综述和进展

甜菜夜蛾抗药性研究现状

刘向阳 朱福兴* 张 凯

(华中农业大学植物科学技术学院 武汉 430070)

The status of insecticide resistance in the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. LIU Xiang-Yang, ZHU Fu-Xing*, ZHANG Kai (*College of Plant Science and Technology, Huazhong Agriculture University*, Wuhan 430070, China)

Abstract We summarized the status of resistance of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) to the insecticides commonly used in China. *S. exigua* developed high resistance to pyrethroid, organophosphorus and carbamate insecticides. One resistant strain of *S. exigua* from Tai'an region of Shandong Province, had 2 445.5-fold resistance to cyhalothrin. *S. exigua* developed low or medium level of resistance to bioinsecticides, for example, spinosad. Reduced susceptibility to insect growth regulator tebufenozide has been found, although insect growth regulator insecticide was still the favorable pesticide to control *S. exigua*. Cross resistance and resistance management were also reviewed in this paper.

Key words *Spodoptera exigua*, insecticide, resistance

摘 要 就有关甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner)对常用杀虫剂的抗药性现状作综述。甜菜夜蛾对拟除虫菊酯类、有机磷类、氨基甲酸酯类杀虫剂已产生了较高水平的抗药性,其中山东泰安抗性种群对氯氟氰菊酯的抗性高达 2 445.5 倍;对多杀菌素等生物杀虫剂产生了中低水平的抗性;对昆虫生长调节剂如虫酰肼的敏感性也有所降低,但昆虫生长调节剂依然是比较理想的防治药剂。对交互抗性及抗性治理也作了阐述。

关键词 甜菜夜蛾,杀虫剂,抗药性

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner)属于鳞翅目、夜蛾科,是一种世界性分布、多食性和间歇性暴发的重要农业害虫,危害粮、棉、菜等多种作物[1,2],其暴发期在每年 7~9 月的高温季节,4~5 龄食量大增,能吃光叶片,剥食茎秆,对作物造成毁灭性损害[3~5]。甜菜夜蛾危害范围极广,从北美到亚洲都有发生,尤其是近 20 年来在许多国家频繁暴发[6,7],在我国发生的面积不断扩大,已经遍及包括北部的辽宁在内的 20 余个省,为害程度也日益严重[8,9]。

长期以来化学药剂的不合理使用,导致甜菜夜蛾对多种杀虫剂产生了不同程度的抗药性。1975 年首次发现,美国亚里桑那州 3 个地区不同种群对灭多威的敏感性已经下降,存在抗性风险[1,3]。此后美国、法国和日本等许多国家都发现甜菜夜蛾对多种杀虫剂产生了抗性,如 1998 年 Mascarenhas 报道,美国的阿拉巴马州、加利福尼亚州、得克萨斯州、路易斯安那州、密西西比州和墨西哥的部分地区,田间种群对毒死蜱和硫双灭多威的敏感性都有不同程度的降低;此外,路易斯安那州的 red cross 种群对除尽(溴虫清)的敏感性也明显降低,在密西西比州,对虫酰肼(米满)的抗性也有明显的增加[10]。

国内首先报道了长江以南地区甜菜夜蛾的

* 通讯作者,E-mail: zhufuxing@mail.hzau.edu.cn

收稿日期:2006-07-20,修回日期:2006-10-24,

接受日期:2007-02-08

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

抗药性,后来有了黄河流域甜菜夜蛾产生抗药性的报道。从大量的抗性监测结果来看,甜菜夜蛾对多类杀虫剂产生了不同程度的抗性,详情如下。

1 对拟除虫菊酯类杀虫剂的抗性

拟除虫菊酯类杀虫剂不仅能使昆虫神经膜上钠离子通道关闭延迟,而且可以作用于昆虫 Na^+-K^+-ATP酶,容易使靶标昆虫产生抗药性[11],即使停止用药抗性也很难完全消除[12]。与其他类型的杀虫剂相比,甜菜夜蛾对拟除虫菊酯类杀虫剂产生抗性较普遍,抗性水平上升较快,产生的抗性倍数较高。

