

咪鲜胺及其制剂和主要代谢物对三叶浮萍 SOD 和 POD 活性的影响

卫麦霞¹, 龚道新², 黎定军^{1,3}, 任 竞², 刘名扬², 汪传刚²

(1.湖南农业大学烟草工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128;2.湖南农业大学农业环境保护研究所, 湖南 长沙 410128;3.湖南农业大学生物安全科技学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要:为了全面正确地评价咪鲜胺及其制剂和主要代谢物施用后的生态环境效应和生物毒性,以三叶浮萍 (*Lemna Paucicostata*) 为实验材料,采用光照恒温培养法,研究了咪鲜胺及其制剂和主要代谢物 (包括 BTS44595、BTS44596 和 BTS45186)对三叶浮萍体内超氧化物歧化酶 (SOD)和过氧化物酶 (POD)活性的影响。结果表明,随着处理浓度的升高,Prochloraz、Sportak、BTS44595 和 BTS44596 对 SOD 活性和 POD 活性的影响由激活作用转变为抑制作用,而 BTS45186 对 SOD 和 POD 活性的影响则表现为抑制作用,且浓度越高,对 SOD 和 POD 活性的抑制作用越强;Prochloraz 和 Sportak 对 SOD 和 POD 活性的影响较大,但两者之间的差异不大,不过 Prochloraz 对三叶浮萍的 SOD 和 POD 活性的影响早于 Sportak 的影响。Prochloraz 及其主要代谢产物对 SOD 和 POD 活性影响的大小顺序为:BTS45186>Prochloraz>BTS44596>BTS44595。这说明 Prochloraz 降解为代谢产物 BTS44595 和 BTS44596 的过程是一个毒性下降的解毒过程,而 BTS44595 和 BTS44596 降解为 BTS45186 的过程是一个毒性上升的增毒过程。

关键词:咪鲜胺;制剂;代谢物;SOD;POD;三叶浮萍;影响

中图分类号:X592 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)03-1072-05

Effect of Prochloraz, Its Formulation and Major Metabolites on the Activities of SOD and POD in *Lemna paucicostata*

WEI Mai-xia¹, GONG Dao-xin², LI Ding-jun^{1,3}, REN Jing², LIU Ming-yang², WANG Chuan-gang²

(1.Research Center of Tobacco Engineering and Technology, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China;2.Institute of Agro-Environment Protection, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China;3.Bio-safety Science and Technology, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China)

Abstract: The effects of Prochloraz, its formulation and major metabolites (including BTS44595, BTS44596 and BTS45186) on superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) in *Lemna paucicostata* were studied. The results indicated that, with treatment concentration increasing, the effect of Prochloraz, Sportak, BTS44595 and BTS44596 on the activities of SOD and POD changed from activation to inhibition, but BTS45186 inhibited increasingly their activities. Although Prochloraz and Sportak had a great influence on POD and SOD, there was minor difference between them. Prochloraz activated SOD and POD earlier than that of Sportak. Effects of Prochloraz and its major metabolites on the activities of SOD and POD followed the order: BTS45186>Prochloraz>BTS44596>BTS44595, suggesting that the metabolization of Prochloraz was a detoxification process with toxicity decreasing, while degradation of BTS44595 and BTS44596 was an intoxication process with toxicity increasing.

Keywords: prochloraz; formulation; metabolites; SOD; POD; *Lemna paucicostata*; effect

咪鲜胺 (英文名 Prochloraz)是英国 Boots 公司于

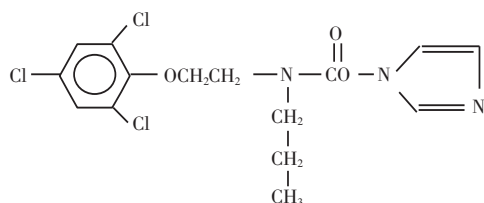
1974 年合成,1977 年推向市场的、具有向顶性传导活性的广谱性杀菌剂,在国内外应用很广。Prochloraz 的生物效果系咪唑类杀菌剂的作用,抑制麦角甾醇的生物合成,从而使菌体细胞膜功能受破坏。Prochloraz 商品名称有:施保克、扑霉灵、丙氯灵、施保功。其英文通用名称为 Prochloraz, 商品名为 Mirage、Sportak、

