

毒死蜱致 2 种作物中可溶性蛋白及相关酶的活性变化

商飞飞^{1,3} 赵学平¹ 吴长兴¹ 吴莉宇¹ 仇厚援² 王强^{1*}

- (1. 浙江省农业科学院 农产品质量标准研究所/浙江省植物有害生物防控重点实验室/
农业部农药残留检测重点实验室,杭州 310021;
2. 海南大学 食品学院,海口 570100;
3. 河南省科学院 同位素研究所有限责任公司/河南省核农学重点实验室,郑州 450015)

摘要 为探讨农药“毒死蜱”与韭菜中解毒代谢酶的关系,本试验以毒死蜱喷施韭菜,研究了不同作用时间韭菜中可溶性蛋白质含量,谷胱甘肽-S-转移酶(GST)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)、酸性磷酸酯酶(ACP)、碱性磷酸酯酶(AKP)活性的变化动态并以小白菜与之对照。结果表明:韭菜和小白菜可溶性蛋白在受到毒死蜱作用时,其蛋白含量变化动态型式基本一致,呈立即升高随后降低又升高的趋势,并分别在 14 和 5 d 恢复到正常水平;GST,GSH-PX 的活性在韭菜中的变化不明显,在小白菜中程上升趋势;正常情况下 2 种蔬菜中 ACP 的活性是 AKP 的 100 倍左右,受胁迫时韭菜两磷酸酯酶变化不大,小白菜的两磷酸酯酶活性在作用后期迅速下降。毒死蜱在小白菜中的作用时间比韭菜短;小白菜的解毒代谢酶活性较韭菜高;小白菜能够更好的保护细胞膜结构并维护自身功能的完整。

关键词 毒死蜱; 韭菜; 小白菜; GST; GSH-PX; ACP; AKP

中图分类号 S 852.74⁺6

文章编号 1007-4333(2013)04-0105-06

文献标志码 A

Effects of chlorpyrifos stress on soluble proteins and some related metabolic enzyme activities in different crops

SHANG Fei-fei^{1,3}, ZHAO Xue-ping¹, WU Chang-xing¹, WU Li-yu¹, QIU Hou-yuan², WANG Qiang^{1*}

- (1. State Key Lab Breeding Base for Zhejiang Sustainable Plant Pest Control, MOA Key Laboratory for Pesticide Residue Detection, Institute of Quality and Standard for Agro-products, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China;
2. College of Food Science of Technology, Hainan university, Haikou 570100, China;
3. Isotope Institute Co., Ltd., Henan Academy of Sciences, Key Laboratory of Nuclear Agriculture of Henan, Zhengzhou 450015, China)

Abstract This paper is concerned the relationships between Chlorpyrifos and detoxification metabolic enzyme in leek. The contents of soluble proteins and activity dynamics of Glutathione-S-transferase (GST), glutathione peroxidase (GSH-PX), acid phosphatase (ACP), and alkaline phosphatase (AKP) was studied in leek at different time, using pakchoi as control. The results showed that 1) the changes of soluble proteins in leek was same as that of pakchoi, at a model of up-down-up following spraying Chlorpyrifos. 2) The contents of soluble proteins increased to the normal levels after 14 and 5 days. 3) The activity of GST and GSH-PX in pakchoi changed more significantly than that in leek. 4) The activity of ACP was usually 100 times as high as that of AKP. Activity of ACP, AKP in leek did not change obviously. However, activity of ACP, AKP in pakchoi reduced significantly in late period. Chlorpyrifos affected pakchoi for a short time. The detoxification enzyme activity in pakchoi was higher than that in leek. Cabbage had higher capacity to protect cell membrane structure and maintain its own function in integrity.

