应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2018, 55(2): 168−176. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2018.025

# 2016 年华北南部二代二点委夜蛾成虫迁飞的雷达观测*

黄建荣[1**] 黄 博[1] 朱 健[2] 封洪强[1***]

（1. 河南省农作物病虫害防治重点实验室，农业部华北南部作物有害生物综合治理重点实验室，河南省作物保护国际联合实验室，河南省农业科学院植物保护研究所，郑州 450002；
2. 南京农业大学植物保护学院，华东作物有害生物综合治理农业部重点实验室，南京 210095）

**摘 要** **【目的】** 为了明确玉米新发害虫二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 的迁飞行为，为该虫的区域性监测预警提供依据。**【方法】** 2016 年 7 月在华北南部的新乡市原阳县，利用旋转极化垂直昆虫雷达和高空诱虫灯观测了 2 代二点委夜蛾成虫在空中的迁飞行为，利用轨迹分析软件 HYSPLIT 分析该虫的迁飞范围。**【结果】** 2 代二点委夜蛾成虫在日落后（19:00 左右）开始起飞，2 h 后达到最大值，二点委夜蛾成虫最大高峰时间主要出现在前半夜，次日凌晨虫量逐渐降低，至 7:00 左右迁飞活动停止，整个迁移活动持续 12 h。二点委夜蛾成虫在空中成层分布，其最高飞行高度低于 1 200 m，但虫量最大处位于 600-700 m。第 2 代二点委夜蛾成虫每晚的平均最长飞行时间为 7.972 h，平均位移速度为 9.12 m/s，每晚平均最远距离大约为 261.74 km。结合风场和轨迹模拟分析表明，7 月份二点委夜蛾以北迁为主，河南中部的漯河及许昌等地区是雷达观测点二点委夜蛾峰值时的直接虫源区，其余来自邻近区域。**【结论】** 本研究明确了华北南部地区 2016 年 2 代二点委夜蛾在空中的迁飞参数及迁飞范围。

**关键词** 二点委夜蛾成虫，迁飞行为，雷达观测

# Using vertical looking radar (VLR) to observe the migratory behavior of the second generation *Athetis lepigone* moths in the southern part of north China in 2016

HUANG Jian-Rong[1**] HUANG Bo[1] ZHU Jian[2] FENG Hong-Qiang[1***]

(1. Henan Key Laboratory of Crop Pest Control; IPM Key Laboratory in Southern Part of North China for Ministry of Agriculture; International Joint Research Laboratory for Crop Protection of Henan; Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Plant Protection, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in East China, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract** **[Objectives]** Monitoring the migratory behavior of *Athetis lepigone* is important for regional population monitoring and forecasting outbreaks of this pest. **[Methods]** The migratory behavior of second generation *A. lepigone* moths was observed with vertical looking radar (VLR) and a vertical pointing searchlight trap reaching to high altitude in July 2016 at Yuanyang, Xinxiang, in the southern part of north China. The migration range of populations were analyzed using trajectory analysis software HYSPLIT. **[Results]** Second generation *A. lepigone* moths were observed to take off at dusk (19:00) with peak density reached after two hours. Density decreased gradually as moths emigrated, but migration was sustained for about 12 h until 7:00 the following day. Moths generally ascended to a maximum altitude of 1 200 m above ground level (AGL) with the highest density recorded at 600-700 m AGL. In most cases, the mean longest flight time was 7.972 h per night, and the mean flying speed was 9.12 m/s. The main direction of travel was southeast and the mean maximum

*资助项目 Supported projects：国家自然基金 (31401731)；河南省科技创新人才计划 (164200510015)；河南省重大科技专项 (171100110600)

**第一作者 First author，E-mail：hjr130705@126.com

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

收稿日期 Received：2017-11-03，接受日期 Accepted：2017-12-27

flight distance was 261.74 km per night. Combining wind field and migration pathways with radar data, the results indicate that the second generation of *Athetis lepigone* moths mainly migrate northward, and that most immigrants came from Luohe or Xuchang city, in the center of Henan province, with others coming from the vicinity of the radar observation site. **[Conclusion]** This study elucidated the flight parameters and flight range of the second generation of *Athetis lepigone* moths in the southern part of north China in 2016.

**Key words**　*Athetis lepigone* moths, migratory behavior, radar observation

二点委夜蛾自 2005 年首次在河北被发现危害夏玉米后（姜京宇和席建英，2006），近年其为害范围不断扩大，危害程度不断加重，已经成为黄淮海地区危害夏玉米生产的重要害虫（王振营等，2012）。在小麦-玉米轮作耕作模式下，每年二点委夜蛾的第一代危害冬小麦后，成虫扩散至玉米田内产卵，孵化的幼虫可直接为害玉米小苗造成危害（许昊等，2012），在田间存在一次扩散行为。2011 年中国农科院植物保护研究所害虫监测团队在北京延庆监测点未能监测到二点委夜蛾，而 2012 年在 6 月中下旬和 7 月中下旬分别出现了较大虫峰，累计诱集到成虫 33 951 头，可能是外部虫源扩散所致（张智等，2013）。朱彦彬等（2012）对河北、河南、山东和山西等地共 19 个不同地理种群样本的 mt COⅠ基因序列比对分析后发现，二点委夜蛾不同地理种群间基因流水平较高，种群间没有明显的遗传分化。这些证据表明此虫可能存在迁飞扩散行为。Fu 等（2014）报道了二点委夜蛾存在越海迁飞的习性，而该虫夜晚在野外的飞行节律如何，在空中的迁飞高度、飞行速度等都没有定论，而这些参数直接关系到该虫的监测预警水平和防治策略。

