

镉和苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗生理指标的影响

徐苏男, 张利红, 陈忠林*

(辽宁大学环境学院, 沈阳 110036)

摘要:采用水培方法研究了镉(Cd)和苯并[a]芘(BaP)污染对小麦幼苗生理指标的影响。营养液中镉和苯并[a]芘的浓度分别为 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。结果表明:与对照组相比,各胁迫组小麦生物量下降,株高降低,复合胁迫组地上及地下干重分别下降 13.1% 和 49.8%,株高增长最低;各组超氧化物歧化酶(SOD)活性呈现升高-降低-升高趋势,且低于对照,过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性先升高再降低,复合胁迫组 POD 活性最高,CAT 活性最低。镉、苯并[a]芘及其复合胁迫下,小麦幼苗的生长受到了一定抑制,且以复合胁迫最为显著。镉、苯并[a]芘联合作用的结果表现为协同促进作用。

关键词:镉;苯并[a]芘;小麦;抗氧化酶

中图分类号:X503.231 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)03-0464-04

The Effect Cadmium and B[a]P on the Physiological Characteristic of Wheat Seedling

XU Su-nan, ZHANG Li-hong, CHEN Zhong-lin*

(College of Environment, Liaoning University, Shenyang 110036, China)

Abstract: The present study was designed to study the effects of Cd and B[a]P on growth parameters and some physiological characteristics of wheat seedling grown under hydroponic conditions during exposure to Cd ($10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) and B[a]P ($54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) for 1~11 d. The results showed that biomass and height of wheat seedling decreased under Cd and B[a]P stress, while the above ground and under ground dried weight declined 13.1% and 49.8% respectively under the combined effect of Cd and B[a]P. The activity of superoxide dismutase (SOD) represented the trend of increase, then decrease, finally increase. All treatments showed lower SOD activity than the control. The activities of guaiacol peroxidase (POD) and catalase (CAT) increased, then decreased. The activities of POD was the highest, and the activities of CAT was lowest under the combined stress. Compared to individual treatment, the combined effect was more detrimental to the above parameters. The results indicated that the effect of Cd and B[a]P combined stress on wheat seedling was synergistic action.

Keywords: cadmium; benzo[a]pyrene; wheat; antioxidase

随着工业发展,环境污染日益严重,镉是环境中重要的重金属污染物^[1]。苯并[a]芘属于多环芳烃类污染物,具有强烈的三致毒性(即:致癌、致畸、致突变性),又由于其在环境中存在的持久性而严重威胁人类健康^[2-3]。目前关于单一重金属或多环芳烃对植物胁迫的研究较多,有学者研究了隔胁迫对玉米幼苗抗氧化系统及光合作用的影响^[4],还有人研究了多环芳烃对黑麦草体内过氧化物酶和多酚氧化酶的影响^[5],而重金属与多环芳烃对植物复合胁迫研究的报道较少^[6-7]。本文选用典型的重金属污染物-镉与多环芳烃

类污染物-苯并[a]芘对小麦幼苗进行胁迫,研究镉与苯并[a]芘复合污染对于小麦幼苗生长及生理特性的影响,以期研究重金属与有机复合污染对植物伤害的机理提供一些参考。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

以辽春 10 号小麦 (*Triticum aestivum*) 为实验材料,选取籽粒饱满的小麦种子,用 0.1% HgCl_2 溶液表面消毒 10 min,蒸馏水反复冲洗数次,于恒温箱 28°C 浸种 24 h,将吸胀后的种子置于表面铺有纱网的塑料烧杯上,用 Hoagland 营养液培养至二叶一心期后进行胁迫处理。试验分 4 个处理:对照组(CK:Hoagland 营养液培养);单一 Cd 处理组(Cd:含 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CdCl_2 的 Hoagland 营养液培养);单一苯并[a]芘处理

收稿日期:2011-08-09

基金项目:国家自然科学基金(31070285);“211 工程”项目资助(211027)

