

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2020.01.001

# 农药对捕食性天敌的影响研究进展

杨 慧, 蒋皓天, 何恒果\*

西华师范大学生命科学学院, 四川 南充 637009

**摘要:** 捕食性天敌在害虫的自然控制方面起着重要作用。当害虫大发生时,需使用化学农药来进行有效控害,但化学农药会对捕食性天敌的生存造成影响。因此,了解农药对捕食性天敌的影响有利于协调化学防治和生物防治的关系。大部分农药对捕食性天敌的生长发育和繁殖表现为抑制作用,但有的为促进作用。在农药的干扰下,多数捕食性天敌的信息识别能力会降低,少部分会通过提高雄虫接收性信息素的能力或增加雌虫性信息素的释放来诱导求偶行为、增加交配频率。有的杀虫剂会影响捕食性天敌的捕食行为及捕食功能,部分杀虫剂会直接使其捕食功能模型由 Holling- II 型转变为 Holling- I 型。在农药胁迫下,捕食性天敌会产生抗药性,其解毒酶活性升高、保护酶活性改变及靶标部位敏感性下降可能是抗药性产生的机理。农药对捕食性天敌的影响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,可以有效地推进捕食性天敌在害虫综合治理中的应用。

**关键词:** 捕食性天敌; 农药; 生长发育; 解毒酶; 性信息素通讯系统; 抗药性



开放科学标识码  
(OSID 码)

## Progress on the effects of pesticides on the predatory natural enemies

YANG Hui, JIANG Haotian, HE Hengguo\*

College of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637009, China

**Abstract:** Predatory natural enemies play an important role in the natural control of pests. When pests occur, chemical pesticides are needed for effective control, but they may affect the survival of predatory natural enemies. Therefore, understanding the effects of pesticides on predatory natural enemies is needed to better coordinate the use of chemical and biological controls. Most pesticides inhibit the growth and reproduction of predatory natural enemies, but some promote them. Prey detection capability of most predators is reduced when exposed to pesticides. Some pesticides affect the predation behavior and predation function of predatory natural enemies. Some pesticides directly convert predation function model from Holling- II to Holling- I. Under pesticide stress, predatory natural enemies develop pesticide resistance, by increasing detoxification enzyme activity or decreasing target site sensitivity. The research on the effects of pesticides on predatory natural enemies has both theoretical and practical significance for the combined use of chemical and biological control in integrated pest management (IPM).

**Key words:** predatory natural enemies; pesticide; growth and development; detoxification enzyme; sex pheromone communication system; pesticide resistance

农药因具有高效性、经济适用性等优点在防治病虫害方面功不可没,但农药使用不规范,滥用和过度现象较为严重,不仅危及人体健康,还会造成环境污染(江娜等,2018; 全林发等,2016; 张言,2018; 郑永权,2013; Dai,2004)。事实上,生态系统中有益生物与有害生物是相互制约、相互平衡的。在使用化学农药防治害虫的同时农药也会对

有益生物造成影响,严重时致死。天敌的死亡会增加害虫的增长速度,使其易泛滥成灾(潘道一和梁雪明,1993; 万丽琴和黄国星,2018)。生物防治可有效降低化学防治带来的不利影响,开展生物防治已成为可持续发展的研究重点(马万青,2018; Driesche & Bellows,1996)。害虫生物防治是指利用生物或生物代谢产物进行害虫防治的方法,捕食性天

收稿日期(Received): 2019-10-03 接受日期(Accepted): 2019-11-10

基金项目: 四川省教育厅重点项目(17ZA0388); 西华师范大学英才基金项目(17YC327)

作者简介: 杨慧,女,硕士研究生。研究方向: 害虫生物防治。E-mail: huiyang0000@qq.com

\* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: hengguohe@163.com

敌的利用是其中重要的一个方面。常见的捕食性天敌有瓢虫、草蛉、食蚜蝇、捕食螨、农田蜘蛛及其他天敌(陈学新,2010;田径和任炳忠,2019;周丹凤,2017;Björnson,2008;Ridgway & Vinson,1977)。在害虫大发生时,生物防治效果往往不佳,需协同使用化学药剂进行有效控害。这就需要协调好化学防治和生物防治的关系,尽量在使用化学农药的同时减少对捕食性天敌的伤害。农药进入农田生态系统后,除直接杀死害虫外,随个体间接触农药剂量的差异及时间推移,部分个体还会产生亚致死效应(王小艺,2004)。对非目标的捕食性天敌而言,也会对农药产生类似的亚致死效应。捕食性天敌接触农药亚致死剂量后,存活个体及其后代的生态学及生物学行为、生长发育、抗药性发展等会发生一些显著变化。因此,本文就农药对捕食性天敌的影响作一综述,这对合理使用农药、保护天敌、害虫可持续治理和保护生态环境都有重要意义。

