

高原春油菜田小菜蛾种群动态和抗药性的监测*

来有鹏** 冯丽荣 郭青云***

(青海省农林科学院植物保护研究所 青海省农业有害生物综合治理重点实验室 西宁 810106)

摘 要 【目的】为了准确掌握典型春油菜种植区小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 种群变化动态和抗药性现状。【方法】诱捕法调查了青海高原小菜蛾成虫发生动态、室内用浸渍法测定了小菜蛾田间种群的抗性倍数,并进行了田间药效试验。【结果】青海省小菜蛾一般一年发生 3 代,但 2 500 m 以上的地区第 3 代成虫数量较第 1 代、第 2 代明显下降。在我省高原春油菜区,每日 20:00 至次日晨 4:00 是小菜蛾成虫发生主要的时间段。小菜蛾在青海省不能越冬。湟中点小菜蛾对溴虫腈产生低水平抗性;对多杀菌素、丁醚脲产生中等抗性水平;对 Bt、高效氯氰菊酯、茚虫威产生高水平的抗性;对阿维菌素、啮虫隆、氯虫苯甲酰胺产生极高水平抗性。互助点小菜蛾对溴虫腈、丁醚脲产生低水平抗性;对多杀菌素、啮虫隆产生中等抗性水平;对 Bt、氯虫苯甲酰胺、茚虫威产生高水平抗性;对阿维菌素产生极高水平抗性。小菜蛾的抗性监测结果与田间药效结果基本一致,溴虫腈的抗性倍数最低,田间防治效果好于其他参试药剂。【结论】青海省小菜蛾年发生代数较少,且不能越冬。春油菜田小菜蛾已对大部分农药产生了抗药性。
关键词 高原春油菜,小菜蛾,种群动态,抗药性

Population dynamics and insecticide resistance of the diamondback moth on plateau spring rape crops

LAI You-Peng** FENG Li-Rong GUO Qing-Yun***

(Plant Protection Institute of Qinghai Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai Province Key Laboratory of Integrated Pest Management, Xining 810016, China)

Abstract [Objectives] To understand the population dynamics and insecticide resistance of the diamondback moth in plateau spring rape crops. [Methods] The population dynamics of a wild diamondback moth population of were investigated by trapping and insecticide resistance was assayed with the leaf-dipping method. The control effect of different insecticides was also assessed. [Results] Three generations of the diamondback moth occurred annually at Qinghai, the third generation was significantly smaller than the first and second at altitudes higher than 2 500 m. Most moth activity occurred between 20:00 to 04:00. The diamondback moth cannot overwinter at Qinghai. A Huangzhong diamondback moth population developed low level resistance to bromine cyanide, intermediate resistance to spinosad and diafenthiuron, high resistance to Bt、beta-cypermethrin and indoxacarb, and extremely high resistance to avermectin, pyridine long and methyl chloride amide. A Huzhu population developed low level resistance to bromine cyanide and diafenthiuron, intermediate resistance to spinosad and pyridine long, high resistance to Bt、methyl chloride amide and indoxacarb, and extremely high resistance to avermectin. The results of the leaf-dipping bioassay and field monitoring were generally consistent. For example, the leaf-dipping bioassay indicated that moths were least resistant to bromine cyanide and this insecticide was the most effective at controlling them in the field. [Conclusion] The diamondback moth has fewer generations at Qinghai and cannot overwinter there. *Plutella xylostella* (L.) in spring rape fields have developed resistance to most insecticides.

Key words plateau spring rape, diamondback moth, population dynamics, resistance

* 资助项目 Supported projects: 国家公益性行业(农业)专项(201103021)

**第一作者 First author, E-mail: yplai@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: guoqingyunqh@163.com

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

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 属鳞翅目 (Lepidoptera) 菜蛾科 (Plutellidae)。1954 年, 小菜蛾在地中海地区首先发生 (Harcourt, 1954), 目前在所有十字花科作物种植的国家 and 地区都有发生和为害的记载 (Talekar and Shelto, 1993; Begum *et al.*, 1996; Sarfraz *et al.*, 2006; Grzywacz *et al.*, 2010)。在南亚、东南亚和中国南方地区小菜蛾的发生尤为严重 (Verkerk *et al.*, 1996)。小菜蛾寄主多达 40 种以上, 主要以幼虫在十字花科作物的整个生育期危害叶片。年发生代数多、繁殖能力强、对不良食料适应性好, 是一种典型的 r-对策害虫; 加之具迁飞性, 能够在不同地理区间相互扩散, 已成为当今世界范围内对十字花科蔬菜为害最重的害虫, 严重时甚至可能造成作物绝收 (Mohan *et al.*, 2001)。其为害后的粪便污染作物而品质降低 (Macharia *et al.*, 2005)。小菜蛾为害较轻年份蔬菜损失为 10%~20%, 一般约为 30%~50%, 严重时可减产 90% 以上, 甚至绝收 (Chin *et al.*, 1990)。据不完全统计, 目前全世界每年用于防治小菜蛾的费用达 40~50 亿美元 (Zalucki *et al.*, 2012; Furlong *et al.*, 2013)。

