

甜菜夜蛾专栏

甜菜夜蛾防控技术与示范^{*}

——公益性行业(农业)科研专项“甜菜夜蛾防控技术研究 研究与示范”研究进展

司升云^{1**} 周利琳¹ 王少丽² 江幸福³ 许再福⁴ 慕卫⁵
王冬生⁶ 王小平⁷ 陈浩涛⁸ 杨亦桦⁹ 吉训聪¹⁰

(1. 武汉市蔬菜科学研究所 武汉 430065; 2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081;
3. 中国农业科学院植物保护研究所 北京 100193; 4. 华南农业大学资源环境学院 广州 510642;
5. 山东农业大学植物保护学院 泰安 271018; 6. 上海市农业科学院生态环境保护研究所 上海 201106;
7. 华中农业大学植物科学技术学院 武汉 430070; 8. 湖南省植物保护研究所 长沙 410125;
9. 南京农业大学植物保护学院 南京 210095; 10. 海南省农业科学院农业环境与植物保护研究所 海口 571100)

摘 要 针对当前我国蔬菜生产中甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 高抗药性、猖獗为害、防控困难的现状,项目组对甜菜夜蛾的发生规律、越冬与迁飞、抗药性、生物防治与综合防控等进行了系统的研究。明确了甜菜夜蛾在我国各地的发生规律及发生动态,从南到北发生时间呈楔形,而发生量总体东高西低,从南到北呈中部高南北低的马鞍形。阐述了甜菜夜蛾“无卵期发生-飞行拮抗”的迁飞特性,提出了接力棒式季节性南北往返迁飞模式,初步阐明了甜菜夜蛾在我国东部地区的迁飞路线与迁飞时间。提出并认证了甜菜夜蛾在我国的越冬区域。明确了全国各主要发生区甜菜夜蛾对 10 种杀虫剂的抗药性水平,探明了甜菜夜蛾对茚虫威、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的抗性风险、交互抗性、种群适合度、抗性遗传规律和抗性机理,提出了抗药性治理措施。分别在海南、湖南、湖北、上海、天津等地进行了甜菜夜蛾田间药效试验,筛选出环境友好型高效杀虫剂 7 种。掌握了马尼拉陡胸茧蜂、夜蛾黑卵蜂和淡足侧沟茧蜂人工大量繁殖技术,改进了甜菜夜蛾核型多角体病毒生产工艺,解决了寄生蜂和病毒规模化生产及田间释放关键技术,达到规模化生产的要求。改进优化了甜菜夜蛾性引诱剂配方、研发出新型诱捕装置,并投入生产应用。集成出 4 套农业生产轻简化实用技术,华南、华中、华北、华东地区根据当地发生特点制定了 4 套防控方案。在全国甜菜夜蛾主要发生区建立试验基地 16 个,核心示范基地 29 个,年示范面积总计约 3 800 hm²,取得显著的经济、社会和生态效益。

关键词 甜菜夜蛾, 发生, 越冬, 迁飞, 抗药性, 生物防治, 综合防治, 示范

Progress in research on prevention and control of beet armyworm, *Spodoptera exigua* in China

SI Sheng-Yun^{1**} ZHOU Li-Lin¹ WANG Shao-Li² JIANG Xing-Fu³ XU Zai-Fu⁴ MU Wei⁵
WANG Dong-Sheng⁶ WANG Xiao-Ping⁷ CHEN Hao-Tao⁸ YANG Yi-Hua⁹ JI Xun-Cong¹⁰

(1. Wuhan Institute of Vegetables Science, Wuhan 430065, China; 2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 5. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 6. Institute of Eco-Environment and Plant Protection, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201106, China; 7. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 8. Hunan Plant Protection Institute, Changsha 410125, China; 9. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

^{*} 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200803007)。

^{**}项目首席专家, E-mail: sishengyun@126.com

收稿日期:2011-12-23, 接受日期:2012-01-10

10. Institute of Agricultural Environment and Plant Protection, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, China)

