



甜菜夜蛾的抗性及其抗性机理研究进展^{*}

苏宏华 宋 彬 李 丽 陆永威 杨益众^{**}

(扬州大学园艺与植物保护学院 扬州 225009)

摘 要 甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 是世界性农业害虫, 近年来在我国由次要害虫上升为主要害虫。甜菜夜蛾对很多种化学杀虫剂和生物杀虫剂产生了抗性。本文分别阐述了甜菜夜蛾对常用杀虫剂如有机磷类、拟除虫菊酯类、氨基甲酸酯类、生长调节类杀虫剂、Bt 杀虫剂等的抗性发展现状, 并且对抗药性机理进行了总结, 提出了抗性治理措施。

关键词 甜菜夜蛾, 抗性现状, 抗性机理, 抗性治理

Resistance of *Spodoptera exigua* to insecticides and mechanisms of resistance

SU Hong-Hua SONG Bin LI Li LU Yong-Wei YANG Yi-Zhong^{**}

(College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract *Spodoptera exigua* (Hübner) is a worldwide pest, in recent years moving from secondary to primary pest status. It has developed significant resistance to many chemical and biological control agents. In this paper, the resistance conditions of *S. exigua* to organophosphate, pyrethroid, carbamate and growth regulation insecticides and to Bt toxins are described, the mechanisms of resistance are discussed and tactics for managing resistance are mentioned.

Key words *Spodoptera exigua*, resistance status, resistance mechanism, resistance management

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 是一种世界性农业害虫, 近年来在我国由次要害虫上升为主要害虫(江幸福和罗礼智, 2010)。为多食性害虫, 能为害多种作物, 如棉花、西红柿、马铃薯、大豆、大葱以及花卉等(Ahamad and Arif, 2011)。甜菜夜蛾是目前报道的鳞翅目夜蛾科昆虫中迁飞距离最远的昆虫。具有较强的飞行潜力, 可连续飞行 3 500 km(江幸福和罗礼智, 2010)。在我国 20 世纪 80 年代以前, 甜菜夜蛾主要是在北京、河北、河南、山东和陕西关中地区发生为害。东北、西北及长江流域各省, 虽有分布, 但为害较轻。80 年代中后期以来, 甜菜夜蛾的为害区域不断扩大, 其大发生北界已经抵达辽宁省沈阳市(江幸福等, 2010)。甜菜夜蛾的爆发与气候变暖、作物栽培布局和管理、天敌及甜菜夜蛾的生物学特性有关, 但

是对杀虫剂产生抗性是甜菜夜蛾大发生的主要原因(Wang *et al.*, 2006)。昆虫的抗药性是昆虫对大量使用化学药剂的高选择压的一种适应(刘永杰等, 2007)。目前, 甜菜夜蛾已经对多种化学杀虫剂产生抗性, 如有机磷类、拟除虫菊酯类、氨基甲酸酯类、苯甲酰基脲等产生不同程度的抗性。大多数常规药剂已经不能有效控制其为害(Byrne and Toscano, 2001; 兰亦全和赵士熙, 2009)。本文着重阐述甜菜夜蛾抗药性现状以及抗性机理的研究进展。

1 甜菜夜蛾抗药性现状

1.1 对菊酯类农药的抗性

2001 年采自南京甜菜田的甜菜夜蛾种群对氟氯氰菊酯产生高水平的抗性。利用点滴法进行生

^{*} 资助项目: 转基因重大专项(转基因生物安全监测技术: 2011ZX08012-004)。

^{**} 通讯作者, E-mail: yzyang@yzu.edu.cn

收稿日期: 2012-05-16, 接受日期: 2012-07-20

测,室内 F_1 代抗性倍数为 4 836.0 倍,以后世代逐渐降低,到 F_{43} 代时,抗性倍数仍为 162.5 倍。用浸叶法进行生测,室内 F_1 代抗性倍数为 964.7 倍,以后世代逐渐降低,到 F_{43} 代时,抗性倍数仍为 47.8 倍。与室内敏感品系相比,田间种群饲养 43 代后仍旧处于较高的抗性水平,抗性减退缓慢,很难恢复到敏感水平(刘永杰等,2007)。2006 年利用浸叶法监测湖北 5 个地区的甜菜夜蛾种群对氯氰菊酯产生了高水平的抗性,抗性倍数达 50.5 ~ 263.6 (司升云等,2009);山东甜菜夜蛾种群对氯氰菊酯的抗性为 313.6 ~ 412.4 倍、对氟氯氰菊酯的抗性为 123.8 ~ 233.1 倍,达到了极高水平的抗性(王信远等,2010)。

