温带气旋对一代粘虫迁飞的影响：2015 年个例分析*

熊 凯[1**] 曹书培[1] 陈法军[1] 胡本进[2] 李爱国[3] 张海燕[3] 翟保平[1***]

（1. 南京农业大学植物保护学院，南京 210095；2. 安徽省农业科学院植物保护研究所，合肥 230031；
3. 泰州市姜堰区植保站，姜堰 225529）

摘 要 **【目的】** 一代粘虫 *Mythimna separate* (Walker)蛾大多在 5 月中旬至 6 月中旬集群外迁，而此时我国温带气旋活动较为频繁，由气旋活动引起的风场条件的变化会对一代粘虫的迁入区分布造成极大影响，因此阐明温带气旋对一代粘虫迁飞过程的影响是预测 2 代粘虫发生的重要前提。**【方法】** 通过在江苏姜堰、安徽金安和山东宁津设立高空灯监测点，获取三地粘虫空中种群过境动态，结合 WRF (Weather Research and Forecast) 模式输出的精细风温场资料分析 2015 年温带气旋对一代粘虫迁飞的影响。**【结果】** 2015 年 5 月东亚反气旋频繁过境，一代粘虫在反气旋影响下多往西南和西北方向迁飞。6 月上旬在东北低涡和蒙古气旋的影响下，一代粘虫可迁入东北地区为害。**【结论】** 春夏之交频发的温带气旋是导致我国二代粘虫大范围为害的重要原因。

关键词 一代粘虫，温带气旋，高空灯，迁飞路径

The influence of an extratropical cyclone on the first generation of *Mythimna separata* (Walker) migration: A case study in 2015

XIONG Kai[1**] CAO Shu-Pei[1] CHEN Fa-Jun[1] HU Ben-Jin[2] LI Ai-Guo[3]
ZHANG Hai-Yan[3] ZHAI Bao-Ping[1***]

(1. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;
2. Institute of Plant Protection, AnHui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China;
3. Jiangyan Plant Protection and Quarantine Station, Jiangyan 225529, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the degree to which the migration of first generation armyworm, *Mythimna separata*, populations are affected by the extraordinary wind fields generated by frequent extratropical cyclones in the period from mid-May to mid-June in China. Determining how extratropical cyclones influence the migration of first generation armyworms is an important prerequisite for predicting outbreaks of the second generation. [**Methods**] High altitude light traps and elaborate wind-temperature field data (simulated by a WRF model) were used to monitor the population dynamics of first generation armyworm moths flying past Jiangyan, Jin'an and Ningjin (in Jiangsu, Anhui and Shangdong Provinces, respectively) and determine how extratropical cyclones affected the migration in 2015. **[Results]** Owing to the high frequency of anticyclones in East Asia in May, 2015, first generation armyworms mainly migrated southwest and southeast. A northeast cyclonic vortex and Mongolian cyclone in early June, 2015 may have been responsible for outbreaks of first generation armyworms in northeast China that caused significant damage to crop production there. **[Conclusion]** Extratropical cyclones are an important cause of large-scale outbreaks of second generation armyworms in China at the end of spring and the beginning of summer.

Key words first generation armyworm, extratropical cyclone, high altitude trap lamp, migration path

---

*资助项目 Supported projects：公益性行业（农业）科研专项（201403031）

**第一作者 First author，E-mail：393956471@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：bpzhai@njau.edu.cn

收稿日期 Received：2016-05-16，接受日期 Accepted：2016-09-26

粘虫 *Mythimna separata*（Walker）是我国农业生产上的一种毁灭性害虫，因其具有迁飞性、暴食性和广食性的特点而极易落地成灾。20 世纪 50 年代到 80 年代，我国粘虫频繁高发，80 年代中期之后，华南小麦种植面积锐减，桥梁田的丧失使粘虫危害逐渐减轻并进入局地偶发期（林昌善，1990）。进入新世纪之后，随着耕作制度、气候条件和农田生境等因素的变化，粘虫种群不断积累扩增，终于在 2012 和 2013 连续两年出现全国大范围发生并造成巨大经济损失（姜玉英等，2014）。

我国北接蒙古高原、东临太平洋，春季蒙古气旋、东北冷涡和东亚反气旋等温带气旋系统在我国活动频繁，这些气旋系统移动过程中会极大地改变我国淮河以北地区的大气背景场，从而影响粘虫的迁飞路径。以往的研究表明，自 5 月下旬始，一代粘虫从江淮地区迁往东北、华北、西北和西南农作区为害，形成全国第 3 次发生区（林昌善等，1963；林昌善和夏曾铣，1963；林昌善和张宗炳，1964；李光博等，1964）。因此，每年温带气旋于 5、6 月发生的频次将直接影响全国 2 代粘虫的发生与分布。

2015 年位于北纬 32 ° 沿线的江苏姜堰和安徽金安两地高空灯分别自 5 月 15 日和 5 月 19 日开始进入粘虫诱集高峰期，累计诱集一代粘虫分别达 4 770 头和 4 438 头。而位于渤海湾周边北纬 38 ° 沿线的山东长岛、山东莱州、山东宁津、河北滦县等地区的高空灯分别在 5 月末至 6 月上旬期间逐渐进入粘虫诱集高峰期，位于东北地区的辽宁彰武和吉林长岭两地则于 6 月 10 日前后迎来粘虫灯诱高峰且诱虫量远高于 2014 年（姜玉英等，未发表资料）。这些情况与我国频繁活动的温带气旋之间存在什么联系？

为此，本文以 WRF 模式输出的精细风温场为基础模拟粘虫迁飞轨迹，以此探究 2015 年一代粘虫迁入区分布；同时结合金安、姜堰、宁津三地的高空灯监测数据和 5、6 月的风温场条件，分析 2015 年温带气旋对一代粘虫迁飞过程的影响，以期为粘虫的发生预测提供依据。

1　材料与方法

1.1　资料来源

虫情资料：粘虫灯诱数据来自本研究团队的实地监测。

气象数据：WRF 模式使用的初始场数据为 NCEP/NCAR 全球 再分析资料，(分辨率：1°×1°，6 h 一次，http://rda.ucar.edu/)；降水数据来自中国气象数据网（http://data.cma.cn/）。

地图数据：采用中国省级行政区图(1：4 000 000)，资料来自于国家基础地理信息中心（http://ngcc.sbsm.gov.cn/）。

1.2　研究方法

高空灯粘虫种群监测：自动分时收样高空诱虫灯（蔡磊等，2016）分别装置在江苏省泰州市姜堰区（32.34°N，120.08°E）、安徽省六安市金安区（31.76°N，116.55°E）和山东省德州市宁津县（37.66°N，116.81°E），监测时间为 2015 年 3 月至 7 月，每天 19:00 开灯，次日 7:00 关灯，每夜工作 12 h。上灯昆虫自动逐时保存，翌日收虫后鉴定分类并统计粘虫数量，对雌蛾进行卵巢解剖以明确卵巢发育情况。

诱虫高峰日选取：根据高空灯工作原理，将灯下粘虫虫量突增日（较前一天明显增多）到突减日（较前一天明显减少）定为一个峰期，峰期内诱虫在 10 头以上的都作为高峰日。

气旋中心判定：基于温带气旋（反气旋）的客观定义，对在同一高度上具有闭合等压线，中心气压低（高）于周围的大型涡旋，记录区域低（高）压中心位置。

粘虫卵巢发育进度判别依据粘虫测报调查规范的分级标准：1 级，未发育，卵巢小管透明无卵黄沉积；2 级，卵黄沉积期，卵巢小管有卵黄沉积，从微量到充满卵室；3 级，卵成熟期，卵巢小管充满成熟卵粒；4 级，产卵盛期，卵巢小管有缢缩，侧输卵管或中输卵管内有卵粒；5 级，产卵末期，卵巢小管萎缩畸形，尚有残余卵粒。

