

# 二斑叶螨对阿维菌素、哒螨灵和甲氰菊酯的抗性选育及其解毒酶活力变化

赵卫东, 王开运\*, 姜兴印, 仪美芹

(山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018)

**摘要:** 在室内模拟田间药剂的选择压力, 用阿维菌素、哒螨灵和甲氰菊酯对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 逐代处理, 以选育其抗性种群。选育至 12 代, 对阿维菌素抗性增长到 6.72 倍, 对哒螨灵抗性增长到 12.1 倍, 对甲氰菊酯抗性增长到 19.9 倍。酶抑制剂和离体酶活性的测定结果表明, 阿维菌素抗性种群的多功能氧化酶和谷胱甘肽 S-转移酶的活性均有所提高; 二斑叶螨对哒螨灵的抗性可能与多功能氧化酶、羧酸酯酶的活性增强有关; 而羧酸酯酶、多功能氧化酶和谷胱甘肽 S-转移酶活性的增强可能是二斑叶螨对甲氰菊酯产生抗性的主要原因。

**关键词:** 二斑叶螨; 阿维菌素; 哒螨灵; 甲氰菊酯; 抗性选育; 解毒酶

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296 (2003) 06-0788-05

## Resistance selection by abamectin, pyridaben and fenpropathrin and activity change of detoxicant enzymes in *Tetranychus urticae*

ZHAO Wei-Dong, WANG Kai-Yun\*, JIANG Xing-Yin, YI Mei-Qin (Plant Protection College, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

**Abstract:** The selection for resistance by abamectin, pyridaben and fenpropathrin to *Tetranychus urticae* were carried out in laboratory, as well as activity change of detoxicant enzymes. The susceptible population of *T. urticae* was separately treated with abamectin, pyridaben and fenpropathrin imitating field chemicals selection pressure in order to breed its resistance. The results showed that the resistance of *T. urticae* had reached 6.72-fold to abamectin, 19.9-fold to fenpropathrin and 12.1-fold to pyridaben after 12 generations treatment. The resistance mechanism was evaluated by activity measurement of enzymic inhibitors and detoxicant enzymes. It was concluded that the rise of resistance to abamectin was mainly associated with increased activities of mixed-function oxidases and glutathione S-transferase; the resistance to pyridaben was attributed to increased activities of carboxylesterase and mixed-function oxidases; the main cause of resistance to fenpropathrin was the increased activities of carboxylesterase and glutathione S-transferase.

**Key words:** *Tetranychus urticae*; abamectin; pyridaben; fenpropathrin; resistance-selection; detoxicant enzymes

二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 是一种重要的世界性害螨。该螨在我国北方发生严重, 不仅为害棉花、大豆、蔬菜、花卉等作物, 也是苹果、葡萄、梨等落叶果树的重要害螨之一, 其寄主植物有 50 余科 200 余种。对二斑叶螨的防治, 目前仍以化学农药为主, 由于螨体小、世代多、繁殖速度快、发育历期短的特点, 该螨极易产生抗药性。本研究的目的是通过室内对二斑叶螨抗药性的选育, 探讨其对阿维菌素、哒螨灵和甲氰菊酯抗性的发

动态及其解毒酶活力变化, 为二斑叶螨的抗药性治理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试螨

二斑叶螨采自山东省泰安市郊区零星菜地的菜豆上, 很少使用化学农药, 对多种农药较为敏感。在温室内笼罩下用盆栽菜豆饲养, 温度 25 ~ 28℃,

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目 (2001BA509B08)

