

徐文君,程江峰. 土壤邻苯二甲酸二丁酯对白菜生长和抗氧化酶系统的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(7):142-147.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.026

土壤邻苯二甲酸二丁酯对白菜生长和抗氧化酶系统的影响

徐文君^{1,2}, 程江峰¹

(1. 青岛科技大学海洋科学与生物工程学院, 山东青岛 266042; 2. 江苏省农业科学院农产品质量安全与营养研究所, 江苏南京 210014)

摘要:随着工业的快速发展,邻苯二甲酸酯(PAEs)作为增塑剂被大量使用,导致严重的环境污染,危害人体健康,邻苯二甲酸二丁酯(DBP)是 PAEs 中的重要成员,在土壤中富集的 DBP 极易被植株吸收而影响农作物的生长。向土壤中人为添加 DBP,并移栽上海青(*Brassica rapa* L.)幼苗,培养 21 d 后发现,植株根部及茎叶部分均被检出有 DBP 存在,其中根部含量较高;与对照组相比,植株生长指标中的根长、生物量因受 DBP 胁迫而显著减小,叶绿素含量无显著性差异。植物抗氧化系统同样受到影响,与对照组相比, H_2O_2 含量、POD 活性、CAT 活性显著升高,SOD 活性以及 MDA 含量则无显著性差异。由此说明,DBP 胁迫下植株的生长状况及抗氧化酶系统明显被影响。

关键词:邻苯二甲酸酯(PAEs);邻苯二甲酸二丁酯(DBP);生物量;叶绿素含量;抗氧化酶系统;白菜

中图分类号: S634.301; Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0142-05

邻苯二甲酸酯(PAEs)是一类用处广泛的有机化合物,常温情况下为无色黏稠态液体,微溶于水,不易挥发,熔沸点低,具有良好的黏着性、稳定性、增加塑料柔韧与可塑性等特点^[1],因此以增塑剂的作用在塑料生产中被大量使用^[2],此外也被用于化妆品、胶水、洗车内饰、家具、农药、香料、保鲜膜等塑料制品中^[3-4]。但由于人们对 PAEs 的大规模利用,目前已经在大气尘埃、工业废水、河流湖泊、土壤、动植物甚至人体中被普遍检出^[5]。它不但具有生殖毒性,还有致癌、致畸、致突变的危害^[6-7],目前被美国环保局(EPA)列入 129 种重点控制污染物名单,也被欧盟委员会和中国环境监测总站列为优先监测污染物^[8-10]。

研究发现,我国土壤中 PAEs 的含量基本在 mg/kg 至 g/kg 数量级^[11]。土壤中 PAEs 的主要来源是农田塑料薄膜、垃圾以及污水灌溉^[12-13],其含量与所处地域有极大的关系,越靠近工业区,PAEs 的含量越高,其中以邻苯二甲酸二丁酯(DBP)以及邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)的检出率最高^[14],这是因为塑料膜的原材料中有大量的

PAEs,由于 PAEs 与聚氯乙烯(PVC)树脂间并不是以共价键这种稳定的方式连接,而是通过范德华力或氢键等不稳定方式连接,所以随时间推移塑料膜中的 PAEs 被大量释放到土壤及环境中^[15],而富集在土壤中的 PAEs 最终会被作物吸收进入植株体内,进而通过食物链进入动物及人体内^[16],严重破坏生态环境,危害人体健康。因此,针对土壤 PAEs 的污染现状,选择合适的代表污染物以及作物,通过检测分析污染物对作物的胁迫影响显得尤为重要。

本试验选择 PAEs 中的重要成员 DBP 为主要研究污染物,叶菜类蔬菜上海青(*Brassica rapa* L.)为研究作物,向土壤中人为添加高浓度 DBP 制成污染土,移栽上海青,培养 21 d 后研究植株的根长、生物量、叶绿素含量、丙二醛(MDA)含量、过氧化物酶(POD)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢(H_2O_2)含量、过氧化氢酶(CAT)活性,并利用高效液相色谱(HPLC)检测 DBP 污染土壤中栽培的上海青茎叶部分、根部以及土壤中的 DBP 含量,以期能够从一定程度上明确 DBP 对植株的胁迫影响,为塑化剂污染土地的作物栽培及防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试植株及土壤 以采自江苏省农业科学院试验田的土样为试验土壤,购自南京绿领种业有