Aldosari 等以采自加利福尼亚田间经实验室饲养的敏感品系为参照,用点滴法测定采自亚利桑那州玛拉那(Marana)和优玛(Yuma)两地的甜菜夜蛾对氟氯氰菊酯的抗性,两者分别为5.5 和 15.7 倍,而用氟氯氰菊酯对玛拉那种群连续筛选 8 代,LD_{50} 增加了 54.1 倍[13]。

Abdullah 等用氯氰菊酯对甜菜夜蛾连续筛选 12 代,没有施药的种群 LC_{50} 为 90 mg/L,而一直保持药剂压力的种群急剧增加,达到 8 625 mg/L,2 种群相比抗性达到 95.83 倍[14]。

我国长江流域自 1986 年开始使用氯氰菊酯和氰戊菊酯等菊酯类杀虫剂,3 年后尚有 70%~86%的防效,但 1993~1994 年已基本无效[15]。1991 年上海地区甜菜夜蛾对氰戊菊酯、溴氰菊酯、氯氰菊酯的抗性(相对于 1981 年),分别上升了 222.6,166.9 和 84.9 倍,至 1994 年,对前两者的抗性分别达到 238 和 225.2 倍,属中等至高抗水平[16]。据刘永杰等报道,深圳、南京、上海、常熟、湖南五地的甜菜夜蛾 3 龄幼虫,对高效氯氰菊酯抗性分别为 408.7,367.9,236.1,176.7,172.1 倍,对百树菊酯的抗性,分别为 86.9,109.8,65.6,42.7,69.3 倍[7]。兰亦全等报道,2000 年福州种群 4 龄幼虫对氰戊菊酯、顺式氯氰菊酯的 LD_{50} 分别为 43.751 和 16.583 μg/g,与相对敏感种群相比,抗性分别达 112.8 和 338.4 倍,至 2001 年,又比上年分别增加了 6.1 和 9.1 倍[9],福州建新、闽侯上街、南平建欧、厦门同安、莆田黄石和漳州龙海 6 个地区甜菜夜蛾田间种群 4 龄幼虫对氰戊菊酯的抗性分别为敏感种群的 438.5,389.7,312.4,423.7,286.5 和 317.7 倍;对顺式氯氰菊酯的抗性则分别为 1 015.4,951.5,702.2,850.4,768.6 和 687.6 倍[17]。而 2002 年上海华漕地区甜菜夜蛾种群对氰戊菊酯的抗性是 1982 年的 619.5 倍[18]。

在黄河流域,甜菜夜蛾对拟除虫菊酯类的抗性上升也很迅速,王开运等于 2001 年报道,用点滴法测定表明,顺式氯氰菊酯对甜菜夜蛾敏感品系的 LD_{50} 为 0.0287 μg/g,1998 和 2000 年泰安田间种群的 LD_{50} 分别为 13.370 4 和 44.082 0 μg/g,抗性分别达 465.9 和 1 535.9 倍,从 1998 年到 2000 年,抗性提高了 2.3 倍;用浸渍法测定表明,同期抗性分别达到了 102.9 和 533.1 倍,而 2000 年比 1998 年又提高 4.2 倍[19]。刘永杰等报道,河北种群对高效氯氰菊酯产生了 5.1 倍的抗药性,属较低水平[7],点滴法测定山东泰安甜菜夜蛾种群 3 龄幼虫对氯氟氰菊酯、高效氯氰菊酯和百树菊酯的抗性分别是 2 445.5,586.5 和 123.8 倍;浸叶法测定则分别为 856.5,250.7 和 134.4 倍,已属高水平抗性[20]。

2 对有机磷类杀虫剂的抗性

甜菜夜蛾对有机磷类杀虫剂产生抗性较普遍,产生的抗性水平也较高。

Aldosari 等 1996 年报道,用点滴法测定采自美国亚利桑那州的玛拉那和优玛两地的甜菜夜蛾对丙溴磷的抗性分别达 17.8 和 14.1 倍[13]。

在我国长江流域,有机磷杀虫剂常规用量的防效在 1986 年前后迅速下降。与 1981 年相比,1991 年上海地区甜菜夜蛾对马拉硫磷和乙酰甲胺磷的抗性分别为 25.2 和 38.4 倍[1],到 2003 年,上海华漕地区甜菜夜蛾种群对乙酰甲胺磷的抗性高达 2 731.2 倍[18]。刘永杰等于 2002 年报道,湖南、南京、上海、深圳、常熟的甜菜夜蛾,对毒死蜱的抗性分别为 50.3,42.3,