## 1 农药对捕食性天敌生长发育及繁殖的影响

研究表明,农药亚致死剂量在影响天敌生长发育的同时还会改变后代种群的生命表参数。不同类型、不同亚致死剂量的杀虫剂作用于天敌,其生殖力会受到不同程度的影响(林勇文,2006)。大多数农药的亚致死剂量对捕食性天的敌生长发育和繁殖具有抑制作用。杨在友等(2018)比较4种杀虫剂(草甘膦铵盐、氰戊菊酯、吡虫啉、氯氰·辛硫磷)对2种天敌(蠋蛾和一种益蛾)的药害影响,结果表明,使用农药后将天敌释放于自然环境,其存活与繁殖受到明显抑制。用亚致死浓度的吡虫啉处理日本通草蛉 *Chrysoperla nipponensis* Okamoto 卵后,该虫的雌虫产卵前期延长,每雌的平均产卵量减少,其内禀增长力、净繁殖率和周限增长率均显著降低,种群的增长受到明显抑制(刘中芳等,2016)。亚致死浓度的联苯肼脂、乙螨唑、阿维菌素使捕食螨发育历期延长、繁殖力下降(范潇,2015;Hamedi *et al.*,2011)。亚致死浓度的氟铃脲、噻虫嗪使七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* L.发育减慢、生殖力降低(Jiang *et al.*,2019;Yu *et al.*,2014)。用不同亚致死浓度的吡虫啉、阿维菌素和高效氯氰菊酯处理多异瓢虫 *Adonia variegata* Goeze,当代瓢虫组的产卵量与卵孵化率均有所降低,F1代从卵至蛹的总发育历期显著延长(陈威,2013;孙小玲等,2016)。不同亚致死浓度下的氯虫苯甲酰胺都会使异色瓢虫

*Harmonia axyridis* Pallas 若虫及蛹期显著延长,成虫寿命显著缩短(Nawaz *et al.*,2017)。但 Moens *et al.* (2011)研究发现,通过药膜法用杀虫剂螺虫乙脂处理黑纹食蚜蝇 *Episyrphus balteatus* Degeer,该天敌的产卵量与对照组相比显著增加。此外, $\beta$ -氯氰菊脂(LC<sub>50</sub>)处理异色瓢虫,其子代产卵期显著延长,繁殖力显著增加62.27%(Xiao *et al.*,2016)。由此可见,亚致死剂量农药会对大部分捕食性天敌生长发育和繁殖产生负面影响,少部分生殖受刺激。

## 2 农药对捕食性天敌信息识别及性信息素通讯系统的影响

昆虫之间的相互作用由化学信息素介导,其性信息素通讯系统是雌虫与雄虫完成求偶与交配的重要环节(韩文素等,2011;Noldus,1989)。研究表明,昆虫长期处于亚致死剂量农药的胁迫下,其生理参数会受到不同程度的影响,性信息素通讯系统会发生漂移,进而影响昆虫之间正常的交配及繁殖行为(王安佳等,2018;Wang *et al.*,2017;Wei & Du,2004)。在农药的干扰下,多数捕食性天敌的信息识别能力会降低。蜘蛛 *Rabidosia rabida* Walckenaer 接触有机磷后,交配率显著降低(Tietjen & Cady,2007)。星豹蛛 *Pardosa astrigera* L. Koch 经3种杀虫剂(阿维菌素、氧乐果、高效氟氯氰)亚致死浓度处理后,雌、雄蛛交配持续时间显著延长,其中,阿维菌素处理后对雌、雄蛛交配影响最大,交配率随杀虫剂浓度增加而下降,当浓度为LC<sub>20</sub>时基本无法交配(刘小荣,2013)。研究发现,拟除虫菊酯类杀虫剂对天敌信息素通讯系统的作用机制主要在2个方面,一是杀虫剂影响雄虫对信号的感受能力,在向中枢神经系统的传导过程中受杀虫剂毒力的影响使其编码与解码能力出现紊乱,加上雄虫感受器的敏感性下降,不能准确识别信号,因此出现行为异常的现象;二是影响雌虫的求偶行为次数与性信息素生物合成(穆兰芳等,2005)。研究农药亚致死剂量对捕食性天敌性信息素通讯系统的影响,对筛选农药及探讨天敌种群分化问题有十分重要的意义,但有关这方面的研究较少。

