

内蒙古小菜蛾种群数量动态及抗药性监测^{*}

周晓榕¹ 常 静¹ 庞保平^{1**} 吴青君² 张友军²

(1. 内蒙古农业大学农学院 呼和浩特 010019;

2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081)

摘 要 2009—2011 年对内蒙古呼和浩特市郊区十字花科蔬菜和武川县油菜上小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 种群消长动态进行了调查,并比较了呼和浩特地区小菜蛾对 11 种杀虫剂的抗药性。结果表明,在呼和浩特郊区,小菜蛾成虫于 4 月上旬开始出现,一年中有 4 个发生高峰,分别为 4 月下旬或 5 月上旬、6 月中旬、8 月下旬和 10 月上旬;小菜蛾幼虫在春甘蓝和秋白菜整个生长期均有发生,大约有 4 个发生高峰,分别为 6 月上中旬、6 月下旬或 7 月上旬、9 月上旬和 10 月上旬。在武川县,小菜蛾成虫于 4 月末或 5 月初开始发生,春夏季数量高于秋季,共有 2 个发生高峰,2009 年为 5 月下旬和 6 月中旬,2010 年为 6 月上旬和 8 月上中旬;小菜蛾幼虫在 6 月下旬开始出现,在油菜整个生长期,小菜蛾幼虫约有 3 个数量高峰,分别为 7 月初、7 月末和 8 月下旬,秋季数量高于春夏季。在供试的 11 种杀虫剂中,溴虫腈对小菜蛾幼虫的毒力最高,LC₅₀ 为 0.22 mg·L⁻¹;其次为多杀菌素、氯虫苯甲酰胺、氟虫腈和 BT,LC₅₀ 分别为 0.82~0.83、1.09、1.36 和 3.41 mg·L⁻¹;再次为茚虫威和阿维菌素,LC₅₀ 分别为 15.74 mg·L⁻¹ 和 6.03~23.47 mg·L⁻¹;然后为丁醚脲、虫酰肼和啉虫隆,LC₅₀ 分别为 51.30、52.66 和 61.91 mg·L⁻¹;最低为高效氯氰菊酯,LC₅₀ 为 462.66~673.26 mg·L⁻¹。抗药性测定表明,呼和浩特地区小菜蛾幼虫未对溴虫腈、虫酰肼、氯虫苯甲酰胺和丁醚脲产生抗性,对多杀菌素和氟虫腈为低抗性,对茚虫威和 BT 为中抗性,对高效氯氰菊酯、啉虫隆和阿维菌素为极高抗性。

关键词 小菜蛾, 种群动态, 毒力测定, 抗药性, 内蒙古

Population dynamics and insecticide resistance of *Plutella xylostella* in Inner Mongolia

ZHOU Xiao-Rong¹ CHANG Jing¹ PANG Bao-Ping^{1**} WU Qing-Jun² ZHANG You-Jun²

(1. College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China;

2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract The population dynamics and insecticide resistance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), were investigated on cruciferous vegetables in a Hohhot suburb, and on rapeseed in Wuchuan County, Inner Mongolia from 2009 to 2011. In the suburb of Hohhot city, adult moths began to occur in early April and had four peaks of abundance during the year: late April or early May, mid-June, late August and early October. Larvae were continually present during the growing season of cabbage and Chinese cabbage and had four peaks of abundance: early mid-June, late June or early July, early September and early October. In Wuchuan county, adults first appeared in late April or early May and there were more adults in spring and summer than in autumn. In 2009 two peaks occurred in late May and mid-June but in 2010 peaks occurred in early June and early to mid-August. Larvae began to appear in late June and had three peaks during the rapeseed growing season in early July, late July and late August. There were more larvae in autumn than in spring and summer. The toxicity of eleven insecticides to larvae was tested using the leaf dipping bioassay method. The most toxic was Chlorfenapyr with a LC₅₀ value of 0.22 mg·L⁻¹, followed by spinosad, chlorantraniliprole, fipronil and BT-CrVAc, with LC₅₀ values of 0.82–0.83, 1.09, 1.36 and 3.41 mg·L⁻¹, respectively, indoxacarb and abamectin with LC₅₀ values of 15.74 mg·L⁻¹ and 6.03–23.47 mg·L⁻¹, respectively, diafenthiuron, tebufenozide and chlorflazuron