WRF 模式参数设置：WRF 模式系统是由

NCAR、NCEP 和 NOAA 等联合开发的大气中尺度模拟平台，可输出高时空分辨率的气象背景场。本研究使用 WRF3.6 模式（源代码获取自 http://wrf-model.org）输出风温场数据，具体方案和参数设置见（表 1），网格设计无嵌套。

表 1 WRF 模式参数设置
Table 1 The scheme and parameters of WRF model

项目 Item	参数值 Value
中心位置 Location	36°N，115°E
水平网格 The number of grid points	80×80
格距 Distance between grid points	30 km
垂直层 Layers	33
地图投影 Map projection	Lambert
微物理过程 Microphysics scheme	WSM3
长波辐射方案 Longwave radiation scheme	RRTM
短波辐射方案 Shortwave radiation scheme	Dudhia
近地面层方案 Surface layer scheme	Monin-Obukhov
陆面过程方案 Land/water surface scheme	Noah
边界层方案 Planetary boundary layer scheme	YSU
积云参数化 Cumulus parameterization	Kain-Fritsch (new Eta)
预报时长 Forecast time	72 h

轨迹分析参数设置：通过 Fortran 编程做粘虫的轨迹分析（芦芳等，2013；胡高等，2014a），具体参数设置如下：(1) 飞行次数：粘虫飞行夜晚数以 3~5 晚为主（罗礼智等，1999），因此本文设置粘虫最多飞行 5 个夜晚；(2) 轨迹计算起始时刻及单次飞行时间：依据粘虫上灯节律（未发表数据），第 1 晚模拟以灯下高峰时段作为起始时间，顺推至粘虫降落时刻（次日凌晨 4:00），第 2、3、4、5 晚模拟起始时间设为粘虫起飞时刻（傍晚 20:00），顺推至粘虫降落时刻（次日凌晨 4:00）；(3) 飞行高度、速度和飞行偏角：粘虫多在距地面 200~800 m 高度飞行且与飞行方向与风向偏离 15°且总是偏向气流方向左侧（Chen *et al.*，1989，1995；林昌善，1990），因此设置模拟高度为海拔 400、500、600 m，在飞行至高海拔地区时根据当地海拔高度相应提高模拟初始高度，粘虫自身飞行速度 1.5 m/s（胡伯海和林昌善，1983），粘虫飞行向左偏离风向 15°；(4) 低温阈值：粘虫的飞行临界温度为 8°C（张志涛和李光博，1985），因此设置当轨迹所在高度的温度低于 8℃时，便停止当晚的轨迹计算，次日继续计算。

统计与作图工具：风向频次统计和顺推终点统计使用 R 语言 ggplot2 程序包统计绘图，流场形势和高度场图使用 Grads 软件绘制，气旋路径和粘虫迁飞路径图使用 ArcGIS 10.0 统计绘制。

2 结果与分析

2.1 2015 年一代粘虫迁出分析

2015 年 5 月中旬至 6 月中旬江淮地区一代粘虫集群迁出，在此期间内安徽金安、江苏姜堰和山东宁津三地高空灯捕获大量粘虫（图 1）。其中金安和姜堰两地自 5 月 15 日起即开始大量诱集到粘虫，至 6 月 20 日灯下终见，两地分别累计诱集一代粘虫 4 438 头和 4 770 头；而宁津则是自 6 月 7 日才开始进入粘虫灯诱高峰期，一代粘虫上灯峰期持续 9 d，累计诱虫 1 879 头。5 月中旬至 6 月中旬期间姜堰高空灯诱集粘虫卵巢发育多处于低级别（表 2），属于本地及周边地区粘虫迁出种群。结合我国山东长岛、山东莱州、河北滦县等地区的高空灯分别在 5 月末至 6 月上旬期间逐渐进入粘虫诱集高峰期且东北地区的辽宁彰武和吉林长岭两地于 6 月 10 日前后迎来粘虫灯诱高峰的情况（姜玉英等，未发表资料），可知 5 月中旬一代粘虫并未大量北上，到 5 月末至 6 月上旬才出现大范围北迁而进入东北地区为害。

2015 年 5 月 15 日至 6 月 15 日，国内降水带主要集中于 30°N 以南地区，而华东和华北平均日降水量不足 4 mm（图 2：左）。从高空灯监测点及周边地区 5 月中旬至 6 月中旬的逐日降水数据可以看出除江苏姜堰在 6 月 12 日降水量达到 35 mm 外，其余地点日降水量极少（图 2：右）。因此，2015 年一代粘虫迁出不受降水影响，主要考虑风温场对粘虫成虫迁飞的影响。

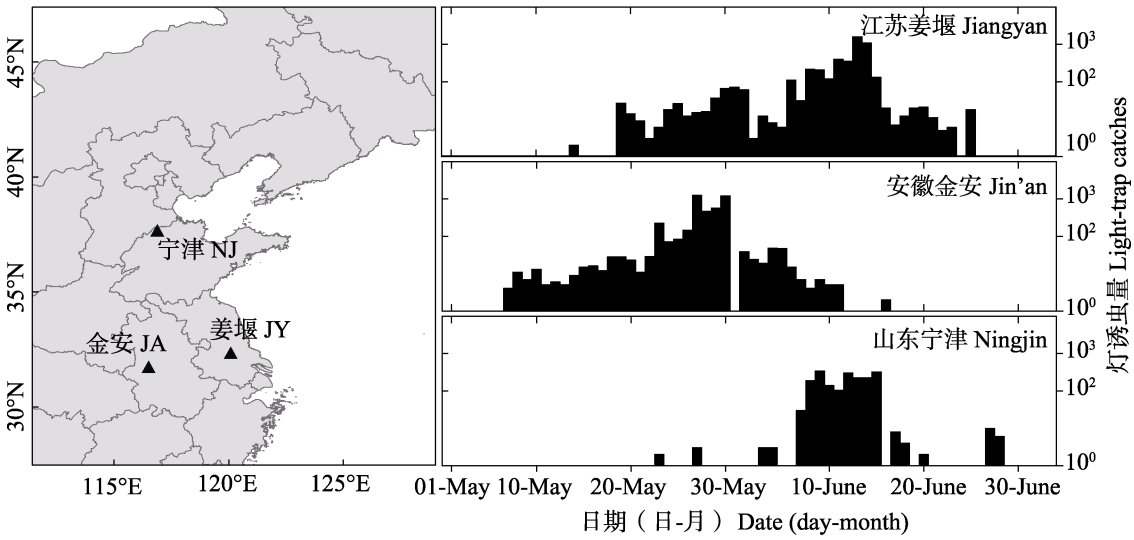

图 1　2015 年姜堰（JY）、金安（JA）、宁津（NJ）灯下粘虫种群动态（右）和站点地理位置（左）

Fig. 1　Population dynamics of armyworm in Jiangyan (JY), Jin'an (JA) and Ningjin (NJ) in May and June, 2015 (right) and location of trap sites (left)

表 2　2015 年 5 月 15 日至 6 月 15 日姜堰高空灯诱集粘虫卵巢发育进度

Table 2　Ovarian developmental grades of searchlight trap catches of armyworm in Jiangyan from May 15 to June 15, 2015

卵巢发育进度 Ovarian developmental grades	卵巢级别比例 Ovarian grades proportion (%)
1 级 Grade Ⅰ	68.18
2 级 Grade Ⅱ	25.11
3 级 Grade Ⅲ	6.71
4 级 Grade Ⅳ	0.00
5 级 Grade Ⅴ	0.00

