(1965-),男,博士,教授,研究方向为生态系统恢复。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31200348)。

收稿日期:2013-05-06

Observation of Pollen Morphology of *Clivia* spp.

JIANG Chuang¹, ZHANG Qing¹, SUN Shu-ming², YANG Guang¹, FANG Wei¹, LEI Jia-jun³

(1. Gardening Branch, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang, Liaoning 110161; 2. Testing Center of the Quality and Safety of Agricultural Products, Anshan, Liaoning 114041; 3. College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161)

Abstract: Pollen morphology and ultrastructure of 9 species of *Clivia* spp. had been examined by aid of the scanning electron microscope (SEM). The results showed that the pollen grains of *Clivia* were generally elliptic with mono-culpus and reticulate sculptures, which belonged to $N_1P_3C_3$. The mesh of both ends of pollen became dramatically smaller and closer. The length of polar axis, equatorial axis, width of apertures and spine were different to some extent among these different species. From the cluster analysis, they could be classified into three groups, which were *Clivia miniata*, *Clivia nobilis* and *Clivia gardenii*.

Key words: *Clivia* spp.; pollen; the scanning electron microscope (SEM); cluster analysis; classify

用。汞(Hg)和镉(Cd)是环境中普遍存在的且对植物及生态平衡影响较大的重金属^[3]。人们对双重胁迫下千屈菜生长发育的影响方面的研究尚缺乏报道。该试验研究了 Hg、Cd 复合污染对千屈菜生长发育影响,探究 Hg、Cd 双重胁迫下的千屈菜抗性,对于生态环境治理具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试千屈菜插条来源于浙江省杭州市。

1.2 试验方法

2010 年 5 月 12 日在长江大学园艺园林学院设施园艺试验基地沙床进行千屈菜嫩枝扦插试验。5 月 30 日选取生长一致的已经生根的千屈菜扦插苗移栽至容器中,容器中装有洗净并经曝晒的河沙,定期浇营养液,每容器保持营养液量一致。以硫酸镉($3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)作为 Cd 源,以氯化汞(HgCl_2)作为 Hg 源。2 种重金属离子分别设置 0、0.5、5.0、50.0 mg/L 4 种浓度(Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 溶液用蒸馏水配制),共 16 个处理浓度,每个处理 12 株重复,共 192 株。每容器栽培 1 株千屈菜,用 200 mL 处理液浇灌。在开花盛期取样进行生理生化相关指标的分析。

1.3 项目测定

植株株高直接测量,叶绿素含量用 SPAD 502 型叶绿素仪直接测定。采用经修改的 Nakano 等^[4]方法测定抗坏血酸过氧化物酶(PAX)活性;采用 Cakmak 等^[5]的方法测定过氧化氢酶(CAT)活性;采用 Giannopolitis 等^[6]的方法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;采用 Cakmak 等^[5]的方法测定丙二醛(MDA)含量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 16.0 进行单因素方差(One-way ANOVA)分析。采用 Sigmaplot 10.0 软件绘制图。

2 结果与分析

2.1 Hg、Cd 复合污染对千屈菜株高和叶绿素相对含量的影响

由图 1 可以看出,随着 Cd^{2+} 浓度的增大,植株株高先增大而后减小,且最大值均在 0.5 mg/L Hg^{2+} 、5.0 mg/L Cd^{2+} 处。当 Hg^{2+} 浓度为 0.5 mg/L 时千屈菜株高高于对照处理,说明低浓度的 Hg^{2+} 刺激了千屈菜生长,当 Hg^{2+} 和 Cd^{2+} 均达到 50.0 mg/L 时,株高急剧下降。

由图 1 还可知,总体而言随 Cd^{2+} 浓度的增加叶绿素含量呈下降趋势,但在 Cd^{2+} 浓度为 5.0 mg/L 处略有波动。 Hg^{2+} 浓度由 0 mg/L 增加至 5.0 mg/L 时, Cd^{2+} 在 0.5 mg/L 到 5 mg/L 区间,叶绿素含量均略有升高,但峰值均低于对照。当 Hg^{2+} 和 Cd^{2+} 均达到 50.0 mg/L

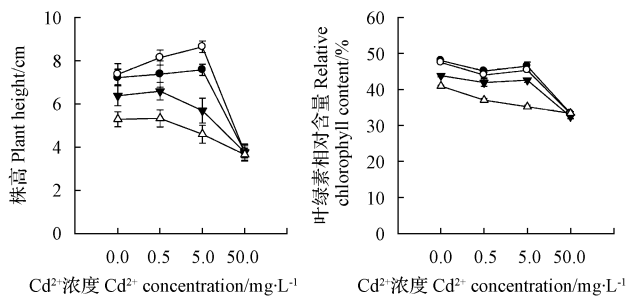


图 1 Hg、Cd 复合污染对千屈菜植株高度和叶绿素相对含量的影响

注:●、○、▼、△分别代表 Hg^{2+} 为 0、0.5、5.0 和 50.0 mg/L,以下同。

Fig. 1 Effect of Hg^{2+} and Cd^{2+} on plant height and relative chlorophyll content of *Lythrum*

Note: ●、○、▼、△ represents Hg^{2+} 0, 0.5, 5.0, 50.0 mg/L respectively, the same below.