昆虫雷达可以探测到空中在自然状态下飞行的昆虫，而且专门设计的旋转极化垂直昆虫雷达可探测到昆虫的迁飞参数，如空中个体体重大小、振翅频率、飞行方向、飞行时间、高度和速度等，在推算昆虫种群的飞行范围、昆虫群落的迁飞模式等方面具独特的优势（Drake *et al.*，1981；Chapman *et al.*，2002b，2013；Hu *et al.*，2016），已成功应用于银纹夜蛾、草蛉、叶甲、瓢虫等重要害虫迁飞规律的研究（Chapman *et al.*，2002a；2006；2010；2012；2013；Jeffries *et al.*，2013）。本研究利用旋转极化垂直昆虫雷达在新乡市原阳县对二点委夜蛾成虫的迁飞行为进行了观测，测定了 2 代二点委夜蛾成虫的飞行参数，利用轨迹模拟的方法阐述这代成虫的迁飞范围和虫源性质，这将为该虫的监测预警提供技术支撑。

# 1　材料与方法

## 1.1　雷达观测

监测地点位于新乡市原阳县境内的河南省农业科学院现代农业科技试验示范基地（35.02° N，113.69° E）内，周围是农田和村庄，以种植小麦、玉米、水稻为主，监测点周围地势开阔，1 000 m 内无障碍物。本研究所用雷达为河南省农业科学院植物保护研究所与成都锦江电子系统工程公司合作建成的旋转极化垂直昆虫雷达，雷达天线固定垂直向上，波长 3.2 cm，方位角分辨率为 2.4°，AD 采样频率 80 MHz，即高度采样精度为 1.875 m，雷达瞬时采样空间为 $10^7$ $m^3$。雷达天线安放在距离地面 3 m 的房顶上。

除降雨和机械故障外，雷达观测在每天日落至次日日出进行，观测时每小时采集 4 次，每次采集数据约 2 min，每次采集完成后进行数据的保存，这些均由计算机程序自动完成。采用非实时雷达信号分析程序查看雷达目标的高度和密度并提取雷达目标的飞行速度、飞行方向、振翅频率、体重、体型等信息（Smith *et al*，1993；Chapman *et al.*，2002b； Drake *et al.*，2002），这些信息主要用于昆虫的种类鉴别。

## 1.2　空中采样

采用探照灯诱虫器诱集二点委夜蛾成虫，方法与 Feng 等（2003）设置的方法一致，每天日

落后开灯，次日日出后关灯，将活虫取回并置于冷冻冰柜内冻死后分类并逐日计数，在本研究中作为昆虫雷达目标辨识并验证的主要依据。同时在 1 200 m 处设另一台探照灯诱集昆虫，收集的活体成虫用乙醚麻醉后，置于微量天平（精度 0.1 mg）上测定出昆虫的重量，作为本研究中区分雷达数据目标是某种昆虫的依据。

### 1.3 风场及迁飞轨迹模拟

风场数据来自欧洲中期天气预报中心（ECMWF），分辨率为 0.5°×0.5°，时间间隔为 6 h 一次，利用 Grads 提取格点数据中的水平风场。轨迹分析采用美国国家与大气海洋局 NOAA 开发的大气质迁飞点轨迹分析平台 HYSPLIT 进行在线轨迹模拟，使用数据为 NCEP 再分析全球格点数据，经纬网格为 1°×1°。

轨迹模拟过程中假定二点委夜蛾成虫是顺风迁移，迁飞高度根据雷达观测的密度最大的高度设置，并以每夜雷达观测峰值作为一次轨迹模拟的起始时间，同时依据雷达观测的二点委夜蛾的活动时间，分别作轨迹的顺推（至 7:00 结束）和回推（至 19:00 结束）。

### 1.4 统计与分析

对雷达数据中二点委夜蛾的提取主要依据昆虫的体重信息（Chapman *et al.*，2002b，2006）。本研究所采用的昆虫成虫体重的范围是平均数的 90%置信区间。相关分析采用 Pearson 分析，所有统计过程均在 R 软件中进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 空中昆虫诱集

7 月份探照灯诱集的昆虫数量中，其中铜绿丽金龟和二点委夜蛾种群数量最大，分别占 7 月份总诱虫量的 78.51%和 7.31%，其他主要昆虫如棉铃虫、地夜蛾属、甜菜夜蛾、草蛉和光腹夜蛾属分别仅占 1.17%、0.16%、0.33%、0.28%和 0.11%。7 月 6-31 日是二点委夜蛾第 2 代成虫发生的高峰期，是 7 月份空中昆虫群落除铜绿丽金龟之外的优势种类（图 1）。