作者简介: 赵卫东, 男, 1977 年 1 月生, 山东济宁人, 农药学硕士, 现在天津市出入境检验检疫局任职

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: kywang@sda.u.edu.cn

收稿日期 Received: 2002-10-08; 接受日期 Accepted: 2003-03-11

相对湿度为 60% ~ 90%。

## 1.2 供试药剂

阿维菌素 (Abamectin), 1% 乳油 (浙江海正股份有限公司); 哒螨灵 (Pyridaben), 15% 乳油 (山东淄博新华化工股份有限公司); 甲氰菊酯 (Fenpropathrin), 20% 乳油 (东阳市金鑫化学工业公司); 增效磷 (SV<sub>1</sub>), 98% 原油 (中国科学院动物研究所); 增效醚 (Piperoyl butoxide, PBO), 92% 原油 (日本高沙化学公司); 磷酸三苯酯 (Triphenyl phosphate, TPP), 化学纯 (上海化学试剂一厂); 顺丁烯二酸二乙酯 (Diethyl maleate, DEM), 化学纯 (上海化学试剂三厂)。

## 1.3 毒力测定方法

参照 FAO 推荐的玻片浸渍法 (Slide-dip method) 并加以改进。将双面胶带剪成 2 ~ 3 cm 长, 贴在显微镜载玻片的一端, 用零号毛笔挑取大小一致、体色鲜艳、行动活泼的雌成螨, 将其背部粘在双面胶带上, 每片粘 30 头。在温度 (25 ± 1) °C, 相对湿度为 85% 的生化培养箱中放置 4 h 后, 用双目镜观察, 剔除死亡或不活泼个体。将药剂稀释 5 ~ 7 个浓度, 把带螨玻片在药液中浸渍 5 s, 取出后用吸水纸吸干螨体及周围多余的药液, 置于 (25 ± 1) °C 生化培养箱中, 24 h 后检查结果, 用毛笔轻触螨体, 以螨足不动者为死亡。每一个浓度 3 个重复, 另以清水作对照。对照组死亡率在 10% 以内为有效试验, 所得数据经 DPS 软件处理, 求出毒力回归式及 LC<sub>50</sub> 值。

## 1.4 抗性选育方法

将二斑叶螨泰安敏感种群隔离饲养稳定 2 代后, 分成 4 个种群, 分别标记为敏感品系、阿维菌素品系、甲氰菊酯品系和哒螨灵品系, 并测定 3 种药剂的毒力基线。抗性选育的 3 个种群待螨量达到一定密度后, 每代以杀死种群约 60% ~ 70% 个体的浓度喷雾处理, 存活个体继续饲养, 累代连续处理存活个体的子代, 每隔 3 代测定其 LC<sub>50</sub> 值。

## 1.5 抗性机理研究

**1.5.1 酶抑制剂测定法:** 以选育的 3 个抗性品系为试虫, 将酶抑制剂与药剂按有效成分 3:1 的比例混合, 参照玻片浸渍法测定药剂和混剂对二斑叶螨的毒力 (酶抑制剂在测定范围内对二斑叶螨无直接杀伤作用), 比较 LC<sub>50</sub> 值, 计算酶抑制剂对药剂的增效作用。增效比 = 药剂的 LC<sub>50</sub> 值 / (药剂 + 酶抑

制剂的 LC<sub>50</sub> 值)。

**1.5.2 生化分析法:** (1) 羧酸酯酶 (CarE) 比活力测定 (姜家良等, 1980): 以 α-醋酸萘酯作底物, 底物溶液中含毒扁豆碱。将螨体置于 0.04 mol/L pH 7.0 磷酸缓冲液中, 在冰水浴中充分匀浆, 然后在高速冷冻离心机上以 6 000 r/min 离心 10 min, 吸取上清液作酶源。反应条件为 30 °C, 保温 30 min。 (2) 乙酰胆碱酯酶 (AChE) 比活力测定 (陈巧云等, 1980): 以碘化硫代乙酰胆碱作底物, 将螨体置于 0.1 mol/L pH 7.4 磷酸缓冲液中, 在冰水浴中充分匀浆, 然后在高速冷冻离心机上以 6 000 r/min 离心 10 min, 吸取上清液作酶源。反应条件为 27 °C, 保温 15 min。 (3) 谷胱甘肽 S-转移酶 (GST) 比活力测定 (慕立义等, 1994): 以还原型谷胱甘肽作底物, 将螨体置于 60 mmol/L pH 7.0 磷酸缓冲液中, 在冰水浴中充分匀浆, 然后在高速冷冻离心机上以 6 000 r/min 离心 10 min, 吸取上清液作酶源。27 °C, 测定记录 5 min 内 OD 变化值。 (4) 酶源蛋白质含量测定: 参照 Bradford (1976) 方法。酶源制备同乙酰胆碱酯酶比活力测定。反应条件为 25 °C, 保温 2 min。 (5) 羧酸酯酶米氏常数 (K<sub>m</sub>)、最大反应速度 (V<sub>max</sub>) 的测定: K<sub>m</sub> 反映酶对底物的亲和力, V<sub>max</sub> 代表酶活力。测定方法同羧酸酯酶比活力测定。上述所有生化分析实验中酶源样品的制备均重复 3 次。