作者简介:徐苏男(1983—),男,辽宁沈阳人,硕士研究生,助理实验师,主要从事环境污染生态学方面的研究。

* 通讯作者:陈忠林 E-mail:Chenzhonglin1969@163.com

组(B[a]P:含 54 mg·L⁻¹ 苯并[a]芘的 Hoagland 营养液培养,先将 B[a]P 溶于 0.1%二甲亚砜(DMSO)中,再配成相应浓度供试溶液,下同);镉和苯并[a]芘复合胁迫组(Cd+B[a]P:含 10 mg·L⁻¹ 的 CdCl₂ 和 54 mg·L⁻¹ 苯并[a]芘的 Hoagland 营养液培养)。于处理第 0、4、8、11 d 取样测定 SOD、POD 指标;第 0、8、11 d 取样测定 CAT 指标;第 4、8 d 取样测定株高;第 11 d 测定生物量。每个处理 3 次重复。

1.2 测定方法

各处理分别取样 10 株,测定株高、根长,植株的鲜重和干重;SOD 活性采用 NBT 光化还原法测定^[8];POD 活性采用愈创木酚法测定^[9];CAT 活性测定采用紫外分光光度法测定^[10]。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 和 SPSS13.0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 镉和苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗生物量的影响

表 1 给出了不同胁迫条件下,在处理第 11 d 小麦幼苗地上、地下部分的鲜重及干重。可以看出,镉、苯并[a]芘单一及镉和苯并[a]芘复合胁迫都抑制了小麦幼苗生物量的积累。其中镉、苯并[a]芘及镉和苯并[a]芘复合胁迫组的地上部干重分别比对照组下降 7.1%、7.5%、13.1%;地下部干重分别比对照下降 5.6%、33.5%、49.8%。表明镉和苯并[a]芘都使小麦幼苗受到毒害,且二者复合胁迫对小麦幼苗的毒害最大。另一方面苯并[a]芘及复合胁迫组的地下部干重的降幅更大,说明苯并[a]芘对小麦幼苗的根系的生长发育具有强烈的抑制作用,这与宋玉芳等^[11]研究结果相似。

2.2 镉和苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗株高的影响

镉、苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗株高的影响见图 1。随着胁迫时间的延长各处理之间株高增长的关系为对照组>镉胁迫组>苯并[a]芘胁迫组>复合胁迫组。

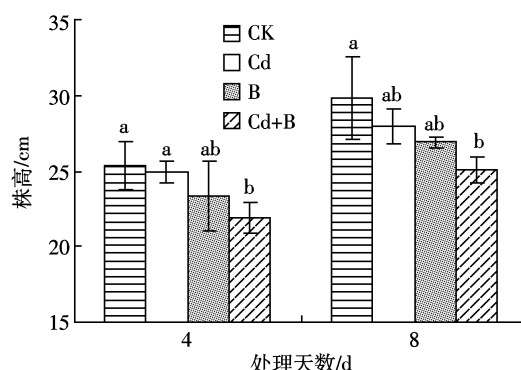
实验第 8 d 与第 4 d 比较,各组之间株高差距增大且复合胁迫组与对照组在实验第 4 d 和实验第 8 d 差异显著($P<0.05$)。结果表明,重金属及苯并[a]芘都对植株生长产生抑制作用,且复合胁迫对小麦幼苗株高生长影响最大。

2.3 镉、苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗 SOD 的影响

各处理组 SOD 活性随着胁迫时间的增加呈现先升高后降低最后再升高的趋势(图 2)。在处理第 4 d 复合胁迫 SOD 活性低于对照组及 2 个单一胁迫组,镉及苯并[a]芘单一胁迫 SOD 活性相差不大,略高于复合胁迫;在处理第 8 d 和第 11 d 复合胁迫 SOD 活性超过镉及苯并[a]芘单一胁迫;在整个处理期间,对照的 SOD 活性始终高于胁迫组,且对照组与胁迫组差异性显著($P<0.05$)。结果表明,3 种处理都对 SOD 活性产生了抑制作用,3 种处理对 SOD 活性诱导不强,这与 Michaeli 等^[12]研究结果相似。

2.4 镉、苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗 POD 的影响

各处理 POD 活性随着胁迫天数的增加呈现先升高后降低的趋势(图 3),且在处理第 8 d 达到最高值。在处理第 4 d,对照 POD 活性大于 3 个处理组,而在实验第 8 d 和 11 d,3 个处理组的 POD 活性都高于对



字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同

Values with different letters mean differ significantly from each other ($P<0.05$). The same below

