

· 研究论文 ·

氧乐果和吡虫啉对小麦过氧化物酶、谷胱甘肽还原酶及过氧化氢酶活性的影响

仲 丽, 吕 超, 杨文玲, 梁 沛, 史雪岩*, 高希武

(中国农业大学 昆虫学系, 北京 100193)

摘 要: 为明确常用杀虫剂对小麦抗氧化性的影响, 研究了小麦幼苗期用不同浓度氧乐果和吡虫啉的营养液处理后 144 h 内对其过氧化物酶(POD)、谷胱甘肽还原酶(GR)及过氧化氢酶(CAT)活性的影响。结果表明: 用 400、800 和 1 600 mg/L 的氧乐果处理小麦幼苗后 24 h, POD 活性均显著降低; 1 600 mg/L 的氧乐果处理后 6 h, 其 CAT 活性比对照降低了 32.9%; 各浓度氧乐果处理后 144 h, GR 活性均显著降低。而用 25、50 和 100 mg/L 的吡虫啉处理小麦幼苗后 144 h 内, 只有 50 mg/L 处理组在 12 h 时的 POD 活性比对照升高了 65.0%。杀虫剂对小麦幼苗中 3 种抗氧化酶活性的影响不仅与药剂种类有关, 还具有一定的剂量效应与时间效应。

关键词: 氧乐果; 吡虫啉; 小麦; 过氧化物酶; 谷胱甘肽还原酶; 过氧化氢酶

DOI: 10.3969/j.issn.1008-7303.2011.03.11

中图分类号: S481.1 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2011)03-0276-05

Effects of imidacloprid and omethoate on the activity of peroxidase, glutathione reductase and catalase in wheat seedlings

ZHONG Li, LÜ Chao, YANG Wen-ling, LIANG Pei,
SHI Xue-yan*, GAO Xi-wu

(Department of Entomology, China Agricultural University Beijing 100193, China)

Abstract: In order to examine the effects of insecticides on the antioxidizability of wheat, the activity of peroxidase (POD), glutathione reductase (GR) and catalase (CAT) in wheat seedlings were investigated during 144 h after treatment with imidacloprid and omethoate. The results showed that, comparing with that of the control, the activity of POD in wheat seedlings decreased significantly after being treated with 400, 800 and 1 600 mg/L omethoate for 24 h respectively, and the activity of CAT decreased 32.9% after being treated with 1 600 mg/L omethoate for 6 h. After being treated by 400, 800 and 1 600 mg/L omethoate for 144 h, the activity of GR in wheat seedlings decreased significantly. When wheat seedlings were treated with 25, 50 and 100 mg/L imidacloprid respectively, only the activity of POD of wheat seedlings increased 65.0% after being treated with 50 mg/L imidacloprid for 12 h comparing with that of the control. The results showed that activity of POD, GR and CAT in wheat

收稿日期: 2010-09-10; 修回日期: 2010-10-11.

作者简介: 仲丽(1983-), 女, 山东烟台人, 硕士研究生, E-mail: happypest01@163.com; * 通讯作者(Author for correspondence): 史雪岩(1968-), 女, 甘肃金昌人, 博士, 副教授, 主要从事农药环境毒理研究, 电话: 010-62731306, E-mail: shixueyan@sohu.com

基金项目: 国家自然科学基金(30771426); 国际(地区)合作与交流项目(NSFC与JSPS合作研究项目, 30911140107); 教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目(NCET-06-0113).

seedlings were influenced by the types of insecticides, as well as the concentration of insecticides and treatment time of insecticides.

Key words: omethoate; imidacloprid; wheat; peroxidase (POD); glutathione reductase (GR); catalase (CAT)

植物抗氧化系统的活性与其相关抗逆性的形成密切相关^[1]。在植物生长过程中,各种逆境胁迫常可诱发细胞内活性氧浓度的增加从而导致对植物的氧化胁迫和伤害^[2-4],而植物为了应对氧化伤害也进化了多种抗氧化机制,如非酶性的抗氧化剂如抗坏血酸和还原性谷胱甘肽等物质,以及分解活性氧的酶系统如过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和超氧化物酶(SOD)等。其中,谷胱甘肽还原酶(GR)是一种黄素蛋白氧化还原酶,在植物对抗氧化胁迫中具有清除活性氧的作用^[5];POD是一族能利用H₂O₂氧化供氢体的酶,对植物的抗逆性有较大影响;CAT在H₂O₂介导的植物胁迫效应及活性氧平衡调控中具有重要作用^[10]。