## 3 农药对捕食性天敌捕食行为及捕食功能的影响

### 3.1 农药对捕食性天敌捕食行为的影响

杀虫剂在杀死害虫的同时,对捕食性天敌的捕

食行为会造成一定的影响。有的杀虫剂为神经毒剂,会影响捕食性天敌的神经系统而改变其生态学行为。不同天敌对杀虫剂的敏感性不同,其行为活动改变程度也不同(郭贝娜,2014),有的杀虫剂则直接导致天敌产生拒食、忌避等行为(张翼翹,2011)。用亚致死剂量的二嗪农、杀螟硫磷和毒死蜱处理侧刺蝽 *Andrallus spinidens* Fabricius,侧刺蝽对二化螟 *Chilo suppressalis* Walker 的平均取食量及攻击速率显著降低,处理猎物的时间也有所延长(Gholamzadehchitgar *et al.*, 2014)。研究亚致死剂量氯氰菊酯对蜘蛛 *Alpaida veniliae* Keyserling 生物学行为的影响,发现农药会抑制雌虫的捕食能力,表现为仅部分雌虫可织网,且开始织网的时间显著延迟,网的节点及大小均低于对照(Benamú *et al.*, 2013)。星豹蛛经氧乐果、阿维菌素与高效氯氟氰亚致死浓度处理后,雌蛛捕食蚜虫及黄粉虫较多;雄蛛则捕食蚜虫最多,捕食黄粉虫最少(刘小荣,2013)。由此可见,接触到农药的捕食性天敌,其觅食、取食等行为发生明显变化,表现为搜查猎物时间变长、捕食能力降低以及捕食选择性改变。原因可能是农药亚致死剂量对捕食性天敌嗅觉、视觉的识别能力及解毒酶系活性产生影响,从而导致天敌产生觅食时间变长、取食量降低等行为(Desneux *et al.*, 2007)。

### 3.2 农药对捕食性天敌捕食功能的影响

捕食功能反应是指捕食者的捕食率随猎物密度变化的一种反应,可用来衡量天敌受到不同因子影响后捕食行为的变化情况(Poletti *et al.*, 2007)。农药对捕食性天敌的捕食功能反应有一定的影响。研究发现,多异瓢虫经3种杀虫剂的亚致死剂量处理后,其捕食量、捕食速率及寻找效应均有不同程度的下降,功能反应模型的结构没有发生变化,还是典型的Holling-II型(杨巧燕等,2016)。用2种受药方式来处理龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* Thunberg,一种是高效氯氰菊酯直接处理,另一种是龟纹瓢虫捕食吡虫啉处理后的豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* Harris,结果显示,无论以何种方式受药,龟纹瓢虫的捕食能力都会受到抑制,其中,高效氯氰菊酯直接作用于龟纹瓢虫时抑制最强,两者都不改变其对豌豆蚜的捕食功能反应模型(袁伟宁等,2015)。2种捕食性蜘蛛混合种群经 $\lambda$ -三氟氯氰菊酯亚致死浓度处理后,功能反应模型发生了变化,

由原来的Holling-II型转变为Holling-I型,搜寻猎物的能力也严重下降(Michalko & Kosulic, 2016)。星豹蛛在低剂量吡虫啉作用下,捕食功能反应模型为Holling-II型,但星豹蛛对甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae* L.的处理时间有所缩短,同时提高了瞬间攻击率,从而增加日捕食量,提高对猎物的控制作用(李锐等,2014)。多异瓢虫经低剂量吡虫啉处理后,对蚜虫的捕食作用也会增强(胡聪等,2008)。由此可见,杀虫剂不仅会影响捕食性天敌的捕食行为及捕食能力,有的杀虫剂还会改变捕食性天敌的功能反应模型。

## 4 捕食性天敌的抗药性及其产生机理

### 4.1 捕食性天敌的抗药性

杀虫剂亚致死效应有利于捕食性天敌抗药性的发展,尤其是对捕食螨这类繁殖速度快、世代周期短的天敌(Chang & Whalon, 1986)。研究表明,捕食螨对拟除虫菊酯类杀虫剂存在一定甚至较高级别的抗性(陈飞,2014; Bonafos *et al.*, 2007)。如拟长毛钝绥螨 *Amblyseius pseudolongispinosus* Xin 对甲氰菊酯的抗性达591.53~864.84倍(Zhao *et al.*, 2013)。在害虫综合治理(integrated pest management, IPM)中,除了评估农药对害虫的抗性风险之外,利用药剂亚致死剂量筛选田间天敌抗性品种也至关重要。用三氟氯氰菊脂处理用药水平高的棉区龟纹瓢虫后,其敏感性显著降低,抗性达30.6倍,采用此方法可筛选出瓢虫的抗性品系(朱福兴等,1998)。一些抗性较强的天敌在杀虫剂的喷洒下仍能有效捕食害虫,这些抗性品系不仅对杀虫剂存在不同程度的抗性,还会对几种杀虫剂同时存在交互抗性,充分利用这些抗药性天敌品系,可将化学防治与生物防治更加有效地结合起来控制害虫(El-Ela, 2014; Salman *et al.*, 2015)。