Abstract The beet armyworm (BAW), *Spodoptera exigua* (Hübner), is a rampant pest in intensive vegetable cultivation in China, with high resistance to control methods. The occurrence, over-wintering, migration, resistance, biological control and integrated pest management (IPM) of this species were systematically studied. The results indicate that the period of occurrence forms a wedge shape from south to north. The population sizes attained form a saddle-shape, with higher populations in central China and lower populations in the south and north. We used flight mills to investigate the interaction between flight and reproduction in this species given the apparent absence of the oogenesis-flight syndrome. We showed that the migration of BAW is of relay-type and moves seasonally from north to south and we made a preliminary clarification of the route and timing of BAW in East China. The over-wintering areas of BAW were predicted and identified nationally. We clarified levels of resistance to ten insecticides in major occurrence areas and measured resistance risk, cross-resistance, population fitness, resistance inheritance, resistance mechanisms and resistance management of BAW to indoxacarb and emamectin benzoate. The effectiveness of seven efficient and environmentally friendly pesticides were screened in field trials in Hainan, Hunan, Hubei, Shanghai and Tianjin, achieving significant results. We successfully developed artificial propagation techniques for *Snellenius manilae* (Ashmead), *Telenomus remus* Nixon and *Microplitis pallidipes* Szépligeti, and improved the production process for *S. exigua* nuclear polyhedrosis virus (SeNPV), solving key technological problems to achieve the large-scale production and field emancipation of these parasitoids and SeNPV. The formula of a sex attractant for BAW has been optimized and a new trapping device invented and these are now available on the market. We integrated four simple and practical technologies and developed prevention and control programs to suit the different characteristics of each of South, North, Central and East China. During project implementation, sixteen test and twenty-nine core model bases have been established in areas of major occurrence and about 3 800 hm² per year treated for demonstration. Obvious economic, ecological and social benefits have followed.

Key words *Spodoptera exigua*, occurrence, overwintering, migration, resistance, biological control, integrated pest management, demonstration

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 属鳞翅目夜蛾科, 是一种世界性分布的多食性重要农业害虫, 从北纬 40°~57°到南纬 35°~40°均有分布, 在亚洲、北美洲、欧洲、澳洲及非洲均有为害记录(刘永杰等, 2002), 主要危害蔬菜、棉花、花生、烟草、玉米、大豆等 35 科 108 属 138 种作物, 尤以蔬菜受害最重。20 世纪 80 年代以前, 甜菜夜蛾仅在我国局部地区发生, 目前已在我国 20 多个省、市、自治区发生为害, 区域覆盖华南、华东、华中、华北、西南及西北等地, 最北端已达辽宁省沈阳市(江幸福和罗礼智, 2010)。1979—2008 年间, 我国甜菜夜蛾暴发频率呈现波浪式上升趋势, 其暴发指数平均年递增率为 0.076(文礼章和张友军, 2010)。继 1997 年甜菜夜蛾在河南、河北、山东、安徽大发生之后, 又于 1999 年在黄淮、江淮流域再度猖獗成灾, 其发生面积之大, 虫口密度之高, 损失之惨重, 均为历史罕见(罗礼智等, 2000)。由于其危害严重, 迫使防治时大量使用化学农药, 导致抗药性发展迅速, 目前已对有机磷类、拟除虫菊酯类、氨基甲酸酯类等多类昆虫生长调节剂类杀

虫剂产生了较高水平的抗药性(朱树勋等, 1996; 王开运等, 2001; 刘永杰和沈晋良, 2002; 兰亦全等, 2005; 贾变桃等, 2006; 龙丽萍等, 2006; 袁永达等, 2006; 司升云等, 2009), 严重威胁农产品生产安全、质量安全以及生态安全。

自 1986 年甜菜夜蛾在我国暴发以来, 由于缺乏国家级层面的科研立项支持, 防控技术的研究基础和技术储备十分薄弱。2008 年 9 月, “甜菜夜蛾防控技术研究 with 示范”公益性行业(农业)科研专项获得农业部立项, 由武汉市蔬菜科学研究所、中国农业科学院蔬菜花卉研究所、中国农业科学院植物保护研究所、华南农业大学等 10 家单位承担, 并吸收了该领域相关研究单位及基层农技推广力量, 组成了集甜菜夜蛾防控技术研究、试验、示范和推广的攻关团队, 在国内外研究的基础上, 对我国甜菜夜蛾发生规律、越冬与迁飞、抗药性、生物防治与综合防控等进行了系统的研究, 形成了一系列单项技术成果和一定的技术储备, 并在天津、上海、湖南、湖北、海南等地进行了示范推广应用, 现将项目取得的主要进展概述如下。

1 我国甜菜夜蛾的发生动态及灾变规律

在全国有代表性的 19 个省市共设置 25 个监测点,进行了甜菜夜蛾成虫和幼虫全年发生动态研究,明确了甜菜夜蛾在我国各地发生规律:从南到北发生时间段呈楔形发生,而年度发生量总体东高西低,从南到北呈中部高南北低的马鞍形。各地发生动态如下:三亚、海口周年发生,年发生呈多峰型或主双峰型,一般发生有春季高峰、夏季和秋季高峰,主要发生期为 3—11 月。晋宁、广州、龙海地区周年发生,年发生呈双峰型,少见多峰型,一般发生有 1 个春季高峰和 1 个秋季高峰,主要发生期分别为 4—8 月、5—9 月和 3—10 月。福州、宜宾及衡阳、长沙、永修、岳阳、荆州、武汉、上海、句容、襄樊、西安、洛阳、闻喜、安丘、章丘、天津、北京、张家口和葫芦岛的甜菜夜蛾发生均呈单峰型。呼和浩特与哈尔滨则全年未见成虫发生。随着纬度的增加,各地甜菜夜蛾始见月份有向后推移,而发生期呈缩短的趋势。