收稿日期:2007-08-14
基金项目:农业部与德国艾格福公司协作项目 (NYBNYCL20000158)
作者简介:卫麦霞 (1980—),女,河南沁阳人,硕士研究生,主要研究方向为烟草病虫害综合防治及生物技术。
E-mail:weimaixia@163.com

Sporgon。

化学名称为:N-丙基-N-[2-(2,4,6-三氯苯氧基)乙基]甲酰氨基唑(CA)^[1]

其化学结构式为:



Prochloraz 可用于防治谷物类、油料作物及多种大田作物、蘑菇、热带和亚热带水果、核果、观赏植物、蔬菜、草皮及各种工业用作物的病害,也广泛用于种籽、苗木处理及防治收获后水果贮存期发生的病害。它是一种触杀性杀菌剂,具有一定的内吸作用。咪鲜胺的生物效果系抑制麦角甾醇的生物合成,从而使菌体细胞膜功能受到破坏。Prochloraz 在环境中的主要代谢产物有 BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 等^[2-3]。Prochloraz 广泛使用后将不可避免地进入农田生态环境及地表水体,进而对我国南方的水稻田及地表水体中广泛存在的水生植物如浮萍等产生影响^[4-6]。本实验以三叶浮萍作为材料,研究了 Prochloraz 和 Prochloraz 的主要代谢产物(包括 BTS44595、BTS44596 和 BTS45186)对三叶浮萍体内 SOD 和 POD 活性的影响,来探讨 Prochloraz 毒性作用,为进一步研究 Prochloraz 环境对植物的毒害机理提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验试剂

咪鲜胺母体(纯度为 99.0%,用 Prochloraz 表示),咪鲜胺制剂 Sportak,施保克 25%乳油,每升含咪鲜胺 250 g),咪鲜胺的主要代谢物:BTS44595(纯度为 99.3%)、BTS44596(纯度为 98.0%)和 BTS45186(纯度为 99.6%),均为德国艾格福公司(AgrEvo)提供,用前配成 1 000 mg·L⁻¹ 的丙酮溶液,保存在 0~4℃冰箱中,使用时用蒸馏水稀释至相应浓度。0.05 mol·L⁻¹ 磷酸缓冲液(pH5.5),0.1 mol·L⁻¹ pH7.8 磷酸钠(Na₂HPO₄-NaH₂PO₄)缓冲液,0.05 mol·L⁻¹ 愈创木酚溶液,2% H₂O₂ 溶液^[5-9]。

1.2 实验仪器

SOD 检测试剂盒(南京建成生物研究所),722 型分光光度计,电子天平,高速冷冻离心机,冰箱,离心管数个,玻璃缸,烧杯,量筒,容量瓶,移液管。

1.3 实验设计

试验在 25 cm×30 cm×30 cm 的玻璃缸中进行,向每个培养缸中分别加入 Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 的标准溶液,再用经曝光处理的蒸馏水配制成的营养液稀释至上述各供试药剂的浓度分别为 0、0.10、1.0、10.0 mg·L⁻¹,每个玻璃缸中盛水 5 L,每个处理组设 3 次重复,每个玻璃缸放养三叶浮萍 10 g(鲜重),在实验室中用日光灯照射培养,光强约 4 500 lx,控制培养温度为 25℃±2℃(用空调调节温度)。于培养 24、48、72 和 96 h 后捞取三叶浮萍样品,分别测定 SOD、POD 活性^[10-12]。