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

29.1, 22.0, 21.0 倍, 对辛硫磷的抗性分别为 5.8, 15.0, 8.6, 7.9, 3.0 倍[7]。2000 年福州种群 4 龄幼虫对毒死蜱、丙溴磷的 LD_{50} 分别为 71.854 μg/g, 358.253 μg/g, 与相对敏感种群相比, 抗性分别达 772.6 和 288.4 倍, 至 2001 年, 甜菜夜蛾对这 2 种杀虫剂抗性明显提高, 与 2000 年相比, 又分别增长 2.6 和 2.5 倍[9], 除福州外, 福建省的很多地区甜菜夜蛾种群对有机磷类杀虫剂产生了抗性, 如漳州龙海田间种群对辛硫磷的抗性达 77.8 倍[17]。

在黄河流域, 2000 年前后甜菜夜蛾对有机磷类杀虫剂的抗性增加明显。王开运等于 2001 年报道, 在山东泰安地区, 对毒死蜱已产生了高水平的抗性。浸渍法测定结果表明, 敏感品系的 LC_{50} 为 13.901 6 mg/L, 1998 和 2000 年田间种群的 LC_{50} 分别为 689.018 9 和 1 208.610 2 mg/L, 抗性达 49.6 和 86.9 倍[19]。自 2000 至 2001 年, 对丙溴磷的抗性又增加了 2.4 倍[21]。对于山东泰安的种群, 用点滴法测定 3 龄幼虫对毒死蜱、马拉硫磷和辛硫磷的抗性分别为 39.4, 27.4 和 8.1 倍; 用浸叶法测定其对毒死蜱的抗性是 14.3 倍, 对辛硫磷的抗性是 8.1 倍[20]。

3 对氨基甲酸酯类杀虫剂的抗性

甜菜夜蛾对氨基甲酸酯类杀虫剂的抗性不是很普遍, 但在部分地区对灭多威的抗性较高。据 Aldosari 等报道, 美国亚利桑那州的玛拉那和优玛两地田间的甜菜夜蛾对灭多威的抗性分别达 8.1 和 3.0 倍[13]。Kerns 等报道, 自从 1989 年以来, 在长时间大量使用灭多威的地区, 抗性水平上升迅速, 在紫花苜蓿上采集的甜菜夜蛾对灭多威抗性达到 450 倍, 最高的为美国加州帝国县品系, 抗性高达 552 倍[22]。据 Byrne 报道, 从加州圣约魁谷(San Joaquin Valley)棉花地里采集的 2 个品系与实验室的敏感品系相比, 对灭多威的抗性分别是 68 倍和 7 倍[23]。

在国内, 近年来灭多威对甜菜夜蛾尚有一定的效果, 但所需药量已明显增加[16]。2002 年刘永杰等测定, 深圳、南京、上海、常熟、湖南的甜菜夜蛾对灭多威的抗性, 分别为 21.0, 15.0, 15.0, 3.4, 2.3 倍[7]。2000 年灭多威对福州种群 4 龄幼虫的 LD_{50} 是 6.854 μg/g, 与相对敏感种群相比, 抗性达 31.6 倍, 至 2001 年, 对该杀虫剂的抗性又有上升, 与 2000 年相比, 抗性增加 4.9 倍[9], 2003 年采自福建漳州龙海田间的甜菜夜蛾种群 4 龄幼虫抗性高达 362.4 倍[17]。山东泰安种群对灭多威也产生了 25.1 倍的抗性, 尚属中等水平[20]。

