



Bt 棉花害虫综合治理研究前沿^{*}

陆宴辉^{**}

(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 自1996年以来,全球 Bt (*Bacillus thuringiensis*) 棉花应用规模迅速增长,目前已占棉花种植总面积的 60% 左右,主要种植国家包括美国、澳大利亚、中国、印度和巴基斯坦等。大量研究表明,Bt 棉花的大面积种植有效控制了多种靶标害虫的发生危害,从而大幅度减少了化学杀虫剂的使用量;化学杀虫剂的减少使用导致一些非靶标害虫的发生危害明显加重。针对 Bt 棉花生产中呈现出的害虫新问题,各国分别发展了由农业防治、生物防治、化学防治等不同措施构成的防控技术体系。

关键词 Bt 棉花, 害虫, 种群演替, 持续治理

Advance in insect pest management in Bt cotton worldwide

LU Yan-Hui^{**}

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

Abstract Since 1996, Bt (*Bacillus thuringiensis*) cotton has been increasing adopted worldwide, mainly including the United States, Australia, China, India and Pakistan, and the planting proportion of Bt cotton recently amounted to about 60% of the total area of all cotton crops. Vast studies indicate that widespread adoption of Bt cotton effectively suppressed the population of various target insect pests, and then lessened the amount of insecticide use in this crop; but less insecticide application also caused the outbreak of many non-target insect pests. In order to solve the new pest problem in Bt cotton, various measures of cultural control, biological control, chemical control and others have been developed and applied in the major Bt-cotton growing countries.

Key words Bt cotton, insect pests, pest status evolution, sustainable control

棉花是受害虫危害最严重的作物之一,全世界已记载的棉花害虫种类多达 1 300 余种,其中主要害虫近 100 种。棉花也是使用化学农药最多的一种作物,半个多世纪以来全球近 25% 的化学农药被用于棉田,从而带来了严重的害虫抗药性、害虫再猖獗及农田生态系统失衡等一系列问题(Naranjo *et al.*, 2008)。因此,研发与应用棉花害虫综合治理策略与技术体系,对保障棉花的安全持续生产、推进农作物害虫综合防治理论创新与实践具有重要意义。

自 1996 年起,转 Bt (*Bacillus thuringiensis*) 基

因抗虫棉花(简称 Bt 棉花)先后在全世界 10 多个国家正式商业化;迄今,Bt 棉花的年种植面积已达 2 000 万 hm^2 以上,约占全球棉花种植总面积的 60% 左右,主要种植国家包括美国、澳大利亚、中国、印度和巴基斯坦等(刘晨曦和吴孔明, 2011; Yu *et al.*, 2011)。Bt 棉花的大面积应用开辟了棉田鳞翅目害虫种群治理的新途径,靶标害虫的有效控制使 Bt 棉田杀虫剂使用模式发生了巨大变化,从而导致多种害虫的种群地位出现了演替变化。因此,近年来 Bt 棉花生产上呈现出了一系列新的害虫问题。各国科研人员针对 Bt 棉花商业

^{*} 资助项目:“十二五”科技支撑计划 2012BAD19B05。

^{**} 通讯作者, E-mail: yhlu@ippcaas.cn

收稿日期:2012-06-12, 接受日期:2012-06-21

化过程中的害虫地位演替问题开展了系统研究,并发展了相应的综合治理策略与技术体系。本文就此进行总结和评述,并就未来 Bt 棉花害虫综合治理研究发展提出展望。

1 美国

1.1 种类演替

Bt 棉花应用之前,棉田主要害虫包括美洲棉铃虫 *Helicoverpa zea*、烟芽夜蛾 *Heliothis virescens*、红铃虫 *Pectinophora gossypiella*、棉铃象甲 *Anthonomus grandis*、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*、盲蝽(如美国牧草盲蝽 *Lygus lineolaris*、豆荚草盲蝽 *Lygus hesperus*)、棉叶蝉 *Pseudomoscelsis seriatus*、棉叶螨(如二斑叶螨 *Tetranychus urticae*、太平洋红叶螨 *Tetranychus pacificus*、土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii*)、棉蓟马(如烟褐花蓟马 *Frankliniella fusca*、美东花蓟马 *Frankliniella trifici*、西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*、大豆蓟马 *Sericothrips variabilis*、烟蓟马 *Thrips tabaci*)、粉虱(如烟粉虱 *Bemisia tabaci*、银叶粉虱 *Bemisia argentifolii*、温室白粉虱 *Trialeurodes abutilonea*)。其中,美洲棉铃虫、烟芽夜蛾和棉铃象甲的发生危害最为严重(Luttrell, 1994)。

1996 年,美国率先商业化种植转单基因(*Cry1Ac*)的一代 Bt 棉花;2002 年,开始推广转双基因(*Cry1Ac* + *Cry2Ab*)的二代 Bt 棉花;2004 年,开始应用 *Cry1Ac* + *Cry1F* 棉花;2009 年,一代 Bt 棉花停止种植。一代 Bt 棉花的主要靶标是美洲棉铃虫、烟芽夜蛾和红铃虫等,而二代 Bt 棉花的杀虫谱有所扩大,对甜菜夜蛾、草地贪夜蛾的杀虫活性明显增加(Chitkowski *et al.*, 2003; Sivasupramaniam *et al.*, 2008; Tindall *et al.*, 2009)。Bt 棉花不仅能控制自身的靶标害虫危害问题,同时随着种植年限的延长能逐步压低靶标害虫的区域性种群发生。例如,在亚利桑那州,Bt 棉花自 1996 年连续种植 5 年后,整个地区的红铃虫种群发生数量大幅度减少;其中 1999—2001 年间,春季红铃虫成虫的发生数量与上一年 Bt 棉花的种植比率成显著负相关关系;模型分析表明,65% 的 Bt 棉花种植就能使红铃虫区域性种群得到有效控制,因为在这一种植比率下红铃虫种群的净增殖率(net reproduction rate)已小于 1(Carrière *et al.*, 2003)。Adamczyk and Hubbard

(2006) 分析了 1986—2005 年密西西比河地区美洲棉铃虫和烟芽夜蛾种群的变化趋势,发现 Bt 棉花连续种植 9 年后 2 种害虫种群发生密度分别下降至 Bt 棉花种植前的 1/6 和 1/23。

靶标害虫的有效控制使棉田杀虫剂使用量较 Bt 棉花商业化之前明显减少(Naranjo and Luttrell, 2009c),从而导致棉田一些非靶标害虫发生不断加重,特别是盲蝽类(*Lygus* spp. 和 *Neurocolpus nubilus*)和蝽类(如稻绿蝽 *Nezara viridula*)逐步上升为主要害虫(Naranjo *et al.*, 2008)。烟粉虱等一些传统刺吸类害虫仍占据重要地位。