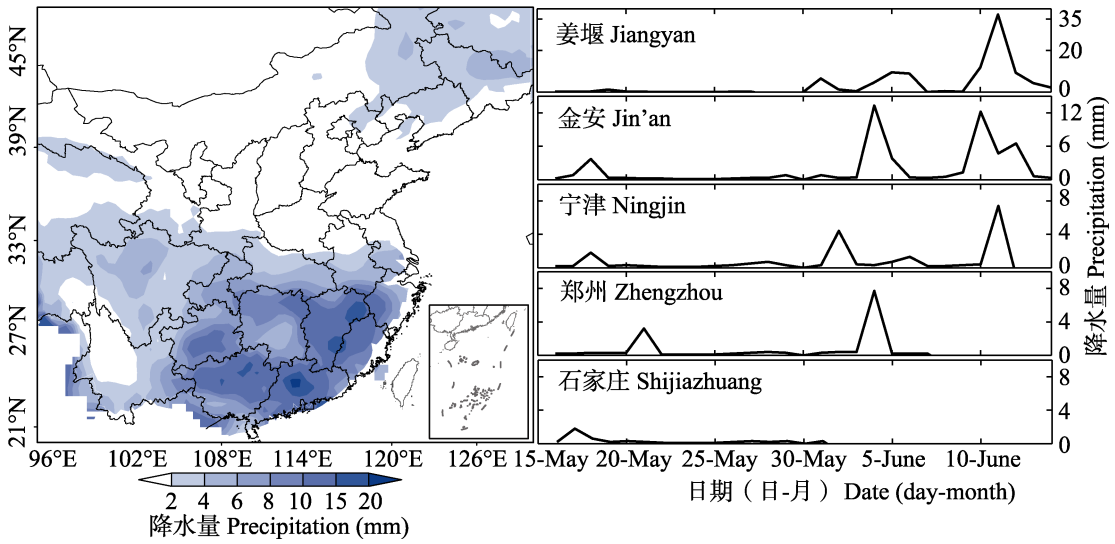

图 2　2015 年 5 月 15 日至 6 月 15 日国内平均降水量（左）和部分站点日降水量（右）

Fig. 2　The average precipitation of China (left) and daily precipitation of some sites in Central China (right) during May 15 to June 15, 2015

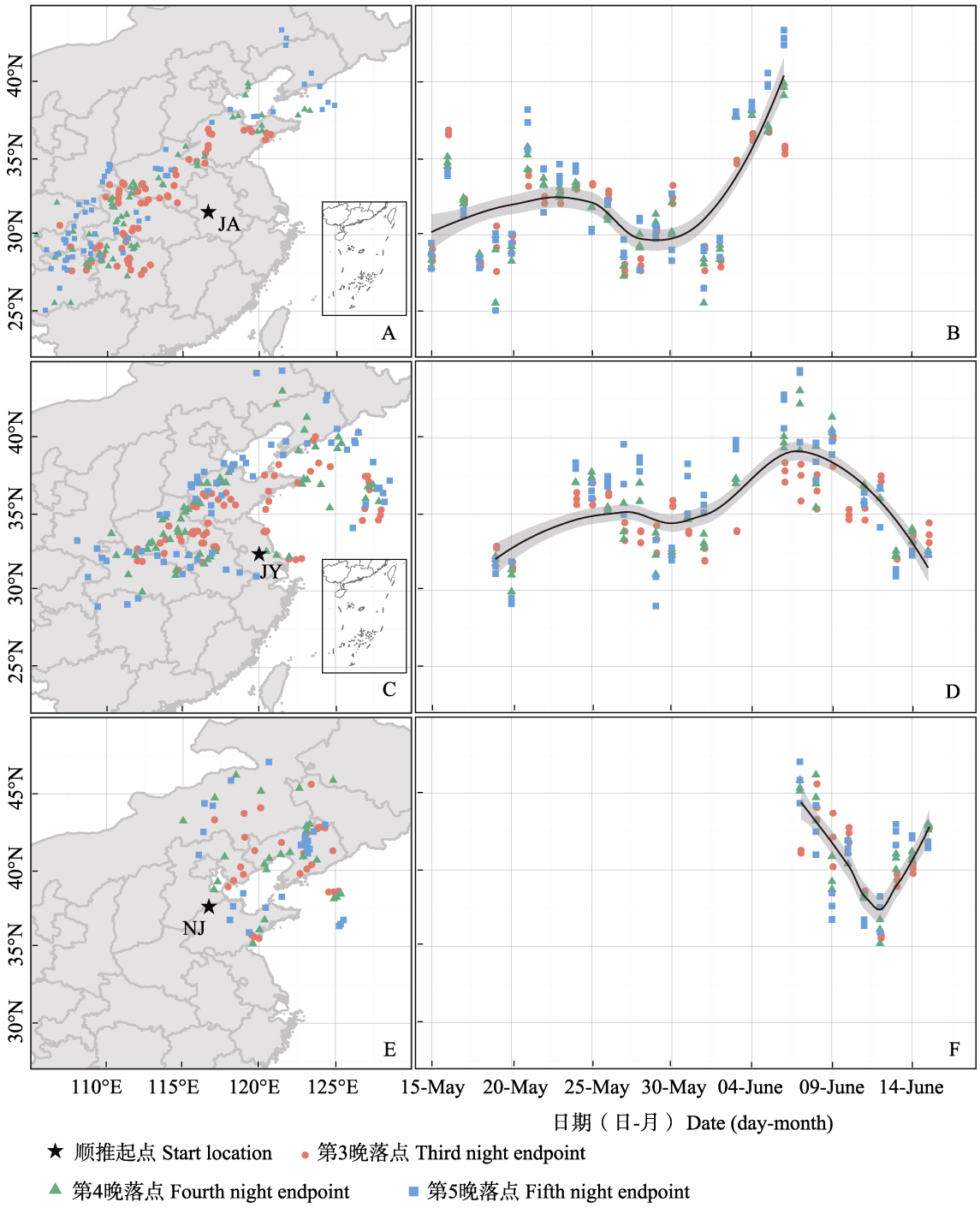

图 3　2015 年 5 月 15 日至 6 月 15 日安徽金安（JA）、江苏姜堰（JY）和山东宁津（NJ）三地粘虫上灯高峰日顺推轨迹落点分布（A，C，E）和落点纬度的变化趋势（B，D，F）

Fig. 3　The endpoints distribution of the forward trajectories of the 1st generation armyworm (A, C, E) and latitudinal trends (B, D, F) starting from Jin'an (JA), Jiangyan (JY) and Ningjin (NJ) during May 15 to June 15, 2015

模拟 5 月中旬至 6 月中旬江苏姜堰、安徽金安和山东宁津三地粘虫上灯高峰日进行粘虫迁出路径，分析第 3、4、5 晚迁飞终点的地理分布（图 3：左）及迁入区纬度随时间的变化（图 3：右），结果表明：安徽金安粘虫迁飞第 3 至 5 晚的落点多分布于重庆和贵州，少量落点位于陕西、河南、山东和辽宁（图 3：A）；江苏姜堰迁出的粘虫第 3 至 5 晚的落点多分布于河南、山东和辽宁，少

部分位于陕西和重庆（图 3：C）；山东宁津的粘虫迁出种群第 3 至 5 晚的落点则集中在辽宁和内蒙古东部（图 3：E）。从姜堰、金安和宁津三地 5 月中旬至 6 月中旬粘虫迁入区纬度的变化趋势可见，一代粘虫在 6 月上中旬有一次明显的北迁过程；5 月中下旬，一代粘虫迁飞 3 至 5 晚后落点分布在 33°N 至 38°N 之间；而进入 6 月后，落点逐渐北移并在 6 月 7 日前后达到 45°N，即 6 月 7 日起飞的一代粘虫在 6 月 9 日至 11 日期间迁飞至东北平原。