收稿日期:2019-03-06

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(编号:31601660)。

作者简介:徐文君(1994—),男,山东青岛人,硕士研究生,主要从事微生物、植物与环境污染塑化剂研究。E-mail:741056894@qq.com。

限公司的上海青种子为供试作物种子。

1.1.2 主要试剂 邻苯二甲酸二丁酯(DBP)(上海安普实验科技股份有限公司,含量>98.5%);色谱纯乙腈、分析纯丙酮(德国 Merck KGaA 公司);氯化钠(NaCl,上海久亿化学试剂有限公司);无水硫酸镁(MgSO₄,成都市科隆化学品有限公司);N-丙基乙二胺(PSA)、石墨化炭黑(GCB)(天津博纳艾杰尔科技有限公司)。将 DBP 标准品溶解于丙酮溶液中,使用前在-20℃下封闭存储。

1.1.3 仪器设备 WH-3 微型漩涡混合仪(上海沪西分析仪器厂有限公司);Centrifuge 5804R 型离心机(EPPENDORF 公司);JJ223BC 型电子天平(常熟市双杰测试仪器厂);Agilent Technologies 1200 高效液相色谱仪(美国安捷伦科技公司);SPAD502 叶绿素含量测定仪、KQ-600E 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);IKA 型组织匀浆机(广州仪科实验室技术有限公司);T18 基本型高速分散机(德国 IKA 仪器设备有限公司)。

1.1.4 试剂盒 南京建成科技有限公司总蛋白定量测定试剂盒(比色法);南京建成科技有限公司过氧化氢含量测定试剂盒(比色法);南京建成科技有限公司过氧化氢酶活性测定试剂盒(可见光法);南京建成科技有限公司过氧化物酶活性测定试剂盒(测植物)(比色法);南京建成科技有限公司总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性测试盒(羟胺法);南京建成科技有限公司植物丙二醛(MDA)含量测定试剂盒(微板法)。

1.2 试验设计

取取自江苏省农业科学院试验田的土壤若干,过 10 目筛后作为空白土,取其中一部分空白土加入一定浓度的 DBP 丙酮溶液,晾干后搅拌混匀,作为 DBP 污染土,将上述 2 种土壤均匀铺在铁盘中,保持一定的土壤深度以及其他良好的培养条件,待植株移栽。供试植株为温室土壤培养下长势一致(3 叶 1 心)的上海青幼苗。将上海青幼苗移栽到 DBP 污染土中作为 DBP 处理组,移栽到空白土中作为对照组,在水分充足光照良好的条件下培养 21 d 后,分别检测土壤、植株茎叶、根部中的 DBP 含量,同时测量植株的根长、生物量、叶绿素含量过氧化氢含量以及 MDA、SOD、POD、CAT 活性。以上所有处理均设 5 个重复,除土壤不同外,光照时间、光照度、浇水时间、浇水量、温度、湿度等其他培养条件均保持一致。

1.3 试验方法

1.3.1 DBP 的提取分析方法 由于土壤及植物中含有极多杂质,本试验采用最近研发的 QuEChERS (quick, easy, cheap, effective, rugged, safe) 方法^[17],利用吸附剂来吸附样品中杂质,从而达到提取、净化的目的。(1)土壤中 DBP 提取:称取土壤样品 2.0 g 置于 10 mL 玻璃具塞离心管中,加入 6 mL 乙腈,超声 30 min 后进行提取;加入 1.0 g 氯化钠涡旋振荡 1 min;取 2 mL 上清液,加入 50 mg 无水硫酸镁、50 mg PSA,涡旋振荡 1 min 以充分净化,静置 3 min 后取 1 mL 上清液经 0.22 μm 有机滤膜过滤后进 HPLC 进行检测。(2)植株中 DBP 提取:将植株的根、茎、叶分别于组织匀浆机中加入液氮均匀打碎后,称取样品 1.0 g 置于 10 mL 玻璃具塞离心管,加入 3 mL 乙腈,超声 30 min 后进行提取;加入 1.0 g 氯化钠涡旋振荡 2 min,取 2 mL 上清液,加入 50 mg 无水硫酸镁、50 mg PSA 和 30 mg GCB,涡旋振荡 5 min 以充分净化,静置 5 min 后取 1 mL 上清液经 0.22 μm 有机滤膜过滤后进 HPLC 进行检测。HPLC 条件:色谱柱为 ZORBA x SB-AQ 柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm);流动相为 V(乙腈):V(水)=85:15;流速为 0.9 mL/min;检测波长为 225 nm;柱温为室温;进样量为 20 μL。在上述条件下 DBP 的保留时间为 4.2 min,该方法下土壤中 DBP 的回收率为 83.3%,相对标准偏差(RSD)为 4.1%;青菜中 DBP 的回收率为 80.5%,RSD 为 5.5%。