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201103021)。

**通讯作者, E-mail: pangbp@imau.edu.cn

收稿日期:2011-12-06, 接受日期:2012-03-16

with LC_{50} values of 51.30、52.66 and 61.91 $mg \cdot L^{-1}$, respectively, and finally alpha-cypermethrin with LC_{50} values of 462.66 – 673.26 $mg \cdot L^{-1}$. A resistance bioassay of *P. xylostella* larvae to 11 insecticides indicated no resistance to chlorfenapyr, tebufenozide, chlorantraniliprole and diafenthiuron, low resistance to spinosad and fipronil, moderate resistance to indoxacarb and BT-CrviAc and high resistance to alpha-cypermethrin, chlorfluazuron and abamectin.

Key words *Plutella xylostella*, population dynamics, toxicity, insecticide resistance, Inner Mongolia

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 为世界性害虫, 在所有栽培十字花科蔬菜的国家和地区都有其危害的记载, 主要为害十字花科蔬菜, 寄主植物种类达 40 多种。目前, 小菜蛾已成为世界上最难控制的害虫之一, 全球每年用于防治小菜蛾的费用及其造成的损失达 10 亿美元 (Talekar and Shelton, 1993; Sarfraz *et al.*, 2005)。长期以来小菜蛾的防治主要以化学防治为主, 化学农药的大量连续使用, 使小菜蛾始终处在较强的选择压力下, 加之其世代多、繁殖力强, 导致其对杀虫剂的抗性水平越来越高, 目前我国小菜蛾已经对 90% 以上的杀虫剂产生了抗性, 现已成为抗药性最严重和最难防治的害虫之一 (冯夏等, 2011)。内蒙古是我国北方油菜籽主要产区之一, 栽培面积已达 20 万 hm^2 。近年来小菜蛾已成为油菜的重要食叶性害虫, 从苗期到成熟期均可受害, 成为制约内蒙古油菜产业发展的主要因素之一 (内蒙古植保站内部资料)。然而, 目前内蒙古对小菜蛾的研究还很不够, 仅有关于空间分布型及抽样技术 (周惟敏等, 1991; 庞保平等, 1999) 及发生为害情况 (王俊妍和刘焕焕, 2000; 周俊平, 2009) 的报道。因此, 作者于 2009—2011 年在内蒙古呼和浩特市郊区和武川县进行了小菜蛾种群数量动态及抗药性监测, 以期为其预测预报及抗性治理提供必要的基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源: 从呼和浩特市郊区内蒙古农业大学教学农场甘蓝菜地采集小菜蛾 3 龄中期幼虫用于自然种群的毒力测定, 敏感种群由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供。

诱捕材料: 小菜蛾性诱剂诱芯 (由中国科学院动物研究所提供)、诱捕器 (内径约 25 cm 的黄色塑料盆, 市售)。

供试药剂: 5% 氟虫腈悬浮剂、2.5% 多杀菌素悬浮剂、10% 虫酰肼乳油、2% 阿维菌素乳油、20% 高效氯氰菊酯乳油、10% 溴虫腈水乳剂、5% 茚虫

威乳油、5% 啉虫隆悬浮剂、20% 丁醚尿乳油、5% 氯虫苯甲酰胺和 3% BT 可湿性粉剂 (均由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供)。