1.4 实验用三叶浮萍的采集和培养

从湖南农业大学实验农场的水稻田或稻田周边的沟渠及小水塘中采集纯种的三叶浮萍,放在搪瓷盘中,加入约 1.5 cm 高的培养液(采用美国 EPA 推荐的绿藻培养液配方,并经修改,其组成情况如下: MgSO₄·7H₂O 0.62 g·L⁻¹, CaCl₂ 0.41 g·L⁻¹, KNO₃ 0.40 g·L⁻¹, Na₂MoO₄·2H₂O 0.12 mg·L⁻¹, KH₂PO₄ 0.24 g·L⁻¹, MnCl₄·4H₂O 0.47 mg·L⁻¹, H₃BO₃ 0.5 mg·L⁻¹, ZnSO₄·7H₂O 50 μg·L⁻¹, CuSO₄·5H₂O 25 μg·L⁻¹, CoCl₂·H₂O 25 μg·L⁻¹,配好后,调节 pH 值至 5.5,再加入 NaFe-ED-TA,使其最终浓度为 100 μg·L⁻¹)。在实验室中用日光灯照射培养,光强为 4 500 lx,每隔 2 d 向盘内添加培养液以保持水面高度。于实验前取外形完好,具有 3 个植物体(每株浮萍有 3 片叶状体,称为植物体),且形状和大小都相近的三叶浮萍进行试验^[10-12]。

1.5 三叶浮萍中 SOD、POD 的测定

1.5.1 酶液的提取

称取三叶浮萍 0.5 g(样品经洗净、用滤纸吸干),置于玻璃研钵中,加入适量 0.05 mol·L⁻¹ 磷酸缓冲溶液(pH7.8)及少许石英砂、冷冻研磨(0℃左右),用 0.05 mol·L⁻¹ 磷酸缓冲溶液(pH7.8)洗涤并转移至 10 mL 离心管中,定容至 10.0 mL,立即离心(冷冻离心机,8 000 r·min⁻¹)20 min,上清液用来分析 SOD、POD 活性。

1.5.2 测定方法

SOD 活性的测定:化学比色法,利用南京建成生物研究所提供的 SOD 检测试剂盒,按照其说明书规定的添加试剂顺序配成溶液,用 722 分光光度计测定其在 550 nm 处的吸光度。实验原理为通过黄嘌呤及黄嘌呤氧化酶反应系统产生超氧阴离子自由基(O²⁻),后者氧化羟胺形成亚硝酸盐,在显色剂的作用下呈现紫红色,用可见光分光光度计测其吸光度。

POD活性的测定:愈创木酚法,以邻甲氧基苯酚(即愈创木酚)为过氧化物酶的底物,在该酶存在下, H_2O_2 可将邻甲氧基苯酚氧化成红棕色的 4-邻甲氧基苯酚,过氧化物酶活力的大小在一定范围内与产物颜色的深浅呈线性关系,该产物在 460 nm 有最大的光吸收,故可通过测定 A_{460} 的变化来测定过氧化物酶的活力^[13]。这里规定,一个过氧化物酶活力单位为在室温、pH5.5 的条件下,酶反应体系中每分钟 A_{460} 的增加值为 1 所需的酶量。活力测定时,酶反应在分光光度计的比色杯内进行,由于酶反应产物增加而使 A_{460} 增加,通过定时间隔记录可获得一组 A_{460} 值。以时间为横坐标, A_{460} 值为纵坐标进行线性作图,进而计算 A_{460} 的变化速率 ($A_{460} \cdot \text{min}^{-1}$),最后可得到每克鲜重样品中过氧化物酶活力的大小。

2 结果与分析

2.1 SOD 活性

图 1~图 4 列出了不同浓度的供试药剂处理 24、48、72 和 96 h 后对三叶浮萍体内的 SOD 活性的影响情况。

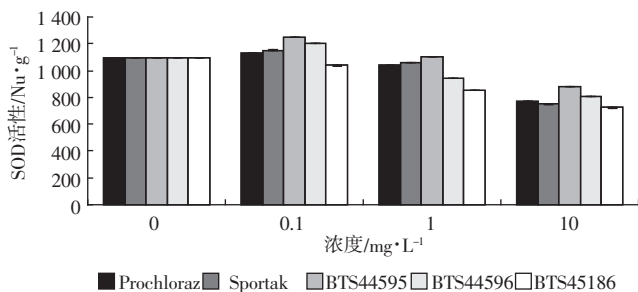


图 1 Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 处理 24 h 后对浮萍 SOD 活性的影响

Figure 1 Effects of Prochloraz, Sportak, BTS44595, BTS44596 and BTS45186 on SOD activity of *Lemna Paucicostata* after 24 h

