应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2020, 57(3): 477–490. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2020.054

中国昆虫学70年前沿与综述专栏

二十一世纪以来棉花害虫治理成就与展望*

陆宴辉** 梁革梅 张永军 杨现明

（中国农业科学院植物保护研究所植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193）

摘 要 本文对 21 世纪以来的 20 年间我国棉花害虫治理研究进展进行了回顾，从 Bt 棉花害虫种群地位演替、靶标害虫对 Bt 棉花抗性演化、棉花-害虫-天敌化学通讯三个方面总结了棉花害虫生物学与生态学研究进展，从预测预报、棉花抗虫性利用、生态调控、理化诱控、生物防治、化学防治等方面梳理棉花害虫防控关键技术研发概况，以棉铃虫、盲蝽两大主要害虫为例介绍了棉花害虫绿色防控技术体系创新应用。最后，从我国棉花产业发展现状出发，对今后一段时间我国棉花害虫防控研究与实践进行了展望。

关键词 农田生态系统；棉花；害虫演替；棉花-害虫-天敌互作；绿色防控

Advances in the management of insect pests of cotton in China since the 21st century

LU Yan-Hui** LIANG Ge-Mei ZHANG Yong-Jun YANG Xian-Ming

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract This paper reviews 20-years of research on the management of insect pests of cotton in China since the beginning of the 21st century. Three aspects are covered: population succession, the evolution of resistance in target pests to Bt cotton, and chemical communication between cotton plants, insect pests and natural enemies. Key prevention and control technologies, such as forecasting, the utilization of insect-resistant crops, ecological regulation, physical trapping, chemical attractants, biological control and chemical control, are summarized. The innovative application of green control technology systems is discussed focusing on two major pests, the cotton bollworm and mirid bugs. Finally, the outlook for future research on the management of insect pests of cotton is discussed based on the development of the layout of cotton plantations in China.

Key words agroecosystem; cotton; insect pest succession; cotton-pest-enemy interaction; pest green control

棉花是我国重要的经济作物，也是受害虫危害最严重的农作物之一。我国棉花害虫的研究始于 20 世纪 30 年代，吴孔明和郭予元（2000）以及 Wu 和 Guo（2005）对 20 世纪我国棉花害虫研究与治理成就进行了详细综述。本文就进入 21 世纪以来的 20 年间我国棉花害虫治理研究进展进行总结与回顾，并对今后的重点工作进行展望与分析，以期为棉花害虫研究与治理提供参考。

1 棉花害虫生物学与生态学研究

1.1 Bt 棉花害虫种群地位演替

1997 年我国开始商业化种植抗虫转 Bt 基因棉花（简称“Bt 棉花”），2018 年 Bt 棉花种植面积占据全国棉花总面积的 95%（陆宴辉，2019）。Bt 棉花大面积种植深刻影响着棉花害虫发生，研究明确害虫地位演替规律，为 Bt 棉花害虫防

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划 2017YFD0201900；现代农业产业技术体系 CARS-15-19

**通讯作者 Corresponding author，E-mail：luyanhui@caas.cn

收稿日期 Received：2020-02-15；接受日期 Accepted：2020-03-23

控提供科学基础。

Bt 棉花对靶标害虫棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 和红铃虫 *Pectinophora gossypiella* (Saunders)的低龄幼虫具有很好的毒杀作用。1992-2006 年区域监测表明，随着 Bt 棉花种植年限的延长以及种植比率的增加，棉花上棉铃虫卵和幼虫密度不断降低，同时玉米、花生、大豆、蔬菜等其他常规作物上棉铃虫发生数量同样逐步下降（Wu *et al.*，2008）。棉花在棉铃虫的季节性寄主链条中占有重要地位，是 2 代棉铃虫的主要寄主，进而成为 3 代棉铃虫的核心虫源地。Bt 棉花种植大量杀死了 2 代幼虫，从而大幅压低了后代种群的虫源基数，减轻了 Bt 棉花种植区域内多种作物上棉铃虫发生危害。2010 年以来，随着 Bt 棉花种植规模的大幅压缩，黄河流域地区玉米、花生、向日葵等多种作物上棉铃虫发生程度明显增加，这一事实再次证实 Bt 棉花在农田生态系统中对棉铃虫种群具有诱杀陷阱功能（陆宴辉等，2018）。与棉铃虫一样，随着 Bt 棉花种植红铃虫的发生数量与危害程度明显降低，现阶段红铃虫已不再对棉花生产造成实质性危害（Wan *et al.*，2012a）。棉铃虫和红铃虫都曾是我国棉花上重大害虫，Bt 棉花有效控制了其发生危害，使棉田化学杀虫剂使用明显下降，其中用于靶标害虫防治的杀虫剂使用次数减少约 80%（Zhang *et al.*，2018）。

室内与田间研究表明，Bt 棉花对非靶标害虫及其有益天敌的个体发育与种群增长没有显著影响，但 Bt 棉花种植后棉田杀虫剂使用变化明显影响了害虫及其天敌的发生与互作（陆宴辉和梁革梅，2016）。1990-2010 年区域监测表明，随着 Bt 棉花大面积种植，棉田瓢虫、草蛉等捕食性天敌的发生密度明显增加，而棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 伏蚜种群密度逐步降低。相关性分析发现，天敌密度变化与杀虫剂使用变化之间、伏蚜密度变化与天敌密度变化之间均呈显著负相关。小区模拟试验进一步阐明，Bt 棉花商业化之前，棉田大量使用菊酯类等广谱性杀虫剂，严重杀死有益天敌，从而引发伏蚜“再猖獗”问题；Bt 棉花种植以后，棉田化学杀虫剂的减少使用促进了天敌保育与控害，有效抑制了伏蚜种群发生（Lu *et al.*，2012）。

瓢虫、草蛉等捕食性天敌对盲蝽的控制作用较弱，Bt 棉田捕食性天敌数量增多对盲蝽种群发展影响有限（Li *et al.*，2017a）。1997-2008 年区域监测发现随着 Bt 棉花种植比率的提高，棉田盲蝽发生密度、用于盲蝽防治的杀虫剂使用次数均逐步增加。进一步分析表明，盲蝽种群密度及其杀虫剂使用次数的变化与棉铃虫化学防治次数的变化之间均呈显著负相关，这说明 Bt 棉花种植后防治棉铃虫化学杀虫剂使用量的减少直接导致棉田盲蝽种群数量上升、为害加重。除棉花以外，枣树、苹果树、梨树、桃树、葡萄树、茶树上盲蝽为害程度也呈现明显加重趋势。周年调查研究发现，盲蝽与棉铃虫的早春虫源都在棉田外，均于 6 月中下旬集中迁入棉田，这一时期两者的时空生态位高度重叠。Bt 棉花商业化之前，6 月中下旬重点防治 2 代棉铃虫，广谱性杀虫剂使用有效兼治了盲蝽，使其密度一直保持在较低水平；Bt 棉花种植之后，2 代棉铃虫不再需要防治，盲蝽进入棉田后快速扩增种群数量，并随着季节性寄主转移向其他作物扩散，最终形成区域性、多作物发生成灾的局面（Lu *et al.*，2010）。

最新研究发现，绿盲蝽 *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür)等优势盲蝽种类不仅具有植食性，还兼具肉食性，对棉蚜具有较强的捕食作用，还能捕食鳞翅目害虫的卵和初孵幼虫、粉虱、叶螨等。盲蝽取食为害棉花叶片后，导致叶片严重破损并诱导产生抗虫性，能抑制同一棉株上的棉蚜种群增长，构成明显的种间竞争关系。综合捕食和竞争两方面因素，盲蝽发生能显著降低棉蚜种群增长，表现出一定的种群控制作用。长期监测表明，随着盲蝽发生密度的增加，促进了与捕食性天敌对棉蚜种群的联合控制作用（Li *et al.*，2020）。

Bt 棉花商业化种植 20 多年来，靶标害虫棉铃虫和红铃虫得到了有效控制，棉蚜伏蚜发生有所减轻，而盲蝽由次要害虫上升成为了主要害虫。现在，盲蝽、蚜虫、叶螨、蓟马等刺（锉）吸式口器害虫是我国 Bt 棉花上的重点防治对象。

1.2　靶标害虫对 Bt 棉花抗性演化

Bt 棉花连续大面积种植对靶标害虫形成了强大的选择压力，将诱导害虫逐渐产生抗性，从而威胁 Bt 棉花的可持续利用。深入研究靶标害虫 Bt 抗性演化规律，为抗性评估与监测、抗性预防与治理提供科技支撑（Xiao and Wu，2019）。

通过对不同抗性水平的棉铃虫种群进行建模和转录组数据分析，发现棉铃虫对 Bt-Cry1Ac 抗性从低到高的演化过程中，差异基因多集中在不同的特定代谢通路中，抗性机制具有复杂性和多样性。棉铃虫低水平抗性多是对 Bt 蛋白产生生理适应性，参与消化、代谢、水解、解毒和免疫通路的差异基因较多；中等水平抗性是由参与 Bt 作用过程的基因突变或表达量变化引起的，与代谢相关的大分子化合物基因表现为显著差异；更高水平的抗性可能涉及到更多与 Bt 毒理相关的基因突变，与铁离子平衡、ATPase 质子泵等相关基因表现差异显著（Wei *et al.*，2018）。

