

北京和河北地区小菜蛾的抗药性动态*

高 雪^{2**} 杨家强¹ 徐宝云¹ 杨峰山^{2***} 吴青君^{1***}

(1. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081; 2. 黑龙江大学生命科学学院, 哈尔滨 150000)

摘 要 【目的】了解北京和河北地区小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 对主要防治药剂的抗药性现状, 为小菜蛾的有效防治提供参考。【方法】2011—2015 年, 采用浸叶法监测了小菜蛾对 9 种药剂的抗药性。

【结果】小菜蛾对氯虫苯甲酰胺、多杀菌素和丁醚脲均为敏感水平, 对 Bt 制剂、虫螨腈和茚虫威个别年份出现中等抗性水平, 但总体上为敏感状态, 对阿维菌素和氟啶脲保持中等抗性水平, 对高效氯氟菊酯为中等至高水平抗性。【结论】在北京和河北地区高效氯氟菊酯不适用于小菜蛾的防治, 少用或暂停使用阿维菌素, 其它药剂可交替或轮换使用。

关键词 小菜蛾, 抗药性, 监测, 防治

Insecticide resistance in diamondback moth populations in Beijing and Hebei

GAO Xue^{2**} YANG Jia-Qiang¹ XU Bao-Yun¹ YANG Feng-Shan^{2***} WU Qing-Jun^{1***}

(1. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. College of Life Science, University of Heilongjiang, Harbin 150000, China)

Abstract [Objectives] To clarify the level of insecticide resistance in the diamondback moth (DBM) in Beijing and Hebei and thereby provide information to improve control of this pest. [Methods] The resistance of the DBM to nine insecticides was evaluated from 2011 to 2015 using the leaf-dipping method. [Results] Populations of DBM collected from Beijing and Zhangjiakou, Hebei Province, were susceptible to chlorantraniliprole, spinosad, and diafenthiuron. Resistance to *Bacillus thuringiensis* (Bt), chlorfenapyr and indoxacarb was moderate in some years, but populations were generally susceptible to these pesticides. Resistance to abamectin and chlorfluazuron was consistently moderate, and high resistance to beta-cypermethrin was found. [Conclusion] Beta-cypermethrin is not suitable for controlling DBM in Beijing and Hebei. The use of abamectin should be discontinued, either permanently or temporarily, to prevent the development of resistance to this pesticide. Other insecticides should be used in rotation, or in alternative ways.

Key words *Plutella xylostella*, insecticide resistance, resistance monitoring, control

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 是世界性的十字花科作物的主要害虫, 其幼虫取食作物叶片, 造成产量降低甚至绝收。据估计全球每年用于小菜蛾防治的费用高达 40 亿美元 (Furlong *et al.*, 2013)。小菜蛾以易产生抗药性且抗性水平高而

著名 (Talekar and Shelton, 1993), 是农业害虫抗药性研究中的“模式昆虫”。小菜蛾在 20 世纪 70 年代上升为我国十字花科蔬菜上的主要害虫以来, 现已成为一种常发性害虫, 因抗药性严重也是最难防治的害虫之一 (冯夏等, 2011)。目

* 资助项目 Supported projects: 公益性 (农业) 行业科技专项 (201103021); 国家科技支撑计划 (2012BAD19B06); 北京市创新团队建设专项资金 (blvt-15); 蔬菜有害生物控制与优质栽培北京市重点实验室

**第一作者 First author, E-mail: gaouxue@foxmail.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: yangfshan@126.com; wuqingjun@caas.cn

收稿日期 Received: 2016-01-19, 接受日期 Accepted: 2016-02-27

前在我国华中、云南、湖南等多个地区均有关于小菜蛾抗药性的报道(符伟等, 2012; 夏耀民等, 2013; 尹艳琼等, 2015)。为了解小菜蛾在我国北方地区的抗药性现状, 连续 5 年测定了北京和河北张家口地区小菜蛾对 9 种药剂抗药性水平, 目的是了解小菜蛾对生产中常用药剂的抗药性现状和发展趋势, 为小菜蛾的科学合理防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

