

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.05.4

## 2009年我国小菜蛾迁飞路径典型案例分析

邢 鲲<sup>1,2</sup>, 赵 飞<sup>2</sup>, 彭 宇<sup>1</sup>, 常向前<sup>3</sup>, 马春森<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 山西省农业科学院植物保护研究所, 农业有害生物综合治理山西省重点实验室, 太原 030031;

3. 农作物重大病虫害防控湖北省重点实验室, 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064)

**摘要:** 小菜蛾 *Plutella xylostella* Linnaeus 是一种世界性的十字花科蔬菜重要害虫, 具有远距离迁飞的特性, 明确小菜蛾在我国的种群发生动态及迁飞路径对其早期预警具有重要意义。本文调查了2009年5月我国南京、故城、安阳、大连、公主岭、沈阳6个地区小菜蛾成虫种群的发生动态, 并首次利用 HYSPLIT 平台对不同地区小菜蛾种群的迁飞峰次进行了轨迹分析。结果表明, 2009年5月我国6个地区的小菜蛾成虫种群存在显著地“突增”或“突减”现象, 符合迁飞昆虫在迁飞期的种群动态的典型特征; 5月14日南京地区起飞的小菜蛾种群可迁飞至大连, 5月19日故城地区起飞的小菜蛾种群可迁飞至公主岭, 5月20日安阳地区起飞的小菜蛾种群可迁飞至沈阳; 首次明确了小菜蛾轨迹分析的设定参数, 800–1200 m 为小菜蛾适宜迁飞的飞行高度, 飞行持续时间一般为2–3 d。

**关键词:** 小菜蛾; 迁飞; 轨迹分析; 迁飞路径; 种群动态

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 05-096-07

### Typical migration pathways analysis of the diamondback moth *Plutella xylostella* in China in 2009

XING Kun<sup>1,2</sup>, ZHAO Fei<sup>2</sup>, PENG Yu<sup>1</sup>, CHANG Xiang-Qian<sup>3</sup>, MA Chun-Sen<sup>1\*</sup> (1. Climate Change Biology Research Group, State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Shanxi Key Laboratory of Integrated Pest Management in Agriculture, Institute of Plant Protection, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China; 3. Hubei Province Key Laboratory for Crop Diseases, Insect Pests and Weeds Control, Institute of Plant Protection & Soil Science, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** Diamondback moth (DBM) *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) is one of the destructive cruciferous plants and important migration pests. It is important to monitor and warn the pest for elucidate the occurrence dynamics and migration pathways of DBM in different places. The dynamics of DBM occurred in Nanjin, Gucheng, Anyang, Dalian, Gongzhuling, Shenyang in spring of 2009 were studied by the field system survey method, the immigration and emigration peak in different places were determined, and the migration pathway was simulated by using the HYSPLIT. Results showed, in different southern regions of our country in spring of 2009, the adult populations of DBM existed the sudden increase and then decrease phenomenon, which was accordance with the population dynamic characteristics of insect migration during the migratory period. The track analyses of the airflow were suggested the adults of DBM migrated from Nanjing to Dalian on May 14<sup>th</sup>, from Gucheng to Gongzhuling on May 19<sup>th</sup> and from Anyang to

基金项目: 国家公益性行业专项 (201103021); 国家自然科学基金项目 (31471764)

作者简介: 邢鲲, 男, 山西太原人, 主要从事昆虫生态与害虫综合治理方面研究, E-mail: xingkun1215@126.com

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: machunsen@caas.cn

收稿日期 Received: 2015-10-07; 接受日期 Accepted: 2016-06-28

Shenyang on May 20<sup>th</sup>, respectively. Migration height of DBM is 800 – 1000 m, and flight duration is 2 – 3 d.