小菜蛾无滞育习性, 在温度适宜区主要以蛹越冬, 而在冬季温度过低的地方常迁飞至温暖地区越冬 (仵均祥, 2002)。我国各地小菜蛾的年发生世代从北至南呈逐渐增加趋势, 东北地区年发生 2~3 代, 华南地区广东和海南的发生世代可超过 20 代。各地小菜蛾发生起始峰时间从南至北逐渐向后推移, 海南地区始峰最早, 在 2—3 月份, 东北地区最迟, 在 6—7 月份 (冯夏, 2011)。北方地区主要集中在温度较高的夏季发生, 种群的消长动态呈显著夏高峰型; 长江以南的广泛地区由于周年种植十字花科蔬菜, 温度能满足小菜蛾生长发育的需要, 无滞育越冬现象, 种群消长动态呈明显春秋双峰型 (尤民生和魏辉, 2007)。在生产实践中小菜蛾的防治主要方法有: 农业防治, 如耕作栽培措施, 抗虫育种防治小菜蛾 (Eigenbrode *et al.*, 1990); 生物防治, 用半闭弯尾姬蜂和菜蛾啮小蜂等天敌防治; 物理

防治, 利用昆虫性信息素诱杀成虫; 化学防治, 用农药防治小菜蛾成虫和幼虫。

Ankersmit (1953) 报道了小菜蛾对 DDT 的抗药性之后, 据不完全统计, 小菜蛾已经对 70 多种杀虫剂产生了抗药性, 包括有机氯、有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯类以及昆虫生长调节剂和苏云金杆菌 (Bt) 等杀虫剂 (Attique *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2012; Furlong *et al.*, 2013)。小菜蛾抗药性的产生加快农药品种的淘汰速度, 同时为对其防治带来极大的障碍。

本文首次就小菜蛾在青海省春油菜田的发生动态、典型春油菜种植区抗药性监测及其不同种类农药的防治效果进行了研究, 为其在春油菜区小菜蛾的综合治理提供基础。

1 材料与方法

1.1 小菜蛾发生动态

在典型的青海省春油菜田中监测小菜蛾种群成虫发生动态。布置监测点 2 个, 分别为互助县红崖子沟乡白马寺村 (海拔 2 104 m, 36°31'18.74"N, 102°05'20.74"E) 和湟中县西堡镇西两旗村 (海拔 2 567 m, 36°31'37.82"N, 101°35'30.06"E)。用小菜蛾性诱剂、盆式诱捕器诱捕成虫, 调查发生动态。每 2 d 计数清理一次。

在油菜种植田用诱捕法调查小菜蛾成虫日发生动态。

1.2 小菜蛾在青海省春菜田中越冬调查

在春油菜收获后的试验地放置网室, 网室的大小为 6 m×5 m×2 m, 共置 3 个网室。放置至第二年春油菜花末期。在第二年春油菜出苗后每隔 10 d 调查, 网室内是否有成虫。

1.3 小菜蛾对 9 种农药抗性监测

1.3.1 供试虫源 分别采自互助和湟中定点油菜田。将供试虫源饲统一养到 3 龄, 用于生测。

从田间采集老熟幼虫或蛹到室内, 培养皿中保存。保存湿度 20.0%~70.0%, 温度 23~26℃。

成虫羽化后用 10% 的蜂蜜溶液饲养。将脱脂

棉(10 cm 大小)在 10 %的蜂蜜溶液浸湿,后用铁丝悬挂。同时,每天更换一次甘蓝叶或油菜叶。收集每天所产卵,分批孵化,以便获得一致龄期的幼虫。

将不同时期所产的卵分批放入不同的培养皿($\varphi=10\text{ cm}$)让其孵化,培养皿中事先铺好滤纸并用棉花沾水保湿,用纱布和橡胶圈封口。

将孵化的幼虫接至甘蓝苗上。一般幼虫孵化约 5~6 d,大多幼虫进入 3 龄期,即可用于生测。

将蛹置于养虫笼(30 cm×30 cm×50 cm)的养虫笼中,收集到的蛹可直接放至养虫笼中。另外,也可放入有湿润滤纸的培养皿中于 4~5℃下冷藏保存备用。

1.3.2 小菜蛾抗药性水平的分级标准 见表 1。

表 1 小菜蛾抗药性水平的分级标准 Table 1 Grading standards of <i>Plutella xylostella</i> resistance	
抗性水平分级 Grade of resistance level	抗性倍数(倍) Resistance ratio
敏感 Sensitivity	$RR < 3.0$
敏感性下降 Declined sensitivity	$3.0 \leq RR < 5.0$
低水平抗性 Low level	$5.0 \leq RR < 10.0$
中等水平抗性 Intermediate level	$10.0 \leq RR < 40.0$
高水平抗性 High level	$40.0 \leq RR < 160.0$
极高水平抗性 Extreme high level	$RR \geq 160$

