

滇东北菜区小菜蛾种群发生特征 及其关键影响因子*

赵雪晴^{1**} 马永翠^{2**} 尹艳琼¹ 李向永¹ 马永琼²
杨毅娟² 王 琴² 石安宪² 谌爱东^{1***}

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 560205; 2. 昭通市植保植检站, 昭通 657100)

摘 要 【目的】为掌握滇东北菜区小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 种群发生消长特点, 开展田间种群变化与气温、降雨和种植模式的关联性研究。【方法】利用性信息素诱集和田间系统调查开展小菜蛾成虫、幼虫种群消长动态监测。【结果】(1) 滇东北菜区小菜蛾可全年发生, 成虫发生呈现 2 个发生主峰期: 3-7 月春夏峰和 9-11 月秋峰, 其中春夏是小菜蛾发生主峰, 最高诱集量达 971 头/月·盆或板, 持续时间和成虫量均比秋峰明显。幼虫种群消长主要表现为 4-7 月的春夏单峰型, 最高虫量可达 1.75 头/株。(2) 监测点月平均气温 -2.4-21.8 °C, 全年降雨量 317-872 mm, 小菜蛾田间成虫种群发生量与气温变化显著相关 ($r=0.315^{**}$), 与降雨量微弱相关 ($r=0.168$); 幼虫种群量与气温、降雨量微弱相关 ($r=0.270$ 和 $r=0.296$)。因此, 滇东北菜区小菜蛾成虫和幼虫种群发生消长与十字花科蔬菜生长期相吻合。【结论】滇东北菜区气温、蔬菜品种布局和春夏种植模式是影响小菜蛾种群构建与消长的关键因子。

关键词 小菜蛾; 种群动态; 气温; 降雨; 种植模式; 滇东北

Population dynamics and factors influencing the abundance, of *Plutella xylostella* L. in northeastern Yunnan

ZHAO Xue-Qing^{1**} MA Yong-Cui^{2**} YIN Yan-Qiong¹ LI Xiang-Yong¹ MA Yong-Qiong²
YANG Yi-Juan² WANG Qin² SHI Ai-Xian² CHEN Ai-Dong^{1***}

(1. Agricultural Environment and Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China;

2. Station of Plant Protection of Zhaotong City, Zhaotong 657100, China)

Abstract [Objectives] To understand the population dynamics of *Plutella xylostella* (L.) in the vegetable growing areas of northeastern Yunnan. [Methods] The relationships between population size and temperature, rainfall and planting pattern, were quantified and analyzed. Sex pheromone trapping and field surveys were used to monitor the population dynamics of adults and larvae, respectively. [Results] *P. xylostella* occurred year-round in northeastern Yunnan. The adult population has two major peaks in the spring and summer, from March to July, and minor peaks in autumn, from September to November. The maximum number of adults trapped was 971 per month per card in the spring-summer season, significantly higher than the number caught during the autumn peak of abundance. Larvae have a single peak of abundance in spring and summer, from April to July, during which the highest abundance was 1.75 larvae per plant. The average monthly temperature in northeastern Yunnan was -2.4-21.8 °C, and annual rainfall was 317-872 mm. The abundance of the adult population was significantly correlated with temperature ($r=0.315^{**}$), which was weakly correlated with rainfall ($r=0.168$). Larval population abundance was also closely correlated with temperature and rainfall ($r=0.270$ and $r=0.296$). The population dynamics of both adults and larvae were also consistent with the cultivation patterns and growth periods of cruciferous vegetables. [Conclusion] Temperature

*资助项目 Supported projects :国家公益性行业(农业) 科研专项(200803001, 201103021); 国家重点研发计划(2018YFD0201200)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: snow.xue-5@163.com; myc50066@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: shenad68@163.com

收稿日期 Received: 2018-12-16; 接受日期 Accepted: 2019-01-16

and spring-summer planting patterns of vegetables are the main factors affecting the population structure and abundance of *P. xylostella* in northeastern Yunnan.