根据甜菜夜蛾的发生动态规律,预测了 2009 和 2010 年全国甜菜夜蛾的发生状况。甜菜夜蛾暴发成灾是多种综合因素共同作用的结果,迁飞与越冬、温度、降雨量、耕作制度均影响甜菜夜蛾的发生程度,全球气候异常是甜菜夜蛾大暴发的一个信号。甜菜夜蛾发生的长期趋势和年间波动状况均与广域温度和广域降雨量具有复杂的影响关系,认为 8—10 月份平均气温对甜菜夜蛾种群数量变动具有正效应,是直接影响成虫种群变动的重要指标,年最低温度是影响种群增长最主要的限制因素,8—10 月份总降雨量对种群动态的综合影响力最大。外地虫源的大量迁入是造成当地虫口数量突增的重要原因,迁飞很可能也是影响越冬模糊地区次年种群发生的主要因素。随着甜菜夜蛾的为害越来越严重及其暴发越来越频繁,进一步明确其暴发原因,找出其相关暴发因子的定量作用效果,并尽快建立其相关预警模型,是目前研究甜菜夜蛾预报和防治要解决的紧迫问题之一。

2 我国甜菜夜蛾的迁飞与越冬规律

甜菜夜蛾可能初次起飞日龄为羽化后 2 日龄,迁飞过程中条件合适时可停止迁飞进行生殖;

生殖过程中如有不利的环境条件,仍然具有再次迁飞的可能。因此,甜菜夜蛾的迁飞模式与大多数迁飞昆虫不同,并不存在以飞行与生殖相拮抗并交替进行为基础的“卵子发生-飞行拮抗综合症(oogenesis-flight syndrome)”,从而为正确评价迁飞在甜菜夜蛾种群动态、生活史中的作用以及“异地测报”技术提供了理论依据(Jiang *et al.*, 2010)。

甜菜夜蛾每年在我国东部地区进行接力棒式季节性南北往返迁飞,主要特征为:每年春夏之交,我国海南、广东、深圳、福建、台湾及广西东南部等华南一带常年发生区和长江流域可能越冬区的越冬代甜菜夜蛾成虫开始向北迁飞,到达长江流域和秦岭一带等越冬北界以南的地区,并在当地取食、危害,并与当地羽化的本地虫源世代交替,危害一代后,留下部分虫源继续危害外,一部分成虫开始于夏秋季继续向北迁飞,并可飞过胶东半岛到达我国甜菜夜蛾发生最北地区辽宁大连、沈阳、葫芦岛等地;在当地危害上茬作物并完成 1~2 代后,于 8 月中下旬到 9 月上中旬开始向南作返程迁飞,并可降落在华北地区发生危害,羽化的成虫于 9 月下旬和 10 月上中旬继续向南迁飞到可能越冬区进行越冬或迁飞到常年发生区危害。

对甜菜夜蛾滞育、温湿度及化蛹习性等进行了研究,证实了甜菜夜蛾各虫态均无滞育特性(何海敏等,2011);其幼虫和蛹有一定的耐低温能力,且能以幼虫或蛹在温带地区越冬(Zheng *et al.*, 2011a, 2011b);甜菜夜蛾蛹室有利于蛹越冬,并基于甜菜夜蛾幼虫的化蛹行为制定了甜菜夜蛾蛹越冬调查规范(Zheng *et al.*, 2011c)。在对甜菜夜蛾 1 063 篇(1876—2010 年)原始文献分析的基础上,利用 Climex 和 ArcGis 软件预测了甜菜夜蛾在中国的越冬区,并得到了田间系列实验(笼罩实验、越冬实地调查和成虫监测)的验证,其越冬区的南界位于北回归线附近(23.5 °N),北界位于长江流域(30 °N)(Zheng *et al.*, 2011d)(图 1)。

3 甜菜夜蛾抗药性研究

3.1 我国甜菜夜蛾抗药性动态监测

首次系统地进行了全国 19 个代表地区甜菜夜蛾对 10 种不同类型化学杀虫剂的抗性监测,结果(图 2)表明:(1)甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在上