1.2 方法

1.2.1 小菜蛾种群数量动态监测

1.2.1.1 成虫种群数量动态监测 分别在呼和浩特市郊区内蒙古农业大学教学农场甘蓝田和呼和浩特市武川县上秃亥乡小西滩村油菜田设置监测点。农事操作除按常规管理外, 不施任何杀虫药剂。从 3 月中旬开始进行诱捕, 以便诱捕到第一批越冬成虫, 周年监测, 进入冬季直至连续 2 周未能诱到成虫为止。每个监测点设置小菜蛾诱捕器 3 个, 放在菜田的边缘处, 诱捕器间距大于 30 m, 一字排开。每 2 d 上午定时调查诱捕到的成虫数 (可用小鱼网捞取蛾子), 小菜蛾盛发期每天调查 1 次。计数后去除盆中所有昆虫和杂物, 并适量补水。诱芯每 15 d 换一次, 为了因避免释放率不同而引起的消长误差, 3 枚诱芯交替更换。

1.2.1.2 幼虫种群数量动态监测 呼和浩特市郊区甘蓝定植缓苗后开始调查, 每 5 d 调查 1 次, 春茬甘蓝收获后为止, 秋茬白菜直至收获为止 (2010 和 2011 年未种植秋白菜)。武川县油菜出苗后开始调查直至油菜籽收获。采用棋盘式 10 点调查取样法, 苗期每点固定 10 株共 100 株, 成株期每点 5 株, 在上午调查幼虫和蛹的数量。

1.2.2 小菜蛾抗药性监测 室内毒力测定采用浸叶法。每种药剂设 5 个浓度, 按浓度梯度等比稀释于 0.5% Triton-100 清水, 以 0.5% Triton-100 清水做空白对照, 每个浓度 4 次重复, 每个重复处理 10 头试虫。取用洁净的甘蓝 (*Brassica oleracea*) 叶, 剪成直径 6.5 cm 的圆片 (避免主叶脉)。将叶片在药液中浸泡 10 s 后取出晾干, 将晾干的叶片垫在直径 6.5 cm 的培养皿中, 并接入 10 头 3 龄中期幼虫, 覆盖双层吸水卷纸, 最后盖上培养皿上盖。将其正面向上置于培养箱中。温度 (25 ± 1) $^{\circ}C$, 相对湿度 70% $\pm$ 10%, 光照比 L:D = 16:8。48 h 后检查结果, 以小毛笔或尖锐镊子轻触虫体,

不能协调运动作为死亡。对照死亡率应小于10%,各处理浓度死亡率应合理分布于10%~90%之间。

1.3 数据分析

根据幼虫死亡数量计算各处理的死亡率,用POLO 软件计算毒力回归方程的斜率(slope)、LC₅₀ 值及其95%置信限。抗性指数分级标准(尤民生和魏辉,2007):抗性指数≤5 为无抗性,5<抗性指数≤10 为低抗性,10<抗性指数≤40 为中抗性,40<抗性指数≤160 为高抗性,抗性指数>160 为极高抗性。

2 结果与分析

2.1 小菜蛾成虫种群数量动态

2.1.1 呼和浩特地区小菜蛾成虫种群数量动态

从图1可知,呼和浩特地区小菜蛾成虫于4月上旬出现,2011年出现最早为4月1日,2010年为4月7日,2009年最晚为4月11日。7月下旬以前基本上有2个高峰,第1个高峰2009年和2011年为4月下旬,2010年为5月上旬;第2个高峰2010年和2011年为6月中旬,2009年为5月下旬;2009年第1个高峰的数量远高于第2个高峰,2010年第1个高峰略低于第2个高峰,2011年第1个高峰显著低于第2个高峰。进入8月中旬以

后小菜蛾成虫数量又逐渐上升,8月下旬形成1个小高峰后再次下降,10月上旬形成最后1个高峰,但远低于春季第1个高峰的数量。

2.1.2 武川县小菜蛾成虫种群数量动态

在武川县,小菜蛾成虫首次出现日2009年和2010年分别为4月27日和5月1日,2009年分别在5月下旬和6月中旬形成2个高峰,第1个高峰低于第2个高峰,秋季未形成明显的高峰;2010年在6月上旬形成1个高峰,然后数量急剧下降,7月下旬数量又缓慢上升,8月中旬后数量再次下降。