Key words chlorpyrifos; leek; pakchoi; GST; GSH-PX; ACP; AKP

收稿日期: 2012-11-13

基金项目: 农业部农产品质量安全监管专项(2011R19A24C17)

第一作者: 商飞飞, 研究实习员, 硕士, 主要从事农产品质量安全研究, E-mail: shangfeifeif@163.com

通讯作者: 王强, 研究员, 博士, 主要从事农药应用毒理和农产品质量安全研究, E-mail: qiangwang2003@sina.com

毒死蜱(Chlorpyrifos)作为一种有机磷杀虫和杀螨剂,由于其杀虫谱广毒性中等优点逐渐取代了一些高毒农药,因此在农业生产中使用范围越来越广,用量越来越大^[1-2]。韭菜是我国老百姓喜食的一种蔬菜,在蔬菜的农药残留检测过程中它也是检出率和超标率较高的蔬菜之一^[3],其中毒死蜱是韭菜中超标最严重的农药之一,这与人们意识中韭菜农药使用较少的观点有很大不同。

有关农药^[1,4]、盐和臭氧^[5-7]胁迫下对植株抗氧化酶及生理指标的影响研究比较多,张清智^[1]等研究了不同浓度的毒死蜱对小白菜抗氧化酶、MDA(丙二醛)、可溶性糖及Vc含量的影响,结果表明:无论是喷施低或高浓度的毒死蜱对小白菜的抗氧化酶活性都产生较显著的影响,表现为先下降后上升的趋势,MDA也高于对照,可溶性糖和Vc含量则先抑制后逐渐恢复至正常水平。唐红枫等^[4]研究了甲胺磷胁迫下小白菜7d内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)的活性及小分子物质谷胱甘肽(GSH)的活性变化,结果表明:2~6d时SOD、CAT和GSH均高于对照,GSH-PX活性先受到抑制后恢复至正常。Ece Turhan等^[5]研究了盐胁迫下3种不同品种草莓的抗氧化酶活性变化,结果表明:盐胁迫下Tioga品种的CAT活性降低,另2种草莓CAT活性没有变化或略有升高,Camarosa和Tioga 2个品种抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性急剧降低,Chandler品种则直线升高,另外谷胱甘肽还原酶(GR)活性只有Camarosa品种草莓的呈直线上升,得出结论Camarosa和Tioga 2个品种耐盐性高,抗氧化酶活性也较Chandler高。上述皆在研究外界不利因素作用下植物生理的变化和不利因素对环境生态方面的影响^[8],但从外界有毒有害环境胁迫下植物解毒酶和代谢酶活性变化的研究报道尚少。本研究试图通过研究毒死蜱作用韭菜后,韭菜植株体内解毒代谢酶和抗氧化酶在不同作用时间的变化情况,以与韭菜差异很大的小白菜做对照(多年例行监测表明小白菜中毒死蜱农药残留检出率和超标率不高),以期在相同作用剂量和时间的试验条件下,从生理生化层面探索毒死蜱胁迫下不同时间韭菜和小白菜代谢酶和解毒酶及可溶性蛋白的内在生理变化,为进一步深入探讨韭菜解毒代谢酶与农药残留是否存在一定关联提供试验数据,旨在为韭菜质量安全研究提供理论依据,同时也为毒死蜱胁迫下韭菜和小白菜生理生态学方面的研究提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料:韭菜为“杭韭”、小白菜为“早熟五号”,均来源于浙江省农业科学院。

供试农药:480 g/L毒死蜱乳油,由美国陶氏益农公司生产,毒死蜱登记证号为:PD47-87F030417。试验在浙江省农业科学院环境毒理室试验地进行。

仪器:采用北京普析通用仪器有限责任公司紫外可见分光光度计TU-1810测定。

测定试剂盒:可溶性蛋白、GST、GSH-PX、ACP和AKP项目的测定所用试剂均来自南京建成生物科技公司试剂盒。

1.2 方法

1.2.1 韭菜、小白菜的种植

韭菜采用盆栽种植:2010年11月移植韭菜根部于15 cm口径大小的花盆中,选取1年内未施农药的土壤并施一定量的复合肥,适时浇水。

盆栽小白菜种植:采用直播方式种植于盆中。

1.2.2 毒死蜱农药的配制与试验处理

根据毒死蜱在韭菜作物上登记的推荐剂量浓度配制,推荐剂量为1 800 g/hm²。喷药时按600 kg/hm²兑水,配制毒死蜱药液,采用生物测定喷雾塔均匀喷雾。喷药后2 h及1、3、5、7、11和14 d采样,除2 h外其余采样时间均为上午11:00。每次随机采取6盆韭菜样品,取根部3 cm以上部分的韭菜去掉黄叶杂质,装入封口袋,写上标签,放于冰盒用棉布包好样品保持低温状态,供检测使用。对照小白菜采用相同剂量和方式处理。另外,韭菜和小白菜处理组分别设有未处理的空白对照。