**Key words:** *Plutella xylostella*; migration; track analyses; migratory pathway; population dynamic

小菜蛾 *Plutella xylostella*, 属鳞翅目, 菜蛾科, 是一种世界性的十字花科蔬菜重要害虫。小菜蛾在我国各地均有分布, 其中以南方各省广大蔬菜产区和西部油菜区发生较为严重 (冯夏等, 2011)。随着十字花科植物种植区域北移, 北方地区小菜蛾为害呈逐年上升趋势, 小菜蛾已成为我国南北方蔬菜生产上的毁灭性害虫 (马春森和陈瑞鹿, 1993; 1995; Li *et al.*, 2016)。小菜蛾具有远距离迁飞的特性 (邢鲲等, 2013; Fu *et al.*, 2014)。迁飞不仅可引起小菜蛾的大面积突然暴发, 而且还可增大小菜蛾抗药性基因的扩散范围, 导致其抗药性大面积发展, 阐明小菜蛾远距离迁飞对其早期监测预警与综合防治策略制订具有重要意义。

轨迹分析是确定虫源地和降落区最常用、最有效的方法之一 (芦芳等, 2013), 已广泛应用于褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål (唐广田和包云轩, 2015)、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (张孝羲等, 1980; 齐国君等, 2011)、草地螟 *Loxostege sticticalis* Linnaeus (张云慧等, 2008)、白背飞虱 *Sogatella furcifera* Horváth (范淑琴和翟保平, 2015) 等多种迁飞性害虫的迁飞轨迹模拟, 并在精细化异地预测中发挥了重要作用。小菜蛾属于小型迁飞蛾类, 在高空迁飞过程中可以作为一个空气质点, 可以运用气象动力学原理和有关数学模型顺推或回推出迁飞昆虫的运行轨迹, 追溯虫源地和预测向外扩散的路径, 但有关小菜蛾的迁飞轨迹分析尚未见详细报道。

本文根据 2009 年 5 月我国南京、故城、安阳、大连、公主岭、沈阳 6 个地区小菜蛾的诱集数据, 对不同地区小菜蛾成虫的种群动态进行分析, 并利用 HYSPLIT 平台、ArcGIS 及 GrADS 软件对小菜蛾的迁飞路径及其大气背景场进行分析, 阐明小菜蛾在我国的远距离迁飞路径, 以期小菜蛾的早期预警与精细化异地测报提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 虫情资料、气象资料及模型软件

虫情资料: 利用性诱剂和诱捕器调查小菜蛾

的种群发生动态, 性信息素诱芯由宁波纽康生物技术有限公司提供。各监测点的监测方法和诱捕器均统一标准, 采用五点取样法进行监测, 诱捕器为直径 20 cm, 高度 5 cm 的塑料盆, 悬挂于距地面约 150 cm 的木制支架上, 性诱器间距为 30 m。盆内加入 5% 洗衣粉水, 诱芯悬挂在距液面 0.5 cm 处。调查期间每天早 8:00 调查盆中的诱蛾量, 并把盆中的小菜蛾和杂物一并捞出。洗衣粉水及时补充, 诱芯每 10 d 换一次。

气象资料: 由美国国家环境预报中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 与美国国家大气研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR) 的等压面风场再分析数据 (水平分辨率  $1^\circ \times 1^\circ$ , 时间间隔为 6 h)。轨迹分析模型: 采用美国国家海洋和大气管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 研发的大气质点轨迹分析平台 HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model, [http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT\\_info.php](http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_info.php))。

分析软件: 地理信息系统 ArcGIS 9.2; 气象绘图软件 GrADS (Grid Analysis and Display System, <http://grads.iges.org/grads>)。

### 1.2 数据分析方法

迁飞峰选择: 种群的季节性“突增”或“突减”是迁飞性昆虫种群动态的典型特征之一 (张孝羲等, 1980)。根据诱蛾结果, 以日诱蛾量比前一日明显减少作为分析一次迁出过程的起始日期, 此峰即为迁出峰 (用 ▽ 表示); 以日诱蛾量较前一日突然增加作为分析一次迁出过程的终止日期, 此峰即为迁入峰 (用 ▲ 表示)。日诱蛾量是指当日诱蛾数量占某一段时间内诱蛾最大数量的百分比。

轨迹分析参数设定: (1) 小菜蛾为顺风迁移 (Miyahara, 1987); (2) 200 m 高空网捕到了小菜蛾成虫 (Chapman *et al.*, 2002), 在 1200 m 高山山顶有成功捕获到小菜蛾的报道 (Honda, 1992), 本研究小菜蛾的飞行高度设为距地面 200 m、400 m、600 m、800 m、1000 m、1200 m; (3) 已有吊飞试验结果表明, 小菜蛾雌雄虫具有飞行能力的悬挂平均时间分别 3.82 d、3.42 d (马春森和