生理水平上的适应性抗性，包括棉铃虫中肠消化酶活性的减弱、解毒活性和免疫能力的增强等（Liu *et al.*，2014）。抗性棉铃虫中肠内参与 Bt 蛋白活化的重要蛋白酶活性降低、基因表达量下调或蛋白酶启动子突变等对 Bt 蛋白的活化造成影响，从而降低了 Bt 对棉铃虫的毒性，使棉铃虫产生一定水平的抗性。除此之外，酯酶、谷胱甘肽-*S*-转移酶等解毒酶在抗性品系中酶活性增加，自身免疫能力的增加等也可能参与了抗性棉铃虫对 Bt 的代谢。

昆虫中肠 Bt 受体结合位点的改变是昆虫对 Bt 产生抗性的重要机制，主要表现为结合位点减少、结合能力下降等，具体表现为受体蛋白基因表达量的变化或基因靶位点的突变等。其中，对棉铃虫和红铃虫的 Bt 主要受体钙粘蛋白、氨肽酶（APN）、碱性磷酸酯酶（ALPs）、三磷酸腺苷结合盒转运蛋白（ABC 转运蛋白）和 V-ATP 酶等相继进行了深入研究，尤其在钙粘蛋白和 ABC 转运蛋白家族的突变引起棉铃虫和红铃虫的抗性方面取得了突出进展。研究发现了钙粘蛋白的表达量显著下调及多个钙粘蛋白的突变位点，突变类型包括氨基酸的删除、插入、无义突变和置换等，最终导致钙粘蛋白基因转录提前终止、Bt 蛋白的结合区缺失或发生改变、跨膜区突变引起膜蛋白受体定位发生改变等（Xiao *et al.*，2017）；还发现抗性棉铃虫 ABCC1 表达量显著降低，ABCC2 基因 cDNA 被插入，造成翻译提前终止，引发了棉铃虫对 Cry1Ac 的抗性产生（Xiao *et al.*，2014；Chen *et al.*，2018）；该 ABCC2 基因突变在介导产生 Cry1Ac 抗性的同时，还增加了棉铃虫对生物农药阿维菌素的敏感性（Xiao *et al.*，2016）。最近研究报道，利用 CRISPR-Cas9 技术共敲除棉铃虫 ABCC2 和 ABCC3 基因后介导产生了 15 000 倍的 Cry1Ac 抗性（Wang *et al.*，2020）。

长期监测表明，我国棉铃虫田间种群对 Cry1Ac 的敏感性有所降低，出现了早期抗性，但是生产上还没有发现 Bt 棉花对棉铃虫防治失效的现象（Zhang *et al.*，2019a）。钙粘蛋白、ABCC2 等基因突变引发的棉铃虫抗性，多属于隐性遗传，在我国现有种植模式下玉米、花生、大豆、蔬菜等常规寄主作物发挥了天然庇护所作用，因此田间棉铃虫 Bt 抗性增长缓慢（Wu，2010；Jin *et al.*，2015）。但田间棉铃虫 Bt 抗性存在遗传多样性（Zhang *et al.*，2012），通过全基因组关联分析和基因精细定位的手段，将棉铃虫 Bt 显性抗性基因定位于第 10 号染色体 250 kb 长的一段特定区域，发现了一种四跨膜蛋白编码基因 HaTSPAN1 发生了 T92C 点突变，该基因突变与 Bt 显性抗性紧密连锁，同时发现田间棉铃虫种群中该基因突变频率正在快速上升（Jin *et al.*，2018）。

在长江流域，寄主范围比较单一的红铃虫由于没有其他常规作物作为天然庇护所，2008 年之前的田间监测结果显示红铃虫对 Bt 棉花产生了早期抗性（Wan *et al.*，2012b）。但此后生产上大规模种植 F_2 代杂交抗虫棉，杂交棉父、母本多为一个抗虫棉和一个常规棉品系，其 F_2 代分离产生普通棉株，这些普通棉花为红铃虫种群提供了庇护所。田间种群红铃虫的抗性多为钙粘蛋白基因突变的隐性遗传，抗性与敏感红铃虫交配产生的杂合子可以被 Bt 棉花杀死。因此，后期

抗性监测表明随着 F_2 代杂交抗虫棉大面积应用，2011 年后红铃虫田间种群对 Bt 棉花的抗性演化得到了有效控制（Wan *et al.*，2017）。

1.3 棉花-害虫-天敌化学通讯

20 世纪 90 年代中期，我国科学家开始研究棉花-害虫-天敌三营养级之间的化学通讯关系（郭予元，1998），为深入认识棉田生态系统中不同生物之间的互作机制、创新研发棉田害虫及其天敌的行为调控措施提供了科学依据。

在棉花-棉铃虫/绿盲蝽-寄生蜂之间的化学通讯机制研究上，取得了重要进展。棉花植株在遭受棉铃虫和绿盲蝽等取食危害后，可诱导合成、释放相应的挥发物组分直接驱避靶标害虫，或者通过引诱寄生蜂等天敌昆虫进行间接防御。棉铃虫与绿盲蝽共同取食诱导的棉花挥发物种类为 38 种，可诱导棉花萜烯合成酶基因（Terpene synthase genes，TPS）高表达。体外功能试验表明，萜烯合成酶 GhTPS1 可以催化合成(*E*)-β-石竹烯，GhTPS2 能够催化合成 a-蒎烯和 β-蒎烯（Huang *et al.*，2013）。GhTPS12 可以催化合成释放(3*S*)-方樟醇，该化合物对棉铃虫的产卵具有显著的驱避作用（Huang *et al.*，2018）。棉花细胞色素 P450 亚家族 CYP82Ls 在棉铃虫与绿盲蝽取食危害后诱导高表达，催化合成萜烯同系物(*E*)-4,8-二甲基-1,3,7-壬三烯（DMNT）和(*E*,*E*)-4,8,12-三甲基-1，3，7，11-十三碳四烯（TMTT），该化合物能够引起棉铃虫的寄生性天敌中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* Haliday 和红颈常室茧蜂 *Peristenus spretus* Chen *et* van Achterberg 强烈的电生理反应及趋向行为，在棉花的间接防御中发挥重要作用（Liu *et al.*，2018）。此外，Yu 等（2010）发现，棉铃虫幼虫取食诱导棉花释放的 3,7-二甲基辛三烯、(Z)-乙酸叶醇酯和壬醛等能够强烈吸引中红侧沟茧蜂，以 3,7-二甲基辛三烯为主要组分的天敌保育剂在田间能够提高中红侧沟茧蜂对棉铃虫幼虫的寄生率。

通过构建触角转录组文库及采用 2 代、3 代测序技术，棉铃虫、盲蝽和中红侧沟茧蜂等的化学感受相关基因被全覆盖鉴定，嗅觉相关蛋白识别信息化合物的生理功能得到深入研究。棉铃虫成虫触角中鉴定了 60 多个气味受体（Odorant receptors，ORs）、34 个气味分子结合蛋白（Odorant binding protein，OBPs）以及 2 个感觉神经元膜蛋白（Sensory neuron membrane proteins，SNMPs）（Zhang *et al.*，2015a）。在绿盲蝽成虫触角鉴定类了 38 个 OBPs（Yuan *et al.*，2015）、110 个 ORs（An *et al.*，2016），从中红侧沟茧蜂成虫触角中共鉴定 20 个 OBPs、169 个 ORs（Wang *et al.*，2015，2017）。体外功能研究发现，绿盲蝽气味受体 OR28 通过识别丁酸酯类化合物丙烯酸丁酯、丁酸丁酯、乙酸叶醇酯及反-2-乙酸-己烯酯参与绿盲蝽趋花为害行为调控（Yan *et al.*，2015）。植物挥发物 β-蒎烯可以与苜蓿盲蝽 *Adelphocoris lineolatus* Goere 触角特异表达的气味分子结合蛋白 OBP10 及 OBP13 结合，进而强烈吸引雌雄盲蝽成虫（Sun *et al.*，2013，2014）。非典型气味受体 Orco 参与中红侧沟茧蜂对植物诱导挥发物的识别（Zhang *et al.*，2011；Li *et al.*，2012）。以气味受体 AlucOR80 为靶标设计优化了绿盲蝽驱避剂组合（Khashaveh *et al.*，2019）。

2 棉花害虫防控关键技术研发

2.1 预测预报技术

棉铃虫、红铃虫、棉蚜、叶螨是棉花上传统的全国性测报对象。近年来，随着对这些害虫发生规律认识的不断加深，不同区域、不同作物生育阶段、不同虫态的种群监测及危害调查、测报信息传输与分析、发生期与发生量预测等技术方法日益成熟，监测重点更加明确、调查程序趋于规范、预测精度明显提高、预警手段愈发先进，制定形成了各自的预测预报技术国家标准（姜玉英，2013）。