## 2 结果与分析

### 2.1 二斑叶螨对阿维菌素、哒螨灵和甲氰菊酯的抗性发展趋势

二斑叶螨对阿维菌素的抗性发展较为缓慢, 选育至 12 代, 抗性为 6.72 倍, 尚未形成比较明显的抗性品系 (表 1)。二斑叶螨对哒螨灵的抗性发展比较快, 选育至 12 代, 抗性达 12.1 倍 (表 2)。二斑叶螨对甲氰菊酯的抗性发展较哒螨灵更快, 选育至 12 代, 抗性达 19.9 倍 (表 3)。由此表明, 不同类型的杀螨剂在相同的选择压力下, 同样选择 12 代, 其抗性发展速度差异很大, 二斑叶螨对抗生素类杀虫杀螨剂阿维菌素的抗性风险小于哒螨灵和甲氰菊酯。是否选择更多的代数后, 抗性还会出现突增现象, 还需另行研究。

表 1 二斑叶螨对阿维菌素的抗性发展

Table 1 Resistance development of *T. urticae* to abamectin

选育代数 Selected generation	毒力回归式 LD-P line	$\chi^2$	LC <sub>50</sub> (mg/L) (95% CL)	抗性倍数 R/S
F <sub>0</sub>	$y = 7.3305 + 1.7601x$	0.3065	0.0474 (0.0379 ~ 0.0593)	1.0
F <sub>3</sub>	$y = 8.5766 + 3.3255x$	0.1128	0.0840 (0.0754 ~ 0.0936)	1.77
F <sub>6</sub>	$y = 6.8797 + 2.1634x$	0.4832	0.1352 (0.1109 ~ 0.1649)	2.85
F <sub>9</sub>	$y = 5.8512 + 1.5092x$	0.5065	0.2729 (0.2215 ~ 0.3361)	5.76
F <sub>12</sub>	$y = 5.8306 + 1.6738x$	0.2817	0.3190 (0.2666 ~ 0.3816)	6.72

表 2 二斑叶螨对吡螨灵的抗性发展

Table 2 Resistance development of *T. urticae* to pyridaben

选育代数 Selected generation	毒力回归式 LD-P line	$\chi^2$	LC <sub>50</sub> (mg/L) (95% CL)	抗性倍数 R/S
F <sub>0</sub>	$y = 1.1488 + 2.1510x$	0.3890	61.720 (52.066 ~ 73.171)	1.0
F <sub>3</sub>	$y = 2.3850 + 1.3637x$	0.2517	82.714 (51.474 ~ 119.04)	1.34
F <sub>6</sub>	$y = 1.5103 + 1.5970x$	0.2428	153.17 (108.90 ~ 215.38)	2.48
F <sub>9</sub>	$y = 1.1807 + 1.5248x$	0.4702	319.73 (254.36 ~ 402.00)	5.18
F <sub>12</sub>	$y = -1.2213 + 2.1659x$	0.6045	745.39 (636.03 ~ 873.49)	12.1

