

刘连军,黎 萍,李恒锐,等. 木薯朱砂叶螨抗阿维菌素品系选育及其解毒酶活性变化[J]. 江苏农业科学,2018,46(23):94-97.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.023

# 木薯朱砂叶螨抗阿维菌素品系选育及其解毒酶活性变化

刘连军,黎 萍,李恒锐,杨海霞,农秋连,梁振华,马仙花

(广西南亚热带农业科学研究所,广西崇左 532415)

**摘要:**采用室内喷药继代汰选法和生化分析法,以广西南亚热带农业科学研究所木薯种质资源圃采集的朱砂叶螨为敏感品系(SS),用阿维菌素对朱砂叶螨进行 15 代抗性选育,获得抗性倍数为 3.25 的抗阿维菌素品系(Ab-R)。经室内选育后,对 Ab-R 和 SS 解毒酶活性的测定表明,随着选育代数的增加,Ab-R<sub>15</sub> 体内羧酸酯酶(carboxylesterases, 简称 CarE)、谷胱甘肽-S-转移酶(glutathione-s-transferase, 简称 GSTs)、多功能氧化酶(multi-functional oxidase, 简称 MFO)的比活力分别为 SS 的 1.27、1.69、1.92 倍。此外,Ab-R<sub>5</sub>、Ab-R<sub>10</sub>、Ab-R<sub>15</sub> 体内的 MFO 比活力与 SS 相比差异均达显著性水平;筛选至 10 代时,CarE 比活力与 SS 相比无显著性差异;筛选至 5 代时,GSTs 比活力与 SS 相比无显著性差异。结果说明,MFO 比活力显著上升是朱砂叶螨对阿维菌素产生抗药性的重要原因,同时 CarE 和 GSTs 也参与了阿维菌素抗性品系的形成。

**关键词:**木薯;朱砂叶螨;阿维菌素;抗性选育;解毒酶

**中图分类号:**S435.33 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)23-0094-03

朱砂叶螨 [*Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval)] 属叶螨科(Tetranychidae),别称红蜘蛛,是危害木薯最为严重的一种害螨,可导致当地木薯减产 10%~30%,严重危害时可减产 50%~70%<sup>[1]</sup>。朱砂叶螨个体小、繁殖能力强、世代周期短,年繁殖代数可达 15 代。由于生产上长期大面积使用化学农药防治朱砂叶螨,不可避免地会产生抗药性<sup>[2-3]</sup>。

阿维菌素是一种广谱、高效、低残留,对人畜安全的抗生索类杀虫剂<sup>[4-5]</sup>,以干扰害虫神经来杀死害虫,与常用杀虫剂的作用机制不同,不会和常用杀虫剂产生交互抗性,适合防治对其他杀螨剂已产生抗药性的害虫。用阿维菌素进行螨类抗性选育已有报道,如陈文博等研究表明,土耳其斯坦叶螨对阿维菌素的抗性发展较慢<sup>[6]</sup>;刘貽聪等研究得出,二斑叶螨田间种群普遍对阿维菌素产生了稳定抗性<sup>[7]</sup>;宋丽雯等用阿维菌素对截形叶螨进行抗性筛选,结果表明截形叶螨对阿维菌素抗性较稳定<sup>[8]</sup>。

螨类抗药性形成与体内各种解毒酶活性变化存在密切联系<sup>[9]</sup>。研究认为,多功能氧化酶(MFO)、谷胱甘肽-S-转移酶(GSTs)、羧酸酯酶(CarE)等是动物体内的重要解毒酶系<sup>[10]</sup>。MFO 的底物谱极广,几乎能氧化代谢所有杀虫剂,与许多害虫的抗药性形成有关;GSTs 能使内源谷胱甘肽与化学农药(包括杀虫剂、杀螨剂)中具有毒理作用的亲电基团结合

