

朱砂叶螨的抗药性选育及其解毒酶活性研究

何林, 谭仕禄**, 曹小芳, 赵志模*, 邓新平, 王进军

(西南农业大学 植物保护学院, 重庆市昆虫学及害虫控制工程重点实验室, 重庆 400716)

摘要: 在室内模拟田间药剂的选择压力, 用阿维菌素和甲氰菊酯对朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 进行逐代处理, 以选育其抗药性品系。阿维菌素品系选育至 42 代, 抗性增长到 8.7 倍, 甲氰菊酯品系选育至 40 代, 抗性增长到 68.5 倍。阿维菌素抗性品系羧酸酯酶(CarE)、谷胱甘肽-S-转移酶(GSTs)、多功能氧化酶(MFO)的活性分别为敏感品系的 2.7、3.4 和 1.4 倍, 差异达显著水平。推测 3 种解毒酶活性显著升高是朱砂叶螨对阿维菌素产生抗性的重要原因。甲氰菊酯抗性品系 GSTs 的活性为敏感品系的 2.8 倍, 差异显著, 表明该抗性品系的形成与 GSTs 活性增强有关。羧酸酯酶动力学测定结果表明, 朱砂叶螨阿维菌素抗性品系体内存在变构的羧酸酯酶。

关键词: 朱砂叶螨; 阿维菌素; 甲氰菊酯; 抗药性; 解毒酶

中图分类号: S481.4; Q965.9

文献标识码: A

文章编号: 1008-7303(2003)04-0023-07

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) 属于蛛形纲 Arachnida 蜱螨亚纲 Acari 螨目 Acariformes 叶螨科 Tetranychidae, 在我国分布广泛, 是棉花和多种蔬菜上危害严重而又难以防治的一种害螨。螨类因其繁殖力强、世代周期短、活动范围小、近亲交配率高、受药机会多, 其抗性问题的严重性比其他农作物害虫更为严重。国外有关朱砂叶螨的抗药性最早见于 1949 年美国纽约州棉田使用对硫磷防治棉叶螨失效的事例^[1]。国内于 1960 年初在湖北荆州棉区发现棉红蜘蛛对有机氯农药产生了抗性, 并由此开展了对朱砂叶螨的抗性研究^[2,3]。

昆虫(螨类)抗药性的形成与体内各种解毒酶系的活性变化存在密切联系。羧酸酯酶(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着重要作用; 谷胱甘肽-S-转移酶(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; 多功能氧化酶(MFO)的底物谱极广, 几乎能氧化代谢所有的杀虫剂, 与许多害虫的抗药性形成有关。笔者在室内筛选朱砂叶螨抗药性品系的基础上, 比较了敏感品系和抗性品系上述 3 种解毒酶活性的差异, 借以探讨朱砂叶螨对阿维菌素和甲氰菊酯抗药性形成的生化机制。

1 材料与方法

1.1 供试螨类

将采自重庆市北碚区田间豇豆苗上的朱砂叶螨移接到新鲜盆栽豇豆苗上, 在人工气候室内饲养 5 年约 100 代左右后视为相对敏感品系。室内饲养条件为: 温度 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度 55%~60%, 14 h 光照(8 只 40 W 日光灯直射), 10 h 黑暗。室内分 3 个品系: 相对敏感品系(S)、阿维菌素抗性筛选品系(AbR)、甲氰菊酯抗性筛选品系(FeR)。

 作者简介: 何林(1972-), 男, 四川遂宁人, 博士, 副教授, 主要从事农药毒理和应用技术研究。* 现为华南农业大学资源环境学院研究生。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39970493); 重庆市科技攻关资助项目(6606)。

1.2 供试药剂和主要仪器

阿维菌素(abamectin) 1.8%乳油(河南新霸王化工有限公司); 甲氰菊酯(fenpropathrin) 20%乳油(重庆井口农药厂); α -萘酚(中国医药集团上海化学试剂公司); 乙酸- α -萘酯(α -NA, 中国上海青浦合成试剂厂); 毒扁豆碱(Fluka 公司); 坚固蓝B 盐(上海试剂站分装厂); 十二烷基硫酸钠(SDS, Sigma 公司)、考马斯亮蓝 G-250(AMRESCO 分装); 牛血清蛋白(上海伯奥生物科技有限公司); 还原型谷胱甘肽(上海酵母厂); 1-氯-2,4-二硝基苯(CDNB, 上海试剂一厂); 对硝基苯酚、对硝基苯甲醚(上海三爱思试剂有限公司); 还原辅酶 II (NADPH) (北京北方同正生物技术发展公司)。UV-8500 型紫外-可见分光光度计(上海天美科技有限公司); M IKRO 22R 型高速冷冻离心机(Hettich Zentrifugen 公司)。