1.3.3 供试农药 2% Avermectin 乳油、3% BT 可湿性粉剂、20%高效氯氰菊酯乳油、5%氯虫苯甲酰胺乳油、2.50%多杀菌素悬浮剂、10%溴虫腈乳油、5%啉虫隆乳油、20%丁醚脲乳油、5%茚虫威乳油,这 9 种农药均由广东省农业科学院植物保护研究所提供。

1.3.4 生测方法 采用叶片浸渍法对供试药剂进行室内毒力测定。将药剂按倍数稀释成一定浓度,用直径 7~9 cm 的无毒甘蓝叶片在不同浓度药液中浸 10 s,取出晾干后接 3 龄小菜蛾幼虫。

每种农药设置 5 个浓度梯度,每个浓度处理 4 次重复,每个重复接 10 头幼虫。

处理后 24、48 h 检查记录幼虫死亡数。用毛笔触虫体,若头部不能摆动,身体不能向前爬动视为死亡。

1.4 农药药效试验

1.4.1 供试农药 2% Avermectin 乳油、3% BT 可湿性粉剂、20%高效氯氰菊酯乳油、5%氯虫苯甲酰胺乳油、2.50%多杀菌素悬浮剂、10%溴虫腈乳油、5%啉虫隆乳油、20%丁醚脲乳油、5%茚虫威乳油,项目组设定的各种农药的推荐有效成份使用量分别为:0.2、0.5、5.0、2.0、3.0、20.0、2.5 g/667 m²。

1.4.2 试验方法 防治试验在农科院试验基地进行,每种农药设 2 个浓度,分别为推荐剂量和 2 倍的推荐剂量,重复 3 次。试验共设 54 个小区,小区面积 35 m²,试验总面积 1 890 m²。于 6 月中旬,多数幼虫为 3 龄时进行喷雾防治。每小区喷雾量 700 mL。施药 1 次。

调查药前基数及药后残虫数。每小区调查 5 点,每点连续调查 10 株,每小区调查共 50 株。

2 结果与分析

2.1 小菜蛾成年发生动态

在互助县红崖子沟乡监测点,油菜从苗期到成熟收获期,小菜蛾成虫出现 3 个发蛾高峰。越冬代成虫发生初期在 4 月下旬,5 月中下旬是发生高峰期。第 2 代成虫发生期在 7 月中旬至 7 月下旬。第 3 代成虫发生高峰期在 10 月中旬到下旬。8 月中旬油菜收获后,第 3 代幼虫发生在其它寄主或油菜次生苗上继续为害。第 1 代到第 3 代成虫数量明显呈上升态势(图 1)。

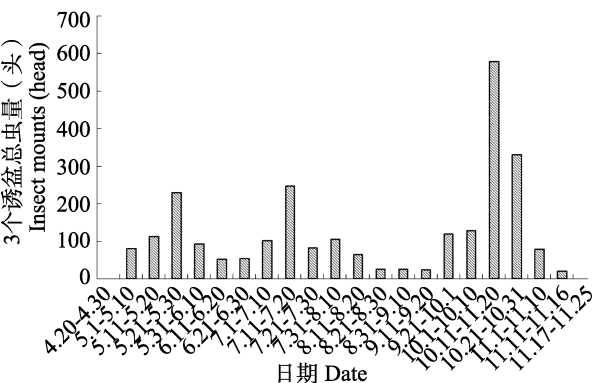


图 1 互助监测点小菜蛾成虫发生动态
Fig. 1 Occurance dynamics for *Plutella xylostella* at Huzhu

从图 2 可看出,湟中县西堡镇从未出苗到油菜收获期有 1 个明显的发蛾高峰期,在 5 月下旬到 6 月上旬。另外,在 7 月中下旬到 8 月上旬有第 2 个发蛾小高峰。第 3 小菜蛾发生高峰期在 10 月下旬和 11 月上旬。其中第 1 代到第 3 代成虫数量逐步下降。

从图 3 可以看出,在西宁市城北区,油菜从出苗至收获后,小菜蛾有明显的 3 个发蛾高峰,分别在 6 月上中旬、7 月下旬至 8 月上旬和 10 月下旬至 11 月上旬。第 1 代到第 3 代成虫数量逐步上升。