表 3 二斑叶螨对甲氰菊酯的抗性发展

Table 3 Resistance development of *T. urticae* to fenprothrin

选育代数 Selected generation	毒力回归式 LD-P line	$\chi^2$	LC <sub>50</sub> (mg/L) (95% CL)	抗性倍数 R/S
F <sub>0</sub>	$y = 2.0993 + 1.4492x$	0.2639	101.37 (69.699 ~ 147.29)	1.0
F <sub>3</sub>	$y = -0.7371 + 2.1594x$	0.5033	453.74 (382.12 ~ 538.72)	4.52
F <sub>6</sub>	$y = -4.1605 + 2.9790x$	0.1748	1 188.6 (1 046.6 ~ 1 350.2)	11.8
F <sub>9</sub>	$y = -0.9384 + 1.8993x$	0.3357	1 338.5 (1 069.2 ~ 1 675.4)	13.3
F <sub>12</sub>	$y = -0.9333 + 1.7972x$	0.3750	2 002.8 (1 658.7 ~ 2 416.7)	19.9

## 2.2 酶抑制剂对三种药剂的增效作用

顺丁烯二酸二乙酯、增效醚、磷酸三苯酯和增效磷分别为谷胱甘肽 S-转移酶抑制剂、多功能氧化酶抑制剂、酯酶抑制剂、多功能氧化酶和酯酶抑制剂。增效醚、顺丁烯二酸二乙酯对阿维菌素有一定的增效作用(毒力分别提高 0.81 倍和 1.20 倍),说明多功能氧化酶和谷胱甘肽 S-转移酶解毒作用的增强可能是二斑叶螨对阿维菌素产生抗性的原因

(表 4)。增效醚、磷酸三苯酯对吡螨灵增效明显(毒力分别提高 0.76 倍和 2.25 倍),可初步认为二斑叶螨对吡螨灵的抗性与多功能氧化酶和羧酸酯酶有关(表 5)。顺丁烯二酸二乙酯、磷酸三苯酯和增效磷对甲氰菊酯均表现出比较显著的增效作用(毒力分别提高 5.94 倍、3.46 和 2.08 倍),说明谷胱甘肽 S-转移酶、羧酸酯酶解毒活性的增强可能是二斑叶螨对甲氰菊酯产生抗性的原因(表 6)。

表 4 不同增效剂对阿维菌素的增效作用

Table 4 Synergism of different synergists to abamectin

药剂 Chemicals	毒力回归式 LD-P line	$\chi^2$	LC <sub>50</sub> (mg/L) (95% CL)	增效倍数 Synergism ratio
阿维菌素 Abamectin	$y = 5.8306 + 1.6738x$	0.5109	0.3190 (0.2666 ~ 0.3816)	1.0
阿维菌素 + SV <sub>1</sub> Abamectin + SV <sub>1</sub>	$y = 5.7055 + 1.5032x$	0.1870	0.3394 (0.2581 ~ 0.4463)	0.94
阿维菌素 + TPP Abamectin + TPP	$y = 5.9527 + 1.8985x$	0.3812	0.3149 (0.2482 ~ 0.3996)	1.01
阿维菌素 + DEM Abamectin + DEM	$y = 6.5127 + 2.0083x$	0.4686	0.1765 (0.1417 ~ 0.2198)	1.81
阿维菌素 + PBO Abamectin + PBO	$y = 6.7994 + 2.1835x$	0.2547	0.1499 (0.1184 ~ 0.1898)	2.20

注 Notes: 本试验采用单独使用酶抑制剂作对照处理, 死亡率均在 10% 以内 Use synergists only as control experiments, and death rates were all below 10%. DEM: 顺丁烯二酸二乙酯 Diethyl maleate; TPP: 磷酸三苯酯 Triphenyl phosphate; PBO: 增效醚 Piperoyl butoxide. 下同 The same below.