并排出体外;CarE 是昆虫体内重要的解毒酶系,在对外源化合物的解毒代谢和对杀虫剂的抗性形成中起重要作用。何林等报道用阿维菌素处理不同螨类其结果都表明该抗性品系的形成与体内解毒酶活性升高有一定关系<sup>[9,11-12]</sup>,但尚未见对木薯朱砂叶螨抗药性机制方面的报道。本研究采用室内喷药继代汰选法对阿维菌素进行木薯朱砂叶螨抗性筛选,分析敏感品系和抗性品系 3 种解毒酶活性的变化,旨在探讨朱砂叶螨对阿维菌素抗性形成及其体内解毒酶活性变化与产生抗性之间的关系,为朱砂叶螨的抗性综合治理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点和时间

试验地点设在广西南亚热带农业科学研究所农产品检测中心,2016 年 4—12 月进行室内抗性品系筛选,2017 年 1 月进行解毒酶活性测定。

### 1.2 供试虫源

朱砂叶螨敏感品系(SS):供试木薯朱砂叶螨采自广西南亚热带农业科学研究所木薯种植田间,试验前在室内饲养繁殖至少 2 代。饲养温度为(27±2)℃,相对湿度为(75±2)%,光照 16 h/d,期间不接触任何药剂。

朱砂叶螨抗性品系(Ab-R):从朱砂叶螨敏感品系中分离部分群体,扩繁后用阿维菌素乳油进行抗性筛选,采用水隔式饲养法(木薯叶叶背朝上置于托盘内的浸湿海绵上)连续饲养至 15 代,可视为抗性品系。

### 1.3 供试药剂和主要仪器

阿维菌素乳油(购自广东中迅农科股份有限公司);α-萘酚(购自国药集团化学试剂有限公司),分析纯;固蓝 B 盐(购自成都艾科达化学试剂有限公司),分析纯;4-对硝基苯甲醚(购自成都艾科达化学试剂有限公司),分析纯;十二

收稿日期:2017-07-20

基金项目:广西公益性基金(编号:GXNYRKS201713);广西科技计划重大专项(编号:桂科 AA16380013);广西科技重点研发计划(编号:桂科 AB16380075)。

作者简介:刘连军(1963—),男,广西钦州人,高级农艺师,主要从事农作物育种与推广研究。E-mail:liulianjun0622@163.com。

通信作者:黎 萍,高级农艺师,主要从事木薯病虫害防治研究。

Tel:(0771)8810463;E-mail:lipinggx1026@163.com。

烷基磺酸钠(SDS,购自北京欣华绿源科技有限公司),化学纯; $\alpha$ -乙酸萘酯(购自上海瑞永生物科技有限公司),化学纯;毒扁豆碱(a-NA,购自 Fluka 公司),纯度 $\geq 98\%$ ;2,4-二氯硝基苯(DCNB,购自 Sigma 公司),纯度 $>98\%$ ,化学纯;还原型谷胱甘肽(购自 Japan 公司),纯度 $\geq 98\%$ ;牛血清白蛋白(购自北京欣华绿源科技有限公司);考马斯亮蓝 G-250(购自 Fluka 公司);乙二胺四乙酸(EDTA,购自上海源叶生物科技有限公司);还原型辅酶 II(NADPH,购自 Sigma 公司),纯度 $\geq 98\%$ 。人工气候培养箱(型号 LRH-250-GsbI,购自韶关市泰宏医疗器械有限公司);T6 新世纪紫外分光光度计(购自北京普析通用仪器有限公司)。

#### 1.4 试验方法

1.4.1 抗性品系选育 参照黎萍等的方法<sup>[13]</sup>,用 1.8% 阿维菌素乳油,以种群死亡率 25% 左右的选择压力给予喷药处理,喷药 24 h 后将存活的叶螨个体转移到托盘中离体新鲜的木薯叶背面,采用水隔式培养,待存活个体在新鲜木薯叶上产卵 3 d 后移走,每次喷药后进行生物测定,计算致死中浓度,适当提高每代喷药浓度。当  $F_1$  代成螨高峰期时再次喷药处理,重复上述操作,直至  $F_{15}$  代。