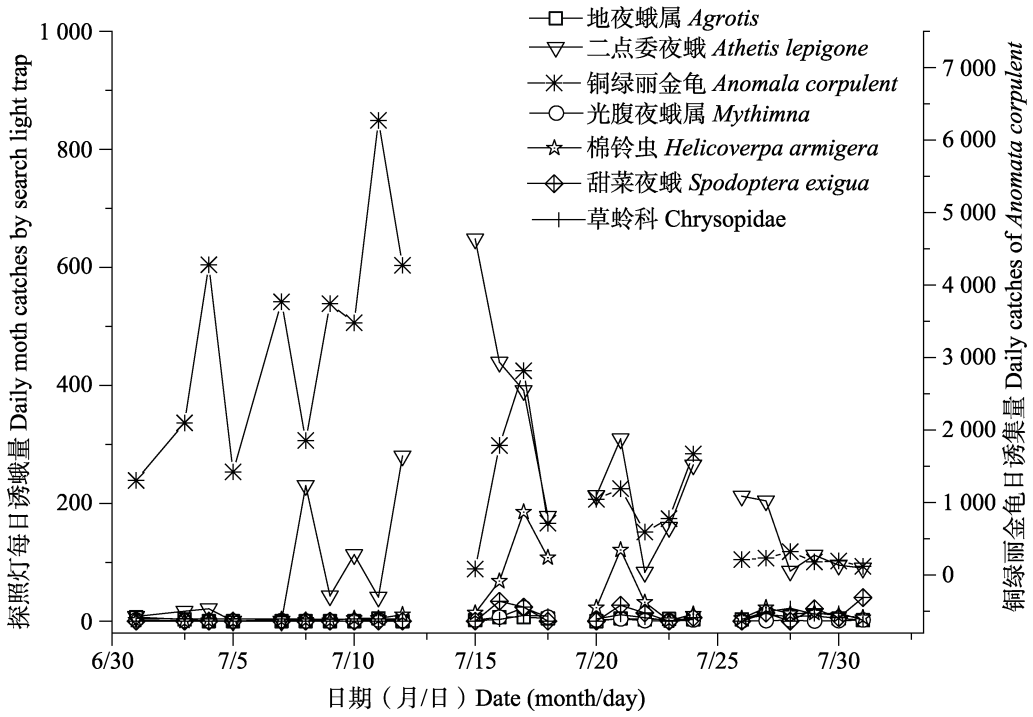


**图 1 2 代二点委夜蛾发生期间探照灯诱集的主要昆虫群落数量（原阳，2016）**

**Fig. 1 Daily density of insects collected by the searchlight trap during moth occurrence period of the second generation of *Athetis lepigone* (Yuanyang, 2016)**

### 2.2　雷达目标的判别

鲜活的昆虫成虫体重范围如表 1 所示，铜绿丽金龟重量最大，其次是地夜蛾属类昆虫（小地老虎和黄地老虎），再是棉铃虫和东方黏虫，体重较小的是二点委夜蛾和甜菜夜蛾，其中铜绿丽金龟体重与其他蛾类昆虫的体重范围无重叠，小地老虎和棉铃虫无重叠，黄地老虎和棉铃虫部分重叠，但东方粘虫和棉铃虫、地夜蛾属类昆虫（黄地老虎和小地老虎）存在明显的重叠，二点委夜蛾、甜菜夜蛾与其他夜蛾类昆虫无重叠，其中二点委夜蛾成虫鲜重范围为 13.2-44.52 mg（表 1）。

根据二点委夜蛾成虫鲜重范围从雷达探测目标中筛选出该体重范围内的目标，并将逐日观测到的该类目标数量与探照灯诱虫器诱集到的二点委夜蛾成虫数量进行比较，两者的吻合度较高，相关性分析结果表明二者存在明显的相关性（相关系数 $r$=0.505，$P$=0.038），这表明雷达观测到的该体重范围内的目标中 90%的个体可能是空中飞行的二点委夜蛾成虫。

### 2.3　二点委夜蛾成虫在空中飞行的参数

对空中二点委夜蛾目标按日期和高度进行数量累计结果表明，2016 年 2 代二点委夜蛾成虫在空中成层分布，其平均高度为（601.21±3.43）m，不同日期迁飞层高度有一定的变化，除 7 月 16、18 日和 29-31 日，其他日期空中虫量最大处均位于 600-700 m（图 3），最高可达 1 173 m，但密度相对较低。

表 1　2016 年 7 月空中飞行主要昆虫种类（探照灯诱捕种类）的体重比较
**Table 1　Weight of the searchlight trap catches in July 2016**

| 种类 Kinds | 称重数量 Number | 体重 Weight（mg） | |
|---|---|---|---|
| | | 90% 置信区间下限 The lower limit | 90% 置信区间上限 The upper limit |
| 二点委夜蛾 *Athetis lepigone* | 237 | 13.20 | 44.52 |
| 黄地老虎 *Agrotis segetum* | 19 | 154.25 | 246.39 |
| 棉铃虫 *Helicoverpa armigera* | 262 | 73.01 | 159.86 |
| 甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* | 25 | 13.36 | 35.68 |
| 铜绿金龟 *Anomala corpulenla* | 6 | 384.45 | 579.05 |
| 小地老虎 *Agrotis ypsilon* | 18 | 160.70 | 327.45 |
| 东方黏虫 *Mythimna separata* | 80 | 98.60 | 221.59 |