1.3 抗性选育和生物测定方法

从相对敏感品系开始培育朱砂叶螨的抗药性品系。分别用 1.8% 阿维菌素乳油和 20% 甲氰菊酯乳油, 以杀死种群 70% 左右个体的选择压力, 用长江-08 型喷雾器喷洒药剂。喷药 24 h 后记录死亡率并将存活的叶螨个体转移到新的豇豆苗上, 产卵 1~2 d 后再移走, 待同一代卵发育成新的成熟个体时再一次喷药。用药一定代数后, 为保证 70% 左右的选择压力, 要适当提高用药浓度, 并做一次毒力测定, 计算其致死中浓度(LC₅₀), 掌握抗药性的发展趋势。每个品系的起始代用 F₀ 表示, 药剂筛选后第 1、2...n 代, 分别以 F₁、F₂...F_n 表示。

生物测定方法参照联合国粮农组织(FAO)推荐的玻片浸渍法^[4]。每种药液设置 5~7 个浓度, 且使螨的死亡率维持在 20%~86% 之间。将浸过药的载螨玻片按由低到高的药剂浓度依次平放在方盘中的滤纸上, 置于(26±1)、RH 55%~60%、14 h 光照的培养箱内, 24 h 后取出镜检死亡数。检查时用小毛笔尖轻轻触动螨足和口器, 凡足、须不活动者视为死亡。

在抗性品系选育完成之后, 取各品系雌成螨若干提取酶液进行酶活性的测定。

1.4 酶源蛋白质含量测定

参照 Bradford^[5]考马斯亮蓝 G-250 法。先以牛血清蛋白量为自变量, 光密度(OD 值)为因变量作标准曲线。将工作酶液(对照管用 0.04 mol/L pH 7.0 的磷酸缓冲液代替)0.1 mL 与考马斯亮蓝 G-250 试剂混合, 于 25℃ 水浴 2 min, 在 595 nm 处测 OD 值。根据制作的标准曲线, 将 OD 值换算成蛋白质含量(mg/头)。

1.5 羧酸酯酶(CarE)活性测定

参照 Van A stern^[6]方法。先以 α -萘酚量为自变量, OD 值为因变量作标准曲线。取朱砂叶螨雌成螨 150 头, 加 pH 7.0 0.04 mol/L 的磷酸缓冲液 1.25 mL, 于冰水浴中匀浆, 匀浆液于 10 000 g、4℃ 离心 15 min, 取上清液冰浴待测。以 α -NA (3×10^{-4} mol/L, 含 10^{-4} mol/L 的毒扁豆碱)为底物, 经酯酶水解后生成 α -萘酚与显色剂(质量分数为 5% SDS 与质量分数为 1% 的坚固蓝 B 盐的体积比为 5:2)作用呈现深蓝色, 于 600 nm 处测 OD 值。根据 α -萘酚标准曲线和酶源蛋白质含量, 将 OD 值换算成比活力[mmol·mg⁻¹·(30 min)⁻¹]。重复 3 次, 取平均值。

1.6 谷胱甘肽S-转移酶(GSTs)活性测定

参照 Clark 等^[7]方法。取雌成螨 500 头, 加 pH 6.5 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液 1.25 mL, 于冰水浴中匀浆, 匀浆液于 10 000 g、4℃ 离心 10 min, 取上清液冰水浴待测。用 1.0 mmol/L CDNB 作底物, 经 GSTs 作用, 与还原型谷胱甘肽(1.0 mmol/L)反应生成硫醇尿酸衍生物, 在 340 nm 处测 OD 值。根据酶源蛋白质含量测定结果, 将 OD 值换算成比活力(OD·mg⁻¹Pro·min⁻¹)。重复 3 次, 取平均值。