时,叶绿素含量达到最低。

2.2 Hg、Cd 复合污染对千屈菜叶片 SOD 和 CAT 活性的影响

由图 2 可知,不同浓度 Hg^{2+} 胁迫下,千屈菜叶片 SOD 活性变化趋势基本相同。随 Cd^{2+} 浓度的升高千屈菜叶片的 SOD 活性呈先增加后降低的趋势,但峰值有所不同,当 Hg^{2+} 为 0.5 和 5.0 mg/L 时,峰值出现在 5.0 mg/L Cd^{2+} 处; Hg^{2+} 浓度为 0 和 50.0 mg/L 时,峰值出现在 Cd^{2+} 0.5 mg/L 处。

由图 2 还可知,随 Cd^{2+} 和 Hg^{2+} 浓度增加,CAT 活性先迅速降低,后逐渐平缓。在 Cd^{2+} 浓度为 0.5 mg/L 时,各 Hg^{2+} 处理与较低浓度相比,CAT 活性降低为 10.1%~15.4%, Cd^{2+} 浓度为 5.0 mg/L 时,各 Hg^{2+} 处理 CAT 活性降低为 6.7%~10.5%,差异均显著($P < 0.05$)。当 Cd^{2+} 浓度为 50 mg/L 时,CAT 活性下降均不显著。

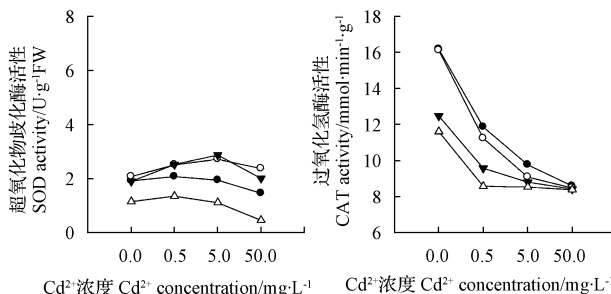


图 2 Hg、Cd 复合污染对千屈菜超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性的影响

Fig. 2 Effect of Hg^{2+} and Cd^{2+} on SOD and CAT activities of *Lythrum*

2.3 Hg、Cd 复合污染对千屈菜 APX 活性和 MDA 含量的影响

由图 3 可知,当 Hg^{2+} 小于 5.0 mg/L 时,随着 Cd^{2+} 浓度的增大,APX 总体趋势先升高后降低趋势,但达到峰值时 Cd^{2+} 处理浓度有所不同。当 Hg^{2+} 为 0 mg/L 时, Cd^{2+} 为 5.0 mg/L 时 APX 达到峰值,当 Cd^{2+} 为 5.0 mg/L, Hg^{2+} 浓度为 0.5 和 5.0 mg/L 时 APX 达到最大值。当 Hg^{2+} 浓度为 50.0 mg/L 时,APX 活性总体呈现缓慢下降的趋势,且在 Cd^{2+} 浓度为 50.0 mg/L 处,各处理的 APX 活性相近,且最低。

从图 3 还可以看出,随 Cd^{2+} 浓度的增加,MDA 含量总体呈波动的变化趋势。 Cd^{2+} 浓度由 0.5 mg/L 上升至 5.0 mg/L,MDA 含量上升达到峰值,且低浓度 Hg^{2+} (浓度小于 0.5 mg/L) 的峰值相近,高浓度 Hg^{2+} (浓度大 5.0 mg/L) 的峰值相近,低浓度 Hg^{2+} 和高浓度 Hg^{2+} 的 MDA 含量分别为 0.68 和 0.54 倍,变化均显著 ($P < 0.05$)。当 Cd^{2+} 浓度达到 50.0 mg/L 时,MDA 含量较为相近。

