

寄主植物对朱砂叶螨药剂敏感性及其解毒酶活性的短期诱导研究*

戴宇婷 张友军 吴青君 谢文 王少丽**

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081)

摘要 将继代饲养在菜豆上的朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) 分别转移到黄瓜、甘蓝和茄子上饲养3代后,测定不同寄主植物对叶螨的药剂敏感性及其解毒酶系活性的诱导作用。结果表明,从菜豆上转养到黄瓜、甘蓝和茄子上后,后3个寄主上叶螨种群对阿维菌素的敏感度均有所上升,对联苯菊酯的敏感度有升有降,甘蓝、茄子上的叶螨种群 LC_{50} 值分别是菜豆种群的0.27倍和0.44倍。各寄主上饲养的朱砂叶螨的解毒酶活性也发生了不同程度的变异,黄瓜种群上 MFO、CarE 活性均显著高于其它3种寄主,菜豆种群的 GST 活性显著高于转养的3种寄主,而甘蓝种群的 AchE 活性是菜豆种群的3.37倍。研究结果表明不同寄主植物短期饲养可改变朱砂叶螨的药剂敏感性及其解毒酶活性,这种改变随寄主不同而异。

关键词 朱砂叶螨,寄主植物,药剂敏感性,解毒酶活性

Short-term induction effects of different host plants on the insecticide susceptibilities and detoxification enzymes of *Tetranychus cinnabarinus*

DAI Yu-Ting ZHANG You-Jun WU Qing-Jun XIE Wen WANG Shao-Li**

(Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Induction effects of different host plants on the insecticide susceptibilities and detoxification enzymes of the spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) were measured in mites that had been reared on beans, cucumbers, cabbages, and eggplants for 3 generations. The founders of each mite population had been obtained from bean plants. Mites fed on cucumber, cabbage, and eggplant displayed increased susceptibility to abamectin, whereas susceptibility to bifenthrin was more variable. The LC_{50} values of mites on cabbage and eggplant were, respectively, 0.27 times and 0.44 times that of those on beans. The activities of mites' detoxification enzymes differed on different host plants. The activities of MFO and CarE in mites on cucumbers were significantly higher than in those on the other 3 host plants and GST activity of mites on beans was significantly higher than in those on other plants. The AchE activity of *T. cinnabarinus* on cabbage was 3.37 times higher than that of those on beans. These results show that short-term rearing of *T. cinnabarinus* on different vegetable crops can induce different insecticide susceptibilities and detoxifying enzyme activity.

Key words *Tetranychus cinnabarinus*, host plant, insecticide susceptibility, detoxification activities

昆虫与寄主植物之间的复杂关系是生态学中的重要组成部分,也是国际研究热点问题之一。寄主植物本身存在防御机制,植食性昆虫为了对抗这种防御,通常会发展出一套解决策略,包括解毒酶活性的变化和不同解毒酶结构的改变(Xie

et al., 2011),其中多数是取食不同寄主植物而导致其体内解毒酶活性发生变化,进而影响其对不同药剂的敏感性,这在多种害虫中已经得到证明,其中包括棉铃虫(王建军等,2001)、苹果黄蚜(吕朝军等,2007)、B型烟粉虱(安志兰等,2008;

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201103020)。

**通讯作者, E-mail: wangshl@caas.net.cn

收稿日期:2012-12-06, 接受日期:2012-12-28

Xie *et al.*, 2011) 等。Xue 等(2010) 研究发现斜纹夜蛾在烟草上饲养 3 代后, 对辛硫磷和甲维盐的耐性增强, 而饲养在甘薯上的种群对药剂敏感性升高, 体内解毒酶系也同时相应发生了变化。