1.2 对有机磷类杀虫剂的抗性

湖北的甜菜夜蛾种群对毒死蜱属中~高水平抗性,抗性倍数达 36.0 ~ 371.5 (司升云等,2009);利用点滴法连续监测 2007—2009 年采自山东寿光大葱田的甜菜夜蛾种群对毒死蜱的抗性,抗性结果为 28.4 ~ 48.2 倍,也属于中抗水平。该山东种群却对辛硫磷的抗性很低,为 9.8 ~ 19.8 倍(王信远等,2010)。

1.3 对虫酰肼的抗性

湖北种群对虫酰肼处于敏感~中水平抗性,2002—2004 年在江苏和河南采集的甜菜夜蛾种群对虫酰肼、甲氧虫酰肼以及呋喃虫酰肼处于敏感水平;用浸叶法测定 2007—2009 年采集的山东甜菜夜蛾种群对虫酰肼的抗性为 6.6 ~ 11.4 倍,对甲氧虫酰肼的抗性为 5.5 ~ 12.7 倍,属于低等水平抗性(王信远等,2010)。贾变桃等(2007)研究发现甜菜夜蛾对虫酰肼产生抗性后,抗性衰退缓慢,短期内很难恢复到敏感水平。室内筛选虫酰肼抗性种群停止用药筛选 21 代后,抗性水平由原来的 63.5 倍仅下降到 21 倍。

1.4 对氨基甲酸酯类杀虫剂的抗性

山东种群对灭多威的抗性为 23.9 ~ 36.4 倍,也属于中等水平抗性(王信远,2010)。湖北灭多威抗性发展缓慢,属于低中水平抗性,抗性倍数达 7.8 ~ 20.7,但活性比较低(司升云等,2009)。

1.5 对氯虫酰胺的抗性

氯虫酰胺已于 2007 年上市,是杜邦公司开发的邻甲酰胺基苯甲酰胺类化合物,属于鱼尼丁受

体抑制剂类杀虫剂。该产品在很低浓度下仍具有相当好的杀虫活性,对小菜蛾的 LC_{50} 值仅为 0.01 mg/L,广谱、残效期长、毒性低、对环境友好,是防治鳞翅目害虫的有效杀虫剂(柴宝山等,2009)。但是,Lai 等(2011)将氯虫酰胺混入饲料对采自中国东部 13 个区域的 18 个种群进行敏感性测定,结果发现有 8 个种群已经对氯虫酰胺产生中等抗性,有 8 个种群产生了低水平抗性,只有 1 个田间种群对该农药处于敏感水平。

1.6 化学农药间的交互抗性

慕卫等(2005)研究发现甜菜夜蛾对高效氯氰菊酯产生抗药性后,与其它菊酯类农药、氟虫脈和阿维菌素存在较高水平的交互抗性;而与辛硫磷、毒死蜱和虫酰肼的交互抗性均较低。兰亦全等(2009)用氰戊菊酯进行抗性选育,选育 10 代后抗性倍数达到 698.5 倍,该抗性品系对溴氰菊酯具有 7.3 倍的交互抗性,而对三氟氯氰菊酯、毒死蜱、灭多威、氟啶脲和虫螨脈不存在交互抗性。贾变桃等(2007)在室内筛选的虫酰肼抗性品系抗性倍数达到 141.3 倍。该品系对甲氧虫酰肼具有 71.4 倍的高水平交互抗性,对阿维菌素具有 13.1 倍的中等水平交互抗性,对甲维盐、茚虫威和呋喃虫酰肼分别具有 7.0、8.4 和 4.7 倍的低水平交互抗性,但是对溴虫脈交互抗性不明显。王伟等(2011)研究发现对茚虫威产生 134 倍抗性的甜菜夜蛾品系对甲维盐表现中等水平的交互抗性(12.59 倍),对其它 7 种常用杀虫剂如毒死蜱、虫酰肼、高效氯氰菊酯、灭多威、多杀菌素、氟啶脲和溴虫脈没有明显的交互抗性。