1.2 综合治理

1.2.1 农业防治 在中南部阿肯色州一路易斯安娜—密西西比河三角洲地区,调查发现美国牧草盲蝽等盲蝽在迁入棉田之前主要在阔叶杂草上发生;据此规律,提出了早春时分大面积地清除棉田周围阔叶杂草来控制盲蝽虫源的方法,有效减轻了棉田盲蝽的种群发生数量(Robbins *et al.*, 2000; Snodgrass *et al.*, 2006)。棉田周围的紫花苜蓿带是豆荚草盲蝽的主要虫源地(Carrière *et al.*, 2006);通过苜蓿分期刈割方式能压低若虫种群数量、降低成虫种群迁移,从而减轻棉田豆荚草盲蝽的发生危害(Summers *et al.*, 2004)。香瓜和高粱分别对棉田烟粉虱和稻绿蝽具有很强的诱集效果(Castle, 2006; Tillman, 2006),但这 2 种诱集植物在生产上应用较少。

1.2.2 生物防治 天敌的保护利用是棉田害虫生物防治的核心技术之一(Naranjo and Ellsworth, 2009a)。在没有杀虫剂的干扰或使用选择性农药的情况下,棉田天敌(特别是捕食性天敌)能有效压低烟粉虱种群数量(Naranjo and Ellsworth, 2009b)。Bt 棉田杀虫剂的减少使用有利于棉田天敌种群的保育(Naranjo, 2005),从而有助于烟粉虱等一些害虫种群的持续治理(Ellsworth and Martinez-Carrillo, 2001; Naranjo, 2001)。此外,先后引进了多种寄生性天敌用于烟粉虱防治,但在棉田生态系统中的控制作用不明显(Gould *et al.*, 2008)。从欧洲引进了常室茧蜂 *Peristenus digoneutis* 用于盲蝽防治,在东北部部分地区成功建立种群并发挥了一定的控制作用,但在南部等其他地区均未能成功定居(Ruberson and Williams, 2000)。同时,开展了利用微生物防治盲蝽和烟粉

虱研究,部分产品已进行了商业化生产(Faria and Wraight, 2001; McGuire *et al.*, 2006),但总体使用比较有限。

1.2.3 化学防治 对于盲蝽、烟粉虱等害虫,系统开展了高效杀虫剂的筛选工作(Ellsworth and Barkley, 2005; Naranjo *et al.*, 2008; Naranjo and Luttrell, 2009c),其中特别强调选择性杀虫剂的使用以及化学防治与生物防治之间的协调(Naranjo and Luttrell, 2009a)。针对害虫对杀虫剂的抗性,除了杀虫剂品种的替换等常规措施以外(Scott and Snodgrass, 2000; Palumbo *et al.*, 2001),还将之前用于靶标害虫对 Bt 作物抗性治理的庇护所策略引入到了害虫对杀虫剂的抗性治理之中。Carrière 等(2012)连续 8 年系统监测了施用吡丙醚 pyriproxyfen 的棉田及其周围不施药的瓜类或苜蓿上烟粉虱种群的抗药性发展动态,发现在同一年份内棉花和周围植物上烟粉虱种群对吡丙醚的抗性水平没有明显差异;但多年的发生趋势分析表明,田间烟粉虱对吡丙醚水平与棉田面积成正比,与棉田周围植物的面积成反比,这表明棉田周围的其他植物发挥了庇护所的功能,从而缓减了棉田烟粉虱抗药性的产生与发展;这一研究为害虫抗药性的区域性治理提供了理论依据。

2 澳大利亚

2.1 种群演替

Bt 棉花商业化前,棉花害虫按重要性依次为夜蛾类、叶螨、蓟马、盲蝽以及蚜虫。其中,夜蛾类主要包括棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 和澳洲棉铃虫 *Helicoverpa punctigera*;叶螨是二斑叶螨;蓟马有烟蓟马和苏花蓟马 *Frankliniella schultzei*;盲蝽包括绿淡盲蝽 *Creontiades dilutus* 和微刺盲蝽 *Campylomma livida*;蚜虫包括棉蚜 *Aphis gossypii* 和桃蚜 *Myzus persicae*(Fitt, 1994)。

澳大利亚于 1996 年开始商业化 Cry1Ac 棉花,2004 年推广了 Cry1Ac + Cry2Ab 棉花。Bt 棉花种植使棉铃虫和澳洲棉铃虫得到了有效控制(Olsen *et al.*, 2005),棉田杀虫剂使用量因此而大幅度减少(Naranjo *et al.*, 2008)。棉田杀虫剂用量的减少使绿淡盲蝽、稻绿蝽、叶蝉(棉小绿叶蝉 *Austroasca viridigrisea* 和小绿叶蝉 *Amrasca terraereginae*)、蓟马等害虫的发生不断加重,其中绿淡盲蝽的危害

程度增幅最大(Lei *et al.*, 2003; Khan *et al.*, 2006a; Wilson *et al.*, 2006);用于刺吸类害虫防治的杀虫剂用量增加会破坏棉田天敌资源,可能又将带来二斑叶螨、棉蚜、烟粉虱等害虫危害加重的威胁(Wilson *et al.*, 1998; Farrell *et al.*, 2006)。

2.2 综合治理

2.2.1 农业防治 棉花的生长期与长势等因素将可能严重影响害虫种群消长,因此科学的栽培管理是减轻棉花害虫发生危害的重要手段(Fitt *et al.*, 2009)。紫花苜蓿被发展为棉田绿淡盲蝽的诱集植物,种植苜蓿诱集带的棉田内绿淡盲蝽成虫和若虫的种群密度分别下降为未进行诱集防治棉田的 1/35 和 1/15,防治效果非常明显(Mensah and Khan, 1997);但由于苜蓿诱集带的管理难度大、成本高等原因,在生产上难于大面积推广应用(McColl *et al.*, 2011)。

2.2.2 生物防治 主要通过使用选择性杀虫剂、减少连片施药、采用隐蔽施药(如种子处理)等方式减少杀虫剂对天敌的杀伤作用(Fitt *et al.*, 2009),同时通过在田埂种植紫花苜蓿等开花植物来滋养天敌种群(Mensah, 2002a, 2002b)。对于当前主要害虫绿淡盲蝽,天敌资源比较有限,以广谱的捕食性天敌为主,专一的寄生性天敌资源缺乏(Khan *et al.*, 2004a)。Grundy(2007)发现释放高密度的猎蝽 *Pristhesancus plagipennis*,结合选择性杀虫剂的使用能有效控制绿淡盲蝽的种群发生,但这一措施所需的成本较高。