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) 是具有重要经济意义的世界性叶螨, 主要危害蔬菜、花卉、棉花及其它农作物。由于其体积小, 生殖能力强, 生命周期短等原因, 条件合适时种群数量增长速度很快, 极易给作物造成受害, 严重时甚至整株死亡。朱砂叶螨取食广泛, 寄主植物至少达 113 种, 而不同寄主植物对叶螨的生长发育、生殖等特性等均造成显著影响(马俐等, 2005; 刘学辉等, 2007)。Yang 等(2001) 把二斑叶螨试虫从利马豆上分别转移到黄瓜、玉米上饲养 7 d 后, 即发现黄瓜种群对乐果的敏感性高于利马豆种群, 而其酯酶和谷胱甘肽转移酶(GST) 活性也分别降低了 60% 和 25%; 而其取食不同蔬菜寄主后, 其各解毒酶活性亦发生显著变化(戴宇婷等, 2012), 说明叶螨在不同寄主植物上饲养之后, 能够快速调整其体内的解毒酶活性, 进而适应不同的寄主植物。

为明确常见蔬菜寄主对朱砂叶螨的短期诱导作用, 本研究将朱砂叶螨试虫在菜豆、黄瓜、甘蓝和茄子 4 种不同蔬菜寄主上饲养 3 代后, 测定其对不同药剂的敏感度及重要解毒酶的活性变异, 研究结果可进一步丰富叶螨的寄主适应性及叶螨和植物之间的相互关系等基础理论资料, 也为田间叶螨的综合治理策略的制定提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 供试叶螨

朱砂叶螨试虫由南京农业大学植物保护学院洪晓月教授惠赠; 室内以“碧丰”牌无螨菜豆苗 (*Phaseolus vulgaris* L.) 叶片做寄主植物, 采用培养皿海绵水隔离台法进行继代饲养, 每 5 d 更换一次新鲜叶片。培养箱温度 26℃, 光周期为 L:D = 16:8。

该朱砂叶螨种群由菜豆叶片上分别转接到自然条件下生长的茄子(圆杂 9 号)、甘蓝(京丰一号)、黄瓜(中农 12 号)上饲养 3 代后, 选取包括菜豆在内的 4 种蔬菜寄主上的雌成螨分别进行药剂敏感性和解毒酶活性测定。

1.2 供试药剂及试剂

供试杀虫剂为 97.75% 阿维菌素原药, 石家庄市凯利达化工有限公司产品; 95.6% 联苯菊酯原药, 由江苏常隆化工有限公司生产。还原型谷胱甘肽和还原辅酶 II(NADPH) 为 Roche 公司产品, 苯甲基磺酰氟(PMSF) 为 BBI 公司产品, 乙二胺四乙酸(EDTA) 为 Amresco 公司产品, 二硫苏糖醇(DTT) 为 Merck 公司产品, 苯基硫脲(PTU) 和 α 乙酸萘酯购自北京精细化工厂, 1-氯 2,4 硝基苯酚(CDNB)、对硝基苯甲醚(p-NP) 为恒业中远化工有限公司产品。解毒酶活性测定试剂盒购自南京建成生物工程研究所。蛋白定量试剂盒为北京博迈德科技发展有限公司产品。

1.3 叶螨药剂敏感性测定

朱砂叶螨药剂敏感性测定参照联合国粮农组织推荐的玻片浸渍法(slide-dip method) 进行(FAO, 1980), 稍有改动。将双面胶带剪成 3 cm 长的宽带, 贴在载玻片一端, 去除双面胶带上的纸片, 用零号毛笔将雌成螨背部粘在胶带上, 每玻片粘 30 头左右叶螨。在 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、L:D = 16:8 的人工气候箱中放置 4 h 后, 在解剖镜下观察, 剔除死亡或不太活泼及体位不合适的个体, 剩余的个体作为试螨。各药剂分别稀释 5 个浓度, 将带螨玻片端在药液中轻轻摇动 5 s 后取出, 用吸水纸迅速吸干螨体及其周围多余的药液。清水浸过 5 s 的带螨玻片为空白处理, 每个处理重复 4 次。处理后的叶螨玻片保湿贮存在上述条件下。24 h 后在解剖镜下检查结果, 分别记录存活和死亡的叶螨数量。用毛笔轻触螨体, 以螨足不动者为死亡, 死亡率在 10% 以下为有效试验。