1.2.3 韭菜、小白菜待测液的制备

1)缓冲溶液的配制:0.1 mol/L的磷酸缓冲溶液配制方法见参考文献^[9]。

2)待测液的提取:将韭菜样品剪碎混匀,称取3 g左右于50 mL烧杯,加0.1 mol/L pH7.3的磷酸缓冲溶液15 mL 1:5组织9 000~13 000 r/min匀浆,低温离心机温度2 °C,8 000~10 000 r/min离心15 min取上清液即为粗酶液,置于0~4 °C保存,供测定可溶性蛋白含量、GST、GSH-PX、ACP和AKP的活性时使用。小白菜待测液的制备方法同上。

1.3 测定方法与结果计算

1.3.1 韭菜中蛋白含量的测定

采用考马斯亮兰法^[4]进行测定。

1.3.2 酶活性的测定

谷胱甘肽-S 转移酶(GST), 谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione peroxidase, GSH-PX), 酸性磷酸酯酶, 碱性磷酸酯酶 AKP 的测定方法、结果计算, 均参考南京建成生物科技公司试剂盒中提供的方法。

1.3.3 结果计算

将 1.2.2 中不同时间 7 次采得的 7 个韭菜和小白菜样品以及对照按 1.3.1 和 1.3.2 中的方法分别测定其可溶性蛋白的含量、谷胱甘肽-S 转移酶(GST)、谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione peroxidase, GSH-PX)、酸性磷酸酯酶和碱性磷酸酯酶的活性, 每个样品 3 次重复, 最终结果以 3 次测得的平均数和标准差表示。

1.4 统计方法

采用 Excel 2003 进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 毒死蜱对韭菜可溶性蛋白含量的影响

可溶性蛋白是植物机体活性组成的重要部分, 当植物受到外界不利因素侵害时植物的蛋白含量会升高^[4], 调动各种功能抵御不利因素的侵害, 蛋白质的变化一定程度上能够反映毒死蜱作用时间的长短。毒死蜱作用韭菜不同时间可溶性蛋白质含量的变化见图 1。

由图 1(a)可知, 毒死蜱作用韭菜后可溶性蛋白含量总体表现为先升高后降低再升高最后持平的动态型式, 其中药后 2 h 和 1 d 可溶蛋白含量高出对照 9.7%, 并在 14 d 后与对照基本持平, 恢复正常。毒死蜱作用小白菜, 药后 2 h 小白菜蛋白含量明显高于小白菜对照, 含量高出 40.7%, 到 1 和 3 d 时低于对照, 作用 3 d 后蛋白含量逐渐升高并逐渐恢复正常, 用药 5 d 过后基本与对照持平略低于对照。

蛋白质含量的升高说明作物受到毒死蜱胁迫时产生应激响应的过程, 在 2 h 时两植株应急反应均最明显, 其中小白菜反应程度要高于韭菜; 在药后 1 d 时, 小白菜应激反应已不明显, 但韭菜仍处于胁迫状态, 直至 3 d 时毒死蜱对韭菜的胁迫作用才基本停止; 在 5 d 时小白菜已经恢复正常, 韭菜才慢慢开始恢复, 直至 14 d 才趋于正常。

