

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

张清智^{1,2}, 陈振德^{2,*}, 王文娇², 刘红玉³

(1. 青岛农业大学园艺学院, 山东青岛 266109; 2. 青岛市农业科学研究院, 山东青岛 266100;

3 中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东青岛 266003)

摘要:以小白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis* (L.) Makino var. *communis* Tsen et Lee)为试材,研究了不同浓度毒死蜱对大棚栽培条件下小白菜抗氧化酶活性、MDA、脯氨酸、可溶性糖以及 Vc 含量的影响。结果表明,无论是喷施低浓度还是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。从喷药后第 5 天开始,毒死蜱胁迫使小白菜 SOD、POD、CAT 的活性均比对照有所提高,其中以 SOD 活性提高最大,直到第 21 天时,上述 3 种抗氧化酶的活性才基本恢复到对照水平。毒死蜱胁迫导致 MDA 含量增加,特别是喷施高浓度的毒死蜱加剧了 MDA 含量的增加,说明毒死蜱胁迫促进了小白菜的膜脂过氧化作用。毒死蜱胁迫可使脯氨酸含量在第 3 天和第 5 天比对照有所上升,到第 7 天时脯氨酸含量恢复到对照水平。毒死蜱胁迫对小白菜中可溶性糖和 Vc 含量产生了一定的影响,在胁迫初期降低了可溶性糖和 Vc 的含量,在胁迫后期其含量上升并恢复到对照水平。研究结果表明,植物体在受到农药胁迫后需要有一个较长的时间才能修复因农药对植物体本身造成的伤害。

关键词:小白菜;毒死蜱;生理指标;抗氧化酶;丙二醛;脯氨酸

文章编号:1000-0933(2008)09-4524-07 中图分类号:Q142, Q945, Q948, X171 文献标识码:A

Effects of chlorpyrifos stress on antioxidant enzyme activities and some related compound contents in pakchoi

ZHANG Qing-Zhi^{1,2}, CHEN Zhen-De^{2,*}, WANG Wen-Jiao², LIU Hong-Yu³

1 College of Horticulture, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong, China

2 Qingdao Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266100, Shandong, China

3 College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, Shandong, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4524 ~ 4530.

Abstract: Effects of different concentration of chlorpyrifos on antioxidant enzyme (SOD, POD, CAT) activities, malondialdehyde (MDA), proline (Pro), soluble sugar, and deoxidization Vc contents in pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis* Makino var. *communis* Tsen et Lee) seedlings were investigated under greenhouse conditions. The results showed that the antioxidant enzyme activities were significantly influenced with both low and high concentration of chlorpyrifos sprayed on the pakchoi seedlings. Most of these antioxidant enzyme activities showed to decline firstly and then to rise. Five days after treatment, the chlorpyrifos stress significantly increased the activities of SOD, POD, CAT in pakchoi, comparing with the control. Among of them SOD's activity showed the highest level. Until 21d after the

基金项目: 青岛市自然科学基金资助项目(06-2-2-16-jch)

收稿日期: 2008-03-11; 修订日期: 2008-06-30

作者简介: 张清智(1980~), 男, 山东德州人, 硕士生, 主要从事蔬菜生理与农药残留研究. E-mail: zhangqingzhi2000@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail qdczd@tom.com

Foundation item: The project was financially supported by Qingdao Natural Science Fund (No. 06-2-2-16-jch)

Received date: 2008-03-11; **Accepted date:** 2008-06-30

Biography: ZHANG Qing-Zhi, Master candidate, mainly engaged in vegetable physiology and pesticide residues. E-mail: zhangqingzhi2000@163.com

treatments, the activities of SOD, POD, CAT reinstated to the control level. The MDA content was increased under chlorpyrifos stress, especially when spraying high concentration of chlorpyrifos, it was suggested that chlorpyrifos stress promote the lipid peroxidation. And the content of Pro was also increased in 3d, 5d after the treatments. On the 7th d, Pro content reached to the control level, while. The contents of soluble sugar and deoxidization Vc were reduced in the early stage of the stress, and then rised to the control level. It was concluded that a long time was needed for the plants to recover from the pesticide stress.