1.3.2 生物量、根长及叶绿素含量测定方法 将移栽培养 21 d 后的上海青从土壤中取出,尽量减少根部损伤,将根部用清水清洗干净后,用吸水纸将水分吸干,测量并记录根长,然后对整个植株称质量并记录,利用 SPAD502 叶绿素含量测定仪测定植株的叶绿素含量,对植株多张叶片进行测量,然后取平均值并记录。

1.3.3 抗氧化酶活性及可溶性蛋白、过氧化氢含量的测定方法 将移栽培养 21 d 后的上海青从土壤中取出,尽量减少根部损伤,将根部用清水清洗干净后,用吸水纸将水分吸干,加入相应体积提取液,在冰水浴条件下进行机械匀浆,制成一定浓度的组织匀浆,均匀称取 1 mL 样品,采用对应试剂盒测定酶活性。

可溶性蛋白含量测定:采用 BCA 法测定植株鲜样中的可溶性蛋白含量,其原理是在碱性条件下,蛋白质可将 Cu²⁺还原为 Cu⁺,Cu⁺与 BCA 试剂形成

紫色的络合物,该络合物在 562 nm 处有最大吸收峰,依据吸光度与浓度成正比,通过测得的吸光度即可计算出待测蛋白的浓度,具体步骤按试剂盒说明书进行,计算公式为

$$\text{总蛋白浓度} = \frac{D_{562 \text{ nm测定值}} - D_{562 \text{ nm空白值}}}{D_{562 \text{ nm标准值}} - D_{562 \text{ nm空白值}}} \times \text{标准品}$$

浓度。

过氧化氢含量测定:采用分光光度法测定植株鲜样中的过氧化氢含量,其原理是过氧化氢可以与钼酸作用生成一种络合物,该络合物在 405 nm 处有最大吸收峰,通过测定吸光度可以计算出过氧化氢的量,具体步骤按试剂盒说明书进行,计算公式为

$$\text{过氧化氢含量} = \frac{D_{405 \text{ nm测定值}} - D_{405 \text{ nm空白值}}}{D_{405 \text{ nm标准值}} - D_{405 \text{ nm空白值}}} \times \text{标准品}$$

品浓度 ÷ 待测样本蛋白浓度。

过氧化氢酶(CAT)活性测定:采用分光光度法测定植株鲜样的过氧化氢酶活性,其原理是过氧化氢酶分解过氧化氢的反应可以通过加入钼酸铵而迅速终止,剩余的过氧化氢与钼酸铵作用产生一种淡黄色的络合物,通过测定 405 nm 处的吸光度变化,可计算出 CAT 活性,具体步骤按试剂盒说明书进行,计算公式为

$$\text{CAT 活性} = (D_{405 \text{ nm对照值}} - D_{405 \text{ nm测定值}}) \times 271 \times \frac{1}{60 \times 0.05} \div \text{待测样本蛋白浓度}。$$

过氧化物酶(POD)活性测定:利用过氧化物酶催化过氧化氢反应的原理,通过测定 420 nm 处吸光度的变化得出酶活性,具体步骤按试剂盒说明书进行,计算公式为

$$\text{POD 活性} = \frac{D_{420 \text{ nm测定值}} - D_{420 \text{ nm对照值}}}{12 \times \text{比色光径}} \times$$

$\frac{\text{反应液总体积}}{\text{取样量}} \div \text{反应时间} \div \text{匀浆蛋白浓度} \times 1\,000。$