表 5 酶抑制剂对哒螨灵的增效作用

Table 5 Synergism of different synergists to pyridaben

药剂 Chemicals	毒力回归式 LD-P line	$\chi^2$	LC <sub>50</sub> (mg/L) (95%CL)	增效倍数 Synergism ratio
哒螨灵 Pyridaben	$y = -1.2213 + 2.1659x$	0.2845	745.39 (636.03 ~ 873.49)	1.0
哒螨灵 + SV <sub>I</sub> Pyridaben + SV <sub>I</sub>	$y = -2.3868 + 2.4624x$	0.1922	999.63 (862.15 ~ 1158.9)	0.75
哒螨灵 + DEM Pyridaben + DEM	$y = -1.8874 + 2.3079x$	0.4421	964.43 (826.88 ~ 1124.7)	0.77
哒螨灵 + TPP Pyridaben + TPP	$y = -2.6887 + 2.9265x$	0.3407	423.90 (340.65 ~ 527.43)	1.76
哒螨灵 + PBO Pyridaben + PBO	$y = -1.3668 + 2.6974x$	0.1785	229.27 (197.73 ~ 265.84)	3.25

表 6 酶抑制剂对甲氰菊酯的增效作用

Table 6 Synergism of different synergists to fenpropathrin

药剂 Chemicals	毒力回归式 LD-P line	$\chi^2$	LC <sub>50</sub> (mg/L) (95%CL)	增效倍数 Synergism ratio
甲氰菊酯 Fenpropathrin	$y = -0.9333 + 1.7972x$	0.3007	2001.8 (1658.7 ~ 2416.7)	1.0
甲氰菊酯 + PBO Fenpropathrin + PBO	$y = -3.7963 + 2.7323x$	0.1850	1657.2 (1377.4 ~ 1994.1)	1.21
甲氰菊酯 + SV <sub>I</sub> Fenpropathrin + SV <sub>I</sub>	$y = -2.5203 + 2.6741x$	0.5372	649.04 (545.28 ~ 772.34)	3.08
甲氰菊酯 + TPP Fenpropathrin + TPP	$y = -2.4154 + 2.7963x$	0.7670	448.60 (394.02 ~ 510.79)	4.46
甲氰菊酯 + DEM Fenpropathrin + DEM	$y = -0.4343 + 2.2091x$	0.2971	288.38 (229.27 ~ 362.71)	6.94

### 2.3 二斑叶螨不同品系羧酸酯酶、乙酰胆碱酯酶、谷胱甘肽 S-转移酶比活力变化

谷胱甘肽 S-转移酶解毒活性的增强是二斑叶螨对阿维菌素产生抗性的原因之一。阿维菌素抗性品系的比活力 ( $1.9357 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 是敏感品系 ( $0.8484 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 的 2.28 倍; 同时, 乙酰胆碱酯酶比活力也有明显提高, 说明该抗性品系在选育中, 药剂对乙酰胆碱酯酶也产生一定的诱导效应。哒螨灵抗性品系羧酸酯酶比活力 ( $0.0528 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 是敏感品系 ( $0.0392 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 的 1.35 倍, 该抗性与羧酸酯酶有关。甲氰菊酯抗性品系羧酸酯酶的比活力 ( $0.1007 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 是敏感品系 ( $0.0392 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 的 2.57 倍, 谷胱甘肽 S-转移酶的比活力差异也很显著, 由此证明羧酸酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶的解毒活性的增

强可能是二斑叶螨对甲氰菊酯产生抗性的主要原因; 该抗性品系乙酰胆碱酯酶比活力有显著提高, 表明在抗性选育中, 甲氰菊酯对乙酰胆碱酯酶产生的诱导效应较阿维菌素更大一些 (表 7)。以上结果与酶抑制剂生物测定所得结果相符, 进一步明确了二斑叶螨的抗性机理。

### 2.4 二斑叶螨不同品系羧酸酯酶米氏常数 $K_m$ 及最大反应速度 $V_{max}$ 的测定结果

甲氰菊酯品系和哒螨灵品系的  $K_m$  较小,  $V_{max}$  大于敏感品系, 说明在这两个品系中, 不仅羧酸酯酶的量有所增加, 而且其亲和力也比敏感品系的强, 证明抗性品系与敏感品系之间羧酸酯酶不但有量的差异, 也有质的区别; 阿维菌素品系的  $K_m$  和  $V_{max}$  测定结果也进一步证明了二斑叶螨对阿维菌素的抗性与羧酸酯酶无关 (表 8)。