Key Words: pakchoi; chlorpyrifos; physiological index; antioxidative enzyme; MDA; proline

随着化学工业的发展,农药在防治作物病虫害、减少作物产量损失方面起了很重要的作用。但农药的不合理使用或过量使用对农产品、土壤、水体等带来了污染。化学农药的过量使用会对作物造成药害,轻者减产,重者可使作物死亡。农药过量使用以及使用后产生的 3R 问题(残留、害虫抗性、害虫在猖獗)开始引起了人们的足够重视。毒死蜱(Chlorpyrifos)作为一种有机磷杀虫、杀螨剂,它无内吸作用,具有一定内渗作用,杀虫谱广,适用于水稻、小麦、棉花、果树、蔬菜、茶树上多种咀嚼式和刺吸式口器害虫的防治。尤其是随着高效高毒农药(如甲胺磷、水胺硫磷等)的禁用,毒死蜱逐渐代替高效高毒的农药,使用范围越来越广,用量越来越大。药剂在常量使用下,农药对病虫害的发生有防治作用,表面上对作物没有造成药害,但其生理生化指标却发生着明显的变化^[1]。有关农药对作物的影响,国内外有少数报道^[2~5]。有研究表明,农药对水稻和褐飞虱(*Nilaparvata lugens*)具有双向效应,即在一些农药使用后导致水稻的抗虫性下降,褐飞虱取食农药处理过的水稻繁殖倍数增加^[2]。有机磷农药对大麦种子萌发和根伸长有一定的抑制作用^[6]。井冈霉素等对农作物本身产生消极的影响^[7],喷施乐果可促使菠菜叶片中 POD、CAT 活性增强以及 MDA 含量明显增加^[8];不同浓度的毒死蜱、对硫磷灌根后,对大蒜中大蒜素的含量有明显的负剂量效应的关系^[9]。毒死蜱的过量使用会导致植物体内 POD 活性、MDA 含量和脯氨酸含量增加^[10]。此外,有机磷农药的使用会导致蔬菜中活性氧的含量发生很大的变化,导致蔬菜细胞膜过氧化产生生物损伤。活性氧是由于 O₂ 连续的单电子还原而产生一系列毒性中间物,包括 O₂⁻、H₂O₂ 和 ·OH,其中 O₂⁻ 可以通过细胞膜的阴离子通道,与一些生物分子直接反应;H₂O₂ 是一个分子,可以扩散较远的距离,作用时间更长,可长期存在于细胞中并穿过细胞膜,因此伤害更大。·OH 的氧化能力更强,一旦产生,就立刻与碰到的任何分子发生反应,其后自身消失,不需要任何专门的酶来消除它^[11]。上述报道大多是对喷施农药后植物的生理生化发生的变化作了一些研究,但对喷施农药后植物的生理生化指标何时能够恢复正常水平尚未做进一步探讨。

本试验通过研究春季大棚中小白菜在喷施毒死蜱后其生理生化发生了怎样的变化,并进一步探讨其生理生化指标何时能够恢复正常,并对喷施毒死蜱是否会对小白菜的营养品质产生影响做了进一步的分析,以期毒死蜱在小白菜上的正确使用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验在青岛市农业科学研究院综合试验场大棚中进行。供试小白菜品种为苏州青。供试农药为 40% 毒死蜱乳油,由惠州市中迅化工有限公司生产。

1.2 处理方法

试验采用单因素随机区组设计,小区面积 1.0m × 3.3m。2007 年 6 月 11 日播种,2007 年 7 月 3 日喷药。试验设 3 个处理,即处理 1 为喷清水(对照),处理 2 为喷施低浓度 40% 毒死蜱乳油(推荐用量,2000 倍),处理 3 为喷施高浓度 40% 毒死蜱乳油(加倍用量,1000 倍)。每处理重复 3 次。喷药时将 40% 毒死蜱乳油用水分别稀释成 2000 倍和 1000 倍,用手提式喷雾器喷洒均匀。喷药后第 0、1、3、5、7、14、21 天取样,其中第 0 天喷药后 4h 取样,其余均在 8:00 取样。每个试验小区按 5 点取样法取样,取第 3 片展开叶测定 SOD、POD、

CAT、MDA、脯氨酸;取整株测定可溶性糖、Vc 含量和农药残留量。

1.3 测定方法

称取小白菜叶片 0.5g 放入研钵中,加 5ml pH = 7.8 (0.05mol/L) 的磷酸缓冲液(含 1% 的 PVP),冰浴研磨,匀浆倒入离心管中,4℃ 离心 10min ($12000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$),上清液即为酶提液。置于 0~4℃ 下保存待用。SOD 活性的测定采用氮蓝四唑法测定,NBT 光还原 50% 为单位,测定 560nm 下 OD 值。蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 法,测定 595nm 下 OD 值。POD 活性的测定采用愈创木酚法,以每分钟内 A_{470} 变化 0.01 为 1 个酶活性单位。CAT 活性的测定采用紫外吸收法,以每分钟内 A_{240} 变化 0.1 为 1 个酶活性单位^[12]。MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸法,测定 600nm、532nm、450nm 下 OD 值^[13]。