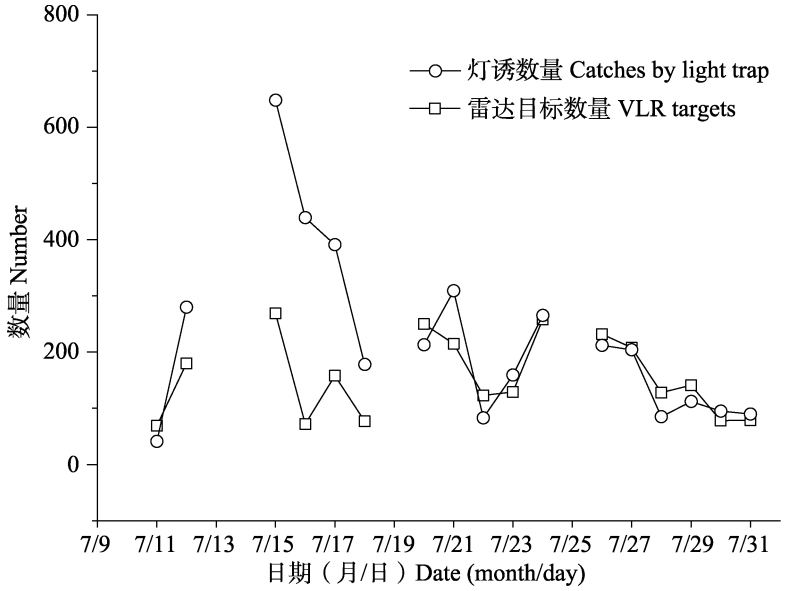


图 2　7 月每日灯诱二点委夜蛾数量和雷达观测的二点委夜蛾（13.2-44.52 mg）目标
**Fig. 2　Daily aerial densities of *Athetis lepigone* moths in light trap and the mean daily aerial numbers of *Athetis lepigone* moth -like targets (13.2-44.52 mg) detected by VLR in July**

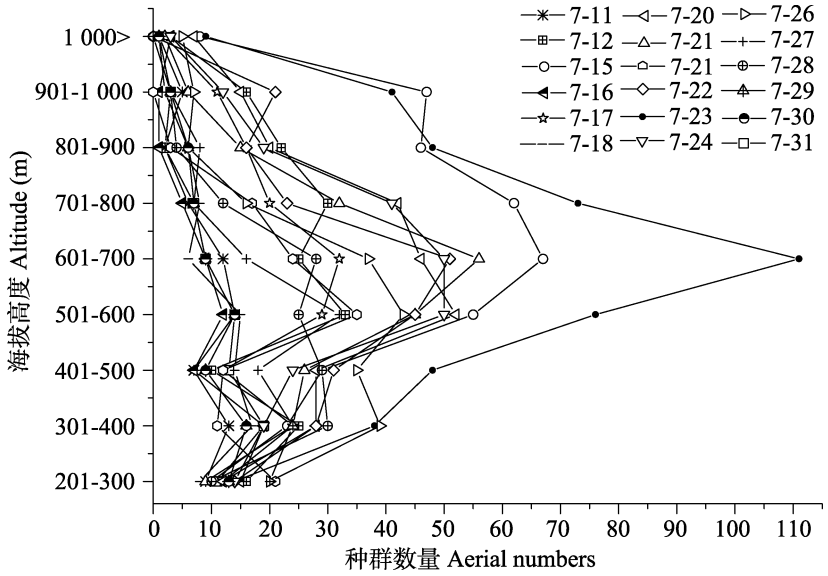


图 **3** 7 月雷达探测空中不同高度下二点委夜蛾目标的种群数量

**Fig. 3 The density-height profile of *Athetis lepigone* moth-like targets detected by VLR in July**

统计每小时内被观测到的二点委夜蛾虫量，结果表明，2 代二点委夜蛾成虫一般在日落后（19:00 左右）开始起飞，空中种群数量迅速增加，2 h 后空中昆虫密度达到最大值，成虫高峰时间主要出现在前半夜，次日凌晨虫量逐渐降低，至次日 7:00 左右迁飞活动停止，整个迁移活动持续 12 h（图 4），7 月份共监测到 3 034 个二点委夜蛾成虫目标，按照目标出现在雷达中的时间作为起始飞行时间，将早上 7:00 作为飞行停止时间计算，7 月份二点委夜蛾飞行的平均最

