应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(2):247—253

小菜蛾专栏

小菜蛾抗性治理及可持续防控技术研究与示范*

——公益性行业(农业)科研专项"小菜蛾可持续防控技术研究与示范"进展

冯 夏[1**] 李振宇[1] 吴青君[2] 谌爱东[3] 吴益东[4] 侯有明[5] 何余容[6]
李建洪[7] 谢圣华[8] 章金明[9] 符 伟[10] 马春森[11]

(1. 广东省农业科学院植物保护研究所 广州 510640;2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081;
3. 云南省农业科学院农业环境资源研究所 昆明 650205;4. 南京农业大学植物保护学院 南京 210095;
5. 福建农林大学植物保护学院 农业部亚热带农业生物灾害与治理重点开放实验室 福州 350002;
6. 华南农业大学资源环境学院 广州 510640;7. 华中农业大学植物科学技术学院 武汉 430070;
8. 海南省农业科学院农业环境与植物保护研究所 海口 571100;
9. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所 杭州 310000;10. 湖南省植物保护研究所 长沙 410125;
11. 中国农业科学院植物保护研究所 北京 100193)

摘 要 针对我国小菜蛾 *Plutella xylostella*(L.)严重为害及高抗药性的现状,在华南、华中、华东、华北和西南等具代表性地区开展小菜蛾灾变规律、抗性监测及治理、越冬迁飞、抗性机理及可持续防控技术研究集成与示范。灾变规律研究结果表明,我国各地小菜蛾的年发生世代从北至南呈逐渐增加趋势,各地小菜蛾发生起始峰时间从南至北逐渐向后推移,每年不同区域有一至两个发生高峰,年度间受温度和降水等气候因素、天敌等生物因子以及耕作制度等人为操作等多种因素的影响。抗性监测及治理研究显示,全国5个十字花科蔬菜主产区小菜蛾对11种代表性杀虫剂都有较强的抗药性,不同药剂在全国的抗药性水平有很大差异,在华南、西南和华东十字花科蔬菜主产区抗性水平相对较高,华中和华北呈现抗性上升趋势,并根据抗性监测结果制定区域性抗性治理策略。越冬和迁飞研究证明,武汉至驻马店区域为小菜蛾的越冬北限,小菜蛾存在远距离迁移的特性,并确定小菜蛾有迁入迁出和迁入定殖两种迁飞模式。抗性机理研究结果表明,小菜蛾对Bt制剂、阿维菌素、氟虫腈、茚虫威和丁醚脲的抗性遗传方式不同,各药剂交互抗性普也存在差异。可持续防控技术方面,制定了适合各区域的小菜蛾可持续防控技术体系,并在华南、华东、华北、华中和西南等地区建立了45个示范基地,依区域不同分别示范推广具区域特色的以农业措施、生物防治、生态调控和合理用药为主的可持续防控等技术,累计印刷技术宣传手册16万份,培训各类农民和基层农技人员5.19万人次,累计示范面积近4万公顷,带动技术示范近20万公顷,取得了显著的经济、社会和生态效益。

关键词 小菜蛾,抗性监测,抗性治理,抗性机理,可持续控制,示范推广

Research progress of the resistance management and sustainable control of diamondback moth (*Plutella xylostella*) in China

FENG Xia[1**] LI Zhen-Yu[1] WU Qing-Jun[2] CHEN Ai-Dong[3] WU Yi-Dong[4]
HOU You-Ming[5] HE Yu-Rong[6] LI Jian-Hong[7] XIE Sheng-Hua[8]
ZHANG Jin-Ming[9] FU Wei[10] MA Chun-Sen[11]

(1. Institute of Plant Protection, Guangdong Academy of Agricultural Sciences; Guangzhou 510640, China; 2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences; Beijing, 100081, China; 3. Institute of Agricultural Environment and Resource, Yunnan Academy of Agricultural Sciences; Kunming 650205, China; 4. College of Plant Protection,