超氧化物歧化酶(SOD)活性测定:采用黄嘌呤氧化酶法测定 SOD 活性,其原理为 SOD 是一种重要的抗氧化剂,能够催化植物细胞内 $\text{O}_2^- \cdot$ 发生歧化反应,生成 H_2O ,清除细胞内过量的 $\text{O}_2^- \cdot$,保护细胞膜系统免遭氧化损伤。细胞内 $\text{O}_2^- \cdot$ 能氧化经胺生成 NO_2 ,发生显色反应,呈现粉红色,当 SOD 消除 $\text{O}_2^- \cdot$ 后, NO_2 生成量减少,通过测定 450 nm 处的吸光度变化,即可计算出 SOD 活性,具体步骤按试剂盒说明书进行,计算公式为

$$\text{SOD 活性} = \frac{D_{450 \text{ nm对照值}} - D_{450 \text{ nm测定值}}}{D_{450 \text{ nm对照值}}} \div 50\% \times$$

$\frac{\text{反应液总体积}}{\text{取样量}} \div \text{匀浆液浓度}。$

植物丙二醛(MDA)含量测定:采用硫代巴比妥酸(TBA)显色法测定植株鲜样中丙二醛含量,其原理为过氧化脂质降解产物中的丙二醛可与硫代巴比妥酸缩合,形成红色产物,该产物在 532 nm 处有最大吸收峰,具体步骤按试剂盒说明书进行,计算公式为

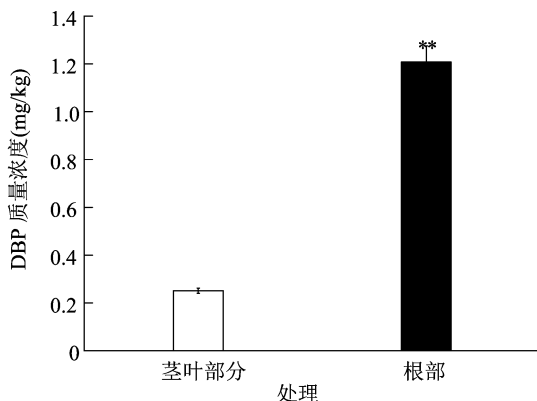
$$\text{MDA 含量} = \frac{D_{532 \text{ nm测定值}} - D_{532 \text{ nm空白值}}}{D_{532 \text{ nm标准值}} - D_{532 \text{ nm空白值}}} \times \text{标准品浓}$$

度 ÷ 样本浓度。

2 结果与分析

2.1 上海青对土壤中 DBP 的吸收情况

将上海青种子置于温室中土培一段时间后,将长势一致的 3 叶 1 心上海青幼苗取出,分别检测植株茎叶部分及根部的 DBP 含量,通过高效液相色谱并没有检测到 DBP 的存在。植株移栽前为验证处理土壤中是否有 DBP 存在,测定土壤样品中的 DBP 含量,结果发现,处理组初始土壤中的 DBP 含量为 $(127.6 \pm 3.1) \text{ mg/kg}$,植株移栽后分别对茎叶部分和根部的 DBP 含量进行检测,检测结果(图 1)表明,上海青植株能吸收土壤中的 DBP,而且根部含量显著高于地上茎叶部分,根部 DBP 含量为 $(1.21 \pm 0.07) \text{ mg/kg}$,茎叶部分为 $(0.25 \pm 0.01) \text{ mg/kg}$ 。



*, ** 分别表示差异达到 0.05、0.01 显著水平。下图同

图1 上海青中 DBP 的含量

2.2 DBP 胁迫对植株生长指标的影响

生物量指某一特定时刻生物有机体物质的总量,是反映植物生长情况的最基本指标。在上海青移栽培养 21 d 后,分别测定 DBP 处理组和空白对照组植株的根长、生物量及叶绿素含量,这些生理指标可以间接地说明植株的生长情况。试验结果(图

2)显示,空白对照组的根长为(18.17±1.26) cm, DBP 处理组的根长为(12.83±1.04) cm;空白对照组的生物量为(35.55±2.88) g,DBP 处理组的生物量为(19.29±2.91) g;空白对照组叶绿素含量的对应 SPAD 值为 46.91±1.89,DBP 处理组叶绿素含量的对应 SPAD 值为 46.78±1.03。可以看出,

