应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2014, 51(1): 13−25. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2014.002

天敌昆虫抗药性研究进展*

唐良德[1,2] 邱宝利[1] 任顺祥[1**]

（1. 华南农业大学教育部生物防治工程研究中心 广州 510642；2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所 海口 571101）

摘 要 天敌昆虫抗药性研究在协调害虫化学防治和生物防治中有着重要的理论和现实意义，其研究的最终目的在于更好地推进抗性天敌在害虫综合治理（IPM）中的应用。抗药性天敌昆虫具有潜在的巨大价值。鉴于此，本文系统地综述了天敌昆虫抗药性最新研究进展，包括杀虫剂对天敌昆虫的影响、天敌昆虫抗药性现状、抗药性机理和限制天敌昆虫抗药性发展因素等。文章最后还对抗药性天敌昆虫的应用前景进行了展望。

关键词 天敌，杀虫剂，抗药性，抗性机理

A review of insecticide resistance in the natural enemies of pest insects

TANG Liang-De[1,2] QIU Bao-Li[1] REN Shun-Xiang[1**]

(1. Engineering Research Center of Biocont

(2. rol, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture, Haikou 571101, China)

Abstract Research into insecticide resistance in the natural enemies of pest insects has both theoretical and practical significance for the combined use of chemical and biological control in integrated pest management (IPM). Insect natural enemies have huge potential value in pest control if they can be used simultaneously with insecticides in IPM. Current understanding of pesticide resistance in the natural enemies of pest insects is reviewed, including the effects of insecticides, present knowledge of insecticide-resistance, resistance mechanisms and factors limiting the development of insecticide resistance. The prospects for the future development of populations of natural enemies with high insecticide resistance is also discussed.

Key words insect natural enemy, insecticide, insecticide resistance, resistance mechanism

“以虫治虫，以螨治螨”是害虫生物防治的主要内容之一。天敌昆虫作为传统的生物防治产品，在控制农业虫（螨）害，保证农产品丰产、丰收中起着不可替代的作用。同时，在害虫防治中，杀虫剂是控制害虫种群数量的另一重要因素，杀虫剂的大量不合理使用，在杀死害虫的同时也杀害天敌，并带来了很多负面影响，如“3R”问题、生态平衡、环境污染和食品安全等重大问题。要在短期内完全禁用杀虫剂是不现实的，所以，如何协调开展害虫的化学防治和生物防治便成为近年来害虫综合治理（IPM）研究的热点和重点之一。因此，加强天敌昆虫抗药性的研究对于协调害虫化学防治和生物防治的矛盾具有重要的理论和现实意义。近年来，随着杀虫剂负面影响的逐渐凸显和人们对农作物产品质量安全意识的提高，抗性天敌昆虫资源受到了越来越多的关注。

Croft 和 Brown（1975）在《Annual Review of Entomology》上较为详细地综述了害虫各类天敌对杀虫剂的敏感性。唐振华（1993）在《昆虫抗

* 资助项目：国家基础研究计划（973 计划 2013CB127604）

**通讯作者，E-mail: rensxcn@aliyun.com

收稿日期：2013-11-23，接受日期：2013-12-06

药性及其治理》一书中也作了非常详细的叙述。早在 20 世纪 80 年代初期，广东省昆虫研究所即开展了捕食螨的抗药性研究，这些研究内容广泛涉及到杀虫剂对天敌的毒性及其测定方法、抗药性天敌的筛选及遗传分析、抗药性天敌的生物学和生态学特性及其抗药性品系的田间应用等（丁勇等，1983；黄明度等，1987；杜桐源等，1987；熊锦君等，1988）。寄生蜂（赤眼蜂）的抗药性研究也始于这一时期，在室内条件下，连续 30 个月用 8 种杀虫剂对稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead 的卵、蛹和成虫 3 个发育期进行了 20～40 代筛选（许雄等，1986，1987；许雄和张敏玲，1989）。最近有文献报道，寄主椰心叶甲 *Brontispa langissima* (Gestro)抗药性可促进椰甲截脉姬小峰 *Asecodes hispinarum* Bouck 和椰心叶甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae* Ferrire 的抗性发展（金涛等，2012）。然而对于捕食性瓢虫的抗药性研究则相对较少，程英等（2009）报道了七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* L.对杀虫剂的敏感性及其对吡虫啉的抗性选育；杨洪等（2011）选育了异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas)对 3 种杀虫剂的抗性。现将近年来有关天敌昆虫抗药性的研究进展综述如下。

1 杀虫剂对天敌的影响

自从化学杀虫剂问世以来，化学防治就一直成为害虫防治的主要手段之一。杀虫剂的不合理使用，除了使害虫产生抗药性和污染环境外，还会大量杀伤昆虫天敌，破坏害虫与天敌之间的自然平衡，从而导致害虫的再猖獗和次要害虫的大暴发。杀虫剂对天敌的影响主要来自两个方面，一是杀虫剂对天敌昆虫的直接作用，二是杀虫剂对天敌昆虫的间接影响。

在田间使用药剂防治害虫时，我们的侧重点是通过杀死害虫将其种群数量控制在经济阈值以下，由于天敌昆虫与害虫处于同一栖境，使用药剂防治害虫的同时，天敌昆虫也不可避免遭受药剂的选择。结果敏感个体被杀死，抗性个体则存活下来。杀虫剂毒性是其对天敌影响的直接体现和评价。常用杀虫剂对天敌毒性的测定结果见表 1 和表 2。

表 1 杀虫剂对捕食性天敌的毒性

Table 1 Toxicity of insecticides to predacious natural enemy of insect

昆虫天敌 Insect natural enemies	处理虫态 Insect life stages	杀虫剂（LC_{50}/LD_{50}） Insecticides（LC_{50}）(mg/L)/(LD_{50}) (μg/ind.)	测定方法 Bioassays	参考文献 References
二星瓢虫 *Adalia bipunctata* L.	A	乐果（2.3）、高效氯氟氰菊酯（4.7）、吡虫啉（13.8）和抗蚜威（527.5）	R	Jalali *et al.*，2009
	L	乐果（0.8）、高效氯氟氰菊酯（1.1）、吡虫啉（1.7）和抗蚜威（454.0）		
四斑月瓢虫 *Chilomenes quadriplagiata*	A	甲胺磷（9.94）、阿维菌素（23.2）、氰戊菊酯（57.3）和氟虫腈（307.0）	R	Wu *et al.*, 2007

(Swartz)		高效氯氟氰菊酯（0.6）、溴氰菊酯（0.7）、高效氯氰菊酯（1.4）、阿维菌素（3.1）、氰戊菊酯（3.9）、甲氰菊酯（4.0）、氟虫腈（5.6）、噻虫嗪（33.7）和吡虫啉（37.7）	R	占志雄等, 2009

续表 1（**Table 1 continued**）

昆虫天敌 Insect natural enemies	处理虫态 Insect life stages	杀虫剂（LC_{50}/LD_{50}） Insecticides（LC_{50}）(mg/L)/(LD_{50}) (μg/ind.)	测定方法 Bioassays	参考文献 References
龟纹瓢虫 *Propylea japonica* Thunberg	A	高效氯氟氰菊酯（0.7）、溴氰菊酯（0.7）、高效氯氰菊酯（1.8）、阿维菌素（3.4）、氰戊菊酯（4.7）、甲氰菊酯（5.2）、氟虫腈（8.0）、吡虫啉（41.6）和噻虫嗪（49.4）	R	占志雄等, 2009
	A	高效氯氟氰菊酯（1.5）、灭多威（2.3）、辛硫磷（2.9）、甲基对硫磷（21.5）、甲胺磷（73.9）和硫丹（111.9）	R	宋化稳等, 2001
	A	高效氯氟氰菊酯（3.7）、溴氰菊酯（6.0）、灭多威（16.1）、氰戊菊酯（30.6）、甲胺磷（175.8）、硫丹（223.0）、甲基毒死蜱（224.7）、久效磷（536.0）、敌敌畏（1435.2）和甲基对硫磷（1520.9）	R	朱福兴等, 1997
	L	溴氰菊酯（0.2）、灭多威（2.0）、高效氯氟氰菊酯（2.3）、氰戊菊酯（3.2）、久效磷（10.2）、甲胺磷（14.9）、敌敌畏（18.7）、甲基毒死蜱（19.3）、甲基对硫磷（21.5）、丙溴磷（21.7）、甲丙硫磷（26.7）、氧乐果（41.1）和硫丹（70.5）	T	
七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* L.	L	高效氯氰菊酯（0.006）、阿维菌素（0.007）、高效氯氟氰菊酯（0.026）、溴氰菊酯（0.031）、甲氰菊酯（0.038）、杀螟硫磷（0.038）、氧乐果（0.061）、氰戊菊酯（0.109）、吡虫啉（0.122）、氯氰菊酯（0.132）、灭多威（0.134）、辛硫磷（0.160）、氟氯氰菊酯（0.171）、敌敌畏（0.238）和马拉硫磷（0.368）	T	刘慧平等, 2006
	A	高效氟氯氰菊酯（0.5）、灭多威（2.5）、甲胺磷（28.1）和硫丹（301.0）	R	朱福兴等, 1998
	L	高效氟氯氰菊酯（0.02）、灭多威（0.9）、甲胺磷（3.3）和硫丹（131.6）		
十一星瓢虫 *Coccinella undecimpunctata* L.	A	高效氯氟氰菊酯（201.2）、 噻虫嗪（1009.1）和硫丹（3634.2）	R	姚永生等, 2008
异色瓢虫 *Harmonia axyridis*	A	高效氯氰菊酯（9.0）、高效氟氯氰菊酯（14.9）、毒死蜱（44.9）、啶虫脒（156.7）和阿维菌素（313.4）	R	席敦芹, 2008