总体说明毒死蜱在小白菜植株中作用时间较短, 在韭菜中作用时间较长。

2.2 毒死蜱对谷胱甘肽-S-转移酶(GST)的影响

植物 GST 的主要功能在于解除外界毒素以及内源有毒代谢物的侵害, 是植物中的解毒酶、代谢

酶。毒死蜱作用韭菜小白菜后不同时间 GST 活性变化结果见图 1(b)。

由图 1(b)可知, 毒死蜱胁迫下韭菜中 GST 活性在韭菜植株中呈现先下降再持平, 再下降再恢复平稳的过程, 药后 2 h 和 1 d GST 活力明显低于对照, 其中 2 h GST 的活力低于对照 15.9%, 药后 3 d GST 活力与对照基本持平略高于对照, 药后 5~11 d GST 的活力又低于对照其中药后 7 d GST 的活力低于对照 23%, 通过单因素方差分析, 7 d 的 GST 活性与对照差异不显著(F 值为 2.36, 小于 $F_{0.05}$ 的阈值 7.71), 药后 11 d, GST 活性基本恢复到对照水平, 这可能是因为毒死蜱作用韭菜初期抑制了 GST 的活性, 在毒死蜱的胁迫诱导下, 为了解除外部毒素 GST 活性有所提高, 随农药的降解韭菜中 GST 活性慢慢恢复正常。

毒死蜱作用小白菜在 2 h 及 1 和 3 d 时 GST 活力明显低于小白菜的 CK, 但呈上升趋势, 另外对照与处理组活性同时升高, 可能与外部气温升高有关; 5 d 时略低于对照, 在药后 7 d 时明显高于对照组, 这可能是因为毒死蜱的胁迫下小白菜为解除外界毒素大大提高了 GST 活性, 7 d 后 GST 活力开始下降, 14 d 处理组小白菜 GST 活性逐渐与对照持平。

毒死蜱作用 2 种作物总体说明当受到毒死蜱影响时, 小白菜的 GST 活性在不断增强, 而韭菜的 GST 活性则受到了抑制多数时段低于对照组。

2.3 毒死蜱对谷胱甘肽过氧化物酶的影响

谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)是植物体内清除活性氧的保护酶类^[10], 是逆境胁迫下的保护酶。GSH-PX 作为抗氧化酶有辅助代谢酶增加代谢的功能, 是逆境环境下的重要酶。毒死蜱作用韭菜和小白菜后不同时间 GSH-PX 的活性变化结果见图 1(c)。

由图 1(c)可知, 毒死蜱作用韭菜后, 韭菜中 GSH-PX 活性呈先降低再升高再逐渐恢复到对照水平但略低于对照的动态过程, 其中药后 2 h, GSH-PX 活性就开始降低, 药后 1 d GST 活性降到最低, 低于对照 43.4%, 说明毒死蜱胁迫下韭菜 GSH-PX 活性降低, 3~5 d 基本恢复到对照水平, 5 d 过后 GSH-PX 的活性又低于对照水平但趋于稳定, 这可能是因为 GSH-PX 经过一段时间的胁迫需要慢慢恢复。

毒死蜱作用小白菜后 GSH-PX 也呈先降低后升高再趋于对照的情况, 药后 0~2 h, GSH-PX 的活性迅速降低, 2 h~1 d 小白菜 GSH-PX 的活性迅