1.7 对生物源杀虫剂的抗性

由于甜菜夜蛾对化学杀虫剂产生抗性,科学家们也在积极寻找有效的生物防治方法。贾变桃和沈晋良(2008)研究发现于 2003 年采自南京江宁芦蒿田的甜菜夜蛾种群和 2004 年采自江苏射阳棉花田的种群对阿维菌素产生了中等水平的抗性。苏云菌杆菌在防治鳞翅目害虫中发挥重要的作用。然而,迄今为止,筛选到的对甜菜夜蛾有高毒力的 Bt 菌株很少(Hernandez-Martinez *et al.*, 2009)。但是,用某一种 Bt 毒蛋白筛选甜菜夜蛾种群,却能导致其对许多其它的 Bt 毒素产生抗性。比如,用 Cry1Ca 筛选甜菜夜蛾种群,其对 Cry1Ca 的抗性倍数达到 850 倍,同时对 Cry1Ab、

Cry2Aa 和 Cry9Ca 也产生了交互抗性。相对于孢子-晶体混合物来讲,甜菜夜蛾对单价的毒蛋白更容易产生抗性,而且抗性一旦产生,甜菜夜蛾容易对其它的 Cry 毒蛋白产生抗性 (Moar *et al.*, 1995)。值得注意的是,用对甜菜夜蛾杀虫活性不高的 Cry1Ab 筛选甜菜夜蛾幼虫 13 代后,甜菜夜蛾对 Cry1Ab 的抗性倍数达到 30 多倍;而且,甜菜夜蛾竟然对杀虫活性更高的 Bt 毒素,如 Cry1Ca、Cry1Da 和 Cry1Fa 产生了交互抗性,抗性倍数分别达到 20 多倍、26 倍和 8 倍多 (Hernandez-Martinez *et al.*, 2009)。目前,在中国种植的转基因棉花的发挥抗虫作用的主要是 Cry1A 蛋白,那么长期种植势必会导致甜菜夜蛾对其的抗性发展,甚至会导致对将来推出的含有其他 Cry 蛋白的转基因棉花的交互抗性。这将是一个很严峻的问题。

在生产中已经发现,转 Bt 基因抗虫棉对甜菜夜蛾虽有一定的抗性,但是抗性效果不理想,导致近年甜菜夜蛾在转基因抗虫棉田爆发频率增加,为害程度加重 (夏敬源和常蕊芹, 2000; 刘悦秋和江幸福, 2002; 郑霞林等, 2010)。1999 年,在黄河流域部分棉区严重发生,为历年罕见,有些田块百株虫量高达 100 余头,叶片被啃食成花叶 (郭荣和杨焱杰, 2000)。2001 年,抗虫棉在滁州市遭遇甜菜夜蛾的严重危害 (王万群和李宁, 2002)。2006 年,在江苏东部沿海地区部分棉田百株虫量高达 500 多头,造成田间大量破叶和花蕾被害,损失近 15% (朱加萍等, 2008)。2009 年在江西九江的江新洲棉田大发生 (江武等, 2010)。

2 甜菜夜蛾抗性机理

2.1 靶标部位不敏感

乙酰胆碱酯酶 (AChE) 是有机磷杀虫剂和氨基甲酸酯类杀虫剂作用的靶标位点。在很多昆虫中已经发现 AChE 结构的改变会导致昆虫对这两类杀虫剂的抗性 (Byrne and Devonshire, 1993; Gunning *et al.*, 1998)。Byrne 和 Toscano (2001) 采集的 2 个田间甜菜夜蛾种群 BKRR 和 BESS 对氨基甲酸酯类杀虫剂灭多威的抗性分别达到 68 倍和 7 倍。其中 BKRR 种群乙酰胆碱酯酶 (AChE) 对灭多威和毒死蜱的不敏感性是敏感品系 DOW 的 30 倍和 6 倍。