2.2 小菜蛾成虫日发生动态

图 4 结果表明,小菜蛾全天中发诱高峰期出现在 24:00 左右。在青海省高原春油菜区,越冬代小菜蛾成虫发生时间主要在夜间,每日 20:00 至次日晨 4:00 发生量占全天发生量的 90.03%。

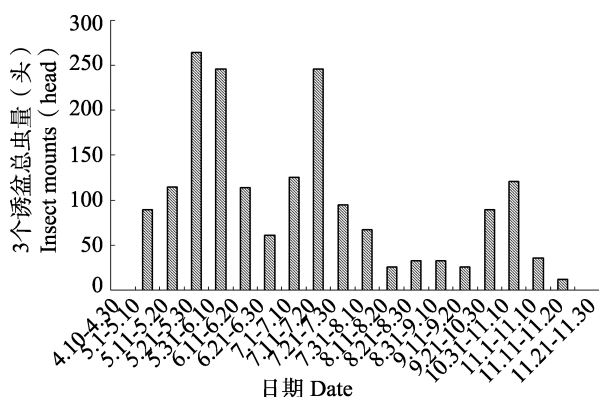


图 2 湟中监测点小菜蛾成虫发生动态
Fig. 2 Occurrence dynamics for *Plutella xylostella* at Huangzhong

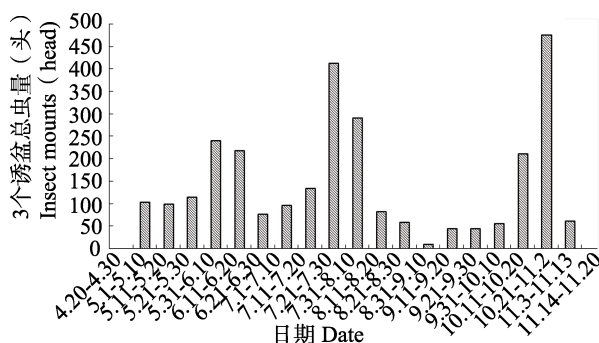


图 3 西宁监测点小菜蛾成虫发生动态
Fig. 3 Occurrence dynamics for *Plutella xylostella* at Xining

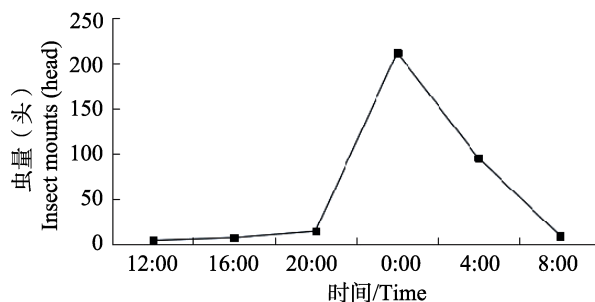


图 4 小菜蛾日发生动态

Fig. 4 Daily occurrence dynamics for *Plutella xylostella*

2.3 小菜蛾幼虫越冬调查结果

在上年油菜茬中放置网室,到第二年 6 月底,调查网室内小菜蛾发生数量,结果没有发现小菜蛾为害,说明小菜蛾在青海省不能越冬。

2.4 小菜蛾诊断剂量死亡反应

从表 2 可以看出,不同监测点的小菜蛾对 9 种杀虫剂诊断剂量的死亡反应不同,其中湟中点的小菜蛾总体死亡率明显高于互助点的,说明互助点的小菜蛾对 9 种农药的抗性高于湟中点的,这可能与当地的用药水平有关。

2.5 不同生态区小菜蛾的抗性倍数

从表 3 可以看出,虫源来自湟中点的小菜蛾,经各药剂处理 24 h 后,Avermectin、BT、高效氯氰菊酯、氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、溴虫腈、啶虫隆、丁醚脲、茚虫威的 LC_{50} 分别为 5.53、28.84、204.96、87.56、1.28、2.38、80.96、129.37、33.28 mg/L。由抗性倍数可知,氯虫苯甲酰胺的抗性倍数最高为 380.70,达极高抗性水平。其中,该地区的小菜蛾对溴虫腈产生低水平抗性;对多杀菌素、丁醚脲产生中等抗性水平;对 Bt、高效氯氰菊酯、茚虫威产生高水平的抗性;对 Avermectin、啶虫隆、氯虫苯甲酰胺产生极高水平抗性。

从表 4 可以看出,虫源来自互助点的的小菜蛾,经各药剂处理 24 h 后,Avermectin、Bt、高效氯氰菊酯、氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、溴虫腈、啶虫隆、丁醚脲、茚虫威的 LC_{50} 分别为 16.44、11.48、646.56、17.89、1.35、2.36、11.42、195.64、69.80 mg/L。由抗性倍数可知,对 Avermectin 产