农药作为一种外在的胁迫因素,可引起植物光合作用、营养物质、次生代谢及活性氧代谢等植物生理生化过程的变化^[7-9]。农药胁迫对作物抗氧化性以及相关的抗逆、抗虫、抗病性的影响,目前还较少见相关报道。仅见郭明等考察发现联苯菊酯、硫丹、久效磷对棉花体内的POD活性有激活效果,对CAT活性有不同程度的抑制效果^[10];李钦等报道,高浓度甲胺磷和辛硫磷对坛紫菜体内的POD活性具有先诱导后抑制的效应^[11];Mishra等^[12]的研究表明,乐果对苦瓜幼苗体内的POD和CAT活性有激活的效果。

考察农药对植物抗氧化性的影响对于全面掌握农药对植物抗逆、抗虫、抗病等能力的影响具有一定意义。本文报道了氧乐果与吡虫啉对小麦幼苗中的GR、CAT、POD活性的影响。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

小麦品种为济麦20。

40%氧乐果乳油(omethoate 400 EC,河北新兴化工有限公司);70%艾美乐水分散颗粒剂(吡虫啉,imidacloprid 700 WDG,德国拜耳公司);有效成分分为400、800和1 600 mg/L的氧乐果及25、50和100 mg/L的吡虫啉通过将一定量的40%氧乐果乳油及一定量的70%艾美乐水分散颗粒剂分别溶于适量植物营养液中获得。

聚乙烯吡咯烷酮(PVPP,北京欣经生物技术有限公司);考马斯亮蓝G-250(Fluka公司进口,上海化学试剂公司分装);牛血清白蛋白(BSA,南京生兴生物公司);30%过氧化氢(北京化工厂);愈创木酚(北京化学试剂公司);氧化型谷胱甘肽(GSSG, Sigma公司);乙二胺四乙酸二钠(EDTA-Na₂;北京化工厂);烟酰胺腺嘌呤二核苷磷酸(还原型)(NADPH,Fluka公司进口)。

UV2550型紫外分光光度计(日本岛津, Shimadzu公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 小麦幼苗的处理 用清水浸小麦种子24 h后,除去不完整的种子。将普通滤纸剪成直径约为9 cm的圆片平铺于塑料培养皿中,加入6~8 mL清水。将处理后的小麦种子均匀平铺于培养皿中(100粒/皿),待其萌发后在日光温室内培养4~5 d供试^[13]。

分别采用含400、800 mg/L(推荐浓度)和1 600 mg/L的氧乐果和25、50(推荐浓度)和100 mg/L的吡虫啉的营养液处理小麦幼苗,10 mL/皿。分别于处理后6、12、24、48和144 h取样测定。用加入等量水处理的小麦幼苗作对照,设3次重复。

1.2.2 酶液提取 参照Gossett等^[14]的方法。取小麦植株(去根)2 g在液氮中研磨成粉,加0.2 g PVPP和6 mL 0.05 mol/L、pH 7.5的磷酸缓冲液(含0.1 mmol/L EDTA-Na₂),10 000 g下(4℃)离心30 min,取上清液作为酶液待测。

1.2.3 酶活性测定

1.2.3.1 谷胱甘肽还原酶比活力测定 在Parida等^[15]的方法上稍加改进。1 mL反应体系中含0.05 mol/L pH 7.5的磷酸缓冲液(含1 mmol/L EDTA)、0.5 mmol/L氧化型谷胱甘肽和0.05 mmol/L NADPH,加入90 μL酶液后,迅速于波长340 nm($\epsilon = 6.2 \text{ L} \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)处测定2 min内的吸光值变化。

1.2.3.2 过氧化氢酶比活力测定 在Miyagawa等^[16]的方法上稍加改进。反应体系含0.05 mol/L pH 7.0的磷酸缓冲液(含1 mmol/L EDTA)和

10.5 mmol/L H₂O₂ 加入酶提取液反应 2 min 测定其在 240 nm ($\varepsilon = 43.6 \text{ L} \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) 处吸光值在 2 min 内的降低速率。

1.2.3.3 过氧化物酶比活力测定 在 Tatiana 等^[17]的方法上稍加改进。反应体系含 0.05 mol/L pH 7.0 的磷酸缓冲液(含 1 mmol/L 的 EDTA)、2.7 mmol/L 愈创木酚和 2 mmol/L H₂O₂ 加入酶提

$$\text{酶比活力}/(\text{mmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ pro}) = (\Delta OD \cdot V) / (\varepsilon \cdot T \cdot P \cdot \nu) \quad (1)$$