1.7 多功能氧化酶(MFO)氧脱甲基活性测定

以对硝基苯酚量为自变量,OD 值为因变量作标准曲线。取雌成螨 300 头,加 pH 7.8 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液 1.5 mL 于冰水浴中匀浆,匀浆液于 10 000 g、4 ℃ 离心 15 min,取上清液冰水浴待测。用对硝基苯甲醚(丙酮为溶剂,0.05 mol/L)作底物,在氧和 NADPH 作电子供体条件下,MFO 催化发生氧脱甲基作用生成对硝基苯酚。用盐酸(1 mol/L)终止反应后,先后用氯仿、NaOH 溶液(0.5 mol/L)萃取,在 400 nm 处测 OD 值。根据对硝基苯酚标准曲线和酶源蛋白质含量,将 OD 值换算成比活力[$\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{Pro} \cdot (30 \text{ min})^{-1}$]。重复 3 次,取平均值。

1.8 羧酸酯酶米氏常数 K_m 和最大反应速度 $V_{\max}$ 的测定

K_m 值和 $V_{\max}$ 值采用双倒数作图法求得^[8]。先建立底物浓度梯度(0.075、0.15、0.3、0.6、1.2 mmol/L),然后采用与 CarE 活性测定(见 1.5)相同的方法测定不同底物浓度 CarE 比活力。重复 3 次,取平均值。根据测定结果用双倒数作图法求得 K_m 值和 $V_{\max}$ 值。

2 结果与分析

2.1 朱砂叶螨对阿维菌素和甲氰菊酯的抗性发展趋势

阿维菌素和甲氰菊酯抗药性品系的培育过程见表 1 和表 2。朱砂叶螨经阿维菌素多代筛选后,抗性缓慢而稳定地上升,筛选至 42 代,抗性倍数(R_f)为 8.65。抗性增加较快的 3 个阶段为 $F_{10} \sim F_{18}$ 、 $F_{22} \sim F_{26}$ 和 $F_{26} \sim F_{30}$,抗性倍数分别增加 1.89、2.11 和 1.36。但是从整个抗性增长趋势看是比较缓慢而稳定的,如果继续用药,预计抗性还会缓慢增长。

朱砂叶螨对甲氰菊酯的抗性发展较快,筛选至 40 代,抗性倍数增长为 68.5。抗性上升较快的 4 个阶段分别为 $F_{10} \sim F_{13}$ 、 $F_{13} \sim F_{18}$ 、 $F_{20} \sim F_{25}$ 和 $F_{25} \sim F_{28}$,抗性系数分别上升 9.1、14.3、13.9 和 24.0。从各次毒力回归线的 b 值来看,朱砂叶螨对甲氰菊酯的抗性形成明显分为两个阶段:第一阶段, $F_0 \sim F_{13}$, b 值由大变小(由 3.276 逐渐降低为 0.684),表明品系中出现了抗性杂合子,并不断增多,群体的异质性变大;第二阶段, $F_{13} \sim F_{40}$, b 值又由小变大(由 0.684 逐渐增大为 4.421),表明品系中抗性杂合子进化为抗性纯合子并不断增多,群体的异质性越来越小。从最后两次测定的 R_f 值及 b 值分析,由于两次测定相差不大(F_{28} 和 F_{40} 的 R_f 值分别为 65.6 和 68.5, b 值分别为 4.74 和 4.42),因此可以预见,如果继续筛选,朱砂叶螨对甲氰菊酯的抗性还会上升,但上升速度将大大减慢。

Table 1 The selection of resistance to abamectin in *Tetranychus cinnabarinus*

Number of generation selected	LC-P line	χ^2	LC ₅₀ (95% CL)/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Resistance ratio
F ₀	$Y = 10.794 + 3.279x$	3.01	0.017(0.010~0.024)	1.00
F ₄	$Y = 10.952 + 3.102x$	2.73	0.012(0.007~0.017)	0.71
F ₁₀	$Y = 10.842 + 3.576x$	0.66	0.023(0.014~0.032)	1.35
F ₁₈	$Y = 11.520 + 5.183x$	2.99	0.055(0.053~0.057)	3.24
F ₂₂	$Y = 9.103 + 3.421x$	0.85	0.063(0.060~0.066)	3.71
F ₂₆	$Y = 8.473 + 3.454x$	1.25	0.099(0.058~0.140)	5.82
F ₃₀	$Y = 7.932 + 3.213x$	1.34	0.122(0.116~0.128)	7.18
F ₃₄	$Y = 3.725 + 1.957x$	0.16	0.132(0.120~0.144)	7.76
F ₄₂	$Y = 7.545 + 3.060x$	1.34	0.147(0.140~0.154)	8.65

Table 2 The selection of resistance to fenpropathrin in *Tetranychus cinnabarinus*

