

东北二代粘虫大发生机制：1978 年个例分析*

胡 高¹ 吴秋琳¹ 武向文^{1#} 姜玉英² 曾 娟² 翟保平^{1**}

(1. 南京农业大学昆虫学系 农作物生物灾害综合治理教育部和农业部重点实验室, 南京 210095;

2. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

摘 要 【目的】迁入我国东北地区的粘虫繁殖一代后, 新羽化的成虫将外迁他地, 但某些年份因某种特殊的天气过程而滞留当地, 形成当地的 2 代种群并造成严重危害, 如 1978 年。阐明种群滞留的关键因子和大发生种群的形成机制, 是实现东北 2 代粘虫准确预测和及时防治的前提。【方法】根据东北三省的虫情资料, 利用 NCEP/NCAR 再分析资料和 WRF 模式输出的大气背景场, 对 1978 年东北地区粘虫蛾盛期的种群动态和迁飞过程进行逐日分析。【结果】(1) 因副热带高压稳定偏北导致发蛾峰期东北地区盛行西南风, 东北 2 代粘虫蛾无法向南回迁至关内华北地区, 而是向北迁飞; (2) 当年黑龙江 2 代粘虫大发生, 其虫源是由当地 1 代羽化后在当地的存留或迁出成虫蛾又折返黑龙江以及辽宁与吉林两省 2 代成虫的迁入造成; (3) 蛾峰期黑龙江上空气旋的频繁活动、强对流天气的持续出现以及丰富的降水造成当地虫源滞留和迁入虫源降落与滞留的原因。【结论】东北 1 代粘虫蛾迁出期的西南大风和大范围强降水使大量迁出种群和过境种群集中滞留在三江平原而形成大发生种群, 造成东北 2 代粘虫 1978 年在黑龙江的暴发。

关键词 粘虫暴发, 东北, 西南大风, 强降水

Outbreak mechanism of second generation armyworms in northeastern China: A case study in 1978

HU Gao¹ WU Qiu-Lin¹ WU Xiang-Wen^{1#} JIANG Yu-Ying² ZENG Juan² ZHAI Bao-Ping^{1**}

(1. Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Insect Pests (Ministry of Education and Ministry of Agriculture), Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Division of Pest Forecasting,

National Agro-Tec Extension and Service Centre, Beijing 100125, China)

Abstract [Objectives] In some years newly emerged moths of the 1st generation armyworm, *Mythimna separata* (Walker), in northeastern China fail to emigrate successfully because of adverse weather conditions and consequently remain in their birthplace to form 2nd generation populations that inflict serious damage on summer crops. Better understanding of the outbreak mechanism of such summer populations is important to improve our ability to forecast and manage these outbreaks. [Methods] A case study of an armyworm outbreak in Heilongjiang Province in 1978 was performed using trajectory analysis of NCAR/NCEP reanalysis data using the WRF system. [Results] (1) Southwesterly winds were predominant in northeastern China as a subtropical high in the western Pacific remained stable further north than usual in July. *M. separata* emigrating during these periods moved northward rather than southward, thus moths could not return to their summer habitats in northern China; (2) The swarm of moths that settled in Heilongjiang Province were a mixture of the local population formed by unsuccessful emigrants and immigrants from Jilin and Liaoning Provinces, and

* 资助项目：公益性行业（农业）科研专项（201403031）；国家自然科学基金项目（30571202）

#现在工作单位：上海市农业技术推广服务中心，上海，201103

**通讯作者，E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

收稿日期：2014-07-10，接受日期：2014-07-16

these moths produced the outbreak in Heilongjiang Province in 1978; and (3) Frequently passing cyclones, strong convective weather patterns and heavy rainfall acted as key factors to suppress the emigration of local moths and force large scale immigration into Heilongjiang Province. **[Conclusion]** The armyworm outbreak in Heilongjiang Province in 1978 was caused by the retarded local emigrants of the 1st generation armyworm as a result of adverse weather and the forced landing airborne moths transported northwardly by strong southwesterly winds and then concentrated and swept to the Sanjiang Plain by large scale heavy rainfall.