2.2.3 化学防治 目前,用于绿淡盲蝽防治的主要药剂为氟虫氰(fipronil)和乐果(dimethoate)。补充食盐 NaCl 能提高氟虫氰、乐果和茚虫威(indoxacarb)对绿淡盲蝽的防治效果,并能减少杀虫剂用量从而降低对天敌的毒杀作用(Khan, 2003; Brier *et al.*, 2004; Khan *et al.*, 2006b);添加机油乳剂(petroleum spray oil)能提高氟虫氰、茚虫威和吡虫啉(imidacloprid)对绿淡盲蝽的控制作用(Khan *et al.*, 2004b)。另外,喷施高岭土(kaolin)也能减轻绿淡盲蝽的发生危害(Khan and Quade, 2006)。对于蓟马、地下害虫等,通过播种前利用杀虫剂处理棉籽的方式进行防治(Wilson *et al.*, 2002)。

3 中国

3.1 种群演替

已记载的棉花害虫达 300 余种,其中主要种类有棉铃虫、蚜虫(棉蚜、棉黑蚜 *Aphis atrata*、苜蓿蚜 *Aphis medicaginis*、棉长管蚜 *Acyrtosiphon gossypii*)、红铃虫、叶螨(朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus*、截形叶螨 *Tetranychus truncates*、二斑叶螨、土耳其斯坦叶螨)、蓟马(花蓟马 *Frankliniella intonsa*、烟蓟马、黄蓟马 *Thrips flavus*)、盲蝽(绿盲蝽 *Apolygus lucorum*、中黑盲蝽 *Adelphocoris suturalis*、三点盲蝽 *Adelphocoris fasciaticollis*、苜蓿盲蝽 *Adelphocoris lineolatus*、牧草盲蝽 *Lygus pratensis*)、粉虱(银叶粉虱、烟粉虱)、玉米螟 *Ostrinia furnacalis*、甜菜夜蛾、金刚钻(鼎点金刚钻 *Earias cupreoviridis*、翠纹金刚钻 *Earias fabil*、埃及金刚钻 *Earias insulana*)、小造桥虫 *Anomis flava*、叶蝉(棉叶蝉 *Empoasca biguttula*、小绿叶蝉 *Empoasca flavescens*)等(吴孔明和郭予元, 2000; Wu and Guo, 2005)。

我国于 1997 年开始商业化种植 *CryIAc* 棉花,目前 Bt 棉花的种植比率达 70%。Bt 棉花的大面积应用使棉铃虫区域性种群发生数量明显降低(Wu *et al.*, 2008)。此外,红铃虫、小造桥虫、玉米螟、金刚钻等害虫也得到了有效控制(Wan *et al.*, 2005; Wu and Guo, 2005)。靶标害虫的危害减轻使棉田杀虫剂使用量大幅度减少,当前 Bt 棉田杀虫剂使用量与 Bt 棉花商业化之前相比降低了近 25%(Lu and Wu, 2011)。这一方面有助于促进天敌昆虫种群发生,进而使华北地区棉花伏蚜种群发生程度明显减轻(Lu *et al.*, 2012);另一方面,导致了一些天敌控制力弱的害虫危害加重,特别是盲蝽的发生程度不断增加,已由原先的次要害虫上升为了主要害虫(Lu *et al.*, 2010)。另外,棉花苗蚜、红蜘蛛、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 等传统害虫仍占有重要地位。同时,扶桑绵粉蚧、棉花曲叶病毒病的入侵给我国棉花生产构成了新的威胁(武三安和张润志, 2009; 何自福等, 2010)。

3.2 综合治理

3.2.1 农业防治 在华北地区,盲蝽卵主要在果树枝条、枯死杂草等上越冬,因此冬春果树修剪、棉田四周杂草清除能有效压低盲蝽的越冬虫源基数(Lu and Wu, 2011)。烟粉虱和绿盲蝽分别对苘麻和绿豆具有选择嗜好性,可用作各自的诱集植物(林克剑等, 2006; Lu *et al.*, 2009)。

3.2.2 生物防治 这方面主要集中在天敌的保护利用上,如在棉田周围种植苜蓿带、油菜带为天敌昆虫提供替代猎物 and 过渡场所,在棉花苗期害虫(如蚜虫)的自然控制中效果明显(张润志等, 1999; 王伟等, 2011)。麦棉套一直是棉田天敌保护利用的主要措施,但近年来这一传统种植模式的应用面积急剧下降,目前约占棉花种植总面积的 15%(毛树春, 2010)。中国农业科学院植物保护研究所系统调查了棉田盲蝽的天敌资源,发现了 15 种广谱的捕食性天敌,对田间盲蝽种群的控制潜力比较有限(仝亚娟, 2008);筛选到寄生性天敌 3 种,其中 *Peristenus relictus* 对盲蝽若虫的专一性强、寄生率高,具有利用潜力。此外,白僵菌对盲蝽若虫也表现出了一定的控制作用,有待进一步开发(仝亚娟等, 2010)。

3.2.3 化学防治 化学防治仍是现阶段棉花害虫种群控制和抗药性治理的主要手段,因此在杀虫剂的筛选和替代等方面开展了很多工作(Wu and Guo, 2005)。在杀虫剂的科学使用上,发展了“集中治理棉田迁入成虫”的盲蝽防治策略。在我国大多数棉区,盲蝽成虫主要于 6 月中旬左右从早春寄主迁入棉田,此时正好是二代棉铃虫发生高峰期;Bt 棉田由于二代棉铃虫不需要进行化学防治,从而导致了现阶段盲蝽种群的暴发成灾(Lu *et al.*, 2010)。因此,6 月中旬盲蝽成虫的集中迁入期是棉花盲蝽防治的关键时期。由于盲蝽若虫隐蔽性强、卵产在植物组织中肉眼难以发现,这类害虫一旦在田间建立种群后就很难进行调查测报与防治。基此,提出了加强迁入期盲蝽成虫的防治思路,这不仅能压低虫源基数而减轻后期发生程度,同时便于对其实施有效防治。这一策略已在盲蝽防治实践中得到了广泛推广与应用(陆宴辉等, 2010; Lu and Wu, 2011)。

4 印度

4.1 种群演替

已知的棉花害虫达 170 余种,主要包括红铃虫、埃及金刚钻、绿带金刚钻 *Earias vitella*、棉铃虫、棉茎象甲 *Pempherulus affinis*、棉象甲 *Alcidodes affaber*、斜纹夜蛾、棉大卷叶螟、小造桥虫 *Anomis flava*、棉尺蠖 *Tarache notabilis*、黄麻毛虫 *Spilosoma obliqua*、潜叶蛾 *Bucculatrix loxoptera*、三叶斑潜蝇 *Liriomyza trifolii*、二点叶蝉 *Amrasca biguttula*

biguttula、烟粉虱、棉蚜、烟蓟马、茶黄蓟马 *Scirtothrips dorsalis*、棉红蝽 *Dysdercus koenigii*、尖长蝽 *Oxycarenus laetus*、小地老虎 *Agrotis ypsilon* 等 (Sundramurthy and Chitra, 1992; Panwar, 1995; Parimi *et al.*, 2010)。