DBP 处理组的根长及生物量与空白对照组之间存在显著性或极显著性差异,说明空白对照组的植株发育比 DBP 处理组要好,DBP 胁迫使植株生长受到了影响;而 2 组处理的叶绿素含量则没有显著性差异,说明 DBP 对植株的胁迫没有对植株的叶绿素含量产生明显影响。

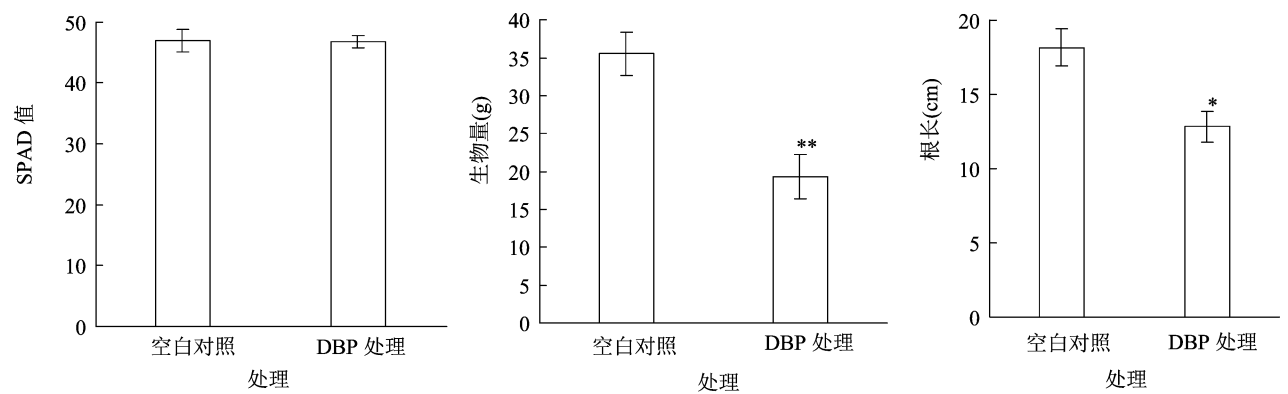


图2 DBP 胁迫对上海青根长、生物量及叶绿素含量的影响

2.3 DBP 胁迫对植株抗氧化酶系统的影响

植株体内的活性氧(ROS)在正常的生命活动情况下处于一种动态平衡的状态,而一旦受到外界环境胁迫影响就会产生波动,H₂O₂、MDA 含量可以直观地体现植株的 ROS 水平,当植株 H₂O₂ 含量过高时,植株就会产生大量的 CAT 以减少 H₂O₂,而植株 MDA 含量则依靠 SOD 及 POD 来降解,以保持 ROS 的动态平衡。由表 1 可见,DBP 处理组的植株 H₂O₂ 含量为(6.78±0.47) mmol/g,空白对照组为(4.34±0.39) mmol/g;DBP 处理组的植株 SOD 活性为(781.61±33.82) U/g,空白对照组为(757.86±

89.39) U/g;DBP 处理组的植株 MDA 含量为(99.89±5.44) nmol/g,空白对照组为(97.09±14.32) nmol/g;DBP 处理组的植株 CAT 活性为(6.25±0.46) U/mg,空白对照组为(4.68±0.12) U/mg;DBP 处理组的植株 POD 活性为(24.42±1.31) U/mg,空白对照组为(19.18±0.55) U/mg。相对于空白对照组,DBP 处理组植株的 H₂O₂ 含量、POD 活性、CAT 活性都显著升高($P<0.05$),而 SOD 活性、MDA 活性的升高未达到显著水平。

表 1 DBP 胁迫对上海青抗氧化酶系统的影响

| 处理 | H ₂ O ₂ 含量 (mmol/g) | POD 活性 (U/mg) | CAT 活性 (U/mg) | SOD 活性 (U/g) | MDA 含量 (nmol/g) |
|---------|--|------------------|------------------|-----------------|--------------------|
| 空白对照组 | 4.34±0.39 | 19.18±0.55 | 4.68±0.12 | 757.86±89.39 | 97.09±14.32 |
| DBP 处理组 | 6.78±0.47 * | 24.42±1.31 * | 6.25±0.46 * | 781.61±33.82 | 99.89±5.44 |