Key words outbreak of armyworm, northeastern China, strong southwesterly, heavy rainfall

东北地区冬季严寒, 绝大部分昆虫在此无法越冬; 但东北大平原夏季湿润温暖, 农作物种植面积居全国之首, 为各种昆虫提供了极其适宜的临时性生存环境, 春季有许多昆虫种群随风迁入东北农牧区为害。但由于东北迁飞场中特殊的风场和天气过程, 迁入种群在当地繁殖一代后进行回迁时往往遭受 Pied piper 效应而陷于生态绝地之中(潘蕾等, 2014): 有些年份随风入海或进入山区, 有些年份则被阻滞而滞留当地继续为害, 此即东北 2 代(全国 3 代)粘虫问题。

粘虫在东北一年发生两代, 常年以第 1 代(全国 2 代)发生普遍, 为害较重。而第 2 代(全国 3 代)为偶发性局地集中为害, 且主要集中分布在平原区及相邻低山区。如黑龙江省的松花江水系发生区、牡丹江半山区发生带和东部湿地草原发生带(魏倩和张淑芳, 1978), 吉林省的松辽平原发生区和低山发生区(谢为民等, 1984)。从历史发生记录看, 黑龙江省 2 代粘虫 1972 年大发生, 此后在 1976—1978 年连续 3 年大发生(黑龙江省农科院植保所粘虫课题组, 1981)。吉林省在 1950—1975 年的 26 年间, 常年发生很轻, 仅有 3 年出现局地为害。1950 年, 永吉县桦皮约 46.7 hm^2 水稻被吃光; 1967 年, 辽源、伊通和双阳一带 1.33 万 hm^2 谷子、玉米、高粱严重受害; 1972 年, 长春地区和白城地区普遍发生, 严重受害面积 0.67 万 hm^2 。1976—1984 年的 9 年间, 除 1979 年全省轻发生基本不需防治外, 其他年份连年重发, 每年都需要防治。其中, 1976、1977 和 1980 年全省大发生, 每年发生面积 26.7 万 hm^2 左右, 每年严重减产的面积

达 6.67 万 hm^2 左右。1978 年、1981 年和 1984 年 3 年全省中等发生, 其中 1981 年和 1984 年长春地区大发生(谢为民等, 1984)。辽宁(锦州) 1958、1966 和 1980 年大发生, 1957、1965 和 1981 年中发生(董大燊等, 1983)。1997 年, 东北 2 代粘虫再次暴发, 长春至沈阳铁路沿线大片玉米田的玉米叶片被粘虫吃得仅存叶脉(孙雅杰和高月波, 1999)。最近一次东北 2 代粘虫的暴发出现在 2012 年 8 月, 其发生面积之广危害之重为历史罕见(张云慧等, 2012; 曾娟等, 2013)。

从黑龙江省 2 代粘虫历年发生情况看(图 1), 并非诱蛾量大(>200)的年份就会大发生, 如 1971、1980 年及其后年份。而 1 代粘虫发生量大残留量高的年份也不一定有 2 代暴发, 如 1980 年 1 代粘虫在黑龙江大发生, 在吉林和辽宁两省中等发生; 但 2 代粘虫却在辽宁锦州和吉林省严重发生, 是吉林省 1970 年代以来第 3 次大发生年, 发生面积达 30 万 hm^2 , 谷子、玉米、小麦等作物严重减产的面积达 6.67 万 hm^2 左右; 而黑龙江 1 代成虫羽化盛期曾诱到大量的粘虫蛾, 其中黑龙江省农科院、合江农科所等地诱蛾量达 1 000 多头(图 1), 却基本没有 2 代粘虫发生(胡高等, 2014)。究竟什么原因致使某些年份 2 代粘虫在此停留? 什么因素造成东北某些年份 2 代粘虫暴发? 为此, 本文利用 NCEP/NCAR 再分析资料和 WRF 模式输出的大气背景场, 逐日分析 1978 年东北 1 代粘虫盛蛾期的种群动态和迁飞过程, 以期明确当年东北地区粘虫的迁入迁出动态, 阐明东北 2 代粘虫大发生种群的形成机制。