田间种群: 北京种群采自北京昌平地区南口试验农场, 河北种群主要采自河北张家口地区张北县。在小菜蛾发生季节, 从田间作物叶片上直接采集 3 龄幼虫用于抗性测定。

供试药剂: 5% 氯虫苯甲酰胺 (Chlorantraniliprole)、10% 虫螨腈 (Chlorfenapyr)、2.5% 多杀菌素 (Spinosad)、5% 茚虫威 (Indoxacarb)、2% 阿维菌素 (Abamectin)、3% Bt 制剂 (*Bacillus thuringiensis*)、5% 氟啶脲 (Chlorfluazuron)、20% 丁醚脲 (Diafenthiuron) 和 20% 高效氯氟菊酯 (Beta-cypermethrin), 9 种药剂由广东省农业科学院植物保护研究所用原药配制而成, 并分析检测其有效含量。

1.2 方法

抗药性测定方法采用浸叶法 (Liu *et al.*, 2014)。在温室内常年隔离种植甘蓝苗, 以获取无污染的甘蓝叶片。将每种药剂用 0.3% Triton-100 水溶液配制成至少 5 个系列浓度, 以 0.3% Triton-100 水溶液为空白对照, 每个浓度 4 个重复。将甘蓝叶片用内径为 6.5 cm 的打孔器将叶片打成圆片 (避免主叶脉), 将叶片浸入相应的药液中 10 s, 取出后叶背向上放在室温条件下晾干。将叶片放入内径为 6.5 cm 的培养皿中 (培养皿内先放入用水湿润的滤纸, 用于叶片保湿), 然后接入约 10 头小菜蛾 3 龄幼虫, 盖上双层卷纸后盖上培养皿上盖。放置在培养箱中温度 25℃, 相对湿度 70%, 光照比 L:D=16:8。48 h

后 (阿维菌素 72 h 后) 检查结果, 用镊子轻触幼虫头部, 虫体没有运动视为死亡。对照死亡率应小于 10%。

1.3 数据分析

用 POLO 软件 (LeOra Software Inc., California, USA) 计算毒力回归方程的斜率、 LC_{50} 值及其 95% 置信限。抗性倍数 (Resistance ratio, RR) = 田间种群的 LC_{50} 值/敏感种群 LC_{50} 值, 小菜蛾对 9 种药剂的敏感基线标准参照邵振润等 (2013), 抗性分级标准: 抗性指数 ≤ 5 , 无抗性; $5 <$ 抗性指数 ≤ 10 , 低抗性; $10 <$ 抗性指数 ≤ 40 , 中抗性; $40 <$ 抗性指数 ≤ 160 , 高抗性; 抗性指数 > 160 , 极高抗性 (尤民生和魏辉, 2007)。

2 结果与分析

2.1 北京地区小菜蛾对 9 种药剂的抗药性水平

由表 1 可知, 2011—2015 年北京地区小菜蛾田间种群对氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、Bt 制剂和丁醚脲未产生抗药性, 但对氯虫苯甲酰胺的敏感性呈下降趋势, 2015 年的 LC_{50} 值是 2011 年的 3 倍。对虫螨腈和茚虫威的抗性发展较快, 由敏感水平上升到 2015 年的中等抗性水平。对阿维菌素保持中等水平抗性, 年度之间稍有变动。对氟啶脲由最初两年的敏感水平上升到近两年的中等抗性水平。对高效氯氟菊酯持续保持抗性, 年度之间有变动, 2015 年度达到高水平抗性。

2.2 河北张家口地区小菜蛾对 9 种药剂的抗药性水平

2012-2014 年, 对河北张家口地区张北县田间小菜蛾种群进行了抗性监测。由表 2 可知, 该地区小菜蛾对氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、茚虫威和丁醚脲未产生抗药性; 对阿维菌素和氟啶脲持续保持中等抗性水平; 对 Bt 制剂由中等抗性水平下降到 2014 年的敏感水平, 而对虫螨腈由敏感水平上升到中等抗性水平; 对高效氯氟菊酯由中等抗性水平发展到高水平抗性。