2.2 解毒酶活性升高

刘永杰等 (2003, 2007) 研究发现对氟氯氰菊酯高抗的甜菜夜蛾田间种群的抗性可能与体内微粒体多功能氧化酶活性有密切的关系。Jia 等 (2009) 研究发现多功能氧化酶也在甜菜夜蛾对虫酰肼抗性发展中起重要的作用,另外,酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶也参与虫酰肼抗性发展。Smagghe 等 (1998) 研究发现虫酰肼抗性品系代谢虫酰肼的速度比敏感品系的快,由此推断多功能氧化酶在解毒过程中起重要的作用。另外, Smagghe 等 (2003) 认为甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼的抗性也与多功能氧化酶有关。值得注意的是,水解酶在对虫酰肼和甲氧虫酰肼的解毒过程中也可能起作用 (Smagghe *et al.*, 1998, 2003)。王信远等 (2010) 测定了 2007—2009 年采集的甜菜夜蛾田间种群、室内饲养 1 年的抗性种群以及室内长期饲养的敏感品系幼虫体内酯酶、谷胱甘肽 S-转移酶和多功能氧化酶 O-脱甲基的活性,结果发现:尽管田间种群体内的这 3 种酶的活性在不同年份间存在着明显的差异,但都显著高于室内敏感品系。田间抗性种群在室内饲养 1 年后,上述 3 种解毒代谢酶的活性明显下降,但酯酶和多功能氧化酶 O-脱甲基的活性仍明显高于敏感品系,而谷胱甘肽 S-转移酶活性与敏感品系之间已经无显著差异。兰亦全和赵士熙 (2010) 研究发现增效醚 (PBO)、增效磷 (SV1)、磷酸三苯酯 (TPP) 对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯均有显著增效作用,表明多功能氧化酶和羧酸酯酶均参与了甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯的抗性。

2.3 表皮穿透率的降低

刘永杰和沈晋良 (2003) 用 ^{14}C 标记氯氟氰菊酯后,测定甜菜夜蛾抗性和敏感品系 5 龄幼虫表皮穿透率动态,发现幼虫表皮穿透率的降低是甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯产生抗性的重要原因之一。从整个穿透过程看,处理后 1 h,抗感品系两者穿透速率差异不显著;处理后 2 h, ^{14}C 标记的氯氟氰菊酯在两品系的表皮穿透率存在明显差异,即抗性品系的穿透率稍慢于敏感品系的穿透率;处理后 8 h,抗性品系的穿透率 (22.1%) 明显慢于敏感品系的穿透率 (39.8%),氯氟氰菊酯对抗性品系 5 龄幼虫的表皮穿透率仅为敏感品系幼虫穿透率的 55.5%。

2.4 甜菜夜蛾对 Bt 的抗性机制

甜菜夜蛾 Xentari (含 Cry1Ca) 抗性品系的抗性达 1 000 多倍, 利用 DNA 芯片技术研究敏感品系和抗性品系中肠基因表达的差异发现: repat 和 arylphorin 在抗性品系中高表达, 与抗性形成相关。另外, 抗性品系的氨肽酶活性升高。而中肠增殖不是该甜菜夜蛾抗性品系的抗性机制 (Hernandez-Martinez *et al.*, 2010)。Herrero 等 (2005) 利用抑制消减杂交方法研究 Cry1Ca 抗性品系甜菜夜蛾与敏感品系差异表达的基因。结果发现: 在敏感品系体内发现 4 种氨肽酶 (APN1 ~ APN4) 只在抗性品系体内表达 3 种 (APN1 ~ APN3), 即在抗性品系体内 APN1 完全缺失; 另外, 甜菜夜蛾对 Cry1C 的抗性也可能与能量消耗的增加有关 (Dingha *et al.*, 2004) 以及甜菜夜蛾幼虫的行为抗性 (即对含有 Bt 的食料采取规避行为) (Berdegué *et al.*, 1996; Stapel *et al.*, 1998)。