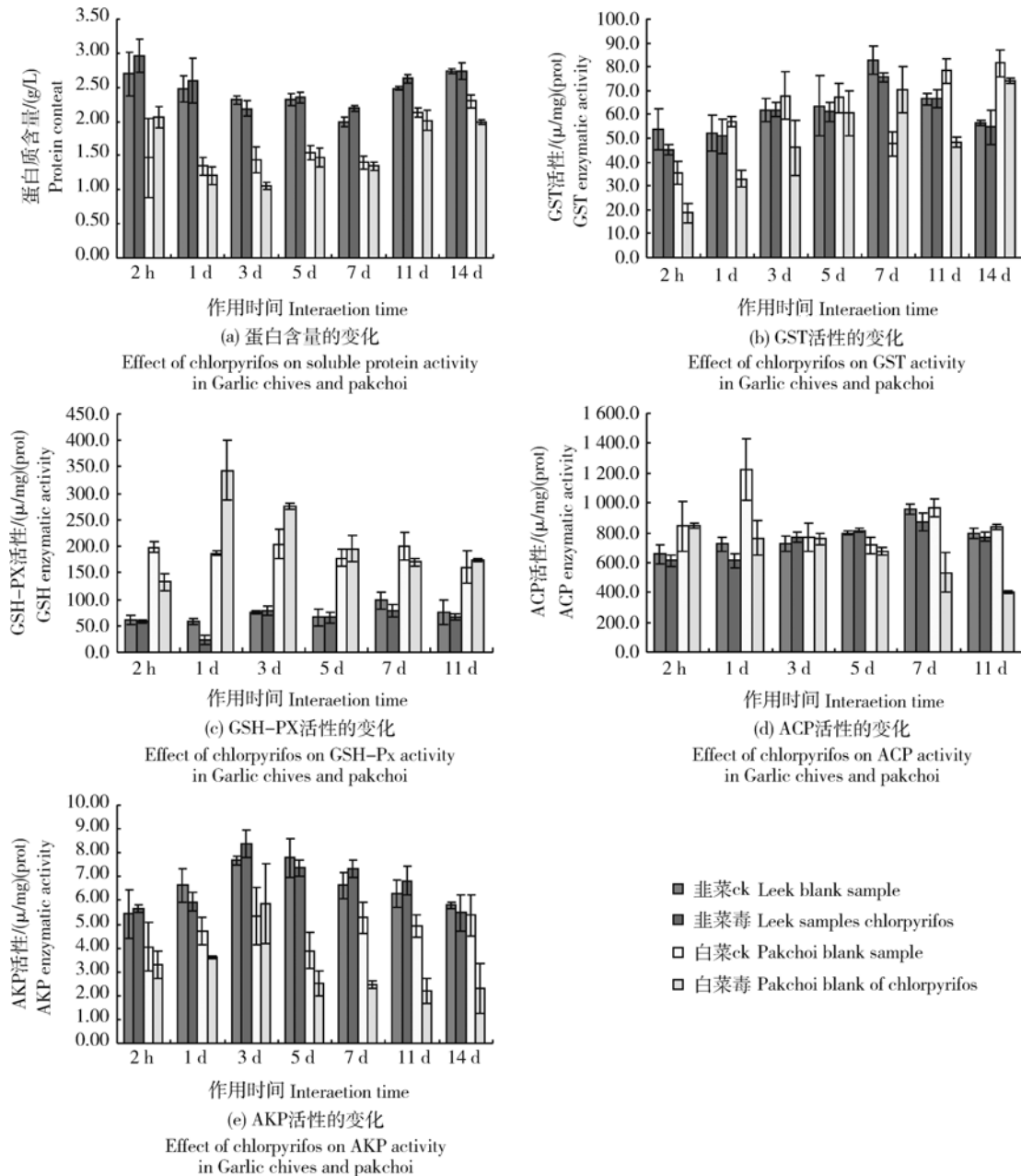


图1 毒死蜱作用韭菜和小白菜不同时间其可溶性蛋白、GST、GSH-PX、ACP、AKP酶活性变化

Fig. 1 Effect of chlorpyrifos on Soluble protein, GST, GSH-PX, ACP, AKP activity in Garlic chives and pakchoi

速提高,药后1 d GSH-PX的活性是对照的1.8倍,单因素方差分析差异达到极显著(F 值为137.9,大于 $F_{0.01}$ 的阈值21.2),药后1~7 d才逐渐恢复至对照水平。

总的说明,正常情况下小白菜的GSH-PX活性是韭菜的2~4倍,在受到毒死蜱胁迫时小白菜的GSH-PX明显升高,而韭菜的GSH-PX活力则长时间处于低于对照的水平,变化不显著。

2.4 毒死蜱对酸性磷酸酯酶的影响

磷酸酯酶是昆虫体内重要的解毒酶系之一在对

有机磷化合物的解毒作用中起重要的作用^[11]。酸性磷酸酯酶是一组在酸性条件下水解各种磷酸单酯的酶广泛分布于动物、微生物和植物中^[12]。最早从米糠中发现有生物活性,它可在临床诊断、环境保护、饲料和生物试剂等领域有利用价值,试途探讨毒死蜱胁迫对磷酸酯酶的影响。毒死蜱作用韭菜和小白菜不同时间ACP的变化结果见图1(d)。