表 1 北京地区小菜蛾田间种群对不同杀虫剂的抗药性水平 (2011—2015)
 Table 1 Resistance of the filed population of *Plutella xylostella* to different insecticides in Beijing (2011-2015)

药剂 Insecticide	年份 Year	LC ₅₀ (mg/L) 95%置信限 95% confidence interval	毒力回归方程 斜率±SE	卡方 Chi square	抗性倍数 RR
5%氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	2011	0.21(0.14-0.33)	1.90±0.28	2.47	0.9
	2012	0.07(0.23-3.83)	1.27±0.25	1.47	0.3
	2013	0.06(0.03-0.10)	1.99±0.34	0.14	0.3
	2014	0.27(0.20-0.36)	1.71±0.24	0.5	1.2
	2015	0.66(0.44-0.94)	1.22±0.19	0.32	2.9
10%虫螨腈 Chlorfenapyr	2011	0.60(0.38-0.97)	1.24±0.19	1.28	1.5
	2012	0.27(0.17-0.43)	1.37±0.20	0.41	0.7
	2013	0.19(0.12-0.30)	1.56±0.24	1.67	0.5
	2014	5.44(2.40-8.43)	1.17±0.27	0.28	13.6
	2015	6.16(4.30-8.35)	1.38±0.20	0.6	15.4
2.5%多杀菌素 Spinosad	2011	0.27(0.17-0.44)	1.57±0.25	2.3	2.3
	2012	0.29(0.20-0.43)	1.61±0.21	0.69	2.4
	2013	0.27(0.17-0.42)	1.31±0.18	2.17	2.2
	2014	0.31(0.22-0.43)	1.36±0.20	0.66	2.6
	2015	0.18(0.13-0.24)	1.42±0.20	3.59	1.5
5%茚虫威 Indoxacarb	2011	0.74(0.45-1.23)	1.18±0.18	0.33	1.4
	2012	0.39(0.22-0.73)	1.18±0.19	0.63	0.7
	2013	1.14(0.68-1.93)	1.47±0.24	1.39	2.2
	2014	1.98((1.35-2.68)	1.52±0.22	0.68	3.8
	2015	9.85(6.59-13.62)	1.37±0.21	0.47	18.9
2%阿维菌素 Abamectin	2011	1.11(0.65-1.89)	1.40±0.21	1.04	55.5
	2012	0.76(0.30-1.91)	1.20±0.26	0.15	38.0
	2013	0.58(0.33-1.03)	1.52±0.25	0.22	29.0
	2014	0.49(0.19-0.77)	1.15±0.26	0.38	24.2
	2015	0.35(0.20-0.51)	1.28±0.21	0.34	17.5
3%Bt 制剂 <i>Bacillus thuringiensis</i>	2011	0.57(0.35-0.93)	1.39±0.20	0.43	2.2
	2012	0.92(0.49-1.72)	1.37±0.25	0.47	3.5
	2013	0.40(0.21-0.60)	1.22±0.21	1.75	1.5
	2014	0.31(0.13-0.48)	1.20±0.26	0.19	1.2
	2015	0.30(0.17-0.45)	1.03±0.19	0.35	1.2
5%氟啶脲 Chlorfluazuron	2011	1.62(0.81-3.23)	1.03±0.18	0.99	4.9
	2012	1.91(0.83-4.40)	0.80±0.17	1.29	5.8
	2013	12.16(5.39-27.43)	0.86±0.17	4.33	38.8
	2014	3.51(2.48-4.77)	1.55±0.23	1.71	10.6
	2015	4.76(2.93-7.48)	0.96±0.19	0.653	14.4
20%丁醚脲 Diafenthuron	2011	35.08(22.47-54.78)	1.45±0.20	2.39	1.6
	2012	28.13(16.77-47.33)	1.35±0.20	0.40	1.3
	2013	21.60(10.23-45.75)	0.95±0.23	0.29	1.0