陈瑞鹿, 1991), 且存在连续飞行数日现象 (French, 1967; 马春森和陈瑞鹿, 1991), 因此轨迹分析以起始地连续分析 1-4 d; (4) 由于小菜蛾是夜间飞行的昆虫, 黑夜能刺激小菜蛾的起飞 (马春森和陈瑞鹿, 1991), 因此小菜蛾起飞时间设定为日落后 1 h (约为 19:00), 飞行一晚至黎明降落, 每晚飞行 12 h (Goodwin and Dantharayana, 1984; Chapman *et al.*, 2002)。(5) 对小菜蛾迁飞事件分析过程中, 迁飞轨迹经过小菜蛾蛾量盛发区或进入海域即终止轨迹。每 1 h 输出一个轨迹点, 轨迹点数据以 TXT 存储, 最后利用地理信息系统 ArcGIS 9.2 输出分析结果。

有效轨迹的筛选: (1) 轨迹终止点必须位于十字花科蔬菜种植区; (2) 该地区小菜蛾成虫出现“突增”或“突减”现象; (3) 起点的时间必须符合小菜蛾的迁出起飞节律, 即日落时刻。以

上 3 个条件缺一不可, 以此进行轨迹的取舍或调整, 最后剔除不合理路径后得到有效轨迹。

气象分析: 天气背景分析采用美国国家环境预报中心 (NCEP) 与美国国家大气研究中心 (NCAR) 的 FNL 分析数据, 利用 GrADS 绘出 900 hPa 高空压面 u 分量、v 分量数据合成风场矢量图, 分析小菜蛾迁飞高峰期的高空风场。

## 2 结果与分析

### 2.1 小菜蛾蛾量动态变化

2009 年 5 月小菜蛾种群动态监测结果表明, 南京、故城、安阳、大连、公主岭、沈阳地区的田间诱蛾量日间差异较大, 存在种群“突增”或“突减”的现象 (图 1)。南京地区小菜蛾的田间诱集高峰在 5 月 14 日, 单日诱蛾量为 230 头, 之