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200803001)。

**项目首席专家,E-mail: fengx@gdppri.com

收稿日期:2011-01-28,接受日期:2011-02-12

Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 5. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Key Laboratory of Subtropical Agro-Biological Disasters and Management, Ministry of Agriculture, Fuzhou, 350002, China; 6. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 7. College of Plant Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, 430070, China; 8. Institute of Agricultural Environment and Plant Protection, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, China; 9. Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 10. Hunan Plant Protection Institute, Changsha 410125, China; 11. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract Resistance monitoring, resistance management, over-wintering, migration, resistance mechanism and sustainable control of diamondback moths were investigated in South, Southeast, North, Southwest and Central China. The results indicate that generations of diamondback are increasing from north to south. Populations have one to two peaks each year and these occur later in the north than in the south. Populations are affected by temperature, rain and natural enemies. The results of resistance monitoring and management show that resistance to 11 insecticides is high but also varies markedly between different locations. Resistance was high in the South, Southwest and Southeast, and is increasing in Central and Northern regions. These results were used to develop a strategy for resistance management. Data on over-wintering and migration illustrate that there is a limitation on over wintering from Wuhan to Zhumadian. Diamondback moths have two kinds of migration. One is "move in and move out" and the other is "move in and settle down". The resistance mechanisms to Bt, abamection, Chlorfenapyr, indoxacarb and diafenthiuron have a heterogeneous genetic basis. Suggestions for methods and strategies of diamondback moth integrated management are made with regard to different regional conditions. Forty-five sites in the South, North, Centre, Southeast and Southwest have been established for demonstration of technologies for diamondback moth integrated management. During these demonstrations, more than 160 000 technical handbooks were delivered, and 51 900 farmers and agricultural technicians trained on a total of 24 000 hectares of farms and orchards. Obvious economic, ecological and social benefits followed.

Key words diamondback moth, resistance detection, resistance mechanism, resistance management, sustainable control, demonstration

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 属鳞翅目(Lepidoptera)菜蛾科(Plutellidae),寄主多达 40 种以上,是世界性的十字花科蔬菜重要害虫之一。1954 年,小菜蛾在地中海地区首先发生(Harcourt, 1954),目前在亚洲、欧洲、美洲、非洲、大洋州等均已广泛分布,已成为世界范围内十字花科作物生产的重大障碍。小菜蛾在我国各地均有分布,但以南方各省广大蔬菜产区和西部油菜产区发生较为严重,在北方也呈上升趋势。小菜蛾主要以幼虫在十字花科作物的整个生育期危害叶片,大大降低了十字花科作物的品质和产量,据统计,小菜蛾为害较轻年份蔬菜损失为 10% ~20%,一般约为 30% ~50%,严重时可减产 90% 以上,甚至绝收(Chin *et al.*,1990)。

Ankersmith(1953)首次抗性报道印度尼西亚爪哇岛小菜蛾对 DDT 产生 7 倍抗性,随后世界范围内均有小菜蛾抗性的报道。菲律宾(Barroga, 1974)、澳大利亚(Altman, 1988)、美国夏威夷(Tabashnik *et al.*, 1987;1992)、马来西亚(Syed, 1992)、日本(Hama,1992)、北美洲(Shelton *et al.*, 1993)、泰国(Kuwahara *et al.*,1995)等国家和地区先后报道小菜蛾对多种药剂产生了不同程度的抗药性。Cheng 等(1992)和唐振华等(1992)报道我国小菜蛾产生抗药性。目前小菜蛾对有机氯、有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯和酰基脲类以及生物制剂(Bt)等均产生不同程度的抗药性(Tabashnick *et al.*, 1990; Talekar and Shelton, 1993),其中对拟除虫菊酯类药剂的抗性水平已超过万倍(Hama,1987;周成理等,1993)。目前对小菜蛾的防治仍以化学防治为主,化学农药的大量连续使用,使小菜蛾始终处在较强的药剂选择压下,又加上其繁殖快,导致其对药剂的抗性水平越来越高,现已成为抗药性最严重的和最难防治的害虫之一(梁沛等,2001;刘学东等,2005),目前我国小菜蛾已经对 90% 以上的药剂产生了抗性,综合治理形势非常严峻。