生极高水平抗性;对 Bt、氯虫苯甲酰胺产生高水平抗性;对多杀菌素、啉虫隆产生中等抗性水平;对溴虫腈、丁醚脲产生低水平抗性。

2.6 不同农药对小菜蛾的防治效果

从表 5 结果可以看出 ,推荐浓度 2 倍的各处

理对小菜蛾的总体防治效果优于推荐浓度的处理。溴虫腈、茚虫威的防治效果好于其他参试药剂。各处理施药后第 7 天的防治效果均高于药后第 3 天的防治效果。按推荐剂量 2 倍药后 7 d 防治效果来看 ,不同药剂防治效果高低依次是 10%

表 2 小菜蛾对常用 9 种杀虫剂诊断剂量的死亡反应
Table 2 Lethal response of *Plutella xylostella* to 9 insecticides

药剂名称 Insecticide name	诊断剂量 (mg/L) Diagnostic dose	互助点死亡率 Fatallity rate of Huzhu	湟中点死亡率 Fatallity rate of Hunagzhong
2% Avermectin 乳油 2% Avermectin EC	0.3	3.33±5.77	40.00±10.00
3% Bt 可湿性粉剂 3% <i>Bacillus thuringiensis</i> WP	10.0	30.00±20.00	40.00±10.00
20%高效氯氰菊酯乳油 20% Beta-cypermethrin EC	120.0	13.33±5.77	50.00±17.32
5%氯虫苯甲酰胺乳油 5% Methyl chloride amide EC	15.0	6.67±5.77	60.00±10.00
2.50%多杀菌素悬浮剂 2.50% Spinosad SC	1.5	26.67±11.55	83.33±5.77
10%溴虫腈乳油 10% Bromine cyanide EC	3.0	66.67±23.09	93.33±5.77
5%啉虫隆乳油 5% Pyridine long EC	15.0	26.67±11.55	43.33±11.55
20%丁醚脲乳油 20% Diafenthuiuron EC	160.0	36.67±20.82	73.33±20.82
5%茚虫威乳油 5% Indoxacarb EC	25.0	13.33±5.77	50.00±17.32

表 3 湟中监测点小菜蛾的抗性监测
Table 3 Resistnace monitor for *Plutella xylostella* at Huangzhong

药剂名称 Insecticide name	敏感基线 (mg/L) Sensitive baseline	LC ₅₀	回归方程 (相关系数) Regression equation (correlation coefficient)	95%置信限 95% confidence interval	抗性倍数 Resistance ratio
2% Avermectin 乳油 2% Avermectin EC	0.02	5.53	y=4.7814+0.2942x (0.9820)	0.9205-10 7721.53	276.50
3% Bt 可湿性粉剂 3% <i>Bacillus thuringiensis</i> WP	0.26	28.84	y=2.1167+1.9749x (0.9621)	16.1494-130.6557	110.92
20%高效氯氰菊酯乳油 20% Beta-cypermethrin EC	3.55	204.96	y=-0.0506+2.1848x (0.9759)	161.8470-644.0774	57.74
5%氯虫苯甲酰胺乳油 5% Methyl chloride amide EC	0.23	87.56	y=3.0524+1.0028x (0.9677)	60.2346-136.257	380.70
2.50%多杀菌素悬浮剂 2.50% Spinosad SC	0.12	1.28	y=4.8363+1.5513x (0.9716)	0.9261-2.1831	10.67
10%溴虫腈乳油 10% Bromine cyanide EC	0.4	2.38	y=3.6793+3.5067x (0.9429)	2.0039-3.0524	5.95
5%啉虫隆乳油 5% Pyridine long EC	0.33	80.96	y=3.4197+0.8281x (0.9458)	45.3690-132.0666	245.33
20%丁醚脲乳油 20% Diafenthuiuron EC	21.39	129.37	y=-10.7957+7.4797x (0.9634)	119.1001-138.3768	6.05
5%茚虫威乳油 5% Indoxacarb EC	0.52	33.28	y=0.8379+2.7343x (0.9786)	27.9942-52.3633	64.00