3 抗性治理策略

首先, 要加强对各种农药抗性发展水平的系统监测, 了解甜菜夜蛾抗药性的发展动态, 指导生产上科学用药。

当害虫对某种杀虫剂产生抗性后, 应该暂停使用该药。停药后害虫抗性减退的速度决定了何时能重新使用该药或者能够重新使用。很多研究表明害虫的抗药性不稳定, 停止用药后, 抗药性会下降, 但是对不同药剂抗性的下降速度不同, 而且很难再恢复到原来的敏感水平。因此, 生产上应该尽量采取多种办法避免害虫对某种杀虫剂产生高水平抗性。如果产生了高水平抗性, 应该选用与甜菜夜蛾产生抗性的药剂无交互抗性的药剂进行防治。

另外, 研发与以往常用农药发挥杀虫作用机制明显不同的新型农药。新型杀虫剂在投入使用时就注意要与其它杀虫剂轮换使用以及与其它的危害综合防治措施相结合, 延缓害虫抗性的产生, 延长农药的使用寿命。

甜菜夜蛾是一种迁飞能力非常强的昆虫, 要做好迁出虫源地和迁入虫源地的异地预测预报工作, 及时掌握害虫发生高峰, 准确把握防治时机, 在防治适期用药, 提高防治效果。

参考文献 (References)

- Ahmad M, Arif MI, 2011. Resistance of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to endosulfan, organophosphorus and pyrethroid insecticides in Pakistan. *Crop Prot.*, 29 (12): 1428—1433.
- Berdegué M, Trumble JT, Moar WJ, 1996. Effect of Cry1C toxin from *Bacillus thuringiensis* on larval feeding behavior of *Spodoptera exigua*. *Entomol. Exp. Appl.*, 80 (2): 389—401.
- Byrne FJ, Devonshire AL, 1993. Insensitive acetylcholinesterase and esterase polymorphism in susceptible and resistant populations of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 45 (1): 34—42.
- Byrne FJ, Toscano NC, 2001. An insensitive acetylcholinesterase confers resistance to methomyl in the beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.*, 94 (2): 524—528.
- Dingha BN, Moar WJ, Appel AG, 2004. Effects of *Bacillus thuringiensis* Cry1C toxin on the metabolic rate of Cry1C resistant and susceptible *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Physiol. Entomol.*, 29 (5): 409—418.
- Gunning RV, Moores GD, Devonshire AL, 1998. Insensitive acetylcholinesterase and resistance to organophosphates in Australian *Helicoverpa armigera*. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 62 (3): 147—151.
- Hernandez-Martinez P, Ferre J, Escriche B, 2009. Broad-spectrum cross-resistance in *Spodoptera exigua* from selection with a marginally toxic Cry protein. *Pest Manag. Sci.*, 65 (6): 645—650.
- Hernandez-Martinez P, Navarro-Cerrillo G, Caccia S, de Maagd RA, Moar WJ, Ferre J, Escriche B, Herrero S, 2010. Constitutive activation of the midgut response to *Bacillus thuringiensis* in Bt-resistant *Spodoptera exigua*. *PLoS ONE*, 5 (9): e12795. doi: 10.1371/journal.pone.0012795.
- Herrero S, Gechev T, Bakker PL, Moar WJ, de Maagd RA, 2005. *Bacillus thuringiensis* Cry 1 Ca-resistant *Spodoptera exigua* lacks expression of one of four aminopeptidase N genes. *BMC Genomics*, 6 (1): 96.
- Jia BT, Liu YJ, Zhu YC, Liu XX, Gao C, Shen JL, 2009. Inheritance, fitness cost and mechanism of resistance to tebufenozide in *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Manag. Sci.*, 65 (9): 996—1002.
- Lai T, Li J, Su J, 2011. Monitoring of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to chlorantraniliprole in China. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 101 (3): 198—205.