### 4.2 捕食性天敌的抗药性机理

捕食性天敌的抗药性机理与其他昆虫相似,根据抗性机理可将其抗药性分为行为抗性、生理抗性和代谢抗性(祁欣,2015; 唐良德等,2014; Horowitz & Denholm, 2001)。生理抗性与代谢抗性为主要抗性机理且研究较多,行为抗性机理研究较少(田发军等,2018)。生理抗性是由表皮及神经膜通透性降低、靶标部位敏感性的转化及加速排泄等方面所产生的抗性;代谢抗性则是因为解毒酶活性的增强而使杀虫剂代谢增强,进而导致捕食性天敌产生抗



性;其分子上可能是因为相关基因的突变或扩增而致(吴有刚等,2019;Liu,2015)。在整个抗药性机理的形成过程中,由于表皮组织穿透性降低而产生的抗药性,发挥作用较小,具体作用机制也未见报道,因此主要讨论由于相关代谢与神经敏感性变化而形成的抗药性机理。

**4.2.1 靶标部位敏感性下降** 杀虫剂的作用靶标主要有 2 种:有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂的作用部位——乙酰胆碱酯酶(AchE),DDT 和拟除虫菊酯类杀虫剂的作用靶标——神经膜(神经轴突钠离子通道)。当乙酰胆碱酯酶与神经膜活性下降,药物对捕食性天敌的杀害作用也会下降,天敌本身的抗性增强。敏感体系的伪钝绥螨 *Amblyseius fallacis* Garman 在谷硫磷处理 1 h 后,其胆碱酯酶完全被抑制,而抗性品系 5 h 后抑制率为 20%,抗性品系降解谷硫磷的速度比敏感体系快(赵海明等,2012)。

**4.2.2 解毒酶活性升高** 天敌的解毒酶系在对农药的转化和降解中有重要作用,目前,许多研究表明解毒能力的增强是天敌对农药产生抗性的主要原因之一。其主要解毒酶包括羧酸酯酶(CarEs)、谷胱甘肽转移酶(GSTs)以及多功能氧化酶系(MFOs)(唐良德等,2014;袁瑞和杨洪,2012;Alperkumral *et al.*,2011)。

羧酸酯酶作为重要的解毒酶,能与进入天敌体内的杀虫剂迅速结合,使杀虫剂在达到靶标作用位点前阻隔或降解,从而失去原有效用;具体作用机制是通过羧酸酯酶基因的扩增与点突变来提高对农药的代谢活性(任娜娜等,2014;吴精品,2010)。CarE 活性增强会使食螨瓢虫 *Stethorus gilvifrons* Mulsant 对甲基对硫磷产生抗性以及对联苯菊酯产生高耐受性(Alperkumral *et al.*,2011)。高浓度(LC<sub>50</sub>)溴虫腈和毒死蜱对等钳镰螨 *Blattisocius dentriticus* Berlese 体内的 CarE 活力诱导作用较强,此外,等钳镰螨的 *BdCarE1*、*BdCarE2*、*BdCarE3*、*BdCarE4* 和 *BdCarE5* 基因的过表达是其溴虫腈抗性产生的主要原因(王翠伦,2019)。

GST 可通过催化还原性谷胱甘肽(GSH)与生物体内亲电的有毒物质发生轭合反应,使之毒性下降、可溶性增强排出体外(李亚红,2014)。在农药影响下,天敌昆虫的 GSTs 酶活性升高常表现为达螨酮在施药后不同时期内的农药残留对巴氏钝绥螨体内的 GSTs 活性表现为促进作用,且随周期变

短,其体内的 GSTs 比活力诱导增强(袁庆东,2010)。不同亚致死剂量下的哒螨灵都可增强巴氏钝绥螨体内 GSTs 的活性,其活力诱导随剂量增加而增强(王允场,2009);伪钝绥螨对谷硫磷产生抗性的主要原因是 GST 对杀虫剂的脱烷基作用(本山直树,1982)。