2.2 小菜蛾幼虫和蛹的种群数量动态

2.2.1 呼和浩特地区小菜蛾幼虫和蛹的种群数量动态

从图3和图4可知,在呼和浩特地区十字花科蔬菜甘蓝和白菜种植期间均有小菜蛾幼虫发生为害,在春甘蓝5月末至6月初定植后即开始出现,6月中旬初形成第1个高峰,6月下旬(2010年和2011年)或7月上旬出现第2个高峰(2009年),小菜蛾幼虫在秋白菜上的数量低于春甘蓝上的数量。

2.2.2 武川县小菜蛾幼虫和蛹的种群数量动态

从图5可知,在武川县油菜田,小菜蛾幼虫在6月下旬开始出现,在油菜整个生长期,小菜蛾幼虫约有3个数量高峰,分别为7月初、7月末和8月下旬,秋季数量高于春夏季。

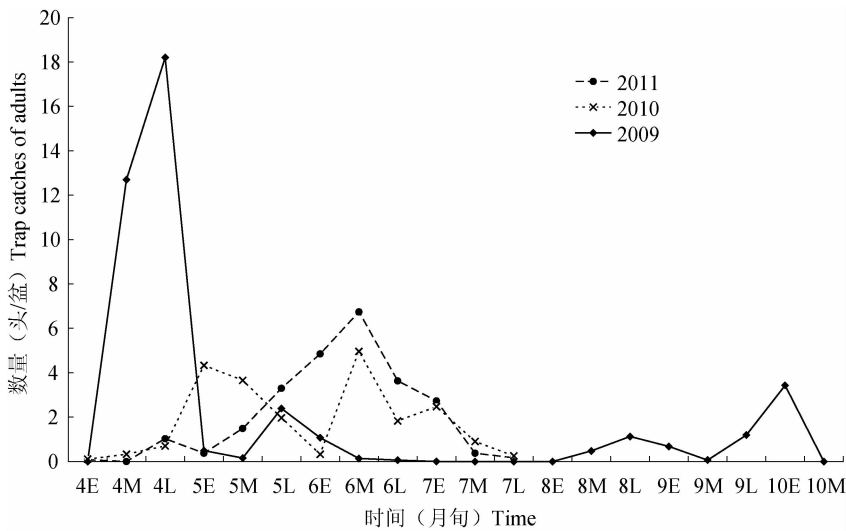


图1 呼和浩特地区小菜蛾成虫种群数量动态

Fig.1 Population dynamics of *Plutella xylostella* adults in Hohhot

横坐标数字表示月份;E:上旬,M:中旬,L:下旬;下同。

Number along the abscissa means month; E: early, M: middle, L: late. The same below.