注: * 表示不同处理间差异达到 0.05 显著水平。

3 讨论

近年来随着社会工业化的迅速发展,PAEs 在全球的消费量已经达到了每年约 600 万 t^[18],由于其化学性质稳定,在环境中的自然降解十分缓慢,水解半衰期少则 3 年,多则高达两千多年^[19],且通常即便降解也无法彻底矿化,依然会产生有害的中间代谢产物^[20-21],其中的类激素有毒物质会通过各种

渠道散播到周围的环境中造成环境污染,且对人类毒害。

就目前来讲,PAEs 作为土壤中最严重的有机污染物之一,已经在我国不同区域的农田土壤中被广泛检出,且个别地区超标严重^[22]。这些富集在土壤中的 PAEs 会被土壤中种植的作物吸收,但不同作物对土壤中 PAEs 的吸收情况不尽相同,有些作物对 PAEs 的吸收极其明显,有的则吸收很少。如在

珠江三角洲的蔬菜基地中蔬菜样品中的 PAEs 总含量为 $0.46 \sim 12.02 \text{ mg/kg}^{[23]}$, 而尹睿等则发现, 番茄、胡萝卜和萝卜对 DEHP 的吸收量很少^[24-25]。造成这种现象的原因很复杂, 包括作物种类、土壤类型、PAEs 污染浓度和生长条件等原因^[26]。而在本试验中可以明显看到, 上海青对 DBP 的吸收很明显, 且根部含量大于茎叶部分。

作物吸收 PAEs 后不仅会严重影响产量及质量, 也会对最终食用的动物及人类产生难以想象的毒害作用。有研究表明, 当土壤中的 DBP 及邻苯二甲酸二异丁酯 (DIBP) 含量超过 20 mg/kg 时, 会对其上生长的辣椒产生显著的抑制作用^[27]。宋广宇通过研究发现, 红壤中的 PAEs 检出率高, 并且在含 PAEs 的红壤中生长的上海青成活率很低, 对上海青有显著的抑制生长作用^[12], 其研究结果与本试验得到的结果一致。

植物体内的抗氧化酶系统由 SOD、POD 及 CAT 组成, 对因受到环境胁迫而产生过量 ROS 的调控是极其重要的^[28]。当植株受到外界胁迫时, 会产生大量的 ROS 使植物膜脂过氧化而产生 MDA, 而当植株体内的 ROS 含量超过一定水平一段时间以后, 会对植株造成永久性损伤, 甚至导致植株死亡。刘春晓等发现, 高浓度的 DBP 不仅会抑制藻类生长, 还会降低其 SOD 和 CAT 的活性^[29]。从本试验结果可以看出, 与对照相比, DBP 胁迫处理下的植株 H_2O_2 含量、CAT 活性显著提高, 说明植株确实会因受到 DBP 胁迫而过氧化, 体内的大量 H_2O_2 会使植株启动抗氧化酶系统, 产生大量 CAT 以降解过量的 H_2O_2 ; 而植株的 MDA 含量、SOD 活性无显著性变化, 结合植株体内的 DBP 含量来看, 这可能是因为植株体内的 DBP 含量并不高, 无法产生过量 ROS 使植物发生膜脂过氧化, 也有可能是因为在培养过程中大量的 MDA 刺激抗氧化酶系统, 从而产生大量 POD 将其降解。综合来看, DBP 确实对上海青的抗氧化酶系统有一定影响。

研究 PAEs 污染土壤对作物的危害及修复是十分重要的, 不但有助于制定治理修复措施, 而且对环境保护和人类健康具有重要的意义。本研究从植株生长指标和抗氧化酶系统 2 个方面来阐述 DBP 对上海青的胁迫影响, 可对 PAEs 污染土壤的作物种植及植物修复模型的构建提供理论依据。

参考文献:

[1] 纪秀. 邻苯二甲酸二丁酯降解菌株的筛选及相关降解特性的

研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2017.