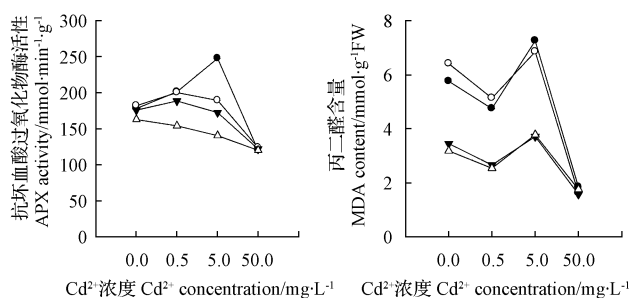


图 3 Hg、Cd 复合污染对千屈菜抗坏血酸过氧化物酶活性和丙二醛含量的影响

Fig. 3 Effect of Hg^{2+} and Cd^{2+} on APX activity and MDA content of *Lythrum*

2.4 Hg、Cd 复合污染对千屈菜细胞膜相对透性的影响

由图 4 可知,随 Hg^{2+} 或 Cd^{2+} 浓度的增加细胞膜相对透性呈迅速增加趋势。当 Cd^{2+} 浓度为 0.5 mg/L 时, Hg^{2+} 浓度由 0 mg/L 升高至 50.0 mg/L 时,增至对照的

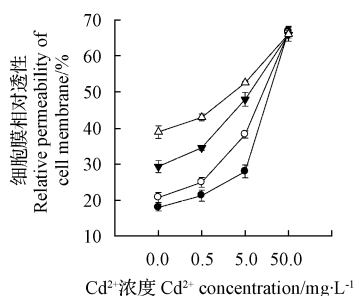


图 4 Hg、Cd 复合污染对千屈菜细胞膜相对透性的影响

Fig. 4 Effect of Hg^{2+} and Cd^{2+} on relative permeability of cell membrane of *Lythrum*

120.22% ~ 141.92%, 差异均显著 ($P < 0.05$)。当 Cd^{2+} 浓度为 5.0 mg/L 时,随着 Hg^{2+} 浓度的增大,细胞膜透性变化较大,分别为对照的 126.91% ~ 151.50%, 差异显著 ($P < 0.05$)。 Cd^{2+} 浓度为 50.0 mg/L 时,随着 Hg^{2+} 浓度的增大,细胞膜透性相近。

3 讨论与结论

植株生长高度是评价植株生长受害程度的直观且重要的指标之一。已有研究表明, Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 浓度影响植物生长,低浓度时刺激植株生长,高浓度抑制植株生长。该试验结果与其相同, Cd^{2+} 浓度小于 5.0 mg/L、 Hg^{2+} 浓度小于 0.5 mg/L 对千屈菜的生长有刺激作用,当超过上述浓度时抑制千屈菜的生长。说明千屈菜对低浓度的 Hg、Cd 具有一定的耐性。

重金属胁迫可影响叶绿素合成酶活性,从而引起叶绿素含量降低,使叶片褪绿,其根本原因可能是重金属离子的积累抑制叶绿素酸酯还原酶和影响氨基-r-戊酮酸的合成,从而影响叶绿素的生物合成;同时使叶绿体膜系统在结构上受到破坏,导致叶绿素总量下降。该试验表明在 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 处理浓度较低时,叶绿素含量变化不显著,随 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 处理浓度的增大,叶绿素含量均低于对照,植株受到的伤害增加。

SOD、CAT、APX 和 MDA 共同组成植物体内一个有效的活性氧清除系统,能有效清除植物体内的自由基和过氧化物。SOD 是膜酯过氧化防御系统的重要抗氧化保护酶,可及时清除自由基和活性氧,提高组织的抗氧化能力。由图 2 可知, Hg^{2+} 浓度小于 0.5 mg/L 或 Cd^{2+} 浓度小于 5.0 mg/L 时, SOD 的活性都有不同程度的升高,这表明在 Hg、Cd 胁迫下 SOD 在清除活性氧过程中起主要作用。当超过上述浓度时, SOD 活性下降,说明 SOD 作为内源活性氧清除剂,只能在一定程度上清除植物体内过量的活性氧,这与常福辰等^[7] 研究结果相同。

CAT 是植物体内普遍存在的、活性较高的一种酶,能够有效地清除细胞内过多的 H_2O_2 ,维持细胞内 H_2O_2 在一个正常水平,限制一些超氧自由基对膜脂过氧化的启动,从而保护膜结构,减轻有毒物质对活细胞的毒害,延迟或阻止细胞结构的破坏。该试验结果表明,随处理浓度增加 CAT 活性呈持续下降趋势,这与常福辰等^[7] 研究结果仍相同。

APX 可催化自身有害的物质。随着植物体内有害物质浓度增大 APX 活性上升,当有毒物质超过其分解能力时活性则开始降低。该结果与王长增等^[8] 研究结果相同。

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的产物,许多研究结果均认为 MDA 可作为细胞膜损伤的重要标志之一。重金属离子可与细胞膜上的蛋白质、酶等结合引起蛋白质分子内和分子间的交联,从而使之失活,破坏生物膜的结