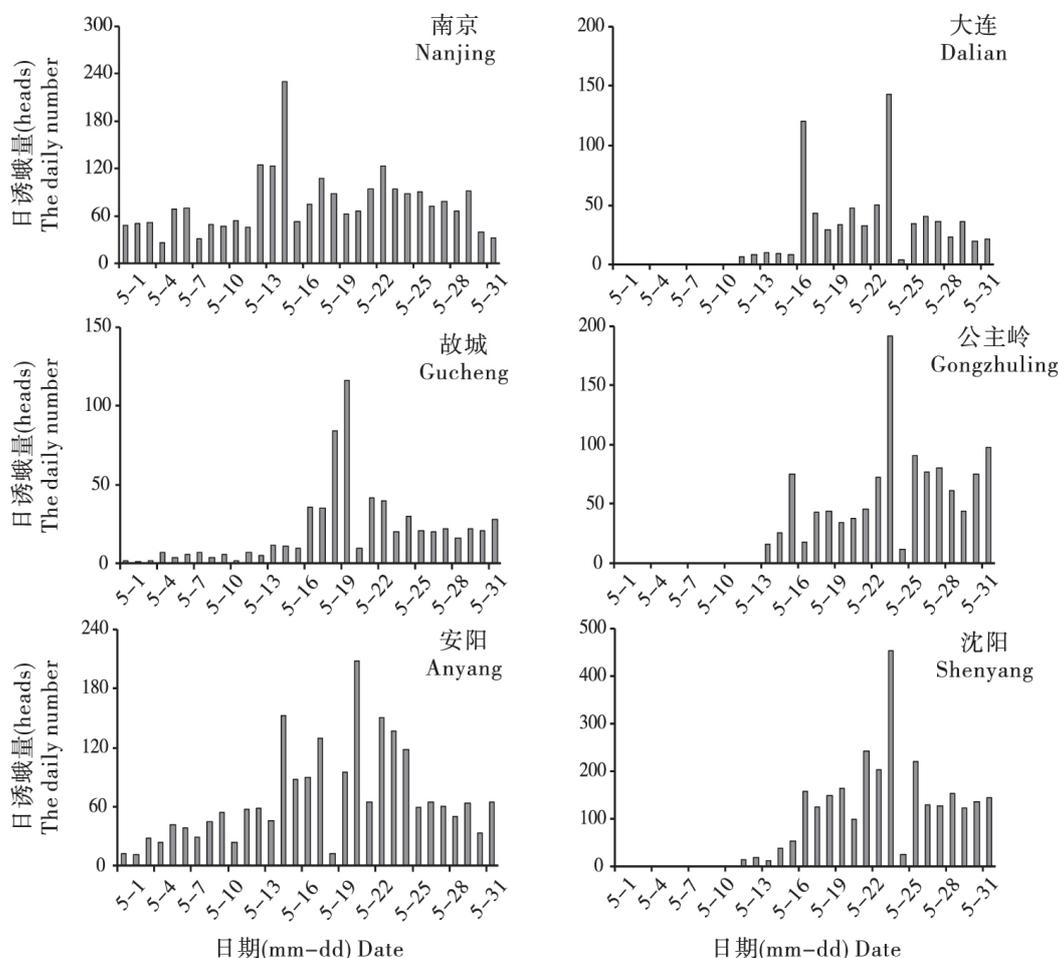


图 1 2009 年春季小菜蛾迁飞高峰期的逐日诱蛾量

Fig. 1 Daily sex trap catches of diamondback moth during the migration peak in spring, 2009

后蛾量锐减, 高峰不明显; 故城地区小菜蛾在5月19日出现诱蛾高峰, 诱蛾达到116头, 之后蛾量突然减少至10头; 安阳地区5月20日诱蛾量高达208头, 之后蛾量突然减少至65头; 大连地区5月15日仅诱集到8头小菜蛾, 但5月16日诱蛾量突然增加至120头; 公主岭地区5月22日小菜蛾诱蛾量仅为73头, 23日骤然增加至192头; 沈阳地区5月20日小菜蛾诱蛾量为98头, 21日出现诱蛾小高峰, 诱蛾量为243头, 之后诱蛾量略有回落, 但23日达到诱蛾高峰, 诱蛾量为454头。因此, 不同地区小菜蛾种群的突增突减现象非常显著, 突增与突减地区之间可能存在小菜蛾种群的远距离迁飞。

## 2.2 小菜蛾迁飞典型路径分析

### 2.2.1 南京地区小菜蛾的迁飞轨迹及风场分析

5月14日南京地区6个迁飞高度的顺推迁飞轨迹分析表明, 小菜蛾在不同高度层的迁飞轨迹存在明显的差异, 在200-400m高空, 小菜蛾迁飞轨迹基本位于南京附近的南部地区, 在600-800m高空, 小菜蛾迁飞轨迹最后进入渤海湾海域, 仅在1000-1200m高空, 小菜蛾迁飞轨迹才可到达大连地区(图2-a)。对1000m高空小菜蛾的迁飞过程进行分析表明, 5月14日傍晚南京地区小菜蛾起飞, 顺西南气流向北迁飞, 于5月15日清晨降落在山东莱州地区, 傍晚再次起飞,

于16日迁飞至大连地区, 在当地出现小菜蛾的迁入小高峰(图2-b)。

### 2.2.2 故城地区小菜蛾的迁飞轨迹分析

5月19日故城地区6个迁飞高度顺推迁飞轨迹分析表明, 小菜蛾在不同高度层的迁飞轨迹存在一定的差异, 在200-400m高空, 小菜蛾迁飞轨迹明显偏西, 可迁飞至黑龙江以中部地区, 在600-1200m高空, 小菜蛾迁飞轨迹可到达公主岭附近地区(图3-a)。对1000m高空小菜蛾的飞行过程进行分析表明, 5月19日傍晚小菜蛾从故城地区起飞迁出, 21日清晨达到沈阳地区, 傍晚再次起飞, 23日抵达公主岭地区, 且出现迁入高峰(图3-b)。