由图1(d)可知,毒死蜱作用韭菜,药后韭菜中ACP的活性呈先降低再升高再降低最后趋于对照水平的动态过程,其中药后2 h和1 d ACP的活性

分别比对照低 6.9% 和 15.6%, 药后 3 和 5 d 高于对照, 药后 7 d AKP 活力又低于对照 9.3%, 7 d 后逐渐恢复正常水平。

毒死蜱作用小白菜, 药后 2 h ACP 在小白菜植株内没有什么变化, 药后 1 d ACP 活性明显低于对照, 比对照低了 37.5%, 药后 1~3 d ACP 活性逐渐增高, 并在 3 d 时略高于对照, 直至 5 d 时 ACP 的活性又开始显著降低, 其中 7 和 11 d ACP 的活性分别比对照低了 44.8% 和 51.8%, 并 ACP 活性长期处于较低的水平, 通过单因素方差分析 1、7 和 11 d 处理组与对照差异极显著。

总的说明韭菜在受到毒死蜱侵害时 ACP 活性呈先上升再下降的趋势, 但上升的幅度不大; 小白菜在受到毒死蜱侵害时 ACP 立即下降, 作用后期明显低于韭菜的活性恢复到正常水平需很长时间。

2.5 毒死蜱对碱性磷酸酯酶的影响

碱性磷酸酯酶是一种非特异性磷酸单酯酶能催化磷酸单酯的水解反应产生无机磷酸和相应的醇、酚或糖, 也能催化磷酸基团的转移反应^[13-14], 也是解毒酶的一种。毒死蜱作用韭菜小白菜不同时间 AKP 的变化结果见图 1(e)。

由图 1(e) 可知, 韭菜中 AKP 活性在作用时间内呈先上升后缓慢下降逐渐恢复至正常水平的过程, 药后 1 d AKP 活性略低于对照, 药后 3~11 d AKP 活性高于对照水平, 14 d 基本恢复到正常水平。

毒死蜱作用小白菜, 小白菜中 AKP 的活性在 0~1 d 低于对照, 3 d 时略高于对照, 3 d 后 AKP 的活性开始迅速降低, 5 d 后趋于稳定但一直处于较低的水平。

总的说明, 正常情况下小白菜中 AKP 的活性没有韭菜中的高, 当受到毒死蜱的侵害时韭菜中的 AKP 活性长时间高于对照组, 小白菜中的 AKP 受到了抑制只有 3 d 时略高于对照, 很长时间则处于较低的活性状态。

3 讨论

植物在受到外界有毒有害物质胁迫时, 酶系统的平衡会被打破, 植物会调动体内的各种酶活性, 也有非酶促反应体系随即参与代谢反应抵御侵害。在植物中有解毒作用的酶主要有 3 种, 谷胱甘肽-S 转移酶、磷酸酯酶和多功能氧化酶。本研究主要对谷胱甘肽-S 转移酶、磷酸酯酶, 以及有辅助作用的谷胱甘肽过氧化物酶和可溶性蛋白与毒死蜱的作用关系。

可溶性蛋白是植物机体活性组成的重要部分,

当植物受到外界不利因素入侵时植物的蛋白含量会升高^[4]产生应激反应, 通过调动抗氧化酶、解毒酶、代谢酶以及功能因子的活性排除自由基, 代谢掉毒素从而抵御不利因素的侵害, 蛋白质含量的升高可以认为植物受到外界毒物的胁迫。在药后 2 h, 2 种蔬菜蛋白含量明显升高且小白菜的升高幅度大于韭菜, 说明当毒死蜱同时作用韭菜小白菜时, 小白菜更敏感; 到 1 d 时小白菜的蛋白含量基本恢复到对照水平, 韭菜的含量仍高于对照, 5 d 后趋于对照, 可以看出韭菜受毒死蜱胁迫的时间长于小白菜。2 种蔬菜蛋白含量均呈现先升高再降低再趋于对照的变化过程, 唐红枫等研究甲胺磷作用小白菜其可溶性蛋白成先降低再升高再趋于对照的变化动态且 4 d 时达到最大值(2.5 g/L)高于毒死蜱处理小白菜 2 h 时的最大值 2.0 g/L, 在 1 d 后甲胺磷与毒死蜱胁迫下蛋白含量的变化动态基本一致^[4]。