1.4 叶螨解毒酶活性测定

1.4.1 羧酸酯酶(CarE) 活力测定 取雌成螨 10 头, 置于 100 μL 冰冷的 0.2 mol/L 的磷酸缓冲液(pH6.0) 中匀浆, 匀浆液于 4℃、10 000 r/min 下离心 10 min, 上清液即为酶源。参照 Nauen 和 Stumpf(2002) 的方法, 在 450 nm 处、23℃ 下记录 5 min 内的 OD 值, 重复 4 次。测定蛋白质含量, 计算 CarE 的比活力。

1.4.2 多功能氧化酶(MFO) O-脱甲基活力的测定 取雌成螨 40 头, 置于冰冷的 200 μL 匀浆缓冲液(pH7.5 的 0.1 mol/L 磷酸缓冲液和 10% 甘油) 中匀浆, 匀浆液于 4℃、1 2000 r/min 下离心 10

min,取上清液再次离心 30 min,上清即为酶源。测定方法参照 Yu 和 Nguyen(1992)进行。以对硝基苯甲醚为底物,在 MFO 的作用下,生成对硝基苯酚钠,以对硝基苯酚做标准曲线用对硝基苯酚的生成量表示酶活力。每个样品重复 4 次。

1.4.3 谷胱甘肽 S-转移酶 (GST) 活力测定 取 10 头雌成螨,加入 100 μL 66 mmol/L pH 7.0 磷酸缓冲液(含 2 mmol/L EDTA)冰浴匀浆,4℃、10 000 r/min 离心 60 min,上清液为酶源。参照 Wu 和 Miyata(2005)方法:以 CDNB 为底物,与还原型谷胱甘肽 GSH 在 27℃ 下反应,在 340 nm 处,用 SpectraMax M2[®]酶标仪测定记录 5 min 内的 OD 值。测定蛋白质含量,计算 GSH 的比活力。每个样品重复 4 次。

1.4.4 乙酰胆碱脂酶 (AChE) 活力测定 酶源制备:取 20 头雌成螨,加入 200 μL 生理盐水匀浆,4℃、3 500 r/min 下离心 10 min,取上清液待测。按照试剂盒说明书测定。每个样品重复 4 次。

1.4.5 蛋白质浓度的测定 采用 Bradford 考马

斯亮蓝 G-250 法。按照蛋白定量试剂盒的操作说明书进行。每次试验所用的酶液均进行蛋白定量。

1.5 数据分析

药剂敏感性测定数据采用 Probit 软件进行处理,记录斜率、标准误、LC₅₀及其 95% 的置信区间。解毒酶活性测定数据采用 Excel 进行处理,方差分析采用 SPSS 软件进行,采用 Fisher’s LSD 法进行差异显著性分析($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同寄主植物对朱砂叶螨种群药剂敏感性的影响