4 对生物杀虫剂的抗性

Abdullah 等把甜菜夜蛾分成 3 部分, 连续饲养 12 代后测定, 不用药剂处理的种群对印楝素的 LC_{50} 值在 3.98 ~ 9.99 mg/L 之间, 用印楝素连续处理的 LC_{50} 值在 4.38 ~ 13.04 mg/L 之间, 抗性 1.44 倍; 对于 B.t, 用 B.t 连续处理的种群与不用药剂的种群相比 LC_{50} 相差 5.60 倍[14]。多杀菌素是美国陶氏农业科学公司生产的新型生物农药, 曾被誉为继阿维菌素之后开发最成功的生物源杀虫剂, 美国初次使用该药时就制定了抗性管理计划, 但即使这样, 甜菜夜蛾对该药剂还是产生了抗性[24]。1999 年, 从实行抗性管理计划的亚历桑那州、佛罗里达州、密西西比州、南卡罗来纳州种群来看, 六地种群的 2 龄幼虫对多杀菌素的抗性在 3.9 ~ 14 倍之间, 而在没有实行抗性管理计划的泰国, 抗性高达 85 倍; 对 3 龄幼虫的测定结果也表明, 美国 6 个州中抗性最高的为 20 倍, 而泰国种群高达 58 倍[25]。在实验室中用多杀菌素对甜菜夜蛾连续筛选 5 代的种群, 和敏感种群相比抗性增加 345.4 倍[26]。

5 对昆虫生长调节剂的抗性

作为第 3 代杀虫剂, 苯甲酰基脲类和双苯甲酰基肼类同属昆虫生长调节剂, 但两者的作用机制并不相同。苯甲酰基脲类主要通过抑制几丁质的合成或沉积以阻止新表皮的形成, 从而使昆虫不能蜕皮而死亡, 而双苯甲酰基肼类是通过类似蜕皮激素作用, 使昆虫过早蜕皮而死亡[27]。过去认为甜菜夜蛾对昆虫生长调节

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

剂类杀虫剂不易产生抗药性,但在某些地区,由于使用不合理,一定时间后也产生了抗药性。

美国路易斯安那州田间种群与对照种群相比对虫酰肼的敏感性没有差异,但是在1998年却发现宾西法尼亚州圣约瑟夫(St. Joseph)的田间种群抗性已达9.3倍;泰国抗性种群与美国敏感种群相比较,1龄和3龄幼虫对虫酰肼已经产生了较高抗性,分别为87倍和164倍,对甲氧虫酰肼(美满)也不例外,抗性分别为338和121倍;室内实验也证明甜菜夜蛾对虫酰肼(米满)产生了抗性,用虫酰肼对甜菜夜蛾连续汰选多代,在10代时LC_{50}增加了5.2倍,LC_{90}增加了10.2倍[28]。将泰国田间种群经不连续3代汰选,测定其LC_{50}和LC_{90}发现,甜菜夜蛾1龄幼虫对虫酰肼分别产生了45和68倍抗性,3龄幼虫产生了150和1 500倍抗性,而对甲氧虫酰肼1龄幼虫和3龄幼虫则分别产生了340,320倍与120,67倍抗性[29]。Gore等分别用0.033,0.064和0.125 mg/L 3个浓度的甲氧虫酰肼连续筛选7代,结果表明,用低浓度处理的种群抗性基本没有增加,而中、高浓度处理的种群抗性分别增加了9.7和9.4倍[30]。

在我国武汉地区,用氟虫脲(卡死克)的LC_{99}诊断计量测定结果表明,在使用该药7年后,死亡率已降至44.4%,1994年甜菜夜蛾对氟虫脲的抗性已达到38.8倍[31]。刘永杰等测定6个地区甜菜夜蛾对氟啶脲(抑太保)的抗性表明,除深圳种群为低水平抗性(6.4倍)外,湖南、上海、常熟、南京及河北种群均属敏感或敏感性下降阶段,抗性在0.7~3.4倍之间[7]。在山东淄博地区,1998年氟啶脲对甜菜夜蛾防效有所降低[32]。用浸叶法测定山东泰安种群3龄幼虫,对氟啶脲的抗性为4.2倍,尚属较低水平的抗性[20]。在我国,甜菜夜蛾对虫酰肼的敏感性在近10年来一直下降[18],黄琳瑞等在室内用虫酰肼对甜菜夜蛾幼虫经过连续多代汰选,在12代产生了5.47倍的抗性[33],贾变桃等经过34代筛选,与起始种群相比,抗性为17.0倍[34]。