农药喷施作物能够杀死害虫, 随着喷施的次数增多害虫能够产生一定的抗药性其主要原因就是虫体自身为抵抗外界不利因素的侵害产生了一系列能够解除毒素的酶类和物质从而保护自身的安全。在动物体内 GST 具有消除体内过氧化物及解毒双重功能^[15]。植物 GST 的主要功能在于解除外界毒素以及内源有毒代谢物的侵害^[16], 能催化还原型谷胱甘肽(GSH)的巯基与多种亲电和亲脂底物的结合生成水溶性的产物^[17], 这些产物可被谷胱甘肽泵识别并进行跨膜运输^[15,18], 送到液泡中从而降低底物的毒性, 解除内外源毒物对植株组织的侵害, 毒死蜱作为外源毒物对韭菜产生胁迫伤害。本文的研究结果表明当受到毒死蜱胁迫时小白菜的 GST 活性虽然在作用初期低于韭菜, 但一直处于上升的趋势后期又高于韭菜, 7 d 时活性高出对照, 而韭菜的活性变化则不明显一直受到抑制, 可以说明在毒死蜱同时作用韭菜小白菜时小白菜 GST 活性增加幅度显著高于韭菜, 可能存在两方面的原因: 一是韭菜 GST 酶对毒死蜱不敏感, 第二方面可能的原因就是小白菜的 GST 对毒死蜱有一定的降解作用, 有待深入探究。Shimabukuro 等^[19]就在 1970 年从玉米中发现 GST, 此酶催化氯-S-三嗪阿特拉津与还原型谷胱甘肽(GSH)结合, 可保护作物免受氯-S-三嗪阿特拉津除草剂的损害。本试验在研究毒死蜱作用韭菜小白菜后其解毒代谢酶的变化动态情况, 初步掌握了韭菜解毒代谢酶与毒死蜱的关联以期为后期探索解毒代谢酶与毒死蜱底物专一反应做了铺垫。

GST 在谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活力

低的条件下,只有清除体内脂质过氧化的功能,

因此也对两种蔬菜的谷胱甘肽过氧化物酶进行探究。谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)和SOD是植物体内清除活性氧的保护酶类^[11,20],POD是植物体内清除过氧化氢的保护酶,三者均为植物适应多种逆境胁迫的重要保护酶类^[17]。在研究过程中发现,小白菜正常状态下GSH-PX的活性是韭菜的2~4倍,当受到毒死蜱侵害时小白菜的GSH-PX活性迅速升高而韭菜中GSH-PX活性变化不明显并且在药后1d时反而明显受到抑制,可以认为2种植株同时受到毒死蜱胁迫时小白菜能够更好的保护细胞膜结构并维护自身功能的完整。本试验结果表明韭菜中GSH-PX的活性在用药前后均较低有可能会影响韭菜中GST的作用。

磷酸酯酶是动物体内重要的解毒酶类^[21],有研究表明在植物米糠中有生物活性,本研究表明酸性磷酸酯酶、碱性磷酸酯酶在小白菜作用5d后开始显著低于对照,可能是由于毒死蜱的降解对小白菜胁迫作用减轻,加上作用初期酶与底物的反应使得底物的量减少,需经过一段时间的恢复两磷酸酯酶的活性才能回到正常水平,而韭菜在受到毒死蜱胁迫后活性基本没有变化。

4 结 论

毒死蜱分别作用韭菜、小白菜后可溶性蛋白含量总体表现为先升高后降低再升高最后恢复至正常水平的动态型式,其中在韭菜中14d恢复正常,在小白菜中5d就恢复正常,表明当2种植株同时受到毒死蜱胁迫时,小白菜应急响应时间较短,而韭菜的应急响应时间则较长。

谷胱甘肽-S-转移酶(GST)作为解毒酶在小白菜体内呈不断上升趋势,在韭菜体内低于其空白且变化不大,因此小白菜对毒死蜱的解毒能力高于韭菜;谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)在生物体内催化还原性谷胱甘肽(GSH)对过氧化氢的还原反应,起到保护细胞膜结构和功能完整的作用,对解毒过程有辅助作用且小白菜中的活性高于韭菜2~4倍,当两植株同时受到毒死蜱胁迫时,小白菜能够更好的保护细胞膜结构并维护自身功能的完整。