1.4.2 室内毒力测定 参照黎萍等的方法<sup>[13]</sup>,每代分别设置 5 种不同梯度的药剂浓度,每个梯度浓度保证螨死亡率在 40%~75%,每个浓度重复 3 次,用清水作为对照。取饲养室个体大小均匀一致的雌成螨接于新鲜离体的木薯叶背面,作为  $F_0$  代成螨。用手持式喷雾器均匀喷施于木薯叶背面,24 h 后检查死亡率,挑选存活成螨置于人工气候培养箱中培养,温度为  $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,相对湿度为  $(75 \pm 2)\%$  左右,光照 16 h/d。每次施药后记录施药前成螨总数和施药后死亡数,计算抗性指数。

抗性指数 = 抗性品系  $LC_{50}$ /敏感品系  $LC_{50}$ 。

#### 1.4.3 解毒酶活性测定

1.4.3.1 酶液制备 挑取木薯朱砂叶螨敏感品系和经致死量处理过 100 头左右的雌性朱砂叶螨,加入 2 mL 相对应的磷酸缓冲液(0.1 mol/L、pH 值为 7.0),冰浴中研磨充分,在高速离心机中离心(10 000 r/min、 $4^\circ\text{C}$ )15 min,取上清液,置于冰浴中待用,上清液即为酶液。

1.4.3.2 蛋白质标准曲线绘制 取 7 支试管按表 1 顺序加入试剂,在  $37^\circ\text{C}$  恒温水浴内放置 10 min,在 595 nm 下比色测定(表 1)。以牛血清蛋白含量( $\mu\text{g/mL}$ )为横坐标,并以测得的吸光度取平均值后为纵坐标,绘制标准曲线。

表 1 蛋白质标准曲线测定

处理	100 $\mu\text{g/mL}$ 牛血清蛋白(mL)	0.1 mol/L、pH 值为 7.0 磷酸缓冲液(mL)	考马斯亮蓝 G-250(mL)
CK	0	1.0	5.0
1	0.1	0.9	5.0
2	0.2	0.8	5.0
3	0.3	0.7	5.0
4	0.4	0.6	5.0
5	0.5	0.5	5.0
6	0.6	0.4	5.0

1.4.3.3 CarE 活性测定 参照 van Asperen 的方法<sup>[14]</sup>,以 a-NA ( $3 \times 10^{-4}$  mol/L,含  $10^{-4}$  mol/L a-NA)为底物,加

3 mL 酶液,混匀,在  $30^\circ\text{C}$  恒温水浴 10 min,立刻加 0.5 mL 显色剂,在  $30^\circ\text{C}$  水浴反应 10 min,待颜色稳定后,在紫外分光光度仪上 600 nm 处测定吸光度,3 次重复。根据酶源蛋白质含量的测定结果计算 CarE 的比活力[ $\text{mmol}/(\text{mg} \cdot 30 \text{ min})$ ]。

1.4.3.4 GSTs 活性测定 参照 Clark 等的方法<sup>[15]</sup>,取 66 mmol/L pH 值为 7.0 的磷酸缓冲液、50 mmol/L 谷胱甘肽、0.03 mol/L 2,4-二硝基苯和酶液分别为 2.4、0.3、0.1、0.2 mL,对照不加酶液,混合均匀,  $27^\circ\text{C}$  水浴 10 min,在紫外分光光度仪上 340 nm 处测定吸光度,重复 3 次。根据酶源蛋白质含量测定结果,将吸光度换算成比活力[ $\Delta D/(\text{mg} \cdot 30 \text{ min})$ ]。

1.4.3.5 MFO 活性测定 取对硝基苯甲醚(0.1 mol/L、pH 值为 7.0)、磷酸缓冲液、NADPH 和酶液分别为 0.1、1.9、0.5、0.5 mL,对照不加酶液,混合摇匀,置于  $37^\circ\text{C}$  水浴振荡 30 min,然后加 1.0 mL HCl 溶液(1 mol/L)终止反应,后用四氯甲烷、NaOH 溶液(0.5 mol/L)萃取,在温室下静置 10 min 后,取 2.0 mL 水相置于比色皿中,在 400 nm 处测吸光度。根据各处理的吸光度与标准曲线相比较,计算 MFO 的比活力[ $\text{nmol}/(\text{mg} \cdot 30 \text{ min})$ ]。