式中, V : 酶促反应总体积 (mL); T : 反应时间 (min); P : 蛋白质含量 ($\mu\text{g}/\text{mL}$); ν : 加入反应体系中的酶液体积 (mL); ε : 消光系数。

1.2.6 数据统计方法 酶活性值用 GraphPad Instat 3.00 数据处理软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 药剂处理对小麦 POD 活性的影响

测定结果见表 1。

从处理后 6 h 开始, 氧乐果各浓度处理组小麦

取液后于 470 nm 处 ($\varepsilon = 26.6 \text{ L} \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), 监测其吸光值在 2 min 内的变化。

实验设 3 次重复, 每次平行测定 3 次。

1.2.4 蛋白含量测定 参照 Bradford^[18]考马斯亮蓝 G-250 方法。以牛血清白蛋白作标准曲线, 计算酶液中蛋白质含量。

1.2.5 酶比活力计算 按 (1) 式计算酶比活力。

幼苗中 POD 活性与对照相比均有所降低, 其中在处理 24 h 400 和 800 mg/L 处理组 POD 活性显著降低, 1 600 mg/L 处理组 POD 活性比对照降低了 32.9%, 达极显著水平, 随后再延长处理时间, 处理组与对照差异不显著。

而吡虫啉的处理, 只有在 12 h 时 POD 活性有极显著升高(比对照增加 65.0%), 在其余处理浓度和时间内, POD 活性均无显著变化。

2.2 药剂处理对小麦 CAT 活性的影响

测定结果见表 2。

表 1 氧乐果和吡虫啉对小麦幼苗中 POD 活性的影响

Table 1 Effects of omethoate and imidacloprid on the activity of POD in wheat seedlings

| 药剂 Pesticides | 质量浓度 Mass concentration/(mg/L) | POD 活力 Activity of POD/(mmol·min ⁻¹ ·mg ⁻¹ pro) | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|---|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| | | 6 h | 12 h | 24 h | 48 h | 144 h |
| 吡虫啉 imidacloprid | CK | 1.133 ± 0.210 | 1.496 ± 0.128 | 1.612 ± 0.267 | 2.062 ± 0.126 | 1.714 ± 0.068 |
| | 25 | 1.149 ± 0.024 | 1.800 ± 0.156 | 1.557 ± 0.032 | 2.202 ± 0.381 | 1.996 ± 0.084 |
| | 50 | 1.149 ± 0.102 | 2.469 ± 0.235** | 1.470 ± 0.061 | 1.982 ± 0.405 | 2.163 ± 0.190 |
| | 100 | 1.066 ± 0.060 | 1.324 ± 0.027 | 1.647 ± 0.055 | 1.706 ± 0.198 | 2.066 ± 0.151 |
| 氧乐果 Omethoate | CK | 1.366 ± 0.082 | 1.275 ± 0.026 | 1.605 ± 0.044 | 1.261 ± 0.099 | 1.856 ± 0.047 |
| | 400 | 1.304 ± 0.155 | 1.100 ± 0.052 | 1.117 ± 0.012* | 1.360 ± 0.154 | 1.625 ± 0.143 |
| | 800 | 1.209 ± 0.111 | 1.285 ± 0.032 | 1.209 ± 0.074* | 1.146 ± 0.044 | 1.905 ± 0.047 |
| | 1 600 | 1.106 ± 0.027 | 1.385 ± 0.089 | 1.076 ± 0.138** | 1.135 ± 0.091 | 1.610 ± 0.191 |

注: * 表示 t -检验差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示 t -检验差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: * Shows significant difference by t -test ($P < 0.05$); ** Shows extremely significant difference by t -test ($P < 0.01$).

表 2 氧乐果和吡虫啉对小麦幼苗中 CAT 活性的影响

Table 2 Effects of omethoate and imidacloprid on the activity of CAT in wheat seedlings