### 2.2.3 小菜蛾由安阳至沈阳迁飞轨迹分析

5月20日安阳地区6个迁飞高度顺推迁飞轨迹分析表明, 小菜蛾在不同高度层的迁飞轨迹存在明显的差异, 在200-400m高空迁飞至渤海湾地区, 在600m高空迁飞至达内蒙古东部与吉林交汇地区, 在800-1000m高空迁飞轨迹可达沈阳地区, 在1200m高空迁飞至沈阳附近的东部地区。对1000m高空小菜蛾的飞行过程进行分析表明, 5月20日傍晚小菜蛾从安阳地区迁出, 21日、22日小菜蛾横跨河北、北京地区, 23日抵达沈阳地区, 且出现迁入高峰(图4-a)。

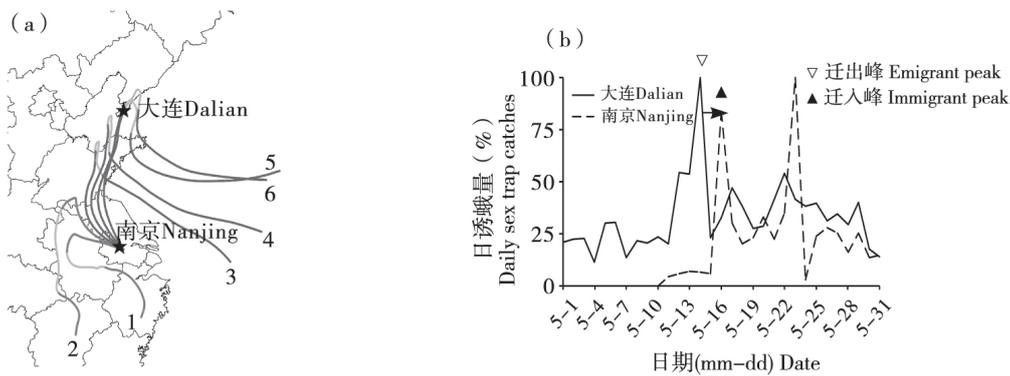


图2 2009年5月14日至16日小菜蛾由南京地区远距离迁飞至大连地区

Fig. 2 The long distance migration of diamondback moth from Nanjing to Dalian during 14 to 16 May, 2009

注: a, 2009年5月14日至16日不同迁飞高度(1-6代表小菜蛾飞行高度是200m、400m、600m、800m、1000m、1200m)下小菜蛾南京地区迁出种群的顺推轨迹; b, 2009年5月南京与大连地区小菜蛾成虫种群发生情况。Note: a, The forward trajectory of emigrant population in different height (the number 1 to 6 for trajectory are the flying height of diamondback moth at 200m, 400m, 600m, 800m, 1000m, and 1200m, respectively) from Nanjing during 14 to 16 May, 2009; b, Dynamics of diamondback moth adults in Nanjing and Dalian in May, 2009.

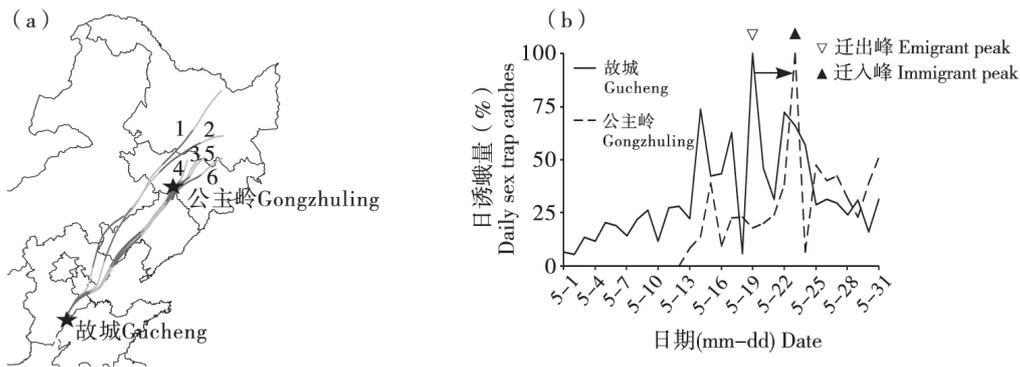


图3 2009年5月19日至23日小菜蛾由故城地区远距离迁飞至公主岭地区

Fig. 3 The long distance migration of diamondback moth from Gucheng to Gongzhuling during 19 to 23 May, 2009