表 4 互助监测点小菜蛾的抗性监测
Table 4 Resistnace monitor for *Plutella xylostella* at Huzhu

药剂名称 Insecticide name	敏感基线 (mg/L) Sensitive baseline	LC ₅₀	回归方程 (相关系数) Regression equation (correlation coefficient)	95%置信限 95% confidence interval	抗性倍数 Resistance ratio
2% Avermectin 乳油 2% Avermectin EC	0.02	16.44	$y=3.8090+0.3110x$ (0.9846)	1.2365-56.2314	169.00
3% Bt 可湿性粉剂 3% <i>Bacillus thuringiensis</i> WP	0.26	11.48	$y=1.1508+3.6314x$ (0.9788)	10.0251-14.5882	44.15
20%高效氯氰菊酯乳油 20% Beta-cypermethrin EC	3.55	646.56	$y=0.7574+1.5095x$ (0.9991)	252.3214-1001.0254	182.13
5%氯虫苯甲酰胺乳油 5% Methyl chloride amide EC	0.23	17.89	$y=1.4713+2.8172x$ (0.9834)	14.5898-21.1686	77.78
2.50%多杀菌素悬浮剂 2.50% Spinosad SC	0.12	1.35	$y=4.7802+1.7027x$ (0.9983)	0.9948-2.2518	11.25
10%溴虫腈乳油 10% Bromine cyanide EC	0.40	2.36	$y=3.9724+2.7563x$ (0.9227)	1.9317-3.1262	5.90
5%啉虫隆乳油 5% Pyridine long EC	0.33	11.42	$y=3.7322+1.1987x$ (0.8989)	5.6716-17.9232	34.60
20%丁醚脲乳油 20% Diafenthiuron EC	21.39	195.64	$y=-12.4165+7.6006x$ (0.9410)	183.1379-218.1795	9.12
5%茚虫威乳油 5% Indoxacarb EC	0.52	69.80	$y=1.0359+2.1500x$ (0.9604)	33.2650-100.2354	134.23

表 5 不同农药对小菜蛾的防效
Table 5 Control effect of insecticides to *Plutella xylostella*

药剂名称 Insecticide name	推荐剂量处理后的防效 (%) Control effect of recommended dose				推荐剂量 2 倍处理后的防效 (%) Control effect of 2 times recommended dose			
	药后第 3 天		药后第 7 天		药后第 3 天		药后第 7 天	
	减退率 Decrease rate	平均防效 Average control effect	减退率 Decrease rate	平均防效 Average control effect	减退率 Decrease rate	平均防效 Average control effect	减退率 Decrease rate	平均防效 Average control effect
2% Avermectin 乳油 2% Avermectin EC	62.50		87.50		69.23		84.62	
	78.57	65.66±9.78	92.86	87.01±4.80	70.00	69.77±4.28	80.00	84.87±7.91
	63.16		84.21		76.47		94.12	
3%Bt 可湿性粉剂 3% <i>Bacillus thuringiensis</i> WP	66.67		80.00		70.59		70.59	
	60.00	66.16±10.34	93.33	84.44±7.49	84.21	77.47±7.95	89.47	78.89±10.48
	78.95		84.21		82.35		82.35	
20%高效氯氰菊 酯乳油 20% Beta- cypermethrin EC	64.71		88.24		75.00		81.25	
	70.59	64.85±3.22	82.35	87.18±6.65	73.33	77.89±9.87	80.00	82.13±5.99
	66.67		94.44		90.00		90.00	
5%氯虫苯甲酰胺乳 5% Methyl chloride amide EC	70.00	73.56±11.27	90.00	84.88±4.95	83.33	71.53±9.37	83.33	89.29±6.61

续表 5(Table 5 continued)								
推荐剂量处理后的防效 (%)					推荐剂量 2 倍处理后的防效 (%)			
Control effect of recommended dose					Control effect of 2 times recommended dose			
10%溴虫腈乳油 10% Bromine cyanide EC	87.50		87.50		70.59		94.12	
	68.75		81.25		66.67		93.33	
	65.00		90.00		77.78		88.89	
	68.75	65.49±2.80	87.50	89.92±4.20	80.00	76.43±1.92	100.00	93.77±6.11
	70.00		95.00		76.47		94.12	
20%丁醚脲乳油 20% Diafenthion EC	61.54		76.92		73.68		94.74	
	63.64	64.90±8.97	90.91	82.57±7.70	70.59	72.85±5.16	82.35	80.60±13.60
	76.92		84.62		80.00		70.00	
5%茚虫威 乳油 5% Indoxacarb EC	62.50		87.50		83.33		88.89	
	73.68	66.57±6.21	84.21	87.47±5.55	68.75	71.19±8.91	87.50	88.52±2.72
	70.59		94.12		69.23		92.31	
CK	9.09		13.64		9.09		13.64	
	12.00	——	8.00	——	12.00	——	8.00	——
	0.00		5.56		0.00		5.56	

溴虫腈、5%茚虫威、20%高效氯氰菊酯、2%阿维菌素、5%氯虫苯甲酰胺、3%Bt、20%丁醚脲。为大面积防治小菜蛾提供了参考依据。

3 讨论

3.1 成虫种群发生动态

田间自然条件下,气候因子尤其是温度被认为是影响小菜蛾田间种群数量变化的关键非生物因子 (Abhishek and Ashok, 2004)。为此,对于小菜蛾的防治,应根据当年的气象条件,通过预测预报,在小菜蛾快速上升之前施药防治,压低种群数量,降低危害。