续表 1 (Table 1 continued)

药剂 Insecticide	年份 Year	LC ₅₀ (mg/L) 95%置信限 95% confidence interval	毒力回归方程 斜率±SE	卡方 Chi square	抗性倍数 RR
20%高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	2014	68.20(48.62-90.54)	1.12±0.27	0.28	3.2
	2015	41.66(28.36-56.57)	1.44±0.19	2.31	1.9
	2011	127.53(66.23-245.56)	1.30±0.24	1.85	35.9
	2012	52.01(28.05-96.45)	1.29±0.20	0.91	14.6
	2013	35.34(19.94-62.64)	1.41±0.25	0.38	9.9
	2014	331.42(244.92-457.56)	1.67±0.28	0.43	93.4
	2015	445.63(316.58-590.92)	1.65±0.23	0.98	125.5

表 2 河北张家口地区小菜蛾田间种群对不同杀虫剂的抗药性水平 (2012—2014)

Table 2 Resistance of the field population of *Plutella xylostella* to different insecticides in Zhangjiakou, Hebei (2012-2014)

药剂 Insecticide	年份 Year	LC ₅₀ (mg/L) 95%置信限 95% confidence interval	毒力回归方程 斜率±SE	卡方 Chi square	抗性倍数 RR
5%氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	2012	0.09(0.05-0.19)	1.17±0.20	3.22	0.4
Chlorantraniliprole	2013	0.11(0.08-0.15)	2.03±0.24	1.91	0.5
	2014	0.27(0.20-0.36)	1.70±0.24	0.50	1.2
10%虫螨腈 Chlorfenapyr	2012	0.22(0.13-0.38)	1.48±0.25	5.46	0.5
Chlorfenapyr	2013	0.47(0.28-0.80)	1.17±0.19	1.30	1.1
	2014	5.44(2.40-8.43)	1.17±0.27	0.28	13.6
2.5%多杀菌素 Spinosad	2012	0.19(0.09-0.40)	0.99±0.19	2.41	1.6
Spinosad	2013	0.42(0.24-0.72)	1.16±0.20	2.11	3.5
	2014	0.31(0.22-0.43)	1.36±0.20	0.66	2.6
5%茚虫威 Indoxacarb	2012	0.73(0.45-1.08)	1.25±0.19	2.60	1.4
Indoxacarb	2013	1.66(0.84-3.30)	0.87±0.18	0.23	3.2
	2014	1.98(1.35-2.68)	1.52±0.22	0.68	3.8
2%阿维菌素 Abamectin	2012	1.10(0.52-2.31)	1.06±0.21	0.27	55.0
Abamectin	2013	0.57(0.23-1.45)	0.83±0.18	0.98	28.5
	2014	0.49(0.19-0.77)	1.15±0.26	0.38	24.2
3%Bt 制剂 <i>Bacillus</i>	2012	3.84(3.50-9.83)	0.87±0.17	4.01	14.8
<i>thuringiensis</i>	2013	0.38(0.21-0.56)	1.46±0.25	0.47	1.5
	2014	0.32(0.13-0.48)	1.20±0.26	0.19	1.2
5%氟啶脲 Chlorfluazuron	2012	2.37(1.51-3.74)	1.40±0.20	1.74	7.2
Chlorfluazuron	2013	8.35(4.60-15.17)	1.29±0.24	0.23	25.3
	2014	3.51(2.47-4.77)	1.55±0.23	1.71	10.6
20%丁醚脲 Diafenthiuron	2012	62.74(38.61-101.94)	1.18±0.18	0.35	2.9
Diafenthiuron	2013	29.78(20.08-44.18)	1.56±0.21	0.39	1.4
	2014	68.20(48.62-90.54)	1.12±0.27	0.28	3.2
20%高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	2012	58.10(38.01-88.81)	1.43±0.20	1.12	16.4
Beta-cypermethrin	2013	204.47(96.03-435.35)	1.06±0.24	1.02	57.6
	2014	331.42(244.92-457.56)	1.67±0.28	0.43	93.4