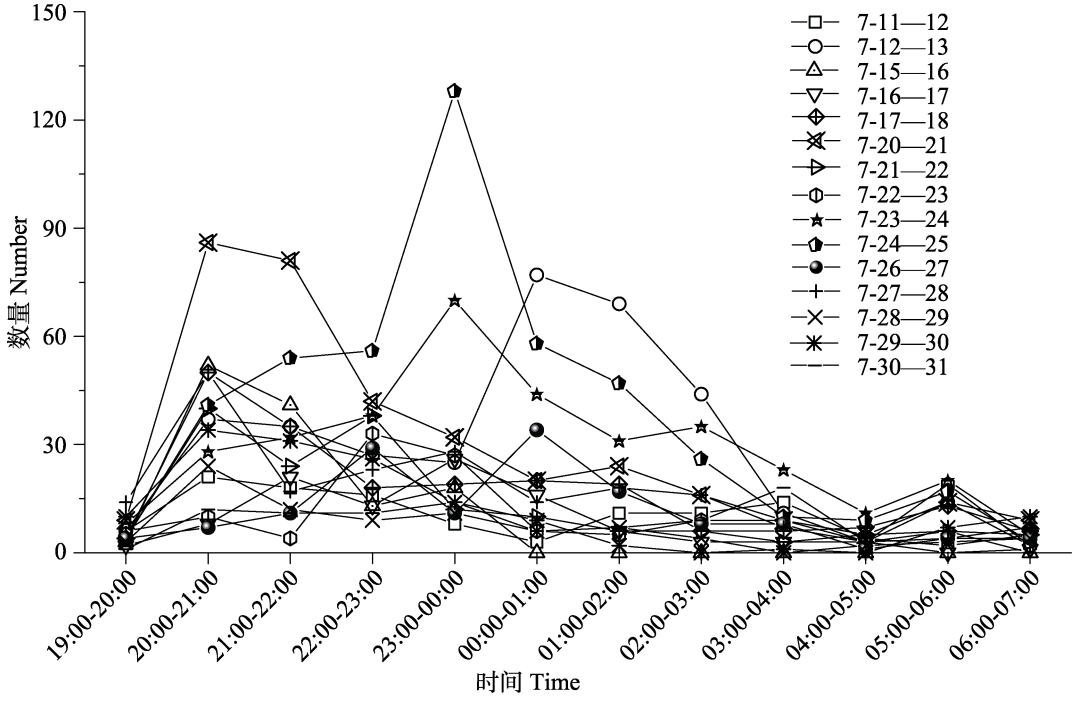


图 **4** 7 月雷达傍晚 **19:00** 至次日 **07:00** 逐时观测二点委夜蛾成虫目标的数量

**Fig. 4 The numbers of *Athetis lepigone* moth-like targets detected by the VLR sampled hourly between 19:00 and 07:00 in July**

长时间为（7.972±0.203） h。其中 7 月 11、15、17、20、21、27、28 和 29 日 20:00-21:00 内监测的虫量是当日晚上及次日凌晨虫量的最大，其中 7 月 20 日在这 1 h 内监测累计虫量达到 86 头。7 月 16、22、23 和 24 日晚上及次日凌晨的最大虫量也出现在前半夜，其中 7 月 24 日 23:00-00:00 时内监测的累计虫量达 128 头，7 月 12 和 26 日晚上及次日凌晨的最大虫量都出现在后半夜的 00:00-01:00 内，7 月 30-31 日则出现在凌晨的 03:00-04:00 内。

雷达观测表明，二点委夜蛾成虫迁飞个体的平均位移速度为（9.12±0.06） m/s（图 5），按最长飞行时间 12 h 计算一个夜晚的迁飞距离最大为 393.98 km，按平均最长飞行时间 7.972 h 计算，其每晚迁飞平均最远距离为 261.74 km。因此可以根据二点委夜蛾在不同时间下的飞行高度，模拟并推测害虫迁飞的轨迹和飞行范围。

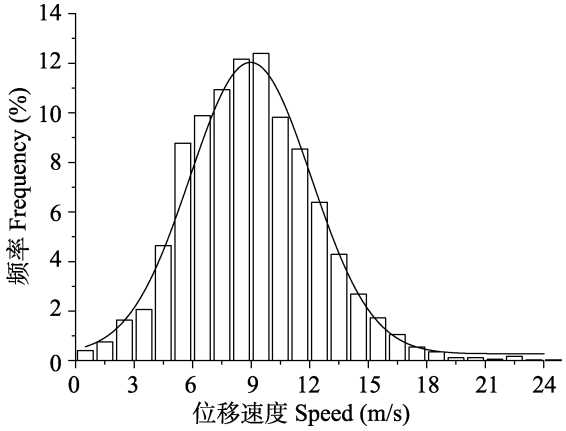


图 **5**　雷达探测二点委夜蛾成虫目标的位移速率分布（***n*=2 766**）

**Fig. 5　Distribution of displacement speed of *Athetis lepigone* moth-like targets detected by the VLR (*n*=2 766)**

### 2.4　空中风场和轨迹模拟

7 月上旬以东南风为主导，中旬风向变化频繁。自 21 日起，由南到北开始出现一股强劲南风，这是引起雷达观测虫峰的主要原因（图 6、图 7）。按虫量将二点委夜蛾 7 月 11 日至 7 月 30 日的迁飞期分为三个阶段：第一阶段为 7 月 11-17 日，虫量始增；第二阶段为 7 月 20-24 日，虫量进入突增期；第三阶段为 7 月 26-30 日，虫量回落。分别对三个阶段进行迁飞轨迹模拟，结果发现，第一阶段（图 8：A）二点委夜蛾整体呈现向西迁飞的趋势，部分向北，虫源位置离雷达较近；第二阶段（图 8：B）的突增期，虫源来自河南中部的漯河及许昌地区，并向东北方迁至河南北部及河北南部；第三阶段（图 8：C），二点委夜蛾主要从附近区域向东北或西北方向迁飞。结合雷达观测的虫量变化与迁飞过程轨迹分析表明 7 月份二点委夜蛾以北迁为主，河南中部的漯河及许昌等地区是此次二点委夜蛾峰值的直接虫源区，其余来自邻近区域。