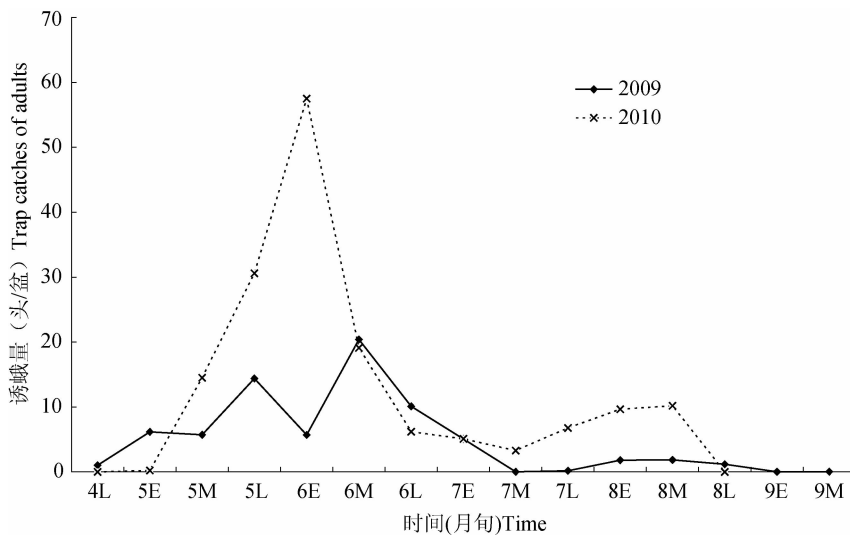


图2 武川县小菜蛾成虫种群数量动态

Fig.2 Population dynamics of *Plutella xylostella* adults in Wuchuan county

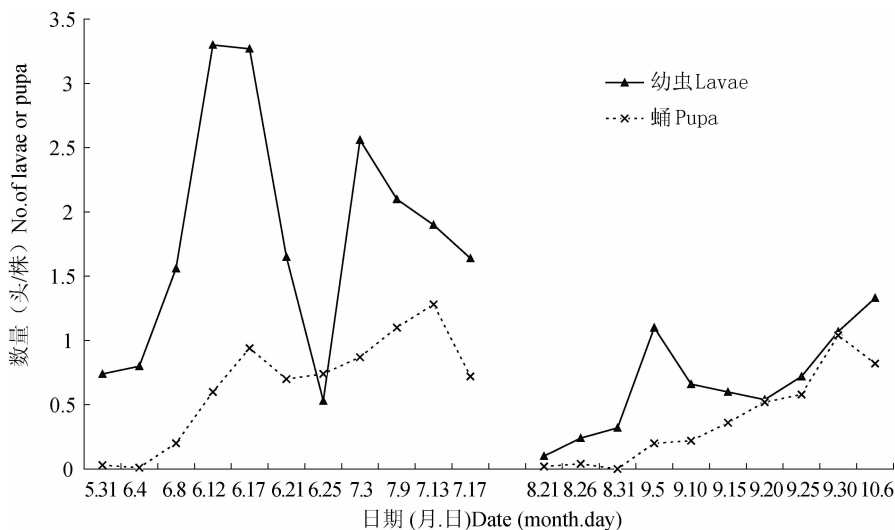


图3 2009年呼和浩特地区小菜蛾幼虫和蛹的种群数量动态

Fig.3 Population dynamics of *Plutella xylostella* larvae in Hohhot in 2009

2.3 呼和浩特地区小菜蛾抗药性的监测

从表1可知,在供试的11种杀虫剂中,10%溴虫腈对小菜蛾幼虫的毒力最高,LC₅₀为0.22 mg·L⁻¹;其次为2.5%多杀菌素、5%氯虫苯甲酰胺、5%氟虫腈和3%BT,LC₅₀分别为0.82~0.83、1.09、1.36和3.41 mg·L⁻¹;再次为5%茚虫威和2%阿维菌素,LC₅₀分别为15.74 mg·L⁻¹和6.03~23.47 mg·L⁻¹;然后为20%丁醚脲、10%虫酰肼和5%啉虫隆,LC₅₀分别为51.30、52.66和61.91 mg·L⁻¹;最低为20%高效氯氰菊酯,LC₅₀为462.66~

673.26 mg·L⁻¹。抗药性测定表明,呼和浩特地区小菜蛾幼虫未对10%溴虫腈、10%虫酰肼、5%氯虫苯甲酰胺和20%丁醚脲产生抗性,对2.5%多杀菌素和5%氟虫腈为低抗性,对5%茚虫威和3%BT为中抗性,对20%高效氯氰菊酯、5%啉虫隆和2%阿维菌素为极高抗性。