测定了不同蔬菜上饲养的朱砂叶螨种群对阿维菌素和联苯菊酯的敏感性,由菜豆种群作为对照种群,其它各种群的 LC₅₀除以菜豆种群的 LC₅₀作为比值,结果见表 1。

表 1 朱砂叶螨各种群对不同药剂的敏感度测定

Table 1 Susceptibility of Tetranychus cinnabarinus reared on different plants to different insecticides				
杀虫剂 Insecticide	寄主 Host	斜率±标准误 b ±SE	致死中浓度 (mg/L) (95% 置信区间) LC ₅₀ (95% CI*)	比值 Ratio
阿维菌素 Abamectin	菜豆 Bean	1.03 ± 0.19	0.0040 (0.0023 – 0.0071)	1.00
	甘蓝 Cabbage	0.97 ± 0.20	0.0016 (0.0008 – 0.0033)	0.40
	黄瓜 Cucumber	1.74 ± 0.18	0.0022 (0.0002 – 0.0030)	0.55
	茄子 Eggplant	1.08 ± 0.20	0.0016 (0.0008 – 0.0028)	0.40
联苯菊酯 Bifenthrin	菜豆 Bean	1.03 ± 0.14	73.94 (43.72 – 125.08)	1.00
	甘蓝 Cabbage	1.39 ± 0.15	19.89 (13.96 – 28.34)	0.27
	黄瓜 Cucumber	1.14 ± 0.18	75.04 (44.87 – 115.68)	1.01
	茄子 Eggplant	1.22 ± 0.21	32.83 (18.89 – 57.04)	0.44

* CI = confidential interval.

表 1 数据表明,朱砂叶螨由菜豆转养到其它寄主植物上饲养 3 代后,对供试两种药剂的敏感度均发生了变化,对阿维菌素的 LC₅₀ 值由 0.0040 mg/L 降低为 0.0016 mg/L 或 0.0022 mg/L。变化虽然不大,但总体上,两种叶螨由菜豆转养到甘蓝、黄瓜和茄子寄主上之后,对阿维菌素的敏感度均有所上升。

朱砂叶螨对联苯菊酯的敏感度分别为黄瓜 > 菜豆 > 甘蓝 > 茄子,对应 LC₅₀ 值为 75.04、73.94、32.83、19.89 mg/L。朱砂叶螨其它各寄主种群与

菜豆种群相比,除黄瓜种群敏感度略有下降外,甘蓝、茄子 2 种寄主上叶螨种群的敏感度均表现为升高,其中在甘蓝种群上的敏感度上升最明显,LC₅₀ 由菜豆种群的 73.94 mg/L 降至甘蓝种群的 19.89 mg/L。

2.2 不同寄主对朱砂叶螨解毒酶活性的影响

4 种不同寄主植物对朱砂叶螨解毒酶系活性的影响见表 2。

表 2 不同寄主植物对朱砂叶螨解毒酶活性的影响

Table 2 Activities of detoxifying enzymes of *Tetranychus cinnabarinus* on different plants

寄主 Host	多功能氧化酶 MFO (pmol/30min/mg. pro)	羧酸酯酶 CarE (mOD/min/mg. pro)	谷胱甘肽 S-转移酶 GST (mOD/min/mg. pro)	乙酰胆碱酯酶 AChE (mU/mg. pro)
菜豆 Bean	49.76 ± 2.48 b	33.47 ± 1.79 b	33.47 ± 1.79 a	59.09 ± 6.03 c
甘蓝 Cabbage	43.68 ± 1.02 c	34.19 ± 1.27 b	15.68 ± 2.66 c	199.2 ± 11.33 a
黄瓜 Cucumber	60.27 ± 1.43 a	40.00 ± 0.72 a	26.08 ± 2.04 b	115.65 ± 5.09 b
茄子 Eggplant	50.46 ± 0.99 b	24.62 ± 1.09 c	11.99 ± 0.68 c	175.78 ± 8.16 a

注:表中是 4 次重复数据的平均值 ± SE。同一列数据后标有不同字母者表示在 0.05 水平上差异显著。
Data in the table are presented as mean ± SE from 4 replicates, and those followed by different letters in the same column indicate significantly different at the 0.05 level.

由表 2 数据可以看出,朱砂叶螨在 4 种供试寄主植物饲养后各解毒酶活性存在差异。其中,黄瓜寄主(60.27 pmol/30min/mg. pro)的 MFO 活性最高,茄子和菜豆次之,甘蓝寄主上最低(43.68 pmol/30min/mg. pro),黄瓜寄主的 P450 酶活力与其它 3 种寄主间存在显著差异,菜豆和茄子之间无显著差异,而与甘蓝之间差异显著。对于 CarE 来说,同样以黄瓜寄主的 CarE 活性(40.00 mOD/min/mg. pro)显著高于其它 3 种寄主,甘蓝和菜豆次之,两者之间差异不明显,茄子寄主(24.62 mOD/min/mg. pro)最低,取食黄瓜的 CarE 酶活力为茄子种群的 1.62 倍。而比较 GST 时,发现朱砂叶螨以菜豆寄主的 GST 活性(33.47 mOD/min/mg. pro)最高,黄瓜种群(26.08 mOD/min/mg. pro)次之,二者间差异显著;甘蓝种群(15.68