	A	高效氟氯氰菊酯（0.05）、溴氰菊酯（0.1）、甲维盐氯氰（2.4）、啶虫脒（2.5）、甲维盐（9.8）、灭多威（23.4）和吡虫啉（56.9）	R	常剑等, 2011
	A	久效磷（75.2）、吡虫啉（220.3）和抗蚜威（1 657.6）	R	马艳等, 2001
	L	氧乐果（86.2）、久效磷（97.0）、吡虫啉（276.3）和抗蚜威（4923.8）		

续表 1（**Table 1 continued**）

昆虫天敌 Insect natural enemies	处理虫态 Insect life stages	杀虫剂（LC_{50}/LD_{50}） Insecticides（LC_{50}) (mg/L)/(LD_{50})(μg/ind.)	测定方法 Bioassays	参考文献 References
多异瓢虫 *Hippodamia variegata* (Goeze)	A	高效氯氟氰菊酯（197.1）、硫丹（489.2）和噻虫嗪（693.1）	R	姚永生等, 2008
黑缘红瓢虫 *Chilocorus rubidus* Hope	A	灭多威（5.1）、氟氯氰菊酯（5.7）、氧乐果（137.7）、氰戊菊酯（199.4）、硫丹（218.7）和敌敌畏（551.3）		黄保宏和尤强生, 2006
	L	灭多威（2.0）、氟氯氰菊酯（3.2）、氧乐果（14.9）、氰戊菊酯（21.5）、敌敌畏（18.7）和硫丹（70.5）		
大草蛉 *Chrysopa septempunctata* Weimael	A	高效氯氟氰菊酯（0.05）、灭多威（0.2）、辛硫磷（0.3）、甲基对硫磷（0.5）、甲胺磷（1.2）和硫丹（4.9）	R	宋化稳等, 2001
亚非玛草蛉 *Mallada desjardinsi* (Navs)	A	毒死蜱（8.2）、氧化乐果（41.0）、丁硫克百威（134.9）、高效氯氟氰菊酯（527.9）和阿维菌素（7 799.6）	R	毛润乾等, 2010
黑肩绿盲蝽 *Cyrtohinus lividipennis* (Reuter)	A	氟虫腈（0.2）、噻虫嗪（0.5）、异丙威（0.7）、甲胺磷（1.6）、毒死蜱（3.0）、啶虫脒（4.9）、丁硫克百威（10.8）、三唑磷（24.5）、敌敌畏（27.2）、吡虫啉（35.7）、阿维菌素（82.5）、氟硅菊（160.7）和酯醚菊酯（217.8）	R	孙定炜等, 2008
		稻丰散（0.06）、吡虫啉（0.4）、溴氰菊酯（0.4）、异恶唑磷（2.9）、西维因（3.7）、醚菊酯（6.0）、二嗪农（40.0）、仲丁威（63.3）和巴丹（427.0）	D	Tanaka *et al.*, 2000
拟环纹豹蛛 *Pardosa pseudoannulata*	L	溴氰菊酯（0.04）、醚菊酯（7.7）、稻丰散（55）、西维因（109）、吡虫啉（440）、二嗪农（592）、仲丁威（671）、异恶唑磷（2 104）和巴丹（7 549）	D	Tanaka *et al.*, 2000
日本长脚蛛 *Tetragnatha maxillosa*	L	溴氰菊酯（0.03）、醚菊酯（0.9）、二嗪农（1.9）、仲丁威（54.9）、吡虫啉（136）、异恶唑磷（522）、稻丰散（1 073）、西维因（1 275）和巴丹（1 660）	D	Tanaka *et al.*, 2000
食虫瘤胸蛛 *Ummeliata insecticeps*	L	溴氰菊酯（1.1）、醚菊酯（5.2）、西维因（449）、稻丰散（894）、吡虫啉（995）、仲丁威（6 079）、二嗪农（>8 000）、异恶唑磷（>8 000）和巴丹（>8 000）	D	Tanaka *et al.*, 2000

带斑额角蛛 *Gnathonarium exsiccatum*	L	溴氰菊酯（0.83）、醚菊酯（4.7）、西维因（501）、吡虫啉（801）、稻丰散（2 572）、二嗪农（4 869）、仲丁威（5 731）、异恶唑磷（>8 000）和巴丹（>8 000）	D	Tanaka *et al.*, 2000
机敏漏斗蛛 *Agelena difficilis*	A	毒死蜱（0.3）、甲维盐（65.7）、阿维菌素（118.7）、氯虫苯甲酰胺（459.3）、吡虫啉（>8 000）和吡蚜酮（>8 000）	R	徐德进等, 2010

注：A: 成虫，L:幼虫，R: 残膜法，T: 点滴法，D:浸渍法，表中杀虫剂按毒性从大到小排列，即按 LC_{50}（LD_{50}）升高次序排列。下表同。

A: Adult, L: Larval, R : Residual film technique, T: Topical application, D: dip method. Insecticides in the table are followed by toxicity order from high to low, which means the LC_{50} (LD_{50}) arrange in order from low to high. The same below.

表 2　杀虫剂对寄生性天敌的毒性

Table 2　Toxicity of insecticides to parasitoids

昆虫天敌 Insect natural enemies	处理虫态 Insect life stages	杀虫剂（LC_{50}/LD_{50}） Insecticides（LC_{50}) (mg/L)/ /(LD_{50})(μg/ind.)	测定方法 Bioassays	参考文献 References
烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead	A	溴氰菊酯（1.58）、高效氯氟氰菊酯（2.28）、氧乐果 (8.23)、顺式氰戊菊酯 (9.03) 和氰戊菊酯 (26.70)	R	陈家骅等, 1989
二化螟盘绒茧蜂 *Cotesia chilonis* (Matsumura)	A	氟虫腈（0.06）、毒死蜱（0.58）、三唑磷（3.36）、杀虫单 (69.20)、吡虫啉 (200.39)、阿维菌素 (206.73) 和氯虫苯甲酰胺（>3 978.78）	R	吴顺凡等, 2012
螟虫长距茧蜂 *Macrocentrus linearis* (Ness)	A	高效氯氟氰菊酯（0.13）、甲胺磷（0.24）、辛硫磷（0.46）和氟铃脲（1.61）	R	高庆磊等, 2010
麦蛾柔茧蜂 *Habrobracon hebetor* (Say)	A（♀）	丙溴磷 (12.44)、多杀菌素 (15.64) 和硫双威 (81.04)	R	Dastjerdi *et al*., 2008
	A（♂）	丙溴磷（6.91）、多杀菌素（11.73）和硫双威（40.39）		
黄色潜蝇茧蜂 *Opius flavus* Weng et Chen	A	氟虫腈（0.06）、甲胺磷（0.62）、阿维菌素（4.30）和氰戊菊酯（14.1）	R	Wu *et al*., 2007
蝶蛹金小蜂 *Pteromalus puparum* (L.)	A	氟虫腈（0.11）、甲胺磷（1.40）、阿维菌素（7.06）和氰戊菊酯（14.50）	R	Wu *et al*., 2007
颈双缘姬蜂 *Diadromus collaris* (Gravenhorst)	A	氟虫腈（0.12）、阿维菌素（3.97）、甲胺磷（4.08）和氰戊菊酯（40.0）	R	Wu *et al*., 2007
椰心叶甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae*	A	丁硫克百威 (0.21)、氯氰菊酯 (0.69)、啶虫脒 (5.13) 和啶虫脒+沙虫丹（178.85）	R	许春霭等, 2008
缨小蜂 *Anagrus* spp.	A（♀）	联苯菊酯 (6.14)、速灭威 (25.11)、印楝素 (203.47)、鱼藤酮 (306.31)、吡虫啉 (411.46) 和啶虫脒 (599.21)	R	张为磊, 2010
	A（♂）	联苯菊酯 (0.27)、速灭威 (4.60)、鱼藤酮 (263.15)、吡虫啉 (337.20)、印楝素 (583.85) 和啶虫脒 (783.11)		