表 7 二斑叶螨不同品系羧酸酯酶、乙酰胆碱酯酶、谷胱甘肽 S-转移酶比活力

Table 7 Activities of carboxylesterase, acetylcholinesterase and glutathione-S-transferase in different *T. urticae* strains

品系 Strains	羧酸酯酶比活力 CarE activity ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	乙酰胆碱酯酶比活力 AChE activity ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	谷胱甘肽 S-转移酶比活力 GST activity ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )
敏感品系 S-strain	0.0392 ab (0.0367 ~ 0.0413)	0.1844 ab (0.1672 ~ 0.2031)	0.8484 ab (0.8164 ~ 0.8831)
抗阿维菌素品系 R-abamectin	0.0357 a (0.0344 ~ 0.0368)	0.2922 b (0.2675 ~ 0.3236)	1.9357 b (1.7786 ~ 2.1381)
抗哒螨灵品系 R-pyridaben	0.0528 b (0.0462 ~ 0.0661)	0.1813 a (0.1684 ~ 0.1977)	0.7347 a (0.6833 ~ 0.7769)
抗甲氰菊酯品系 R-fenpropathrin	0.1007 c (0.0863 ~ 0.1255)	0.4544 c (0.4231 ~ 0.4863)	2.4476 c (2.0086 ~ 2.943)

表中数据经 Duncan 新复极差检验, 同行数据后不同字母者表示在 0.05 水平上差异显著。下同

Data in the table were tested by Duncan's test, data in the same row followed by different letters show significant difference at 0.05 level. The same below.

表 8 二斑叶螨不同品系羧酸酯酶米氏常数  $K_m$  及最大反应速度  $V_{max}$ Table 8 Michaelis constant ( $K_m$ ) and maximum velocity ( $V_{max}$ ) of carboxylesterase in different *T. urticae* strains

品系 Strains	$K_m$ ( $\mu\text{mol/L}$ )	R/S	$V_{max}$ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	R/S
敏感品系 S-strain	0.8624	1.0	0.2772 b (0.2468 ~ 0.3031)	1.0
抗阿维菌素品系 R-abamectin	0.9036	1.05	0.1793 a (0.1568 ~ 0.1905)	0.65
抗哒螨灵品系 R-pyridaben	0.5761	0.67	0.4123 c (0.3714 ~ 0.4576)	1.49
抗甲氧菊酯品系 R-fenpropathrin	0.2143	0.25	0.5406 d (0.4983 ~ 0.5826)	1.95

### 3 讨论

阿维菌素作为抗生素类杀虫杀螨剂, 作用机理是刺激虫体产生  $\gamma$ -氨基丁酸, 阻断运动神经信息的传递, 使害虫在几个小时内迅速麻痹、拒食、缓动或不动。由于其独特的作用机制, 再加上易分解、无生物积累和残留、不污染环境等优点, 它代表了当今害虫控制和抗性治理的一个新方向。该药在国外广泛应用于对马铃薯甲虫、家蝇和二斑叶螨的防治, 并取得了很好的效果。但是由于近年来对阿维菌素连续广泛的使用, 使得其防治效果有所降低。据报道, 家蝇 *Musca domestica* (Scott *et al.*, 1991)、二斑叶螨 *Tetranychus urticae* (Clark, 1994; Campos *et al.*, 1996)、马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Argentine *et al.*, 1992)、德国蜚蠊 *Blattella germanica* (Scott *et al.*, 1991) 等对阿维菌素均产生了抗性。从本研究结果看, 阿维菌素对二斑叶螨的毒力比较高, 抗性增长速度比较缓慢, 但抗性种群中已经有少量抗性个体的存在。国外对阿维菌素的抗性机理有了一定研究, Wheelock 和 Scott (1990) 认为表皮穿透性降低和多功能氧化酶的代谢增强是家蝇对阿维菌素产生抗性的主要原因。Argentine 等 (1992) 通过使用酶抑制剂和同位素标记法, 证明酯酶和多功能氧化酶活性的提高是马铃薯甲虫对阿维菌素产生抗性的主要原因, 而与谷胱甘肽 S-转移酶的氧化代谢和表皮穿透力的降低没有关系。Campos 和 Dybas (1992) 及 Campos 等 (1996) 认为氧化代谢在二斑叶螨对阿维菌素的抗性中起一定的作用, 但不是主要因子, 选育得到的不同品系抗性机制有所差别, 有的与表皮穿透性降低有关, 有的与螨体对药剂的排泄能力增强有关。作者认为二斑叶螨体内多功能氧化酶和谷胱甘肽 S-转移酶活性的增强是其对阿维菌素产生抗性的主要原因。赵卫东等 (2001) 已证实, 阿维菌素是目前对二斑叶螨雌成螨毒力最高的药剂, 其它常用杀螨剂对成螨的毒力都很低, 某些药剂在生产中几乎无控制作用。为延缓二斑叶螨对该药的抗性发展速度, 延长该药的使用寿命, 应及早注意科学使用这一药剂。