注: a, 2009年5月19日至23日不同迁飞高度(1-6代表小菜蛾飞行高度是200 m、400 m、600 m、800 m、1000 m、1200 m)下小菜蛾故城地区迁出种群的顺推轨迹; b, 2009年5月故城与公主岭地区小菜蛾成虫种群发生情况。Note: a, The forward trajectory of emigrant population in different height (the number 1 to 6 for trajectory are the flying height of diamondback moth at 200 m, 400 m, 600 m, 800 m, 1000 m, and 1200m, respectively) from Gucheng during 19 to 23 May, 2009; b, Dynamics of diamondback moth adults in Gucheng and Gongzhuling in May, 2009.

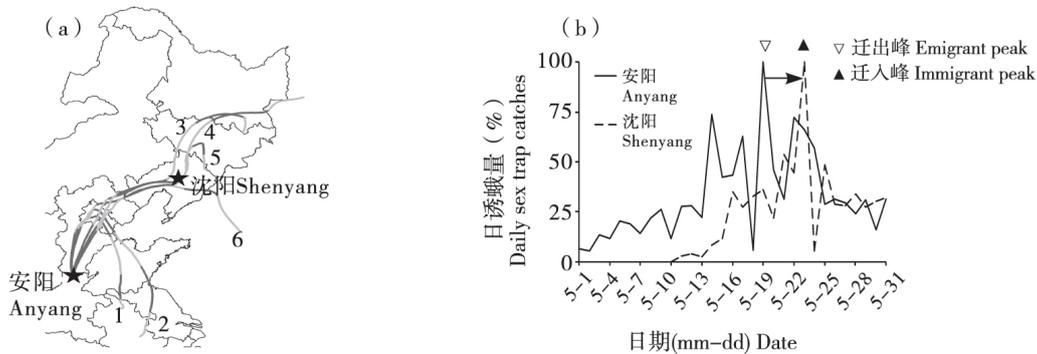


图4 2009年5月20日至23日小菜蛾由安阳地区远距离迁飞至沈阳地区

Fig. 4 The long distance migration of diamondback moth from Anyang to Shenyang during 20 to 23 May, 2009

注: a, 2009年5月20日至23日不同迁飞高度(1-6代表小菜蛾飞行高度是200 m、400 m、600 m、800 m、1000 m、1200 m)下小菜蛾安阳地区迁出种群的顺推轨迹; b, 2009年5月安阳与沈阳地区小菜蛾成虫种群发生情况。Note: a, The forward trajectory of emigrant population in different height (the number 1 to 6 for trajectory are the flying height of diamondback moth at 200 m, 400 m, 600 m, 800 m, 1000 m, and 1200 m, respectively) from Nanjing during 20 to 23 May, 2009; b, Dynamics of diamondback moth adults in Anyang and Shenyang in May 2009. (b) Wind field of Anyang on 1000 m (900hpa) at 20:00, 20 May, 2009.

### 3 结论与讨论

小菜蛾在我国长江流域及其以南地区(如武汉、合肥、南京等地)能够安全越冬(马祺等, 2009),而在寒冷的北部地区(如大连、沈阳、公主岭、哈尔滨等地)无法越冬(马春森等, 2010),可以推断大连、沈阳、公主岭等地区春季突发的小菜蛾是由外地远距离迁飞而来的(邢鲲

等, 2013)。本研究首次将 HYSPLIT 平台利用到小菜蛾迁飞研究中, 轨迹分析结果证实了小菜蛾春季可由南向北进行远距离迁飞。此外, 渤海湾的空中网捕和黑光灯均成功诱捕到了小菜蛾(马春森和陈瑞鹿, 1991; Fu *et al.*, 2014), 为其跨海迁飞提供了直接证据。各地小菜蛾遗传结构的分析表明, 小菜蛾种群间基因序列差异很小, 存在着充分的基因交流(Niu *et al.*, 2014; Wei *et al.*, 2014), 以上这些研究结果也与本研究春季小菜蛾