2.2　反气旋活动对一代粘虫迁飞的影响

2015 年 5 月 15 日、5 月 19 日、5 月 29 日和 6 月 2 日共有 4 次高压反气旋系统自蒙古高原形成并逐渐向我国华东地区移动，反气旋中心途经我国内蒙古、山西、河北和山东，最终进入东海海域消亡（图 4），极大影响了我国华北、华中和华东地区的流场形势。统计安徽金安和江苏姜堰两地在 4 次反气旋活动期间（即 5 月 15 日至 6 月 6 日）夜间和凌晨时段风向风速频次发现：金安地区上空 950 hPa 在此期间以东北风、东风和东南风为主（图 5：左），且东北风和东风的风速高于东南风，在此流场条件影响下金安当地的粘虫多迁往西南和西北地区（图 3：A，图 3：B）；姜堰地区则以东南风为主且风速较强（图 5：右），因此当地粘虫多迁往河南中部和山东西部，迁入区北界纬度约达到 38°N（图 3：C，D）。

反气旋中心位置的变化会引起一代粘虫迁

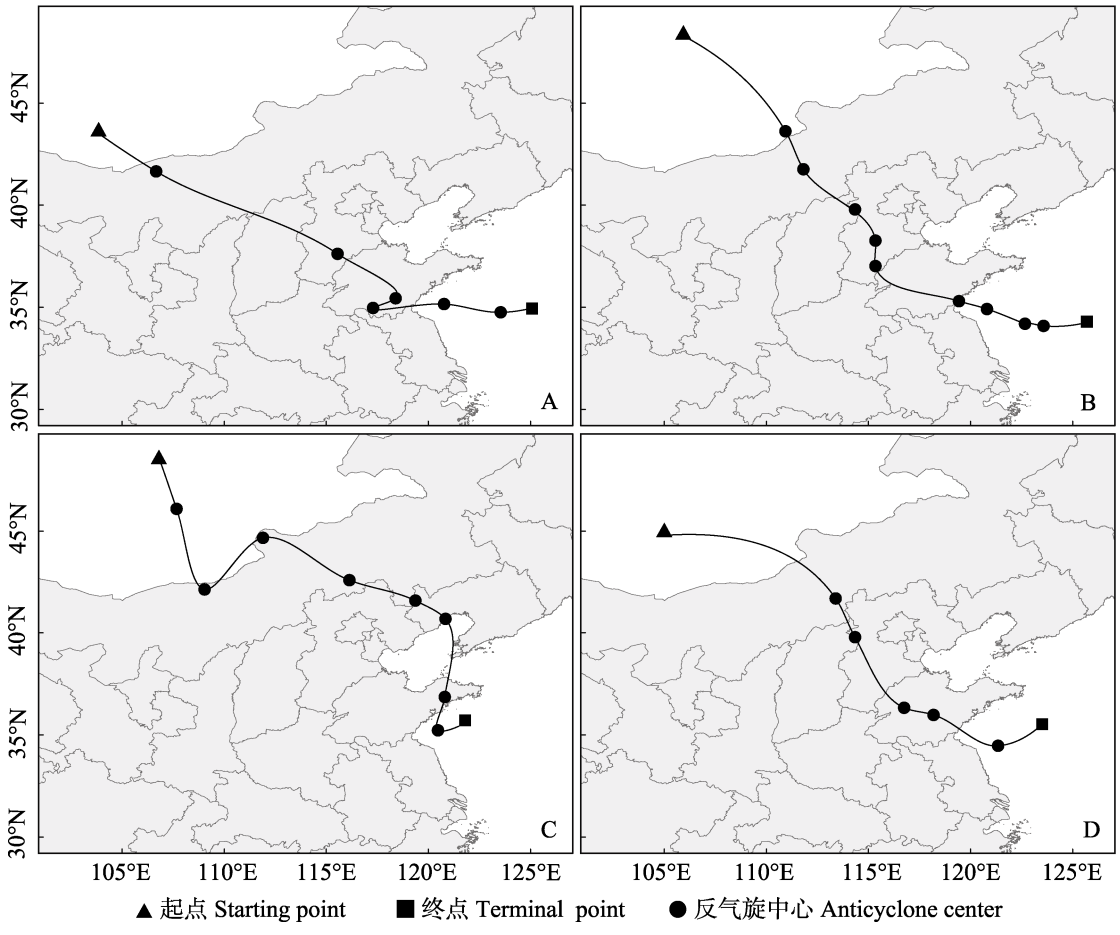

图 4　2015 年 5 月 15 日 8:00（A）、5 月 19 日 20:00（B）、5 月 29 日 2:00（C）、6 月 2 日 20:00（D）形成的反气旋系统移动路径

Fig. 4　Track of anticyclone occured at 8:00 on May 15 (A), 20:00 on May 19 (B), 2:00 on May 29 (C) and 20:00 on June 2 (D) in 2015

每隔 6 h 记录一次反气旋中心位置。

Record a anticyclone center every 6 hours.

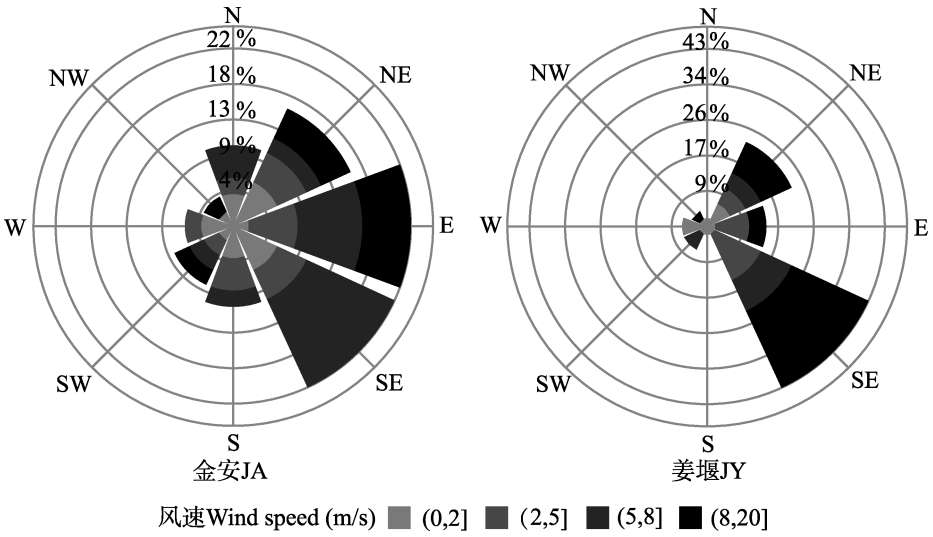

图 5　2015 年 5 月 15 至 6 月 6 日金安（左）和姜堰（右）950 hPa 高度层夜间及凌晨风向风速频次

Fig. 5　Frequency of wind direction and speed at 950 hPa during the nighttime and early morning in Jin'an (left) and Jiangyan (right) from May 15 to June 6, 2015