3 讨论

根据 2011-2015 的抗性监测结果, 北京地区和河北张家口地区小菜蛾对 9 种药剂的抗性水平和抗性动态趋势基本一致。对氯虫苯甲酰胺、多杀菌素和丁醚脲均为敏感水平, 对 Bt 制剂、虫螨腈和茚虫威个别年份出现中等抗性水平, 但总体上为敏感状态, 对阿维菌素和氟啶脲保持中等抗性水平, 对高效氯氟菊酯的抗性水平较高, 为中等至高水平抗性。小菜蛾具有迁飞特性 (Yang *et al.*, 2015), 上述两地区地理区域较近, 这两个原因有可能是两地区小菜蛾抗药性极为相似的主要原因。与其他地区相比, 北京和河北张家口地区小菜蛾对药剂的抗性水平较华中地区 (夏耀民等, 2013) 西南地区 (尹艳琼等, 2011) 低。害虫的抗药性与用药背景密切相关, 北方地区小菜蛾年发生约 5~6 代, 而在小菜蛾周年发生的地区, 每年可发生 10 代以上 (冯夏等, 2011), 南方地区小菜蛾受到的药剂选择压力远大于北方地区, 极易发展为极高水平抗性种群 (Pu *et al.*, 2010)。

氯虫苯甲酰胺具有广泛的杀虫活性, 对鳞翅目、双翅目和鞘翅目害虫高效, 并且与其他杀虫剂无交互抗性 (Lahm *et al.*, 2009; Bentley *et al.*, 2010)。多杀菌素是由美国 Dow Agro Sciences 公司开发的低毒生物农药, 对多种重要害虫有较高毒性 (Sparks *et al.*, 1998)。目前监测的北京地区和河北张家口地区小菜蛾这两种药剂最为敏感, 可作为小菜蛾防治的应急药剂。值得注意的是北京地区小菜蛾对氯虫苯甲酰胺的敏感性呈逐年下降趋势, 在我国广州石井地区小菜蛾对氯虫苯甲酰胺已产生 367 倍抗性 (尹飞等, 2015)。因此, 生产中务必控制使用次数, 避免抗药性的产生。阿维菌素是 20 世纪 80 年代开发的产品, 目前监测到有中等水平抗性, 但在生产中仍然是防治小菜蛾的主要药剂或者复配制剂的主要成分, 为防止产生高水平抗性, 建议少用或者暂停使用。高效氯氟菊酯对小菜蛾的活性低, 且抗性水平高, 建议停止使用。

参考文献 (References)