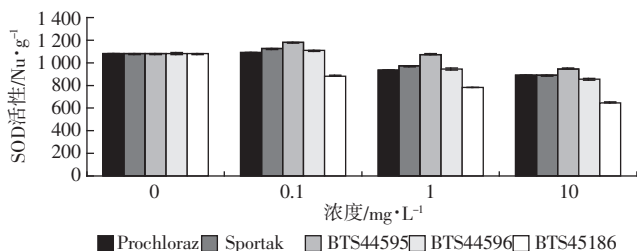


图 2 Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 处理 48 h 后对浮萍 SOD 活性的影响

Figure 2 Effects of Prochloraz, Sportak, BTS44595, BTS44596 and BTS45186 on SOD activity of *Lemna Paucicostata* after 48 h

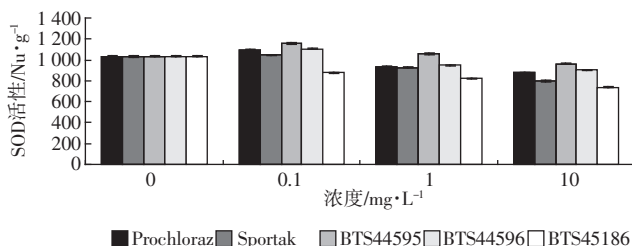


图 3 Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 处理 72 h 后对浮萍 SOD 活性的影响

Figure 3 Effects of Prochloraz, Sportak, BTS44595, BTS44596 and BTS45186 on SOD activity of *Lemna Paucicostata* after 72 h

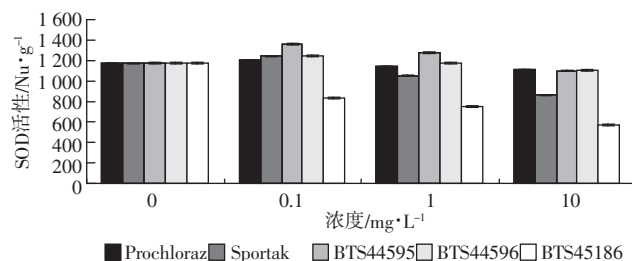


图 4 Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 处理 96 h 后对浮萍 SOD 活性的影响

Figure 4 Effects of Prochloraz, Sportak, BTS44595, BTS44596 and BTS45186 on SOD activity of *Lemna Paucicostata* after 96 h

结果表明:①处理 96 h 后,处理浓度为 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Prochloraz、Sportak、BTS44595 和 BTS44596 对三叶浮萍体内的 SOD 活性有激活作用,且以 BTS44595 的激活作用最大,为对照组的 1.16 倍;处理浓度为 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,Prochloraz 和 Sportak 开始表现出抑制 SOD 活性,但 BTS44595 和 BTS44596 仍有微弱的激活作用;当处理浓度达到 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,Prochloraz、Sportak、BTS44595 和 BTS44596 均抑制 SOD 的活性,且以 Sportak 为最。总的来说,随着浓度的升高,上述 4 种药剂对 SOD 活性的影响呈现出明显的“低促高抑”效应。②BTS45186 对三叶浮萍体内 SOD 活性的影响均表现为抑制作用,而且这种抑制作用还会随着时间的延长或处理浓度的升高而加重,表现出良好的“浓度(剂量)-时间”效应关系。③Prochloraz 和 Sportak 对 SOD 活性的影响在低浓度(如 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)或短时间范围内不明显;但在较高浓度或较长时间则差异较明显,Sportak 对 SOD 活性的影响大于 Prochloraz 对 SOD 活性的影响。④Prochloraz 与其初级代谢物 BTS44595 和 BTS44596 对 SOD 活性的影响差别不是很大,但与其次级代谢物之间的差异较大。