6 对杀虫剂的交互抗性

美国亚利桑那州玛拉那对氟氯氰菊酯抗性为4.1倍的甜菜夜蛾种群,对灭多威的抗性增加了24.7倍,而对丙溴磷的抗性也增加了3.3倍[13]。

对灭多威产生抗性的甜菜夜蛾对硫双灭多威有交互抗性[22],但没有对毒死蜱产生交互抗性[23]。对高效氯氟氰菊酯的抗性为459.1倍的甜菜夜蛾抗性种群,对高效氯氰菊酯、氰戊菊酯、高效氟氯氰菊酯、甲氰菊酯和溴氰菊酯的抗性分别为92.6,32.4,19.8,16.0和15.2倍,对氟虫腈(锐劲特)、阿维菌素、灭多威和甲胺基阿维菌素的抗性分别为67.5,34.2,15.4和14.1倍,交互抗性水平都比较高,而对毒死蜱、溴虫腈、虫酰肼和辛硫磷的抗性倍数相对较低,分别为7.2,3.7,3.3和3.0倍[35]。经实验室筛选对多杀菌素产生抗性的种群,对氰戊菊酯、辛硫磷、灭多威、阿维菌素、氟氯氰菊酯并没有产生抗性[26]。

7 展望

抗药性在农业害虫中普遍存在,甜菜夜蛾抗药性已经引起全世界的关注,抗药性研究为有效防治甜菜夜蛾提供了大量的参考信息。从目前的抗性报道来看,最早投入田间使用的杀虫剂(如拟除虫菊酯类、有机磷类、氨基甲酸酯类杀虫剂)对甜菜夜蛾的防效下降明显;生物杀虫剂虽然防效有所下降,但仍不失为一类好的药剂。昆虫生长调节剂是目前防治甜菜夜蛾最为理想的药剂,但前车之鉴,只有合理规范地使用,才能避免其防效的降低。合理规范的使用,就要对一些高毒低效的杀虫剂限制使用,防效较好的杀虫剂要与不同作用机制、无交互抗性的杀虫剂轮用或混用。另外,甜菜夜蛾的抗性治理是一项系统工程,需要基层植保部门和广大农民的协作、配合。首先,植保部门要做好虫情测报,这是防治甜菜夜蛾的前提,是实施抗性治理的基础。性信息素不仅是环境友好的诱捕剂,而且是非常有效的监测手段[36~39],应实施和推广;其次,农民除合理规范地使用农药外,

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

还应建立合理的耕作措施和作物布局,田间杂草对甜菜夜蛾繁殖有重要影响,定期除草有利于减少甜菜夜蛾的危害[40 41]。不同种类的作物进行套作和间作,不仅缩小甜菜夜蛾的危害面积,也利于天敌的繁殖和活动。甜菜夜蛾的天敌资源丰富,天敌的利用应该成为今后对其防治的重要手段之一。