稻虱螯蜂 *Haplogonatopus apicalis*	A	吡虫啉（0.12）、稻丰散（0.22）、二嗪农（0.28）、异恶唑磷（0.85）、溴氰菊酯（1.9）、仲丁威（4.7）、西维因（10.0）、醚菊酯（11.6）和巴丹（19.4）	D	Tanaka *et al*., 2000
稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum*	A	毒死蜱（0.12）、阿维菌素（2.19）、高效氯氟氰菊酯（5.23）和啶虫脒（62.15）	R	朱九生等, 2009
广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* Westwood	A	溴氰菊酯（2.30）、高效氯氟氰菊酯（4.80）、甲氰菊酯（16.90）和氰戊菊酯（54.71）	R	杨崇珍等, 1995

从现有文献资料（表 1）来看，拟除虫菊酯、有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂对捕食性天敌的毒性较大，而新烟碱类和生物源杀虫剂对捕食性天敌的毒性较小。对寄生性天敌而言，上述各种杀虫剂的毒性与捕食性天敌的情况基本相似（表 2），除我国已禁用的氟虫腈毒性最大之外，有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯杀虫剂毒性较大，新烟碱类和生物源杀虫剂毒性较小。

杀虫剂不但能够直接杀伤天敌，而且还能够通过杀死害虫来间接影响天敌。因为捕食性天敌要以害虫作为其食物来源，而寄生性天敌要以害虫作为其寄主。若把害虫灭治了，天敌也无法存活。另一方面，杀虫剂还可以通过食物链毒性（即次级中毒）和亚致死效应来影响天敌。Cole 等 (2010) 评价了 3 种杀虫剂对捕食性天敌的短期毒性和长期效应，结果表明，吡蚜酮、抗蚜威和吡虫啉 72 h 后的毒性均较低（死亡率≤20%），但通过长期效应来看，吡蚜酮可致使 97.6%的狭臀瓢虫 *Coccinella transversalis* Fabricius 不能发育到成虫，而抗蚜威和吡虫啉则可显著降低狭臀瓢虫和塔斯马尼亚褐草蛉 *Micromus tasmaniae* 的生殖力。在蚕豆(*Vicia faba*)、黑豆蚜 *Aphis fabae* 和瓢虫 *Hippodamia undecimnotata* 三级营养关系中，内吸性杀虫剂呋喃丹和吡虫啉拌土施用后，可引起取食黑豆蚜的瓢虫 *H. undecimnotata* 死亡率升高，成虫体重下降、寿命缩短和生殖力下降（Papachristos and Milonas, 2008）。Kim 等 (2006) 研究发现阿维菌素、多杀菌素和甲氧虫酰肼能使捕食性盲蝽 *Deraeocoris brevis* 的产卵量和卵孵化率下降，甲氧虫酰肼亚致死剂量处理后，4 龄 *D. brevis* 幼虫的发育历显著期延长。Angeli 等（2005）在实验条件下通过不同生测方法（接触或取食）测定了 29 种杀虫剂对 *Orius laevigatus* 的负面影响，大多数杀虫剂对 *O. laevigatus* 具有高毒性，且显著影响雌虫的产卵量和卵的孵化率。Dastjerdi 等 (2009) 组建了在杀虫剂亚致死剂量下，麦蛾柔茧蜂的实验种群生命表，发现对照组总繁殖率（*GRR*）和内禀增长率（r_m）显著高于杀虫剂处理组，且对照组产卵量是杀虫剂处理组的 2 倍；丙溴磷和氟铃脲不影响麦蛾柔茧蜂雌成虫寿命，但多杀菌素和硫双威可显著延长雌成虫寿命和增加子代雄性比率。Satar 等 (2012) 采用成虫药膜法和蛹浸渍法系统调查了橘园常用杀虫剂对柄瘤蚜茧蜂 *Lysiphlebus confusus* Tremlay、豆柄瘤蚜茧蜂 *Lysiphlebus fabarum*（Marshall）和茶足柄瘤蚜茧蜂 *Lysiphlebus testaceipes*（Cresson）存活率和繁殖力的影响，3 种茧蜂的蛹经乙基毒死蜱 480、石蜡基矿物油和矿物油处理后，成蜂不能产卵，而螺虫乙酯、吡丙醚和多杀菌素对成蜂的繁殖力没有影响。还有文献报道植物生长调节剂亚致死剂量对天敌昆虫小黑瓢虫 *Delphastus catalinae* (Horn)、二星瓢虫和七星瓢虫的生物学和生态学特性的影响（Olszak *et al.*, 1994；Olszak, 1999; Liu and Stansly, 2004）；虫生真菌毒素对小黑瓢虫和七星瓢虫（Wang *et al.*, 2005; Simelane *et al.*, 2008）以及 Bt 蛋白对龟纹瓢虫生物学和生态学特性的影响（Zhang *et al.*, 2006a, 2006b）。

杀虫剂除了使天敌昆虫的死亡率增加、寿命缩短、发育历期延长和生殖力下降外，还能影响

天敌昆虫的取食或寄生行为等。Shimoda 等(2011) 以大头菜(*Brassica rapa*)-小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)-菜蛾盘绒茧蜂 *Cotesia vestalis* (Kurdjumov)三级营养关系为基础，系统调查了 8 种杀虫剂对天敌取食行为的影响，结果发现，醚菊酯、灭多威和马拉硫磷能够通过虫害诱导植物挥发物（HIPVs）显著影响菜蛾盘绒茧蜂雌蜂对小菜蛾的寄生行为。Singh 等(2004) 研究发现杀虫剂可显著影响七星瓢虫的取食选择行为，七星瓢虫成虫和幼虫接触乐果或取食经乐果处理后的蚜虫，其捕食量和活性均显著下降。在另外一组试验中，七星瓢虫取食经拟除虫菊酯杀虫剂处理过的蚜虫的取食量与对照相比显著下降；另外，天敌昆虫对不同类型杀虫剂的反应也不尽相同，实验表明七星瓢虫对有机磷类杀虫剂的反应最强，其次是拟除虫菊酯，氨基甲酸酯的反应最小，且雌虫对药剂的反应比雄虫更明显（Thornham *et al.,* 2007, 2008）。Dalci 等(2011) 系统观察了氯氰菊酯和二嗪农不同剂量及不同使用方式（单用和联用）对七星瓢虫和乌兹别克蚜茧蜂 *Aphidius uzbekistanicus* Luzhetzki 行为的影响，结果表明，二嗪农可延长七星瓢虫的活动时间和加快行动速度，两种药剂联用时还可增加乌兹别克蚜茧蜂的活动时间。Cabral 等(2011) 发现当抗蚜威和吡蚜酮直接喷洒十一星瓢虫时，药剂对其取食行为没有影响，而当抗蚜威和吡蚜酮在猎物/作物系统中喷施后，可引起十一星瓢虫的取食量显著增加，其原因可能是由于施药后蚜虫的活动力下降所致。众所周知，气味在寄生蜂对寄主的搜索过程中起着十分重要的作用。Alyokhin 等(2010) 研究了杀虫剂气味在红足侧沟茧蜂 *Microplitis croceipes* (Cresson)-食物（蜂蜜）系统中的作用，结果发现吡虫啉、多杀菌素和蜂蜜的混合物不影响寄生蜂对蜂蜜的搜索行为，但顺式氰戊菊酯、甲胺磷和香草香精混合物气味能够显著干扰有取食蜂蜜经历寄生蜂的搜索行为；而甲胺磷气味则能够显著影响初羽化寄生蜂的搜索行为。然而，当寄生蜂在甲胺磷气味存在的情况下用蜂蜜饲喂后，该蜂则不再受甲胺磷气味的影响。

2　天敌的抗药性现状

由于各种的原因，产生抗药性的昆虫天敌种类远远少于产生抗药性的害虫种类。据统计至 1979 年产生抗药性的害虫为 281 种，而天敌昆虫只有 9 种（Croft and Morse，1979），至 1988 年产生抗药性的天敌为 31 种（唐振华，1993），1991 年增加到 32 种（Croft，1991），截至 2002 年，报道共有 44 种天敌对某一药剂或多种药剂产生了不同程度的抗药性，其中拟寄生昆虫占 18 种，植绥螨 12 种，草蛉 6 种，瓢虫 4 种，其余为其他种类（冯涛等，2002）；最近的文献统计至少有 20 种拟寄生昆虫对杀虫剂产生了抗性（李增梅等，2009）。随着杀虫剂的持续使用，产生抗药性的天敌种类还在继续增加。朱福兴等（1998）发现用药水平较高地区的龟纹瓢虫与用药水平较低地区的龟纹瓢虫相比，其对三氟氯氰菊酯产生了 30.6 倍的抗药性。黄保宏和尤强生（2006）测定了黑缘红瓢虫对 6 种杀虫剂的敏感性，发现用药水平高地区的黑缘红瓢虫比用药水平低的地区黑缘红瓢虫对氟氯氰菊酯和氰戊菊酯的敏感性差异分别达 5.4 倍和 7.6 倍。Jalali 等(2006) 用亚致剂量硫丹对玉米螟卵赤眼蜂螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 选育了 341 代，获得了 15.2 倍抗性。吴红波等（2008）报道了螟黄赤眼蜂不同地理种群对灭多威产生 1.93~6.72 倍的抗性，对溴氰菊酯产生了 5.35~39.08 倍的抗性，对辛硫磷产生了 3.49~29.76 倍的抗性，以及松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura 不同地理种群分别对灭多威、溴氰菊酯和辛硫磷产生 9.52~70.66、70.13~288.16 和 11.84~50.38 倍的抗性。另外，由于缺乏天敌抗药性的统一评价标准和公认的敏感品系以及一些研究资料和数据过于分散和简单，缺乏多地区、多年份的比较，许多天敌昆虫只检测出对某些杀虫剂具有一定的耐受力或只对某些杀虫剂进行了敏感性测定（表 1），但并未纳入为抗性品系，因此，实际产生