脯氨酸含量的测定采用磺基水杨酸法,测定 520nm 下 OD 值^[14]。

可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法,测定 620nm 下 OD 值^[14]。

Vc 含量的测定采用比色法,测定 705nm 下 OD 值^[14]。

以上各种指标测定均用 Cary 50 型分光光度计(美国瓦立安)比色测定。

农药残留检测采用气相色谱法,遵照 GB/T 5009.145-2003《植物性食品中有机磷和氨基甲酸酯类农药多种残留的测定》^[15],具体过程如下:

①样品前处理 用电子天平称取粉碎均浆小白菜样品 10 g,置入 100 ml 离心管,加丙酮 20 ml,然后置于超声波清洗器中超声 15 min, $3600 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 5 min 后将上清液倒入分液漏斗,并用少量丙酮冲洗残留样品,合并丙酮液。用 30、15、15 ml 二氯甲烷萃取 3 次,转移至烧瓶中(无水硫酸钠脱水),然后用 N_2 吹至近干,用丙酮定容至 10 ml,待测。

②仪器条件 Varian GC 3800 气相色谱仪(NPD);进样口温度 230℃,检测器温度 300℃;载气为高纯 N_2 (99.999%),恒流 $1.5 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$;色谱柱为 HP-1 (30 m × 0.53 mm × 0.88 μm) 石英毛细柱,程序升温测定,在 80℃ 保持 1 min,以 $15^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的升温速率升到 170℃ 保持 1 min,然后以 $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升到 235℃ 保持 5 min。

1.4 统计方法

采用 Excel、DPS2000 进行数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 毒死蜱对小白菜抗氧化酶活性的影响

超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)是 1969 年由 McCord 和 Fridovich 发现的,它的直接作用是能使 O_2^- 变成 O_2 和 H_2O_2 。后者虽不是自由基,但仍属于活性氧,还需要清除。

由图 1 可知,药后第 0 天(药后 4h),喷药处理的 SOD 活性比对照略高;药后第 1 天和第 3 天,喷施低浓度和高浓度毒死蜱处理的小白菜中 SOD 活性均比对照低,差异达到极显著水平,特别是第 3 天,低浓度和高浓度的 SOD 活性分别比对照降低 43.79% 和 51.01%,其中喷施高浓度毒死蜱的 SOD 活性比低浓度的 SOD 活性明显降低。从药后第 5 天到第 14 天,喷施低浓度和高浓度毒死蜱小白菜中 SOD 的活性反而比对照高,特别是第 14 天,低浓度和高浓度的 SOD 活性分别比对照增加 298.60% 和 371.68%。药后第 21 天,SOD 活性基本恢复到对照水平。这可能是由于喷药初期毒死蜱抑制了 SOD 的活性,随着胁迫的减轻 SOD 的活性逐渐恢复并升高,到胁迫后期,SOD 活性才恢复到对照水平。

过氧化氢酶(catalase, CAT)是清除过氧化氢的重要酶类,它催化 H_2O_2 分解为 H_2O 和 O_2 。它与 SOD、POD 等协同作用,有效地清除体内的活性氧。CAT 专一作用于 H_2O_2 ,但反应的 K_m 较大,所以只能在 H_2O_2 浓