过去 20 年里,广东、北京、南京等地的昆虫学者对小菜蛾的发生规律、抗药性、分子遗传机制及

防控技术等方面开展较多研究,形成一些单项技术成果,在农业防治、化学防治、物理防治和生物防治等方面有了一定技术储备,但尚缺乏系统全面的推广应用。随着我国蔬菜和油料作物产量需求的提高,种植结构不断改变,加上气候变化等因素,迫切需要研究适合新形势下新技术,建立相应的适合各区域特点的技术集成模式,大面积推广应用。2008 年 9 月,“小菜蛾可持续防控技术研究与示范”公益性行业(农业)科研专项获得农业部立项,由广东省农业科学院植物保护研究所、中国农业科学院蔬菜花卉研究所、南京农业大学、云南农业科学院等 10 家单位 110 多名专家学者和研究生组成的攻关团队,在我国小菜蛾抗药性监测网及预警信息技术、小菜蛾的发生特点和灾变规律、越冬特性和迁飞路径、抗性机理、成虫诱捕杀技术等方面做了大量系统研究,并组建了以农业措施、生物防治、生态调控和合理用药为主的 4 套具有区域特色的小菜蛾可持续防控技术体系,在华南、华中、华北、华东和西南全国 5 个区域开展了技术示范推广工作,现将取得的主要进展做一简单介绍。

1　我国小菜蛾区域性灾变规律

在我国华南、华北、华东、华中、西南 5 个地区,设置 14 个具代表性地点系统研究小菜蛾发生特点及灾变规律。结果表明,我国各地小菜蛾的年发生世代从北至南呈逐渐增加趋势,东北地区最少,年发生 2 ~ 3 代,华南地区广东和海南的发生世代可超过 20 代。各地小菜蛾发生起始峰时间从南至北逐渐向后推移,海南地区始峰最早,在 2 ~ 3 月份,东北地区最迟,在 6 ~ 7 月份。每年不同区域有一至两个发生高峰,通常北方地区春季高峰期显著高于秋季,南方地区春秋两季峰值基本相当。

不同年度间小菜蛾种群动态存在差异,主要受温度和降水等气候因素、天敌等生物因子以及耕作制度等人为操作等多种因素的影响。2010 年小菜蛾的发生明显区别于往年,表现为发生量显著偏低、卵的孵化率低、起始峰延后、只有一个为害高峰、发生终止期提前等特点。温度影响方面,早春低温和夏季高温是影响小菜蛾种群动态的主要限制因素,2010 年度全国小菜蛾的发生量明显偏低,主要受到早春低温的影响,导致春季小菜蛾初始种群量偏低。降水影响方面,雨日多,降雨量大,对小菜蛾的发生具有显著的抑制作用。天敌影响方面,小菜蛾的天敌种类非常多,田间调查发现,小菜蛾的寄生性天敌半闭弯尾姬蜂 *Diadegma semiclausum*、捕食性天敌叉角厉蝽 *Cantheonidea furcellata* (Wolff) 和草间小黑蛛 *Erigonidium graminicola* (Sundvall) 等优势天敌联合作用,对小菜蛾种群起着重要的控制作用。耕作制度方面,夏季休耕和轮作水稻、玉米、葱等耕作制度的改变,有效减少了小菜蛾田间虫源基数,在华南地区的供港蔬菜基地,夏季休耕或轮作水稻等非十字花科蔬菜对小菜蛾的防控作用明显。

2　我国各区域小菜蛾抗性现状

2.1　小菜蛾抗性监测网及抗性现状

在全国华南、华中、华东、华北及西南 5 个十字花科蔬菜主产区,使用了 11 种药剂(表 1),设置 34 个小菜蛾抗性长期监测点,统一抗性监测方法,系统监测小菜蛾对 11 种代表性杀虫剂的抗性。结果表明,全国各菜区的小菜蛾都有较强的抗药性,不同药剂在全国的抗药性水平有很大差异,在华南、西南和华东十字花科蔬菜主产区抗性水平相对较高,其中海南儋州的小菜蛾抗性水平最高,其次是云南通海、广东广州和东升供港菜场、江西信封、海南三亚、广东惠州、云南弥渡等地区的小菜蛾抗性水平极高,抗药谱广,这与小菜蛾的种群数量及用药频率相关。随着十字花科蔬菜大规模种植的北移,小菜蛾发生危害逐渐加重,部分药剂相继在华中和华北呈现抗性上升,其抗性形势亦不容忽视。