1.4.3.6 数据统计与分析 阿维菌素对朱砂叶螨的抗性选育结果数据及解毒酶活性数据处理均采用 SPSS Statistics 22.0 软件进行统计分析,采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 木薯朱砂叶螨对阿维菌素抗性的选育

朱砂叶螨对阿维菌素抗性结果(表 2)表明,通过从  $F_1$  至  $F_{15}$  代试虫的逐次汰选和饲养,获得  $F_{15}$  代抗性倍数为 3.25。 $LC_{50}$  由 2.830  $\mu\text{g/mL}$  上升到 9.208  $\mu\text{g/mL}$ , $F_0 \sim F_6$ 、 $F_7 \sim F_{12}$ 、 $F_{13} \sim F_{15}$  抗性倍数范围分别在 1.00~1.87、2.01~2.84、3.03~3.25 内。由此可见,阿素菌素对朱砂叶螨的抗药倍数呈缓慢上升趋势,抗性发展较慢,没有出现抗性突增阶段。

### 2.2 朱砂叶螨不同品系对 CarE 比活力的变化

由表 3 可知,与 SS 品系相比只有 Ab- $R_{15}$  品系 CarE 比活力达到显著性差异水平,为 SS 品系的 1.27 倍。除了 Ab- $R_{15}$  品系外,其余 2 个抗性品系与 SS 品系 CarE 比活力差异均未达到显著水平,说明阿维菌素抗性品系的形成与 CarE 比活力可能关系不大。

### 2.3 朱砂叶螨不同品系对 GSTs 比活力的变化

由表 4 可知,连续 15 代筛选,GSTs 的比活力一直在上升中,Ab- $R_5$  品系比活力上升幅度最小,与 SS 品系之间没有显著性差异,筛选至 10 代,Ab- $R_{10}$  品系比活力上升较快,与 Ab- $R_5$ 、SS 品系之间差异达到显著水平,为 SS 品系的 1.43 倍,说明朱砂叶螨对阿维菌素抗性水平的提高可能部分与 GSTs 比活力的提高有关。

### 2.4 朱砂叶螨不同品系对 MFO 比活力的变化

由表 5 可知,随着选育代数的增加,MFO 的比活力不断增强,且上升幅度相对较大,Ab- $R$  品系与 SS 品系之间 MFO 比活力差异均达到显著性水平,Ab- $R_{15}$  品系是 SS 品系的 1.92 倍,从  $F_5$  代到  $F_{15}$  代 MFO 的活性上升较快,且与 SS 品系相比具有显著差异,表明朱砂叶螨对阿维菌素产生的抗性与 MFO 比活力增强有直接关系,而且是朱砂叶螨对阿维菌素产

表 2 木薯朱砂叶螨抗阿维菌素品系选育结果

筛选代数	毒力回归方程 ( $P = a + bx$ )	卡方值 $\chi^2$	LC <sub>50</sub> (95% 置信区间) ( $\mu\text{g/mL}$ )	抗性倍数	相关系数
F <sub>0</sub>	-7.006 + 2.476x	0.831	2.830 (2.618 ~ 5.410)	1.00	0.842
F <sub>1</sub>	-7.748 + 2.579x	3.135	3.004 (2.899 ~ 3.385)	1.06	0.371
F <sub>2</sub>	-13.553 + 4.095x	3.917	3.310 (3.203 ~ 3.377)	1.17	0.271
F <sub>3</sub>	-9.197 + 2.682x	3.699	3.429 (3.318 ~ 3.627)	1.21	0.296
F <sub>4</sub>	-19.858 + 4.572x	0.901	4.343 (4.269 ~ 4.404)	1.53	0.825
F <sub>5</sub>	-22.166 + 4.622x	1.284	4.759 (4.709 ~ 4.852)	1.68	0.733
F <sub>6</sub>	-22.681 + 4.284x	1.397	5.294 (5.205 ~ 5.352)	1.87	0.706
F <sub>7</sub>	-33.230 + 5.841x	3.965	5.689 (5.577 ~ 5.749)	2.01	0.265
F <sub>8</sub>	-21.642 + 3.555x	4.479	6.088 (5.731 ~ 6.204)	2.15	0.214
F <sub>9</sub>	-23.365 + 3.551x	0.989	6.580 (6.217 ~ 6.697)	2.33	0.804
F <sub>10</sub>	-35.972 + 5.026x	2.288	7.156 (6.997 ~ 7.232)	2.53	0.515
F <sub>11</sub>	-26.778 + 3.599x	2.769	7.441 (6.719 ~ 7.615)	2.63	0.429
F <sub>12</sub>	-30.198 + 3.763x	3.054	8.025 (7.599 ~ 8.159)	2.84	0.383
F <sub>13</sub>	-23.029 + 0.774x	2.045	8.572 (8.485 ~ 8.806)	3.03	0.563
F <sub>14</sub>	-18.106 + 2.003x	0.555	9.041 (8.755 ~ 11.668)	3.19	0.907
F <sub>15</sub>	-12.898 + 1.401x	0.172	9.208 (8.814 ~ 21.242)	3.25	0.982