印度于 2002 年开始商业化 *CryIAc* 棉花, 2009 年种植应用 *CryIAc* + *Cry2Ab* 棉花, 此外 *CryIAb* + *Cry1A* 棉花也已商业化。Bt 棉花种植对棉铃虫、翠纹金刚钻、红铃虫等靶标害虫起到了很好的控制作用, 但 Bt 棉花对二点叶蝉、美洲斑潜蝇、烟粉虱、棉蚜、稻绿蝽、尖筒象 *Mylokerus undecimpustulatus* 以及棉红蝽等非靶标害虫种群发生没有直接影响 (Bambawale *et al.*, 2004; Sharma and Pampapathy, 2006; Lawo *et al.*, 2009)。靶标害虫的有效控制使棉田杀虫剂使用量明显降低 (Qaim and Zilberman, 2003), 从而导致盲蝽 *Creontiades biseratense*、扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis*、二点叶蝉、棉籽长蝽 *Oxycarenus hyalinipennis*、烟蓟马、烟粉虱等非靶标害虫在棉田逐步占据主导地位 (Gowmai, 2007; Thomas *et al.*, 2008; Nagrare *et al.*, 2009; Parimi *et al.*, 2010), 其中扶桑绵粉蚧的发生危害尤其严重。

4.2 综合治理

4.2.1 农业防治 棉田周围的银胶菊 (*Parthenium hysterophorus*) 是扶桑绵粉蚧最嗜好的杂草寄主, 此外在黄花稔 (*Sida acuta*)、苘麻 (*Abutilon theophrasti*) 和牛膝 (*Achryanthus aspera*) 等杂草上也有较高的种群密度 (Kumer *et al.*, 2011); 及时清除上述田埂杂草能有效压低棉田扶桑绵粉蚧的种群发生 (Gowmai, 2007)。

4.2.2 生物防治 对扶桑绵粉蚧的天敌种类进行了调查, 发现班氏跳小蜂 *Aenasius bambawalei*、安氏跳小蜂 *Aenasius* Walker、*Promuscidea unfasciiventris* 等几种寄生性天敌 (Hayat, 2009; Tanwar *et al.*, 2011)。其中, 在不少地方发现有 90% 以上的扶桑绵粉蚧被班氏跳小蜂所寄生, 是当前控制这种害虫最有效的天敌资源 (Tanwar *et al.*, 2011)。

4.2.3 化学防治 对高效农药开展了全面筛选工作, 并发展了科学使用方法, 以避免杀虫剂使用大量杀死天敌而诱导次要害虫再猖獗等问题 (PAU, 2002; Dhawan *et al.*, 2009)。棉花害虫对

杀虫剂的抗性问题的普遍 (Kranthi *et al.*, 2002), 对此发展了区域性抗性治理策略, 结合使用替换农药种类、改变施药方式、调整防治阈值等多种措施减缓抗药性产生, 治理效果比较理想 (Prasad *et al.*, 2009)。

5 巴基斯坦

5.1 种群演替

棉田已有害虫达 148 种, 主要包括棉铃虫、斜纹夜蛾、埃及金刚钻、绿带金刚钻、红铃虫、甘蔗白蚁 *Microtermes obesi*、小地老虎、烟蓟马、二点叶蝉、烟粉虱、棉蚜、棉大卷叶螟 *Sylepta derogate*、棉红蝽、叶螨 *Tetranychus macfarlanei*、灰象甲 *Mylokerus undecimpustuletus maculosus*、扶桑绵粉蚧等 (Abbas, 2001; Dhaka and Pareek, 2007)。

巴基斯坦于 2010 年正式商业化 Bt 棉花, 但之前实际上已有不少的 Bt 棉花种植 (Abdullah, 2010)。由于 Bt 棉花的大面积应用, 棉铃虫、红铃虫、埃及金刚钻、绿带金刚钻等靶标害虫的发生程度明显减轻, 而斜纹夜蛾、甜菜夜蛾等其他鳞翅目害虫以及烟粉虱、烟蓟马、叶蝉和扶桑绵粉蚧等刺吸类害虫的危害比较严重 (Abro *et al.*, 2004; Abbas *et al.*, 2005; Arshad *et al.*, 2009; Arshad and Suhail 2010; Ashfaq *et al.*, 2011)。其中, 扶桑绵粉蚧以及烟粉虱传播的棉花曲叶病毒病成为了当前该国棉花生产中的两大毁灭性影响因素 (Briddon and Markham, 2000; Abbas, 2010)。

5.2 综合治理

5.2.1 农业防治 不同基因型的棉花对烟蓟马和叶蝉 *Amrasca devastans* 的抗性水平没有明显差异, 而对烟粉虱的抗性差异显著 (Amjad and Aheer, 2007)。烟粉虱抗性品种の利用已成为棉花曲叶病毒病治理中最有效的手段 (郭荣, 2005)。

5.2.2 生物防治 捕食性天敌对叶蝉、蓟马与粉虱等害虫具有较好的控制作用 (Solangi *et al.*, 2008), 通过减少杀虫剂用量或使用选择性杀虫剂可以有效保护天敌昆虫、增强其控害作用 (Ghulam *et al.*, 2001)。对于扶桑绵粉蚧, 从美国加利福尼亚引进了一种捕食性瓢虫 *Cryptolaemus montrouzeiri* 用于其防治; 在全国范围内建立了 5 个天敌昆虫繁育中心, 已扩繁 13 种捕食性天敌和 1 种寄生性天敌 *Aenasius bambawalei* 共计 1 000 多

万头,用于规模化田间释放(Mahmood, 2011)。

5.2.3 化学防治 开展了大量的药剂筛选工作(Aslam *et al.*, 2004; Naveed *et al.*, 2008),其中丙溴磷、毒死蜱、灭多威、联苯菊酯对扶桑绵粉蚧的防治效果比较理想(Saeed *et al.*, 2007)。利用吡虫啉进行种子处理能有效控制棉花苗期刺吸类害虫的发生危害(Dandale *et al.*, 2001; Patil *et al.*, 2003; Kannan *et al.*, 2004)。