Key words *Plutella xylostella*; population dynamics; temperature, rainfall; planting pattern; northeastern Yunnan

滇东北昭通市菜区位于云南省东北云岭高原与四川盆地的结合部,金沙江下游南岸,云、贵、川三省交界处。常年种植蔬菜 8.67 万 hm^2 ,产量 21 亿 kg 左右,农业产值约 28 亿元。其中十字花科蔬菜种植占蔬菜总面积的 60%,约为 5.2 万 hm^2 ,产量约 15.6 亿 kg,农业产值 12.4 亿元,是云南夏秋补淡型十字花科蔬菜主产区。长期以来,该菜区十字花科蔬菜种植粗放,模式多样,品种丰富,种植时间差异较大。农户随意性较强,少有连续种植或同一区域大面积连片种植的习惯,小而散的种植规模为主导。小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 属鳞翅目 Lepidoptera, 菜蛾科 Plutellidae, 是当地十字花科种类甘蓝、大白菜、花椰菜、萝卜等的主要害虫,年均发生面积 4.32 万 hm^2 , 占总面积的 83%, 受害形势十分严峻, 严重影响了该菜区蔬菜外销。2009 年起, 项目组连续 7 年对滇东北菜区小菜蛾种群发生规律进行监测, 同期分析当地温度、雨量与成(幼)虫发生量的相关性和种植模式、品种布局对种群发生特点的影响, 旨在为正在发展的昭鲁坝区及镇雄、威信片区夏秋补淡型无公害蔬菜基地和昭鲁冬季十字花科蔬菜及玛咖的安全生产, 提供小菜蛾可持续防控的理论依据。

1 材料与方法

1.1 监测点

滇东北昭通市昭阳区太平乡 ($27^{\circ}20'45''\text{N}$, $103^{\circ}43'56''\text{E}$, 海拔 1 920 m), 十字花科蔬菜面积不低于 3.3 hm^2 , 露地种植, 主要模式为菜-玉米(其它蔬菜)间(套)作和菜-菜(玉米)轮作, 主栽品种有甘蓝、大白菜、花椰菜、萝卜等。

1.2 成虫种群监测

1.2.1 材料来源 2009-2010 年, 采用宁波纽康生物技术有限公司生产的小菜蛾性信息素诱芯。自制水盆型诱蛾器(规格 30 cm $\times$ 25 cm); 2011-

2015 年, 使用中国科学院动物研究所害虫无公害防治项目组提供的小菜蛾性诱芯, 宁波纽康生物技术有限公司生产的粘胶型诱蛾器。

1.2.2 诱蛾器设置和使用方法 2009-2010 年使用自制水盆诱蛾器, 监测点设性诱蛾器 2 个, 放在菜田中央, 2 个诱蛾器间距 >50 m。使用期间, 诱蛾器盆中盛有清水, 并加入 1-2 g 洗衣粉, 保持盆中水面与诱芯的高度为 2-3 cm, 诱芯每 30 d 更换 1 次。请专人负责管理, 确保雨天或晴天诱蛾器盆中水量充足, 诱蛾器正常工作。2011-2015 年使用粘板型性诱蛾器, 监测点设性诱蛾器 2 个, 放在菜田中央, 间距 >50 m。使用期间, 粘板每 14 d 更换 1 次, 诱芯每 30 d 更换 1 次。

1.2.3 调查时间和方法 从 2009 年 1 月至 2015 年 12 月连续监测, 每 7 d 调查 1 次。自制水盆诱蛾器调查时记数盆中成虫数量并记录, 并用小网勺把已记数的虫体捞出, 保持盆内清洁; 粘板型性诱蛾器调查时记数粘板上成虫数量并记录, 并用镊子清除已记数的成虫残体, 保持粘板清洁。

1.3 幼虫种群调查

1.3.1 时间 从 2009 年 1 月至 2011 年 12 月连续监测, 每 7 d 调查 1 次。

1.3.2 方法 选用菜农按当地施药方式和用药习惯进行防治的甘蓝类菜田 1 块, 定植成活后开始调查, 调查过程中若遇产品收获, 就近重选 1 块用药方法和管理水平相近菜田继续调查。采用对角线 5 点取样, 每点随机抽选 5 株菜株, 整株调查, 共查 25 株。记录有虫株率、幼虫(低龄为第 1-2 龄; 高龄为第 3-4 龄)数量。

1.4 气候数据

气候数据由云南省昭通市气象局提供。

1.5 相关性分析

用 SPSS Pearson 法进行相关性分析, 通过相

关系来描述相关程度： $0 \leq |r| \leq 0.3$ 时为微弱相关；当 $0.3 < |r| \leq 0.5$ 时为低度相关，当 $0.5 < |r| \leq 0.8$ 时为显著相关；当 $0.8 < |r| < 1$ 时为高度相关，当 $|r| = 1$ 为完全线性相关（李玉光等，2014）。