2.2 POD 活性

图 5~图 8 列出了不同浓度的供试药剂处理 24、48、72 和 96 h 后对三叶浮萍体内的 POD 活性的影响

情况。

结果表明：① 较低处理浓度 ($0.1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 或较短处理时间 (48 h 内) 时, Prochloraz、Sportak、BTS44595

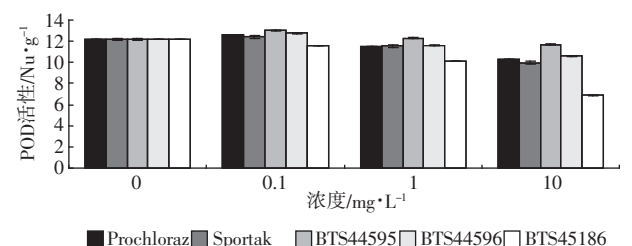


图 5 Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 处理 24 h 后对浮萍 POD 活性的影响

Figure 5 Effects of Prochloraz, Sportak, BTS44595, BTS44596 and BTS45186 on POD activity of *Lemna Paucicostata* after 24 h

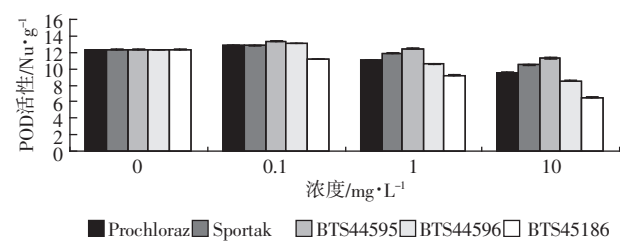


图 6 Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 处理 48 h 后对浮萍 POD 活性的影响

Figure 6 Effects of Prochloraz, Sportak, BTS44595, BTS44596 and BTS45186 on POD activity of *Lemna Paucicostata* after 48 h

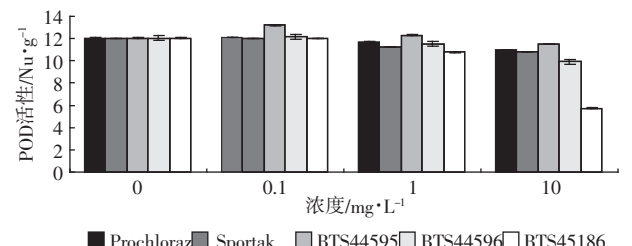


图 7 Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 处理 72 h 后对浮萍 POD 活性的影响

Figure 7 Effects of Prochloraz, Sportak, BTS44595, BTS44596 and BTS45186 on POD activity of *Lemna Paucicostata* after 72 h

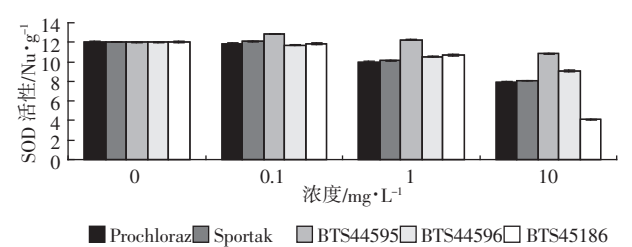


图 8 Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 处理 96 h 后对浮萍 POD 活性的影响

Figure 8 Effects of Prochloraz, Sportak, BTS44595, BTS44596 and BTS45186 on POD activity of *Lemna Paucicostata* after 96 h

和 BTS44596 对三叶浮萍体内的 POD 活性有微弱的激活作用,但这种激活作用在处理时间超过 48 h 后或在处理浓度达 $1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时即基本消失。其中 BTS44595 较为特殊,当 BTS44595 的处理浓度 $\leq 1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时仍表现为激活作用,只有浓度达 $10.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时才出现抑制作用。② BTS45186 对 POD 活性均表现为抑制作用,且抑制作用的大小会随着处理时间及浓度的增加而增大。③ Prochloraz 和 Sportak 对三叶浮萍体内的 POD 活性的影响基本相同,Prochloraz 转化为 BTS44595 和 BTS44596 后,后两者对三叶浮萍的 POD 活性影响小于 Prochloraz 的影响,说明 Prochloraz 转化代谢为 BTS44595 和 BTS44596 表现为解毒过程;而 BTS44595 和 BTS44596 转化为 BTS45186 后,BTS45186 对 POD 活性的影响比 BTS44595 和 BTS44596 大得多,说明 BTS44595 和 BTS44596 转化为 BTS45186 为增毒过程。