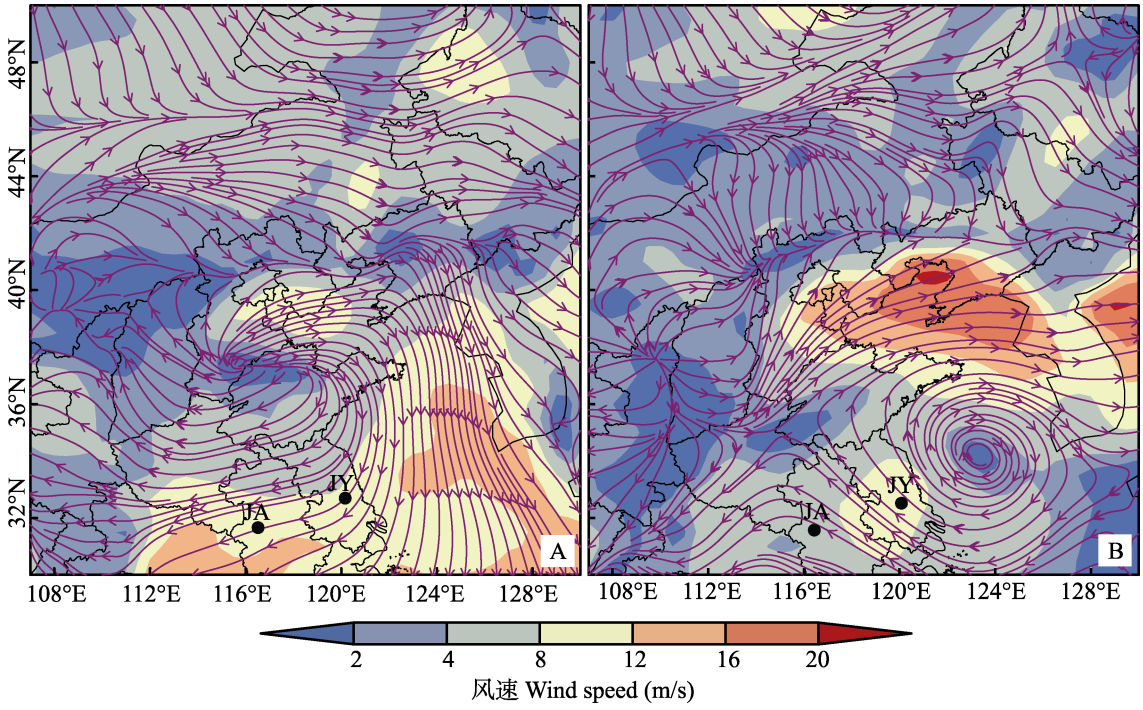

图 6　2015 年 5 月 20 日（A）和 5 月 21 日（B）20:00 流场和风速（阴影图）

Fig. 6　The streamline and isotach of horizontal wind field (shaded) at 20:00 on May 20, 2015 (A) and May 21, 2015 (B)

JY-姜堰 Jiangyan，JA-金安 Jin'an. 图 11 同 The same as Fig.11.

入区的改变。以 2015 年 5 月 19 日过境的反气旋为例，5 月 20 日 20:00，反气旋中心位于河北省南部（图 4：B），安徽金安和江苏姜堰两地 950 hPa 高空盛行东风且风速在 10 m/s 左右（图 6：A），在此风场条件影响下金安和姜堰两地过境粘虫皆往西迁飞（图 7：A），其中金安地区过境粘虫可在第 5 晚迁飞至重庆市和贵州省北部，姜堰地区过境粘虫可在第 5 晚迁飞至湖北省中部。至 5 月 21 日 20:00，反气旋中心进入东海（图 4：B），安徽金安和江苏姜堰两地 950 hPa 高空风场由东风转变为东南风（图 6：B），两地过境粘虫迁飞方向也随之转变为西北偏北向（图 7：B），其中

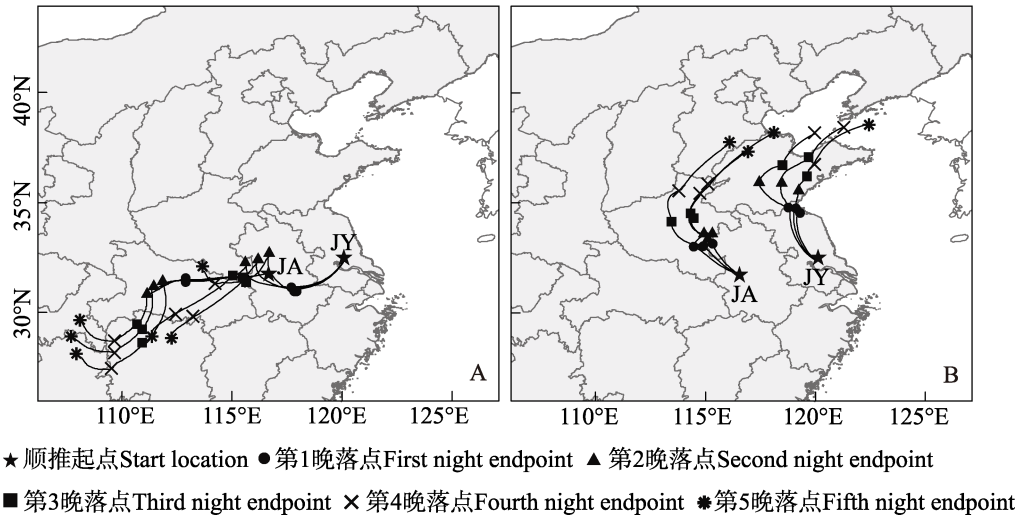

图 7　2015 年 5 月 20 日（A）和 5 月 21 日（B）安徽金安（JA）和江苏姜堰（JY）两地粘虫迁出轨迹
Fig. 7　Forward trajectories of armyworm moths from Jin'an (JA) and Jiangyan (JY) on May 20 (A) and May 21 (B) in 2015

金安地区过境粘虫第 3 至 5 日迁入区分布于河南省和河北省交界处，姜堰地区过境粘虫在第 3 晚飞抵山东省北部之后迁入渤海海域。

根据反气旋过境流场特点，在反气旋中心入海前，受高压影响，江苏和安徽等地上空盛行东北风和东风，一代粘虫多顺风迁往我国西北和西南地区；而随着反气旋系统继续移动至东海海域，江苏和安徽等地上空则盛行东南风和南风，有利于粘虫北迁。分析 2015 年 5 月 15 日至 5 月 31 日我国 30°N 至 35°N 纬度区间内风向变化规律可见 5 月中下旬江淮地区缺少连续的偏南气流，在反气旋中心移动至东海海域时（分别是 5 月 16 日、5 月 21 日和 5 月 31 日）会有强偏南风出现（图 8）。

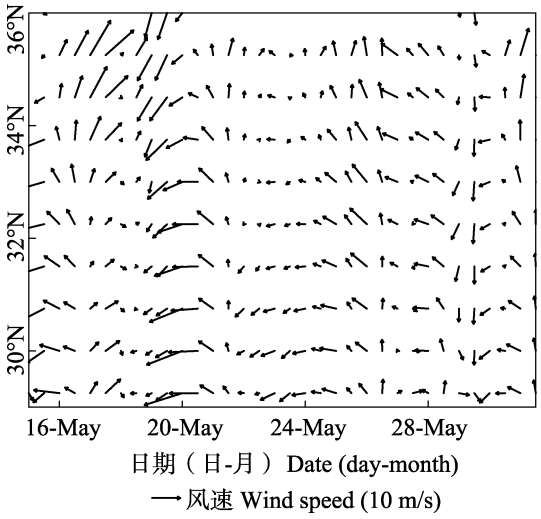

图 8　2015 年 950 hPa 高度层时间-纬度风场剖面图（沿 115°E 至 122°E 范围）
Fig. 8　Time-latitude profiles of wind fields at 950 hPa in 2015 (along 115°E to 122°E)

2.3　温带气旋对粘虫迁飞的影响

2015 年 6 月 10 日前后，辽宁彰武和吉林长岭两地高空灯捕获大量粘虫，最高诱虫量近 2 000 头，而 2014 年 5、6 月却鲜有粘虫上灯。对比 2014、2015 年 6 月份 30°N 至 40°N 纬度区间内风向变化规律发现 2015 年 6 月上半月的西南气流明显强于 2014 年：2014 年 6 月上半月仅在 8 号出现小范围（36°N 至 38°N 纬度区间内）强西南风，不适合一代粘虫迁入东北地区（图 9：A）；2015 年 6 月上半月出现持续的强西南气流，有利于一代粘虫北迁活动（图 9：B）。