表 3 朱砂叶螨不同品系对 CarE 比活力的变化

品系	CarE 比活力 [ mmol/( mg · 30 min ) ]	相对比值 ( R/S )
SS	0.132 ± 0.003b	1.00
Ab - R <sub>5</sub>	0.133 ± 0.001b	1.01
Ab - R <sub>10</sub>	0.136 ± 0.004b	1.03
Ab - R <sub>15</sub>	0.167 ± 0.001a	1.27

注:表中所示数据为平均值 ± 标准差;同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下表同。

表 4 朱砂叶螨不同品系对 GSTs 比活力的变化

品系	GSTs 比活力 [ $\Delta D/( \text{mg} \cdot \text{min} )$ ]	相对比值 ( R/S )
SS	0.247 ± 0.006c	1.00
Ab - R <sub>5</sub>	0.251 ± 0.003c	1.02
Ab - R <sub>10</sub>	0.353 ± 0.049b	1.43
Ab - R <sub>15</sub>	0.418 ± 0.003a	1.69

表 5 朱砂叶螨不同品系对 MFO 比活力的变化

品系	MFO 比活力 [ nmol/( mg · 30 min ) ]	相对比值 ( R/S )
SS	0.149 ± 0.003d	1.00
Ab - R <sub>5</sub>	0.183 ± 0.008c	1.24
Ab - R <sub>10</sub>	0.233 ± 0.012b	1.58
Ab - R <sub>15</sub>	0.285 ± 0.005a	1.92

生抗药性的重要原因。

3 结论与讨论

通过阿维菌素对木薯朱砂叶螨的室内筛选,获得 F<sub>15</sub> 代抗性为 3.25 倍的朱砂叶螨阿维菌素种群,在抗性筛选过程中发现该朱砂叶螨对阿维菌素的抗性发展速度慢,呈平缓的上升趋势,没有出现抗性突增阶段,不易产生抗药性,这与陈文博等的研究结果<sup>[6,8]</sup>一致。

室内抗性选育是害虫抗药性研究的重要手段,抗药性发

展的速度和程度与害虫种类、原始种群的抗性水平、药剂种类及选择压力有关<sup>[16]</sup>。通过朱砂叶螨对阿维菌素的抗性性研究结果表明,在实际生产中为预防朱砂叶螨对阿维菌素过快产生抗药性,要适当与常用药剂进行轮换或者选用混配药剂,控制使用量和施用次数,从而延长阿维菌素的使用寿命,这样才有可能阻止或延缓害螨抗药性的发生。