棉铃虫成虫具有兼性迁飞习性，明确迁飞规律是构建棉铃虫区域性监测预警技术体系的关键所在。对棉铃虫地理种群的遗传变异、滞育性状和抗寒性分化等的系统研究表明，我国棉铃虫由热带型、亚热带型、温带型和新疆型 4 个地理型组成，分别对华南地区、长江流域地区、黄河流域地区和新疆地区的气候环境具有高度专化

适应性。受东亚季风影响，5-7 月份温带型 1 代和 2 代棉铃虫成虫随偏南风向北迁移，可迁入山西北部、河北北部、辽宁等非越冬区的中温带地区。温带型 3 代和 4 代棉铃虫于 8 月中旬以后，随偏北风向南回迁。不同生态区棉铃虫虫源性质的解析，提高了棉铃虫区域性灾变的预警准确性（吴孔明和郭予元，2007）。

近年来，盲蝽上升成为棉花生产中的一类重要害虫，2011 年被列为全国性的棉花害虫测报对象。基于盲蝽生物习性与发生规律的深入研究，研发了性诱、灯诱等盲蝽成虫种群动态精准监测技术，成虫、若虫和卵密度调查技术，不同作物的危害程度评估技术，及其盲蝽发生期与发生量预测技术（陆宴辉等，2014a）。针对长江流域、黄河流域和西北内陆地区，分别阐明了盲蝽优势种类组成及其季节性转移发生规律，提出了监测作物对象、调查时间节点和测报技术方法，制订了盲蝽测报技术规范，预报准确率达 90%以上（姜玉英等，2015）。

2.2　棉花抗虫性利用技术

在与害虫的协同进化过程中，棉花自身形成了一定抗虫性，其中研究与利用最多的是抗蚜性。系统鉴定表明，新疆棉区棉花主栽品种（系）蕾期的抗蚜性普遍不高，多数表现为中等；个别品种的抗蚜性较强，能明显减轻田间棉蚜发生程度（芦屹等，2009）。如 2003 年北疆地区棉蚜大发生，新陆早 13 号和中棉所 36 普遍收获的籽棉产量与正常年份持平，而新陆早 8 号和新陆早 10 号因耐蚜性较弱而减产 25%-30%。

由于外源 Bt 基因的导入，棉花对部分鳞翅目害虫的抗虫功能显著增强。Bt 棉花不仅对棉铃虫和红铃虫幼虫具有明显杀虫作用，同时对棉大卷叶螟幼虫也有较好抗虫效果。Bt 棉花对靶标害虫的抗虫性与其 Bt 蛋白表达量呈显著正相关，Bt 棉花中杀虫蛋白表达呈现时空性，棉花生长前期的表达量比生长后期高，营养生长器官中的表达量比生殖生长器官高。因此，苗期、蕾期 Bt 棉花的抗虫性较强，对靶标害虫的控制效果比较稳定，一般年份生产上不需要另行防治；而花期、铃期抗虫性明显减弱，靶标害虫发生较重年份需要及时采取其他防治措施（陆宴辉，2019）。

2.3　生态调控技术

2.3.1　诱杀害虫　一些植物种类对个别害虫具有明显的吸引作用，可用作诱集植物，通过田间合理种植诱杀害虫来保护主栽作物免受为害。苘麻植株对棉大卷叶螟 *Sylepta derogata* (Fabricius) 和烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)成虫的吸引作用显著强于棉花植株，在棉田间作苘麻带可以诱集棉大卷叶螟、烟粉虱，从而降低两种害虫在棉花上的发生危害（Lin *et al.*，2015）。绿盲蝽成虫偏好选择绿豆植株，在棉田周边种植绿豆条带能有效引诱绿盲蝽成虫，从而降低棉花上绿盲蝽种群发生（Lu *et al.*，2009）。除此以外，苜蓿盲蝽喜好紫花苜蓿，牧草盲蝽 *Lygus pratensis* L. 喜好向日葵，也可作为诱集植物在棉田种植利用。诱集植物大多是适宜寄主，能促进害虫种群增长，因此需定期对诱集植物上的害虫进行防治。如不及时防治，诱集植物将滋养大量害虫、成为虫源地，进而将加重棉田害虫的发生危害。

棉花害虫虫源主要来自于前茬作物与棉田周边其他作物，因此农田系统中作物种植结构及其布局往往影响棉田害虫的发生程度。如绿盲蝽主要在果树枝条修剪处、断茬髓部以及枯死杂草上以卵越冬，早春孵化出来的若虫扩散能力弱、主要在果树、田埂杂草等越冬场所周围建立种群，因此冬季果树修剪、春季果园防治以及清除田埂杂草可压低棉田外绿盲蝽的虫源基数。在棉花与苜蓿混作区，苜蓿盲蝽偏好在苜蓿植株上取食，但每次苜蓿刈割时苜蓿盲蝽成虫被迫向棉田转移扩散；生产中调整苜蓿刈割时间，在苜蓿盲蝽若虫高峰期进行刈割，可使苜蓿盲蝽若虫因食物匮乏而大量死亡，并且减少迁入棉田的成虫数量。在盲蝽发生重的地方，尽可能避免棉花与果树、苜蓿等嗜好作物的邻作，可以有效减轻绿盲蝽在寄主间的转移以及在棉花上的发生危害（姜玉英等，2015）。

2.3.2　保育天敌　同一农田生态系统中不同作物上常滋养相同的天敌，因此与其他作物的科学搭配、合理布局往往能促进棉田天敌的发生与控

害。小麦是棉花的前茬作物，麦田瓢虫、草蛉等优势天敌也是棉田主要天敌，在麦棉间套作模式下小麦收获后天敌转移到棉花上，能有效控制棉田苗蚜的发生危害。油菜上蚜虫等害虫常大量滋养自然天敌，研究发现芥菜型油菜品种“253142”对瓢虫等天敌的保育效果好，种植油菜带能显著促进相邻棉田中天敌数量的增多，这种模式在新疆喀什等地被推广应用（王伟等，2011）。林荣华等（2003）调查了新疆南疆 11 种主要作物（植物）上节肢动物类天敌发生情况，发现捕食性天敌共有 7 目 16 科 31 种，其中苜蓿上捕食性天敌种类和数量明显多于其他作物，同时苜蓿上天敌发生早于棉田。在棉蚜刚进入棉田时，周围苜蓿带上已滋养了瓢虫、草蛉、食蚜蝇等大量天敌，苜蓿上天敌密度是棉花上的 10 多倍（Zhang *et al.*，2000）。苜蓿刈割迫使捕食性天敌从苜蓿地迁入棉田，从而控制棉蚜种群发生，苜蓿刈割对棉田棉蚜和天敌的影响将持续 14 d 左右（Zhang *et al.*，2004）。

棉田周围的非作物生境常为天敌昆虫提供栖息、越冬与庇护场所，或提供猎物、花粉与花蜜等食物资源，对棉田天敌保育也有促进作用。在新疆，田边、路边、渠道、排碱渠和林带两边以及戈壁荒漠中生长各种杂草，以藜科、豆科、十字花科、禾本科、菊科、蓼科等植物为主，其中芦苇、甘草等植物上生长大量蚜虫，花花柴、骆驼刺等蜜源植物上有花粉与花蜜，能为天敌提供丰富的食物资源（吕昭智等，2002；傅一峰等，2019）。田埂上碱蓬植株是棉田多异瓢虫的重要来源，周围留有碱蓬带的棉田中多异瓢虫密度、多异瓢虫与棉蚜的益害比均高于没有碱蓬带的对照棉田，降低了棉田棉蚜种群增长（李雪玲等，2019）。苦豆子植株上捕食性天敌的数量显著高于棉花，周边留有苦豆子条带的棉田中瓢虫、草蛉、蜘蛛密度均高于没有苦豆子条带的对照棉田，前者天敌发生高峰期较后者提前一周左右，提高了棉田捕食性天敌对棉蚜的控制作用（罗延亮等，2019）。

2.4 理化诱控技术

2.4.1 诱虫灯 早在 20 世纪 70 年代，我国开始应用黑光灯诱杀棉铃虫成虫。近年来诱虫灯种类更新换代，频振式杀虫灯被大规模推广应用，对棉铃虫成虫的诱集作用明显增强，单日诱杀棉铃虫雌蛾量是传统黑光灯的 3 倍以上（郁红霞和王孝法，2006），能降低棉田棉铃虫的落卵量、幼虫量及其危害。频振式杀虫灯还对小地老虎 *Agrotis ypsilon* Rottemberg、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius、金龟子等有较强诱杀效果，对盲蝽成虫也有一定诱杀作用。随着 LED 照明技术的不断突破，新光源在害虫诱杀中的应用得到了广泛关注，研究表明波长 385 nm 的 LED 灯对棉铃虫成虫的诱集效果好于其他波长的 LED 灯以及相同功率的常规诱虫灯，在棉铃虫等害虫诱杀中表现出了明显优势。