2 结果与分析

2.1 成虫种群

滇东北菜区小菜蛾成虫全年发生量呈现强、弱 2 个发生峰期（图 1），7 年中有 5 年分别出现春夏季和秋季双峰，有 2 年为春夏季单峰。全年 1 月成虫发生量最低，3 月后成虫发生量开始上升直至 7 月回落形成春夏季发生峰期，9 月成虫发生量再次小幅回升至 12 月回落形成秋季发生峰期；不同年度间春夏发生峰期峰值和诱集量差

异较大：2010 和 2014 年出现在 4 月（月诱集量分别为 518 头/月·盆或板和 576 头/月·盆或板），2009、2011 和 2013 年出现在 5 月（月诱集量分别为 316、48 和 971 头/月·盆或板），2012 年和 2015 年出现在 6 月（月诱集量分别为 80 头/月·盆或板和 374 头/月·盆或板），最高诱集量为 2013 年 971 头/月·盆或板，最低 2011 年 48 头/月·盆或板；秋季发生峰期持续时长差异较大：2011 年诱集量从 8 月起缓慢上升，11 月达到全年最高峰值 828 头/月·盆或板，12 月回落，历时 5 个月，纵比此期诱集量远超其他年份，横比超过春夏发生峰期；2013 年蛾量 9 月上升，12 月回落，历时 4 个月；2012 和 2014、2015 年秋峰较短，分别在 11 月和 10 月。2009 和 2010 年则没有明显的秋季发生峰期表现。

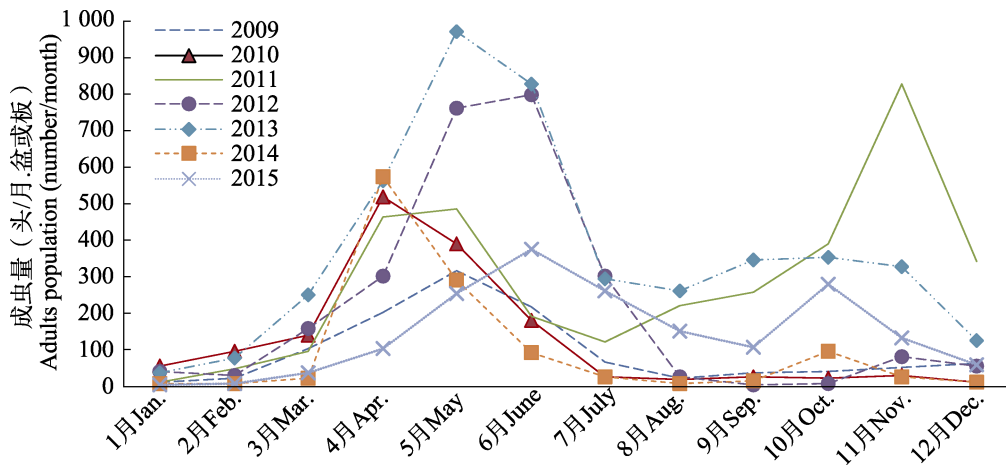


图 1 小菜蛾成虫田间种群消长动态（2009-2015，昭阳）

Fig. 1 Adult population dynamics of *Plutella xylostella* in fields (2009-2015, Zhaoyang)

滇东北菜区全年能诱集到小菜蛾成虫，1 月和 2 月低温条件下，小菜蛾也能越冬。多数年份成虫发生量表现出强弱 2 个峰期，春夏季发生峰期持续时间和蛾量均比秋季发生峰期明显，虫峰期集中在 3-7 月，虫量较多，波峰突出。秋季虫峰期差异较大，波峰强、弱不定，年度间蛾量存在明显差异。

2.2 幼虫种群动态

2009 年田间幼虫发生量 4 月开始上升，6 月达到高峰，月平均单株虫量 1.75 头/株·月，8 月

回落；2010 年田间幼虫发生量整体较低，但还是有峰期表现，5 月发生量开始上升，6 月达到高峰，月平均单株虫量 0.56 头/株·月，8 月回落；2011 年 4 月发生量开始上升，5 月达到高峰，月平均单株虫量 1.54 头/株·月，8 月后再度回升，直至 12 月田间幼虫发生量还保持在较高水平，月平均单株虫量 1.28 头/株·月。总体来看，田间幼虫种群的主要增殖期在春夏季，幼虫发生量表现为春夏单峰型，1-3 月份发生量最低，4 月后幼虫发生量快速上升，发生峰值月分别在 5 月或 6 月，4-7 月是危害峰期，月平均单株虫量最高