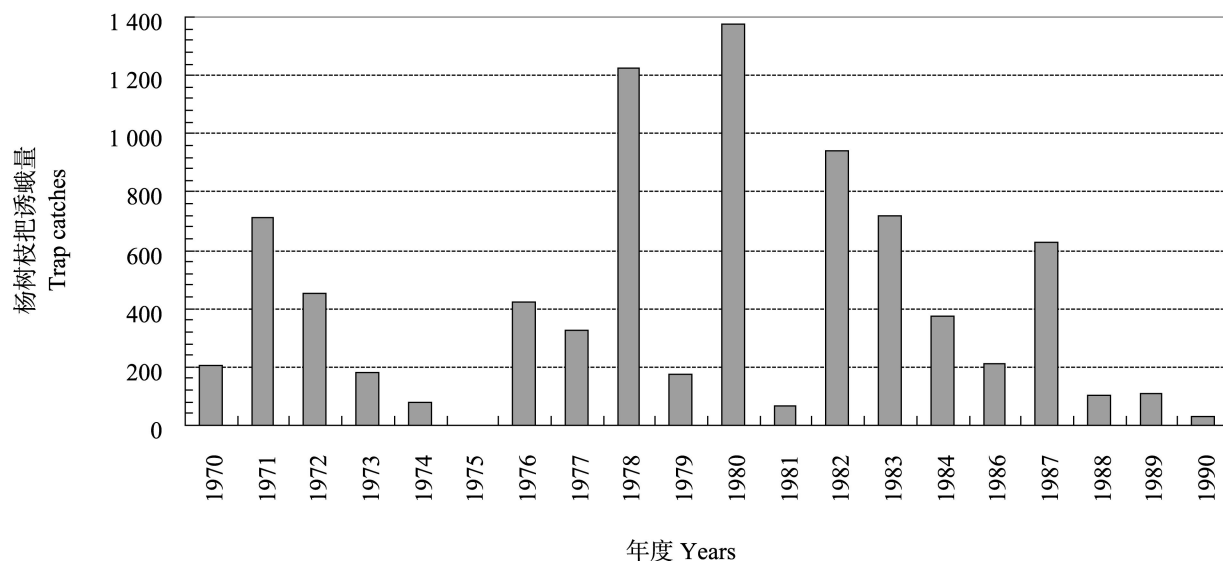


图 1 黑龙江省 1970—1990 年 1 代粘虫成虫历年杨树枝把总诱蛾量

Fig. 1 The total poplar branch trap catches of the 1st generation moths of armyworm in Heilongjiang Province (1970-1990)

1 材料与方法

1.1 虫情资料及其处理

虫情资料主要取自于全国农技推广中心病虫害测报处的各站逐日虫情资料和模式电报及吉林省病虫害测报站汇编的《吉林省农作物主要病虫害预测预报资料》(1975—1984 内部资料)。

以诱蛾量突增或突减日的前后共 5 d 作为迁入或迁出日期。当前一日诱蛾数量很少(一般 10 束杨树把诱蛾总数少于 10 头),而当日数量突然增多 50 头以上(整体诱蛾较少的站点增加到 30 头以上),那么该日可认为是突增日;若接连有多个数量突然增多 50 头以上的日期,则根据该站点的整个诱蛾情况取诱蛾量和突增量最多的一天,或某高峰期内总量显著比其它高峰期内总量多的作为突增日。若所有站点的诱蛾量均很少,高峰不明显,或该年有资料站点很少,则根据常年发生情况和该年整体发生情况来确定分析站点及分析日。

整个东北地区现存有 1978 年虫情资料的站点都较少,而且吉林和辽宁两省单站诱蛾量少,高峰期不明显。因此,该年三省的起始地点和时间

参数都是根据当年诱蛾情况和整体发生情况以及历史发生情况来确定。由此确定该年 49 个站点(黑龙江 12 个,吉林 22 个,辽宁 15 个),共 245 个分析日(表 1,图 2)。

1.2 WRF 模式及其参数化方案

WRF (Weather Research and Forecast) 模式系统是由美国 NCAR、NCEP 和 FSL/NOAA 等多家研究部门和大学联合开发的新一代中尺度数值模式,用以取代 MM5 模式,可获得更高时空分辨率的气象背景场(芦芳等,2013)。本文采用此模式输出的气象背景场来进行轨迹分析和迁飞过程的天气分析。

WRF 模式的具体方案和参数见表 2,网格设计无嵌套(图 2)。使用 NCEP/NCAR 再分析资料(2.5°×2.5°,6 h 一次, <http://rda.ucar.edu/datasets/ds090.0/>)作为模式初始场和边界条件。资料输入 WRF 模式进行数值模拟后输出每小时一次的 30 km×30 km 格距的气象要素场,并经 ARWpost 转换为 GrADS 格点数据。