从南到北长距离迁飞的结论相一致。

本研究在迁飞高度的分析中发现, 高度参数设在 800 – 1000 m 的轨迹落点与我国东部地区小菜蛾成虫显著地发生“突增”或“突减”现象的地点相一致, 认为小菜蛾迁飞高度在 800 – 1000 m。但是, Chapman 等 (2002) 在洛桑试验站利用垂直监测昆虫雷达技术, 发现小菜蛾飞行高度是在 200 m, 并在此高度采用空中气球成功网捕到小菜蛾成虫。这与本文的结果存在差异。我国东部地区 (32° – 45°N) 以平原为主, 间有丘陵, 河湖众多, 春末夏初季节平均气温较高。洛桑试验站地区地形平坦且较低, 但纬度较高 (51°N), 春末夏初气温仍然较低。这说明不同地形、地貌与地理位置与迁飞昆虫在空中迁飞高度、风温场高度关系密切。这种差异也存在与其他迁飞昆虫的研究中。例如, 齐国君等 (2011) 利用 HYSPLIT 轨迹分析发现 2010 年 6 月粤北大范围稻纵卷叶螟迁入种群的迁飞高度在 800 – 1500 m, 而 Riley 等 (1995) 毫米波雷达及高月波等 (2008) 多普勒雷达观测结果发现稻纵卷叶螟主要选择在 500 m 以下高度飞行。由此可见, 昆虫实际的迁飞高度还有待在今后的雷达观测和空中取样加以证实, 这也对轨迹分析模型高空气流场的参数设置有重要意义。

小菜蛾的起飞降落、再迁飞等行为不仅自主性较大, 而且还受到风向、风速、温度、湿度、寄主植物等多方面因素综合影响 (Chapman *et al.*, 2002, 2011)。本研究使用的轨迹分析模型为逐日运行的, 而小菜蛾在实际迁飞途中可能暂时停息后再做间歇的迁飞, 可造成模拟的迁飞轨迹与实际不符。此外, 地形胁迫、气象条件等对小菜蛾迁飞的影响也有待于进一步开展研究。

### 参考文献 (References)

- Chapman JW, Drake VA, Reynolds DR. Recent insights from radar studies of insect flight [J]. *Annual Review of Entomology*, 2011, 56: 337 – 356.
- Chapman JW, Reynolds DR, Smith AD, *et al.* High – altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the UK: A study using radar, aerial netting, and ground trapping [J]. *Ecological Entomology*, 2002, 27 (6): 641 – 650.
- Fan SQ, Zhai BP. Population fluctuation and migration dynamics of *Sogatella furcifera* (Horváth) in Hubei [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (4): 815 – 827. [范淑琴, 翟保平. 湖北白背飞虱种群消长与迁飞动态[J]. 应用昆虫学报, 2015, 52 (4): 815 – 827]
- Feng X, Li ZY, Wu QJ, *et al.* Research progress of the resistance management and sustainable control of diamondback moth (*Plutella xylostella*) in China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (2): 247 – 253. [冯夏, 李振宇, 吴青君, 等. 小菜蛾抗性治理及可持续防控技术与示范[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (2): 247 – 253]
- French RA. Long distance of movement of two migrant Lepidoptera in relation to synoptic weather conditions [J]. *Biometeorology*, 1967, 2: 153.
- Fu XW, Xing ZL, Liu ZF, *et al.* Migration of diamondback moth, *Plutella xylostella*, across the Bohai Sea in northern China [J]. *Crop Protection*, 2014, 64: 143 – 149.
- Gao YB, Chen X, Chen ZR, *et al.* Dynamic analysis on the migration of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) by Doppler insect monitoring radar and numerical simulation [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (11): 5238 – 5247. [高月波, 陈晓, 陈钟荣, 等. 稻纵卷叶螟 (*Cnaphalocrocis medinalis*) 迁飞的多普勒昆虫雷达观测及动态[J]. 生态学报, 2008, 28 (11): 5238 – 5247]
- Goodwin S, Danthanarayana W. Flight activity of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) [J]. *Australian Journal of Entomology*, 1984, 23 (3): 235 – 240.
- Honda KI. Hibernation and migration of diamondback moth in Northern Japan. In: Taleker NS, ed. *Diamond back Moth and Other and Other Crucifer Pests* [C]. Taiwan: Academic Press, 1992: 43 – 50.
- Li Z, Feng X, Liu SS, You M, Furlong MJ. Biology, ecology, and management of the diamondback moth in china [J]. *Annual Review of Entomology*, 2016, 61: 277 – 296.
- Lu F, Zhai BP, Hu G. Trajectory analysis methods for insect migration research [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (3): 853 – 862. [芦芳, 翟保平, 胡高. 昆虫迁飞研究中的轨迹分析方法[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (3): 853 – 862]
- Ma CS, Chen RL. Effect of temperature on the development and fecundity of *Plutella xylostella* [J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 1993, 3: 44 – 49. [马春森, 陈瑞鹿. 温度对小菜蛾 (*Plutella xylostella* L.) 发育和繁殖影响的研究[J]. 吉林农业科学, 1993, 3: 44 – 49]
- Ma CS, Chen RL. Population dynamics and generation differentiating of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. in Gongzhuling [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1995, 17 (2): 27 – 31. [马春森, 陈瑞鹿. 公主岭地区小菜蛾发生动态和世代的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1995, 17 (2): 27 – 31]
- Ma CS, Chen RL. Study on overwintering and migration of *Plutella xylostella*. Beijing: The 1<sup>st</sup> Academic Symposium of Plant Protection [C]. 1991, 294 – 300. [马春森, 陈瑞鹿. 菜蛾越冬与迁飞问题的研究. 北京: 第一届植保青年大会 [C]. 1991, 294 – 300]
- Ma CS, Ma G, Yang HP. Overwintering of the diamondback moth, *Plutella xylostella* in temperate countries [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (13): 3628 – 3636. [马春森, 马罡, 杨和