2.4.2 性诱剂 棉铃虫、红铃虫、斜纹夜蛾、甜菜夜蛾、小地老虎等多种棉花害虫都有成熟的性诱剂产品，在各自成虫种群监测中发挥着重要作用，但对害虫种群控制效果较差，在防治实践中应用少。盲蝽成虫寿命长且取食危害严重，是其主要危害虫态，性诱剂能压低雄性成虫种群数量及其危害，在防治中具有实际作用。我国相继研发了绿盲蝽、中黑盲蝽等主要种类的性诱剂产品，其中绿盲蝽性诱剂通过了国家农药登记，对绿盲蝽雄性成虫以及整个种群具有明显控制效果（Zhang *et al.*，2019b）。

2.4.3 食诱剂 食诱剂是模拟植物茎叶、果实等害虫食物的气味，人工合成、组配的一种生物诱捕剂，通常对害虫雌雄个体均具引诱作用（蔡晓明等，2018）。食诱剂常用使用方法有 2 种，一种为诱盒法，结合诱捕器等装置进行诱杀；另一种是撒施法，将配有化学杀虫剂的食诱剂直接施用在植物叶片上诱杀害虫（杨普云等，2018）。

基于棉铃虫成虫喜好的苯甲醛、水杨醛、正庚醛、正辛醇、苯乙醇等植物挥发性组分，研制了棉铃虫食诱剂。食诱剂对棉铃虫成虫具有明显引诱作用，其中撒施法的诱虫效果更好，使用同等剂量食诱剂诱捕到的成虫数量是诱盒法的 10 倍以上，适用于田间大规模诱杀防治（修春丽等，2018）。在新疆，撒施食诱剂对棉铃虫种群的控制作用强，降低了棉铃的受害率。灭多威是棉铃

虫食诱剂的伴施杀虫剂，但在多种作物上相继被禁用，最新筛选发现氯虫苯甲酰胺对棉铃虫成虫的毒杀作用及其速效性与灭多威相当，可用作新一代伴施杀虫剂（Liu *et al.*，2017）。

丙烯酸丁酯、丙酸丁酯和丁酸丁酯等植物挥发物组分对绿盲蝽、中黑盲蝽 *Adelphocoris suturalis* Jakovlev、三点盲蝽 *Adelphocoris fasciaticollis* Reuter、苜蓿盲蝽具有明显引诱活性（Pan *et al.*，2015；Xiu *et al.*，2019），基此研发出了盲蝽食诱剂，能有效吸引上述盲蝽种类的雌雄成虫。在苜蓿、绿豆、棉花地中，食诱剂与粘虫板结合使用时盲蝽诱捕量是对照粘虫板的4-50 倍（窦术英等, 2017）。

2.4.4　驱避剂　二甲基二硫醚是棉花上的一种杀螨剂，对绿盲蝽成虫具有明显的驱避作用，但对成若虫没有毒杀效果。田间喷施二甲基二硫醚后，绿盲蝽成虫密度大幅减少，这种驱避效果可持续 6 d（Pan *et al.*，2013）。随着二甲基二硫醚的降解及其驱避作用的丧失，绿盲蝽成虫将从周边田块逐步迁回。因此，单独使用二甲基二硫醚对盲蝽区域种群防治没有明显作用，只有与诱杀措施结合使用才能达到种群控制的效果。

2.5　生物防治技术

2.5.1　捕食性天敌　异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas、龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* Thunberg、大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur)和中华草蛉 *Chrysoperla sinica* Tjeder 等多个捕食性天敌已实现规模饲养，对棉蚜等棉花害虫具有较强的捕食功能。丁瑞丰等（2015）在新疆哈密利用人工繁殖的普通草蛉卵来防治棉蚜，以 200-300 粒卵/百株在棉田进行释放，10 d、13 d 后对棉蚜的防效达 69.9%-78.7%。张艳璇等（2005）报道，新疆地区 6 月上旬释放胡瓜钝绥螨 *Amblyseius cucumeris* (Oudemans)效果最好，大田释放 5 d 后对棉花叶螨的防效达 61.6%，10 d 后达 87.1%，20 d 后达 92.3%，并可控制至棉花采收，其中 2002-2004 年利用胡瓜钝绥螨防治棉花叶螨面积达 500 hm^2。王振辉等（2015）在新疆发现了一种本地捕食螨双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* Wainstein，对截形叶螨 *Tetranychus truncatus* Ehara、土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestani* Ugarov & Nikolski 的各个螨态均有较强捕食功能。双尾新小绥螨能在新疆棉田安全越冬，人工释放不仅能实现当年棉田叶螨的生物防治，而且将促进捕食螨田间种群建立与持续控害。

2.5.2　寄生性天敌　赤眼蜂是控制棉铃虫卵的一类优势天敌，其中螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 对新疆南疆棉区棉铃虫的控制作用优于松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura。释放螟黄赤眼蜂对棉田 2 代卵的寄生率为 18.67%-44.02%，虫口减退率 25.3%-4.2%，蕾铃被害减退率 46.8%-76.8%（许建军等，2004）。中红侧沟茧蜂是棉铃虫幼虫的优势寄生蜂。在棉铃虫中度发生的情况下，中红侧沟茧蜂对低龄幼虫的寄生率达 60%以上，保蕾铃率达 80%以上（李建成，2005）。

红颈常室茧蜂是绿盲蝽等盲蝽类害虫的优势寄生蜂，主要寄生 2-3 龄盲蝽若虫。在绿盲蝽卵的孵化高峰期，按红颈常室茧蜂蛹：绿盲蝽若虫 1∶20 密度进行释放，间隔 5-7 d 进行第 2 次释放，对绿盲蝽若虫防治效果达 60%左右（罗淑萍等，2016）。

2.5.3　微生物杀虫剂　苏云菌芽孢杆菌 Bt 对棉铃虫幼虫具有很好的杀虫效果，但为了控制棉铃虫 Bt 抗性的发展，在 Bt 棉花上不建议使用。棉铃虫核型多角体病毒 NPV 新产品的研发取得了重要进展，在新疆棉花生产中应用比较广泛（秦启联等，2008）。利用棉铃虫 NPV 水分散粒剂 600×10^8 PIB/g 防治棉铃虫，施用 7 d 和 10 d 后田间防效分别为 68.3%和 84.1%。此外，防治斜纹夜蛾、甜菜夜蛾的 Bt、NPV 产品在棉花上也有部分应用。

2.6　化学防治技术

化学防治一直是棉花害虫综合防治的重要措施之一。从 2007 年开始，甲胺磷、对硫磷、甲基对硫磷、久效磷和硫胺等过去棉田常用的高毒杀虫剂相继被禁用，高效低毒杀虫剂的替代使用成为了棉花害虫化学防治中的一项重点（于宏坤等，2006；任明勇等，2007）。棉铃虫、棉蚜的抗药性问题历来比较严重，监测表明棉铃虫对

拟除虫菊酯类杀虫剂已产生高水平抗性，对有机磷类药剂辛硫磷、大环内酯类药剂甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的抗性呈明显上升趋势，棉蚜对拟除虫菊酯类（溴氰菊酯）、有机磷类（氧化乐果）、新烟碱类（吡虫啉）杀虫剂都产生了高水平抗性（Yang *et al.*，2013；张帅等，2016）。因此，棉花害虫化学防治中，需要从抗药性治理的角度，及时更换杀虫剂品种以及统筹安排不同杀虫作用机制的药剂轮换使用。近年来，盲蝽、棉蚜、烟粉虱等刺吸式害虫成为了 Bt 棉田化学防治的主要对象（张正群等，2009；李国平等，2017），导致了棉田杀虫剂类型组成明显变化。总的来说，20 世纪 90 年代有机磷类、拟除虫菊酯类是当家杀虫剂，而进入 21 世纪以后这两大类杀虫剂在棉田的使用呈现下降趋势，而新烟碱类农药的应用明显增加。同时，烯啶虫胺、氟啶虫胺腈、氯虫苯甲酰胺等一些新型杀虫剂也被用于棉花害虫防治。

施药方式和技术的革新，是提高化学杀虫剂防治效果的重要途径，同时可以减少杀虫剂使用、降低农田环境污染。如通过沟施颗粒剂或对棉籽进行包衣，新烟碱类杀虫剂可有效控制棉花苗期蚜虫等为害（Zhang *et al.*，2015b，2016）。利用滴灌系统进行水肥药一体化管理，将乐果、氟啶虫胺腈等内吸性杀虫剂随着水肥滴灌到棉花根系，分别降低棉花植株上叶螨、蚜虫等害虫发生（He *et al.*，2018；Jiang *et al.*，2019）。利用电动喷雾器、静电喷雾器、植保无人机等新型器械施药，配合专用杀虫剂及其助剂，不断提高了棉田化学防治的实际效果与机械化程度（王喆等, 2019）。

3 棉花害虫绿色防控技术体系创新

3.1 棉铃虫

Bt 棉花大面积种植以来，棉田棉铃虫防治的主要手段就是 Bt 棉花种植利用，防治技术的研发重点是棉铃虫对 Bt 棉花抗性的监测预警与预防性治理，以缓解棉铃虫抗性演化、促进 Bt 棉花持续利用。