- Bentley KS, Fletcher JL, Woodward MD, 2010. Chlorantraniliprole: an insecticide of the anthranilic diamide class// Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology. Third Edition. London: Academic Press. 2231-2242.
- Furlong MJ, Wright DJ, Dosdall LM, 2013. Diamondback moth ecology and management: problems, progress and prospects. *Annu. Rev. Entomol.*, 58(1): 517-541.
- Fu W, Wei J, Wang QJ, Xu ZD, Sun Y, Yin L, 2012. Study on resistance of *Plutella xylostella* in different areas in Hunan Province to insecticides. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(2): 477-481. [符伟, 魏娟, 王秋丽, 徐志德, 孙鹰, 尹丽, 2012. 湖南不同地区小菜蛾对药剂敏感性比较. 应用昆虫学报, 49(2): 477-481.]
- Feng X, Li ZY, Wu QJ, Chen AD, Wu YD, Hou YM, He YR, Li JH, Xie SH, Zhang JM, Fu W, Ma CS, 2011. Research progress of the resistance management and sustainable control of diamondback moth (*Plutella xylostella*) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 247-253. [冯夏, 李振宇, 吴青君, 谌爱东, 吴益东, 侯有明, 何余容, 李建洪, 谢圣华, 章金明, 符伟, 马春森, 2011. 小菜蛾抗性治理及可持续防控技术与示范. 应用昆虫学报, 48(2): 247-253.]
- Liu F, Shi XZ, Liang YP, Wu QJ, Xu BY, Xie W, Wang SL, Zhang YJ, Liu NN, 2014. A 36-bp deletion in the alpha subunit of glutamate-gated chloride channel contributes to abamectin resistance in *Plutella xylostella*. *Entomol. Exp. Appl.*, 153(2): 85-92.
- Lahm GP, Cordova D, Barry JD, 2009. New and selective ryanodine receptor activators for insect control. *Bioorg. Med. Chem.*, 17(12): 4127-4133.
- Pu X, Yang YH, Wu SW, Wu YD, 2010. Characterization of abamectin resistance in a field-evolved multiresistant population of *Plutella xylostella*. *Pest Manag. Sci.*, 66(4): 371-378.
- Sparks TC, Thompson GD, Kirst HA, Hertlein MB, Larson LL, Worden TV, Thibault ST, 1998. Biological activity of the spinosyns, new fermentation derived insect control agents, on tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *J. Econ. Entomol.*, 91(6): 1277-1283.
- Shao ZR, Feng X, Zhang S, Li ZY, Huang JD, Chen HY, Hu ZD, 2013. Guideline for insecticide resistance monitoring of *Plutella xylostella* (L.) on cruciferous vegetables. Beijing: China Agriculture Press. NY/T 2360-2013. [邵振润, 冯夏, 张帅, 李振宇, 黄军定, 陈焕瑜, 胡珍娣, 2013. 十字花科小菜蛾抗性监测技术规程. 北京: 中国农业出版社. NY/T 2360-2013.]
- Talekar NS, Shelton AM, 1993. Biology, ecology and management

- of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.*, 38(1): 275–301.
- Xia YM, Lu YH, Zhu X, Shen J, You H, Li JH, 2013. Determination of *Plutella xylostella* (L.) resistance to nine insecticides in central China. *China Vegetables*, (22): 75–80. [夏耀民, 鲁艳辉, 朱勋, 申君, 游红, 李建洪, 2013. 华中地区小菜蛾对 9 种杀虫剂的抗药性测定. *中国蔬菜*, 22: 75–80.]
- Yin F, Feng X, Li ZY, Hu ZD, Lin QS, Chen HY, 2015. Resistance of diamondback moth to chlorantraniliprole in different areas. *Plant Protection*, 41(5): 160–163. [尹飞, 冯夏, 李振宇, 胡珍娣, 林庆胜, 陈焕瑜, 2015. 不同地区小菜蛾对氯虫苯甲酰胺的抗药性差异. *植物保护*, 41(5): 160–163.]
- Yang JQ, Tian LX, Xu BY, Xie W, Wang SL, Zhang YJ, Wang XJ, Wu QJ, 2015. Insight into the migration routes of *Plutella xylostella* in China using mt COI and ISSR markers. *PloS ONE*, 10(6): e0130905.
- You MS, Wei H, 2007. Research of Diamondback Moth. Beijing: China Agriculture Press. 176–242. [尤民生, 魏辉, 2007. 小菜蛾的研究. 北京: 中国农业出版社. 176–242.]
- Yin YQ, Zhao XQ, Li XY, Chen AD, 2011. The relationship between susceptibility of *Plutella xylostella* to insecticides and resistance. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 296–300. [尹艳琼, 赵雪晴, 李向永, 谌爱东, 2011. 小菜蛾对杀虫剂的敏感性与其抗药性的相关性. *应用昆虫学报*, 48(2): 296–300.]
- Yin YQ, Mu WD, Li XY, Zhao XQ, Huang CF, Ai Y, Chen AD, 2015. Resistance monitoring of diamondback moth and field control efficacy of pesticides against the pest in Tonghai, Yunnan Province. *Plant Protection*, 41(3): 205–209. [尹艳琼, 沐卫东, 李向永, 赵雪晴, 黄春芬, 艾英, 谌爱东, 2015. 云南通海小菜蛾种群抗药性监测及田间药效评价. *植物保护*, 41(3): 205–209.]