- [2] 黄艳, 卞战强, 田向红, 等. 环境中邻苯二甲酸酯类化合物降解技术研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2010, 27(7): 654-657.
- [3] Erythropel H C, Maric M, Nicell J A, et al. Leaching of the plasticizer di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) from plastic containers and the question of human exposure [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(24): 9967-9981.
- [4] Zolfaghari M, Drogui P, Seyhi B, et al. Occurrence, fate and effects of Di (2-ethylhexyl) phthalate in wastewater treatment plants: a review[J]. Environmental Pollution, 2014, 194: 281-293.
- [5] Gao D W, Wen Z D. Phthalate esters in the environment: a critical review of their occurrence, biodegradation, and removal during wastewater treatment processes [J]. The Science of the Total Environment, 2016, 541(15): 986-1001.
- [6] Kapanen A, Stephen J R, Brüggemann J, et al. Diethyl phthalate in compost: ecotoxicological effects and response of the microbial community[J]. Chemosphere, 2007, 67(11): 2201-2209.
- [7] Voss C, Zerban H, Bannasch P, et al. Lifelong exposure to di-(2-ethylhexyl)-phthalate induces tumors in liver and testes of Sprague-Dawley rats[J]. Toxicology, 2005, 206(3): 359-371.
- [8] Wang J H, Liu P, Qian Y. Microbial degradation of di-n butyl phthalate[J]. Chemosphere, 1995, 31(9): 4051-4056.
- [9] 骆祝华, 黄翔玲, 叶德赞. 环境内分泌干扰物——邻苯二甲酸酯的生物降解研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14(6): 890-897.
- [10] 鄂勇, 张晓琳, 宋秋霞. 环境内分泌干扰物及其潜在威胁[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(11): 135-139.
- [11] 崔学慧, 李炳华, 陈鸿汉, 等. 中国土壤与沉积物中邻苯二甲酸酯污染水平及其吸附研究进展[J]. 生态环境学报, 2010, 19(2): 472-479.
- [12] 宋广宇. 邻苯二甲酸酯在土壤-植物系统中的生物有效性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [13] Xu G, Li F S, Wang Q H. Occurrence and degradation characteristics of dibutyl phthalate (DBP) and di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) in typical agricultural soils of China [J]. The Science of the Total Environment, 2008, 393(2/3): 333-340.
- [14] Zeng F, Cui K, Esters X P. Phthalate esters (PAEs): emerging organic contaminants in agricultural soils in peri-urban areas around Guangzhou, China [J]. Environmental Pollution, 2008, 156(2): 425-434.
- [15] Blount B C, Milgram K E, Silva M J, et al. Quantitative detection of eight phthalate metabolites in human urine using HPLC-APCI-MS/MS[J]. Analytical Chemistry, 2000, 72(17): 4127-4134.
- [16] Wang J, Luo Y M, Teng Y, et al. Soil contamination by phthalate esters in Chinese intensive vegetable production systems with different modes of use of plastic film [J]. Environmental Pollution, 2013, 180: 265-273.
- [17] 严煌倩, 李勇, 翟丽菲, 等. 气相色谱-质谱法结合 QuEChERS 法快速检测青椒中 15 种邻苯二甲酸酯[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(2): 459-465.

黄程,文小梅,唐殷,等. 外源水杨酸对盐胁迫下小白菜幼苗生理的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(7):147-151.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.027

外源水杨酸对盐胁迫下小白菜幼苗生理的影响

黄程,文小梅,唐殷,郭磊周,江世杰,代其林

(西南科技大学生命科学与工程学院,四川绵阳 621010)

摘要:采用叶面喷施法探讨水杨酸(SA)对不同时间段 NaCl 胁迫下小白菜(*Brassica campestris* L.)幼苗生理的影响。结果表明,随着盐胁迫时间的延长,SA 预处理的小白菜幼苗叶片叶绿素含量、相对含水量、脯氨酸含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量、过氧化物酶(POD)活性和超氧化物歧化酶(SOD)活性以及相关基因的表达量均高于对照处理;而丙二醛含量和相对电导率均低于对照处理。在整个盐胁迫过程中,相对含水量、叶绿素含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量以及脯氨酸含量呈不断下降的趋势;丙二醛含量和相对电导率呈不断上升的趋势;POD 活性以及 SOD 活性呈先上升后下降的趋势,峰值均出现在 3 d。POD 基因与 SOD 基因的相对表达量呈先上升后下降的趋势,且峰值出现在 3 d。分析结果表明,外源水杨酸可以通过提高叶绿素含量、相对含水量、渗透调节物质含量来上调抗氧化酶基因的表达,增强抗氧化酶活性,并且减轻细胞膜损伤来缓解盐胁迫对小白菜幼苗的伤害,从而提高小白菜幼苗的抗盐能力。