6 展望

近年来各国的棉花害虫发生趋势一致表明,Bt棉花主要通过改变棉田杀虫剂的使用模式从而影响非靶标害虫及其天敌昆虫的种群发生动态,这是一个逐步变化、渐进发展的过程。如在我国华北地区,Bt棉花大面积种植后由于杀虫剂的减少使用导致捕食性天敌种群数量增加,进而使自然控制力较强的伏蚜种群发生逐步降低(Lu *et al.*, 2012);但天敌自然控制力弱的盲蝽类害虫的种群发生加重(Lu *et al.*, 2010)。那么,天敌昆虫种群增多是否将压低除伏蚜以外其他害虫的发生程度,盲蝽种群增加是否将通过种间生态位竞争或其捕食习性进而影响其他害虫的种群消长动态?从理论上来说,这些影响作用是肯定存在的。但田间害虫与天敌种群发生受多种生物与非生物因素的共同影响,这种效应可能要经过较长时间后才能在生产上得到体现,也会因不同地区害虫种类组成、作物种植制度、栽培管理水平、气候条件等因素的差异而在不同害虫种类上以不同程度或不同时间呈现出来。因此,加强系统的区域性种群监测工作将有助于及早探明害虫发生的变化趋势并全面解析内在的作用机制,从而可以用来指导新成灾害虫的科学治理。

针对Bt棉花生产上出现的非靶标害虫问题,除了发展化学农药的科学使用技术以外,害虫生态调控、生物防治等防控新技术将是下一阶段的发展重点。同时,由于杀虫剂使用量的减少导致Bt棉花上天敌昆虫发生有所增加(Romeis *et al.*, 2006; Naranjo *et al.*, 2008; Lu *et al.*, 2012),这为更好地保护和利用棉田天敌昆虫、提高棉花害虫的生物防治效果提供了契机,有必要大力推进这方面的研究工作。此外,盲蝽等害虫的扩散能力较强,Bt棉花上害虫暴发成灾往往波及到同一区域的其他寄主作物,从而演化为多作物的虫害问

题,因此需要发展相应的区域性的治理策略(Lu and Wu, 2011)。

全球Bt棉花的研发与应用发展迅速,Vip3A、Cry1F等新基因在生产上可能将逐步占据重要地位,第三代Bt(Cry1Ac + Cry1F + Cry2Ab)棉花有望步入商业化,抗盲蝽Bt棉花也在加紧研发(刘晨曦和吴孔明,2011; James *et al.*, 2012)。这些不同性状的Bt棉花将对棉田害虫种群发生的影响可能有别于非转基因棉花和现阶段大面积种植的一代Bt(Cry1Ac)棉花和二代Bt(Cry1Ac + Cry2Ab)棉花,将带来不同的非靶标害虫种群灾变问题。因此,需要针对不同类型的Bt棉花进行相应的害虫综合防治技术体系的研发、集成与推广。

近年来,棉花种植区内农作物的种植结构变化明显。如在我国,粮食、果树、蔬菜等作物的种植面积急剧增加,而棉花的种植规模相对缩小;同时,棉花的种植方式发生了一些改变,棉花与其他作物、果树、蔬菜等混作、间作现象日益普遍。农田景观格局变化以及作物种植方式调整将影响农作物害虫及其天敌昆虫的种群发生(Bianchi *et al.*, 2006; Landis *et al.*, 2008),需要全面评价这些因素对棉花害虫发生危害的影响效益,以便加以合理利用。

此外,外来入侵生物(如扶桑绵粉蚧、烟粉虱及其传播的棉花曲叶病毒病)给世界棉花产业带来了新的威胁,有必要加强监测预警和管理,并及时加强其生物学研究和防控技术储备。

Bt棉花给害虫综合防治带来了机遇,也带来了挑战,现阶段国内外对Bt棉花种植带来的害虫种群地位演替问题认识还不全面。虽然各国政府部门和科研人员对Bt棉花害虫综合防治工作予以了高度重视(Deutscher *et al.*, 2005; Naranjo *et al.*, 2008; Naranjo, 2011),但要构建成熟的、以Bt棉花应用为核心的棉花害虫综合治理策略与技术体系还任重道远。

参考文献(References)

- Abbas G, 2010. Taxonomy, ecology and management of mealy bug on cotton in Pakistan. PhD thesis, University of Agriculture, Faisalabad.
- Abbas G, Arif MJ, Saeed S, 2005. Systematic status of a new species of the genus *Phenacoccus* Cockerell (Pseudococcidae), a serious pest of cotton, *Gossypium*