MFOs 作为天敌体内重要的氧化代谢酶系,能参与各类杀虫剂以及多种外源性与内源性化合物的反应(申继忠和钱传范,1993;张红英等,2002)。捕食螨在杀虫剂的刺激下,其体内氧化酶活性有所增高(Assis *et al.*,2018)。巴式新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* Hughes 对阿维菌素产生抗性的过程中,多功能氧化酶的解毒代谢能力提高是其重要原因(蒲倩云,2015)。黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter 捕食对吡虫啉产生极高水平抗性的褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål,其抗性倍数的变化与多功能氧化酶活性的变化呈正相关(凌炎等,2017)。

**4.2.3 保护酶活性改变** 在长期进化过程中,生物体内除了形成大量降解外来有毒物质的解毒酶系外,还形成了过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)等各种保护酶系,其主要功能是清除体内自由基、防止细胞膜脂质过氧化、减轻或防御机体所受伤害(唐箫濛和毛洪波,2019;Allen *et al.*,1984;Bolter & Chefurka,1990)。捕食性天敌与其他生物一样,在农药胁迫下,其保护酶系发生改变,以应对农药对机体的伤害,增强其抗药性。星豹蛛经低剂量吡虫啉处理后,CAT 和 SOD 的活性明显增强,且随药剂剂量增大和作用时间延长而呈现逐渐降低的趋势,保护酶的合成能力受到抑制(李锐等,2014)。龟纹瓢虫在低浓度(LC<sub>10</sub>、LC<sub>20</sub>)吡虫啉的胁迫下,成虫体内 POD 活性一直受到抑制,而高浓度(LC<sub>30</sub>)吡蚜酮会提高成虫体内 CAT 活性且一直表现为激活作用(张孝鹏等,2019)。LC<sub>10</sub>浓度啉虫腈对异色瓢虫 3 龄幼虫和成虫体内 CAT、POD 和 SOD 活性有促进作用,而 LC<sub>30</sub>浓度处理后,3 种酶活性受到抑制(杨琼等,2015)。

## 5 展望

农药会影响捕食性天敌的生长发育、生殖力、捕食能力等各方面。大部分杀虫剂对捕食性天敌的生长发育表现为抑制作用,如寿命缩短、发育历期延长、生殖力下降,少部分刺激天敌生殖。杀虫剂对捕食性天敌的交配行为及捕食行为都有一定

的抑制作用。一些药剂的刺激会导致天敌的捕食量、捕食速率及寻找效应下降,但不改变其功能反应模型;另一些杀虫剂则会直接使其模型由Holling-Ⅱ型转变为Holling-Ⅰ型。农药对天敌的亚致死效应是以天敌个体存活率、繁殖率及生态行为等方面的参数来进行评价与评估(李会仙,2004)。目前,农药对捕食性天敌生长发育、生殖、信息通讯和捕食影响的研究仅限于小部分天敌种类,这些研究中涉及的农药种类也较少,且有关捕食性天敌在捕食杀虫剂亚致死浓度下的猎物后的反应几乎未曾涉及,可加强这些方面的研究。

从捕食性天敌体内重要酶系的变化来阐述农药对捕食性天敌抗药性的发展有利于天敌抗性风险评估及抗性的综合治理,但多数研究对天敌体内酶系活性的测定都是在天敌抗性水平较低或药剂短期处理后进行的,田间存在多次施药的情况,对捕食性天敌的影响往往会持续多代,故而有必要对选育出有抗性的天敌品系进行深入研究。此外,目前有关农药对捕食性天敌的研究多集中于天敌生物学特性及抗药性的表象之上,而造成农药对捕食性天敌亚致死效应的内在机制仍不明晰。因此,更深层探讨亚致死效应的分子生物学机制,对于合理使用杀虫剂、协调化学防治与生物防治的关系、推进捕食性天敌在害虫综合治理中的应用将具有积极意义。

## 参考文献

本山直树, 1982. 谷胱甘肽 S-转移酶与谷硫磷抗性的关系. 日本农药学会杂志, 7(8): 415-425.

陈飞, 2014. 巴氏新小绥螨对甲氰菊酯抗性分子机理研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.

陈威, 2013. 三种杀虫剂对多异瓢虫亚致死效应的研究. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学.

陈学新, 2010. 21 世纪我国害虫生物防治研究的进展、问题与展望. 应用昆虫学报, 47(4): 615-625.

范潇, 2015. 联苯腈酯和乙螨唑对二斑叶螨及巴氏新小绥螨亚致死效应研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.

郭贝娜, 2014. 稻飞虱捕食性天敌黑肩绿盲蝽烟碱型乙酰胆碱受体毒理学特性研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.

韩文素, 王丽红, 孙姗姗, 高希武, 2011. 杀虫剂对昆虫的亚致死效应的研究进展. 中国植保导刊, 31(11): 17-22.