从各年度抗性水平来看,2008 年秋云南通海地区的小菜蛾抗性最强,广东广州地区小菜蛾的抗性其次,南京地区的小菜蛾抗性相对最弱。2009 年春季海南儋州的小菜蛾抗药性最强,云南通海的小菜蛾抗性水平有所下降,广东广州的小菜蛾抗性水平依然较高,与 2008 年秋相比,仅对虫酰肼的抗性水平有所下降。2009 年秋海南儋州的抗性最强,整体而言除海南(儋州)、广东(广州)、浙江(杭州)等监测点的抗性较强外,其余各点的抗性水平有所缓解。2010 年春季海南(儋州)的小菜蛾抗性仍然最强,江西(信封)的小菜蛾抗性水平有所上升,广东(广州)、福建(福州)、安徽(合肥)等监测点的抗性压力进一步缓解,这可

表 1 小菜蛾抗性监测使用的 11 种药剂

Table 1 Insecticides for the resistance monitor of diamondback moth

中文通用名 Chinese common name	商品名 Trade name	英文通用名 English common name	作用靶标 Targets
1. 高效氯氰菊酯	*	Alpha-cypermethrin	调节钠离子通道
2. 多杀菌素	菜喜	Spinosad	aAChR 激动剂
3. 氟虫腈	锐劲特	Fipronil	GABA 门控氯离子通道拮抗剂
4. 茚虫威	安打	Indoxacarb	钠离子通道
5. 阿维菌素	*	Abamection	激活氯离子通道
6. 啶虫隆	抑太保	Chlorfluazuron	抑制几丁质合成
7. 丁醚脲	Polo	Diafenthiuron	抑制氧化磷酸化
8. 虫酰肼	米满	Tebufenozide	促进脱皮
9. 溴虫腈	除尽	Chlorfenapyr	氧化磷酸化解偶联剂
10. 巴丹	*	Cartap	nAChR 激动剂/拮抗剂
11. Bt 制剂及毒素	*	Cry1Ac	中肠 BBMV 受体

能与 2010 年春全国性气温较低，大部分地区干旱，小菜蛾总体发生较轻而较少用药有关。

2.2 小菜蛾发生动态与抗性监测预警信息平台的构建

基于以上全国小菜蛾抗性监测网，构建了全国小菜蛾发生动态与抗性监测预警信息平台(http://www.dbmcn.org)。登陆平台后可获得小菜蛾生物学、生态学、发生规律和防治技术等知识及行业专项研究进展、通知公告、最新动态、抗性监测结果、全国小菜蛾抗性分布及抗性程度等信息数据。

3 小菜蛾的越冬与迁飞

越冬方面，室内小菜蛾过冷却点测定结果表明，过冷却点随着虫龄的增大而提高，蛹期过冷却点最低，说明蛹的抗寒能力最强，结冰点与过冷却点变化趋势一致。综合 2008 年和 2009 年越冬研究，结果表明：武汉至驻马店区域为小菜蛾的越冬北限。

迁飞方面，10 个地理种群小菜蛾遗传分化分析结果表明，我国小菜蛾遗传分化程度比较低，基因交流频繁，可能存在远距离迁移的特性，并确定小菜蛾有迁入迁出和迁入定殖两种迁飞模式。2009 年 5 月 21 日—24 日小菜蛾大规模迁飞，此期间武汉、合肥、驻马店、安阳、北京、公主岭、沈阳、哈尔滨 8 个地区天气情况为晴朗或多云且温度较高的天气，风力、风向基本一致，上述 8 个地区小菜蛾成虫的诱集数量均在 5 月 21—23 日先后达到高峰，可判断小菜蛾的迁飞路径为华中－华北－东北。