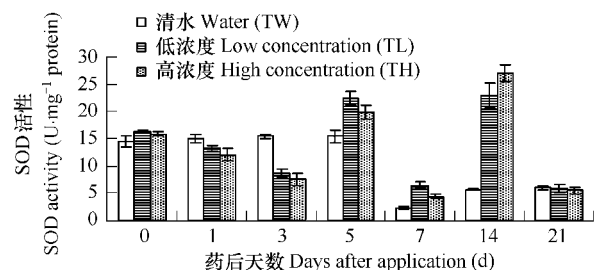


图 1 毒死蜱对小白菜 SOD 活性的影响

Fig. 1 Effect of chlorpyrifos on SOD activity in pakchoi

度或酶活性较高时发挥作用。

喷药第 0 天(药后 4h),喷施低浓度和高浓度毒死蜱的 CAT 活性分别比对照低 24.66% 和 26.11%, 差异达到极显著水平(图 2)。这说明小白菜吸收毒死蜱后抑制了 CAT 的活性。药后第 1 天,喷药处理的 CAT 活性开始升高,并比对照略有提高。药后第 3 天到第 14 天,喷施低浓度和高浓度的 CAT 活性均比对照高,至药后第 14 天时,喷施低浓度和高浓度毒死蜱的 CAT 活性分别比对照高 33.80% 和 14.00%。这可能是由于毒死蜱刺激产生了较多的 H_2O_2 ,而高浓度的 H_2O_2 又诱导了 CAT 活性的升高。到第 21 天时,喷施低浓度和高浓度毒死蜱的 CAT 活性与对照的 CAT 活性基本一致,这说明毒死蜱胁迫对小白菜 CAT 活性的影响基本消除。

过氧化物酶(peroxidase, POD)是一族能利用 H_2O_2 氧化供氢体的氧化还原酶,它与植物的生长、发育、抗病性、衰老、抗寒、抗早有密切关系。

喷药后第 0 天(药后 4h),喷施低浓度和高浓度毒死蜱的 POD 活性均比对照有明显降低,分别比对照降低了 40.75% 和 27.74%, 差异达到极显著水平,这与毒死蜱对 CAT 活性的影响是相似的。药后第 1 天到第 3 天,喷施毒死蜱的两个处理 POD 活性均有所上升,到第 3 天时,基本处于同一水平(图 3)。第 5 天到第 14 天,高浓度的 POD 活性明显比对照和低浓度的高,差异达到极显著水平。药后第 7 天到药后第 14 天,喷施低浓度的 POD 活性和对照的基本相近,而喷施高浓度的 POD 活性到第 21 天时才与对照相当。从图 2 和图 3 可以看出,毒死蜱对小白菜中 POD 的影响趋势与 CAT 基本相同。

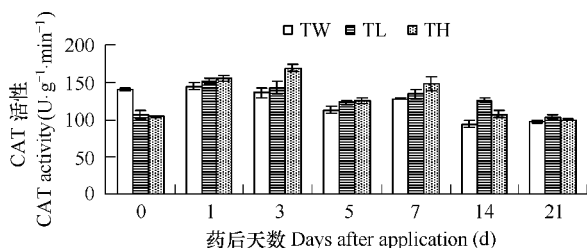


图 2 毒死蜱对小白菜 CAT 活性的影响

Fig. 2 Effect of chlorpyrifos on CAT activity in pakchoi



图 3 毒死蜱对小白菜 POD 活性的影响

Fig. 3 Effect of chlorpyrifos on POD activity in pakchoi

2.2 毒死蜱对 MDA 含量的影响

丙二醛(malondialdehyde, MDA)是膜脂过氧化作用的产物,MDA 的积累对细胞膜和细胞造成进一步的伤害。

药后第 0 天(药后 4h),高浓度和低浓度的 MDA 含量均比对照高,差异不显著。药后第 1 天,低浓度和高浓度的 MDA 含量分别比对照高出 18.36% 和 34.67%, 差异达到极显著水平(图 4)。药后第 3 天到第 14 天,喷施毒死蜱小白菜中的 MDA 含量均比对照明显增加,且 MDA 含量随着毒死蜱浓度的增加而增加,这充分说明喷施毒死蜱确实对小白菜造成了伤害,加剧了膜质过氧化的发生。到第 21 天,上述变化趋势才逐渐缩小,喷药处理和对照的 MDA 含量差异不显著,这说明喷施毒死蜱对小白菜造成的伤害才逐渐趋于恢复。

2.3 毒死蜱对脯氨酸的影响

脯氨酸(proline, Pro)在抗逆中的作用主要有两点:一是作为渗透调节物质,用于保持细胞质与环境的渗透平衡,防止水分散失;二是保持膜结构的完整性。

由图 5 可以看出,药后第 0 天和第 1 天,脯氨酸含量基本没有变化。药后第 3 天,喷药处理的脯氨酸含量明显高于对照,差异达到极显著水平。药后第 5 天,喷施高浓度的脯氨酸含量比对照增加了 57.71%,而喷施低浓度的脯氨酸含量仅比对照增加了 17.01%。从药后第 7 天开始,喷药处理的脯氨酸含量和对照的差异逐渐缩小,基本处于同一水平。