通过多年攻关，揭示了棉铃虫对 Bt 棉花产生抗性的生理生化与分子机制，建立了由 DNA 分子检测、单雌家系检测和生长抑制检测组成的棉铃虫抗性早期预警与监测技术体系，可分别进行基因、个体和种群水平的抗性检测和监测。通过棉铃虫对 Bt 棉花抗性演化风险评估，提出了利用我国多作物种植系统中玉米、小麦、大豆和花生等棉铃虫寄主作物所提供的天然庇护所治理棉铃虫 Bt 抗性的技术策略，为我国 Bt 棉花商业化种植过程中风险监测与安全管理提供了重要科技支撑（Wu, 2007）。系统监测表明，与 1997 年的敏感基线和 1998-2004 年的抗性水平相比，2005-2017 年我国田间棉铃虫种群对 Cry1Ac 的抗性水平有所升高，但 Bt 棉花连续种植 20 多年后对棉铃虫的抗虫效率没有降低、生产上也未见 Bt 棉田棉铃虫防治失效的现象（Zhang *et al.*，2019a）。

2010 年前后开始，黄河流域和长江流域 Bt 棉花种植面积大幅下降，玉米、花生等其他寄主作物面积扩大，促进了棉铃虫种群发生危害。过去，棉铃虫防治以棉田为主。现在，棉铃虫的主要危害对象日趋多样，由棉花扩展为玉米、花生、大豆、向日葵、蔬菜等多种作物，种群防控难度明显加大。基于棉铃虫防控技术研发进展，建议现阶段采取以成虫防治和幼虫防治并重的绿色防控对策，并逐步推进以成虫防治为主、幼虫防治为辅的区域防控对策（陆宴辉等，2018）。成虫防治重点选择生物食诱剂、杀虫灯等诱杀措施，幼虫非化学防治可以使用 NPV、Bt、中红侧沟茧蜂等技术产品，化学防治可选择多杀菌素、茚虫威、氟铃脲、氯虫苯甲酰胺等化学药剂。通过成虫防治，压低虫源基数，降低转移危害和突发暴发的可能性，实现棉铃虫区域种群控制。

3.2 盲蝽

随着 Bt 棉花种植应用，盲蝽由之前的棉花次要害虫上升成为了一类重要害虫，其危害波及了枣、葡萄、苜蓿等多种其他作物。盲蝽也成为了 21 世纪以来我国农作物次要害虫成灾的典型案例。种群灾变机制研究表明，棉田防治是棉花种植区盲蝽区域性治理的关键所在。围绕这一重点，20 年来全面开展了盲蝽防控技术体系的构

建与应用。

调查明确了黄河流域、长江流域、西北内陆地区棉花盲蝽种类组成，系统研究了优势种类的生物学习性与发生规律，明确了由成虫趋花习性驱动的盲蝽季节性寄主转换规律。基此，提出来适用于不同生态区、不同作物种植模式的盲蝽分区治理策略（陆宴辉等，2014b）。

基于盲蝽的主要习性与规律，发展了盲蝽种群调查与预测预报技术及其技术规范。研发了性诱杀技术、灯光高效诱杀技术、天敌扩繁与田间释放技术、诱集植物利用技术、化学杀虫剂抗性监测与治理技术，以及控制早春虫源为主的农业防治技术。在长江流域、黄河流域、西北内陆，分别构建了区域性盲蝽绿色防控技术模式，冬季重点防治果园等处的越冬虫源，春季防治果园、茶园、苜蓿地、田埂等越冬场所周围的早春种群，夏季防控棉田等处入迁成虫及其后代，秋季控制果园、茶园等处回迁成虫，以此切断季节性寄主转移为害路径，对盲蝽区域种群进行系统控制（姜玉英等，2015）。在此基础上，制订了盲蝽综合防治技术规范，在全国范围内推广使用，显著提高我国盲蝽绿色防治技术水平，并有效控制棉花、果树等多种作物上盲蝽的发生危害。

4　展望

害虫防治研究与实践，务必要紧密结合农作物的种植区域与生产实践。进入 21 世纪以来，长江流域、黄河流域棉区的棉花种植规模逐步压缩，我国棉花种植空间布局向以新疆为主的西北内陆棉区不断集中。2019 年，新疆棉花种植面积为 254.1 万 hm^2、产量 500.2 万吨，分别占全国总量的 76.1%和 84.9%，形成了“新疆棉花一家独大”、“全国棉花看新疆”的棉花种植新格局。我国棉花害虫防控研究与实践，由此开启了以新疆为主的新征程。

长江流域和黄河流域是传统棉区，棉花害虫防控研究基础比较扎实。近年来，随着种植规模的不断下降，棉花种植日趋零星分散，生产上短季棉麦后直播、以及棉花-大葱、棉花-西瓜、棉花-花生间作等高效益种植模式的推广应用逐步增多。与过去棉花大面积连片种植相比，棉花与其他作物之间的结合联系日益紧密，棉田昆虫发生也将越来越多地受到周边作物空间布局、种植管理的影响。今后的研究重点是农作物种植结构调整下棉花害虫种群演替及绿色防控、以及多食性害虫的区域发生与系统控制。

西北内陆棉区在很多方面都明显有别于长江流域、黄河流域棉区，拥有独特的生态环境，是典型的荒漠绿洲过渡带农田生态系统，与棉花种植区相邻的往往是一望无际的戈壁等荒漠生境；拥有特殊的气候条件，在棉花生长季高温、干旱、少雨等问题突出；拥有独特的作物种植结构，形成了以棉花、瓜果等特色经济作物为主的种植系统；拥有特殊的棉花栽培方式，以覆膜滴灌栽培、机械化种植为主。众多因素造就了新疆独特的棉田昆虫群落结构，害虫及其天敌种类组成与其他棉区大不相同；形成了新疆特殊的棉花害虫灾变规律，田间自然天敌对害虫控制作用较弱、部分害虫易暴发成灾。同时，新疆拥有长达 5 700 km 的陆地边界线，与 8 个国家接壤，是当前我国外来有害生物入侵最严重的地方，扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley 等入侵事件也加大了棉花害虫成灾风险（李国英，2017；潘洪生等，2018）。西北内陆棉区今后的棉花害虫研究重点是高温、干旱等特殊环境下棉田昆虫适应性机制以及棉花-害虫-天敌的互作关系，荒漠绿洲景观格局演变、作物种植结构调整、棉花管理技术变革过程中棉田昆虫群落演替规律，棉田节肢动物食物网结构、功能及天敌保育增殖技术的生态调控效应，以及以棉花为主多种经济作物上害虫区域防控。

在棉花害虫防控实践中，化学农药使用仍是应用最广、最重要的防治技术。基于棉花害虫习性与规律研究，亟需创新成虫性诱捕与自动计数、遥感监测等测报技术产品，以及食诱剂、选择性诱虫灯、有益天敌、微生物农药等防治新产品以及农药精准使用、不育昆虫释放利用等防治新技术，全面提升棉花害虫监测预警与绿色防控水平，支撑棉田农药减施，引领棉花绿色发展。

参考文献 (References)

An XK, Sun L, Liu HW, Liu DF, Ding YX, Li LM, Zhang YJ, Guo YY, 2016. Identification and expression analysis of an olfactory receptor gene family in green plant bug *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür). *Scientific Reports*, 6: 37870.

Cai XM, Li ZQ, Pan HS, Lu YH, 2018. Research and application of food-based attractants of herbivorous insect pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(1): 8–35. [蔡晓明, 李兆群, 潘洪生, 陆宴辉, 2018. 植食性害虫食诱剂的研究与应用. 中国生物防治学报, 34(1): 8–35.]

Chen L, Wei JZ, Liu CX, Zhang WN, Wang BJ, Niu LL, Liang GM, 2018. Specific binding protein ABCC1 is associated with Cry2Ab toxicity in *Helicoverpa armigera*. *Frontiers in Physiology*, 9: 745.

Ding RF, Zhu XH, Akedan·Wuwaishi, Amanguli·Kaerwamu, Niu ZP, Ding AH, Wang L, Aimaiti·Aizezi, Pati guli·Wayiti, Shadaiti·Abudu, 2015. Control effects on *Aphis gossypii* (Glover) by releasing *Chrysoperla carnea*(Stephens)in cotton field. *Plant Protection*, 41(2): 200–204. [丁瑞丰, 朱晓华, 阿克旦·吾外士, 阿曼古丽·卡尔瓦木, 牛站平, 丁爱华, 王乐, 艾买提·艾则孜, 帕提古丽·瓦依提, 沙代提·阿不都, 2015. 人工释放普通草蛉田间防治棉蚜效果研究. 植物保护, 41(2): 200–204.]

Dou SY, Xiu CL, Zhang JP, Lu YH, 2017. The trapping efficacy of plant-derived attractant on mirid bugs under field conditions. *Plant Protection*, 43(4): 239–242. [窦术英, 修春丽, 张建萍, 陆宴辉, 2017. 盲蝽成虫食诱剂的田间诱捕效果. 植物保护, 43(4): 239–242.]