3 讨论

2009至2011年的调查表明,小菜蛾成虫在呼和浩特郊区于4月上旬首次出现,2011年最早为4月1日出现,2009年最晚为4月11日出现。春

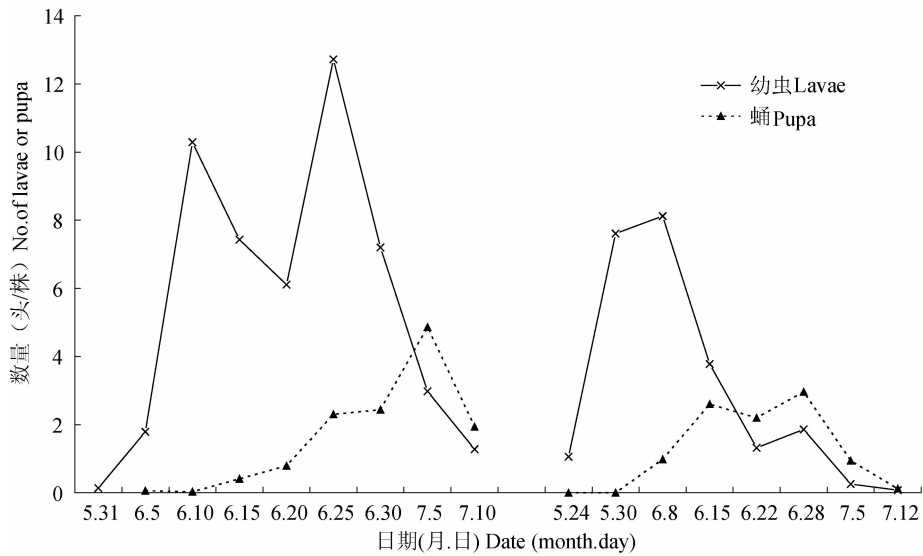


图 4 2010 年 (左) 和 2011 年 (右) 呼和浩特地区小菜蛾幼虫和蛹的种群数量动态
Fig.4 Population dynamics of *Plutella xylostella* larvae in Hohhot in 2010 (left) and 2011 (right)

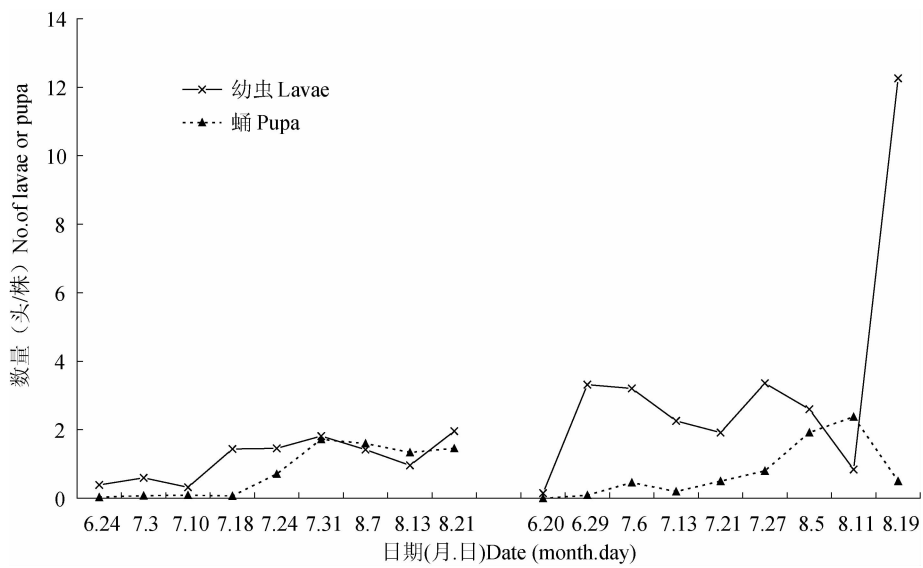


图 5 2009 年 (左) 和 2010 年 (右) 武川县小菜蛾幼虫的种群数量动态
Fig.5 Population dynamics of *Plutella xylostella* larvae in Hohhot in 2009 (left) and 2010 (right)

夏季通常有 2 个数量高峰,第 1 个高峰发生于 4 月下旬或 5 月上旬,此时气温较低,田间未有十字花科蔬菜种植;第 2 个高峰为 6 月中旬,此时为春甘蓝移栽后半个月左右。武川县小菜蛾成虫首次出现日,2009 和 2010 年分别为 4 月 27 日和 5 月 1 日,比呼和浩特市郊区晚发生半个月以上。幼虫出现期也晚半个月以上。这是因为呼和浩特市郊区位于阴山山脉大青山以南,海拔约 1 020 m,气候温暖,年平均温度 6.7℃,无霜期 134 d;武川县