| 药剂 Pesticides | 质量浓度 Mass concentration/(mg/L) | CAT 活性 Activity of CAT/(mmol·min ⁻¹ ·mg ⁻¹ pro) | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 6 h | 12 h | 24 h | 48 h | 144 h |
| 吡虫啉 imidacloprid | CK | 0.128 ± 0.021 | 0.080 ± 0.005 | 0.110 ± 0.016 | 0.114 ± 0.009 | 0.096 ± 0.008 |
| | 25 | 0.138 ± 0.017 | 0.088 ± 0.006 | 0.110 ± 0.002 | 0.099 ± 0.003 | 0.086 ± 0.002 |
| | 50 | 0.133 ± 0.014 | 0.111 ± 0.019 | 0.114 ± 0.006 | 0.090 ± 0.009 | 0.091 ± 0.001 |
| | 100 | 0.148 ± 0.022 | 0.082 ± 0.002 | 0.123 ± 0.018 | 0.107 ± 0.007 | 0.086 ± 0.006 |
| 氧乐果 omethoate | CK | 0.134 ± 0.011 | 0.116 ± 0.008 | 0.128 ± 0.015 | 0.126 ± 0.008 | 0.079 ± 0.005 |
| | 400 | 0.123 ± 0.015 | 0.115 ± 0.006 | 0.112 ± 0.011 | 0.139 ± 0.026 | 0.091 ± 0.018 |
| | 800 | 0.127 ± 0.011 | 0.123 ± 0.011 | 0.094 ± 0.003 | 0.122 ± 0.003 | 0.086 ± 0.006 |
| | 1600 | 0.105 ± 0.003* | 0.114 ± 0.027 | 0.116 ± 0.014 | 0.120 ± 0.004 | 0.087 ± 0.005 |

注: * 表示 t -检验差异显著 ($P < 0.05$)。Note: * Shows significant difference by t -test ($P < 0.05$)。)

用 1 600 mg/L 的氧乐果处理后 6 h ,CAT 活性比对照降低 21.6% ,差异达极显著水平; 而吡虫啉各质量浓度处理后 144 h 内 ,CAT 活性与对照相比均

无明显变化。

2.3 药剂处理对小麦 GR 活性的影响

测定结果见表 3。

表 3 氧乐果和吡虫啉对小麦幼苗中 GR 活性的影响

Table 3 Effects of omethoate and imidacloprid on the activity of GR in wheat seedlings

| 药剂 Pesticides | 质量浓度 Mass concentration/(mg/L) | GR 活性 Activity of GR/(mmol·min ⁻¹ ·mg ⁻¹ pro) | | | | |
|---------------------|------------------------------------|--|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| | | 6 h | 12 h | 24 h | 48 h | 144 h |
| 吡虫啉 imidacloprid | CK | 0.087 ± 0.015 | 0.099 ± 0.013 | 0.118 ± 0.009 | 0.101 ± 0.008 | 0.118 ± 0.015 |
| | 25 | 0.097 ± 0.018 | 0.109 ± 0.011 | 0.119 ± 0.001 | 0.088 ± 0.012 | 0.115 ± 0.004 |
| | 50 | 0.092 ± 0.007 | 0.118 ± 0.004 | 0.102 ± 0.005 | 0.092 ± 0.008 | 0.108 ± 0.003 |
| | 100 | 0.105 ± 0.011 | 0.109 ± 0.004 | 0.119 ± 0.008 | 0.099 ± 0.007 | 0.114 ± 0.007 |
| 氧乐果 omethoate | CK | 0.074 ± 0.005 | 0.143 ± 0.011 | 0.142 ± 0.021 | 0.158 ± 0.019 | 0.185 ± 0.007 |
| | 400 | 0.083 ± 0.003 | 0.143 ± 0.024 | 0.125 ± 0.018 | 0.159 ± 0.036 | 0.142 ± 0.015* |
| | 800 | 0.077 ± 0.005 | 0.116 ± 0.009 | 0.118 ± 0.020 | 0.138 ± 0.014 | 0.124 ± 0.018** |
| | 1 600 | 0.072 ± 0.008 | 0.111 ± 0.018 | 0.146 ± 0.015 | 0.161 ± 0.018 | 0.132 ± 0.013** |

注: * 表示 *t*-检验差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示 *t*-检验差异极显著 ($P < 0.01$).

Note: * Shows significant difference by *t*-test ($p < 0.05$); ** Shows extremely significant difference by *t*-test ($P < 0.01$).