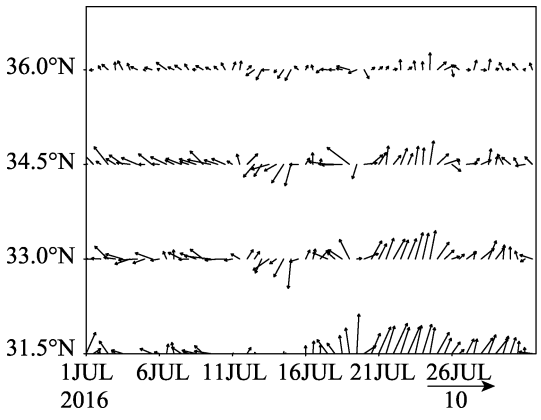


图 **6**　**2016** 年 **7** 月原阳监测点所在区域 **950 hPa** 高度沿 **113.7°E** 风场的时间-纬度剖面

**Fig. 6　Time-latitude profiles of wind fields at 950 hPa in VLR site (113.7°E, Yuanyang) in July 2016**

## 3　讨论

本研究采用中国首台旋转极化垂直昆虫雷达对华北南部玉米新发害虫二点委夜蛾成虫的迁飞进行了观测。由于空中飞行的昆虫成虫种类较多，本研究通过昆虫的质量将二点委夜蛾目标提取出来，并与探照灯诱集的该种昆虫数量进行验证，结果表明雷达探测的目标与灯诱目标存在明显的相关性，这使得采用本类型雷达自动监测该种害虫成为可能。同时本研究依托雷达观测资料设置了轨迹模拟参数，初步阐明了 2 代二点委夜蛾的迁飞范围和虫源性质，能为及时的制定防治策略提供有效的依据。