抗药性的天敌种类还可能更多。

抗药性天敌不仅在种类上远远少于抗药性害虫，而且其抗药性水平上也远低于抗药性害虫，如捕食性天敌中龟纹瓢虫的抗性较高，仅有30.6 倍（朱福兴等，1998），寄生性天敌中以双带巨角跳小蜂 *Comperiella bifasciata* Howard 和广赤眼蜂的抗性较高，分别为 66 倍和 22 倍（Corft, 1991），并且寄生性天敌比捕食性天敌更难产生抗药性。但也有人研究发现天敌昆虫比害虫产生了更高的抗药性，如田间产生抗性的米象金小蜂 *Anisopteromalus calandrae* (Howard)对马拉硫磷产生的抗性高达 2 500 倍，比其寄主米象对马拉硫磷的抗性还要高 200 倍，是迄今发现的抗药性最高的寄生蜂（Baker, 1995；Baker *et al*., 1998）。

3 天敌抗药性机理

现有资料表明，天敌昆虫的抗药性机理与害虫抗药性机理类似。根据昆虫抗药性机理的性质将抗性分为行为抗性、生理抗性和代谢抗性。生理抗性涉及表皮穿透性降低、靶标部位敏感度降低、惰性部位储存和加速排泄；代谢抗性则是由于解毒酶活性增加而加速杀虫剂代谢所产生的抗性。Motoyama 等（1971）发现北卡罗来纳州的一个抗有机磷的伪钝绥螨 *Amblyseius fallacis* 品系降解保棉磷的速度比敏感品系快，而它本身的胆碱酯酶活性不受抑制，在抗性和敏感品系双分子速率常数基本无差异，故认为其抗性与乙酰胆碱酯酶（AChE）的敏感度无关，而是一种非专一性的酯酶活性较高。Cui 等 (2011) 进一步证实了非特异性羧酸酯酶在昆虫抗药性中的作用。Sato 等 (2006, 2007) 测定了植绥螨 *Amblyseius womersleyi* 16 个种群的单氧加酶活性和对杀扑磷的 LC_{50} 值，发现单氧加酶活性和杀扑磷的 LC_{50} 值存在明显的正相关性，并且首次从植绥螨 *A. womersleyi* 中克隆到了细胞色素 P450 基因 CYP4，发现该基因的表达与单氧加酶活性显著相关，分析这可能是植绥螨 *A. womersleyi* 对杀扑磷产生抗性的重要原因。Ishaays 和 Cassida（1981）实验表明普通草蛉幼虫的菊酯酯酶活性很高，能迅速分解二氯苯醚菊酯、氯氰菊酯和溴氰菊酯，草蛉的耐药能力与其对这些菊酯的水解速率相关；增效剂（Phenyl saligenin cylic phosophonate）使反式二氯苯醚菊酯对草蛉幼虫的毒性提高 68 倍，LD_{50} 从 17 000 μg/g 降至 250 μg/g，由此看来菊酯酯酶是草蛉高度耐菊酯类药剂的一个重要因子。刘伟等（1991）研究发现抗蚜威对七星瓢虫乙酰胆碱酯酶的抑制中浓度（I_{50}）比麦长管蚜 *Sitobion avenea* (Fabricius)高出 26.4 倍，而羧酸酯酶活性和酯酶米氏常数相差不大，说明乙酰胆碱酯酶对抗蚜威的敏感度差异是造成抗蚜威对七星瓢虫和麦长管蚜选择毒性的主要原因之一。袁瑞和杨洪（2012）证实酯酶活性提高可能是异色瓢虫对高效氯氰菊酯产生抗性的重要机制。Kumral 等（2011）认为羧酸酯酶（CarE）活性增强和乙酰胆碱酯酶靶标不敏感是食螨瓢虫 *Stethorus gilvifrons* (Mulsant)对甲基对硫磷产生抗性的主要原因，羧酸酯酶活性增强也是食螨瓢虫高度耐受联苯菊酯的重要原因。Zhang 等（2012）利用下一代测序技术对孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant 的转录组和抗药性表达谱进行了测序和分析，揭示了大量（993 个）与抗药性相关的表达差异基因，为后续功能基因注释和分子机理的研究奠定了基础。

迄今，有关寄生蜂抗药性机制方面的报道较少。已报道的有米象金小蜂对马拉硫磷的抗性与特异性马拉硫磷羧酸酯酶活性增加有关，而抗性和敏感品系的全酯酶、磷酸酯酶、谷胱甘肽 *S*-转移酶(GSTs)、P450 单加氧酶活性差异不大（Baker *et al.*, 1998），米象金小蜂对马拉硫磷的抗性为单基因控制的半显性遗传（Baker *et al.*, 1997）。Zhu 等（1999a, 1999b）证实米象金小蜂对马拉硫磷的抗性与特异性马拉硫磷羧酸酯酶的基因突变（Trp220→Gly220）有关。在烟仓麦蛾茧蜂 *Habrobracon hebetor* (Say)中，抗性品系总酯酶活性显著低于敏感品系，而特异性马拉硫磷羧酸酯酶、GSTs 和 P450 单加氧酶活性、P450 含量以及 AChE 对马拉硫磷的敏感性在抗性和

敏感品系之间差异不大，对马拉硫磷的抗性机制与 E3 酯酶活性增加及 E1 和 E2 酯酶丧失有关（Perez-Mendoza *et al*., 2000）。菜蛾绒茧蜂 *Cotesia plutellae* Kurdjumov 对氰戊菊酯的抗性可能与 MFO 活性升高有关，而与羧酸酯酶和总酯酶的活性无关（李元喜等，2002）。菜蛾绒茧蜂对有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂、菜蚜茧蜂 *Diaeretiella rapae* (M'Intosh)对甲胺磷和灭多威的抗性除了与不敏感的 AChE 有关外，增效剂的增效作用表明，胡椒基丁醚（PBO）、磷酸三苯酯（TPP）和马来酸二乙酯（DEM）均可显著增加田间抗性菜蛾绒茧蜂和菜蚜茧蜂对有机磷、氨基甲酸酯和拟除虫菊酯类杀虫剂的敏感性，其中 PBO 的增效作用最为显著，由此推断菜蛾绒茧蜂和菜蚜茧蜂对这些药剂产生抗性还与解毒酶的解毒代谢有关，尤以多功能氧化酶的解毒代谢最为重要（吴刚等，2002a, 2002b；吴刚和江树人，2002；吴刚和刘树生, 2003）。增效剂脱叶磷（*S,S,S*-tributyl phosphorotrithioate, DEF）能够显著增加麦蛾茧蜂 *Bracon hebetor* Say 对马拉硫磷的敏感性，该茧蜂对马拉硫磷的抗性可能与酯酶的解毒代谢有关（Baker *et al*., 1995）。由于增效剂可以显著增加寄生蜂对杀虫剂的敏感性，因此在害虫抗性治理中应谨慎使用。

4　限制天敌昆虫抗药性发展的因素

由于害虫和天敌所处食物链中的营养级不同，其抗药性的形成和发展存在着巨大的差异。已有研究资料表明，抗性害虫种类要远远多于抗性天敌种类，而且其抗性水平也要远高于抗性天敌的水平。基于这一事实，Croft 和 Brown（1975）认为抗药性的发展与昆虫的生物学（生活周期、生殖方式和性比等）、行为学和取食习性等有关，并提出了食物限制学说和前适应学说两个假说。

食物限制学说基于害虫天敌的种群动态，食物是限制天敌抗药性发展的关键因素。药剂防治后，未被杀死的抗性害虫个体存活下来并因丰富的食料而得以繁殖；而同时存活下来的抗性天敌个体因找不到害虫为食而死亡。不在同一栖境的天敌也因未受到药剂的筛选，而难以形成抗性。这一假说的提出以捕食螨研究为基础，对捕食性天敌的抗性发展具有一定的代表性，而对拟寄生性天敌的抗性发展缺乏直接的证据。