参 考 文 献

1 夏晓明, 王开运, 姜兴印, 仪美芹. 农药, 2003, **42**(8): 1~5.
2 赵建周, 吴世昌. 农药科学与管理, 1995, **16**(2): 22~23.
3 苏建亚. 植保技术与推广, 1996, **16**(6): 37~38.
4 尹仁国, 欧阳本友, 刘爱媛. 昆虫知识, 1994, **31**(1): 7~10.
5 慕卫, 刘峰, 张文吉. 中国农学通报, 2002, **18**(2): 124~125.
6 何玉仙, 杨秀娟, 翁启勇, 游泳. 世界农业, 1999, **242**(6): 41~43.
7 刘永杰, 沈晋良. 棉花学报, 2002, **14**(6): 356~360.
8 任兰花, 郝伟, 王继藏. 昆虫知识, 2005, **42**(1): 79~81.
9 兰亦全, 赵士熙. 福建农林大学学报(自然科学版), 2004, **33**(1): 26~29.
10 Mascarenhas V. J., Graves J. B., Leonard B. R., Burris E. *J. Econ. Entomol.*, 1998, **91**(4): 827~833.
11 赵善欢. 植物化学保护. 北京: 中国农业出版社, 2000. 83~90.
12 兰亦全, 赵世熙. 农药学学报, 2004, **6**(1): 77~80.
13 Aldosari S. A., Watson T. F., Sivasupramaniam S., Osman A. A. *J. Econ. Entomol.*, 1996, **89**(6): 1 359~1 363.
14 Abdullah M., Sarnthoy O., Tantakom S., Isichaikul S., Chaeychomsri S. *Kasetsart J.* (*Nat. Sci.*), 2000, **34**(4): 450~457.
15 朱树勋, 司升云, 邹丰, 刘小明, 吴士雄. 昆虫知识, 1996, **33**(2): 82~85.
16 陆剑飞, 郑永利, 夏永锋. 农药科学与管理, 2004, **5**(2): 10~13.
17 兰亦全, 赵士熙, 吴刚. 热带作物学报, 2005, **26**(4): 90~93.
18 袁永达, 王冬生, 於文俊. 上海农业学报, 2006, **22**(1): 42~45.
19 王开运, 姜兴印, 仪美芹, 陈丙坤. 农药, 2001, **40**(6): 29~32.
20 刘永杰, 赵旭东, 沈晋良, 高聪芬, 周晓梅. 华东昆虫学报, 2004, **13**(2): 72~75.
21 王开运, 姜兴印, 仪美芹, 陈丙坤, 夏晓明. 植物保护学报, 2002, **29**(3): 229~234.
22 Kerns D. L., Palumbo J. C., Tellez T. *J. Econ. Entomol.*, 1998, **91**(5): 1 038~1 043.
23 Byrne F. J., Toscano N. C. *J. Econ. Entomol.*, 2001, **94**(2): 524~528.
24 唐振华, 庄佩君. 世界农药, 2001, **23**(3): 38~40
25 Moulton J. K., Pepper D. A., Dennehy T. J. *Pest Manag. Sci.*, 2000, **56**(10): 842~848.
26 Wang W., Mo J. CH., Cheng J. A., Zhuang P. J., Tang ZH. H. *Pestic. Biochen. Phys.*, 2006, **84**(3): 180~187.
27 戴芬, 吴声敢, 王强, 赵学平, 吴长兴. 浙江农业学报, 2000, **12**(6): 363~367.
28 王光锋, 张友军, 柏连阳, 吴青君. 农药科学与管理, 2003, **24**(3): 21~24.
29 Moulton J. K., Pepper D. A., Jansson R. K., Dennehy T. J. *J. Econ. Entomol.*, 2002, **95**(2): 414~424.
30 Gore J., John J., Adamczyk Jr. J. J. *Fla. Entomol.*, 2004, **87**(4): 450~453.
31 司升云, 吴仁锋, 刘小明, 邹丰. 长江蔬菜, 2001, **17**(1): 6~9.
32 周真, 孙芙蓉, 于建美, 韩冰, 李飞. 农药, 2000, **39**(12): 25~26.
33 黄琳瑞, 王成菊, 郑明奇, 李学锋, 邱立红. 农药学学报, 2005, **7**(4): 376~378.
34 贾变桃, 沈晋良, 刘永杰. 棉花学报, 2006, **18**(3): 164~169.
35 慕卫, 吴孔明, 张文吉, 郭予元. 中国农业科学, 2005, **38**(10): 2 007~2 013.
36 董双林, 杜家纬. 昆虫知识, 2002, **39**(6): 412~416.
37 韩兰芝, 翟保平, 张孝羲, 顾伯良, 施文贤. 昆虫知识, 2003, **40**(2): 136~140.
38 宋昌琪, 潘跃星, 徐火忠, 蓝建军. 昆虫知识, 2004, **40**(1): 77~78.
39 许国庆, 丛斌, 罗礼智. 昆虫知识, 2006, **43**(1): 38~41.
40 陈永兵, 张纯胄, 胡丽秋. 昆虫知识, 1999, **36**(1): 332~334.
41 苏建亚. 昆虫知识, 1998, **35**(1): 55~57.

更正启事

本刊 2007 年 44 卷第 4 期第 520 页“二班叶螨对六种植物的选择性及生长发育”第二作者韩瑞东的单位更改为“潍坊科技职业学院”,特此更正。(本刊)

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n