1.3 轨迹分析

以 WRF 模式输出的大气背景场为基础,应

表 1 轨迹分析所取站点信息
Table 1 The sites for trajectory analysis

站点 Station	经度 (°) Longitude	纬度 (°) Latitude	分析时段 Periods	站点 Station	经度 (°) Longitude	纬度 (°) Latitude	分析时段 Periods
合江 Hejiang	130.28	46.82	7/25-7/29	长春 Changchun	125.22	43.9	7/21-7/25
哈尔滨 Harbin	126.77	45.75	7/25-7/29	榆树 Yushu	126.53	44.83	7/21-7/25
牡丹江 Mudanjiang	127.47	44.37	7/25-7/29	德惠 Dehui	125.67	44.53	7/21-7/25
肇源 Zhaoyuan	125.00	45.50	7/25-7/29	农安 Nongan	125.17	44.42	7/21-7/25
安达 Anda	125.32	46.38	7/25-7/29	九台 Jiutai	125.8	44.17	7/21-7/25
讷河 Nehe	125.00	48.49	7/25-7/29	伊通 Yitong	125.17	43.35	7/21-7/25
富裕 Fuyu	124.48	47.84	7/25-7/29	梨树 Lishu	124.18	43.35	7/21-7/25
友谊 Youyi	131.77	46.81	7/25-7/29	东丰 Dongfeng	125.27	42.68	7/21-7/25
富锦 Fujin	132.08	47.24	7/25-7/29	公主岭 Gongzhuling	124.8	43.50	7/21-7/25
创业农场 Chuangye farm	133.15	47.47	7/25-7/29	东辽 Dongliao	124.95	42.95	7/21-7/25
嫩江 Nenjiang	125.60	49.14	7/25-7/29	辉南 Huinan	126.07	42.65	7/21-7/25
八五农场 Bawu farm	133.00	46.50	7/25-7/29	柳河 Liuhe	125.73	42.25	7/21-7/25
大连 Dalian	121.50	39.42	7/21-7/25	蛟河 Jiaohu	127.33	43.70	7/21-7/25
锦州 Jinzhou	121.02	41.13	7/21-7/25	舒兰 Shulan	126.93	44.42	7/21-7/25
庄河 Zhuanghe	122.86	39.69	7/21-7/25	永吉 Yongji	126.31	43.7	7/21-7/25
朝阳 Chaoyang	120.42	41.58	7/21-7/25	镇赉 Zhenlai	123.17	45.85	7/21-7/25
丹东 Dandong	124.29	40.15	7/21-7/25	大安 Daan	124.27	45.5	7/21-7/25
阜新 Fuxin	121.68	42.01	7/21-7/25	洮安 Taoan	122.82	45.67	7/21-7/25
黑山 Heishan	122.13	41.69	7/21-7/25	扶余 Fuyu	124.83	45.18	7/21-7/25

续表 1 (Table 1 continued)

站点 Station	经度 (°) Longitude	纬度 (°) Latitude	分析时段 Periods	站点 Station	经度 (°) Longitude	纬度 (°) Latitude	分析时段 Periods
抚顺 Fushun	123.87	41.85	7/21-7/25	通榆 Tongyu	123.07	44.78	7/21-7/25
鞍山 Anshan	123.00	41.09	7/21-7/25	长岭 Changling	123.97	44.25	7/21-7/25
清原 Qingyuan	124.91	42.09	7/21-7/25	乾安 Qianan	122.02	45.00	7/21-7/25
康平 Kangping	123.36	42.75	7/21-7/25				
沈阳 Shenyang	123.40	41.78	7/21-7/25				
昌图 Changtu	124.88	42.75	7/21-7/25				
本溪 Benxi	124.10	41.26	7/21-7/25				
营口 Yingkou	122.25	40.69	7/21-7/25				

表 2 WRF 模式方案与参数
Table 2 The scheme and parameters of WRF

项目 Item	区域 1 Domain 1
中心位置 Location	44.5°N, 121°E
水平网格 The number of grid points	100×80
格距 (km) Distance (km) between grid points	30
垂直层 Layers	18
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