前适应学说基于植食性昆虫对杀虫剂的解毒有一定的适应性。在寄主与植食性昆虫的协同进化过程中，植食性昆虫增强了对植物次生化合物的解毒代谢能力。这些能力主要通过一些解毒酶系来完成。这些解毒酶不仅对植物次生化合物的解毒起着重要作用，而且在昆虫抗药性中也起着重要的作用，而捕食性和寄生性天敌因不直接取食植物而缺乏这种前适应性。这已在许多资料中得以证明。但 Tabashnik 和 Croft（1985）提出了质疑，他们通过计算机模拟发现，前适应性对天敌昆虫的抗性发展影响不大。前适应性有着一定的局限性，既无法解释非植食性害虫的抗性也无法论述靶标部位敏感度降低的非代谢性抗性。

另外，Croft 和 Brown（1975）还提出环境因子对天敌抗药性产生和发展的影响。Tabashinik 和 Croft（1985）则进一步提出，栖境在天敌抗药性的发展中起到重要作用。郑少雄等（1985）研究发现，蜘蛛对杀虫剂的驱避现象表明，杀虫剂针对的是害虫的栖境，天敌只有在觅食时才会进入害虫的栖境，当施用杀虫剂后，天敌可以主动地离开有害环境，从而降低杀虫剂对其的选择压，导致天敌抗药性的发展落后于害虫。

天敌昆虫抗药性发展滞后于害虫抗药性发展，并不是某一孤立的因素所决定的，而是多个因子共同作用的结果。在某一特定的情况下，上述任一假说都无法完全解释抗性发展的全部涵义，而是要对具体的昆虫种类、杀虫剂和生态环境进行相应的分析。Hardin 等（1995）总结他人研究结果后认为，天敌昆虫比害虫表现出更高的药剂敏感性，这种敏感性主要体现在：（1）天敌昆虫的解毒能力与害虫存在差异；（2）由于生物的富集作用，农药在天敌昆虫体内的聚集速率更快；（3）寄生性天敌成虫的频繁活动增加

了其接触农药的机会；（4）天敌昆虫由于生理上的原因产生抗药性存在滞后现象。

5 抗性天敌的应用及前景

室内药剂汰选和田间药剂自然选择是抗性天敌昆虫种群来源的两个主要途径。室内筛选成功的例子较少，且所获得抗性品系的抗性倍数普遍低于田间种群。Pielou（1950）及 Pielou 和 Glasser（1952）首次研究了选育抗性天敌的可能性。目前，抗性天敌成功应用的案例很少，只有抗性捕食螨在田间成功释放的报道，如对于西后绥伦螨 *Metaseiulus occidentalis*，先是获得其对有机磷药剂的抗性品系，随后又在室内筛选出西后绥伦螨对有机磷和二氯苯醚菊酯的抗性品系，并在美国加州、俄勒冈州及华盛顿州等地的梨、苹果和扁桃园中成功定殖、扩散和增殖，经受了施药的考验并显著地控制了害螨种群（Hoy *et al.*, 1980, 1983；Hoy and Knop 1981; Gregory and Marjorie, 1997）。之后，又通过实验室杂交和选择成功获得了西后绥伦螨对西维因-有机磷-二氯苯醚菊酯和西维因-有机磷-硫的多抗性品系，并成功在加州苹果、梨、葡萄和桃园以及俄勒冈州及华盛顿州的苹果和梨园中进行释放，达到了预期的防治效果。其中西维因-有机磷-二氯苯醚菊酯多抗品系在瑞士、智利、巴西和中国都成功获得。另外，加州扁桃园中叶螨的另一种重要捕食性天敌——西方盲走螨 *Typhlodromus occidentalis*，在实验室内用遗传的方法早已成功地筛选出了抗西维因、二氯苯醚菊酯和有机磷药剂的多抗性品系，并在田间大规模释放成功，从而达到减少农药使用的目的（Hoy, 1986）。冯明祥（1987）对果园抗药性捕食螨进行了系统的综述，据统计，全世界不同地区共有 7 种植绥螨对一种药剂或几种药剂产生了不同程度的抗性，并进行了成功的引种和释放。Hoy（1986）认为，抗性植绥螨的成功筛选及应用，应作为节肢动物害虫其他致病性、寄生性和捕食性天敌改良的典范。

目前，抗性天敌的种类远不如害虫那么多，抗性水平也远不如害虫那么高。造成这一现象的原因是多方面的，除上述的食物限制学说、前适应学说和栖境的影响外，天敌和害虫间的生理、生物学习性及行为差异等原因之外，也由于天敌饲养较为困难，不能像害虫一样提供大量的试验材料，以及缺乏类似鉴定害虫抗药性的标准测定和评价方法，天敌抗药性的研究尚未受到足够的重视。可喜的是，近年来通过抗性筛选技术成功培育抗药性天敌的报道不断增多。在田间，应该加强天敌的抗药性监测，以期获得具有一定耐药性和抗药性的种群；在室内，则对天敌进行抗性品系的筛选，同时培育敏感品系。抗、敏感品系的获取对于昆虫抗药性机理的研究具有重要作用。目前天敌抗性筛选还没有较为有效的方法，抗性遗传规律不清楚是其重要的原因之一。捕食螨的抗性遗传研究相对较为系统，对其他天敌抗性遗传研究具有借鉴意义。随着分子生物学研究方法与技术的不断发展，过去未能开展的一些事情，如通过基因调控使某些抗性关键基因得以高效表达并稳定遗传，又如利用高通量测序技术挖掘天敌一些新的抗性关键基因以及利用 RNAi 技术进行基因功能注释等，今后必将成为现实。天敌抗药性研究的最终目的在于抗性天敌在 IPM 中的应用，发挥其应有的作用，服务于人类，以期创造更大的社会、经济和生态效益。

参考文献 (References)

Alyokhin A, Makatiani J, Takasu K, 2010. Insecticide odour interference with food-searching behaviour of *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae) in a laboratory arena. *Biocontrol Sci. Technol.*, 20(3): 317–329.

Angeli G, Baldessari M, Maines R, Duso C, 2005. Side-effects of pesticides on the predatory bug *Orius laevigatus* (Heteroptera: Anthocoridae) in the laboratory. *Biocontrol. Sci. Tech.*, 15(7): 745–754.

Baker JE, 1995. Stability of malathion resistance in two hymenopterous parasitoids. *J. Econ. Entomol.*, 88(2): 232–236.

Baker JE, Perez-Mendoza J, Beeman RW, 1997. Inheritance of malathion resistance in the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *J. Econ. Entomol.*, 90(2): 304–308.

Baker JE, Perez-Mendoza J, Beeman RW, Throne JE, 1998. Fitness

of a malathion-resistant strain of the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *J. Econ. Entomol.*, 91(1): 50–55.

Baker JE, Weaver DK, Throne JE, Zettler JL, 1995. Resistance to protectant insecticides in two field strains of the stored product insect parasitoid *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *J. Econ. Entomol.*, 88(3): 512–519.

Cabral S, Soares AO, Garcia P, 2011. Voracity of *Coccinella undecimpunctata*: effects of insecticides when foraging in a prey/plant system. *J. Pest Sci.*, 84(3): 373–379.

Cole PG, Cutler AR, Kobelt AJ, Horne PA, 2010. Acute and long-term effects of selective insecticides on *Micromus tasmaniae* Walker (Neuroptera: Hemerobiidae), *Coccinella transversalis* F. (Coleoptera: Coccinellidae) and *Nabis kinbergii* Reuter (Hemiptera: Miridae). *Aust. J. Entomol.*, 49(2): 160–165.

Croft BA, 1991. Arthropod Biological Contral Agents and Pesticides. New York: John Wiley & Sons. 539–642.

Croft BA, Brown AW, 1975. Responses of arthropod natural enemies to insecticides. *Annu. Rev. Entomol.*, 20: 285–335.

Croft BA, Morse JG, 1979. Recent advances on pesticide resistance in natural enemies. *Entomophaga*, 24(1): 3–11.

Cui F, Lin Z, Wang HS, Liu SL, Chang HJ, Reeck G, Qiao CL, Raymond M, Kang L, 2011. Two single mutations commonly cause qualitative change of nonspecific carboxylesterases in insects. *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 41(1): 1–8.

Dalci K, Ozsisli T, Isikber AA, 2011. The effect of commonly used insecticides, cypermethrin and diazinon active ingredients on different types of behavioural activities of *Coccinella septempunctata* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Coccinellidae) and *Aphidius uzbekistanicus* Luzhetzki, 1960 (Hymenoptera: Aphidiidae). *Turk. Entomol. Derg.-Turk. J. Entomol.*, 35(1): 31–45.

Dastjerdi HR, Hejazi MJ, Ganbalani GN, Saber M, 2008. Toxicity of some biorational and conventional insecticides to cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and its ectoparasitoid, *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *J. Entomol. Soci. Iran*, 28(1): 27–37.