胡聪, 李蓓蓓, 贺达汉, 赵丽, 马世谕, 2008. 低剂量吡虫

啉对多异瓢虫捕食蚜虫及繁殖的影响. 农业科学研究, 29(3): 23-25.

江娜, 王腾飞, 李国龙, 2018. 中国农药发展 40 年与农业现代化同频共振. 农药市场信息 (29): 15-17.

李会仙, 2004. 几种拟除虫菊酯对棉铃虫亚致死效应研究. 硕士学位论文. 太古: 山西农业大学.

李锐, 李娜, 刘佳, 李生才, 洪坚平, 2014. 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理. 生态学报, 34(10): 2629-2637.

李亚红, 2014. 昆虫谷胱甘肽硫转移酶农药解毒与内源代谢研究进展. 山西大同大学学报(自然科学版), 30(4): 49-51.

林勇文, 2006. 亚致死剂量杀虫剂对天敌的选择作用及 ACHE 的分析. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.

凌炎, 黄芊, 蒋显斌, 尹文兵, 龙丽萍, 黄凤宽, 黄所生, 吴碧球, 李成, 2017. 抗吡虫啉褐飞虱种群对天敌黑肩绿盲蝽抗性发展的影响. 西南农业学报, 30(6): 1369-1375.

刘小荣, 2013. 杀虫剂胁迫对星豹蛛行为影响的研究. 硕士学位论文. 太古: 山西农业大学.

刘中芳, 封云涛, 高越, 郭晓君, 张鹏九, 范仁俊, 2016. 吡虫啉亚致死剂量对日本通草蛉实验种群生命表的影响. 植物保护学报, 43(6): 1014-1019.

马万青, 2018. 生物防治在林木害虫综合治理中的应用研究. 绿色科技 (9): 231-232.

穆兰芳, 董双林, 杨智华, 2005. 杀虫剂亚致死剂量对昆虫性信息素通讯系统影响的研究进展. 植物保护学报, 32(2): 201-206.

潘道一, 梁雪明, 1993. 农药对稻田捕食性天敌蜘蛛的安全性研究. 湖南农学院学报, 19(3): 234-239.

蒲倩云, 2015. 两种农药对巴氏新小绥螨的毒力及阿维菌素亚致死剂量对其解毒酶系的影响. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学.

祁欣, 2015. 昆虫抗药性的分子机制研究进展. 南方农业, 9(18): 159, 165.

全林发, 张怀江, 孙丽娜, 李艳艳, 闫文涛, 岳强, 仇贵生, 2016. 杀虫剂对害虫的亚致死效应研究进展. 农学学报, 6(5): 33-38.

任娜娜, 谢苗, 尤燕春, 尤民生, 2014. 羧酸酯酶及其介导昆虫抗药性的研究进展. 福建农林大学学报(自然科学版), 43(4): 337-344.

申继忠, 钱传范, 1993. 昆虫多功能氧化酶及其在杀虫剂抗性中的作用. 农药科学与管理 (1): 12-15.

孙小玲, 陈威, 杨巧燕, 刘长仲, 2016. 三种杀虫剂对多异瓢虫的毒力及亚致死效应. 草地学报, 24(5): 1094-1099.