关键词:水杨酸;小白菜;盐胁迫;生理生化;基因表达

中图分类号: S634.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0147-05

据统计,地球盐渍土地面积约占陆地总面积的 1/3,而土壤盐渍化问题给农业发展带来了诸多负面影响,给农作物的生产带来了极大的阻碍。目前,也出现了许多土壤改良剂、土壤调理剂来改善土壤

中出现的各种问题,但并不能从根本上解决土壤盐渍化对植物造成的伤害^[1-2]。土壤盐分降低了土壤资源价值,给生产性农业带来巨大损失,对环境造成威胁,从而加大了对经济 and 环境的危害^[3]。当植物处于盐胁迫环境下时,会导致体内活性氧的大量产生并且导致活性氧清除系统之间的失衡。活性氧的累积会引起膜质过氧化反应并且伤害细胞膜^[4],而植物体内产生的活性氧可以通过抗氧化酶之间的协同作用来清除^[5-6]。桑利敏研究发现,当甜菜幼苗处于盐胁迫条件下时,其出芽率、叶绿素含量、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶、过氧化

收稿日期:2019-09-16

基金项目:国家科技重大专项(编号:2019ZX08010004-005);西南科技大学博士研究基金(编号:11zx7104)。

作者简介:黄程(1993—),男,四川绵阳人,硕士,主要从事植物逆境生理与分子生物学研究。E-mail:787948046@qq.com。

通信作者:代其林,博士,副教授,主要从事植物逆境生理与分子生物学研究。E-mail:daiqilinmj@sina.com。

[18] Xie Z, Ebinghaus R, Temme C, et al. Occurrence and air-sea exchange of phthalates in the Arctic[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 41(13): 4555-4560.

[19] 陈波,林建国,陈清. 水环境中的邻苯二甲酸酯类污染物及其环境行为研究[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(2): 71-75.

[20] 李海海,黄岁樑. 水环境中邻苯二甲酸酯的迁移转化研究[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(11): 853-858.

[21] Stales C A, Peterson D R, Parkerton T F, et al. The environmental fate of phthalate esters; a literature review[J]. Chemosphere, 1997, 35(4): 667-749.

[22] Cai Q Y, Mo C H, Wu Q T, et al. The status of soil contamination by semivolatile organic chemicals (SVOCs) in China; a review[J]. The Science of the Total Environment, 2008, 389(2/3): 209-224.

[23] 肖凯恩,莫测辉,蔡全英. 珠江三角洲蔬菜基地蔬菜中邻苯二甲

酸酯的含量特征[J]. 四川环境, 2012, 31(3): 49-55.

[24] 尹睿,林先贵,王曙光,等. 土壤中 DBP/DEHP 污染对几种蔬菜品质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(1): 1-5.

[25] 曾巧云,莫测辉,蔡全英,等. 邻苯二甲酸二丁酯在不同品种菜心-土壤系统的累积[J]. 中国环境科学, 2006, 26(3): 333-336.

[26] 鲁磊安. 珠三角地区水稻邻苯二甲酸酯污染特征研究[D]. 广州:暨南大学, 2016.

[27] 任旭琴,高军,陈伯清,等. 辣椒 DBP/DIBP 胁迫及其修复剂优化和机理研究[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(6): 1121-1126.

[28] 余东,许家辉,李永裕,等. Cd 胁迫对枇杷叶片酶活性及膜透性的影响[J]. 热带作物学报, 2008, 29(2): 154-158.

[29] 刘春晓,王平,李海燕,等. DBP 对铜绿微囊藻生长和抗氧化酶的影响[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(2): 7-12.