1.75 头/株。秋季单株虫量远低于春夏季，特殊年份会与春夏季虫量相近并造成危害。

2.3 小菜蛾种群消长与温度、雨量的相关性

2.3.1 温度和降雨年度变化特征 温度 2009-2015 年，监测所在地各月平均气温在 $-2.4-21.8^{\circ}\text{C}$ 间（图 3）。最低月均气温 2011 年 1 月 -2.4°C 。最高月均气温 2013 年 7 月 21.8°C 。1 月和 12 月是全年低温月，月均气温在 5°C 以下，最低月均气温都在 1 月出现。7 月和 8 月是高温月，月均气温在 19°C 以上，最高月均气温都在 7 月出现。

雨量 7 年间，全年降雨量在 317-872 mm 之间（图 4）。2011 年最低为 317.6 mm，2013 年

最高为 871.2 mm。一年中，1-4 月雨量较少，5 月末 6 月初进入雨季，持续到 8 月或 9 月，11 月后基本无降雨至次年 3 月，是冬春干旱比较严重的菜区。

2.3.2 相关性分析 通过对小菜蛾成虫、幼虫与月平均温度和月降雨量之间的相关性分析可以看到（表 1），小菜蛾成虫发生量、单株幼虫量与温度和降雨均有相关性，但相关显著性不同。成虫发生量与温度的相关系数 $r=0.315$ 、 $P=0.004$ ，在 0.01 水平上具有差异显著性。成虫发生量与降雨的相关系数 $r=0.168$ 、 $P=0.128$ ，两者微弱相关，没有差异显著性；小菜蛾单株幼虫量与温度的相关系数 $r=0.270$ 、 $P=0.111$ ，两者微弱相关，没有差异显著性。小菜蛾单株幼虫量与

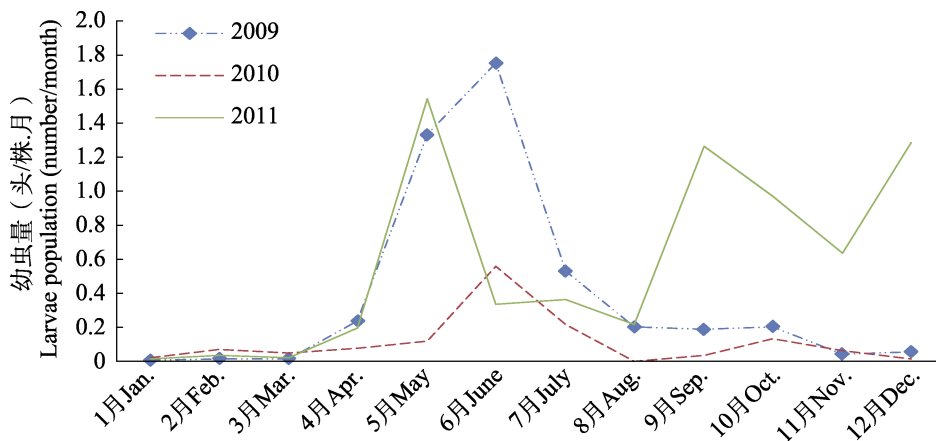


图 2 小菜蛾幼虫田间种群消长动态 (2009-2011)

Fig. 2 Larvae population dynamics of *Plutella xylostella* in fields (2009-2011, Zhaoyang)