田径, 任炳忠, 2019. 食蚜蝇研究概述. 吉林农业大学学报,

- 41(1): 5-14.
- 田发军, 刘家莉, 曾鑫年, 2018. 柑橘木虱抗药性研究进展. 应用昆虫学报, 55(4): 19-27.
- 唐良德, 邱宝利, 任顺祥, 2014. 天敌昆虫抗药性研究进展. 应用昆虫学报, 51(1): 13-25.
- 唐箫濠, 毛洪波, 2019. 一株苏云金亚种的发酵产物对柳蚜 3 种保护酶活性的影响. 中国林副特产 (1): 1-4.
- 万丽琴, 黄国星, 2018. 农药的危害性及绿色植保技术研究. 农民致富之友 (3): 157.
- 王安佳, 张开心, 梅向东, 高玉林, 张涛, 折冬梅, 宁君, 2018. 昆虫性信息素及其类似物干扰昆虫行为的机理和应用研究进展. 农药学学报, 20(4): 425-438.
- 王翠伦, 2019. 溴虫腈和毒死蜱对等钳蠊亚致死效应及相关基因的影响. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.
- 王小艺, 2004. 杀虫剂对昆虫的亚致死效应. 世界农药, 26(3): 24-27.
- 王允扬, 2009. 几种杀虫(螨)剂对巴氏钝绥螨的毒力及亚致死效应研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.
- 吴晶晶, 牛金志, 豆威, 王进军, 2010. 昆虫羧酸酯酶研究进展//中国植物保护学会. 公共植保与绿色防控——中国植物保护学会 2010 年学术年会: 370-373.
- 吴有刚, 金京, 杨胜祥, 吴屏, 胡琴, 杜永斌, 樊建庭, 2019. 昆虫抗药性产生机制. 生物安全学报, 28(3): 159-169.
- 杨琼, 王淑会, 张文慧, 杨田堂, 刘永杰, 2015. 常用杀虫剂对异色瓢虫的毒力及其保护酶的影响. 植物保护学报, 42(2): 258-263.
- 杨巧燕, 陈威, 孙小玲, 刘长仲, 2016. 多异瓢虫捕食豌豆蚜功能对 3 种杀虫剂亚致死剂量的响应. 草业科学, 33(7): 1418-1425.
- 杨在友, 李喜旺, 贾芳翌, 张长华, 王强义, 王明旭, 易忠经, 陈红印, 2018. 4 种农药对 2 种天敌螨的药害影响. 中国农学通报, 34(5): 113-116.
- 袁庆东, 2010. 果园常用药剂对柑橘全爪螨和巴氏钝绥螨的影响研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.
- 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.
- 袁伟宁, 陈威, 方圆, 刘长仲, 2015. 两种杀虫剂亚致死剂量对龟纹瓢虫捕食功能反应的影响. 草原与草坪, 35(6): 65-70.
- 张红英, 赤国彤, 张金林, 2002. 昆虫解毒酶系与抗药性研究进展. 河北农业大学学报, 25(S1): 193-195.
- 张孝鹏, 刘锦, 王凡, 王淑会, 李东超, 陈鹏, 刘永杰, 2019. 常用杀虫剂对龟纹瓢虫的毒力及其保护酶的影响. 山东农业科学, 51(2): 103-108.
- 张言, 2018. 农药的危害性及绿色植保技术. 乡村科技 (31): 101-102.
- 张翼翾, 2011. 新烟碱类杀虫剂对温室和室内天敌的影响. 世界农药, 33(3): 25-28.
- 周丹凤, 2017. 浅议寄生性和捕食性昆虫的利用途径. 防护林科技 (1): 92-125.
- 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.
- 赵海明, 唐良德, 胡美英, 耿鹏, 安国栋, 2012. 捕食螨的抗药性研究进展. 中国生物防治学报, 28(2): 282-288.
- 郑永权, 2013. 农药残留研究进展与展望. 植物保护, 39(5): 90-98.
- ALLEN R G, FARMER K J, SOHAL R S, 1984. Effect of diamide administration on longevity, oxygen consumption, superoxide dismutase, catalase, inorganic peroxides and glutathione in the adult housefly, *Musca domestica*. *Comparative Biochemistry & Physiology Part C Comparative Pharmacology*, 78(1): 31-33.
- ALPERKUMRAL N, SEMAGENCER N, 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). *International Journal of Acarology*, 37(3): 255-268.
- ASSIS C P O, GONDIM JR M G C, SIQUEIRA H A A, 2018. Synergism to acaricides in resistant *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae), a predator of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Crop Protection*, 106: 139-145.
- BENAMU M A, SCHNEIDER M I, GONZALEZ A, SANCHEZ N E, 2013. Short and long-term effects of three neurotoxic insecticides on; biological and behavioural attributes of the orb-web spider *Alpaidaveniliae* (Araneae, Araneidae): implications for IPM programs. *Ecotoxicology*, 22(7): 1155-1164.
- BJORNSON S, 2008. Natural enemies of mass-reared predatory mites (family Phytoseiidae) used for biological pest control. *Experimental & Applied Acarology*, 46(4): 299-306.
- BOLTER C J, CHEFURKA W, 1990. Extramitochondrial release of hydrogen peroxide from insect and mouse liver mitochondria using the respiratory inhibitors phosphine, myxothiazol, and antimycin and spectral analysis of inhibited cytochromes. *Archives of Biochemistry & Biophysics*, 278(1): 65-72.
- BONAFOS R, SERRANO E, AUGER P, KREITER S, 2007. Resistance to deltamethrin, lambda-cyhalothrin and chlorpyrifos-ethyl in some populations of *Typhlodromus pyri* Scheuten and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acari: Phytoseiidae) from vineyards in the south-west of France. *Crop Protection*, 26(2): 169-172.
- CHANG C K, WHALON M E, 1986. Hydrolysis of permethrin