Fu YF, Liu B, Luo YL, Li XL, Wang PL, Lu YH, 2019. Population dynamics of hoverflies in non-crop habitats surrounding cotton fields in northern Xinjiang. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(1): 1–8. [傅一峰, 刘冰, 罗延亮, 李雪玲, 王佩玲, 陆宴辉, 2019. 北疆棉田非作物生境食蚜蝇种群消长动态. 中国生物防治学报, 35(1): 1–8.]

Guo YY, 1998. Research of Cotton Bollworm. Beijing: China Agricultural Press. 1–407. [郭予元, 1998. 棉铃虫的研究. 北京: 中国农业出版社. 1–407.]

He JT, Zhou LJ, Yao Q, Liu B, Xu HH, Huang JG, 2018. Greenhouse and field-based studies on the distribution of dimethoate in cotton and its effect on *Tetranychus urticae* by drip irrigation. *Pest Management Science*, 74(1): 225–233.

Huang XZ, Xiao YT, Köllner TG, Jing WX, Kou JF, Chen JY, Liu DF, Gu SH, Wu JX, Zhang YJ, Guo YY, 2018. The terpene synthase gene family in *Gossypium hirsutum* harbors a linalool synthase GhTPS12 implicated in direct defence responses against herbivores. *Plant Cell & Environment,* 41(1): 261–274.

Huang XZ, Xiao YT, Köllner TG, Zhang WN, Wu JX, Wu J, Guo YY, Zhang YJ, 2013. Identification and characterization of (E)-β-caryophyllene synthase and α/β-pinene synthase potentially involved in constitutive and herbivore-induced terpene formation in cotton. *Plant Physiology and Biochemistry*, 73: 302–308.

Jiang H, Wu HX, Chen JJ, Tian YQ, Zhang ZX, Xu HH, 2019. Sulfoxaflor applied via drip irrigation effectively controls cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover). *Insects*, 10(10): 345.

Jiang YY, 2013. Establishment and application of forecasting criteria for insect pests on crops. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 868–873. [姜玉英, 2013. 我国农作物害虫测报技术规范制定与应用. 应用昆虫学报, 50(3): 868–873.]

Jiang YY, Lu YH, Zeng J, 2015. Forecast and Management of Mirid bugs in Multiple Agroecosystem of China. Beijing: China Agriculture Press. 1–135. [姜玉英, 陆宴辉, 曾娟, 2015. 盲蝽分区监测与治理. 北京: 中国农业出版社. 1–135.]

Jin L, Wang J, Guan F, Zhang JP, Yu S, Liu SY, Xue YY, Li LL, Wu SW, Wang XL, Yang YH, Abdelgaffar H, Jurat-Fuentes JL, Tabashnik BE, Wu YD, 2018. Dominant point mutation in a tetraspanin gene associated with field-evolved resistance of cotton bollworm to transgenic Bt cotton. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(46): 11760–11765.

Jin L, Zhang HN, Lu YH, Yang YH, Wu KM, Tabashnik BE, Wu YD, 2015. Large-scale test of the natural refuge strategy for delaying insect resistance to transgenic Bt crops. *Nature Biotechnology*, 33(2): 169–174.

Khashaveh A, An XK, Shan S, Xiao Y, Wang Q, Wang SN, Li ZB, Geng T, Gu SH, Zhang YJ, 2019. Deorphanization of an odorant receptor revealed new bioactive components for green mirid bug *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae). *Pest Management Science*, doi: 10.1002/ps.5682.

Li GP, Feng HQ, Huang B, Jin YL, Tian CH, Huang JR, Qiu F, 2017. Assessment of toxicities of sixteen insecticides to the plant bug, *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae) by glass-vial and artificial diet bioassays (In english). *Acta Entomologica Sinica*, 60(6): 650–658. [李国平, 封洪强, 黄博, 金银利, 田彩虹, 黄建荣, 邱峰, 2017. 应用瓶膜法和人工饲料混合法测定比较 16 种杀虫剂对绿盲蝽的毒力(英文). 昆虫学报, 60(6): 650–658.]

Li GY, 2017. Control of Cotton Pests in Xinjiang. Beijing: China Agriculture Press. 1–244. [李国英, 2017. 新疆棉花病虫害及其防治. 北京: 中国农业出版社. 1–244.]

Li JC, 2005. Biology of *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Broconidae) and biological control effects to *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Xinjiang cotton field. Doctoral dissertation. Beijing: China Agricultural University. [李

建成, 2005. 中红侧沟茧蜂生物学特性及在新疆棉田释放对棉铃虫的控制效果研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学.]

Li JH, Yang F, Wang Q, Pan HS, Yuan HB, Lu YH, 2017a. Predation by generalist arthropod predators on *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae): Molecular gut-content analysis and field-cage assessment. *Pest Management Science*, 73(3): 628–635.

Li KM, Ren LY, Zhang YJ, Wu KM, Guo YY, 2012. Knockdown of *Microplitis mediator* odorant receptor involved in the sensitive detection of two chemicals. *Journal of Chemical Ecology*, 38(3): 287–294.

Li WJ, Wang LL, Jaworski C, Yang F, Liu B, Jiang YY, Lu YH, Wu KM, Desneux N, 2020. The outbreaks of nontarget mirid bugs promote arthropod pest suppression in Bt cotton agroecosystems. *Plant Biotechnology Journal*, 18(2): 322–324.

Li XL, Luo YL, Li H, Xie X, Ma RH, Liu YJ, Wang PL, Lu YH, 2019. Regulation and control fffects of suaeda strips on the population occurrence of *Hippomidia variegata* in cotton fields. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 56(1): 13–22. [李雪玲, 罗延亮, 李辉, 谢欣, 马若涵, 刘永建, 王佩玲, 陆宴辉, 2019. 田埂碱蓬带对棉田多异瓢虫种群发生的调控作用. 新疆农业科学, 56(1): 13–22.]

Lin KJ, Lu YH, Wan P, Yang YZ, Wyckhuys KAG, Wu KM, 2015. Simultaneous reduction in incidence of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and *Sylepta derogata* (Lepidoptera: Pyralidae) using velvetleaf, *Abutilon theophrasti* as a trap crop. *Journal of Pest Science*, 88(1): 49–56.

Lin RH, Zhang RZ, Tian CY, Feng LH, 2003. Community structure of predatory arthropods in agricultural landscape of southern Xinjiang. *Chinese Journal of Biological Control*, 19(1): 1–5. [林荣华, 张润志, 田长彦, 冯丽红, 2003. 新疆棉田生态系统中捕食性节肢动物类天敌亚群落结构. 中国生物防治, 19(1): 1–5.]

Liu CX, Xiao YT, Li XC, Oppert B, Tabashnik BE, Wu KM, 2014. *Cis*-mediated down-regulation of a trypsin gene associated with Bt resistance in cotton bollworm. *Scientific Reports*, 4: 7219.

Liu DF, Huang XZ, Jing WX, An XK, Zhang Q, Zhang H, Zhou JJ, Zhang YJ, Guo YY, 2018. Identification and functional analysis of two P450 enzymes of *Gossypium hirsutum* involved in DMNT and TMTT biosynthesis. *Plant Biotechnology Journal*, 16(2): 581–590.

Liu YQ, Gao Y, Liang GM, Lu YH, 2017. Chlorantraniliprole as a candidate pesticide used in combination with the attracticides for lepidopteran moths. *PLoS ONE*, 12(6): e0180255.

Lu Y, Wang PL, Liu B, Zhang J, Zhou ZY, 2009. Resistance and relevant mechanism to *Aphis gossypii* Glover of main cotton varieties in Xinjiang. *Cotton Science*, 21(1): 57–63. [芦屹, 王佩玲, 刘冰, 张金, 周子扬, 2009. 新疆棉花主栽品种的抗蚜性及其机制研究. 棉花学报, 21(1): 57–63.]

Lu YH, 2019. Transgenic Cotton. Beijing: China Agricultural Scienceand Technology Press. 1–174. [陆宴辉, 2019. 转基因棉花. 北京: 中国农业科学技术出版社. 1–174.]

Lu YH, Jiang YY, LIU J, Zeng J, Yang XM, Wu KM, 2018. Adjustment of cropping structure increases the risk of cotton bollworm outbreaks in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 19–24. [陆宴辉, 姜玉英, 刘杰, 曾娟, 杨现明, 吴孔明, 2018. 种植业结构调整增加棉铃虫的灾变风险. 应用昆虫学报, 55(1): 19–24.]

Lu YH, Jiang YY, Men XY, Bai LX, Pan WL, Feng HQ, Wu KM, 2014b. Occurrence trend and regional management strategies of cotton mirid bugs in China//National Agricultural Technology Extension Service Center(ed.). Study on the strategy of Major Crop Pest Control. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 137–133. [陆宴辉, 姜玉英, 门兴元, 柏立新, 潘文亮, 封洪强, 吴孔明, 2014b. 棉花盲蝽发生趋势与分区治理对策//全国农业技术推广服务中心. 农作物重大有害生物治理对策研究. 北京: 中国农业出版社. 127–133.]