正常情况下两种蔬菜中ACP的活性是AKP的100倍左右,韭菜、小白菜中的ACP、AKP活性在毒死蜱作用后均受到一定的抑制,韭菜的活性变化不明显,在作用后期小白菜的活性更低需要一段时间恢复至正常水平。

参 考 文 献

- [1] 张清智,陈振德,王文娇,等. 毒死蜱胁迫对小白菜抗氧化酶活性和相关生理指标的影响[J]. 生态学报,2008,28(9):4524-4530
- [2] 刘红玉,陈振德,汪东风,等. 高铁酸钾去除菠菜中有机磷农药残留[J]. 食品科学,2009,30(17):56-59
- [3] 郭帅,邵丽华,李静涛,等. 蔬菜中有机磷农药残留情况的调查[J]. 环境与健康杂志,2008,25(9):803-806
- [4] 唐红枫,生秀梅,熊丽,等. 有机磷农药对小白菜中可溶性蛋白质及SOD、Mg²⁺-ATPase、Ca²⁺-ATPase和CAT的影响[J]. 华中师范大学学报:自然科学版,2006,40(1):82-85
- [5] Ece Turhan Hatice Gulen Atilla Eris. The activity of antioxidative enzymes in three strawberry cultivars related to salt-stress tolerance[J]. Acta Physiol Plant,2008,30:201-208
- [6] 赵天宏,金东艳,王岩,等. 臭氧胁迫对大豆酚类化合物含量和抗氧化能力的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(4):708-715
- [7] 李彦,史衍玺,张英鹏. 盐胁迫条件下晒对小白菜抗氧化活性及膜脂过氧化作用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(4):749-753
- [8] 王红星,纪秀娥,陈晓君,等. 水杨酸对废电池胁迫下绿豆幼苗抗氧化酶活性及生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,30(3):429-434
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000
- [10] 薛瑞玲,梁东丽,吴雄平. 亚硒酸钠和硒酸钠对小白菜生长生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2010,30(5):0974-0980
- [11] 马志卿,韩秀玲,冯俊涛,等. 松油烯-4-醇对粘虫几种代谢酶及酚氧化酶的影响[J]. 中国农业科学,2008,41(2):437-442
- [12] 郭振飞,徐昌杰,卢少云,等. 水稻叶片酸性磷酸酯酶活性及其部分特性[J]. 热带亚热带植物学报,1994,2(1):51-57
- [13] 王秋颖. 碱性磷酸酶特性及其应用的研究进展[J]. 中国畜牧兽医,2011,38(1):157-160
- [14] Du Jing-chuan, Jing Dan-long, Chen Fa-ju. 6 kinds of isozymes after long-term subculture of *emmenopterys henryi* oliv [J]. Agricultural Science & Technology, 2010, 11(5): 22- 27
- [15] MARRS KA. The functions and regulation of glutathione S-transferases in plants [J]. Annu Rev Plant Physiol Plant MolBiol, 1996, 47: 127-158
- [16] 胡延章,周大祥,罗凯. 植物谷胱甘肽转移酶的结构与功能及其基因表达[J]. 植物生理学通讯,2007,43(1):195-200
- [17] Robert Edwards, David P. Dixon and virginia walbot1plant glutathione S-transferases:enzymes with multiple functions in sickness and in health[J]. Trends in Plant Science,2000,5(5):193-1981
- [18] 张永国,亢晋勇. 谷胱甘肽硫转移酶的生理功能述评[J]. 忻州师范学院学报,2006,22(3):125-128
- [19] Shimabukuro R H, Swanson H R, Walsh W C. Glutathione conjugation atrazine detoxication mechanism in cron[J]. Plant Physiology,1970,46(1):103-107
- [20] 侯少范,薛泰麟,谭见安. 高等植物中的谷胱甘肽过氧化物酶及其功能[J]. 科学通报,1994,39(6):553-556
- [21] 尚利娜,袁海滨,魏春艳,等. 猪毛蒿精油对玉米象体内4种解毒酶活性的抑制[J]. 东北师大学报:自然科学版,2010,42(4):116-120

责任编辑:王燕华