位于阴山山脉大青山以北,海拔 1 800 ~ 2 200 m,气候寒冷,年平均温度 3.0℃,无霜期 118 d。

本文室内毒力测定结果表明,10% 溴虫腈、2.5% 多杀菌素、5% 氯虫苯甲酰胺、5% 氟虫腈和 3% BT 对小菜蛾幼虫的毒力很高,LC₅₀ 小于 5 mg·L⁻¹;5% 茚虫威和 2% 阿维菌素毒力也较高,LC₅₀ 低于 25 mg·L⁻¹;20% 丁醚脲、10% 虫酰肼和 5% 啉虫隆的毒力居中,LC₅₀ 位于 50 ~ 62 mg·L⁻¹ 之间;20% 高效氯氟菊酯毒力最低,LC₅₀ 为 462.66 ~

表 1 11 种杀虫剂对小菜蛾的毒力测定

Table 1 Toxicity of 11 different insecticides to *Plutella xylostella* larvae in Huhhot

杀虫剂 Insecticides	LC ₅₀ (mg·L ⁻¹)	毒力回归方程斜率 Slope of toxicity regression equation (b ± SE)	95% 置信限 Confidence interval	χ ²	抗性指数 Resistance index
10% 溴虫腈 Chlorfenapyr	0.22	1.24 ± 0.38 (2011)	0.13 – 0.44	0.42	0.60
5% 氟虫腈 Fipronil	1.36	1.72 ± 0.27 (2010)	0.98 – 1.79	5.29	8.48
10% 虫酰肼 Tebufenozide	52.66	1.40 ± 0.23 (2010)	38.30 – 72.98	4.94	1.78
5% 茚虫威 Indoxacarb	15.74	1.18 ± 0.35 (2011)	8.57 – 52.42	0.24	11.00
3% BT CrlvAc	3.41	1.36 ± 0.40 (2011)	2.14 – 8.69	0.12	13.10
5% 氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	1.09	1.48 ± 0.16 (2011)	0.73 – 1.70	1.55	4.70
5% 啉虫隆 Chlorfluazuron	61.91	1.82 ± 0.47 (2011)	38.66 – 96.75	0.14	187.6
20% 丁醚脲 Diafenthiuron	51.30	1.61 ± 0.39 (2011)	29.73 – 74.26	0.23	2.40
2% 阿维菌素 Abamectin	23.47	1.00 ± 0.26 (2011)	8.56 – 59.80	0.93	1 173.50
	6.03	1.25 ± 0.23 (2010)	4.26 – 8.89	2.63	305.50
20% 高效氯氰菊酯	462.66	1.26 ± 0.22 (2011)	314.58 – 815.07	0.47	130.30
Alpha-cypermethrin	673.26	1.89 ± 0.22 (2010)	508.23 – 878.26	3.39	189.60
2.5% 多杀霉素 Spinosad	0.83	1.07 ± 0.27 (2011)	0.49 – 2.77	0.46	6.90
	0.82	1.55 ± 0.24 (2010)	0.61 – 1.10	4.76	6.80

673.26 mg·L⁻¹。上述结果与其他地区的研究结果基本相同(赵锋等,2006;韩文素等,2011;尹艳琼等,2011;张贵云等,2011),但虫酰肼对云南通海县小菜蛾种群的毒力很低,LC₅₀只有 1 383.8 mg·L⁻¹,这很可能是由于该地小菜蛾种群已对虫酰肼产生极高的抗性,其抗性指数高达 528.91(尹艳琼等,2011)。本文与其它地区抗性测定结果表明,小菜蛾种群普遍已对阿维菌素和高效氯氰菊酯产生了高度抗性(王建军等,2000;赵锋等,2006;尹艳琼等,2011;张贵云等,2011),这是由于这 2 种杀虫剂已在全国范围内连续使用多年用于防治小菜蛾。多杀菌素是一种新型的抗生素类广谱杀虫剂,自 1997 年以来,已在 30 多个国家 150 种作物上使用(Cleveland *et al.*, 2002)。本文研究表明,多杀菌素对小菜蛾具有很高的毒杀作用,这与其他作者的结果是一致的(Downard, 2001; Isayama *et al.*, 2004; 徐建祥等,2005;尹艳琼等,2011;张贵云等,2011)。然而,呼和浩特地区的小菜蛾已对多杀菌素产生了低水平的抗性(抗性指数 6.8~6.9),国内外其他地区也有小菜蛾对多杀菌素产生抗性的报道(Zhao *et al.*, 2006; Sayyed *et al.*, 2008; 尹艳琼等,2011)。因此,虽然多杀菌素目前对小菜蛾等鳞翅目害虫的防治效果非常