- hirsutum* L., in Pakistan. *Pakistan Entomol.*, 27:83—84.
- Abbas MA, 2001. General Agriculture. Publ. Emporium, 2nd (edn.). Pak. 1—352.
- Abdullah A, 2010. An analysis of Bt cotton cultivation in Punjab, Pakistan using the Agriculture Decision Support System (ADSS). *AgBioForum*, 13 (3):274—287.
- Abro GH, Sted TS, Tunio GM, Khuhro MA, 2004. Performance of transgenic Bt cotton against insect pest infestation. *Biotechnology*, 3 (1):75—81.
- Adamczyk Jr JJ, Hubbard D, 2006. Changes in populations of *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) in the Mississippi Delta from 1986 to 2005 as indicated by adult male pheromone traps. *J. Cotton Sci.*, 10 (3):155—160.
- Amjad A, Aheer GM, 2007. Varietal resistance against sucking insect pests of cotton under Bahawalpur ecological conditions. *J. Agric. Res.*, 45 (3):205—208.
- Arshad M, Suhail A, 2010. Studying the sucking insect pests community in transgenic Bt cotton. *Int. J. Agric. Biol.*, 12 (5):764—768.
- Arshad M, Suhail A, Gogi MD, Yaseen M, Asghar M, Tayyib M, Karar H, Hafeez F, Ullah UN, 2009. Farmers' perceptions of insect pests and pest management practices in Bt cotton in the Punjab, Pakistan. *Int. J. Pest Manage.*, 55 (1):1—10.
- Ashfaq S, Khan IA, Saeed M, Saljoqi A, Manzoor F, Sohail K, Habib K, Sadozai A, 2011. Population dynamics of insect pests of cotton and their natural enemies. *Sarhad J. Agric.*, 27 (2):251—253.
- Aslam M, Razaq M, Shah SA, Ahmad F, 2004. Comparative efficacy of different insecticides against sucking pests of cotton. *J. Res. Sci.*, 15 (1):53—58.
- Bambawale OM, Singh A, Sharma OP, Bhosle BB, Lavekar RC, Dhandapani A, Kanwar V, Tanwar RK, Rathod KS, Patange NR, Pawar VM, 2004. Performance of Bt cotton (MECH-462) under integrated pest management in farmers' participatory field trial in Nanded district, Central India. *Curr. Sci.*, 86 (12):1628—1633.
- Bianchi FJJA, Booij CJH, Tschamtkke T, 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity, and natural pest control. *P. Roy. Soc. B: Biol. Sci.*, 273 (1595):1715—1727.
- Briddon RW, Markham PG, 2000. Cotton leaf curls virus disease. *Virus Res.*, 71 (1/2):151—159.
- Brier H, Creagh R, Knight K, Wessels J, 2004. Common salt as a mirid management tool. Proceedings of the XXII International Congress of Entomology. Brisbane, Qld, Australia (CD-ROM).
- Carrière Y, Ellers-Kirk C, Hartfield K, Larocque G, Degain B, Dutilleul P, Dennehy TJ, March SE, Crowder DW, Li X, Ellsworth PC, Naranjo SE, Palumbo JC, Fournier A, Antilla L, Tabashnik BE, 2012. Large-scale, spatially explicit test of the refuge strategy for delaying insecticide resistance. *PNAS*, 109 (3):775—780.
- Carrière Y, Ellers-Kirk C, Sisterson M, Antilla L, Whitlow M, Dennehy TJ, Tabashnik BE, 2003. Long-term regional suppression of pink bollworm by *Bacillus thuringiensis* cotton. *PNAS*, 100 (4):1519—1523.
- Carrière Y, Ellsworth P, Dutilleul P, Kirk C, Barkley V, Antilla L, 2006. A GIS-based approach for areawide pest management: the scales of *Lygus hesperus* movements to cotton from alfalfa, weeds, and cotton. *Entomol. Exp. Appl.*, 118 (3):203—210.
- Castle SJ, 2006. Concentration and management of *Bemisia tabaci* in cantaloupe as a trap crop for cotton. *Crop Prot.*, 25 (6):574—584.
- Chitkowski RL, Turnipseed SG, Sullivan MJ, Bridges Jr WC, 2003. Field and laboratory evaluations of transgenic cottons expressing one or two *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Berliner proteins for management of Noctuid (Lepidoptera) pests. *J. Econ. Entomol.*, 96 (3):755—762.
- Dandale HG, Thakare AY, Tikar SN, Rao NGV, Nimbalkar SN, 2001. Effect of seed treatment on sucking pests of cotton and yield of seed cotton. *Pestology*, 25 (1):20—23.
- Deutscher SA, Wilson LJ, Mensah RK, 2005. Integrated pest management guidelines for cotton production in Australia. Australian Cotton Cooperative Research Centre, Narrabri, NSW. 78. <http://web.cotton.crc.org.au/content/Industry/Homepage/Publications/PestsandBeneficials/IntegratedPestManagementGuidelines.aspx>
- Dhaka SR, Pareek BL, 2007. Seasonal incidence of natural enemies of key insect pests of cotton and their relationship with weather parameters. *J. Plant Prot. Res.*, 47 (4):418—419.
- Dhawan AK, Singh S, Kumar S, 2009. Integrated pest management (IPM) helps reduce pesticide load in cotton. *J. Agric. Sci. Technol.*, 11 (special issue):599—611.
- Ellsworth PC, Barkley V, 2005. Transitioning *Lygus* chemical controls to more selective options for Arizona cotton// Cotton, A College of Agriculture Report, Series P - 142. University of Arizona, Tucson. 165—178.
- Ellsworth PC, Martinez-Carrillo JL, 2001. IPM for *Bemisia*

- tabaci*: a case study from North America. *Crop Prot.*, 20 (9): 853—869.
- Faria MR, Wraight SP, 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi. *Crop Prot.*, 20 (9): 767—778.
- Farrell T, Mensah R, Sequeira R, Wilson L, Dillon M, 2006. Key insect and mite pests of Australian cotton. // Farrell T (ed.). *Cotton Pest Management Guide 2006—07*. New South Wales Department of Primary Industries, Australia. 1—17.
- Fitt GP, 1994. Cotton pest management: Part 3. An Australian perspective. *Annu. Rev. Entomol.*, 39: 543—562.
- Fitt GP, Wilson LJ, Kelly D, Mensah R, 2009. Advances in integrated pest management as a component of sustainable agriculture: The case study of the Australian Cotton Industry. // Peshin R, Dhawan AK (eds.). *Integrated Pest Management: Innovation-development*. Springer. 507—524.
- Ghulam HM, Korejo AK, Soomro AR, Soomro AW, 2001. Population dynamics of predatory insects and biological control of cotton pests in Pakistan. *J. Biol. Sci.*, 1 (4): 245—248.
- Gould J, Hoelmer K, Goolsby J, 2008. Classical biological control of *Bemisia tabaci* in the United States: a review of interagency research and implementation. Springer Netherlands. 1—343.
- Gowmai B, 2007. India: Bt cotton devastated by secondary pests. http://www.dottal.org/DIE%20DIE/bt_cotton_devastated_by_secondary_pests.htm
- Grundy PR, 2007. Utilizing the assassin bug, *Pristhesancus plagipennis* (Hemiptera: Reduviidae), as a biological control agent within an integrated pest management programme for *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) and *Creontiades* spp. (Hemiptera: Miridae) in cotton. *Bull. Entomol. Res.*, 97 (3): 281—290.
- Hayat M, 2009. Description of a new species of *Aenasius* Walker (Hymenoptera: Encyrtidae), parasitoid of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Homoptera: Pseudococcidae) in India. *Biosystematica*, 3 (1): 21—26.
- James AB, Sukuru UR, Penn SR, Meyer SE, Subbarao S, Shi XH, Flasiński S, Heck GR, Brown RS, Clark TL, 2012. Cotton plants expressing a Hemipteran-active *Bacillus thuringiensis* crystal protein impact the development and survival of *Lygus hesperus* (Hemiptera: Miridae) nymphs. *J. Econ. Entomol.*, 105 (2): 297—303.
- Kannan M, Uthamasamy S, Mohan S, 2004. Impact of insecticides on sucking pests and natural enemy complex of transgenic cotton. *Curr. Sci.*, 86 (5): 726—729.
- Khan M, 2003. Salt mixtures for mirid management. *The Australian Cotton Grower*, 24 (3): 10.
- Khan M, Kelly D, Hickman M, Mensah R, Brier H, Wilson L, 2004a. Mirid ecology in Australian cotton. Australian Cotton CRC Research Review. Available from URL: <http://www.cottoncrc.org.au/files/0465c5a3-a642-4d38-96a8-995a011654c2/MiridEc.pdf>
- Khan M, Kelly D, Hickman M, Mensah R, Brier H, Wilson L, 2004b. Mirid management in Australian cotton. Australian Cotton CRC Research Review. Available from URL: <http://www.cottoncrc.org.au/files/7a28adb3-b487-4e67-97de-995a011654d9/miridMgt.pdf>
- Khan M, Quade A, 2006. Kaolin cons cotton suckers. *The Australian Cotton Grower*, 27 (6): 16—20.
- Khan M, Quade A, Murray D, 2006a. Mirid damage assessment in Bollgard II-Critical damage stage and action thresholds at different stages in irrigated and raingrown cotton // Australian Cotton Conference, Gold Coast, ACGRA. 543—554.
- Khan M, Quade A, Murray D, 2006b. Mirid management—effect of salt rate when mixed with reduced rate of chemical. Proceedings of the 13th Australian Cotton Conference, Gold Coast, Qld, Australia. 537—542.
- Kranthi KR, Jadhav DR, Kranthi S, Wanjarri RR, Ali SS, Russell DA, 2002. Insecticide resistance in five major insect pests of cotton in India. *Crop Prot.*, 21 (6): 449—460.
- Kumar S, Kular JS, Dhaliwal LK, 2011. Seasonal abundance of mealy bug (*Phenacoccus solenopsis* Tinsley) on Bt cotton in Punjab. *Acta Phytopathol. Entomol. Hung.*, 46 (1): 115—127.
- Landis DA, Gardiner MM, van der Werf W, Swinton SM, 2008. Increasing corn for biofuel production reduces biocontrol services in agricultural landscapes. *PNAS*, 105 (51): 20552—20557.
- Lawo NC, Wackers FL, Romeis J, 2009. Indian Bt cotton varieties do not affect the performance of cotton aphids. *PLoS ONE*, 4 (3): e4804. doi: 10.1371/journal.pone.0004804.
- Lei T, Khan M, Wilson L, 2003. Boll damage by sucking pests: an emerging threat, but what do we know about it? // World Cotton Research Conference III: Cotton for the New Millennium, Cape Town, South Africa. 1337—1344.
- Lu YH, Wu KM, 2011. Mirid bugs in China: pest status and management strategies. *Outlooks on Pest Management*, 22 (6): 248—252.