我国各地小菜蛾的年发生世代从北至南呈逐渐增加趋势,东北地区年发生 2~3 代,华南地区广东和海南的发生世代可超过 20 代(冯夏, 2011)。本研究表明,青海省小菜蛾一年发生 3 代,但 2 500 m 以上的湟中县第 3 代成虫数量较第 1、第 2 代明显下降,可能是因为该地区 10 月中下旬开始气温较低的原因。在青海省的春、秋两季有明显的发生高峰期。

在韩国,冬季气候温暖,小菜蛾可以任何虫

态越冬 (Kim and Lee, 1991)。小菜蛾能够在南半球澳大利亚东南部适宜的寄主植物上越冬 (Gu, 2009)。小菜蛾在日本北海道不能或极少越冬 (Saito *et al.*, 1998),不能在岩手县盛冈越冬 (Honda, 1992)。小菜蛾在夏威夷和美国南部如亚利桑那州、新墨西哥州和得克萨斯州冬季可连续发生 (Marsh, 1917)。小菜蛾不能在加拿大西部越冬 (Dosdall *et al.*, 2004)。很少有小菜蛾可以在英国越冬 (Chapman *et al.*, 2002)。研究表明,中国小菜蛾在北京以北地区不能越冬,北京以南至河南驻马店仅可零星越冬 (邢赜, 2013)。武汉至驻马店区域为小菜蛾的越冬北限 (冯夏, 2011),这与小菜蛾在青海省不能越冬的结果一致。另外,有些书中报道小菜蛾在青海省能越冬是错误的。

3.2 抗性监测

目前对小菜蛾的防治仍以化学防治为主,化学农药的大量连续使用,使小菜蛾始终处在较强的药剂选择压下,又加上其繁殖快,导致其对药剂的抗性水平越来越高,我国小菜蛾已经对

90% 以上的药剂产生了抗性。现已成为抗药性最严重的和最难防治的害虫之一(冯夏, 2011)。

全国小菜蛾对 Avermectin、高效氯氰菊酯都已产生中等至高水平抗性(对 Avermectin 抗性倍数为 28.5 ~ 7 712.1 倍, 对高效氯氰菊酯抗性倍数为 57.6 ~ 1 065.4 倍)(张帅和邵振润, 2014)。同时, 小菜蛾对 Avermectin 与高效氯氰菊酯等菊酯类药剂间具有比较低的交互抗性(梁沛等, 2001), 小菜蛾种群对氯虫苯甲酰胺的抗性快速上升, 很大程度上是农民随意增加使用次数和使用浓度所致(张帅和邵振润, 2014)。研究表明, 寄主植物能影响小菜蛾对氯虫苯甲酰胺敏感性(尹飞等, 2013)。广东增城的小菜蛾对氯虫苯甲酰胺产生高水平抗性, 抗性倍数为 1 550, 而番禺和珠海的小菜蛾对氯虫苯甲酰胺产生中等水平抗性, 抗性倍数分别为 18 和 30(Wang *et al.*, 2013)。菲律宾和泰国的小菜蛾对氯虫苯甲酰胺的抗性超过 200 倍(Bartek *et al.*, 2012)。

湖北、湖南、广东等地区小菜蛾种群对多杀菌素抗性倍数为 18.6 ~ 100.7 倍, 对溴虫腈抗性倍数为 31.1 ~ 339.9 倍, 对茚虫威抗性倍数为 12.0 ~ 132.3 倍(张帅和邵振润, 2014)。

通过本研究表明, 在青海省小菜蛾除了对溴虫腈产生低水平抗性外, 对其他监测的 8 种农药产生中等以上的抗性水平。因此, 有必要加强小菜蛾对常用农药的抗性监测, 实时指导农民合理用药, 尤其是轮用, 减缓其抗性发展, 提高农药的防治效果。

3.3 田间农药防治效果

田间对小菜蛾的防治技术有: 农业防治, 合理的耕作制度可以降低小菜蛾的田间种群基数, 对其发生危害起到有效的防控作用。物理防治, 性诱剂诱杀成虫。生物防治, 天敌和虫生真菌应用。化学防治, 用农药防治小菜蛾, 也是生产实践中常用的防治方法。

一般情况下, 害虫对农药抗性水平超高, 田间防治效果越低, 但本研究中一些农药的抗性监测结果与田间药效结果不一致, 如高效氯氰菊酯、Avermectin, 即室内抗性监测为高抗性但田

间防效仍较多, 对造成其结果的原因有待进一步研究。只有溴虫腈的抗性监测结果与田间药效结果一致, 即抗性倍数最低, 其田间防治效果好于其他参试药剂。

参考文献(References)