好,但为了延缓抗性的产生和发展,建议多杀菌素与溴虫腈、氯虫苯甲酰胺和氟虫腈等药剂轮换使用。

参考文献 (References)

Cleveland CB, Mayes MA, Cryer SA, 2002. An ecological risk assessment for spinosad use on cotton. *Pest Manag. Sci.*, 58:70–84.

Downard P, 2001. Spinosad controls a range of lepidopteran pests in crucifers in Australia//Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests. Proceedings of the Fourth International Workshop, Melbourne, Victoria, Australia. 351–355.

Isayama S, Ogawa M, Kasamatsu K, 2004. Observable changes in diamondback moth's (*Plutella xylostella* L.) susceptibility to insecticides in Iwaoka, Kobe City, Hyogo Prefecture, Japan. *Jap. J. Appl. Entomol. Zool.*, 48(4): 337–343.

Sarfraz M, Keddie AE, Dossdall LM, 2005. Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: A review. *Biocontr. Sci. Tech.*, 15(8):763–789.

Sayyed AH, Saeed S, Noor-ul-ane M, Crickmore N, 2008. Genetic, biochemical, and physiological characterization of spinosad resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.*, 101(5):1658–1666.

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

Zhao JZ, Collins HL, Li YX, Mau RF, Thompson GD, Hertlein M, Andaloro JT, Boykin R, Shelton AM, 2006. Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera:Plutellidae) resistance to spinosad, indoxacarb and emamectin benzoate. *J. Econ. Entomol.*, 99:176 – 181.

冯夏, 李振宇, 吴青君, 湛爱东, 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研究 with 示范. 应用昆虫学报, 48(2):247 – 253.

韩文素, 张树发, 沈福英, 任承才, 张红杰, 2011. 张家口地区田间小菜蛾种群对 6 种新型杀虫剂的敏感性测定. 中国植保导报, 31(8):42 – 44.

庞保平, 邢莉, 王振平, 1999. 小菜蛾空间分布型及抽样技术的研究. 内蒙古农业科技, (6):12 – 14.

王建军, 韩召军, 王荫长, 2000. 南京郊区小菜蛾抗性测定和几种杀虫剂触杀毒力的比较. 南京农业大学学报, 23(4):21 – 24.

王俊妍, 刘焕焕, 2000. 菜蛾在我区发生动态与防治. 内蒙古农业科技, (增刊):105.

徐建祥, 乔静, 仲崇翔, 2005. 多杀菌素对小菜蛾及其天敌的毒力研究. 中国生态农业学报, 13(4):161 – 163.

尹艳琼, 赵雪晴, 李向永, 湛爱东, 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.

尤民生, 魏辉, 2007. 小菜蛾的研究. 北京:中国农业出版社. 176 – 242.

张贵云, 张丽萍, 刘珍, 魏明峰, 范巧兰, 吴青君, 张友军, 2011. 山西十字花科小菜蛾种群消长动态及几种杀虫剂的触杀毒力比较. 应用昆虫学报, 48(2):260 – 266.

赵锋, 王沫, 李建洪, 2006. 小菜蛾对九种杀虫剂的抗药性. 昆虫知识, 43(5):640 – 643.

周俊平, 2009. 内蒙古乌兰察布市小菜蛾的发生及其防治措施. 北京农业, (2):24 – 26.

周惟敏, 刘家骧, 支万元, 1991. 菜蛾田间分布型及抽样方法的研究. 华北农学报, 6(4):73 – 78.