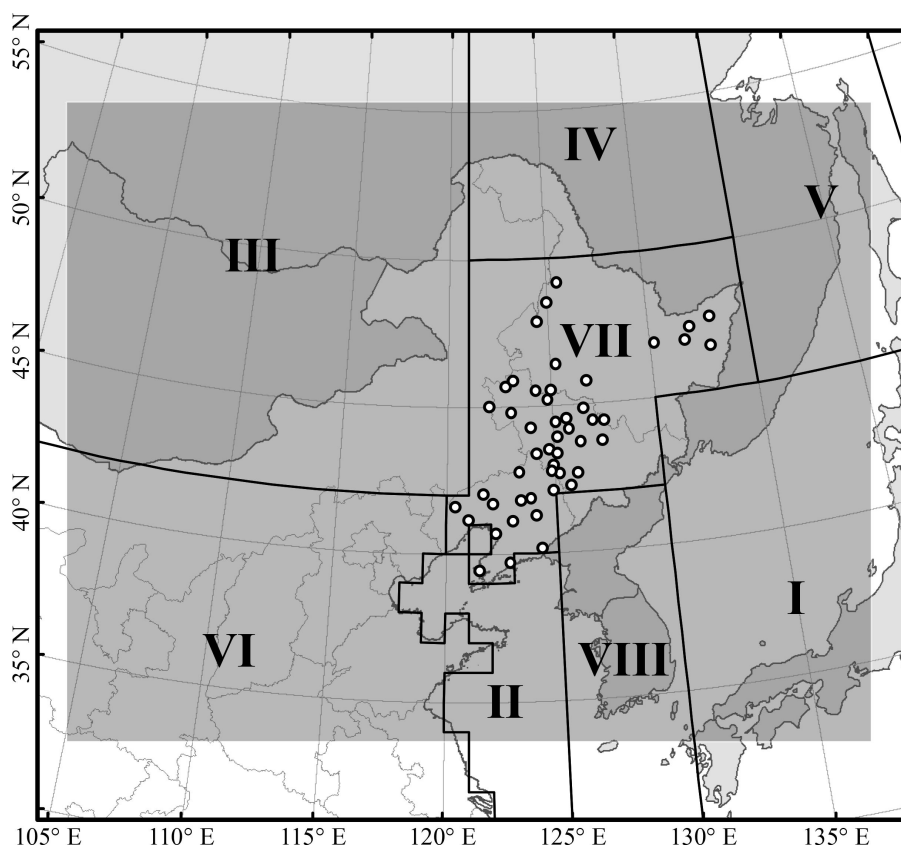


图2 WRF 模式模拟区和虫情站点分布

Fig. 2 Study area in WRF model and location of experimental sites

“○”表示轨迹分析站点的位置，黑龙江 12 个站点，吉林 22 个站点，辽宁 15 个站点（见表 1）；灰色矩形表示 WRF 模式模拟区域；轨迹终点分布划分为 8 个区：（I）日本海及锡霍特山脉东侧地区；（II）渤海和黄海；（III）大兴安岭高山区及其以西区域；（IV）小兴安岭高山区及俄远东地区；（V）三江平原以北和以东的俄远东地区；（VI）关内华北地区；（VII）东北三省平原和低山区；（VIII）长白山高山区及朝鲜半岛。

“○” represents the locations of Plant Protection Stations, including 12 stations in Heilongjiang Province, 16 stations in Jilin Province and 15 stations in Liaoning Province (see in table 1); The rectangle filled with gray color presents the study area in WRF model; The likely destinations of trajectories were divided to 8 regions, including (I) The sea of Japan and the east of Sikhote-Alin Mountain; (II) The Bohai Sea and Yellow Sea; (III) The alpine area of and the west of the Greater Khingan Range; (IV) The alpine area of the Lesser Khingan Range and the Russian Far East; (V) The Russian Far East to the east and north of Sanjiang Plain; (VI) The northern China; (VII) The plain and hilly area in northeastern China; (VIII) The Changbai Mountains and Korean Peninsula.

用芦芳等 (2013) 的稻飞虱三维轨迹分析程序计算顺推轨迹，来模拟粘虫的可能降落区 (Hu *et al.*, 2013)。

轨迹计算相关参数设定基于以下前提：（1）粘虫白天不迁飞，在黄昏集中起飞，到黎明降落；（2）粘虫迁飞时存在共同定向现象，迁飞方向与风向偏离 15°左右，且总是偏左；（3）粘虫空中虫群运行速度是风速和自身飞行速度的矢量和，其自身飞行速度约为 3.5 m/s；（4）粘虫飞

行高度一般在 400~600 m；（5）粘虫飞行低温阈值为 8℃；（6）粘虫迁飞可持续多个晚上，平均迁飞历期 3~5 d (张志涛和李光博, 1985；林昌善, 1990；Chen *et al.*, 1989, 1995；翟保平, 2005；Zhang *et al.*, 2013)。