图 1 镉和苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗株高的影响

Figure 1 The effect of Cd²⁺ and B[a]P on plant height of wheat seedling

表 1 镉、苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗生物量的影响

Table 1 The effects of Cd²⁺ and B[a]P on biomass of wheat seedling

处理 Treatment	地上部鲜重 Above ground fresh weight/mg·株 ⁻¹	地上部干重 Above ground dried weight/mg·株 ⁻¹	地下部鲜重 Under ground fresh weight/mg·株 ⁻¹	地下部干重 Under ground dried weight/mg·株 ⁻¹
CK	598.87a	58.70a	150.70a	19.70a
Cd	450.30b	54.58ab	149.36a	18.60a
BaP	420.15c	54.31ab	149.18a	13.11b
Cd+BaP	311.89c	37.16b	109.35b	9.90c

注:同一列不同字母表示 5%差异显著性水平。下同。

照组,且复合胁迫的POD活性最高。在整个处理期间,复合胁迫与对照差异显著($P<0.05$)。结果表明,随着胁迫时间的延长,镉、苯并[a]芘都对POD活性产生了一定的诱导作用,且以复合胁迫的诱导作用最强。

2.5 镉、苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗CAT的影响

在整个实验期间各处理组CAT活性与POD活性变化类似,皆为先升高后再降低且在第8d达到最高值(图4)。但是与POD活性不同的是对照的CAT活性始终高于3个胁迫组,且复合胁迫的CAT活性最低,并在第8d和11d与对照差异显著($P<0.05$)。结果表明,重金属及有机污染都对CAT活性产生了

抑制作用,且以复合胁迫的抑制作用最强烈。

3 讨论

研究表明,在外源和内源异生物质的作用下,植物体内的多种生化反应会产生大量的氧自由基^[13]。SOD、POD和CAT就是植物体清除活性氧的3种重要的膜保护酶,SOD能把超氧阴离子歧化成 O_2 和 H_2O_2 ,POD和CAT是植物体内 H_2O_2 的清除酶,3种酶协同防御活性氧对细胞膜系统的伤害和防止细胞衰老^[14]。