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1) 本实验选用的三叶浮萍为浮水小草本,广布于我国南方各省区,生长于水稻田、池塘、湖泊等静水水体中,既可作家禽家畜的饲料又可作稻田绿肥,是我国南方水乡“稻-鱼-萍”生态模式中的重要组成成分。因此以三叶浮萍为材料研究咪鲜胺及其主要代谢物的生态环境效应很有代表性;三叶浮萍的个体小,可操作性强,且直接浮于水面 AQ 易从污染水体中快速吸附污染物质,故可十分灵敏地反映出水质状况^[14]。因此,完全可以认为三叶浮萍很适合研究咪鲜胺及其主要代谢物的生态环境效应。

(2) 生物体内保护酶系统具有清除自由基的作用,SOD 和 POD 是细胞内清除活性氧系统中的重要酶,能有效地阻止 O_2^- 和 H_2O_2 在植物体内积累,使细胞内自由基维持在一个低水平,防止细胞受自由基的毒害。POD 作为植物细胞内重要的组成成分,具有许多非常重要的生理功能。由于其成分和结构的复杂性,同功酶的多样性,以及多基因编码特点,造成对其功能的认识尚不全面。迄今已肯定的功能可包括以下几个方面:参与活性氧代谢过程;参与木质素和木栓质的合成;参与生长素的降解^[15]。SOD 是需氧生物中普遍存在的一种含金属的酶,它可以与 POD 协同防御活性氧或其他过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害。植物遭受逆境胁迫或衰老过程中,细胞内活性氧产生与清除的平衡遭到破坏,从而引起自由基的积累

和膜脂过氧化,使膜系统的结构和功能受到损伤,造成植物细胞伤害。SOD 催化反应 $2O_2^{2-} + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$ [16],POD 能催化 H_2O_2 与酚类的反应。SOD 和 POD 的共同作用能把体内具有潜在危害的 O_2^{2-} 和 H_2O_2 转化为无害的 H_2O 和 O_2 ,并能减少 $\cdot OH$ 的形成,从而有效地阻止 O_2^{2-} 和 H_2O_2 在植物体内积累,使细胞内自由基维持在一个低水平,防止细胞受自由基的毒害。

由此可知,正常情况下植物在进行光合作用和呼吸作用时所产生的自由基不会对细胞造成毒害,而咪鲜胺及其主要代谢物的处理使这两种酶的活性比例失调,特别是较高浓度的 Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 使三叶浮萍体内的这两种酶的活性都下降,这意味着对自由基的清除能力大大减弱,丧失对植物膜系统的保护作用,从而使活性氧自由基积累,进而引起膜脂过氧化水平的提高和细胞膜损伤[17-20]。从本实验得到的有关咪鲜胺及其主要代谢物对 SOD、POD 的影响来看,咪鲜胺及其主要代谢物的确对三叶浮萍的正常生长代谢产生影响,从而表现出一系列可见的危害症状。

3.2 结论

(1) Prochloraz 和 Sportak 能对三叶浮萍体内 SOD、POD 含量产生较大的影响,但两者之间差异不大。Prochloraz 在处理早期(一般为 1 d 之内)对三叶浮萍体内上述各指标的影响较大,1 d 之后 Sportak 的影响作用则逐渐加大,甚至超过了 Prochloraz 的毒性作用。这说明 Prochloraz 对三叶浮萍的影响发生早,而其制剂 Sportak 的影响则稍迟一些。

(2) 较低处理浓度的 Prochloraz、Sportak、BTS44595 和 BTS44596 可激活三叶浮萍体内 SOD、POD 的活性,而在较高浓度时则会产生抑制作用,表现出较为明显的“低促高抑”效应,BTS45186 对三叶浮萍体内 SOD、POD 的活性则产生较明显的抑制作用,而且这种抑制作用会随着 BTS45186 的处理浓度的升高而增大。