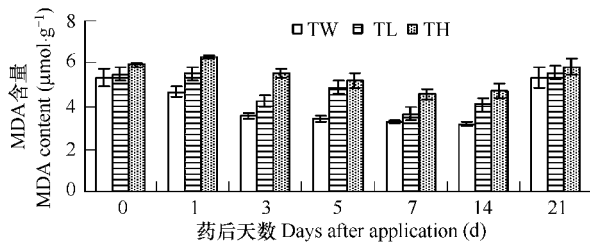


图4 毒死蜱对MDA含量的影响

Fig. 4 Effect of chlorpyrifos on MDA content in pakchoi

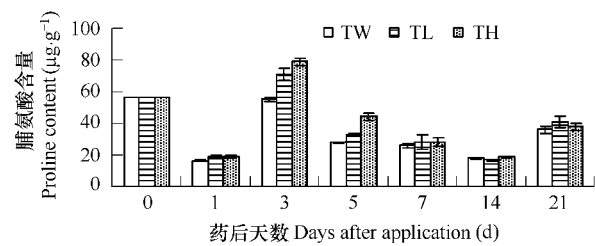


图5 毒死蜱对小白菜脯氨酸含量的影响

Fig. 5 Effect of chlorpyrifos on proline content in pakchoi

2.4 毒死蜱对小白菜品质的影响

2.4.1 毒死蜱对可溶性糖含量的影响

由图6可以看出,药后第0天和第1天,喷药处理的可溶性糖含量比对照明显降低,差异达到极显著水平。药后第3天和第5天,低浓度中的可溶性糖含量都明显高于对照和高浓度处理的可溶性糖含量,但高浓度的可溶性糖含量却明显低于对照,这说明喷施高浓度的毒死蜱对小白菜造成的伤害远比低浓度毒死蜱造成的伤害大得多,渗透调节能力减弱。到第7天时,喷药处理的可溶性糖含量与对照差异不明显;第14天时,喷药处理的可溶性糖含量分别比对照增加82.06%和69.44%,差异达到极显著水平。到第21天时,喷药处理的可溶性糖含量与对照基本处于同一水平,说明因使用农药而造成的伤害已基本恢复。由此可以看出,在毒死蜱胁迫初期,小白菜中可溶性糖的合成明显受到了抑制,但随着胁迫的减轻,可溶性糖的含量又恢复并升高,这可能是由于可溶性糖作为一种渗透调节物质应激反应的一种表现。

2.4.2 毒死蜱对Vc含量的影响

由图7可以看出,药后第0天,Vc含量基本没有变化。药后第1天,低浓度和高浓度毒死蜱处理的Vc含量比对照分别降低了12.24%和27.84%。从第3天开始,喷药处理的Vc含量又缓慢上升,至药后第5天时,Vc含量明显高于对照,分别比对照增加32.22%和21.26%。药后第7天,高浓度处理的Vc含量明显低于对照和低浓度处理,而低浓度处理的Vc含量与对照基本相同。到第14天时,喷药处理的Vc含量与对照基本处于同一水平。

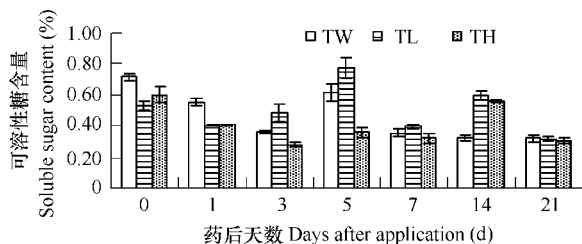


图6 毒死蜱对小白菜可溶性糖含量的影响

Fig. 6 Effect of chlorpyrifos on soluble sugar content in pakchoi

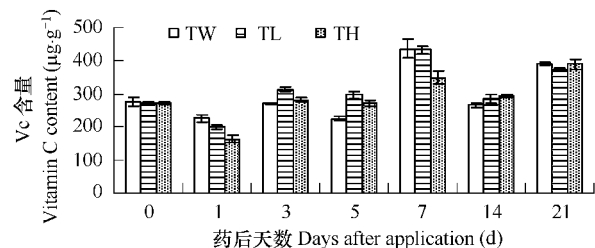


图7 毒死蜱对小白菜Vc含量的影响

Fig. 7 Effect of chlorpyrifos on Vitamin C content in pakchoi

从药后第1天到药后第7天,高浓度毒死蜱处理的Vc含量都明显低于低浓度处理的Vc含量,这可能是高浓度的毒死蜱抑制了小白菜Vc的合成所致。但随着毒死蜱胁迫的减轻,这种抑制效果也随之减轻,到胁迫后期,Vc含量恢复正常。