2015 年 6 月上旬，亚洲中高纬度地区表现为一脊一槽环流型，高压脊位于西伯利亚东部，低槽维持在蒙古东部（图 10：A）。6 月上旬低压和冷涡频繁从我国东北地区过境（图 11），6 月 5 日至 8 日，在我国内蒙古呼伦贝尔附近有一低压形成并与自河北中部移动而来的黄河气旋合并形成强低压（图 10：B，图 11：A），高空

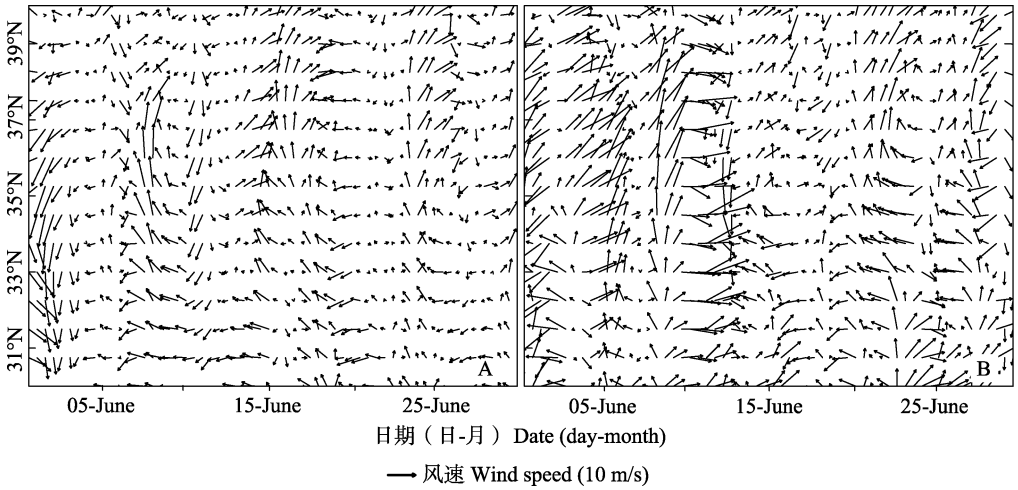

图 9　2014 年（A）和 2015（B）年 6 月份 950 hPa 高度层时间-纬度风场剖面图（沿 115°E 至 122°E 范围）
Fig. 9　Time-latitude profiles of wind fields at 950 hPa in 2014 (A) and 2015 (B) (along 115°E to 122°E)

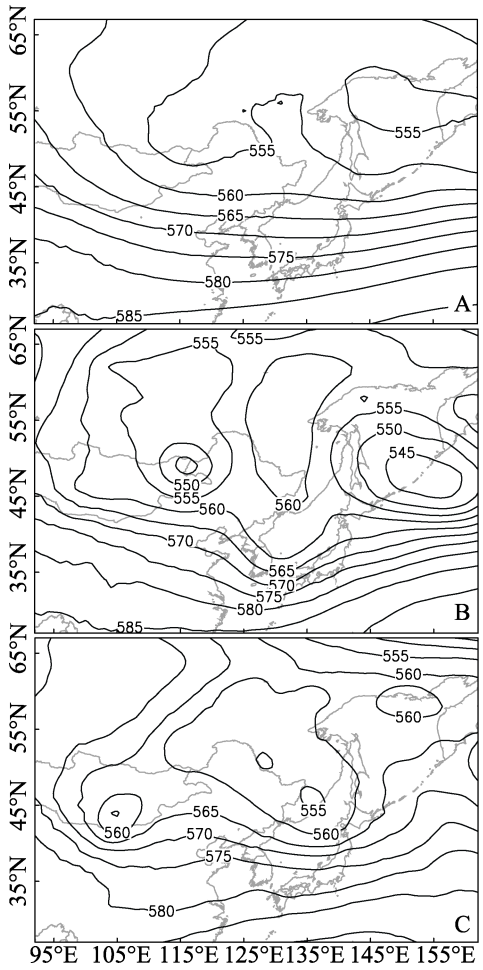

图 10　2015 年 6 月上旬平均（A）、6 月 5 日 20:00（B）和 6 月 9 日 20:00（C）500 hPa 高度场
Fig. 10　Average geopotential height contour in early June (A) and daily geopotential height contour on June 5 (B), June 9 (C) at 500 hPa in eastern China at 20:00 in 2015

槽不断加深形成冷涡（图 10：C）。6 月 9 日至 11 日，蒙古低压于 105 ° N、43 ° E 处附近生成并逐渐加强发展成强气旋（图 10：C），至 6 月 12 日凌晨 2:00，蒙古气旋逐步东移 15 个经度至内蒙古东部，随后蒙古气旋南下入海消亡。在东北低压和蒙古气旋影响下，江苏省、安徽省和山东省等地区 950 hPa 高度层盛行风向在 6 月 11 日前后由西南风转为西风（图 11：C，D）。

在连续的低压过境期间，江苏姜堰灯下粘虫上灯量持续上升且在 6 月 13 日和 14 日连续 2 d 诱集粘虫量过千，山东宁津也开始进入连续 9 d 的粘虫灯诱高峰期。利用轨迹分析程序模拟两地过境粘虫迁飞路径，结果显示 6 月 7 日至 6 月 9 日两地起飞的粘虫可顺西南气流在飞行 3 至 5 晚之后迁入东北平原（图 12：A，C），这与辽宁彰武和吉林长岭两地 6 月 10 日前后上灯情况相对应；6 月 10 日至 6 月 12 日两地起飞的粘虫多顺西风迁入海域，其中宁津 6 月 11 日起飞粘虫仍可向东北平原迁飞（图 12：B，D）。

3　结论和讨论

本文研究结果表明：2015 年 5 月中旬至 6 月中旬，在频发的温带气旋的影响下，一代粘虫迁入区分布范围极广，包括贵州、重庆、甘肃、湖北、河南、山东、辽宁、吉林和内蒙古等地都是一代粘虫的迁入区；5 月下半月期间，受频繁