构和功能^[7]。该试验表明,低浓度(浓度小于 5.0 mg/L) Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 处理并未对千屈菜 MDA 含量产生显著变化,说明千屈菜对一定浓度的 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 相对不敏感,具有一定的耐 Hg、Cd 能力,也说明在此浓度范围内胁迫可诱导活性氧的产生,并使植株出现氧化损伤症状。超过此浓度,MDA 浓度急剧下降,对千屈菜有较大伤害,从而使千屈菜自我调节能力减弱,与王长增等^[8] 研究结果相同。

重金属胁迫可导致植物细胞膜透性的严重破坏,使细胞膜透性增加。该研究结果表明,千屈菜随 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 浓度的增加和处理时间的延长叶片电导率增加,与 Giannopolitis 等^[6] 研究结果相同。该研究结果还表明,当 Hg、Cd 复合胁迫时相对电导率高于 Hg、Cd 单一胁迫,因此 Hg、Cd 复合胁迫对千屈菜相对电导率存在互作作用。

该试验目的在于通过 Hg、Cd 共同作用对千屈菜生长量、叶绿素含量、细胞膜透性、活性氧代谢酶系统酶活性和非酶系统物质含量的测定,结果表明,千屈菜对 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 胁迫有较强的抗性作用,由于千屈菜株丛整齐清秀,花色淡雅,花期长,适宜在水边丛植或水池栽

培,可用于花境背景材料和盆栽观赏,有很好的园林应用价值,同时具有良好的推广应用前景。

参考文献

- [1] 张光弟,俞晓艳,冯晓蓉,等. 千屈菜植株耐盐性初步研究[J]. 农业科学研究,2009,30(3):82-84.
- [2] 李星,刘鹏,徐根娣. 人工湿地植物对电镀废水的净化和修复效果研究[J]. 浙江林业科技,2008,28(4):16-19.
- [3] 马剑敏,靳同霞,成水平,等. Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 及其复合胁迫对苦草的毒害[J]. 环境科学与技术,2008,31(6):78-81.
- [4] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. Plant Cell Physiology,1981,22:867-880.
- [5] Cakmak I, Marschner H. Magnesium deficiency and light intensity enhance activities of superoxide dismutase,ascorbate peroxidase,and glutathione reductase in bean leaves[J]. Plant Physiology,1992,98:1222-1227.
- [6] Giannopolitis C N, Ries S K, Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiology,1977,59:309-314.
- [7] 常福辰,施国新,丁小余,等. Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 复合污染下金鱼藻的细胞膜脂过氧化和抗氧化酶活性的变化[J]. 南京师大学报(自然科学版),2002,25(1):44-48.
- [8] 王长增,贾忠健. 长花马先蒿核苷类成分研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1996,32(4):87-91.

Effects of Mercury(Hg) and Cadmium(Cd) Combined Pollution on the Physiological and Biochemical Indexes of *Lythrum salicaria*

ZHANG Xiu-juan¹, SUN Run-sheng², WU Chu¹, XU Feng-ying³

(1. College of Horticulture and Garden, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025; 2. College of Garden, Nanjing Agriculture University, Nanjing, Jiangsu 21000; 3. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025)

Abstract: Taking *Lythrum salicaria* as material, the effect of different concentrations of mercury (Hg) (0, 0.5, 5.0 and 50.0 mg/L) and cadmium (Cd) (0, 0.5, 5.0 and 50.0 mg/L) on the physiological and biochemical indexes of it were studied. The results showed that low concentrations of Hg^{2+} and Cd^{2+} stimulated the growth of *Lythrum salicaria*. With the increase of Hg^{2+} or Cd^{2+} concentrations, relative chlorophyll content was slightly increased but then declined. Lower concentrations of Cd^{2+} could improve ascorbate peroxidase (APX) and superoxide dismutase (SOD) activities. But malondialdehyde (MDA) content fluctuated. CAT activity decreased with the increase of heavy metal concentration. Relative permeability of *Lythrum salicaria* cell membrane increased with increasing of Hg or Cd concentration. Hg^{2+} and Cd^{2+} combined pollution were heavier pollution than that of Hg^{2+} and Cd^{2+} stress. In conclusion, *Lythrum salicaria* could adapt to heavy metal, especially for Hg and Cd, by regulating the antioxidant system. *Lythrum salicaria* had potential extensive application prospects in the environmental governance and landscaping.

Key words: *Lythrum salicaria*; mercury (Hg); cadmium (Cd); antioxidant enzyme systems