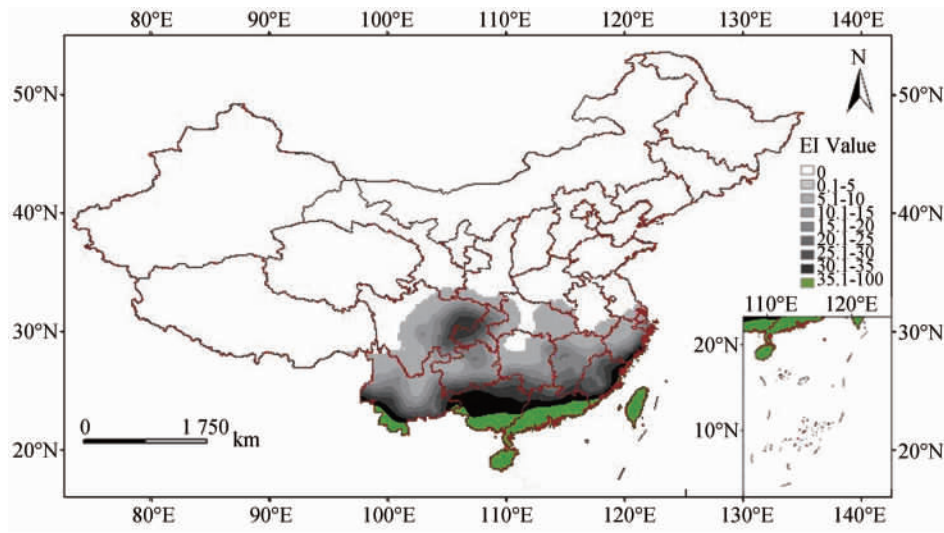


图1 甜菜夜蛾在中国潜在越冬区划图

Fig.1 Over-wintering regions of *Spodoptera exigua* under current climate in China

海、湖北地区分别达到极高或高抗水平,在湖南、江西、江苏等地已达到中等抗性水平,对于山东等地目前仍处于敏感阶段,但已经表现出抗性发展的趋势;(2) 虫螨腈在所有监测点中均处于相对敏感阶段,个别地方甚至表现出负交互抗性;(3) 除山东、河南地区甜菜夜蛾对茚虫威抗性水平较低,上海抗性极高外,其余各地抗性均达到了中等到高抗水平;(4) 湖北、湖南甜菜夜蛾对多杀菌素尚处于敏感至低水平阶段,山东、河南等地甜菜夜蛾已经表现出了中等抗性水平,而上海、江西、江苏、福建等地已达到高抗水平;(5) 虫酰肼已在全国产生了普遍的抗性,湖南、湖北为低水平抗性,山东、

河南、江苏、福建等地为中等水平抗性,而在江西、上海达到了高或极高抗水平,其中上海地区甜菜夜蛾已产生了 358 倍的抗性;(6) 甲氧虫酰肼除湖南、湖北甜菜夜蛾处于敏感阶段外,其余地区均为高抗至极高抗水平,其中上海奉贤最高,达到2 546 倍;(7) 氟啶脲除湖南、湖北达到中等抗性水平外,其余各监测点均已达到高抗或极高抗水平;(8) 由于大量无节制地使用高效氯氰菊酯、毒死蜱,导致抗性过高,部分地区已无法测定其抗性水平,田间使用基本失效;(9) 各地甜菜夜蛾对灭多威分别表现为敏感到中等水平抗性,但灭多威对包括敏感种群在内的所有种群活性较低,表明灭多威并不