Dastjerdi HR, Hejazi MJ, Ganbalani GN, Saber M, 2009. Sublethal effects of some conventional and biorational insecticides on ectoparasitoid, *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). *J. Entomol.*, 6(2): 82–89.

Gregory JM, Marjorie AH, 1997. Persistence and containment of *Metaseiulus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae) in Florida: Risk assessment for possible releases of transgenic strains. *Fla. Entomol.*, 80(1): 42–53.

Hardin MR, Benrey B, Coll M, Lamp WO, Roderick GK, Barbosa P, 1995. Arthropod pest resurgence: an overview of potential mechanisms. *Crop Prot.*, 14(1): 3–18.

Hoy MA, 1986. Use of genetic improvement in biological control. *Agri. Ecosyst. Environm.*, 15(2/3): 109–119.

Hoy MA, Knop NF, Joos JL, 1980. Pyrethroid resistance persists in spider mite predator. *Calif. Agr.*, 34(11): 11–12.

Hoy MA, Knop NF, 1981. Studies on pesticide resistance in the phytoseiid *Metaseiulus occidentalis* in California// Rodriguez JG (ed.). Recent Advances in Acarology, Vol. I. New York: Academic Press. 89–94.

Hoy MA, Westigard PH, Hoyt SC, 1983. Release and evaluation of a laboratory selected, pyrethroid resistant strain of the predaceous mite *Metaseiulus occidentalis* in southern Oregon pear orchards and a Washington apple orchard. *J. Econ. Entomol.*, 76(2): 383–388.

Ishaays I, Cassida JE, 1981. Pyrethroid esterase(s) may contribute to natural pyrethroid tolerance of larvae of the common green lacewing. *Environ. Ent.,* 10(5): 681–684.

Jalali MA, Van LT, Tirry L, De CP, 2009. Toxicity of selected insecticides to the two-spot ladybird *Adalia bipunctata*. *Phytoparasitica*, 37(4): 323–326.

Jalali SK, Singh SP, Venkatesan T, Murthy KS, Lalitha Y, 2006. Development of endosulfan tolerant strain of an egg parasitoid *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *India J. Exp. Bio.*, 44(7): 584–590.

Kim DS, Brooks DJ, Riedl H, 2006. Lethal and sublethal effects of abamectin, spinosad, methoxyphenozide and acetamiprid on the predaceous plant bug *Deraeocoris brevis* in the laboratory. *Biocontrol*, 51(4): 465–484.

Kumral NA, Gencer NS, Susurluk H, Yalcin C, 2011. A comparative evaluation of the susceptibility to insecticides and detoxifying enzyme activities in *Stethorus gilvifrons* (Coleoptera: Coccinellidae) and *Panonychus ulmi* (Acarina: Tetranychidae). *Int. J. Acarol.*, 37(3): 255–268.

Liu TX, Stansly PA, 2004. Lethal and sublethal effects of two insect growth regulators on adult *Delpgatus catalinae* (Coleoptera: Coccinellidae), apredator of whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae). *Biol. Control*, 30(2): 298–305.

Motoyama N, Rock GC, Dauterman WC, 1971. Studies on the mechanism of azinphosmethyl resistance in the predaceous mite, *Neoseiulus (T) fallacis* (family: Phytoseiidae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 1(2): 205–215.

Olszak RW, 1999. Influences of some pesticides on mortality and fecundity of the aphidophagous coccinellid *Adalia bipunctata* L.

(Col.,Coccinellidae). *J. Appl. Entomol.*, 123(1): 41–45.

Olszak RW, Pawlik B, Zajac RZ, 1994. The influence of some insect growth regulators on mortality and fecundity of the aphidophagous coccinellids *Adalia bipunctata* L. and *Coccinella septempunctata* L. (Col.,Coccinellidae). *J. Appl. Entomol.*, 117(1/5): 58–63.

Papachristos DP, Milonas PG, 2008. Adverse effects of soil applied insecticides on the predatory coccinellid *Hippodamia undecimnotata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biol. Control*, 47(1): 77–81.

Perez-Mendoza J, Fabrick JA, Zhu KY, Baker JE, 2000. Alterations in esterases are associated with malathion resistance in *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *J. Econ. Entomol.*, 93(1): 31–37.

Pielou DP, 1950. Preparation of thin films of crystalline DDT and gamma-hexachlorocyclohexane in celloidin. *Science*, 112(2910): 406–407.

Pielou DP, Glasser RF, 1952. Selection for DDT resistance in a beneficial insect parasite. *Science*, 115(2979): 117–118.

Satar S, Karacaoglu M, Satar G, 2012. Side effect of some insecticide used in citrus orchard on aphid parasitoid, *Lysiphlebus confusus* Tremlay and Eady, *Lysiphlebus fabarum* (Marshall), and *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae). *Turk. Entomol. Derg.-Turk. J. Entomol.*, 36(1): 83–92.

Sato ME, Tanaka T, Miyata T, 2006. Monooxygenase activity in methidathion resistant and susceptible populations of *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.*, 39(1): 13–24.

Sato ME, Tanaka T, Miyata T, 2007. A cytochrome P450 gene involved in methidathion resistance in *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acari: Phytoseiidae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 88(3): 337–345.

Shimoda Y, Yara K, Kawazu K, 2011. The effects of eight insecticides on the foraging behavior of the parasitoid wasp *Cotesia vestalis*. *J. Plant Interact.*, 6(2/3): 189–190.

Simelane DO, Steinkraus DC, Kring TJ, 2008. Predation rate and development of *Coccinella septempunctata* L. influenced by *Neozygites fresenii*-infected cotton aphid prey. *Biol. Control*, 44(1): 128–135.

Singh SR, Walters KFA, Port GR, Northing P, 2004. Consumption rates and predatory activity of adult and fourth instar larvae of the seven spot ladybird, *Coccinell aseptempunctata* (L.), following contact with dimethoate residue and contaminated prey in laboratory arenas. *Biol. Control*, 30(2): 127–133.

Tabashnik BE, Croft BA, 1985. Evolution of pesticide resistance in apple pests and their natural enemies. *Entomophaga*, 30(1): 37–49.

Tanaka K, Endo S, Kazano H, 2000. Toxicity of insecticides to predators of rice planthoppers: Spiders, the mirid bug and the dryinid wasp. *Appl. Entomol. Zoolog.*, 35(1): 177–187.

Thornham DG, Stamp C, Walters KFA Mathers JJ, Wakefield M, Blackwell A, Evans KA, 2007. Feeding responses of adult seven-spotted ladybirds, *Coccinella septempunctata* (Coleoptera, Coccinellidae), to insecticide contaminated prey in laboratory arenas. *Biocontrol Sci. Technol.*, 17(9/10): 983–994.

Thornham DG, Blackwell A, Evans KA, Wakefield M, Walters KFA, 2008. Locomotory behaviour of the seven-spotted ladybird, *Coccinella septempunctata*, in response to five commonly used insecticides. *Ann. Appl. Biol.*, 152(3): 349–359.

Wang L, Huang J, You M, Guan X, Liu B, 2005. Effects of toxins from two strains of *Verticillium lecanii* (Hyphomycetes) on bioattributes of a predatory ladybeetle *Delphastus catalinae* (Col.,Coccinellidae). *J. Appl. Entomol.*, 129 (1): 32–38.

Wu G, Miyata T, Kang CY, Xie LH, 2007. Insecticide toxicity and synergism by enzyme inhibitors in 18 species of pest insect and natural enemies in crucifer vegetable crops. *Pest Manag. Sci.*, 63(5): 500–510.

Zhang GF, Wan FH, Liu WX, Guo JY, 2006a. Early instar response to plant-delivered Bt-toxin in a herbivore (*Spodoptera litura*) and a predator (*Propylaea japonica*). *Crop Prot.*, 25(6): 527–533.

Zhang SY, Li DM, Cui J, Xie BY, 2006b. Effects of Bt-toxin Cry1Ac on *Propylaea japonica* Thunberg (Col., Coccinellidae) by feeding on Bt-treated Bt-resistant *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lep., Noctuidae) larvae. *J. Appl. Entomol.*, 130(4): 206–212.

Zhang YJ, Jiang RX, Wu HS, Liu P, Xie JQ, He YY, Pang H, 2012. Next-generation sequencing-based transcriptome analysis of *Cryptolaemus montrouzieri* under insecticide stress reveals resistance-relevant genes in ladybirds. *Genomics*, 100(1): 35–41.

Zhu YC, Dowdy AK, Baker JE, 1999a. Differential mRNA expression levels and gene sequences of a putative carboxylesterase-like enzyme from two strains of the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Insect Biochem. Molec. Biol.*, 29(5): 471–425.

Zhu YC, Dowdy AK, Baker JE, 1999b. Detection of single-base substitution in an esterase gene and its linkage to malathion resistance in the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Pestic. Sci.*, 55(4): 398–404.