2 代二点委夜蛾飞行高度低于 1 200 m，主要飞行的高度在 600-700 m，而在 200-300 m 内

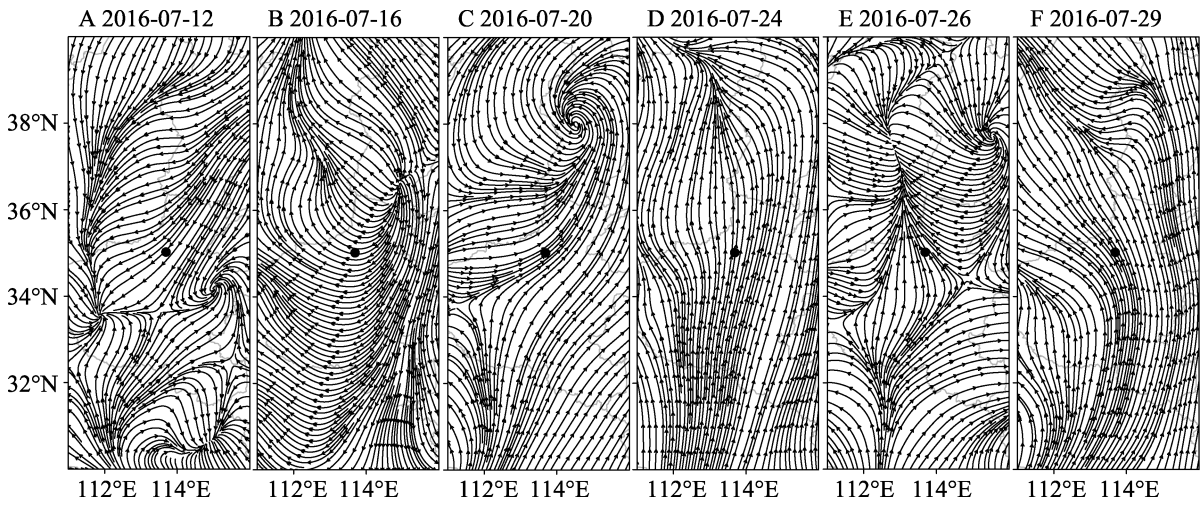


图 7 **2016** 年 **7** 月原阳监测点（黑点所示）所在区域上空 **950 hPa** 高度 **20:00** 流场分布

**Fig. 7 Streamlines at 20:00 and 950 hPa in VLR site (the dot, Yuanyang) in July 2016**

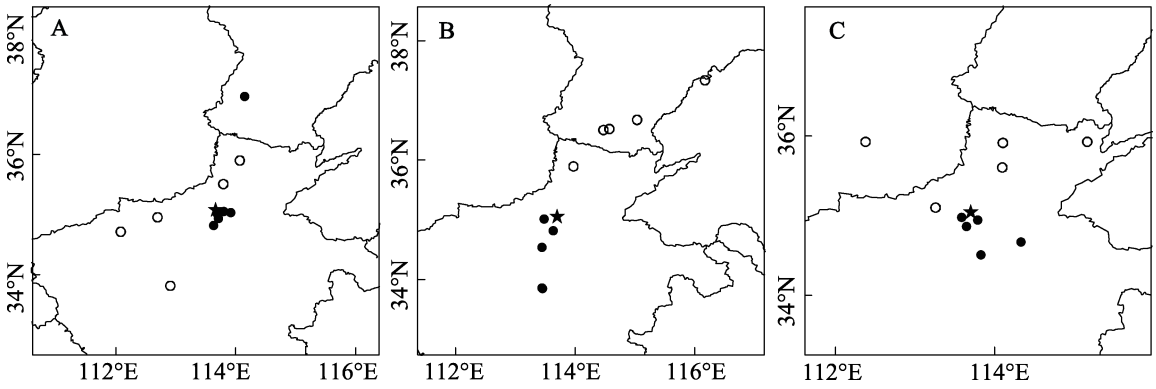


图 **8** 雷达监测的蛾峰日迁出与迁入轨迹模拟

**Fig. 8 The backward and forward trajectories of radar detecting population during the major immigration peaks**

A. 7 月 11-12 及 15-17 日；B. 7 月 20-24 日；C. 7 月 26-30 日。五角星为雷达监测点，实心圆点表示回推轨迹落点，空心圆点表示顺推轨迹落点。

A. 11-12 July and 15-17 July; B. 20-24 July; C. 26-30 July. Location of star is the radar monitoring site, and solid dots are backward ending, and hollow dots are forward ending.

的虫口密度低于 300-400 m，这与采用扫描雷达探测到的棉铃虫、甜菜夜蛾在夏季陆地飞行的主要高度更高（封洪强，2003；Feng *et al.*，2004a），与英国迁飞昆虫银纹夜蛾的飞行高度类似，但不同季节飞行高度存在差异（Chapman *et al.*，2013）。昆虫的迁飞存在明显的分层，如草地螟的迁飞在空中形成 2 个密度层，分别在 100-300 m 左右和 400-600 m 的位置（Feng *et al.*，2004b），空中的昆虫成层迁飞与气流和温度密切相关（Feng *et al.*，2004b）。

在北隍城岛（渤海湾中间的一个岛屿）每年诱集到三波二点委夜蛾成虫，该岛上没有农作物，为陆地往返迁飞穿过渤海湾途中时被探照灯诱集（Fu *et al.*，2014），该岛离大陆最小距离为 40 余公里，可见二点委夜蛾成虫至少需要迁飞 40 余公里才能到达诱集地，本研究以早上 7:00 为成虫停止飞行的时间，按照飞行位移速度、最长飞行时间和平均飞行时间计算，该种类成虫每晚最大可能可以飞行 300 余公里，平均最远距离大约为 261.74 km，完全有能力进行跨渤海迁飞。昆虫成虫夜间的迁飞可能不是一直在空中飞行直到天亮后才降落，但其实际飞行的持续时间无

法进行估计，本研究以成虫可能飞行的最长时间进行计算得到的结果，可以作为该种昆虫成虫迁飞距离的参考值。郑作涛等（2014）室内连续吊飞初羽化的成虫 80 h，雌雄蛾最长飞行时间可达 43.05 h 和 40.01 h，对 3 日蛾龄成虫吊飞 12 h，雌雄蛾平均飞行时间分别为 10.04 h 和 9.46 h，本研究观测一个晚上平均最长飞行时间为 7.972 h，可以作为该种昆虫成虫夜晚飞行模型中推算飞行范围和距离的参数。2016 年 2 代二点委夜蛾迁飞群体的平均位移速度为 9.12 m/s。郑作涛等（2014）室内吊飞 3 日龄二点委夜蛾成虫时发现其飞行平均速度分别 2.76 km/h 和 2.46 km/h，与本研究监测到的位移速度差别很大。这是由于本研究监测的位移速度是风速和昆虫自身飞行速度的矢量和，即位移速度，是由自主飞行和风速共同决定的。华北地区第 2 代二点委夜蛾成虫量较其他代次大，可能扩散的范围和数量更广，本研究表明该代成虫迁飞虫源来自河南中部地区和监测点附近地区，经过一个夜晚可以迁飞至河南北部和河北南部附近地区，是否每年都存在这样的模式，其他代次成虫的迁飞模式如何，还需要更多年份的监测证据。同时本研究测定了该代成虫在空中的迁飞速度，但要得出其自然状态下的自身飞行速度还必须依赖于实时获取的高精度风速资料，因此轨迹模拟时仅假设该蛾子为顺风飞行，忽略了自主飞行能力，在测报的精度上还有提升的必要，需要在后续的研究中进行完善。

## 参考文献 (References)


Drake VA, Wang HK, Harman IT, 2002. Insect monitoring radar: Remote and network operation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 35(2/3): 77–94.

Drake VA, 1981. Target density estimation in radar biology. *Journal of Theoretical Biology*, 90(2): 545–571.

Chapman JW, Lim KS, Reynolds DR, 2013. The significance of midsummer movements of *Autographa gamma*: Implications for a mechanistic understanding of orientation behavior in a migrant moth. *Current Zoology*, 59(3): 360–370.

Chapman JW, Bell JR, Burgin LE, Reynolds DR, Pettersson LB, Hill JK, Bonsall MB，Thomas J A, 2012. Seasonal migration to high latitudes results in major reproductive benefits in an insect. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37): 14924–14929.

Chapman JW, Nesbit RL, Burgin LE, Reynolds DR, Smith AD, Middleton DR, Hill JK, 2010. Flight orientation behaviors promote optimal migration trajectories in high-flying insects. *Science*, 327(5966): 682–685.