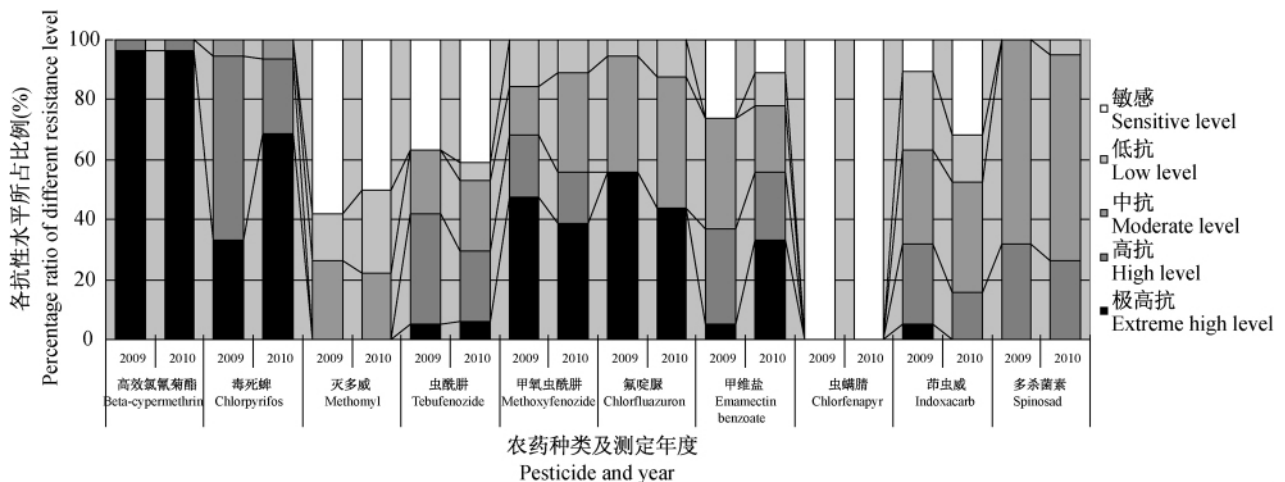


图2 全国 19 个监测点甜菜夜蛾对 10 种杀虫剂的抗性水平分布图

Fig.2 Resistance level of *Spodoptera exigua* to 10 insecticides in China

是防治甜菜夜蛾的有效药剂。

3.2 甜菜夜蛾对茚虫威的抗性研究

经 12 代 10 次选育, 获得相对室内敏感种群抗性水平为 240 倍的茚虫威抗性品系, 其抗性现实遗传力估计值为 0.25, 预测在 90% 选择压下抗性产生 100 倍约需要 9 代; 相对敏感品系, 抗性品系的相对生物适合度为 0.44, 表现出一定程度的生长发育和繁殖上的不利性; 抗茚虫威品系对甲维盐表现一定程度的交互抗性, 交互抗性倍数为 12.59 倍, 对虫螨腈、虫酰肼等其它 7 种药剂均没有明显交互抗性; 推测甜菜夜蛾对茚虫威产生抗性主要与谷胱甘肽 S-转移酶 GST 活性提高有关, 羧酸酯酶 CarE 解毒作用的提高和表皮穿透率降低起间接作用; 抗性品系和敏感品系的杂交后代 ($F_1, R♀ \times S♂; F_1', S♀ \times R♂$) 的显性度分别为 0.54 和 0.74, 甜菜夜蛾对茚虫威的抗性为常染色体多基因、不完全显性遗传。

甜菜夜蛾对茚虫威存在较高的抗性风险, 在目前田间种群还未对茚虫威产生抗性的情况下, 与其它药剂的轮换交替使用可以作为延长该药使用寿命及延迟抗性产生的有效策略; 在早期抗性治理阶段, 采用引入敏感种群的治理策略, 稀释抗性基因, 使用高剂量杀死杂合子害虫, 以降低抗性发展速度。

3.3 甜菜夜蛾对甲维盐的抗性研究

2010 年云南晋宁和上海奉贤 2 个田间种群对甲维盐的抗性衰退研究表明, 晋宁种群抗性倍数从 F_2 代 689 倍下降到 F_8 代 74 倍, 奉贤种群从 F_2 代 847 倍下降到 F_6 代 59 倍, 说明甲维盐抗性衰退的速度较为明显。甜菜夜蛾甲维盐田间种群的抗性与 3 种代谢酶 (多功能氧化酶 MFO、谷胱甘肽 S-转移酶 GST 和酯酶) 的活力增强均有关系。研究表明云南晋宁和上海奉贤 2 个田间种群对甲维盐的抗性均为常染色体多基因、不完全显性遗传, 在抗性发展的早期就会表现出来, 抗性发展的速度比较快。这在田间抗性监测中得到了证实, 大部分监测点对甲维盐已达到中等至极高抗性水平, 但甜菜夜蛾对甲维盐的抗性衰退速度也很明显, 因此可以通过暂停或减少甲维盐的使用量, 让田间种群恢复对甲维盐的敏感性, 从而达到对这一药剂的保护性利用。