Number of generation selected	LC-P line	χ^2	LC ₅₀ (95% CL) /mg · L ⁻¹	Resistance ratio
F ₀	$Y = -4393 + 3275x$	4.27	736.91(703.25~770.58)	1.00
F ₆	$Y = -0.015 + 1.617x$	1.23	1.261(1.146~1.375)	1.71
F ₁₀	$Y = -0.369 + 1.617x$	0.76	1.753(1.601~1.905)	2.38
F ₁₃	$Y = -2.313 + 0.684x$	0.93	8.485(6.770~10.201)	11.51
F ₁₈	$Y = -2.890 + 1.844x$	1.20	19.004(17.444~20.565)	25.79
F ₂₀	$Y = -6.856 + 2.567x$	7.00	20.426(19.165~21.687)	27.72
F ₂₅	$Y = -15.32 + 4.530x$	0.01	30.644(29.641~31.646)	41.58
F ₂₈	$Y = -17.16 + 4.420x$	1.99	48.307(47.001~49.613)	65.55
F ₄₀	$Y = -15.79 + 4.421x$	2.99	50.478(48.815~52.140)	68.50

2.2 朱砂叶螨解毒酶活性研究

朱砂叶螨 CarE、GST s、MFO 比活力测定结果分别见表 3、表 4 和表 5。

朱砂叶螨 A bR 品系的 CarE 比活力为 S 品系的 2.70 倍, 差异达显著水平; 而 FeR 品系与 S 品系之间 CarE 比活力没有显著性差异。表明朱砂叶螨对阿维菌素产生抗性可能与 CarE 活性增强有关, 而对甲氰菊酯产生抗性与 CarE 无明显关系。

朱砂叶螨 GST s 的活性测定结果为: A bR 品系、FeR 品系的比活力都明显高于 S 品系, 分别为 S 品系的 3.37 和 2.78 倍, 且差异显著。说明 GST s 活性增强可能是朱砂叶螨对阿维菌素、甲氰菊酯抗性形成的主要原因之一。

Table 3 Comparison of the activities of CarE in different resistant and susceptible batches of *Tetranychus cinnabarinus*

Batches	Specific activity of CarE /mmol · L ⁻¹ · mg ⁻¹ Pro · (30 min) ⁻¹	Ratio [*] (R/S)
S	13.335 ± 2.456	1.00 a
A bR	36.068 ± 4.597	2.70 b
FeR	15.079 ± 4.103	1.13 a

* Values within a column followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$). The same as in the following tables

Table 4 Comparison of the activities of GST s in different resistant and susceptible batches of *Tetranychus cinnabarinus*

Batches	Specific activity of GST s /mmol · L ⁻¹ · mg ⁻¹ Pro · (30 min) ⁻¹	Ratio (R/S)
S	0.396 ± 0.196	1.00 a
A bR	1.335 ± 0.008	3.37 b
FeR	1.101 ± 0.330	2.78 b

Table 5 Comparison of the activities ofM FO in different resistant and susceptible batches of *Tetranychus cinnabarinus*

Batches	Specific activity of M FO	Ratio (R/S)
	$\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Pro} \cdot (30 \text{ min})^{-1}$	
S	3 532 ± 0 207	1 00 a
A bR	5 063 ± 0 589	1 43 b
FeR	4 359 ± 0 984	1 23 ab

朱砂叶螨 2 个抗性品系的M FO 比活力都比 S 品系增强, 但只有 A bR 品系与 S 品系的差异达到了显著水平, 表明朱砂叶螨阿维菌素抗性品系的形成与M FO 活性增强有关系, 而甲氰菊酯抗性品系的形成可能与M FO 甲氧基脱甲基活性关系不大。

2 3 羧酸酯酶 K_m 值和 V_{max} 值的比较

朱砂叶螨各品系 CarE 对底物 α -NA 的 K_m 值和 V_{max} 值见表 6。朱砂叶螨 A bR 品系体内 CarE 的 K_m 和 V_{max} 值与 S 品系的差异显著, 分别为 S 品系的 0 44 和 1 95 倍, 表明朱砂叶螨对阿维菌素产生抗性后, 其体内 CarE 的反应速度加快, 与底物的亲和力增强; FeR 品系的 K_m 值和 V_{max} 值与 S 品系之间无显著性差异, 进一步说明朱砂叶螨对甲氰菊酯的抗药性可能与 CarE 无关。

Table 6 The K_m 、 V_{max} values and the lineweaver-burk curves of CarE in *Tetranychus cinnabarinus*