2.5 毒死蜱在小白菜体内的残留动态

由表1可以看出,喷施高浓度毒死蜱的残留量始终比喷施低浓度的毒死蜱残留量高,但差异程度有所不同。药后第0、1、3天差异达到极显著水平,第5、7天差异达到显著水平,第14、21天差异不显著。到第21天时,小白菜中毒死蜱的残留量符合国家对毒死蜱在叶菜类蔬菜中最大残留限量的规定($\leq 0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[16]。

根据表 1 的数据求得毒死蜱在小白菜上的降解动态方程。喷施加倍用量和推荐用量毒死蜱的降解动态方程分别为: $y = 8.5416e^{-0.2755x}$ $R^2 = 0.9196$, $y = 4.468e^{-0.2496x}$ $R^2 = 0.9247$ 。根据我国规定的毒死蜱在叶菜类上的最大残留量标准和降解动态方程,可以求出安全间隔期分别为 16.14d 和 15.47d。可以看出喷施加倍用量毒死蜱的安全间隔期要比喷施推荐用量的安全间隔期长,但这种差距比较小,这可能是由于夏天气温高,毒死蜱降解速度比较快造成的。

表 1 毒死蜱在小白菜体内的残留量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 1 The content of chlorpyrifos in pakchoi

药后天数(d) Days after application	0	1	3	5	7	14	21
加倍用量 Double dosage	25.05 $\pm$ 0.49 **	7.88 $\pm$ 0.59 **	2.03 $\pm$ 0.13 **	1.01 $\pm$ 0.02 *	0.93 $\pm$ 0.06 *	0.20 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.01
推荐用量 Standard dosage	13.02 $\pm$ 0.37	3.06 $\pm$ 0.15	1.18 $\pm$ 0.11	0.87 $\pm$ 0.06	0.60 $\pm$ 0.08	0.15 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.01

3 讨论

植物在正常代谢中会产生 O_2^- 、 H_2O_2 、 $\cdot\text{OH}$ 等活性氧。活性氧的毒害作用,通常由于植物体自身的产生和清除两者处于低水平平衡状态而未能表现出来;但在逆境胁迫下,植物活性氧产生和清除系统间的平衡被打破,从而引起膜的伤害^[17]。SOD、POD 和 CAT 是植物体内活性氧清除系统中酶促子系统的 3 种重要抗氧化酶,能有效阻止活性氧在植物体内的积累,因此,POD、SOD 和 CAT 活性的升降,反映了植物在逆境因子作用下,通过自身防御机制对环境胁迫做出保护性应激反应^[18]。

本研究中,喷药后第 0 天(药后 4h),仅 SOD 活性有略微上升,而 CAT、POD 的活性反而下降,这说明在胁迫初期,毒死蜱诱导了 SOD 活性的升高,但同时也抑制了 CAT 和 POD 的活性,这表明 CAT、POD 对毒死蜱胁迫是比较敏感的。在药后第 1 天,喷药处理的 CAT 活性比对照高,而 SOD、POD 活性到第 5 天时才比对照高,这意味着小白菜受到毒死蜱胁迫之后,CAT 的恢复能力较强,SOD、POD 的恢复能力较弱。从第 5 天之后,SOD、POD、CAT 的活性均比对照有所提高,其中以 SOD 活性提高最大,直到第 21 天时,上述 3 种抗氧化酶的活性才基本恢复到对照水平。这与徐敦明等报道的高浓度毒死蜱严重抑制上海青 SOD 和 CAT 的活性,诱导 POD 活性的升高不太相同^[19]。这可能是由于喷药次数与喷施毒死蜱的浓度不同有关。有研究表明,对柳树树干注药时,30d 后各处理组的酶活性才逐渐恢复到对照水平^[20]。上述结果说明,植物体在受到农药胁迫后需要有一个较长的时间才能修复因农药对本身造成的伤害。

MDA 是膜脂氧化的主要产物之一,具有细胞毒性,能引起细胞膜功能紊乱。通常用 MDA 作为膜脂过氧化作用的指标,用以表示膜脂氧化的程度和植物对逆境条件反应的强弱^[21]。本研究结果表明,喷施毒死蜱后,导致 MDA 含量的增加,特别是喷施高浓度的毒死蜱,加剧了 MDA 含量的增加,说明喷施毒死蜱促进了小白菜的膜脂过氧化作用,并且毒死蜱浓度越高,其膜脂过氧化作用越重。因此,MDA 含量可作为毒死蜱胁迫的生物标记物。