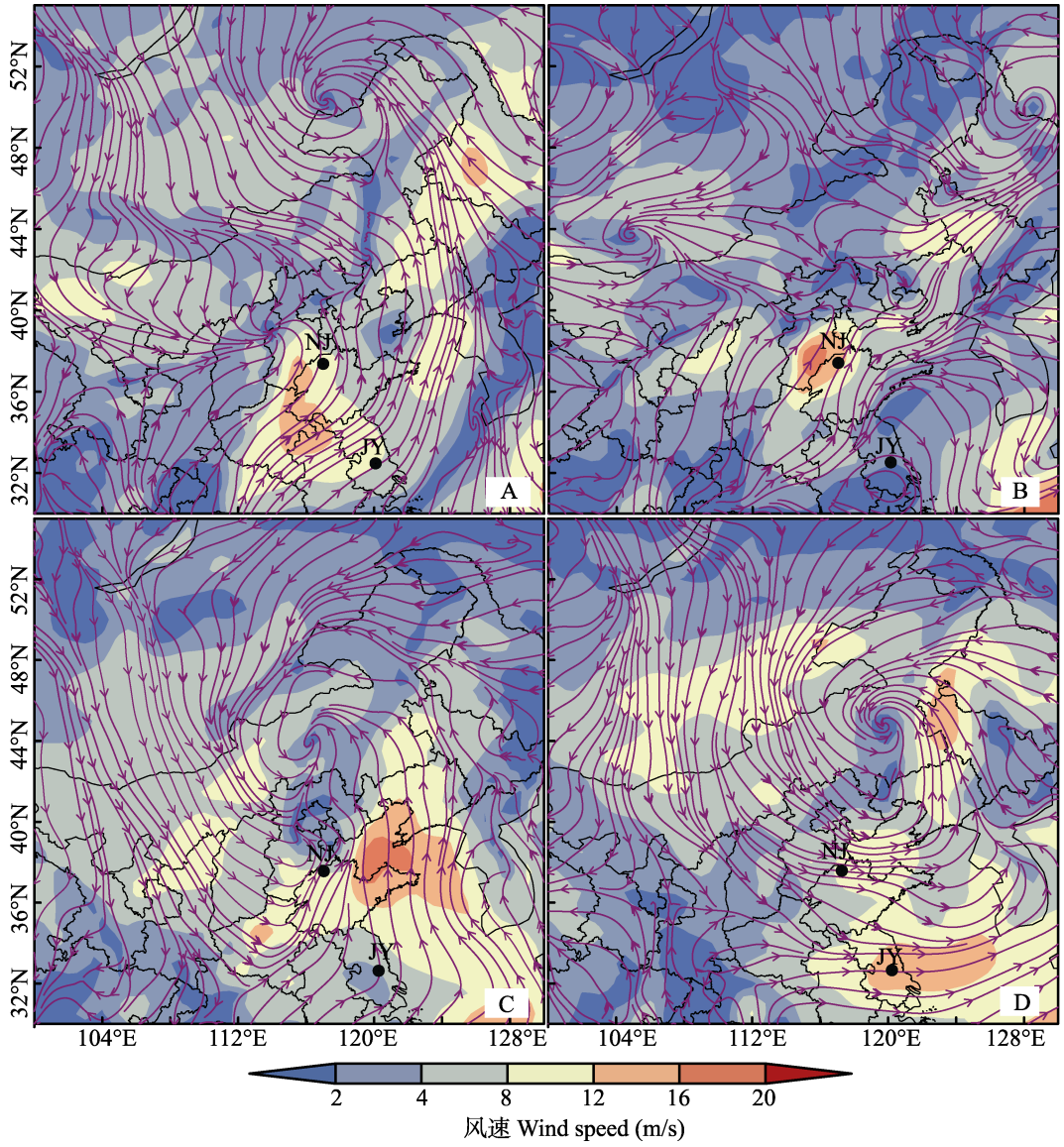

图 11　2015 年 6 月 5 日 20:00（A）、6 月 9 日 2:00（B）、6 月 10 日 20:00（C）和 6 月 11 日 20:00（D）950 hPa 高度层流场和风速（阴影图）

Fig. 11　The streamline and isotach of horizontal wind field (shaded) at 20:00 on June 5 (A), 2:00 on June 9 (B), 20:00 on 10 (C) and 20:00 on June 11 (D) in 2015

过境的东亚反气旋影响，我国江淮地区盛行偏东气流，在此流场条件影响下一代粘虫多往西南和西北方向迁飞，少数能顺反气旋入海后产生的东南气流北迁至山东省；6 月上半月期间，东北低涡和蒙古气旋接连过境，使我国华北和华东地区盛行强西南气流，一代粘虫在此流场条件影响下顺利迁入东北平原为害。

我国二代粘虫发生区范围很广，东北、华北、西北和西南地区均属二代粘虫常发区（林昌善等，1963；李光博等，1964；林昌善和张宗炳，1964）。本研究结果表明东亚反气旋活动是造成一代粘虫迁入西北和西南地区的重要原因。随着反气旋中心逐渐由蒙古高原向我国华东地区移动，我国华东和华中等大部分地区上空盛行流场由东北风转变为东南风，在反气旋活动期间起飞的一代粘虫则会顺此运载气流迁入我国西南和西北地区。当反气旋进入东海后，沿岸的江淮平原及其周边的大部分区域会出现强南风，有利于一代粘虫北迁，但由于反气旋入海后持续发展时间不长，因此北迁距离受限。由此可见，5、6

月份东亚反气旋过境时间可作为西南和西北地区 2 代粘虫发生情况的预测指标。

一代粘虫大量迁入东北地区会对当地玉米生产造成巨大损失：一方面，每年 6 月初东北地区玉米生长处于苗期，而此时一代粘虫的迁入会直接对玉米生长造成毁灭性的打击；另一方面，由于东北 2 代粘虫的多次大暴发都是由于本该迁出的东北一代粘虫受降水阻隔而滞留本地继续为害（张云慧等，2012；潘蕾等，2014；胡高等，2014 a，2014b），因此一代粘虫大量迁入东北地区会增加东北 2 代粘虫基数而加大滞留危害程度。本研究结果表明蒙古气旋和东北低涡能为一代粘虫大量迁入东北地区提供强西南气流，而随着低压中心逐渐东移，强西南气流转变为强西风，不利于粘虫北迁。因此，5、6 月份蒙古气旋和东北低涡等蒙古高原形成的低压天气的发生和持续时间可作为预测东北地区一代粘虫迁入量的指标。

除了带来大风天气改变粘虫迁飞路径外，气旋系统引发的降水和反气旋系统导致的大范围下沉气流都可能会抑制粘虫的起飞和胁迫粘虫降落。另外，除了东亚反气旋、蒙古气旋和东北低涡之外还有很多温带气旋系统（如江淮气旋、东海气旋、黄河气旋）也能对粘虫的迁飞造成影响，这些还需要进一步的研究和分析。随着害虫监测预警技术水平的不断提高，雷达和高空监测灯逐渐显现出它们在迁飞害虫异地预测中的重要作用，但单点监测还无法满足准确预测的要求，需在全国布网监测的基础上结合对温带气旋等特定天气系统的监测，以进一步提高异地预测的准确率。

致谢：本实验室研究生朱聪、张心雨、朱健、李袭杰、胡妍月、马健等参加部分工作，国家气象

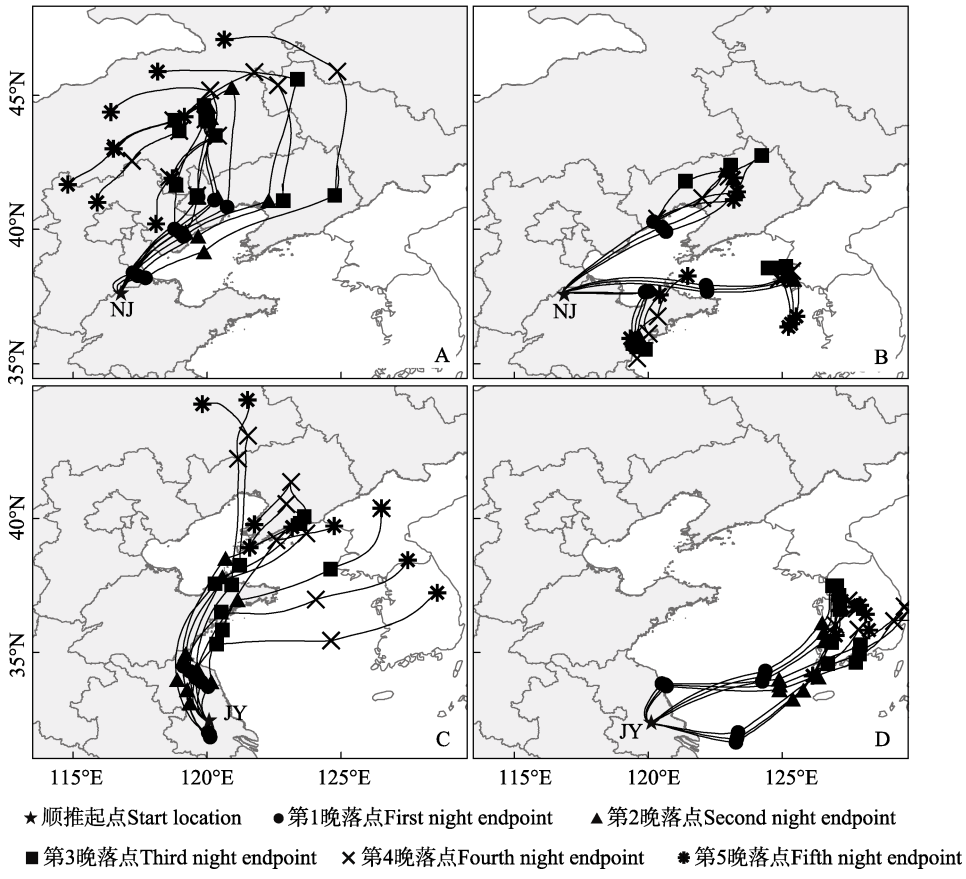

图 12　2015 年 6 月 7 日至 9 日（A，C）、6 月 10 日至 12 日（B，D）宁津（NJ）和姜堰（JY）粘虫迁出轨迹

Fig. 12　Forward trajectories of armyworm moths from Ningjin (NJ) and Jiangyan (JY) during June 7 to June 9 (A, C) and June 10 to June 12 (B, D) in 2015