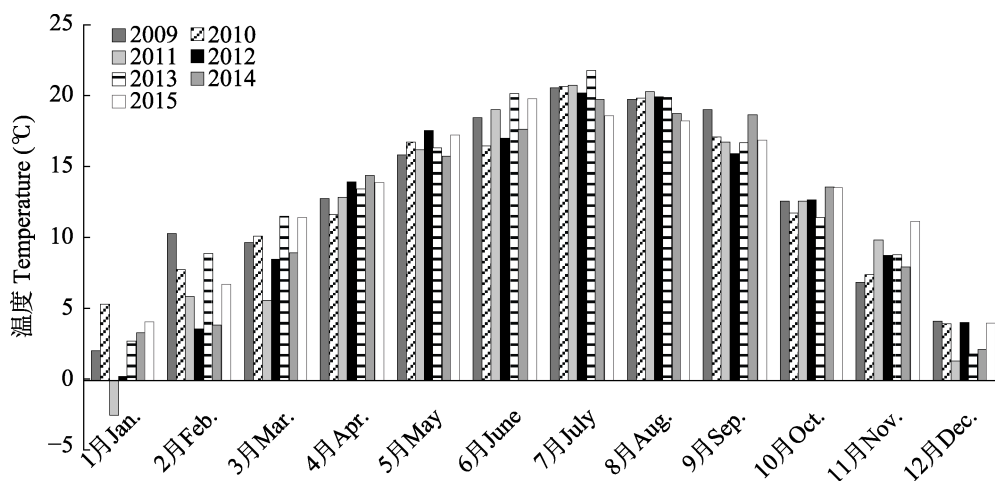


图 3 2009-2015 年月平均气温曲线

Fig. 3 Monthly mean temperature change curve during 2009-2015

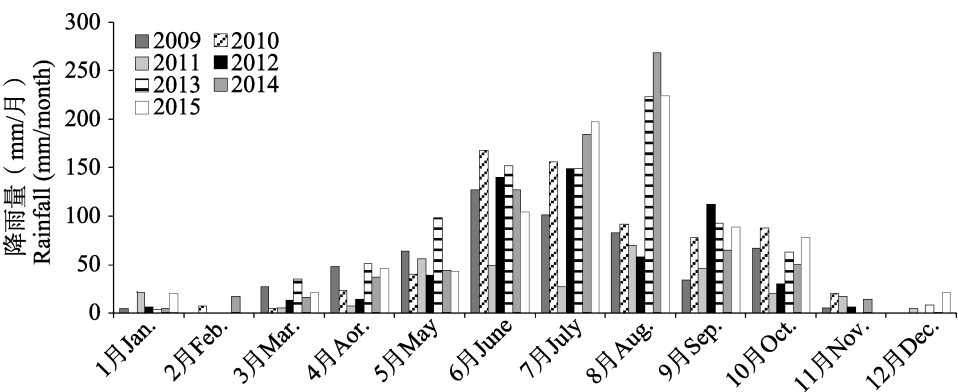


图 4 2009-2015 年月降雨量变化曲线
Fig. 4 Monthly rainfall change curve during 2009-2015

表 1 小菜蛾种群数量与温度、降雨的相关性
Table 1 The correlation between population number *Plutella xylostella* and temperature, rainfall

小菜蛾 <i>P. xylostella</i>	相关性 Pearson	温度 Temperature	降雨 Rainfall	成虫 Adult
成虫 Adult	<i>r</i>	<i>r</i> =0.315**	<i>r</i> =0.168	—
	Sig	0.004	0.128	—
	N	84	84	—
幼虫 Larva	<i>r</i>	<i>r</i> =0.270	<i>r</i> =0.296	<i>r</i> =0.500**
	Sig	0.111	0.080	0.002
	N	36	36	36

*, **分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 的显著性。
*, ** indicates significantly different at 0.05 and 0.01 level, respectively.

降雨的相关性系数 $r=0.296$ 、 $P=0.080$ ，两者微弱相关，没有差异显著性；小菜蛾成虫发生量与单株幼虫量的相关系数 $r=0.500$ 、 $P=0.002$ ，两者微弱相关，在 0.01 水平上具有差异显著性。

2.4 种植模式与种群发生与消长的关联性

滇东北菜区十字花科蔬菜种植模式多样，种植品种丰富，种植时间差异很大。小散种植，间（套）、轮作普遍，少有在同一地块内连续种植或同一区域大面积连片种植十字花科蔬菜的习惯。十字花科蔬菜常与其它作物（玉米、马铃薯、豆类或其它蔬菜）间（套）、轮作，春季十字花科品种以小白菜、甘蓝、花椰菜，秋季则以大白菜、萝卜、青菜为主，甘蓝和花椰菜为辅。从整个种植模式看，该区域菜农喜欢在春季和秋季种植十字花科蔬菜，形成一年两季的大格局，春菜 3-5 月移栽，7-10 月收获，秋菜 7-10 月移栽，12 月至次年 3 月收获。但事实上，由于菜农的随意性，不论春菜还是秋菜的移栽时间跨度较大，导