根据上述前提，顺推轨迹计算起始时间为傍晚 19:00，每晚飞行 9 h (次日凌晨 4:00 降落)，连续分析 5 个晚上；轨迹高度分别为距海平面 500 m、750 m 两个高度层，且不考虑垂直风速，

仅计算二维轨迹；运行速度为风速和自身速度（3.5 m/s，向左偏离风向 15°）的矢量和；当轨迹所在高度的温度低于粘虫飞行低温阈值时，便停止当晚的轨迹计算，次日继续分析；当轨迹超出 WRF 模式网格范围（图 2 中灰色矩形范围）、程序迭代计算次数超出上限或降落时刻（4:00）的落点进入海域，便终止轨迹计算。

在不考虑其它条件的情况下，将位于陆地的所有降落时刻（凌晨 4:00）以及低温迫降时刻的轨迹落点视为粘虫可能降落区的分布。为方便分析，将东北 2 代粘虫迁飞轨迹落点的可能分布区划分成 8 个区：（I）日本海及锡霍特山脉东侧地区；（II）渤海和黄海；（III）大兴安岭高山区及以西区域；（IV）小兴安岭高山区及以北地区；（V）三江平原以北和以东的俄远东地区；（VI）关内华北地区；（VII）东北三省平原和低山区；（VIII）长白山高山区及朝鲜半岛（图 2）。

1.4 大气环流背景分析

根据 NCEP/NCAR 再分析资料和 WRF 模

式输出的大气背景场，逐日分析东北 2 代粘虫迁飞过程中东北上空的大气环流特征和天气状况。

2 结果与分析

2.1 东北 2 代粘虫诱蛾情况

我国 3 代（东北 2 代）粘虫局部大发生。黑龙江省是 20 世纪 70 年代以来的第 4 次大发生，而吉林省中等发生（发生程度 3 级，发生面积 17.29 万 hm²）。吉林省不同地区发生程度不同，白城地区中等偏重发生、长春地区中等发生，其它地区均轻微发生。

1978 年东北 2 代粘虫杨树枝把诱蛾，黑龙江省始见期比吉林和辽宁早，但高峰期却比两省略迟。黑龙江高峰期明显，出现在 7 月 5 候；蛾量大，如牡丹江和合江峰期蛾量平均达 500 多头，盛期总量达 1 000 多头。而吉林和辽宁两省高峰期出现在 7 月 4 候，且多数站点峰期不明显，诱蛾量少（表 3）。

表 3 1978 年 7 月下旬东北地区粘虫诱蛾情况（杨树把）
Table 3 The poplar branch trap catches of *Mythimna separata* in northeastern China in late July, 1978

地点 Location	始期 Appearance day		盛期 Occurrence period		峰期 Peak period	
	日期 Date	蛾量 Number of moths	日期 Date	蛾量 Number of moths	日期 Date	蛾量 Number of moths
黑龙江省农科院 Heilongjiang HAAS	7/05	2	7/17-7/31	1 169	7/26-7/28	554
吉林扶余良种场 Fuyu farm	7/16	5	7/17-7/31	208	7/19-7/23	122
扶余长胜站 Fuyu Changsheng	7/15	2	7/20-8/02	194	7/22-7/26	81
双辽县农业站 Shuangliao station	7/20	11	7/20-7/25	150	7/20-7/24	134
梨树孙家洼 Lishu Sunjiawa	7/21	62	7/21-8/03	552	7/21-7/25	281
伊通县良种场 Yitong farm	7/21	4	7/22-8/05	605	7/23-7/27	367
东辽县良种场 Dongliao farm	7/22	4	7/26-8/05	101	不明显 No peaks	

2.2 轨迹分析和降落区分布

1978 年分析所得的轨迹最大的特点是最终方向的相对单一和黑龙江部分分析日的轨迹出现回旋。除黑龙江省个别轨迹开始时朝南、东南、东方向外,轨迹基本朝向都是往东北方向。吉林、辽宁两省轨迹多是前 1、2 个晚上朝东北方向,然后折向东南方向,最后继续向东北方向。吉林和辽宁两省的多数轨迹都从黑龙江省经过,吉林经过 1 个晚上便可到达黑龙江境内,而辽宁的轨迹大多需要 2 个晚上(图 3)。