中心提供地面降水量资料，NCEP/NCAR 提供再分析气象资料，在此一并致谢！

参考文献 (References)

Cai L, Jia YF, Wen Y, Zhang XG, Wang RL, Li T, Zhang YF, Chen FJ, 2016. Study on the behavioral rhythms of migratory population of rice planthoppers, *Nilaparvata lugens*, *Sogatella furcifera* and *Laodelphax striatellus*, light-trapped by blacklamp. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(3): 604–611. [蔡磊, 贾艺凡, 温洋, 张行国, 王瑞林, 李腾, 张逸飞, 陈法军. 2016. 稻飞虱迁飞种群的上灯行为节律研究. 应用昆虫学报, 53(3): 604–611.]

Chen RL, Bao XZ, Drake VA, Farrow RA, Wang SY, Sun YJ, Zhai BP, 1989. Radar observations of the spring migration into northeastern China of the oriental armyworm moth, *Mythimna separata*, and other insects. *Ecological Entomology*, 14(2): 149– 162.

Chen RL, Sun YJ, Wang SY, Zhai BP, Bao XY, 1995. Migration of the oriental armyworm, *Mythimna separata* in East Asia in relation to weather and climate. I. Northeastern China // Drake VA, Gatehouse AG (eds.). Insect Migration: Tracking Resources through Space and Time. Cambridge: Cambridge University Press. 93−104.

Hu BH, Lin CS, 1983. Experiments on the flight activity of the oriental armyworm moths, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Ecologica Sinica*, 3(4): 367−373. [胡伯海, 林昌善, 1983. 粘虫迁飞模拟试验. 生态学报, 3(4): 367−373.]

Hu G, Wu QL, Wu XW, Jiang YY, Zeng J, Zhai BP, 2014a. Outbreak mechanism of second generation armyworms in northeastern China: A case study in 1978. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 927−942. [胡高, 吴秋琳, 武向文, 姜玉英, 曾娟, 翟保平, 2014a. 东北二代粘虫大发生机制: 1978 年个例分析. 应用昆虫学报, 51(4): 927−942.]

Hu G, Wu QL, Wu XW, Jiang YY, Zeng J, Zhai BP, 2014b. Outbreak mechanism of second generation armyworms in northeastern China: A case study in 1980. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 943−957. [胡高, 吴秋琳, 武向文, 姜玉英, 曾娟, 翟保平, 2014b. 东北二代粘虫大发生机制: 1980 年个例分析. 应用昆虫学报, 51(4): 943−957.]

Jiang YY, Li CG, Zeng J, Liu J, 2014. Population dynamics of the armyworms in China: A review of the past 60 years' research. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 890−898. [姜玉英, 李春广, 曾娟, 刘杰, 2014. 我国粘虫发生概况: 60 年回顾. 应用昆虫学报, 51(4): 890−898.]

Li GB, Wang HX, Hu WX, 1964. Route of the seasonal migration of the oriental armyworm moth in the eastern part of China as indicated by a three-year result of releasing and recapturing of marked moths. *Journal of Plant Protection*, 3(2): 101–110. [李光博, 王恒祥, 胡文绣, 1964. 粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验. 植物保护学报, 3(2): 101–110.]

Lin CS, Sun JR, Chen RL, Zhang ZB, 1963. Study on the regularity of the outbreak of the oriental armyworm, *Leucania separata* Walker. I. The early spring migration of the oriental armyworm moths and its relation to winds. *Acta Entomologica Sinica*, 12(3): 243−261. [林昌善, 孙金如, 陈瑞鹿, 张宗炳, 1963. 粘虫(*Leucania separata* Walker)发生规律的研究 I. 东北春季粘虫发生与风的关系. 昆虫学报, 12(3): 243−261.]

Lin CS, Xia ZX, 1963. Study on the regularity of the outbreak of the oriental armyworm, *Leucania separata* Walker. III. A discussion of the relationship of migratory habit of the oriental armyworm and the concurrent air movement and of its possible mode of migration. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, (3): 291−308. [林昌善, 夏曾铣, 1963. 粘虫发生规律的研究 III. 粘虫 (*Leucania separata* Walker) 蛾迁飞与气流场的关系及其运行可能形式的探讨. 北京大学学报(自然科学版), (3): 291−308.]

Lin CS, Zhang ZB, 1964. Study on the regularity of the outbreak of the oriental armyworm, *Leucania separata* Walker. V. A model for seasonal long-distance migration of the oriental armyworm. *Journal of Plant Protection*, 3(2): 93−100. [林昌善, 张宗炳, 1964. 粘虫发生规律的研究 V. 粘虫季节性远距离迁飞的一个模式. 植物保护学报, 3(2): 93−100.]

Lin CS, 1990. The Physiology and Ecology of the Oriental Armyworm. Beijing: Peking University Press. 1−52. [林昌善, 1990. 粘虫生理生态学. 北京: 北京大学出版社. 1−52.]

Lu F, Zhai BP, Hu G, 2013. Trajectory analysis methods for insect migration research. *Journal of Applied Entomology*, 50(3): 853−862. [芦芳, 翟保平, 胡高, 2013. 昆虫迁飞研究中的轨迹分析方法. 应用昆虫学报, 50(3): 853−862.]

Luo LZ, Jiang XF, Li KB, Hu Y, 1999. Influences of flight on reproduction and longevity of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*, 42(2): 150−158. [罗礼智, 江幸福, 李克斌, 胡毅, 1999. 粘虫飞行对生殖及寿命的影响. 昆虫学报, 42(2): 150−158.]

Pan L, Wu XW, Chen X, Jiang YY, Zeng J, Zhai BP, 2014. Pied piper effect of the migration arena in northeastern China on *Mythimna separata* (Walker). *Journal of Applied Entomology*, 51(4): 974−986. [潘蕾, 武向文, 陈晓, 姜玉英, 曾娟, 翟保平, 2014. 东北迁飞场对粘虫的 Pied piper 效应. 应用昆虫学报, 51(4): 974−986.]

Zhang YH, Zhang Z, Jiang YY, Zeng J, Gao YB, Cheng DF, 2012. Preliminary analysis of the outbreak of the third-generation armyworm *Mythimna separata* in China in 2012. *Plant Protection*, 38(5): 1−8. [张云慧, 张智, 姜玉英, 曾娟, 高月波, 程登发, 2012. 2012 年三代黏虫大发生原因初步分析. 植物保护, 38(5): 1−8.]

Zhang ZT, Li GB, 1985. A study on the biological characteristics of the flight of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) moth. *Journal of Plant Protection*, 12(2): 93−100. [张志涛, 李光博, 1985. 粘虫飞翔生物学特性初步研究. 植物保护学报, 12(2): 93−100.]