在本研究中,胁迫组的SOD活性始终低于对照,

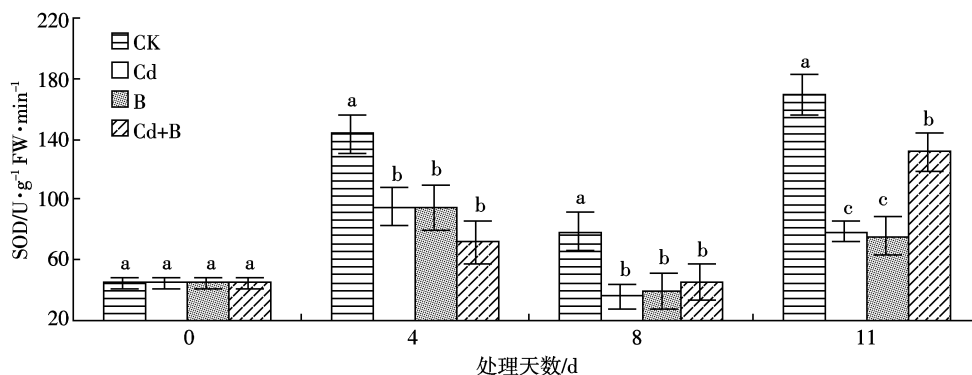


图2 镉和苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗SOD活性的影响

Figure 2 The effect of Cd^{2+} and B[a]P on SOD activity of wheat seedling

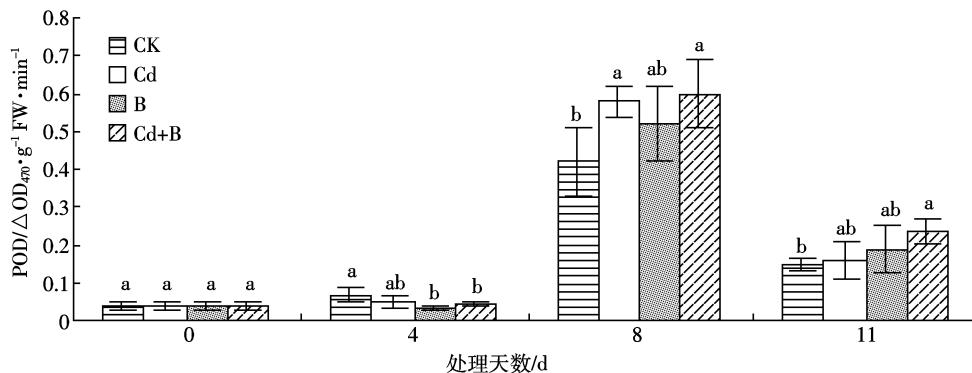


图3 镉、苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗POD活性的影响

Figure 3 The effect of Cd^{2+} and B[a]P on POD activity of wheat seedling

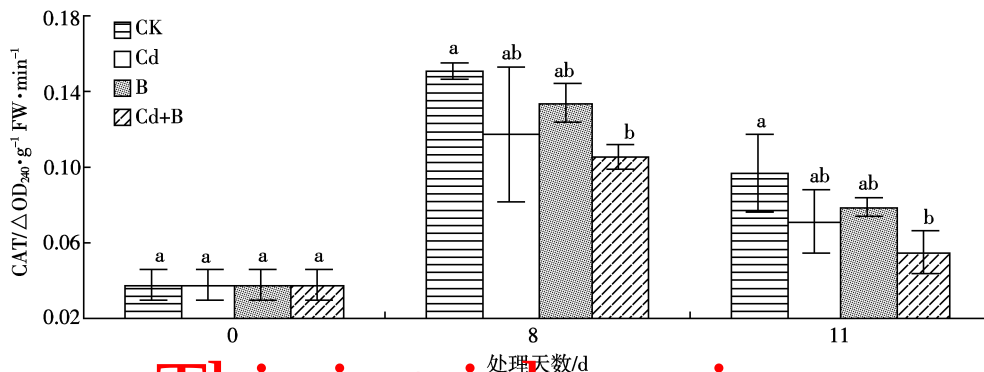


图4 镉、苯并[a]芘胁迫对小麦幼苗CAT活性的影响

Figure 4 The effect of Cd^{2+} and B[a]P on CAT activity of wheat seedling

且呈升高-降低-升高的变化趋势,反映了逆境胁迫下植物体内活性氧自由基增多,膜脂过氧化加剧。而自由基的增多则消耗了大量的SOD酶,使植物体内SOD活性下降;POD和CAT能将SOD的歧化产物 H_2O_2 分解成 H_2O ,可以认为SOD的歧化产物越多则POD及CAT活性越高,在胁迫的第8d,POD和CAT峰值正说明了此时SOD的歧化产物 H_2O_2 最多,这也与SOD活性在胁迫第8d大幅下降的变化对应。因此,较高的POD和CAT活性反映了植物组织受到严重的损伤和破坏,这与宋玉芳等的研究结果一致^[15]。在胁迫第11d,随着SOD活性的回升,SOD的歧化产物 H_2O_2 减少,POD和CAT的活性也相应降低。产生这种现象的原因可能是由于随着胁迫时间的延长植物本身对胁迫产生了一定的应激适应反应,通过增加细胞内SOD酶活性,清除细胞内的活性氧,进而达到植物机体自我保护的目的。

目前关于重金属与多环芳烃复合污染作用报道并不一致。有研究表明土壤铅-苯并[a]芘复合污染对小麦种子生长的影响表现为拮抗作用^[16]。在本实验第8、11d复合胁迫组的SOD活性最低而POD活性最高,说明复合胁迫对小麦的破坏强于镉和苯并[a]芘的单独胁迫,镉和苯并[a]芘复合胁迫产生了协同效应,因此关于重金属与多环芳烃复合胁迫的效应仍需进一步探索。

4 结论

在镉、苯并[a]芘单一及其复合胁迫下小麦幼苗的生物量、株高大幅下降。镉、苯并[a]芘复合胁迫对小麦幼苗的影响大于镉或苯并[a]芘单一污染所产生的影响。镉、苯并[a]芘及其复合胁迫对小麦幼苗的SOD、CAT活性产生了抑制作用,对POD活性产生了一定的诱导作用,且都以复合胁迫的作用最强,说明镉和苯并[a]芘复合胁迫产生了协同促进效应。

参考文献:

- [1] 张利红,李培军,李雪梅,等. 镉胁迫对小麦幼苗生长及生理特性的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 458-460.
ZHANG Li-hong, LI Pei-jun, LI Xue-mei, et al. Effects of cadmium stress on the growth and physiological characteristics of wheat seedlings [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(4): 458-460.
- [2] Kaim E, Mukaidani T, Miyoshi S, et al. Ryegrass enhancement of biodegradation in diesel-contaminated soil[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 55: 110-119.
- [3] Johnson D L, Maguire K L, Anderson D R, et al. Enhanced dissipation of chrysene in planted soil: The impact of a rhizobial inoculum. [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36: 33-38.
- [4] 黄辉,李升,郭娇丽,等. 镉胁迫对玉米幼苗抗氧化系统及光合作用的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(2): 211-215.
HUANG Hui, LI Sheng, GUO Jiao-li, et al. The influence of cadmium (Cd^{2+}) to the antioxidant system and photosynthesis of seedling of *Zea mays* L. [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29 (2): 211-215.
- [5] 卢晓丹,高彦征,凌婉婷,等. 多环芳烃对黑麦草体内过氧化物酶和多酚氧化酶的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(5): 1969-1973.
LU Xiao-dan, GAO Yan-zheng, LING Wan-ting, et al. Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on POD and PPO in *Lolium multiflorum* Lam [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(5): 1969-1973.
- [6] Aksmann A, Tukaj Z. The effect of anthracene and phenanthrene on the growth photosynthesis and SOD activity of green alga *Scenedesmus armatus* depend on the PAR irradiance and CO_2 level [J]. *Arch Environ Contam Toxicol*, 2004, 47: 177-184.
- [7] Tukaj Z, Pokora W. Individual and combined effect of anthracene, cadmium and chloridazon on growth and activity of SOD isoforms in three *scenedesmus* species [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2006, 65: 323-331.
- [8] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels [J]. *Anal Biochem*, 1971, 44: 276-286.
- [9] Putter J. Peroxidase [M]//Bergmeyer, Hu (Ed.), *Methods of Enzymatic Analysis*. New York: Academic Press, USA, 1974: 567-1124.
- [10] Aebi H. Catalase invitro Meth [J]. *Enzymol*, 1984, 105: 121-126.
- [11] 宋玉芳,周启星,许华夏,等. 菲、芘、1,2,4-三氯苯对土壤高等植物根伸长抑制的生态毒性效应[J]. 生态学报, 2002, 22(11): 1945-1950.
SONG Yu-fang, ZHOU Qi-xing, XU Hua-xia, et al. Eco-toxicological effects of phenanthrene, pyrene and 1, 2, 4-trichlorobenzene in soils on the inhibition of root elongation of higher plants [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1945-1950.
- [12] Miehaeli R, Philosoph-Hadas S, et al. Chilling-induced leaf abscission of laura coccinea plants HI. Enhancement by high light via increased oxidative processes [J]. *Physiol Plant*, 2001, 113(3): 338-345.
- [13] 宋雪英,宋玉芳,孙铁珩,等. 柴油污染土壤对小麦种子萌发及幼苗生长的生态毒性效应 [J]. 农业环境科学学报, 2006, 25 (3): 554-559.
SONG Xue-ying, SONG Yu-fang, SUN Tie-heng, et al. Soil-based ecotoxicity of diesel oil contamination to seed germination and seedling growth of wheat [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(3): 554-559.
- [14] Polesskaya O G, Kashirina E I, Alekhina N D. Changes in the activity of antioxidant enzymes in wheat leaves and roots as a function of nitrogen source and supply [J]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2004, 1 (5): 615-620.
- [15] 宋玉芳,王磊,李昕馨,等. 植物 CytP450 和抗氧化酶对土壤菲、芘暴露的生态毒理响应[J]. 环境科学学报, 2009, 29(2): 381-388.
SONG Yu-fang, WANG Lei, LI Xin-xin, et al. Ecotoxic responses of CytP450 and antioxidant enzymes in maize due to exposures to phenanthrene and pyrene in soil [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(2): 381-388.
- [16] 王红旗,王帅,宁少尉,等. 土壤铅-苯并[a]芘复合污染对小麦种子生长的影响研究[J]. 环境科学, 2011, 32(3): 886-895.
WANG Hong-q, WANG Shuai, NING Shao-wei, et al. Effects of combined pollution of lead and benzo[a]pyrene on seed growth of wheat in soils [J]. *Environmental Science*, 2011, 32(3): 886-895.