(3) 综合比较发现:Prochloraz、BTS44595、BTS44596 和 BTS45186 对三叶浮萍体内 SOD、POD 含量的影响情况大致为: $BTS45186 > Prochloraz > BTS44596 > BTS44595$ 。这说明 Prochloraz 转化代谢为初级代谢产物 BTS44595 和 BTS44596 的过程是一个毒性下降的解毒过程,而后者进一步转化为 BTS45186 则是一个毒性上升的增毒过程。

(4) Prochloraz、Sportak、BTS44595、BTS44596 和

BTS45186 对三叶浮萍几种生理生化指标的影响均表现出良好的“浓度(剂量)-时间”效应关系。

参考文献:

- [1] 彭晓春,杨仁斌,郭正元,等.咪鲜胺的残留毒理研究现状[J].世界农药(原农药译丛),2000,22(2):52-55.
- [2] Cravedi J P, Boudry G, Baradat M, et al. Metabolic fate of 2, 4-dichloroaniline, prochloraz and nonylphenol diethoxylate in rainbow trout: a comparative in violin vitro approach[J]. *Aquatic Toxicology*, 2001, 53(3-4):159-172.
- [3] Laignelet L, Riviere J L, Lhugunot J C. Metabolism of an imidazole fungicide (Prochloraz) in the rat after oral administration[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 1992, 30(7):575-583.
- [4] 徐楠,施国新,杜开和,等. Hg、Cd 及其复合污染对浮萍叶片的毒害研究[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 2002, 25(3):109-115.
- [5] 张彤,金洪钧. 用浮萍试验检测 4 种污染物的植物毒性[J]. 中国环境科学, 1995, 15(4):266-271.
- [6] 龚道新,汪传刚,杨仁斌,等. 咪鲜胺及其制剂对三叶浮萍生长的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 12(6):668-671.
- [7] 刘红玉,周朴华,杨仁斌,等. 非离子型表面活性剂 AE 对稀脉浮萍的损伤作用[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(3):224-227.
- [8] 任安芝,高玉葆,刘爽,铬、镉、铅胁迫对青菜叶片几种生理生化指标的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(2):112-116.
- [9] 谢荣,唐学玺,李永祺,等. 三溴磷影响海洋微藻生长机制的初步研究[J]. 环境科学学报, 2000, 20(4):473-477.
- [10] 李兆君,马国瑞,徐建民,等. 植物适应重金属 Cd 胁迫的生理及分子生物学机制[J]. 土壤通报, 2004, 35(2):234-237.
- [11] 辛晓云,马秀东. 氧化塘水生植物净化污水的研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2003, 26(1):85-87.
- [12] 袁均林,黎红梅,祝心德,等. 含磷席夫碱配合物对水稻幼苗 SOD 和 POD 活力影响的研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2002, 36(2):178-179.
- [13] 朱广廉,钟海文,张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京:北京大学出版社, 1990. 51-54.
- [14] 何文,郭正元,贺仲兵,等. 异恶草酮对三叶浮萍的毒性研究[J]. 贵州农业科学, 2006, 34(1):71-72.
- [15] 段云青,王艳. Cd 胁迫对油菜和小白菜苗 POD、PP0 和 SOD 活性的影响[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(1):55-56.
- [16] 田国忠,李怀方,裘维蕃. 植物过氧化物酶研究进展[J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(4):332-344.
- [17] 徐勤松,施国新,杜开和. 镉胁迫对水车前叶片抗氧化酶系统和亚显微结构的影响[J]. 农村生态环境, 2001, 17(2):30-34.
- [18] 何红东. 新型杀菌剂咪鲜胺的合成和应用[J]. 四川化工与腐蚀控制, 2000, 6:23-25.
- [19] 史海水,王少卿,廖祥儒. 植物体中的过氧化物酶体[J]. 生物学通报, 2005, (40):18.
- [20] 刘华,王江,徐向荣,等. 金花养态素 SOD 活性测定方法的研究[J]. 中国公共卫生, 2003, (19):488-489.