常剑, 温丽娜, 林莉, 杨明, 何成兴, 吴文伟, 田育天, 胡保文, 杨继周, 张如阳, 郭志, 浦恩堂, 2011. 烟田常用杀虫药剂对

异色瓢虫成虫的安全性评价. 动物学研究, 32(Suppl.): 84−88.[Chang J, Wen LN, Lin L, Yang M, Heng CX, Wu WW, Tian YT, Hu BW, Yang JZ, Zhang RY, Guo Z, Pu ET, 2011. Safety evaluation of Insecticides commonly used to the adult of *Harmonia axyridis* in tobacco fields. *Zoological Research,* 32(Suppl.): 84−88.]

陈家骅, 陈达荣, 李芳, 张玉珍, 1989. 农药对烟蚜茧蜂的影响. 生物防治通报, 5(3): 107−109.[Chen JY, Chen DR, Li F, Zhang YZ,1989. The effect of pesticide on *Aphidius gifuensis Ashmaed. Chinese Journal of biological Control* , 5(3): 107−109.]

程英, 金剑雪, 李忠英, 李凤良, 2009. 七星瓢虫抗药性选育及对杀虫剂敏感性测定//杨怀文主编. 生物防治创新与实践. 北京: 中国农业科学技术出版社. 237−241. [Cheng Y, Jin JX, Li ZY, Li FL, 2009. Report on Pesticides Resistant Breeding of *Coccinella septempunctta* L. and Its Sensitivity Measurements to Pesticides. *Innovation and practice of biological control. Beijing:* Chinese agricultural science and Technology Press. 237−241.]

丁勇, 熊锦君, 黄明度, 1983. 几种拟除虫菊酯类杀虫剂对尼氏钝绥螨的毒力测定. 昆虫天敌, 5(3): 124−128.[Ding Y, Xiong JJ, Huang MD, 1983. The determination of toxicity on several Pyrethroid insecticides to *Amblyseius nicholsi Ehara et Lee* . *Natural Enemies of Insects,* 5(3): 124−128.]

杜桐源, 熊锦君, 黄明度, 1987. 尼氏钝绥螨抗亚胺硫磷品系生物学特性观察. 昆虫天敌, 9(3): 173−176.[Du TY, Xiong JJ, Huang DM, 1987. The observation of biological characteristics on *Amblyseius nicholsi Ehara et Lee* resisting phosemet. *Natural Enemies of Insects,* 9(3): 173−176.]

冯明祥, 1987. 果园抗药性捕食螨的研究与应用. 果树科学, 4(1): 40 − 43.[Feng MX, 1987. The research and application of insecticide resistance predatory mites in orchard. *Fruit Science*, 4(1): 40−43.]

冯涛, 彭宇, 刘凤想, 方满, 王荫长, 2002. 昆虫天敌抗药性研究进展. 昆虫天敌, 24(4): 180−184. [Feng T, Peng Y, Liu FX, Fang M, Wang YC, 2002. Progress in pesticides resistance of natural enemies of pests. *Natural Enemies of Insects*, 24(4): 180-184.]

高庆磊, 高昕, 董宇奎, 李照会, 2010. 几种药剂对螟虫长距茧蜂的室内毒力测定. 山东农业科学, (6): 78−81. [Gao QL, Gao X, Dong YK, Li ZH, 2010. Toxicity evaluation of four kinds of pesticides to Macrocentrus linearis. *Shandong Agricultural Sciences*, (6): 78-81.]

黄保宏, 尤强生, 2006. 黑缘红瓢虫对 6 种杀虫剂的敏感性测定. 昆虫知识, 43(5): 648 − 652. [Huang BH, You QS, 2006. Evaluation of six insecticides suseptibility in Chilocorus rubidus. *Entomological Knowledge*, 43(5): 648-652.]

黄明度, 熊锦君, 杜桐源, 1987. 尼氏钝绥螨抗亚胺硫磷品系的筛选及遗传分析. 昆虫学报, 30(2): 133−139.[Huang MD, Xiong JJ, Du TY, 1987. The selection for and genetical analysis of phosmet resistance in *Amblyseius nicholsi*. *Acta Entomologica Sinica*, 30(2): 133−139.]

金涛, 金启安, 林玉英, 温海波, 彭正强, 2012. 抗啶虫脒椰心叶甲种群对椰甲截脉姬小峰和椰心叶甲啮小蜂抗药性选育的影响. 热带作物学报, 33(8): 1471−1475. [Jin T, Jin QA, Lin YY, Wen HB, Peng ZQ, 2012. Improving selection of Insecticide resistance to acetamiprid in the parasitiod tetrastichus brontispae and asecodes hispinarum, by integrating brontispa longissima. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 33(8): 1471-1475.]

李元喜, 刘树生, 唐振华, 2002. 寄主抗药性对菜蛾绒茧蜂抗药性发展的影响. 昆虫学报, 45(5): 597−602. [Li YX, Liu SS, Tang ZH, 2002. The effect of host insecticide resistance on the development of resistance to fenvaler-ate in Cotesia plutellae (Hy menoptera:Braconidae). *Acta Entomologica Sinica*, 45(5): 597-602.]

李增梅, 岳晖, 邓立刚, 赵平娟, 2009. 寄生蜂抗药性研究进展. 吉林农业科学, 34(1): 36−39. [Li ZM, Yue H, Deng LG, Zhao PJ, 2009. Advance of studies on pesticides resistance of parasitoids. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 34(1): 36-39.]

刘慧平, 韩巨才, 徐琴, 刘慧芹, 2006. 杀虫剂对甘蓝蚜与七星瓢虫的毒力及选择性研究. 中国生态农业学报, 14(3): 160−162. [Liu HP, Han JC, Xu Q, Liu HQ, 2006. Toxicity and selection of insectivides to Coccinella septempunctata (L.) and Brevicoryne brassicae (L.). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 14(3): 160-162.]

刘伟, 高希式, 赵光宇, 郑炳宗, 1991. 抗蚜威对七星瓢虫和麦长管蚜选择毒性机制的研究. 农药, 30(2): 40−41.[Liu W, Gao XS, Zhao GY, Zhen BZ, 1991. The study on the mechanism of selective toxicity of pirimicarb on *Sitobion avenae* and *Coccinella septempunctata*. *Pesticide*, 30(2): 40−41.]

马艳, 吕政, 潘登明, 2001. 几种杀虫剂对异色瓢虫(*Leis axyridis* Pallas)不同虫态的毒力测定. 中国棉花, 28(7): 19−20.[Ma Y, Lv Z, Pan DM, 2001. Determination of several insecticide toxicity on different insect states of *Harmonia axyridis*. *China Cotton,* 28(7): 19−20.]

毛润乾, 欧阳革成, 杨悦屏, 王晓军, 姜 辉, 林荣华, 2010. 几种杀虫剂对亚非玛草蛉的毒力. 中国生物防治, 26(2): 227−229. [Mao RQ, Ouyang GC, Yang YP, Wang XJ, Jiang H, Lin RH, 2010. Toxicity of some insecticides on *mallada desjardinsi*. *Chinese Journal of Biological Control*, 26(2): 227-229.]

宋化稳, 慕立义, 王金信, 2001. 13 种杀虫剂对龟纹瓢虫及大草蛉的毒力研究. 农药科学与管理, 22(6): 17−18. [Song HW, Mu LY, Wang JX, 2001. Studies on the toxicity and joint-toxicity to propylaea japonica and chrysopa septempunctata of some insecti cides. *Pesticide Science and Administration*, 22(6): 17-18.]

孙定炜, 苏建亚, 沈晋良, 徐建陶, 2008. 杀虫剂对褐飞虱捕食性天敌黑肩绿盲蝽的安全性评价. 中国农业科学, 41(7): 1995 – 2002. [Sun DW, Su JY, Shen JL, Xu JT, 2008. Safety evaluation of insecticides to cyrtohinus lividipennis (Reuter) (Hemiptera：Miridae), a predator of nilaparvata lugens (Stal) (Ho moptera: Delphacidae). *Scientia Agricultura Sinica*, 41(7): 1995-2002.]

唐振华, 1993. 昆虫抗药性及其治理. 北京：中国农业出版社. 447−504.[Tang ZH, 1993. Pesticide resistance and Management. Beijing: *China Agricultural Press,* 447−504.]

吴刚, 江树人, 2002. 常用杀虫剂对菜蛾绒茧蜂的影响及毒理机制研究. 农药学学报, 4(3): 29−34.[Wu G, Jiang SR, 2002. The Susceptibilities to the Commercial Insecticides and the Toxicological Mechanism in Parasitoids *Apanteles plutellae* Kurd. *Chinese Journal Of Pesticide Science.*. 4(3): 29−34.]