本研究用阿维菌素经 F<sub>15</sub> 代抗性选育后,对 Ab - R 品系和 SS 品系的 3 种解毒酶( CarE、GSTs 和 MFO )比活力测定表明,CarE 比活力在 F<sub>10</sub> 代前基本没有变化,Ab - R 品系与 SS 品系之间的比活力差异不显著;GSTs 选育 F<sub>10</sub> 代时比活力变化显著,Ab - R<sub>10</sub> 品系比 SS 品系比活力提高 1.43 倍;MFO 的比活力变化显著且上升较快,说明朱砂叶螨体内 MFO 在对阿维菌素的抗药性中起主要作用,这与沈一凡等认为 MFO 比活力增强是二斑叶螨对阿维菌素产生抗药性的主要原因的结论<sup>[11-12]</sup>相印证。高新菊等报道二斑叶螨对四螨嗪产生抗性是 3 种解毒酶协同作用的结果<sup>[17]</sup>;刘金香等研究表明,水胺硫磷和甲氧菊酯的抗性形成与 3 种解毒酶有一定的关系<sup>[18]</sup>。同样,笔者认为木薯朱砂叶螨对阿维菌素抗性的形成与 CarE、GSTs、MFO 比活力的变化存在联系,但 MFO 比活力的提高是导致朱砂叶螨抗性形成的重要原因。

本研究的木薯朱砂叶螨室内抗性选育至 F<sub>15</sub> 代,如果抗性筛选不断进行,朱砂叶螨抗性会迅速上升。随着抗性的增强,朱砂叶螨体内 3 种解毒酶活性可能会有更大的变化,因此本课题有待今后继续深入探讨,为进一步研究抗性治理提供科学的理论依据。

参考文献:

[1]陈 青,卢芙蓉,黄贵修,等. 木薯害虫普查及其安全性评估[J]. 热带作物学报,2010,31(5):819 - 827.  
[2]何 林,赵志模,邓新平,等. 朱砂叶螨对 3 种杀螨剂的抗性选育及抗性治理研究[J]. 中国农业科学,2003,36(4):403 - 408.  
[3]曹小芳,何 林,赵志模,等. 朱砂叶螨不同抗性品系酯酶同工酶

陈志刚,于成程,杜彦生,等. 风速、喷雾压力和静电电压对雾滴沉积性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(23):97-101.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.024

# 风速、喷雾压力和静电电压对雾滴沉积性的影响

陈志刚<sup>1</sup>, 于成程<sup>2</sup>, 杜彦生<sup>1</sup>, 魏新华<sup>3</sup>, 张 奇<sup>2</sup>

(1. 江苏大学环境与安全工程学院, 江苏镇江 212013; 2. 江苏大学电气信息工程学院, 江苏镇江 212013;  
3. 江苏大学农业装备工程学院, 江苏镇江 212013)

**摘要:**为提高农药喷洒过程中雾滴的沉积效果,在试验基础上研究不同风速、喷雾压力和静电电压下雾化靶标荷电效果和沉积效果的综合影响,优化选配影响因素的参数。试验结果表明,荷质比在 4 kV 之后趋于稳定,当风速为 0 m/s,喷雾压力为 0.3 MPa,静电电压达到 6 kV 时,雾滴粒径达到最小值 137.79  $\mu\text{m}$ ,荷质比达到最大值 0.128 mC/kg,靶标背部在荷电电压大于 4 kV 以后出现雾滴沉积,在 0.3 MPa 以后沉积率增大幅度趋于平缓。正交试验得出,风速、喷雾压力和静电电压均对雾滴沉积率有显著影响,影响主次顺序分别是静电电压、喷雾压力、风速。本系统喷雾的最佳组合是风速为 0 m/s 喷雾压力为 0.4 MPa 和静电电压为 6 kV,总沉积率达到最大值 48.01%。研究结果为进一步研究喷雾技术参数优化选配和提高喷雾沉积效果提供了依据。

**关键词:**静电喷雾;风速;喷雾压力;静电电压;沉积性

**中图分类号:** S491 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)23-0097-05

众所周知,我国农药生产技术处于国际先进水平,而我国的农药使用技术却严重落后,落后于发达的欧美国家 30~50 年,采用现有植保机具和施药技术,农药的有效利用效率最好