4 甜菜夜蛾生防因子规模化繁育与应用

4.1 马尼拉陡胸茧蜂规模化繁育与应用

通过生命表参数比较和功能反应模型分析可知, 马尼拉陡胸茧蜂 *Snellenius manilae* (Ashmead) 对甜菜夜蛾幼虫的寄生能力强, 繁殖速率高, 对甜菜夜蛾种群有较强的控制能力; 从世代平均历期 T 的比较可知, 在甜菜夜蛾繁殖 1 代的时间内, 马尼拉陡胸茧蜂可以繁殖 4 个世代, 在时间上天敌对害虫的发生是“超前的”而不是“跟随的”。在温度 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 和相对湿度 $65\% \pm 5\%$ 条件下, 以甜菜夜蛾或斜纹夜蛾 2 龄幼虫为寄主进行大规模人工繁殖, 13 d 一个世代。在 $10 \sim 12^\circ\text{C}$ 条件下, 马尼拉陡胸茧蜂保藏 15 d 后, 对田间控制效果没有明显影响。在 $26 \sim 32^\circ\text{C}$ 温度下, 室内对甜菜夜蛾和斜纹夜蛾 1~3 龄幼虫的寄生率达 90% 以上。在田间温度 $26 \sim 32^\circ\text{C}$ 时, 每亩放蜂量 5 000 ~ 6 000 头, 对甜菜夜蛾和斜纹夜蛾 1~3 龄幼虫的寄生率达 75% 以上, 减少化学农药用量 40% 以上, 挽回经济损失达 30% 以上。

4.2 夜蛾黑卵蜂规模化繁育与应用

对夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus* Nixon 的形态与发育历期、黑卵蜂对温度、不同寄主的寄生特性、冷藏对黑卵蜂的影响以及田间对甜菜夜蛾和斜纹夜蛾的防控等方面做了相应的研究, 结果表明: 在温度 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ 和相对湿度 $70\% \pm 5\%$ 条件下大规模人工繁殖, 10 d 一个世代; 在 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 条件下, 夜蛾黑卵蜂保藏 15 d 后, 对田间控制效果没有明显影响; 在 $20 \sim 32^\circ\text{C}$ 温度下, 室内对甜菜夜蛾和斜纹夜蛾卵的寄生率达 95% 以上; 在田间温度 $20 \sim 32^\circ\text{C}$ 时, 每亩放蜂量 3 000 ~ 5 000 头, 对甜菜夜蛾和斜纹夜蛾卵的寄生率达 80% 以上, 1 d 内扩散距离在 45 m 以上, 减少化学农药用量 50% 以上, 挽回经济损失达 50% 以上。夜蛾黑卵蜂具有发育周期短、寄生能力强、可以规模化生产、田间防控效果好等特点。

4.3 甜菜夜蛾核型多角体病毒传播规律与应用

甜菜夜蛾核型多角体病毒 (*Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus, SeNPV) 除通过母体介导 (卵巢、卵表) 传播外, 还可通过父体介导方式将病毒垂直传递给子代, 造成子代感染死亡。母体介

导传播中,在卵内传播的同时,可能并存着卵表传播。亲代介导的垂直传播中,以感病雌成虫与感病雄成虫交配方式的垂直传播效率最高。

从 28 种甜菜夜蛾人工半合成饲料配方中筛选出配方 3 为优选配方,继而获得了以淀粉和卡拉胶 7 号混配方案替代人工饲料中琼脂的最优组合方案。比较了广州、荷兰和日本种群幼虫增殖病毒的总产量,结果表明日本种群最高;进一步研究确定了利用甜菜夜蛾日本种群增殖 SeNPV 的最佳条件为:温度(27 ± 1)℃、感染浓度 1×10^8 PIB/mL、感染虫龄 5 龄初幼虫、饲养密度 30 头/dm²,在这种条件下增殖 SeNPV,其平均单头幼虫病毒产量达到 15.85×10^8 PIB,病毒总产量达到 1313.06×10^8 PIB。在此基础上,制定了甜菜夜蛾核型多角体病毒规模化生产技术标准 and 甜菜夜蛾核型多角体病毒可湿性粉剂(虫瘟二号)企业标准(广东省企业产品标准)。

4.4 甜菜夜蛾性诱芯配方及智能型诱杀器的研制

本项目研发出的甜菜夜蛾性信息素已经商品化(国家发明专利号 200910044774.3),新的性引诱剂诱芯平均诱蛾量和总诱蛾量均优于市售同类产品。设计出智能型诱杀器(国家发明专利号 200910061595.0),使用同种甜菜夜蛾诱芯时,该诱捕器的诱集效果显著优于市售同类干式诱捕器。完成了配套技术的研究,性引诱剂田间应用时,低密度(0.71 个/667 m²)安装诱捕效果好于高密度安装(1.86 个/667 m²)、干式诱捕器诱集瓶有水无水差异不大、甜菜夜蛾和斜纹夜蛾诱芯同时使用对各自的诱捕效果均存在干扰,建议 2 种性引诱剂不同时使用。