用氧乐果处理后不同时间内 ,小麦幼苗中的 GR 活性均比对照有所降低。其中 400 mg/L 处理后 144 h 时 GR 活性降低 23.2% ,达显著水平; 而 800 和 1 600 mg/L 的处理 ,GR 活性分别降低了 32.9% 和 28.6% ,差异达极显著水平。用吡虫啉各质量浓度处理后 144 h 内 ,GR 活性与对照相比无明显变化。

3 讨论

试验结果表明 ,氧乐果对小麦幼苗中 3 种抗氧化酶——POD、CAT 和 GR 的活性均有抑制作用 ,但作用时间有所差异。其中: 用不同质量浓度的氧乐果处理 ,短时间内即对小麦苗中 POD 活性产生了抑制作用; 对 GR 活性则只有在胁迫较长时间后才会产生影响; 而对 CAT 活性的影响只在用高浓度氧乐果处理及短时间胁迫下产生。氧乐果对小麦苗中 3 种抗氧化机制产生的胁迫效应有所不同 ,其导致的氧化伤害也应有所不同 ,这应与 3 种抗氧化酶对氧化胁迫的敏感度不同有关。

氧乐果对 POD 活性的影响还显示了一定的时间效应。如用氧乐果处理后 24 h 即可显著抑制 POD 活性 ,而处理后时间延长至 2 d 及 6 d ,对 POD 酶活性则不再产生显著影响。这一方面是由于氧乐果处理所导致的氧化胁迫在短时间内使植物的抗氧化酶受到了一定的抑制 ,而植物在受到氧化胁迫后 ,会迅速进行抗氧化防御 ,以减轻对其的氧化伤害 ,从而使氧乐果的氧化胁迫作用减轻; 另一方面 随着处

理后时间的延长 ,植物对进入其体内的氧乐果产生了一定的代谢作用 ,导致其在植物体内的浓度及相应的胁迫压力降低。

氧乐果对 3 种抗氧化酶的影响还具有一定的剂量效应。在处理 24 h 时 ,400 和 800 mg/L 处理组 POD 活性分别降低了 24.6% 和 30.4% ,而 1 600 mg/L 处理组 POD 活性降低了 32.9% ,差异达到极显著水平。说明氧乐果的浓度越高 ,对 POD 活性的抑制作用越强。

吡虫啉与氧乐果是两种作用机制不同的杀虫剂 ,对 3 种抗氧化酶的影响也不同。氧乐果在不同剂量及不同时间下 ,对供试 3 种酶均产生了一定的抑制作用; 而吡虫啉在 50 mg/L 处理后 12 h 时 ,POD 活性反而显著增高 ,对 CAT 和 GR 的活性均未产生显著影响。可见 ,吡虫啉对 3 种抗氧化酶及其相关的抗氧化能力抑制作用较小 ,甚至可以提高小麦的抗氧化能力(如 POD) ,因此正常使用吡虫啉对小麦苗是相对安全的。

关于化学物质对植物抗氧化酶的影响 ,有产生抑制作用的报道 ,也有产生激活效果的报道。如用丙溴磷处理油菜 ,可激活油菜体内 POD 和 CAT 的活性^[19]; 而用棉酚处理玉米幼苗 ,则可抑制其体内 POD 活性 ,而且棉酚浓度越高 ,抑制作用越明显^[20]。本研究中 ,氧乐果使小麦幼苗中的 POD、CAT 和 GR 活性受到抑制 ,而吡虫啉处理则使其中的 POD 活性增加。可见 ,农药对植物中抗氧化酶活性的影响与农药的种类相关。