脯氨酸是渗透调节物质,在胁迫条件下其含量上升,以维持细胞的正常生理功能,有研究表明毒死蜱可使小麦脯氨酸含量上升^[10]。本研究中脯氨酸含量仅在第 3 天和第 5 天比对照有所上升,这可能是由于这段时间毒死蜱对小白菜伤害比较严重,从而导致小白菜所作出的应激反应表现比较强烈造成的。

可溶性糖和 Vc 含量是蔬菜营养品质的重要指标,其含量高低决定蔬菜营养价值和口味,进而影响蔬菜的商品价值^[22]。本研究表明,喷施毒死蜱对可溶性糖和 Vc 含量产生了一定的影响。喷药初期降低了可溶性糖和 Vc 含量的含量,在胁迫后期其含量上升并恢复到对照水平。

References:

- [1] Liu J L, Yu J F, Yin J L, et al. Research progress on the effect of chemical pesticides on plant physiology and biochemistry. *Agrochemicals*, 2006,

- 45(8):511—514.
- [2] Wu J C, Xu J F, Feng X M, *et al.* Impacts of pesticides on physiology and biochemistry of rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(5):536—541.
- [3] Feng X M, Luo S S, Hu J W, *et al.* Effect of pesticides on MDA and chlorophyll content of rice Leaves. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2003, 17(6):481—484.
- [4] Qu A J, Guo L H, Sun X L, *et al.* Effects of pesticide stress on free proline and SOD content in *Euonymus japonica*. *Agrochemicals*, 2006, 45(1):35—37.
- [5] Luo S S, Wang Z G, Feng X M, *et al.* Study on tracer dynamics of effects of pesticides on export rate of photosynthate of rice leaves, *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(9):1085—1089.
- [6] Zhang Y X, Li X L. Toxicity of organophosphorus pesticides on *Hordeum vulgare* seedling. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(6):754—757.
- [7] WU J C, Dong B, Li D H, *et al.* Effects of four pesticides on grain growth parameters of rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(3):376—381.
- [8] YANG T, Li C Y, Yang H H. Effects of dimethoate on activities of POD, SOD, CAT and MDA content in spinach leaves. *Subtropical Plant Science*, 2004, 33(4):19—21.
- [9] Zhao W X, Sun Z Q, Zhang N, *et al.* Effect of selected organophosphorus pesticides on allicin content in garlic and its reasons. *Journal of Safety and Environment*, 2007, 7(1):13—15.
- [10] Shen Y, Feng C C, Li S, *et al.* The Effect of pesticides under the stress of drought on wheat physiological and biochemical characteristics, *Journal of Jiang Su Agri. Sci.* 2007, 3:16—19.
- [11] Tang H F, Sheng X M, Xiong L, *et al.* The impact of organophosphates pesticide to soluble proteins and several oxidant enzymes in vegetable, *Journal of Central China Normal University(Nat Sci)*, 2006, 40(1):82—85.
- [12] Zou Q. Experimental manual of plant physiology. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000.
- [13] Zhao S J, Xu C C, Zou Q, *et al.* Improvements of method for measurement of malondialdehyde in Plant Tissues, *Plant Physiology Communications*, 1994, 30(3):207—210.
- [14] Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [15] GB/T5009, 145-2003, Determination of organophosphorous and carbamic ester pesticide multiresidues in vegetable foods, 2003.
- [16] GB 2763-2005. Maximum residue limits of pesticides in foods. Beijing: Standards Press of China, 2005.
- [17] Li Z H, Wang X Y, Zhou G Z, *et al.* Generation of activated oxygen and change of defense enzyme activity in *L. x L. formolongi* seedling under low temperature, *Northern Horticulture*, 2007, 12:106—108.
- [18] Sha W, Shi S, Luo X Y, *et al.* Effects of Low temperature stress on physiological process of *Galega L.* *Northern Horticulture*, 2007, 11:59—60.
- [19] Xu D M, Ma Z Q, Feng J T, *et al.* Effects of chlorpyrifos and podophyllotoxin on anti-oxidative enzymes and the MDA of vegetable(*Brassica rapa L.*), *Journal of Agro-environmental Science*, 2004, 23(6):1089—1092.
- [20] Tang G H, Zang J, He J, *et al.* Pesticide effects on some protective enzymes and dissociative proline in willow by trunk injection. *Journal of China Agricultural University*, 2007, 12(3):32—36.
- [21] Yang C X, Li X L, Gao D S. Effects of chilling stress on membrane lipid peroxidation and activities of protective enzymes in nectarine flower organs. *Journal of Fruit Science*, 2005, 22(1):69—71.
- [22] Zhao F Y, Wei Z M. The effect of N application rate on yield and quality of vegetable. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2001, 17(1):43—44.