- Lu YH, Wu KM, Jiang YY, Guo YY, Desneux N, 2012. Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature*, doi: 10. 1038/nature11153.
- 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—1154.
- 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 Prot.*, 28 (1) :77—81.
- Luttrell RG, 1994. Cotton pest management: Part 2. A US perspective. *Annu. Rev. Entomol.*, 39:527—542.
- Mahmood R, 2011. Biological control of mealy bugs on cotton in Pakistan. <http://www.cabi.org/default.aspx?site=170&page=1017&pid=6045>.
- McColl SA, Khan M, Umina PA, 2011. Review of the biology and control of *Creontiades dilutus* (Stål) (Hemiptera: Miridae). *Aust. J. Entomol.*, 50 (2) :107—117.
- McGuire MR, Leland JE, Dara S, Park YH, Ulloa M, 2006. Effect of different isolates of *Beauveria bassiana* on field populations of *Lygus hesperus*. *Biol. Control*, 38 (3) :390—396.
- Mensah R, 2002a. Development of an integrated pest management programme for cotton. Part 1: Establishing and utilising natural enemies. *Int. J. Pest Manage.*, 48 (2) :87—94.
- Mensah RK, Khan M, 1997. Use of *Medicago sativa* (L.) interplantings/trap crops in the management of the green mirid, *Creontiades dilutus* (Stål) in commercial cotton in Australia. *Int. J. Pest Manage.*, 43 (3) :197—202.
- Mensah R, 2002b. Development of an integrated pest management programme for cotton. Part 2: Integration of a lucerne/cotton interplant system, food supplement sprays with biological and synthetic insecticides. *Int. J. Pest Manage.*, 48 (2) :95—105.
- Nagrare VS, Kranthi S, Biradar VK, Zade NN, Sangode V, Kakde G, Shukla RM, Shivare D, Khadi BM, Kranthi KR, 2009. Widespread infestation of the exotic mealybug species *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton in India. *Bull. Entomol. Res.*, 99 (5) :537—541.
- Naranjo SE, 2001. Conservation and evaluation of natural enemies in IPM systems for *Bemisia tabaci*. *Crop Prot.*, 20 (9) :835—852.
- Naranjo SE, 2005. Long-term assessment of the effects of transgenic Bt cotton on the abundance of non-target arthropod natural enemies. *Environ. Entomol.*, 34 (5) :1193—1210.
- Naranjo SE, 2011. Impact of Bt transgenic cotton on integrated pest management. *J. Agricult. Food Chem.*, 59 (11) :5842—5851.
- Naranjo SE, Ellsworth PC, 2009a. Fifty years of the integrated control concept: moving the model and implementation forward in Arizona. *Pest Manage. Sci.*, 65 (12) :1267—1286.
- Naranjo SE, Ellsworth PC, 2009b. The contribution of conservation biological control to integrated control of *Bemisia tabaci* in cotton. *Biol. Control*, 51 (3) :458—470.
- Naranjo SE, Luttrell RG, 2009c. Cotton Arthropod IPM// Radcliff EB, Hutchison WD (eds.). Integrated Pest Management: Concepts, Tactics, Strategies & Case Studies. Cambridge University Press. 324—340.
- Naranjo SE, Ruberson JR, Sharma HC, Wilson L, Wu KM, 2008. The present and future role of insect-resistant GM cotton in IPM// Romeis J, Shelton AM, Kennedy GG (eds.). Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops within IPM Programs, Springer, New York. 159—194.
- Naveed M, Salam A, Saleem MA, Sayyed AH, 2008. Effect of foliar applications of some insecticides on *Bemisia tabaci*, predators and parasitoids: implications in its management in Pakistan. *Phytoparasitica*, 36 (4) :377—387.
- Olsen KM, Daly JC, Holt HE, Finnegan EJ, 2005. Season-long variation in expression of *Cry1Ac* gene and efficacy of *Bacillus thuringiensis* toxin in transgenic cotton against *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.*, 98 (3) :1007—1017.
- Palumbo JC, Horowitz AR, Prabhaker N, 2001. Insecticidal control and resistance management of *Bemisia tabaci*. *Crop Prot.*, 20 (9) :739—765.
- Panwar VPS, 1995. Agricultural Insect Pests of Crops and Their Management. Kalyani Publishers, New Delhi. 87—97.
- Parimi S, Char BR, Goravale RK, Chaporkar CB, 2010. Insect tolerant cotton in India// Zehr UB (ed.). Cotton (Biotechnology in Agriculture and Forestry). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 95—111.
- Patil BC, Patil SB, Vdikeri SS, Khadi BM, 2003. Effect of imidacloprid seed treatment on growth, yield, seedling vigour and biophysical parameters in cotton (*Gossypium* spp.) genotypes. Proceedings of the World Cotton Research Conference 3, Cape Town, South Africa.