Batches	lineweaver-burk curves	R	K_m $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	Ratio	V_{max}	Ratio
					$\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Pro} \cdot (30 \text{ min})^{-1}$	
S	$Y = 0.026 + 1.39 \times 10^{-5} X$	0.999 1	0.54 a	1.00	38.810 a	1.00
A bR	$Y = 0.013 + 3.18 \times 10^{-6} X$	0.998 6	0.24 b	0.44	75.687 b	1.95
FeR	$Y = 0.024 + 1.10 \times 10^{-6} X$	0.998 9	0.45 a	0.84	41.374 a	1.07

3 讨论

自从 1908 年M elander 在美国发现梨园介壳虫*Quadraspidiotus perniciosus* 对石硫合剂产生抗性以后, 害虫抗药性问题日趋严重, 已成为杀虫剂应用中最严重的问题之一。抗药性是昆虫的自然适应性特征, 过量使用杀虫剂导致并加剧了抗性遗传的进程。明确害虫对杀虫剂的抗药性机理是进行害虫综合防治 (IPM) 和抗药性治理 (IRM) 的基础。大量的研究表明, CarE、M FO 和 GSTs 是最主要的与害虫(螨) 代谢抗性有关的酶系, 笔者在实验室筛选出朱砂叶螨抗阿维菌素和抗甲氰菊酯品系的基础上进行酶学比较研究, 结果表明 2 个抗性品系的形成与上述 3 种酶的活性变化存在联系。

有关害虫对阿维菌素抗性水平的研究主要集中在对小菜蛾的研究上。1995 年首次发现小菜蛾*P lutella xylostella* 田间种群对阿维菌素产生了高达 195 倍的抗性^[9]; 梁沛、吴青君等在室内筛选分别获得抗性达 575 6 和 80 7 倍(选育 11 代)的小菜蛾抗阿维菌素种群^[10, 11]。而孟和生等在室内选育 12 代, 获得抗性为 7.30 倍的桔全爪螨*P anonychus citri* 抗阿维菌素种群^[12]。

本研究在室内筛选了 42 代, 获得抗性为 8 7 倍的朱砂叶螨抗阿维菌素种群。由此可见, 与小菜蛾和桔全爪螨相比, 朱砂叶螨对阿维菌素产生抗性要慢得多。本研究中朱砂叶螨对甲氰菊酯的抗性发展相对较快, 这与实际应用结果一致: 拟除虫菊酯类杀虫(螨)剂具有高效、广谱等优点, 但害虫(螨)对其产生抗药性快、交互抗性谱广等问题在很大程度上阻碍了这类药剂的发展。

CarE 是昆虫体内重要的解毒酶系之一, 其高亲和性-低能解毒作用的活力增强是昆虫对有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂产生抗性的重要机制^[13~15]。梁沛等在研究小菜蛾对阿维菌素的抗性机制时指出, CarE 活性增强可能是其原因之一^[10], 本研究结果与此相似, 即朱砂叶螨对阿维菌素的抗性与 CarE 的变化有关, 而这种变化不仅涉及量变, 而且还涉及 CarE 的质变。

GSTs 也是昆虫体内重要的解毒酶系之一, 该酶在一些昆虫对有机磷、氨基甲酸酯和有机氯等传统杀虫剂的抗性中所起的作用已得到证实。本研究中, 2 个抗性品系的 GSTs 比活力都明显高于敏感品系, 说明朱砂叶螨对这两种药剂抗药性的形成与 GSTs 活性增强有关。孟和生的研究表明, GSTs 比活力增加是桔全爪螨对甲氰菊酯产生抗性的主要原因之一^[12]。范金志等报道, 截形叶螨 *Tetranychus truncatus* 抗三氯杀螨醇的主导机制是 GSTs 代谢毒物的能力增强, GSTs 比活力上升($R/S=2$)^[16]。由此可见, GSTs 在螨类抗药性机理中具有一定的普遍性。

MFO 对杀虫化合物进行多种类型的催化反应, 在杀虫剂代谢中起着中心作用^[17]。MFO 对外源化合物有多种氧化作用形式, 本文只针对其中的甲氧基脱甲基活性进行了研究。结果表明, 朱砂叶螨对阿维菌素抗药性的形成与 MFO 甲氧基脱甲基活性增加有关, 这或许是因为阿维菌素分子结构中含有甲氧基($-OCH_3$); 朱砂叶螨甲氰菊酯抗性品系 MFO 甲氧基脱甲基活性没有明显增加, 但这并不代表该抗性品系的形成与 MFO 活性增加无关, 因为朱砂叶螨对甲氰菊酯的抗性可能涉及 MFO 所催化的其他反应。