参考文献:

- [1] 刘井兰, 于建飞, 印建莉, 等. 化学农药对植物生理生化影响的研究进展. *农药*, 2006, 45(8):511—514.
- [2] 吴进才, 徐俊峰, 冯绪猛, 等. 稻田常用农药对水稻 3 个品种生理生化的影响. *中国农业科学*, 2003, 36(5):536—541.
- [3] 冯绪猛, 罗时石, 胡健伟, 等. 农药对水稻叶片丙二醛及叶绿素含量的影响. *核农学报*, 2003, 17(6):481—484.
- [4] 曲爱军, 郭丽红, 孙绪良, 等. 农药胁迫对大叶黄杨 SOD 和脯氨酸含量的影响. *农药*, 2006, 45(1):35—37.
- [5] 罗时石, 王泽港, 冯绪猛, 等. 2002. 农药对水稻叶片光和产物输出速率影响的示踪动力学研究. *中国农业科学*, 35(9):1085—1089.
- [6] 张义贤, 李晓玲. 三种有机磷农药对大麦毒性效应的研究. *农业环境科学学报*, 2003, 22(6):754—757.
- [7] 吴进才, 董波, 李东虎, 等. 4 种农药对水稻籽粒生长模型参数的影响. *中国农业科学*, 2004, 37(3):376—381.
- [8] 杨涛, 李传勇, 汤惠华. 乐果对菠菜叶片 POD、SOD、CAT 活性及 MDA 含量的影响. *亚热带植物科学*, 2004, 33(4):19—21.
- [9] 赵卫星, 孙治强, 张楠, 高玉红. 有机磷农药对大蒜素含量的影响及其原因. *安全与环境学报*, 2007, 7(1):13—15.
- [10] 沈燕, 封超年, 李邵, 等. 农药对干旱胁迫下小麦幼苗生理生化特性的影响. *江苏农业科学*, 2007, 3:16—19.
- [11] 塘红枫, 生秀梅, 熊丽, 等. 2006, 有机磷农药对小白菜中可溶性蛋白质及 SOD、 Mg^{2+} -ATPase、 Ca^{2+} -ATPase 和 CAT 的影响, *华中师范大学学报(自然科学版)*, 40(1):82—85.
- [12] 邹琦. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 赵世杰, 许长城, 邹琦, 等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进. *植物生理学通讯*, 1994, 30(3):207—210.
- [14] 李合生. VC 含量的测定. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [15] GB/T5009, 145-2003. 植物性食品中有机磷和氨基甲酸酯类农药多种残留的测定. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [16] GB 2763-2005. 食品中农药最大残留限量, 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [17] 李智辉, 王新颖, 周广柱, 等. 低温胁迫下新铁炮百合幼苗叶片活性氧的产生及保护酶活性的变化. *北方园艺*, 2007, 12:106—108.
- [18] 沙伟, 师帅, 罗新义, 等. 低温胁迫对东方山豆幼苗生理特性的影响. *北方园艺*, 2007, 11:59—60.
- [19] 徐敦明, 马志卿, 冯俊涛, 等. 毒死蜱和鬼白毒素胁迫对蔬菜上海青抗氧化酶系及丙二醛的影响. *农业环境科学学报*, 2004, 23(6):1089—1092.
- [20] 唐光辉, 张静, 何军, 等. 树干注药对柳树几种抗氧化酶活性及游离脯氨酸含量的影响. *中国农业大学学报*, 2007, 12(3):32—36.
- [21] 杨春祥, 李宪利, 高东升. 低温胁迫对油桃花器官膜脂过氧化和抗氧化酶活性的影响. *果树学报*, 2005, 22(1):69—71.
- [22] 赵凤艳, 魏自民. 氮肥用量对蔬菜产量和品质的影响. *农业系统科学与综合研究*, 2001, 17(1):43—44.