- by pyrethroid esterases from resistant and susceptible strains of *Amblyseius fallacis* (Acari: Phytoseiidae). *Pesticide Biochemistry & Physiology*, 25(3): 446–452.
- DAI F, 2004. Brief introduction to development trend of pesticide application technology in China. *Plant Protection*, 30(4): 5–8.
- DESNEUX N, DECOURTYE A, DELPUECH J, 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52(1): 81–106.
- DRIESCHE R G V, BELLOWS T S, 1996. *Biological control*. New York: Springer US.
- EL-ELA A A A, 2014. Efficacy of five acaricides against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch and their side effects on some natural enemies. *Journal of Basic & Applied Zoology*, 67(1): 13–18.
- GHOLAMZADEHCHITGAR M, HAJIZADEH J, GHADAM-YARI M, KARIMI-MALATI A, HODA H, 2014. Sublethal effects of diazinon, fenitrothion and chlorpyrifos on the functional response of predatory bug, *Andrallus spinidens* Fabricius (Hem.: Pentatomidae) in the laboratory conditions. *Journal of King Saud University-Science*, 26(2): 113–118.
- HAMEDI N, FATHIPOUR Y, SABER M, 2011. Sublethal effects of abamectin on the biological performance of the predatory mite, *Phytoseius plumifer* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental & Applied Acarology*, 53(1): 29.
- HOROWITZ A, DENHOLM I, 2001. *Impact of insecticide resistance mechanisms on management strategies*. Springer: Biochemical Sites of Insecticide Action and Resistance.
- JIANG J, ZHANG Z, YU X, YU C, LIU F, MU W, 2019. Sublethal and transgenerational effects of thiamethoxam on the demographic fitness and predation performance of the seven-spot ladybeetle *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *Chemosphere*, 216: 168–178.
- LIU N N, 2015. Insecticide resistance in mosquitoes: impact, mechanisms and research directions. *Annual Review of Entomology*, 60: 537–559.
- MOENS J, CLERCQ P D, TIRRY L, 2011. Side effects of pesticides on the larvae of the hoverfly *Episyrphus balteatus* in the laboratory. *Phytoparasitica*, 39(1): 1–9.
- NAWAZ M, CAI W, JING Z, ZHOU X, MABUBU J I, HUA H, 2017. Toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole on the development and fecundity of a non-specific predator, the multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis* (Pallas). *Chemosphere*, 178: 496–503.
- NOLDUS L P J J, 1989. *Chemical espionage by parasitic wasps. How Trichogramma species exploit moth sex pheromone systems*. Netherlands: Grafisch Badrijf Ponsen & Looijen b.v.
- POLETTI M, MAIA A H N, OMOTO C, 2007. Toxicity of neonicotinoid insecticides to *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae) and their impact on functional response to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Biological Control*, 40(1): 30–36.
- RIDGWAY R L, VINSON S B, 1977. *Biological control by augmentation of natural enemies: insect and mite control with parasites and predators*. New York: Springer U S.
- SALMAN S Y, AYDINLI F, AY R, 2015. Etoxazole resistance in predatory mite *Phytoseiulus persimilis* A.-H. (Acari: Phytoseiidae): cross-resistance, inheritance and biochemical resistance mechanisms. *Pesticide Biochemistry & Physiology*, 122: 96–102.
- TIETJEN W J, CADY A B, 2007. Sublethal exposure to a neurotoxic pesticide affects activity rhythms and patterns of four spider species. *Journal of Arachnology*, 35(2): 396–406.
- YU C, FU M, LIN R, ZHANG Y, YONGQUAN L, JIANG H, BROCK T C, 2014. Toxic effects of hexaflumuron on the development of *Coccinella septempunctata*. *Environmental Science and Pollution Research International*, 21(2): 1418–1424.
- WANG D, LU L, HE Y, 2017. Effects of two conventional insecticides on male-specific sex pheromone discrimination and mate choice in *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Environmental Entomology*, 46(2): 328–334.
- WEI H Y, DU J W, 2004. Sublethal effects of larval treatment with deltamethrin on moth sex pheromone communication system of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 80(1): 12–20.
- XIAO D, ZHAO J, GUO X, LI S, ZHANG F, WANG S, 2016. Sublethal effect of beta-cypermethrin on development and fertility of the Asian multicoloured ladybird beetle *Harmonia axyridis*. *Journal of Applied Entomology*, 140(8): 598–608.
- ZHAO H M, XIN Y I, DENG Y Y, HU M Y, ZHONG G H, WANG P D, 2013. Resistance to fenpropathrin, chlorpyrifos and abamectin in different populations of *Amblyseius longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) from vegetable crops in South China. *Biological Control*, 67(1): 61–65.