mOD/min/mg. pro)和茄子种群(11.99 mOD/min/mg. pro)上活性低且差异不显著,其中取食菜豆寄主的朱砂叶螨酶活力为茄子种群的 2.79 倍。同时,菜豆寄主上的朱砂叶螨种群的 AchE 活性(59.09 mU/mg. pro)上最低,其次为黄瓜种群(115.65 mU/mg. pro),而甘蓝寄主(199.2 mU/mg. pro)和茄子种群(175.78 mU/mg. pro)之间差异不显著,其中取食甘蓝的朱砂叶螨的 AchE 酶活力为菜豆种群的 3.37 倍。

3 结论与讨论

通常来说,植物的防御成分,例如毒素和防御蛋白等都参与了昆虫的生理活动,在植食性昆虫的药剂敏感性表现中发挥了重要的作用(Howe and Jander,2008)。而植食性昆虫对药剂敏感度

的差异很大部分可能是由不同寄主植物的诱导而产生的(Xie *et al.*, 2011),因此害虫对药剂的敏感性变化与植物中次生物质诱导激活或抑制害虫体内的相关解毒酶活性有关(潘亚飞等, 2006)。当昆虫在不同寄主植物上取食时,对药剂的敏感度变化有3种情况:敏感性上升、下降或者基本保持不变(Wang *et al.*, 2010; Xue *et al.*, 2010)。这种变化主要是与植物次生物质诱导昆虫解毒酶活性变化有关,同时植物体内的营养、结构和次生物质的含量分布、种类、害虫种类、发育阶段以及环境温度等因素也对这种诱导水平的高低起到一定程度的影响作用(姚洪渭等, 2002; Yang *et al.*, 2005)。如果植物对昆虫解毒酶活性的诱导作用发生在害虫抗药性形成早期,即会可能激活或提高害虫体内隐性抗性基因的频率,从而增加抗性形成的危险性(Xue *et al.*, 2010; Xie *et al.*, 2011)。

本研究中,饲养在菜豆上的叶螨种群,转移到茄子、黄瓜和甘蓝等蔬菜寄主上饲养3代后,对阿维菌素的敏感度升高了2.0~2.5倍,而对联苯菊酯的敏感度基本保持不变和上升(茄子和甘蓝种群分别上升了2.27~3.70倍);同时,黄瓜种群上朱砂叶螨的 LC_{50} 是甘蓝种群的3.77倍(表1),该结果与Xie等(2011)把烟粉虱种群寄主隔离3年后对联苯菊酯的敏感度趋势一致(相差了3.19倍)。而采集于田间甘蓝上的烟粉虱种群转移到甜瓜种群上之后, F_1 对联苯菊酯和硫丹混合物的敏感度显著下降(Castle *et al.*, 2009),上述研究表明无论寄主隔离时间的长与短,部分寄主植物均对试虫的药剂敏感的影响比较显著,说明寄主植物的次生物质对于试虫的药剂敏感性的影响占据重要地位,而试虫的寄主隔离时间的长短占据次要地位。

杀虫剂的过量使用会导致害虫对药剂产生抗药性,但植物中不同种类的次生物质对植食性昆虫的解毒酶活性的影响同样在害虫的抗药性发展中起到了关键的作用。本研究中,分别比较了不同寄主植物上朱砂叶螨种群的CarE、GST、MFO及AchE的活性,发现各寄主植物对叶螨的解毒酶系活性影响存在显著差异(表2)。在不同寄主上饲养3代后,黄瓜等寄主种群的GST活性与菜豆相比显著下降,而其乙酰胆碱酯酶活性显著升高,与Yang等(2001)结果相似,他们把二斑叶螨从利马豆转养到黄瓜上之后(1 d和7 d),发现GST活性