4 小菜蛾抗性机理研究

4.1 小菜蛾对 Bt 抗性遗传及机理

小菜蛾对 Cry1Ac 抗性遗传为不完全隐性遗传，Cry1Ac 抗性种群对 Cry1Aa、Cry1Ab、Cry1F 具有交互抗性，而对 Cry2Ab、Cry1B、Cry1C 没有交互抗性。机理方面，Bt 毒素和受体结合下降是小菜蛾对 Bt 制剂的主要抗性机理；快速检测方面，采用 AFLP 标记，设计特异引物对小菜蛾进行 Bt 抗性的早期检测。

4.2 小菜蛾对阿维菌素抗性遗传及机理

小菜蛾对阿维菌素抗性遗传方式为常染色体、不完全显性遗传。小菜蛾对阿维菌素高抗品系对甲维盐具有极高水平的交互抗性，对多杀菌素和氟虫腈均具有 10 倍的低水平交互抗性，而对茚虫威、氰氟虫腙、虫螨腈、Bt Cry1Ac、虫酰肼、定虫隆和高效氯氰菊酯等药剂不具有交互抗性。机理方面，多功能氧化酶活性增强是小菜蛾对阿维菌素产生抗性的机理之一，深入研究主要靶标 GluCl 受体，成功地克隆到小菜蛾谷氨酸受体 GluClα 亚基基因 cDNA 全序列，荧光定量分析表明，该基因的过量表达有可能在小菜蛾对阿维菌素抗性中起重要作用。

4.3 小菜蛾对氟虫腈抗性机理研究

小菜蛾对氟虫腈抗性的遗传方式为常染色体遗传、为不完全显性遗传。抗氟虫腈小菜蛾品系对阿维菌素、多杀菌素、杀虫单、茚虫威、虫螨腈、Metaflumizone、氯氰菊酯和毒死蜱等杀虫剂间无交互抗性。小菜蛾 PxRdl 基因突变的分子检测结果表明,小菜蛾对氟虫腈的抗性与 PxRdl 基因的 A302S 突变部分相关,PxRdl 基因其他突变或其他类型 Rdl 亚基的基因突变可能与氟虫腈抗性有关。

4.4　小菜蛾对茚虫威和丁醚脲抗性生化机理研究

小菜蛾对丁醚脲抗性机理研究表明,小菜蛾对丁醚脲的抗性与多功能氧化酶和谷胱甘肽-S-转移酶(GST)有关;而羧酸酯酶的活力没有显著差异,不存在明显相关性。小菜蛾对茚虫威抗性机理研究表明,小菜蛾对茚虫威产生的抗性与谷胱甘肽-S-转移酶和多功能氧化酶无关。

5　小菜蛾可持续防控技术研究

5.1　农业防治技术

合理的耕作制度可以降低小菜蛾的田间种群基数,对其发生危害起到有效的防控作用。比较十字花科蔬菜连作、轮作水稻和夏季休耕三种耕作方式菜场中发生动态表明,连作菜场尽管使用大量农药对小菜蛾进行化学防治,但小菜蛾发生量仍比轮作水稻和夏季休耕的高,而轮作水稻和夏季休耕两种耕作方式的菜田由于在夏季切断了小菜蛾的寄主,有效降低了秋季两造菜田中小菜蛾的发生基数,明显控制了小菜蛾的种群数量,抑制了其对十字花科蔬菜的危害。

5.2　生态调控技术

系统研究了全程蔬菜生产中小菜蛾生态控制技术,探索改善农业栽培技术、调节生物群落结构组成、促进天敌的自然控制作用、开发和利用异源植物次生化合物对害虫的显著忌避作用等,结果表明间作套种可以明显提高菜田物种多样性,增加物种丰富度,特别是提高捕食性天敌的个体数量,在制定生境治理措施的过程中,应选择最适宜的植物种类,避免不同作物的间作套种为主要害虫的转移为害提供条件;生境的空间布局包括作物田块之间位置、形状、间距的设置,对捕食者/寄生者避难所的布局,田埂杂草在某些阶段可为天敌提供丰富的替代食物,成为在使用农药时的避难所,作物换茬时期的过渡生境等。在国内外首次组建了蔬菜主要害虫生态控制系统,该系统对于实施蔬菜害虫持续控制起到了重要的技术保障和支撑。