- Moar WJ, Pusztai-Carey M, Van Faassen H, Bosch D, Frutos R, Rang C, Luo K, Adang MJ, 1995. Development of *Bacillus thuringiensis* Cry1C resistance by *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Appl. Environ. Microb.*, 61(6):2086—2092.
- Smagghe G, Dhadialla TS, Derycke S, Tirry L, Degheele D, 1998. Action of the ecdysteroid agonist tebufenozide in susceptible and artificially selected beet armyworm. *Pestic. Manag. Sci.*, 54(1):27—34.
- Smagghe G, Pineda S, Carton B, Estal PD, Budia F, Vimuela E, 2003. Toxicity and kinetics of methoxyfenozide in greenhouse selected *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Manag. Sci.*, 59(11):1203—1209.
- Stapel JO, Waters DJ, Ruberson JR, Lewis WJ, 1998. Development and behavior of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in choice tests with food substrates containing toxins of *Bacillus thuringiensis*. *Biol. Control*, 11:29—37.
- Wang W, Mo JC, Cheng JA, Zhuang PJ, Tang ZH, 2006. Selection and characterization of spinosad resistance in *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 84(3):180—187.
- 柴宝山, 彭永武, 李慧超, 张弘, 刘长令, 2009. 氯虫酰胺的合成与杀虫活性. *农药*, 48(1):13—16.
- 郭荣, 杨焱杰, 2000. 转 Bt 基因棉田害虫发生动态及防治对策. *世界农业*, (9):31—33.
- 贾变桃, 沈晋良, 2008. 甜菜夜蛾对几类新型杀虫剂的早期抗性监测. *棉花学报*, 20(5):359—363.
- 贾变桃, 沈晋良, 刘叙杆, 2007. 甜菜夜蛾对虫酰肼的抗性选育、风险评估及交互抗性. *昆虫学报*, 50(11):1116—1121.
- 江武, 王仙桃, 王元桃, 江华, 2010. 几种药剂防治棉花甜菜夜蛾的田间药效试验. *江西棉花*, 32(3):28—29.
- 江幸福, 罗礼智, 2010. 我国甜菜夜蛾迁飞与越冬规律研究进展与趋势. *长江蔬菜*, (18):36—37.
- 江幸福, 罗礼智, 许国庆, 2010. 辽宁省甜菜夜蛾田间种群虫源性质分析. *长江蔬菜*, (18):34—35.
- 兰亦全, 赵士熙, 2009. 抗氰戊菊酯甜菜夜蛾品系的交互抗性及其相对适合度. *热带作物学报*, 30(1):108—111.
- 兰亦全, 赵士熙, 2010. 甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯的抗性机理. *应用生态学报*, 21(1):203—208.
- 刘永杰, 沈晋良, 2003. 甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯抗性的表皮穿透机理. *昆虫学报*, 46(3):288—291.
- 刘永杰, 沈晋良, 贾变桃, 伦才智, 2007. 甜菜夜蛾不同世代对氯氟氰菊酯抗性减退及多功能氧化酶活性变化. *昆虫学报*, 50(4):349—354.
- 刘悦秋, 江幸福, 2002. 甜菜夜蛾的生物防治. *植物保护*, 28(1):54—56.
- 慕卫, 吴孔明, 张文吉, 郭予元, 2005. 抗高效氯氟氰菊酯甜菜夜蛾近等基因系的交互抗性和种群适合度. *中国农业科学*, 38(10):2007—2013.
- 司升云, 周利琳, 望勇, 刘小明, 2009. 湖北省甜菜夜蛾田间种群抗药性监测. *植物保护*, 35(1):114—117.
- 王万群, 李宁, 2002. 抗虫棉遭遇甜菜夜蛾严重危害的初步观察. *安徽农业科学*, 30(1):84—84.
- 王伟, 高明, 邓兆荣, 李秀环, 慕卫, 2011. 甜菜夜蛾抗茚虫威品系的生物适合度及抗性遗传方式. *中国农业科学*, 44(18):3741—3749.
- 王信远, 王炳太, 刘永杰, 刘辉, 贺金, 肖鹏, 2010. 甜菜夜蛾田间种群抗药性及其解毒代谢酶活性变化. *山东科学*, 23(2):42—46.
- 夏敬源, 常蕊芹, 2000. 转基因抗虫棉对甜菜夜蛾的抗性研究. *中国棉花*, 27(9):10—11.
- 郑霞林, 王攀, 王小平, 雷朝亮, 2010. 转基因棉甜菜夜蛾的为害现状, 暴发成因及防治现状. *植物保护*, 36(3):34—38.
- 朱加萍, 卢霞, 施旗新, 2008. 多食性甜菜夜蛾发生消长因子分析及防控技术. *上海蔬菜*, (1):85—88.