致田园生境春菜或秋菜不同生育期并存，春菜与秋菜的种植重叠，田间寄主没有明显的断代现象。本试验分析了该菜区小菜蛾成虫发生量与幼虫种群消长的特点，发现 3-7 月份成虫、幼虫发生高峰与春菜生长期高度吻合，为春夏高峰形成提供了食源基础。9-11 月秋菜的生长期又与成虫弱秋峰相逢，不难看出此期月平均单株幼虫量有增加，不过波峰较小（图 2），但遇上适宜寄主，成虫发生量和月平均单株幼虫量均可达到春夏峰水平（图 1，图 2），如 2011 年秋季，监测区甘蓝、花椰菜品种占 80%以上。

3 讨论

滇东北菜区小菜蛾成虫种群发生量与温度关系密切，相关系数为 $r=0.315$ ($P<0.01$)，两者间存在显著的线性关系；此菜区属北纬高原大陆季风气候，与云南省其它菜区的气候类型有所不同，全年平均气温 11.6-13 ℃，分别较滇中、滇

表 2 滇东北十字花科蔬菜种植年历
Table 2 The cruciferous vegetable planting calendar in Northeastern Yunnan

造 (季)	苗期	生长期	采收期	蔬菜种类
Planting seasons	Seeding period	Growing period	Harvesting period	Vegetables
第 1 造 First	3-7 月	4-9 月	7-11 月	甘蓝、花椰菜、大白菜等
第 2 造 Second	8-12 月	9 至翌年 3 月	12 至翌年 3-4 月	萝卜、大白菜、青菜、甘蓝、花椰菜等

西、滇西南菜区低 4、5 和 6 °C 左右, 各月平均气温在 - 2.4-21.8 °C 间, 极端低温往往出现在 1 月。2009-2015 年, 滇东北菜区 1 月月均气温在 - 2.4-5.4 °C 之间, 7 年连续监测到小菜蛾成虫、幼虫种群, 但成虫诱集量 (5-55 头/月.盆或板) 和幼虫平均单株虫量 (0.01-0.02 头) 远远低于其它月份, 可见该菜区冬季低温对小菜蛾种数量存在一定影响。马春森和陈瑞鹿(1991 年)研究表明, 在 - 5 °C、- 10 °C 低温处理 2 d 后, 小菜蛾成虫、幼虫都有存活。2011 年 1 月滇东北菜区平均气温低至 - 2.4 °C, 田间仍然监测到小菜蛾成虫、幼虫种群。说明此温度条件下, 有部份小菜蛾是能安全越冬的。小菜蛾经低温处理回到适温后, 低温对其的影响是逐渐减弱的(陈非洲和刘树生, 2004)。那么滇东北菜区 3 月中下旬气温迅速回暖, 有利于小菜蛾种群重建, 其发生量与温度回升关系密切, 形成显著的线性相关性应是必然。

冯夏等(2011 年)等报道降雨量是影响小菜蛾种群消长的因素之一, 雨日多, 雨量大对小菜蛾具有显著的抑制作用。而本研究中, 滇东北菜区全年降雨量 317-872 mm, 降雨分布比较集中, 6-8 月雨量占 60% 以上。而相关分析表明该区域小菜蛾成虫、幼虫种群发生量与降雨量间相关微弱, 没有显著的线性关系, 可能是因为降雨量未达到小菜蛾的忍耐极限所至。

小菜蛾对寄主作物的取食倾向直接影响到种群发生。小菜蛾对寄主的选择与蔬菜种类关系密切(李洪山等, 2006; 徐世才等, 2008)。按照当地菜农习惯, 春夏季种小白菜、甘蓝、花椰菜, 秋季芥菜类、萝卜、大白菜, 这样的品种选择习惯无意中给春夏季的小菜蛾提供了较多喜食植物, 也为其种群集聚提供了充分的食源保证, 可

能是形成春夏为害峰比秋季为害峰严重的重要原因。2011 年, 秋季甘蓝、花椰菜品种植率占 80% 以上, 同年秋季成虫发生量最高时 828 头/月.盆或板, 幼虫量最高时 1.28 头/株, 其成虫发生量远超过春夏峰的 486 头/月.盆或板, 幼虫量与春夏峰 1.54 头/株持平, 印证了寄主结构和小菜蛾种群的发生之间存在着比较亲密的关联性。