5 集成甜菜夜蛾防控技术 4 套

进行了以生防为主的甜菜夜蛾防控技术集成研究,包括防虫网、杀虫灯、性引诱剂、病毒杀虫剂、天敌等甜菜夜蛾非化学防治单项技术及“灯性病虫”集成技术的研究。综合考虑全国甜菜夜蛾的发生情况和蔬菜安全要求,项目组集成出 4 套农业生产轻简化实用技术。(1)甜菜夜蛾防治中的节约、省水及增效技术:该技术将各种生物和安全农药使用剂量按推荐用量减少 25%、喷雾药液量降低 50%,按二次稀释法将农药与 50% 水混

匀,再加入三硅氧烷(倍效)液剂 1 000 倍液与另 50% 水混匀后均匀喷雾,对甜菜夜蛾能够达到或优于其常规推荐剂量大容量喷雾的防治效果。(2)性引诱剂+病毒杀虫剂的甜菜夜蛾集成防控技术:该方法集成了性引诱剂与病毒杀虫剂的优点,突破了两者的传统的使用方法与作用形式,通过专用的甜菜夜蛾防控器,利用性引诱剂的引诱作用使雄成虫染毒,其与雌成虫交尾产卵后间接传染病毒于卵,造成初孵幼虫死亡。该防控器由武汉市蔬菜科学研究所研制,获得了国家实用新型发明专利(专利号 201020660450.0)。(3)保护地专用的防虫网+性引诱剂的甜菜夜蛾集成防控技术:利用栽培设施如温室、大棚、中棚及小拱棚,于菜苗入地前覆盖防虫网,蔬菜移栽前实行净苗入地。在甜菜夜蛾发生前期每个覆盖空间,特别是大、中棚各设置 1 个智能诱捕器,内装诱芯 1 枚,诱杀棚内残存甜菜夜蛾成虫。(4)提出了一种利用寄生蜂和病毒协同防治甜菜夜蛾的方法,使用带毒茧袋/茧盒释放淡足侧沟茧蜂(*Microplitis pallidipes Szépligeti*),可以提高对甜菜夜蛾的综合控制效果。每棚(180 m²)释放 300 头寄生蜂,防治甜菜夜蛾效果为 59.5%~62.4%,若用病毒液浸渍后的蜂茧袋释放侧沟茧蜂,其控制效果为 82.3%~89.7%。该方法已申请了国家专利(申请号 200910051068.1)。

6 组建甜菜夜蛾综合治理技术体系

华南、华中、华北、华东根据当地特点制定了 4 套防控方案。海南提出了 2 种不同种植区防治用药轮换策略及水旱轮作模式,大面积推广冬种蔬菜,种植时期主要集中在冬季(11 月至次年 4 月),种植模式为“菜-稻”水旱轮作,可造成不利于甜菜夜蛾羽化的生境,明显降低下一代虫口密度,减轻为害。华中地区提出了以性引诱剂为主体的综合防治方案,基于优化作物生态系统、以生物调控为主体的、集成多种技术的可持续防控技术新体系。华北、华东地区以降低农药用量的节水、省药、高效的用药模式,组建了以生物防控措施为主、兼治次要害虫的甜菜夜蛾防治药剂减量增效技术和甜菜夜蛾综合防控技术。

分别在海南、湖南、湖北、上海等地进行了 20 种不同类型的药剂对甜菜夜蛾田间药效试验,筛选出环境友好型杀虫剂 7 种,分别为 5% 氯虫苯甲

酰胺悬浮剂、24% 氰氟虫腈悬浮剂、15% 茚虫威悬浮剂、10% 虫螨腈悬浮剂、5% 虱螨脲乳油、300 亿 PIB/克甜菜夜蛾核型多角体病毒 (SeNPV) 水分散粒剂、24% 甲氧虫酰肼悬浮剂, 防效达 85% 以上, 田间应用效果明显, 可作为防治甜菜夜蛾的推荐药剂在生产上轮换使用。

7 成果示范推广情况与展望

项目实施以来, 项目组在全国甜菜夜蛾主要发生区已建立试验基地 16 个、核心示范基地 29 个 (其中海南、湖南、上海、湖北和天津为重点示范基地), 针对不同蔬菜作物进行甜菜夜蛾防控技术的推广与示范, 示范面积总计约 3 800 hm², 累计推广面积约 67 510 hm²。编印了《甜菜夜蛾绿色防控技术手册》(一)、(二) 与光盘, 各示范区根据当地特点编印了《甜菜夜蛾发生与防治措施》等科普资料以及明白卡等, 建立“中国甜菜夜蛾”(网址 <http://www.zgtcye.com>) 信息共享平台; 在全国范围内蔬菜主产区开展培训 417 期, 培训技术人员 899 人, 培训农户 34 285 人次, 发放技术宣传材料 11.25 万份, 防治光盘 6 万张; 实际参加项目研究人员 108 人, 培养技术骨干 9 名, 培养博士研究生 4 名、硕士研究生 36 名, 已在全国组建起一支相对稳定的甜菜夜蛾防控技术研究与推广队伍。申请国家发明专利 7 项, 其中已获专利 1 项, 发表论文 83 篇。