也显著下降。何林等(2003)发现在抗阿维菌素的朱砂叶螨种群中,其GSTs活性是敏感品系的3.4倍,差异达显著水平,推测GSTs是朱砂叶螨对阿维菌素产生抗药性的重要原因之一。本研究中,朱砂叶螨转移寄主饲养后,对阿维菌素敏感度的升高可能与寄主植物诱导GST活性下降以及乙酰胆碱酯酶活性升高(靶标敏感度增强)有关。

本研究中,朱砂叶螨从菜豆上转养到黄瓜、甘蓝和茄子3种寄主后,黄瓜上叶螨种群的P450酶系和羧酸酯酶活性显著高于其它3个种群,同时发现黄瓜叶螨种群对联苯菊酯的敏感度略有下降,其它两种种群呈上升趋势,其中甘蓝种群敏感度上升最明显, LC_{50} 由菜豆上的73.94 mg/L降至甘蓝上的19.89 mg/L,升高了3.72倍,初步分析寄主植物诱导叶螨体内羧酸酯酶和P450酶系活性上升可能是其对联苯菊酯敏感度下降的重要原因(表1和表2)。这种变化与二斑叶螨为试虫趋势相同(戴宇婷等, 2012),也与Huang和Han(2007)研究斜纹夜蛾对溴氰菊酯的抗性机理一致,而桔全爪螨或朱砂叶螨的抗甲氰菊酯种群中,CarE、MFO和GST的比活力均有所增加(孟和生等, 2002; 陈秋双等, 2012)。也有不一致的报道, Yang等(2001)把二斑叶螨从利马豆转移到黄瓜上饲养后,酯酶活性呈现下降趋势,与本研究羧酸酯酶活性趋势相反,可能与试虫品系、诱导时间的长短、寄主品种等因素的差异有关。

总之,朱砂叶螨在不同寄主植物上短期诱导后,其药剂敏感性及其解毒酶系活性均发生不同程度的变化,此快速调整与适应可能是朱砂叶螨寄主广泛的生理生态学基础。同时也提醒我们在制定叶螨的综合防治策略时,尚需考虑不同寄主植物可能会诱导朱砂叶螨对杀虫剂产生的不同程度的耐药性,不同种类的合理间作,例如在菜豆田间作茄子或甘蓝等可一定程度上增加朱砂叶螨对阿维菌素、联苯菊酯等药剂的敏感度,从而达到减少药剂施用量的目的。

致谢:感谢蔬菜有害生物控制与优质栽培北京市重点实验室对本研究工作的支持。

参考文献 (References)

Castle SJ, Prabhaker N, Henneberry TJ, Toscano NC, 2009.