- 平. 小菜蛾在温带地区越冬研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30 (13): 3628–3636]
- Ma Q, Zhang YF, Xie YZ. Occurrence regularity and control strategy of *Plutella xylostella* (L.) in cruciferous [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 2009, 5: 956–959. [马祺, 章云斐, 谢以泽. 十字花科蔬菜小菜蛾的发生规律及防治策略[J]. 浙江农业科学, 2009, 5: 956–959]
- Miyahara Y. Simultaneous trap catches of the oriental armyworm and the diamondback moth during the early flight season at Morioka [J]. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 1987, 31 (2): 138–143.
- Niu, YQ, Nansen C, Li XW, et al. Geographical variation of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) populations revealed by mitochondrial COI gene in China [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2014, 138 (9): 692–700.
- Qi GJ, Lu F, Gao Y, et al. Analysis of a migration process and the source population of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae) in 2010 [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54 (10): 1194–1203. [齐国君, 芦芳, 高燕, 等. 稻纵卷叶螟 2010 年的一次迁飞过程及其虫源分析[J]. 昆虫学报, 2011, 54 (10): 1194–1203]
- Riley JR, Reynolds DL, Smith AD, et al. Observations of the autumn migration of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and other moths in eastern China [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 1995, 85 (3): 397–414.
- Tang GT, Bao YX. Analysis on occurrence pattern and migratory paths of brown plant-hopper in Guangxi Province [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2015, 36 (1): 74–82. [唐广田, 包云轩. 广西褐飞虱发生特点及其迁飞路径分析[J]. 中国农业气象, 2015, 36 (1): 74–82]
- Wei SJ. Genetic structure and demographic history reveal migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from the southern to northern regions of China [J]. *PLoS ONE*, 2013, 8 (4): e59654.
- Xing K, Ma CS, Han JC. Evidences of long distance migration of diamondback moth (DBM) *Plutella xylostella*: A review [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24 (6): 1769–1776. [邢鲲, 马春森, 韩巨才. 小菜蛾远距离迁飞的证据研究综述[J]. 应用生态学报, 2013, 24 (6): 1769–1776]
- Zhang XX, Lu ZQ, Geng JG, et al. Study on migration pathway of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1980, 23 (2): 130–139. [张孝羲, 陆自强, 耿济国, 等. 稻纵卷叶螟迁飞途径的研究[J]. 昆虫学报, 1980, 23 (2): 130–139]
- Zhang YH, Chen L, Cheng DF, et al. The migratory behaviour and population source of the first generation of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae) in 2007 [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51 (7): 720–727. [张云慧, 陈林, 程登发, 等. 草地螟 2007 年越冬代成虫迁飞行为研究与虫源分析[J]. 昆虫学报, 2008, 51 (7): 720–727]