Lu YH, Liang GM, 2016. Research advance on the succession of insect pest complex in Bt crop ecosystem. *Plant Protection*, 42(1): 7–11. [陆宴辉, 梁革梅, 2016. Bt 作物系统害虫发生演替研究进展. 植物保护, 42(1): 7–11.]

Lu YH, Wu KM, Jiang YY, Guo YY, Desneux N, 2012. Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature*, 487(7407): 362–365.

Lu YH, Wu KM, Jiang YY, Xia B, Li P, Feng HQ, Wyckhuys KAG, Guo YY, 2010. Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*, 328(5982): 1151–154.

Lu YH, Wu KM, Wyckhuys KAG, Guo YY, 2009. Potential of mungbean, *Vigna radiatus* as a trap crop for managing *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton. *Crop Protection*, 28(1): 77–81.

Lu YH, Zeng J, Jiang YY, Wu KM, 2014a. Techniques for surveying mirid bug (Heteroptera: Miridae) populations and assessing crop damage caused by these pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 848–852. [陆宴辉, 曾娟, 姜玉英, 吴孔明, 2014a. 盲蝽类害虫种群密度与危害的调查方法. 应用昆虫学报, 51(3): 848–852.]

Lü ZZ, Tian CY, Hu MF, Li L, Yu XH, 2002. Influence of the weeds in cotton fields and the surrounding areas on natural enemies.

Plant Protection, 28(5): 22–24. [吕昭智, 田长彦, 胡明芳, 李丽, 于学辉, 2002. 棉田及其边缘杂草对天敌的影响. 植物保护, 28(5): 22–24.]

Luo SP, Lu YH, Men XY, Zhang F, Wu KM, 2016. Parasitism of *Apolygus lucorum* by *Peristenus spretus* at different release levels in Jujube orchards. *Chinese Journal of Biological Control*, 32(6): 698–702. [罗淑萍, 陆宴辉, 门兴元, 张峰, 吴孔明, 2016. 不同释放密度下红颈常室茧蜂对冬枣园绿盲蝽的寄生效果. 中国生物防治学报, 32(6): 698–702.]

Luo YL, Li XL, Li H, Xie X, Liu YJ, Wang PL, Lu YH, 2019. Effects of sophora strips on the population occurrence of predators in cotton fields. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 56(1): 74–83. [罗延亮, 李雪玲, 李辉, 谢欣, 刘永建, 王佩玲, 陆宴辉, 2019. 苦豆子条带对棉田捕食性天敌发生的影响. 新疆农业科学, 56(1): 74–83.]

Pan HS, Jiang YY, Wang PL, Liu J, Lu YH, 2018. Research progress in the status evolution and integrated control of cotton pests in Xinjiang. *Plant Protection*, 44(5): 42–50. [潘洪生, 姜玉英, 王佩玲, 刘建, 陆宴辉, 2018. 新疆棉花害虫发生演替与综合防治研究进展. 植物保护, 44(5): 42–50.]

Pan HS, Lu YH, Geng HH, Cai XM, Sun XL, Zhang YJ, Williams L III, Wyckhuys KAG, Wu KM, 2015. Volatile fragrances associated with flowers mediate host plant alternation of a polyphagous mirid bug. *Scientific Reports*, 5: 14805.

Pan HS, Lu YH, Wyckhuys KAG, 2013. Repellency of dimethyl disulfide to *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) (Hemiptera: Miridae) under laboratory and field conditions. *Crop Protection*, 50: 40–45.

Qin QL, Cheng QQ, Zheng JF, Chen XZ, Zhang ST, Li X, Miao L, Zhang H, 2008. Production and application of *Helicoverpa armigera* nucleopolyhedrovirus bio-pesticides rrademarked KEYUN on large scale. *Biotechnology Bulletin*, (Suppl.): 467–470. [秦启联, 程清泉, 郑建峰, 陈新中, 张松涛, 李暄, 苗麟, 张寰, 2008. 科云牌棉铃虫核型多角体病毒生物农药的规模化生产和应用. 生物技术通报, (增刊): 467–470.]

Ren MY, Liang GM, Zhang YJ, Yu HK, Chang HL, Wu KM, Guo YY, 2007. Toxicity mensurationes and efficacy rrials of several insecticides against cotton aphid *Aphis gossypii* (Glover). *Cotton Science*, 19(3): 199–204. [任明勇, 梁革梅, 张永军, 于宏坤, 常洪雷, 吴孔明, 郭予元, 2007. 几种药剂对棉苗蚜、伏蚜的毒力测定和药效试验. 棉花学报, 19(3): 199–204.]

Sun L, Gu SH, Xiao HJ, Zhou JJ, Guo YY, Liu ZW, Zhang YJ, 2013. The preferential binding of a sensory organ specific odorant binding protein of the alfalfa plant bug *Adelphocoris lineolatus* AlinOBP10 to biologically active host plant volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 39(9): 1221–1231.

Sun L, Xiao HJ, Gu SH, Zhou JJ, Guo YY, Liu ZW, Zhang YJ, 2014. The antenna-specific odorant-binding protein AlinOBP13 of the alfalfa plant bug *Adelphocoris lineolatus* is expressed specifically in basiconic sensilla and has high binding affinity to terpenoids. *Insect Molecular Biology*, 23(4): 417–434.

Wan P, Huang YX, Tabashnik BE, Huang MS, Wu KM, 2012a. The halo effect: Suppression of pink bollworm on non-Bt cotton by Bt cotton in China. *PLoS ONE*, 7(7): e42004.

Wan P, Huang YX, Wu HH, Cong SB, Tabashnik BE, Wu KM, 2012b. Increased frequency of pink bollworm resistance to Bt toxin Cry1Ac in China. *PLoS ONE*, 7: e29975.

Wan P, Xu D, Cong SB, Jiang YY, Huang YX, Wang JT, Wu HH, Wang L, Wu KM, Carrière Y, Mathias A, Li XC, Tabashnik BE, 2017. Hybridizing transgenic Bt cotton with non-Bt cotton counters resistance in pink bollworm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(21): 5413–5418

Wang J, Ma HH, Zhao S, Huang JL, Yang YH, Tabashnik BE, Wu YD, 2020. Functional redundancy of two ABC transporter proteins in mediating toxicity of *Bacillus thuringiensis* to cotton bollworm. *PLoS Pathogens*, 16(3): e1008427.

Wang SN, Peng Y, Lu ZY, Hussain Dhiloo K, Gu SH, Li RJ, Zhou JJ, Zhang YJ, Guo YY, 2015. Identification and expression analysis of putative chemosensory receptor genes in *Microplitis mediator* by antennal transcriptome screening. *International Journal of Biological Sciences*, 11(7): 737–751.

Wang SN, Shan SG, Zheng Y, Peng Yong, Lu ZY, Yang YQ, Li RJ, Zhang YJ, Guo YY, 2017. Gene structure and expression characteristic of a novel odorant receptor gene cluster in the parasitoid wasp *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae). I*nsect Molecular Biology*, 26(4): 420–431.

Wang W, Yao J, Li HB, Zhang Y, Wang D, Ma GL, 2011. Comparative study on conservation of natural enemy in cotton field by different rapes in Xinjiang. *Plant Protection*, 37(3): 142–145. [王伟, 姚举, 李号宾, 张瑜, 王东, 马国兰, 2011. 棉田周缘种植不同品种油菜诱集带增益控害效果初步研究. 植物保护, 37(3): 142–145.]

Wang Z, Feng HZ, Ma XY, Wang L, Wu G, Gou CQ, 2019. Efficacy of insecticide spray drone on *Aphis gossypii* control and the benefit evaluation. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 21(3): 366–371. [王喆, 冯宏祖, 马小艳, 王兰, 武刚, 苟长青, 2019. 无人机施药对棉蚜的防治效果及经济效益分析. 农药学学报, 21(3): 366–371.]

Wang ZH, Li YT, Li T, Lu YH, Zhang JP, Xu XN, 2015. The

morphology and predatory behavior of the mite *Neoseiulus bicaudus*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(3): 580–586. [王振辉, 李永涛, 李婷, 陆宴辉, 张建萍, 徐学农, 2015. 双尾新小绥螨的形态特征及捕食性功能. 应用昆虫学报, 52(3): 580–586.]

Wei JZ, Shou Y, Chen L, Liu XG, Du MF, An SH, Liang GM, 2018. Transcriptomic responses to different Cry1Ac selection stresses in *Helicoverpa armigera*. *Frontiers in Physiology*, 9: 1653.

Wu KM, 2007. Monitoring and management strategy for *Helicoverpa armigera* resistance to Bt cotton in China. *Journal of Invertebrate Pathology*, 95(3): 220–223.

Wu KM, 2010. No refuge for insect pests. *Nature Biotechnology*, 28(12): 1273–1275.

Wu KM, Guo YY, 2000. The achievements and prospects of cotton insect pest research in 20th century in China. *Chinese Bulletin of Entomology*, 37(1): 45–49. [吴孔明, 郭予元, 2000. 我国 20 世纪棉花害虫研究的主要成就及展望. 昆虫知识, 37(1): 45–49.]