- Host plant influence on susceptibility of *Bemisia tabaci* (Hemiptera:Aleyrodidae) to insecticides. *Bull. Entomol. Res.*, 99(3):263–273.
- FAO, 1980. Revised method for spider mites and their eggs (e.g. *Tetranychus* spp. and *Panonychus ulmi* Koch). *FAO Plant Production and Protection*, 21:49–54.
- Howe GA, Jander G, 2008. Plant immunity to insect herbivores. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59:41–66.
- Huang S, Han Z, 2007. Mechanisms for multiple resistances in field populations of common cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius) in China. *Pestic. Biochem. Phys.*, 87(1):14–22.
- Nauen R, Stumpf N, 2002. Fluorometric microplate assay to measure glutathioneS-transferase activity in insects and mites using monochlorobimane. *Anal. Biochem.*, 303(2):194–198.
- Wang KY, Zhang Y, Wang HY, Xia XM, Liu TX, 2010. Influence of three diets on susceptibility of selected insecticides and activities of detoxification esterases of *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pestic. Biochem. Phys.*, 96(1):51–55.
- Wu G, Miyata T, 2005. Susceptibilities to methamidophos and enzymatic characteristics in 18 species of pest insect and their natural enemies in crucifer vegetable crops. *Pestic. Biochem. Phys.*, 82(1):79–93.
- Xie W, Wang SL, Wu QJ, Feng YT, Pan HP, Jiao XG, Zhou L, Yang X, Fu W, Teng HY, Xu BY, Zhang YJ, 2011. Induction effects of host plants on insecticide susceptibility and detoxification enzymes of *Bemisia tabaci* (Hemiptera:Aleyrodidae). *Pest Manag. Sci.*, 67(1):87–93.
- Xue M, Pang YH, Li QL, Liu TX, 2010. Effects of four host plants on susceptibility of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae to five insecticides and activities of detoxification esterases. *Pest Manag. Sci.*, 66(12):1273–1279.
- Yang EH, Yang YH, Wu SW, Wu YD, 2005. Relative contribution of detoxifying enzymes to pyrethroid resistance in a resistant strain of *Helicoverpa armigera*. *J. Appl. Entomol.*, 129(9):521–525.
- Yang XM, Margolies DC, Zhu KY, Buschman LL, 2001. Hostplant-induced changes in detoxification enzymes and susceptibility to pesticides in the twospotted spider mite (Acari:Tetranychidae). *J. Econ. Entomol.*, 94(2):381–387.
- Yu SJ, Nguyen SN, 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in the diamondback moth. *Pestic. Biochem. Phys.*, 44(1):74–81.
- 安志兰, 褚栋, 郭笃发, 范仲学, 陶云荔, 刘国霞, 张友军, 2008. 寄主植物对 B 型烟粉虱 (*Bemisia tabaci*) 几种主要解毒酶活性的影响. *生态学报*, 28(4):1536–1543.
- 陈秋双, 赵舒, 邹晶, 石力, 何林, 2012. 朱砂叶螨抗药性监测. *应用昆虫学报*, 49(2):364–369.
- 戴宇婷, 王相晶, 张友军, 吴青君, 徐宝云, 谢文, 王少丽, 2012. 寄主植物对二斑叶螨解毒酶活性的诱导作用研究. *植物保护*, 38(2):79–82.
- 何林, 谭仕禄, 曹小芳, 赵志模, 邓新平, 王进军, 2003. 朱砂叶螨的抗药性选育及其解毒酶活性研究. *农药学报*, 5(4):23–29.
- 刘学辉, 韩瑞东, 裴元慧, 孟庆英, 孙绪良, 2007. 二斑叶螨对六种植物的选择性及生长发育. *昆虫知识*, 44(4):520–523.
- 吕朝军, 韩巨才, 刘慧平, 任一新, 马林, 2007. 寄主植物对苹果黄蚜药剂敏感性及其解毒酶活性的影响. *植物保护学报*, 34(5):534–538.
- 马俐, 贾炜, 洪晓月, 王冬生, 2005. 不同寄主植物对二斑叶螨和朱砂叶螨发育历期和产卵量的影响. *南京农业大学学报*, 28(4):60–64.
- 孟和生, 王开运, 姜兴印, 仪美芹, 2002. 桔全爪螨的抗药性选育及其解毒酶活力变化. *昆虫学报*, 45(1):58–62.
- 潘亚飞, 孟建玉, 张小亚, 周兴奋, 雷朝亮, 2006. 寄主对豆野螟的药剂敏感性和体内解毒酶活性的影响. *昆虫知识*, 43(4):496–500.
- 王建军, 戴志一, 杨益众, 2001. 取食不同寄主植物的棉铃虫对高效氯氰菊酯敏感性的变化. *棉花学报*, 13(5):286–289.
- 姚洪渭, 叶恭银, 程家安, 2002. 寄主植物影响害虫药剂敏感性的研究进展. *昆虫学报*, 45(2):253–264.