- PAU, 2002. Package of practices for crops of punjab-kharif. Punjab Agricultural University, Ludhiana, India.
- Prasad NVVSD, Krishna MSR, Naik CBV, 2009. Area wide implementation of insecticide resistance management strategies on Bt cotton—a case study in India. *J. Plant Prot. Res.*, 49 (2) :162—164.
- Qaim M, Zilberman D, 2003. Yield effects of genetically modified crops in developing countries. *Science*, 299 (5608) :900—902.
- Robbins JT, Snodgrass GL, Harris FA, 2000. A review of wild host plants and their management for control of the tarnished plant bug in cotton in the southern U. S. *Southw. Entomol.*, 23 (Suppl.) :21—25.
- Romeis J, Meissle M, Bigler F, 2006. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. *Nat. Biotechnol.*, 24 (1) :63—71.
- Ruberson JR, Williams LH III, 2000. Biological control of *Lygus* spp. : a component of areawide management. *Southw. Entomol.*, 23 (Suppl.) :96—100.
- Saeed S, Munir A, Mushtaq A, Kwon YJ, 2007. Insecticidal control of the mealybug *Phenacoccus gossypiphilous* (Hemiptera: Pseudococcidae), a new pest of cotton in Pakistan. *Entomol. Res.*, 37 (2) :76—80.
- Scott WP, Snodgrass GL, 2000. A review of chemical control of the tarnished plant bug in cotton. *Southw. Entomol.*, 23 (Suppl.) :67—81.
- Sharma HC, Pampapathy G, 2006. Influence of transgenic cotton on the relative abundance and damage by target and non-target insect pests under different protection regimes in India. *Crop Prot.*, 25 (8) :800—813.
- Sivasupramaniam S, Moar WJ, Ruschke LG, Osborn JA, Jiang C, Sebaugh JL, Brown GR, Shapley ZW, Oppenhuizen ME, Mullins JW, Greenplate JT, 2008. Toxicity and characterization of cotton expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac and Cry2Ab2 proteins for control of lepidopteran pests. *J. Econ. Entomol.*, 101 (2) :546—554.
- Snodgrass GL, Scott WP, Abel CA, Robbins JT, Gore J, Hardee DD, 2006. Suppression of tarnished plant bugs (Heteroptera: Miridae) in cotton by control of early season wild host plants with herbicides. *Environ. Entomol.*, 35 (5) :1417—1422.
- Solangi GS, Mahar GM, Oad FC, 2008. Presence and abundance of different insect predators against sucking insect pest of cotton. *J. Entomol.*, 5 (1) :31—37.
- Summers C, Goodell P, Mueller S, 2004. *Lygus* bug management by alfalfa harvest manipulation// Pimentel D (ed.). Encyclopedia of Pest Management. Boca Raton, FL: CRC Press. 322—325.
- Sundramurthy VT, Chitra K, 1992. Integrated pest management in cotton. *Ind. J. Plant Prot.*, 20 (1) :1—17.
- Tanwar RK, Jeyakumar P, Singh A, Jafri AA, Bambawale OM, 2011. Survey for cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) and its natural enemies. *J. Environ. Biol.*, 32 (3) :381—384.
- Thomas A, Chaudhary B, Singh J, Ramamurthy VV, 2008. Preliminary observations on the non-target insect communities in Bt cotton. *Ind. J. Entomol.*, 70 (4) :400—402.
- Tillman PG, 2006. Sorghum as a trap crop for *Nezara viridula* L. (Heteroptera: Pentatomidae) in cotton in the southern United States. *Environ. Entomol.*, 35 (3) :771—783.
- Tindall KV, Siebert MW, Leonard BR, All J, Haile FJ, 2009. Efficacy of Cry1Ac: Cry1F proteins in cotton leaf tissue against fall armyworm, beet armyworm, and soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.*, 102 (4) :1497—1505.
- Wan P, Zhang Y, Wu K, Huang M, 2005. Seasonal expression profiles of insecticidal protein and control efficacy against *Helicoverpa armigera* for Bt Cotton in the Yangtze River Valley of China. *J. Econ. Entomol.*, 98 (1) :195—201.
- Wilson L, Hickman M, Deutscher S, 2006. Research update on IPM and secondary pests. In Proceedings of the 13th Australian Cotton Conference; ACGRA: Gold Coast, Australia. 249—258.
- Wilson L, Mensah R, Dillon M, Wade M, Scholz B, Murray D, Heimoana V, Lloyd R, 2002. Impact of insecticides and miticides on predators in cotton// Australian Cotton Cooperative Research Centre, IPM Guidelines Supporting Document 1, Narrabri, NSW, Australia.
- Wilson LJ, Bauer LR, Lally DA, 1998. Effect of early season insecticide use on predators and outbreaks of spider mites (Acari: Tetranychidae) in cotton. *Bull. Entomol. Res.*, 88 (4) :477—488.
- Wu KM, Guo YY, 2005. The evolution of cotton pest management practices in China. *Annu. Rev. Entomol.*, 50 :31—52.
- 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.
- Yu HL, Li YH, Wu KM, 2011. Risk assessment and ecological effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* crops

- on non-target organisms. *J. Integr. Plant Biol.*, 53 (7): 520—538.
- 郭荣, 2005. 对棉花生产构成严重威胁的病害——棉花曲叶病毒病. 中国植保导刊, 2:46—47.
- 何自福, 董迪, 李世访, 余小漫, 罗方芳, 2010. 木尔坦棉花曲叶病毒已对我国棉花生产构成严重威胁. 植物保护, 36(2):147—149.
- 林克剑, 吴孔明, 张永军, 郭予元, 2006. 利用诱集寄主苘麻防治 B 型烟粉虱的研究. 中国农业科学, 39(7): 1379—1386.
- 刘晨曦, 吴孔明, 2011. 转基因棉花的研发现状与发展策略. 植物保护, 37(6):11—17.
- 陆宴辉, 吴孔明, 姜玉英, 夏冰, 2010. 棉花盲蝽的发生趋势与防控对策. 植物保护, 36(2):150—153.
- 毛树春, 2011. 中国棉花景气报告 2010. 北京: 中国农业出版社. 1—302.
- 全亚娟, 2008. 棉田盲蝽捕食性天敌种群动态及几种天敌控制作用评价. 硕士学位论文. 北京: 中国农业大学.
- 全亚娟, 吴孔明, 陆宴辉, 高希武, 2010. 白僵菌对盲蝽的致病性. 植物保护学报, 37(2):172—176.
- 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.
- 吴孔明, 郭予元, 2000. 我国 20 世纪棉花害虫研究的主要成就及进展. 昆虫知识, 37(1):45—49.
- 武三安, 张润志, 2009. 威胁棉花生产的外来入侵新害虫——扶桑绵粉蚧. 昆虫知识, 46(1):159—162.
- 张润志, 梁宏斌, 田长彦, 张广学, 1999. 利用棉田边缘苜蓿带控制棉蚜的生物学机理. 科学通报, 44(20): 2175—2178.