甜菜夜蛾的远距离迁飞、间歇性暴发和猖獗危害的特征, 决定了对其发生规律和防控技术的研究, 应具有跨地区、连续性和多部门 (单位) 协作攻关的特点。本项目虽然取得了一些显著进展, 但项目组也认识到甜菜夜蛾防控中仍存在的 key 问题, 例如, 对甜菜夜蛾灾变规律的认识不充分, 缺乏有效的中长期预测预报技术和适用于各发生区的防治指标, 各种防治技术中非化防技术有待进一步评价、集成、改进与提高, 农药减量技术及抗药性快速诊断技术研究需持续进行, 各种防控技术集成有待进一步创新, 甜菜夜蛾综合防控技术体系的区域模式有待进一步优化。这些源于生产实际、急需解决的问题, 为进一步开展甜菜夜蛾综合防控技术研究及示范推广明确了工作思路。

参考文献 (References)

- Jiang XF, Luo LZ, Sappington TW, 2010. Relationship of flight and reproduction in beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae), a migrant lacking the Oogenesis-Flight syndrome. *J. Insect Physiol.*, 56 (10): 1631—1637.
- Zheng XL, Cheng WJ, Wang XP, Lei CL, 2011a. Enhancement of supercooling capacity and survival by cold acclimation, rapid cold and heat hardening in *Spodoptera exigua*. *Cryobiology*, 63 (3): 164—169.
- Zheng XL, Cong XP, Wang XP, Lei CL, 2011b. A review of geographic distribution, overwintering and migration in *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Entomol. Res. Soc.*, 13 (3): 39—48.
- Zheng XL, Cong XP, Wang XP, Lei CL, 2011c. Pupation behaviour, depth, and site of *Spodoptera exigua*. *Bull. Insectol.*, 64 (2): 209—214.
- Zheng XL, Wang P, Cheng WJ, Wang XP, Lei CL, 2011d. Projecting over-wintering regions of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* in China, using CLIMEX model. *J. Insect Sci.*, 12: 13.
- 何海敏, 杨慧中, 肖亮, 薛芳森, 2011. 温度和光周期对甜菜夜蛾发育历期和繁殖的影响. *江西植保*, 34 (3): 93—96.
- 贾变桃, 沈晋良, 刘永杰, 2006. 甜菜夜蛾对虫酰肼的抗性监测及抗性风险评估. *棉花学报*, 18 (3): 164—169.
- 江幸福, 罗礼智, 2010. 我国甜菜夜蛾发生为害特点及治理措施. *长江蔬菜*, 18: 93—95.
- 兰亦全, 赵士熙, 吴刚, 2005. 福建主要菜区甜菜夜蛾的抗性监测. *热带作物学报*, 26 (4): 90—93.
- 刘永杰, 沈晋良, 2002. 甜菜夜蛾对四类杀虫剂的抗性监测. *棉花学报*, 14 (6): 356—360.
- 刘永杰, 沈晋良, 贾变桃, 2002. 甜菜夜蛾发生与抗性研究现状. *棉花学报*, 14 (5): 305—309.
- 龙丽萍, 蔡键和, 覃建林, 2006. 广西不同甜菜夜蛾种群对杀虫剂的敏感性. *植物保护*, 32 (1): 103—105.
- 罗礼智, 曹雅忠, 江幸福, 2000. 甜菜夜蛾发生危害特点及其趋势分析. *植物保护*, 26 (3): 37—39.
- 司升云, 周利琳, 望勇, 刘小明, 2009. 湖北省甜菜夜蛾田间种群抗性监测. *植物保护*, 35 (1): 114—117.
- 王开运, 姜兴印, 仪美芹, 陈丙坤, 2001. 甜菜夜蛾的抗性变化及治理对策的研究. *农药*, 40 (6): 29—32.
- 文礼章, 张友军, 2010. 我国甜菜夜蛾大尺度暴发频度与广域温度和广域降雨量关系的预测模型. *昆虫学报*, 53 (12): 1367—1381.
- 袁永达, 王冬生, 於文俊, 2006. 上海地区甜菜夜蛾的抗性监测及防治. *上海农业学报*, 22 (1): 42—45.
- 朱树勋, 司升云, 邹丰, 刘小明, 吴士雄, 1996. 甜菜夜蛾抗性测定及田间抗性监测. *昆虫知识*, 33 (2): 82—85.