参考文献:

- [1] 吴孔明, 刘孝纯, 秦夏卿, 等. 朱砂叶螨抗药性研究[J]. 华北农学报, 1990, 5(2): 117-123
- [2] 何林, 赵志模, 邓新平, 等. 朱砂叶螨对三种杀螨剂的抗性选育及抗性风险评估[J]. 昆虫学报, 2002, 45(5): 688-692
- [3] He L, Zhao Z M, Deng X P, *et al*. Resistance selection of *Tetranychus cinnabarinus* to three acaricides and its management strategy[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2003, 2(2): 183-189
- [4] FAO. Tentative method for spider mites and their eggs, *Tetranychus* spp. and *Panonychus ulmi* (Koch) [J]. *FAO Plant Prot Bull*, 1974, (22): 103-107
- [5] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Anal biochem*, 1976, 72: 248-254
- [6] Van A K. A study of housefly esterase by means of a sensitive colorimetric method [J]. *J Insect Physiol*, 1962, 8(2): 401-416
- [7] Clark A G, Dick G L, Smith J N. Kinetic studies on a glutathione S-transferase from the larvae of *Costelytra zealandica* [J]. *Biochem*, 1984, 217: 51-58
- [8] 慕立义. 植物化学保护研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993
- [9] Wright D J, Iqbal M, Verkerk R H J. Mededelingen faculteit landbouwkundige en toegepaste biologische

wetenschappen [J] *Universiteit Gent*, 1995, 60: 927-933

- [10] 梁沛, 高希武, 郑炳宗, 等 小菜蛾对阿维菌素的抗性机制及交互抗性研究[J] *农药学学报*, 2001, 3(1): 41-45
- [11] 吴青君, 张文吉, 徐宝云, 等 敏感和抗阿维菌素小菜蛾的生物适合度[J] *农药学学报*, 2000, 3(3): 23-28
- [12] 孟和生, 王开运, 姜兴印, 等 桔全爪螨的抗药性选育与解毒酶活力变化[J] *昆虫学报*, 2002, 45(1): 58-62
- [13] 冷欣夫, 唐振华, 王荫长 杀虫药剂分子毒理学及昆虫抗药性[M] 北京: 中国农业出版社, 1996 1-29
- [14] 张文吉, 张友军, 韩熏莱 棉铃虫不同龄期幼虫羧酸酯酶、谷胱甘肽转移酶、乙酰胆碱酯酶研究[J] *植物保护学报*, 1996, 23(2): 156-162
- [15] 韩启发, 庄佩君, 唐振华 抗杀螟硫磷二化螟的抗性遗传力研究[J] *昆虫学报*, 1995, 38(4): 402-404
- [16] 范志金, 陈年春 截形叶螨抗药性主导机理的研究[J] *植物保护学报*, 1996, 23(2): 175-180
- [17] 龚坤元 杀虫药剂与昆虫毒理进展[M] 北京: 科学出版社, 1983

Study on Resistance Selection and Activity of Detoxification Enzyme in *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval)

HE Lin, TAN Shi-lu^{*}, CAO Xiao-fang, ZHAO Zhimo^{*},
DENG Xin-ping, WANG Jin-jun

(Key Laboratory of Entomology and Pest Control Engineering of Chongqing,
Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

Abstract: Fenpropathrin and abamectin were used to select the resistance in *Tetranychus cinnabarinus* in laboratory. After 42 and 40 generations selection with abamectin and fenpropathrin, *Tetranychus cinnabarinus* developed 8.7 and 68.5-fold resistance to the two acaricides respectively. The major resistant mechanism to abamectin was the increasing of the activity of carboxylesterases (CarE), glutathion S-transferase (GSTs) and mixed function oxidase (MFO), and the activity in resistant strain developed 2.7, 3.4 and 1.4-fold contrasted to susceptible strain respectively. The activity of GSTs in the strain selected with fenpropathrin developed 2.8 fold contrast to susceptible strain, which meant the resistance was related with the increasing of the activity of GSTs in resistant strain. The result of the kinetic determination of CarE showed that the structure of CarE in the strain selected with abamectin has been changed.

Key word: *Tetranychus cinnabarinus*; abamectin; fenpropathrin; resistance; detoxification enzyme