5.3　生物防治技术

监测和评估 11 种不同类型农药对田间草间小黑蛛、赤眼蜂和半闭弯尾姬蜂的安全性,完成寄生性天敌半闭弯尾姬蜂 *Diadegma semiclausum* 的工厂化繁育、田间定殖、增殖及其配套技术,并在田间推广应用;研究了捕食性天敌叉角厉蝽的生物学特性及利用斜纹夜蛾幼虫进行繁殖的方法和草间小黑蛛捕食 1 头小菜蛾所需时间,为捕食性天敌的大量繁殖和田间释放提供了技术支持。虫生真菌研究与利用方面,共收集虫生真菌菌株 143 株,并利用其中的 11 株对小菜蛾进行了生物测试。

5.4　小菜蛾成虫诱、捕杀技术

小菜蛾诱杀新技术研究方面,项目组成功研制翼型诱捕器,并根据监测用途和防治用途制定田间使用技术。同时比较 6 种商业化性诱剂产品在不同区域应用效果发现,不同区域小菜蛾对相同性诱剂反应不同,从而揭示了性诱剂在不同区域应用效果存在差异的原因,为性诱剂的进一步推广应用打下基础。

小菜蛾成虫电击式捕杀新技术研究方面,利用小菜蛾成虫具有跳跃式飞行、较强趋光性等生物学特性,创新研制出小菜蛾成虫电击捕杀装置,并建立相应配套应用技术。与传统技术相比,该装置具有操作方便、高效和无污染的技术效果,适用于规范化蔬菜基地使用。

5.5　合理用药技术

根据各抗性监测点的监测结果,制定适合各区域的小菜蛾抗性治理策略。以广东 2008 年抗性监测结果为例,项目制定了适合广东地区十字花科蔬菜基地小菜蛾抗性治理策略如下:1—4 月:轮换使用多杀菌素、丁醚脲、巴丹、氰氟虫腙和 Bt 制剂等药剂;5—9 月:休耕或轮作水稻、玉米、通心菜、葱、蒜、瓜、豆等非十字花科作物;10—12 月:轮换使用茚虫威、氟虫腈、溴虫腈、氰氟虫腙和氯虫苯甲酰胺等药剂,注意合理轮换,延缓其抗性产生。

6 小菜蛾可持续治理技术体系集成与示范推广

在我国华南、华东、华中、华北、西南十字花科蔬菜主产区 11 个省区建立 5 个“小菜蛾可持续防控技术”核心示范区，依区域不同分别示范具区域特色的以农业措施、生物防治、生态调控和合理用药为主的可持续防控等技术。在技术示范、推广应用中，根据当地生产示范需要对示范基地进行部分农药等生产资料补贴，积极开展多种形式的技术指导、培训、咨询与宣传活动，通过举办技术培训班、制作 DVD、派发技术资料与现场咨询指导等多种形式培训农民，使基点内农民基本掌握小菜蛾可持续防控技术，以点带面进一步扩大示范区的辐射面，提高当地农民小菜蛾防控及植保技术水平。3 年核心示范面积 5 700 公顷，辐射示范面积 3.28 万公顷，带动示范面积 19.75 万公顷，新增经济效益 32 984.6 万元，取得了显著的效益，很好地解决了蔬菜生产中害虫猖獗为害问题，提高了我国蔬菜生产的科技含量，进一步提高无公害蔬菜生产的技术水平，确保我国蔬菜生产的持续、健康、稳定发展，社会生态效益显著。

7 项目成果与展望

项目开展以来，研究团队积极投入到小菜蛾可持续防控技术的研发与示范中去，先后制定了 11 项技术规程，申报专利 8 项；发表科研论文 55 篇，其中 SCI 论文 4 篇；参编专著 1 部。借助于科研专项搭建的平台，组建了一支具有创新意识、攻坚能力强、注重团队协作精神的研究队伍，已培养高级职称人员 10 名，中级职称人员 7 名，博士研究生 7 名，硕士研究生 25 名。3 年累计培训了基层技术人员和农户共计 51 859 人次，发放技术宣传资料 16 万份，累计示范面积近 4 万公顷，技术辐射近 20 万公顷，经济、社会和生态效益显著。