Wu KM, Guo YY, 2005. The evolution of cotton pest management practices in China. *Annual Review of Entomology*, 50: 31–52.

Wu KM, Guo YY, 2007. Geotype differentiation and regional migratory regularity of *Helicoverpa armigera* in China. *Plant Protection*, 33(5): 6–11. [吴孔明, 郭予元, 2007. 棉铃虫种群的地理型分化和区域性迁飞规律. 植物保护, 33(5): 6–11.]

Wu KM, Lu YH, Feng HQ, Jiang YY, Zhao JZ, 2008. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. *Science*, 321(5896): 1676–1678.

Xiao YT, Dai Q, Hu RQ, Pacheco S, Yang YB, Liang GM, Soberón M, Bravo A, Liu KY, Wu KM, 2017. A single point mutation resulting in cadherin mislocalization underpins resistance against *Bacillus thuringiensis* toxin in cotton bollworm. *Journal of Biological Chemistry*, 292(7): 2933–2943.

Xiao YT, Liu KY, Zhang DD, Gong LL, He F, Soberón M, Bravo A, Tabashnik BE, Wu KM, 2016. Resistance to *Bacillus thuringiensis* mediated by an ABC transporter mutation increases susceptibility to toxins from other bacteria in an invasive insect. *PLoS Pathogens*, 12(2): e1005450.

Xiao YT, Wu KM, 2019. Recent progress on the interaction between insects and *Bacillus thuringiensis* crops. *Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1767): 20180316

Xiao YT, Zhang T, Liu CX, Heckel DG, Li XC, Tabashnik BE, Wu KM, 2014. Mis-splicing of the ABCC2 gene linked with Bt toxin resistance in *Helicoverpa armigera*. *Scientific Reports*, 4: 6184–6184.

Xiu CL, Pan HS, Liu B, Luo ZX, Williams L III, Yang YZ, Lu YH, 2019. Perception of and behavioral responses to host plant volatiles for three *Adelphocoris* species. *Journal of Chemical Ecology*, 45(9): 779–788.

Xiu CL, Su AL, Lu W, Liu Z, Lu YH, 2018. The effectiveness of using food attractant to lure cotton bollworm moths into traps under field conditions. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 44–48. [修春丽, 栗爱丽, 路伟, 刘政, 陆宴辉, 2018. 棉铃虫食诱剂的田间诱捕效果. 应用昆虫学报, 55(1): 44–48.]

Xu JJ, Guo WC, Yao J, Turxun, Wang ZP, Hamiti, Arkerdan, 2004. Study on using mass-release *Trichogrmma chilonis* to control *Helicoverpa Armigera* in cotton field in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 41(5): 378–380. [许建军, 郭文超, 姚举, 吐尔逊, 王泽鹏, 哈米提, 阿克旦, 2004. 新疆棉区利用赤眼蜂防治棉铃虫田间释放技术研究与应用. 新疆农业科学, 41(5): 378–380.]

Yan SW, Zhang J, Liu Y, Li GQ, Wang GR, 2015. An olfactory receptor from *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) mainly tuned to volatiles from flowering host plants. *Journal of Insect Physiology*, 79: 36–41.

Yang PY, Li P, Wang LY, Xiao C, 2018. Techniques of Food-source Trapping of Crop Insect Pests. Beijing: China Agriculture Press. 1–104. [杨普云, 李萍, 王立颖, 肖春, 2018. 农作物害虫食源诱控技术. 北京: 中国农业出版社. 1–104.]

Yang Y, Li Y, Wu Y, 2013. Current status of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* after 15 years of Bt cotton planting in China. *Journal of Economic Entomology*, 106(1): 375–381.

Yu HK, Liang GM, Ren MY, Zhang YJ, Chang HL, Wu KM, Guo YY, 2006. Study on substitutional insecticides to replace hypertoxic insecticides against cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 8(4): 327–334. [于宏坤, 梁革梅, 任明勇, 张永军, 常洪雷, 吴孔明, 郭予元, 2006. 防治棉铃虫的高毒农药替代品种研究. 农药学学报, 8(4): 327–334.]

Yu HL, Zhang YJ, Wyckhuys KAG, Wu KM, Gao XW, Guo YY, 2010. Electrophysiological and behavioral responses of *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae) to caterpillar-induced volatiles from cotton. *Environmental Entomology*, 39(2): 600–609.

Yu HX, Wang XF, 2016. Effects of Jiaduo multi-frequency vibration-killing lamps on insect pest control in cotton fields. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, (4): 33–34. [郁红霞, 王孝法, 2016. 佳多频振式杀虫灯对棉田害虫的控害效果. 新疆农垦科技, (4): 33–34.]

Yuan HB, Ding YX, Gu SH, Sun L, Zhu XQ, Liu HW, Dhiloo KH, Zhang YJ, Guo YY, 2015. Molecular characterization and

expression profiling of odorant-binding proteins in *Apolygus lucorum*. *PLoS ONE*, 10: e0140562.

Zhang DD, Xiao YT, Chen WB, Lu YH, Wu KM, 2019a. Field monitoring of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) Cry1Ac insecticidal protein resistance in China (2005-2017). *Pest Management Science*, 75(3): 753–759.

Zhang HN, Tian W, Zhao J, Jin L, Yang J, Liu CH, Yang YH, Wu SW, Wu KM, Cui JJ, Tabashnik BE, Wu YD, 2012. Diverse genetic basis of field-evolved resistance to Bt cotton in cotton bollworm from China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(26): 10275–10280.

Zhang J, Wang B, Dong SL, Cao DP, Dong JF, Walker WB, Liu Y, Wang GR, 2015a. Antennal transcriptome analysis and comparison of chemosensory gene families in two closely related noctuidae moths, *Helicoverpa armigera* and *H. assulta*. *PLoS ONE*, 10: e0117054.

Zhang P, Zhang XF, Zhao YH, Ren YP, Mu W, Liu F, 2015b. Efficacy of granular applications of clothianidin and nitenpyram against *Aphis gossypii* (Glover) and *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) in cotton fields in China. *Crop Protection*, 78: 27–34.

Zhang RZ, Liang HB, Tian CY, Zhang GX, 2000. Biological mechanism of controlling cotton aphid (Homoptera: Aphididae) by the marginal alfalfa zone surrounding cotton field. *Chinese Science Bulletin*, 45(4): 355–358.

Zhang RZ, Ren L, Wang CL, Lin RH, Tian CY, 2004. Cotton aphid predators on alfalfa and their impact on cotton aphid abundance. *Applied Entomology and Zoology*, 39(2): 235–241.

Zhang S, Chen LZ, Gu SH, Cui JJ, Gao XW, Zhang YJ, Guo YY, 2011. Binding characterization of recombinant odorant-binding proteins from the parasitic wasp, *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Chemical Ecology*, 37(2): 189–194.

Zhang S, Ma Y, Min H, Yu XQ, Li N, Rui CH, Gao XW, 2016. Insecticide resistance monitoring and management demonstration of major insect pests in the main cotton-growing areas of northern China. *Acta Entomologica Sinica*, 59(11): 1238–1245. [张帅, 马艳, 闵红, 于晓庆, 李娜, 芮昌辉, 高希武, 2016. 华北棉区主要害虫抗药性监测与治理技术示范. 昆虫学报, 59(11): 1238–1245.]

Zhang T, Mei XD, Zhang XF, Lu YH, Ning J, Wu KM, 2019b. Identification and field evaluation of the sex pheromone of *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae) in China. *Pest Management Science*, doi: org/10.1002/ps.5714.

Zhang W, Lu YH, van der Werf W, Huang JK, Wu F, Zhou K, Deng XZ, Jiang YY, Wu KM, Rosegrant WM, 2018. Multidecadal, county-level analysis of the effects of land use, Bt cotton, and weather on cotton pests in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(33): E7700–7709.

Zhang YX, Wang FT, Chen F, Ji J, Chen X, Yi ZB, 2005. Studied and applied on the using *Amblyseius cucumeris* to control pest mites of cotton in Xinjiang//Yang HW(ed.). Stride over the 21 century of bio-control in China. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 54–61. [张艳璇，王福堂, 陈芳, 季洁, 陈霞, 易正炳, 2005. 胡瓜钝绥螨控制新疆棉花害螨的研究与应用//杨怀文(主编). 迈向二十一世纪的中国生物防治. 北京: 中国农业科学技术出版社. 54–61.]

Zhang ZQ, Guo TE, Wang W, Liu F, Mu W, 2009. Assessment of relative toxicities of insecticides to the green plant bug, *Lygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae), by two different bioassay methods. *Acta Entomologica Sinica*, 52(9): 967–973. [张正群, 郭天蛾, 王伟, 刘峰, 慕卫, 2009. 两种室内生物测定方法评价杀虫剂对绿盲蝽的相对毒力. 昆虫学报, 52(9): 967–973.]

Zhang ZQ, Zhang XF, Wang Y, Zhao YH, Lin J, Liu F, Mu W, 2016. Nitenpyram, dinotefuran, and thiamethoxam used as seed treatments act as efficient controls against *Aphis gossypii* via high residues in cotton leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(49): 9276–9285.