### 参 考 文 献 (References)

- Argentine J A, Clark J M, Lin H, 1992. Genetics and biochemical mechanism of abamectin resistance in two isogenic strains of colorado potato beetle. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 44: 191 - 207.
- Bradford M M, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein-dye utilizing the principle of protein-dye binding. *Analyt. Biochem.*, 72: 248 - 254.
- Campos F, Dybas R A, 1992. Abamectin resistance in twospotted spider mites, *Tetranychus urticae*. Presented at Entomol. Soc. Am. Annu. Meeting, Baltimore, MD.
- Campos F, Krupa D A, Dybus R A, 1996. Susceptibility of populations of twospotted spider mites from Florida, Holland, and the canary islands to abamectin and characterization of abamectin resistance. *J. Econ. Entomol.*, 89 (3): 594 - 601.
- Chen Q Y, Jiang J L, Lin G F, Liu W D, 1980. Studies on the resistance of dipterex-resistant mosquito *Culex pipiens* Coq.: On the relationship between hydrolase and resistance. *Acta Entomol. Sin.*, 23 (4): 350 - 357. [陈巧云, 姜家良, 林国芳, 刘维得, 1980. 淡色库蚊对敌百虫抗性的研究——水解酶同敌百虫抗性关系. 昆虫学报, 23 (4): 350 - 357]
- Clark J M, 1994. Resistance to avermectins: extent, mechanisms, and management implications. *Annu. Rev. Entomol.*, 40: 1 - 30.
- Jiang J L, Chen Q Y, Huang G, Zhang Q Z, 1980. On the properties of carboxylesterase in OP-resistant and susceptible mosquitoes, *Culex pipiens pallens* Coq. *Contr. Shanghai Inst. Entomol.*, (1): 69 - 76. [姜家良, 陈巧云, 黄刚, 张勤争, 1980. 抗有机磷淡色库蚊的羧酸酯酶研究. 昆虫学研究集刊, (1): 69 - 76]
- Mu L Y, Wu W J, Wang K Y, 1994. Research Methods of Plant Chemical Protection. Beijing: China Agricultural Press. 160 - 161. [慕立义, 吴文君, 王开运, 1994. 植物化学保护研究方法. 北京: 中国农业出版社. 160 - 161]
- Scott J G, Roush R T, Liu N, 1991. Selection of high-level abamectin resistance from field-collected house flies, *Musca domestica*. *Experientia*, 47: 288 - 291.
- Wheelock G D, Scott J G, 1990. Immunological detection of cytochrome P450 from insecticide resistant and susceptible house flies. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 38: 130 - 139.
- Zhao W D, Wang K Y, Jiang X Y, Yi M Q, 2001. Studies on the resistance of *Tetranychus urticae* to several acaricides. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 3: 86 - 88. [赵卫东, 王开运, 姜兴印, 仪美芹, 2001. 二斑叶螨对常用杀螨剂的抗性测定. 农药学报, 3: 86 - 88]