综合上所述, 滇东北菜区小菜蛾种群发生与省外、省内其它区域的差异, 是由气候因子、品种布局和春夏种植模式共同作用的结果。如海南主要发生为害期在每年 10 月至次年 4 月(周传波等, 2010)。广东小菜蛾的诱虫量在 2 月份出现 1 个小高峰, 9-11 月份是一年中的第 2 个高峰, 发生数量居全年最高(林小军等, 2013)。浙江临海小菜蛾种群季节性消长呈 M 形曲线变化, 春峰期在 3-6 月, 峰值较大且峰期较长; 秋峰期在 10-11 月, 峰值相对较小且峰期较短(潘伟等, 2013)。就云南省内而言, 我省滇中菜区全年呈现 1 个明显的虫峰期(赵雪晴等, 2016)。而滇东北菜区成虫诱集量和幼虫平均单株虫量远低于其它菜区, 除受冬季低温影响外, 当地传统的间(套)轮作种植模式和品种布局对小菜蛾种群的抑制也起重要作用, 由此而形成了具有区域特点的种群消长动态。当前, 虽然对小菜蛾的研究已达到分子水平(余静等, 2017; 赵爱萍等, 2017; 展恩玲等, 2017; 高延富等, 2018), 抗性生化机制研究也在深入(陈琼等, 2017; 孙杨等, 2018), 但明确小菜蛾种群区域性发生特点仍然是小菜蛾抗性治理和制订可持续防控技术的重要前题, 本研究为今后构建区域防控预案提供了数据支撑。由此, 滇东北菜区小菜蛾防控应以 3 月前的成虫诱杀为重点。其次调整蔬菜品种结构, 合理组合当前生物多样性间(套)、轮作方式等农业措施。错峰移栽, 并协调应用寄生性天

敌。必要时选择生物农药或不同作用机理药剂轮换使用的方式控制危害高峰期幼虫种群数量。

参考文献 (References)