的也不足 30%,施药过程中飘移、流失的农药是一种污染源,会造成环境污染和人畜中毒,已严重影响了农作物病虫害草害的防治<sup>[1]</sup>。

在国内外研究人员不断探索下,静电喷雾施药技术是近年来发展起来的一种较为公认的高效施药技术,具有雾滴目标指向型运动好、雾滴沉积均匀性高、飘移损失小等优点,不仅节约了水和农药,还减少了环境污染<sup>[2-4]</sup>。外部环境风速、喷雾压力和静电电压对静电喷雾的效果都有很大影响。周宏平等认为,当静电电压升高时,雾滴粒径随电压增加而减小,雾滴沉降分布状态得到显著改善<sup>[5-7]</sup>;贾卫东等研究得出,静电作用下随着喷雾压力的增大,雾滴的沉积分布均匀性反而

收稿日期:2017-08-15

基金项目:江苏省农业科技支撑计划(编号:BE2014415);江苏省镇江市农业科技支撑计划(编号:NY2014030)。

作者简介:陈志刚(1963—),男,江苏镇江人,博士,教授,博士生导师,主要从事现代施药技术及农业环境保护研究。E-mail:chenzg01@126.com。

通信作者:于成程,硕士,主要从事静电喷雾及农业智能化装备研究。E-mail:907889984@qq.com。

研究[J]. 蛛形学报,2004,13(4):95-102.

[4] 马志卿. 不同类杀虫药剂的致毒症状与作用机理关系研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2002.

[5] Shoop W L, Mrozi H, Fisher M H. Structure and activity of avermectins and milbemycins in animal health [J]. Veterinry Parasitology, 1995, 59(2): 139-156.

[6] 陈文博,孙 磊,杨 涛,等. 土耳其斯坦叶螨对阿维菌素和哒螨灵抗药性机理及抗性适合度研究[J]. 新疆农业科学,2011,48(2):229-235.

[7] 刘怡聪,王 玲,张友军,等. 二斑叶螨田间种群对阿维菌素的抗性及相关基因表达与分析[J]. 昆虫学报,2016,59(11):1199-1205.

[8] 宋丽雯,李妙雯,沈慧敏. 截形叶螨对哒螨灵、阿维菌素和阿维·哒螨灵的抗性选育和抗性稳定性研究[J]. 应用昆虫学报,2016,53(1):89-94.

[9] 何 林,谭仕禄,曹小芳,等. 朱砂叶螨的抗药性选育及其解毒酶活性研究[J]. 农药学报,2003,5(4):23-29.

[10] Claudianos C, Ranson H, Johnson R M, et al. A deficit of detoxification enzymes: pesticide sensitivity and environmental response in the honeybee [J]. Insect Molecular Biology, 2010, 15

(5):615-636.

[11] 沈一凡,沈慧敏,岳秀利,等. 二斑叶螨抗阿维菌素品系选育及其解毒酶系活力变化[J]. 植物保护,2014,40(5):44-48.

[12] 汝 阳,陈耀年,尚素琴,等. 阿维菌素亚致死剂量对二斑叶螨解毒酶系的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2017,52(1):87-91.

[13] 黎 萍,刘连军,李恒锐,等. 1.8%阿维菌素杀螨剂对木薯朱砂叶螨的室内抗性选育[J]. 中国热带农业,2016(5):46-48.

[14] van Asperen K. A study of housefly esterases by means of a sensitive colorimetric method [J]. Journal Insect Physiology, 1962, 8(2):401-416.

[15] Clark A G, Dick G L, Smith J N. Kinetic studies on a glutathione S-transferase from the larvae of *Costelytra zealandica* [J]. Biochemical Journal, 1984, 217(1):51-58.

[16] 张雪燕,何 婕. 小菜蛾对阿维菌素 B<sub>1</sub> 抗药性选育及交互抗性[J]. 植物保护学报,2011,28(2):163-168.

[17] 高新菊,张志刚,段辛乐,等. 二斑叶螨抗四螨嗪品系筛选及其解毒酶活力变化[J]. 中国农业科学,2012,45(7):1433-1438.

[18] 刘金香,韩巨才,刘慧平,等. 山楂叶螨抗药性机制的初步研究[J]. 四川大学学报(自然科学版),2006,43(6):1364-1368.