- Abhishek S, Ashok K, 2004. Seasonal incidence of diamondback moth, *Plutella xylostella* Linn. On cabbage. *Journal of Applied Zoological Researches*, 15 (1): 48–50.
- Ankersmit GW, 1953. DDT-resistance in *Plutella maculipennis* (Cuttis) (Lep.) in Java. *Bulletin of Entomological Research*, 44(3): 421–425.
- Attique M, Khaliq A, Sayyed A, 2006. Could resistance to insecticides in *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) be overcome by insecticide mixtures? *Journal of Applied Entomology*, 130(2): 122–127.
- Bartek T, Christoph TZ, Jan E, Corinna S, Chris B, Emyr D, Linda MF, Martin SW, Russell S, Ralf N, 2012. Resistance to diamide insecticides in diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) is associated with a mutation in the membrane-spanning domain of the ryanodine receptor. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 42(11): 873–880.
- Begum S, Tsukuda R, Fujisaki K, Nakasuji F, 1996. The effects of wild cruciferous host plants on morphology, reproductive performance and flight activity in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Researches on Population Ecology*, 38(2): 257–263.
- Chapman JW, Reynolds DR, Smith AD, Riley JR, Pedgley DE, Woiwod IP, 2002. High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the U.K.: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. *Ecological Entomology*, 27 (6): 641–650.
- Chin H, Othman Y, Ooi PAC, 1990. The diamondback moth problem in Malaysia/Peter AC(ed.). Management of *Plutella xylostella* in Malaysia: Problem and Prospects. MARDI. Kuala Lumpur. 26.
- Dosdall LM, Mason PG, Olfert O, Kaminski L, Keddie BA, 2004. The origins of infestations of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) in canola western Canada/Endersby NM, Ridland PM(eds.). Proceedings of the Fourth International Workshop on the Management of Diamondback Moth and Other Cruciferous Pests. Melbourne, Australia: Institute of Horticultural Development. 95–100.
- Eigenbrode SD, Shelton AM, Dickson MH, 1990. Two types of resistance to the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in cabbage. *Environmental Entomology*, 19(4): 1086–1090.
- Fen X, Li ZY, Wu QJ, Shen AD, Wu YD, Hou YM, He YR, Li JH,

- Xie SH, Zhang JM, Fu W, Ma CX, 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.]
- Furlong MJ, Wright DJ, Dosdall LM, 2013. Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. *Annual Review Entomology*, 58(1): 517–541.
- Grzywacz D, Rossbach A, Rauf A, Russell D, Srinivasan R, Shelton AM, 2010. Current control methods for diamondback moth and prospects for improved management with lepidopteran-resistant Bt vegetable brassicas in Asia and Africa. *Crop Protection*, 29(1): 68–79.
- Gu HN, 2009. Cold tolerance and overwintering of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in southeastern Australia. *Environmental Entomology*, 38(3): 524–529.
- Harcourt DG, 1954. The biology and ecology of the diamondback moth *Plutella maculipennis*, curtis, in Eastern Ontario. PhD thesis. Cornell Univ. NY Ithaca.
- Honda KI, 1992. Hibernation and migration of diamondback moth in northern Japan//Taleker NS (ed.). Diamondback Moth and Other crucifer Pests. Asian Vegetable Research and Development Center. 43–50.
- Kim MH, Lee SC, 1991. Bionomics of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in southern region of Korea. Korean. *Journal of Applied Entomology*, 30(3): 169–173.
- Liang P, Gao XW, Zheng BZ, 2001. Study on resistance mechanisms and cross-resistance of abamectin in diamondback moth *Plutella xylostella* (L.). *Chinese Journal of Pesticide Science*, 3(1): 41–45. [梁沛, 高希武, 郑炳宗, 戴洪波, 2001. 小菜蛾对 avermectin 的抗性机制及交互抗性研究. 农药学报, 3(1): 41–45.]
- Macharia I, Löhr B, DeGroote H, 2005. Assessing the potential impact of biological control of *Plutella xylostella* (diamondback moth) in cabbage production in Kenya. *Crop Protection*, 24(11): 981–989.
- Marsh HO, 1971. Life history of *Plutella maculipennis*. *Journal of Agricultural Research*, 10(1): 1–10.
- Mohan M, Gujar GT, 2001. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* strains and commercial formulations to the diamondback moth *Plutella xylostella*. *Crop Protection*, 20(4): 311–316.
- Saito O, Mizushima S, Okuyama S, Hanada T, Torikura H, Hachiya K, Sato K, 1998. Biology of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in Hokkaido. *Research Bulletin of the Hokkaido National Agricultural Experiment Station*, 167: 69–110.