吴刚, 刘树生, 2003. 菜蚜茧蜂对甲胺磷和灭多威的抗性机制. 昆虫学报, 46(3): 292 – 298. [Wu G, Liu SS, 2003. Resistance mechanisms to methamidosphos and methomyl in the parasitoid Diaeretiella rapae (M'Intosh). *Acta Entomologica Sinica*, 46(3): 292-298.]

吴刚, 尤民生, 赵士熙, 周志强, 江树人, 2002a. 田间菜蛾绒茧蜂对有机磷敏感性监测及毒理机制分析. 植物保护学报, 29(2): 168 – 172.[Wu G, You MS, Zhao SX, Zhou ZQ, Jiang SR, 2002.Monitoring of susceptibility to organophosphates and analysis of toxicological mechanism in A. *plytellae* Kurd. *Acta Phytophylacica Sinica*. 29(2): 168−172.]

吴刚, 赵士熙, 尤民生, 江树人, 2002b. 小菜蛾及菜蛾绒茧蜂乙酰胆碱酯酶敏感性的相关变化. 昆虫学报, 45(5): 623−628. [Wu G, Zhao SX, You MS, Jiang SR, 2002b. Correlated change of acetylcholinesterase sensitivity between Plutella xylostella and its parasitoid Apanteles plutellae. *Acta Entomologica Sinica*, 45(5): 623-628.]

吴红波, 张帆, 金道超, 2008. 不同种群螟黄赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂的抗药性测定. 植物保护, 34(5): 107 – 110. [Wu HB, Zhang F, Jin DC, 2008. Insecticide resistance test for different geographic populations of Trichogramma chilonis and T. Dendro limi. *Plant Protection*, 34(5): 107-110.]

吴顺凡, 姚洪渭, 卢增斌, 李秀花, 黄佳, 叶恭银, 2012. 稻田常用农药对四地区二化螟盘绒茧蜂雌成蜂的触杀毒性. 植物保护学报, 39(4): 369 – 375. [Wu SF, Yao HW, Lu ZB, Li XH, Huang J, Ye GY, 2012. Contact toxicities of various pesticides commonly applied in the paddy field to Cotesia chilonis female adults from four different locations. *Acta Phytophylacica Sinica*, 39(4): 369-375.]

席敦芹, 2008. 5 种药剂对异色瓢虫安全性测定试验. 农药, 47(1): 50 – 54. [Xi DQ, 2008. Five kinds of insecticides to armonia axyridis security determination experiment. *Pesticides*, 47(1): 50-54.]

熊锦君，杜桐源，黄明度, 邓振华, 1988. 尼氏钝绥螨抗亚胺硫磷品系在柑园应用试验初报. 昆虫天敌, 10(1): 9−14.[Xiong JJ, Du TY, Huang MD, Deng ZH,1988. Preliminary field studies in citrus orchards of phosmet resistance strain of *Amblyseius nicholsi Ehara et Lee*. *Natural Enemies of Insects,* 10(1): 9−14.]

许春霞, 彭劲, 彭正强, 2008. 大田常用杀虫剂对椰心叶甲及椰心叶甲啮小蜂的选择毒性. 热带作物学报, 29(1): 68−72. [Xu CA, Peng J, Peng ZQ, 2008. Selective toxicity of four insecticideson brontispa longissima and tetrastichus brontispae. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 29(1): 68-72.]

许雄, 李开煜, 李砚芳, 蒙启枝, 李丽英, 1986. 稻螟赤眼蜂抗药性品系培育初报. 昆虫天敌, 8(3): 150−154.[Xu X, Li KY, Li YF, Meng QZ, Li LY,1986. Culture of resistant strain of *Trichogramma japonicun Ashmead* to pesticides. *Natural Enemies of Insects,* 8(3): 150−154.]

许雄, 李开煜, 李砚芳, 蒙启枝, 1987. 广东省不同地区的稻螟赤眼蜂抗药性测定. 昆虫天敌, 9(4): 220−222.[Xu X, Li KY, Li YF, Meng QZ, 1987. Determination of insecticide resistance of *Trichogramma japonicun Ashmead* in different areas of Guangdong Province. *Natural Enemies of Insects,* 9(4): 220−222.]

许雄, 张敏玲, 1989. 拟澳洲赤眼蜂对拟除虫菊酯类农药抗性比较试验. 昆虫天敌, 11(3): 136−138.[Xu X, Zhang ML, 1989. Experiments on the comparison of pyrethroid pesticide resistance on *Trichogramma confusum Viggiani* . *Natural Enemies of Insects,* 11(3): 136−138.]

徐德进, 顾中言, 徐广春, 许小龙, 范鹏, 2010. 机敏漏斗蛛对灰飞虱的捕食作用及对常用杀虫剂的敏感性. 植物保护学报, 37(3): 201−205. [Xu DJ, Gu ZX, Xu GC, Xu XL, Fan P, 2010. Predation of Agelena difficilis (Fox) on Laodelphax striatellus (F allen) and its sensibility to common insecticides. Acta Phytophylacica Sinica, 37(3): 201-205.]

姚永生, 赵芳, 冯宏祖, 张萍, 2008. 阿克泰等杀虫剂对棉蚜和瓢虫的毒力测定. 江西棉花, 30(3): 16−19. [Yang YS, Zhao F, Feng HZ, Zhang P, 2008. Studies on selective toxicity of actara

WG between cotton aphid and ladybirds. Jiangxi Cottons, 30(3): 16-19.]

杨崇珍, 王兴林, 张兴, 1995. 菊醋类杀虫剂对几种赤眼峰的毒力测定. 西北农业大学学报, 23(3): 108–110.[Yang CZ, Wang XL, Zhang X,1995. Determination of toxicity of Vinegar chrysanthemum insecticides on several Trichogrammatid. The Journal of Kasetsart University, 23(3): 108–110.]

杨洪, 袁瑞, 张帆, 2011. 异色瓢虫对三种杀虫剂的抗性选育. 植物保护学报, 38(5): 479–480. [Yang H, Yuan R, Zhang F, 2011. Resistance selection of Harmonia axyridis to three kinds of insect icides. Acta Phytophylacica Sinica, 38(5): 479-480.]

袁瑞, 杨洪, 2012. 异色瓢虫对 3 种杀虫剂抗性选育过程中酯酶活性和蛋白含量的动态变化. 贵州科学, 30(4): 29–33. [Yuan R, Yang H, 2012. Dynamic variation of esterase activity and protein content in resistance selection processes of harmonia axyridis to t hree kinds of insecticides. Guizhou Science, 30(4): 29-33.]

占志雄, 邱良妙, 吴玮, 赵建伟, 魏辉, 2009. 杀虫剂对龙眼角颊木虱与天敌瓢虫的毒力及选择性研究. 福建农业学报, 24(1): 35 – 39. [Zhan ZX, Qiu LM, Wu W, Zhao JW, Wei H, 2009. Selective toxicity of insecticides on Cornegenapsylla sinica Yang et Li and its predatory ladybirds. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 24(1): 35-39.]

张为磊, 2010. 假眼小绿叶蝉与其卵缨小蜂种群动态及常用农药对缨小蜂的毒力测定. 硕士学位论文. 福州：福建农林大学.[Zhang WL,2010. Population dynamics of *Empoasca vitis* and *Mymaridae* and determination of toxicity of commercial pesticides on *Mymaridae*. Master's degree thesis. Fuzhou: University Of Agriculture and Forestry In Fujian.]

郑少雄, 章正楼, 朱瑞良, 1985. 化学农药对稻田蜘蛛的影响. 昆虫天敌, 7(2): 100 – 103.[Zhen SX, Zhang ZL, Zhu RL, 1985. Effects of chemical pesticide on rice rice field spiders. *Natural Enemies of Insects,* 7(2): 100–103.]

朱福兴, 王金信, 刘峰, 于金凤, 慕卫, 张新, 慕立义, 1997. 杀虫剂对龟纹瓢虫敏感性测定. 中国农业科学, 30(6): 78 – 80.[Zhu FX, Wang JX, Liu F, Yu JF, Mu W, Zhang X, Mu LY,1997. Evaluation of Insecticide Susceptibility in *Propylea japonica. Scientia Agricultura Sinica,* 30(6): 78–80.]

朱福兴, 王金信, 刘峰, 慕卫, 张新, 1998. 瓢虫对杀虫剂的敏感性研究. 昆虫学报, 41(4): 359 – 365.[Zhu FX, Wang JX, Liu F, Mu W, Zhang X, 1998. Studies on insecticide susceptibility of *ladybird*. *Acta Entomologica Sinica*, 41(4): 359–365.]

朱九生, 连梅力, 王静, 秦曙, 2009. 五种杀虫剂对卵寄生性天敌广赤眼蜂室内安全性评价. 中国生态农业学报, 17(4): 715–720. [Zhu JS, Lian ML, Wang J, Qin S, 2009. Toxicity and safetyevaluation of five insecticides on egg parasitoi d, trichogramma evanescens westwood.hinese Journal of Eco-A griculture. 17(4): 715-720.]