小菜蛾抗性治理是一项长期、系统的工作。本专项已确定滚动，在未来的 5 年中，专项将利用前期开展的小菜蛾持续控制和抗性治理方面的工作基础，继续开展全球变暖条件下进行小菜蛾灾变规律和抗药性监测、抗性机理研究，进一步改进和完善单项技术集成和配套技术体系构建等途径，开展十字花科小菜蛾综合治理配套技术体系研究与示范应用推广，以华北、华中、华南、华东、西北和西南 6 大区域为重点区域，将形成的小菜蛾综合治理技术有重点的进行大面积示范推广应用，达到长期、持续、有效的控制小菜蛾的目的。

参考文献(References)

Altmann JA, 1988. An investigation of resistance in cabbage moth (*Plutella xylostella* L.) to pyrethroids in the Lockyer Valley. PhD thesis. Qreensland Agric College, Laws, Australia.

Ankersmith GP, 1953. DDT-resistance in *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lep.) in Java. *Bull. Entomol. Res.*, 44: 421.

Barroga SF, 1974. A survey of diamondback moth population for resistance to the insecticides in the Philippines. MS, Univ. Philippines at Los Banos, Philippines. 117.

Cheng EY, Kao CH, Chiu CS, 1992. Resistance, cross-resistance and chemical control of diamondback moth in Taiwan: resent development // Talker NS (ed.). Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests. Proceedings of the Second International Workshop. 465—475.

Chin H, Othman Y, Ooi PAC, 1990. The diamondback moth problim in Malaysia // Management of *Plutella xylostella* in Malaysia: Problem and Prospects. MARDI. Kuala, Lumpur. 26.

Hama H, 1987. Development of pyrethroid resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomertidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 22:166—175.

Hama H, 1992. Insecticide resistance characteristic of the diamondback moth // Talekared NS (ed.). Manangement of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests. Proceedings of the Second International Workshop. 455—463.

Harcourt DG, 1954. The biology and ecology of the diamondback moth *Plutella maculipennis*, Curtis, in Eastern Ontari. PhD thesis. Cornell Univ. N Y Ithata. 107.

Kuwahara M, Keinmeesuke P, Sinchaisri N, 1995. Present status of resistance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L., to insecticide in Thailand. *Appl. Entomol. Zool.*, 30(4):557—566.

梁沛，高希武，郑炳宗，戴洪波，2001. 小菜蛾对阿维菌素的抗性机制及交互抗性研究. 农药学学报，3(1):41—45.

刘学东，徐敦明，魏辉，2005. 泉州地区小菜蛾对三氟氯氰菊酯和阿维菌素的抗性监测. 华东昆虫学报，14(1):69—71.

Shleton AM, Wyman JA, Cushing NL, Apfelbeck K, Dennehy TJ, Mahr SER, Eigenbrode SD, 1993. Insecticide resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in North America. *J. Econ. Entomol.*, 86(1):11—19.

Syed AR, 1992. Insecticide resistance in diamondback moth in Malaysia // Talekared NS (ed.). Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests. Proceedings of the Second International Workshop. 437—442.

Tabashnick BE, Cushing NL, Finson N, Johnson MW, 1990. Field development of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.*, 83: 1671—1676.

Tabashnik BE, Cushing NL, Johnson MW, 1987. Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to in secticides in Hawaii: intraisland variation and cross-resistance. *J. Econ. Entomol.*, 80:1091—1099.

Tabashnik BE, Schwartz JM, Finson N, Johnson MW, 1992. Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.*, 85(4):1046—1055.

Talekar NS, Shelton AM, 1993. Biology, ecology and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.*, 38: 275—301.

唐振华,周成理,吴世昌,郑惠中,沈惠良,顾言真, 1992. **上海地区小菜蛾的抗药性及增效剂的作用**. **植物保护学报**,19(2):179—185.

周成理,唐振华,张丽妹, 1993. **小菜蛾幼虫对拟除虫菊酯类杀虫剂的抗药性与多功能氧化酶的关系**. **植物保护学报**,20(1):91— 95.