- Chen FZ, Liu SS, 2004. Effects of low and subzero temperature on a *Plutella xyloetella* laboratory population. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15(1): 99–102. [陈非洲, 刘树生, 2004. 低温对小菜蛾实验种群的影响, 应用生态学报, 15(1): 99–102.]
- Chen Q, Huang SJ, Qin WJ, Qiu GH, Chen JQ, Qin HG, 2017. Cross-resistance, biochemical resistance mechanisms and susceptibility to tofenpyrad in the diamondback moth. *Plutella xylostella*. *Journal of Plant Protection*, 44(3): 515–522. [陈琼, 黄水金, 秦文婧, 邱高辉, 陈洁琼, 秦厚国, 2017. 小菜蛾对啉虫酰胺的抗性监测、抗性生化机制及交互抗性. 植物保护学报, 44(3): 515–522.]
- 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.]
- Gao YF, Li JJ, Yu J, Jin FL, Zheng JL, Xu XX, 2018. Cloning and expression pattern research of Cactus from *Plutella xylostella*. *Journal of Environmental Entomology*, 40(1): 161–172. [高延富, 李俊俊, 余静, 金丰良, 郑锦龙, 许小霞, 2018. 小菜蛾 Cactus 基因的克隆及表达模式研究. 环境昆虫学报, 40(1): 161–172.]
- Li HS, Wang J, Wei H, Dai HG, Wang JG, 2006. Feeding preference of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) larva to its hosts. *Journal of Applied Ecology*, 17(6): 1065–1069. [李洪山, 王娟, 魏辉, 戴华国, 王俊华, 2006. 小菜蛾幼虫对不同寄主的取食嗜好性及其适宜性. 应用生态学报, 17(6): 1065–1069.]
- Lin XJ, Xie WL, Liu JB, Zeng L, 2013. Investigation of the occurrence of *plutella xylostella* in Guangzhou. *Guangdong Agriculture and Forestry Science*, (16): 91–97. [林小军, 谢伟烈, 刘键帮, 曾玲, 2013. 广州地区小菜蛾种群动态监测调查. 广东农林科学, (16): 91–97.]
- Li YG, Du HW, Huang YS, 2014. Introduction and Improvement of SPSS19.0 Statistical Analysis. Beijing: Tsinghua University Press. 158–159. [李玉光, 杜宏巍, 黄永生, 2014. SPSS19.0 统计分析入门与提高. 北京: 清华大学出版社. 158–159.]
- Ma CS, CHEN RL, 1991. Study on wintering and migration of diamondback moth *Plutella xylostella*. The First Symposium on Plant Protection for Middle and Young people. Beijing: China Science and Technology Press. 294–300. [马春森, 陈瑞鹿, 1991. 菜蛾 (*Plutella xylostella*) 越冬与迁飞问题的研究. 首届植保中青年工作者学术讨论会论文集. 北京: 中国科学技术出版社. 294–300.]
- Pan W, Wang EG, Wang YC, 2013. Population dynamics of diamondback moth, a vegetable base in the suburb of coastal waters. *Zhejiang Agricultural Sciences*, (7): 827–829. [潘伟, 汪恩国, 王永才, 2013. 临海城郊蔬菜基地小菜蛾种群数量消长规律. 浙江农业科学, (7): 827–829.]
- Sun Y, Qin WJ, Huang SJ, Qin HG, 2018. Risk assessment and biochemical mechanisms responsible for resistance to pyridalyl in the diamondback moth *Plutella xylostella* (Linnaeus). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(3): 481–488. [孙杨, 秦文婧, 黄水金, 秦厚, 2018. 小菜蛾对三氟甲吡醚的抗性风险评价与抗性生长机制研究. 应用昆虫学报, 55(3): 481–488.]
- Xu SC, Chen T, Gao DY, Liu LY, Wang YW, Shi J, 2008. Study on hobby of *Plutella xylostella* prosopon to smell of several vegetables. *Journal of ChangJiang Vegetables*, (7): 37–39. [徐世才, 陈楠, 高德云, 刘利娅, 王月雯, 师静, 2008. 小菜蛾成虫对几种蔬菜气味的嗜好性研究. 长江蔬菜, (7): 37–39.]
- Yu J, Xu XX, Gao YF, Jin FL, 2017. Molecular cloning of the C-type lectin gene PxCTL5 and its mRNA level changes under bacterial stimulation in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Acta Entomologica Sinica*, 60(8): 876–890. [余静, 许小霞, 高延富, 金丰良, 2017. 小菜蛾 C 型凝集素基因 PxCTL5 的克隆及其在细菌刺激下的转录水平变化. 昆虫学报, 60(8): 876–890.]
- Zhou CB, Lin ZF, Xie SH, Ji XC, 2010. Population dynamics of *Plutella xylostella* and its influence factors in Hainan. *Plant Protection*, 36(5): 118–122. [周传波, 林珠凤, 谢圣华, 吉训聪, 2010. 海南小菜蛾田间种群消长规律及其影响因素. 植物保护, 36(5): 118–122.]
- Zhao XQ, Yin YQ, Chen AD, Mu WD, Li XY, Huang CF, Ai Y, 2016. Population dynamics of the diamondback moth in Tonghai, Yunnan. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 298–304. [赵雪晴, 尹艳琼, 谌爱东, 沐卫东, 李向永, 黄春芬, 艾英, 2016. 滇中菜区小菜蛾种群消长动态及其影响因子. 应用昆虫学报, 53(2): 298–304.]
- Zhao AP, Zhan EL, Sun C, Liu TX, Li YP, 2017. Effects of CryIAC toxin on proteases and carboxylesterase activities in the larvae midgut of *Plutella xylostella*. *Journal of Plant Protection*, 44(5): 713–720. [赵爱平, 展恩玲, 孙聪, 刘同先, 李怡萍, 2017. CryIAC 毒素对小菜蛾幼虫中肠蛋白酶活性的影响. 植物保护学报, 44(5): 713–720.]
- Zhan EL, Du X, Zhao AP, Sun C, Liu TX, Li YP, 2017. Gene cloning and expression of polycalin protein from *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its binding characteristics with CryIAC, tixin. *Acta Entomologica Sinica*, 60(10): 1155–1167. [展恩玲, 杜潇, 赵爱平, 孙聪, 刘同先, 李怡萍, 2017. 小菜蛾中肠 Polycalin 蛋白的基因克隆、表达及与 CryIAC 毒素的吉合特性分析. 昆虫学报, 60(10): 1155–1167.]