Chapman JW, Reynolds DR, Brooks SJ, Smith AD, Woiwod IP, 2006. Seasonal variation in the migration strategies of the green lacewing *Chrysoperla carnea* species complex. *Ecological Entomology*, 31(4): 378–388.

Chapman JW, Reynolds DR, Smith AD, Riley JR, Pedgley DE, Woiwod I P, 2002a. High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the UK: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. *Ecological Entomology*, 27(6): 641–650.

Chapman JW, Smith AD, Woiwod IP, Reynolds DR, Riley JR, 2002b. Development of vertical-looking radar technology for monitoring insect migration. *Computers and Electronics in Agriculture*, 35(2): 95–110.

Feng HQ, 2003. Community aloft and radar observations of seasonal migration of insects in northern China. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agriculture Sciences, China. [封洪强, 2003. 华北地区空中昆虫群落及昆虫季节性迁移的雷达观测. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院植物保护研究所.]

Feng HQ, Wu KM, Cheng DF, Guo YY, 2003. Radar observations of the autumn migration of the beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) and other moths in northern China. *Bulletin of Entomological Research*, 93(2): 115–124.

Feng HQ, Wu KM, Cheng DF, Guo YY, 2004a. Northward migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and other moths in early summer observed with radar in northern China. *Journal of Economic Entomology*, 97(6): 1874–1883.

Feng HQ, Wu KM, Cheng DF, Guo YY, 2004b. Spring migration and summer dispersal of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and other insects observed with radar in northern China. *Environmental Entomology*, 33(5): 1253–1265.

Fu XW, Liu YQ, Li YH, Ali A, Wu KM, 2014. Does *Athetis lepigone* moth (Lepidoptera: Noctuidae) take a long-distance migration? *Journal of Economic Entomology*, 107(3): 995–1002.

Hu G, Lim KS, Horvitz N, Clark SJ, Reynolds DR, Sapir N, Chapman JW, 2016. Mass seasonal bioflows of high-flying insect migrants. *Science*, 354(6319): 1584–1587.

Jeffries DL, Chapman J, Roy HE, Humphries S, Harrington R,

Brown PM, Handley JL, 2013. Characteristics and drivers of high-altitude ladybird flight: insights from vertical-looking entomological radar. *PLoS ONE*, 8(12): e82278.

Jiang JY, Xi JY, 2006. Review of new crop pest and disease in Hebei province in 2005. *China Plant Protection*, 26(7): 45–47. [姜京宇, 席建, 2006. 河北省 2005 年农作物病虫新动态概述. 中国植保导刊, 26(7): 45–47]

Smith AD, Riley JR, Gregory RD, 1993. A method for routine monitoring of the aerial migration of insects by using a Vertical-Looking Radar. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Science*s, 340(1294): 393–404.

Wang ZY，Shi J，Dong JG, 2012. Reason analysis on *Proxenus lepigone* outbreak of summer corn region in the Yellow River, Huai Hai Rivers Plain and the countermeasures suggested. *Chinese Journal of Maize Sciences*，20(1): 132–134.[王振营, 石洁, 董金皋, 2012. 2011 年黄淮海夏玉米区二点委夜蛾暴发危害的原因与防治对策. 玉米科学, 20(1): 132–134.]

Zhang Z, Zhang YH, Jiang XY, Xie AT, Wei SJ, Cheng DF, Jiang JW, Zhang FM, Peng H, 2013. Monitoring of the population dynamics of *Proxenus lepigone*(Lepidoptera: Noctuidae) in North China and analysis of the source of its populations in northern Beijing. *Acta Entomologica Sinica*, 56(10): 1189–1202. [张智, 张云慧, 姜玉英, 谢爱婷, 魏书军, 程登发, 蒋金炜, 张方梅, 彭赫, 2013. 华北二点委夜蛾种群动态监测及北京北部地区虫源性质分析. 昆虫学报, 56(10): 1189–1202.]

Zheng ZT, Jiang XF, Zhang L, Chen YX, Luo LZ, 2014. Flight ability of *Athetis lepigone*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 643–653. [郑作涛, 江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 2014. 二点委夜蛾飞行行为特征. 应用昆虫学报, 51(3): 643–653.]

Xu H, Lv SL, Li XQ, Jiang JY, Ma JF, Xu YH, 2012. Research on host fields of generations of *Athetis lepigone*. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 16 (12): 8–11.[许昊, 吕书亮, 李秀芹, 姜京宇, 马继芳, 许佑辉, 2012. 河北省二点委夜蛾各代寄主田调查. 河北农业科学, 16(12): 8–11.]

Zhu YB, Ma JF, Dong L, Li L T, Jiang JY, Li ZH, Dong ZP, Dong JG, Wang QY, 2012. Analysis of genetic polymorphism of *Athetis lepigone* (Lepidoptera: Notuidae) populations from China based on mtDNA COI gene sequences. *Acta Entomologica Sinica*, 55(4): 457–465. [朱彦彬, 马继芳, 董立, 李立涛, 姜京宇, 李智慧, 董志平, 董金皋, 王勤英, 2012. 基于线粒体 COI 基因序列的中国二点委夜蛾遗传多态性分析. 昆虫学报, 55(4): 457–465.]