植物抗氧化系统的活性与其抗逆性的最终形成密切相关。在植物的抗氧化过程中,不同的活性氧清除途径分别由相应的抗氧化酶和抗氧化物构成,而且各种抗氧化途径相互关联。本研究中氧乐果及吡虫啉胁迫所引起的 POD、CAT 和 GR 活性的变化是植物体内各个抗氧化途径变化的共同结果。具体的影响机制及其是否会对小麦的抗虫、抗病性等抗逆能力产生一定的影响,还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] ALSCHER R G, DONAHUE J L, CRAMER C L. Reactive oxygen species and antioxidants: relationships in green cells [J]. *Physiol Plant*, 1997, 100: 224 - 223.
- [2] LI Yong-qiang(李永强), WANG Ya-nan(王亚男), HE Yang-yan(何杨艳) *et al.* 干旱胁迫对外来杂草野苘蒿抗氧化系统的影响 [J]. *J Sichuan Normal Univ: Nat Sci*(四川师范大学学报:自然科学版) 2008, 31(5): 607 - 609.
- [3] GU Jin(古今), CHEN Zong-yu(陈宗瑜). 植物酶系统对 UV-B 辐射的响应机制 [J]. *Chinese J Ecology*(生态学杂志) 2006, 25(10): 1269 - 1274.
- [4] XIE Z X, DUAN L S, TIAN X L, *et al.* Coronatine alleviates salinity stress in cotton by improving the antioxidative defense system and radical-scavenging activity [J]. *J Plant Physiol*, 2008, 165(4): 375 - 384.
- [5] NOCTOR G, FOYER C H. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1998, 49: 249 - 279.
- [6] CHEN Jin-feng(陈金峰), WANG Gong-nan(王宫南), CHENG Su-man(程素满). 过氧化氢酶在植物胁迫响应中的功能研究进展 [J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*(西北植物学报) 2008, 28(1): 188 - 193.
- [7] LIU Jing-lan(刘井兰), YU Jian-fei(于建飞), YIN Jian-li(印建莉) *et al.* 化学农药对植物生理生化影响的研究进展 [J]. *Pesticides*(农药) 2006, 45(8): 511 - 514.
- [8] WU Jin-cai(吴进才), XU Jun-feng(许俊峰), FENG Xu-meng(冯绪猛) *et al.* 稻田常用农药对水稻三个品种生理生化的影响 [J]. *Scientia Agricultura Sinica*(中国农业科学) 2003, 36(5): 536 - 541.
- [9] WANG Ye-xia(王业霞), SHI Xue-yan(史雪岩), LIANG Pei(梁沛) *et al.* 三种内吸性杀虫剂对棉花多酚氧化酶和羧酸酯酶活性的影响 [J]. *Chin J Pestic Sci*(农药学报) 2006, 8(4): 319 - 322.
- [10] GUO Ming(郭明), XU Ya-li(徐雅丽), LIU Ming(刘明), *et al.* 几种农药对棉花过氧化氢酶过氧化物酶活性的影响 [J]. *Agric Environ Prot*(农业环境保护) 2001, 20(1): 10 - 12.
- [11] LI Qin(李钦), ZHENG Wei-yun(郑微云), WANG Chong-gang(王重刚) *et al.* 有机磷农药对坛紫菜过氧化物酶(POD)活性影响的研究 [J]. *J Xiamen Univ: Nat Sci*(厦门大学学报:自然科学版) 2003, 42(2): 201 - 204.
- [12] MISHRA V, SRIVASTAVA G, PRASSD S M. Antioxidant response of bitter melon (*Momordica charantia* L) seedlings to interactive effect of dimethoate and UV-B irradiation [J]. *Scientia Horticulturae* 2009, 120(3): 373 - 378.
- [13] LU Yan-hui(鲁艳辉), GAO Xi-wu(高希武). 一种室内饲养麦蚜的方法 [J]. *Entomological Knowledge*(昆虫知识) 2007, 44(2): 289 - 290.
- [14] GOSSETT D R, MILLHOLLON E P, LUCAS M C. Antioxidant response to NaCl stress in salt tolerant and salt sensitive cultivars of cotton [J]. *Crop Sci* 1994, 34: 706 - 714.
- [15] PARIDA A K, DAS A B, MOHANTY P. Defense potentials to NaCl in a mangrove *Bruguiera parviflora*: differential changes of isoforms of some antioxidative enzyme [J]. *Plant Physiol* 2004, 161: 531 - 542.
- [16] MIYAGAWA Y, TAMORI M, SHIGEOKA S. Evaluation of the defense system in chloroplasts to photooxidative stress caused by paraquat using transgenic tobacco plants expressing catalase from *Escherichia coli* [J]. *Plant Cell Physiol* 2000, 41: 311 - 320.
- [17] TATIANA Z, YAMASHITA K, MATSUMOTO H. Iron deficiency induced changes in ascorbate content and enzyme activities related to ascorbate metabolism in cucumber roots [J]. *Plant Cell Physiol* 1999, 40: 273 - 280.
- [18] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein using the principle of protein-dye binding [J]. *Anal Biochem* 1976, 72: 248 - 254.
- [19] CHEN Yan-jun(陈雁君), CHENG Xiao-ping(程晓平), CHI Ya-mei(迟亚梅) *et al.* 丙溴磷对油菜过氧化物酶过氧化物酶活性的影响 [J]. *J Jinning Med College*(济宁医学院学报) 2007, 30(2): 88 - 89.
- [20] FENG Li-tian(冯立田), ZHAO Ke-fu(赵可夫), MA Zong-qi(马宗琪). 棉酚对植物生长和氧化酶的效应 [J]. *J Shandong Normal Univ: Natl Sci*(山东师大学报:自然科学版) 1997, 12(1): 70 - 74.

(责任编辑: 金淑惠)