所有计算的 490 条轨迹中,第 5 天有效轨迹仍然有 381 条(77.76%)。只有少部分轨迹是途中遇到低温而停止,由于低温而造成的轨迹落点有 77 个,占总有效落点的 3.75%(表 4)。无效轨迹主要是由于进入海域被迫终止,占 71.28%(139/195)(表 4)。

去除明显无效的轨迹落点(包括由于超出模拟区、进入海域或迭代计算次数达上限而被迫终止的轨迹),总计 2 055 个有效轨迹落点(表 4)。这些轨迹落点主要分布于黑龙江境内(图 4:A)。

在不考虑风向和风速以外的其它天气条件下,451 条有效轨迹的最终去向集中在四个区域:锡霍特山脉东侧地区(区域 I)、小兴安岭及以北(区域 IV)、三江平原以北和以东的俄罗斯远东地区(区域 V)、黑龙江省内(区域 VII)(表 5)。无一往南或西南方向迁回我国东部地区。大多数终点止于黑龙江省内,或经由黑龙江省止于三江平原以北和以东的俄罗斯远东地区,这两片区域轨迹数 371 条,占 76.18%(表 5,图 3,图 4)。

此外,195 条轨迹由于超出模拟区、进入海域或迭代计算次数达上限而被迫终止。45 条超出模拟区的轨迹之中,39 条轨迹终止于三江平原以北和以东的俄罗斯远东地区(区域 V),占

86.66%,其余 6 条在小兴安岭以北区域(区域 IV)超出边界(表 5;图 4:B~D)。而终止于海面的轨迹有 139 条,其中 127 条止于鄂霍次克海(区域 V);12 条止于日本海(区域 I)(图 4:B~D)。11 条由于迭代计算错误而中止的轨迹中,7 条止于三江平原以北和以东的俄罗斯远东地区(区域 V),黑龙江境内(区域 VII)和小兴安岭以北(区域 IV)各 2 条(表 5;图 4:B~D)。

2.3 迁飞过程天气分析

1978 年西太平洋副热带高压偏强,7 月突然减弱,西太平洋副热带高压显著减弱;副热带高压脊线稳定,北跳早,南撤迟,控制时间长(图 5:A,B)。7 月中下旬至 8 月初东亚地区两度形成阻塞高压,而且阻塞高压稳定、持久维持。7805 号台风从我国东部地区登陆后向东北方向移动,影响到整个东北的环流和天气(图 5:B)。

2.3.1 7 月 20 日—25 日 20 日贝加尔湖附近一高压形成并与暖中心重合,形成贝加尔湖阻塞高压。东亚大槽分成南北两支,北支槽低压中心位于雅库茨克与鄂霍次克海之间,并逐渐东移北上。东北低压形成并与冷中心合并形成东北冷涡。21 日南端延伸到蒙古高原,大槽呈东北-西南向,随后大槽断裂,南段移到东北平原中部,形成东北低压;同时,蒙古低压生成并逐渐加强发展成气旋,副热带高压中心北移到日本群岛附近,贝加尔湖阻塞高压东移至 105°E 附近。随后,贝加尔湖阻塞高压加强,并缓慢东移,东北低压及其大槽也渐向东移。蒙古低压加强,发展成气旋,大槽加深。华北高压东移,中心位置移到黄海。23 日阻塞高压中心到达 110°E,蒙古气旋与冷中心重合,形成冷涡。7805 号台风从浙江登陆并向东北方向移动。副热带高压中心从日本群岛位置向西移到日本群岛西侧。24 日阻塞高压崩溃,蒙古气旋相对上一日中心东移了 5 个经度

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201403031);国家自然科学基金项目(30571202)

#现在工作单位:上海市农业技术推广服务中心,上海,201103

**通讯作者, E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

收稿日期:2014-07-10, 接受日期:2014-07-16

(图 5:A)。25 日蒙古高原又有一低压形成, 并逐渐发展加强, 迅速东移到达贝加尔湖北端。阿留申低压东移, 副热带高压西进, 588 线延伸到我国东部地区。

在以上环流的影响下, 本候东北中南部以西

南风为主, 而黑龙江由于常常处于气旋中心位置, 风向复杂, 变化频繁(图 6:A~D)。地面天气也变化多端, 锋面活动频繁, 雨日多, 雨量大。21 日 20:00, 小兴安岭出现冷锋, 东北处于锋前。

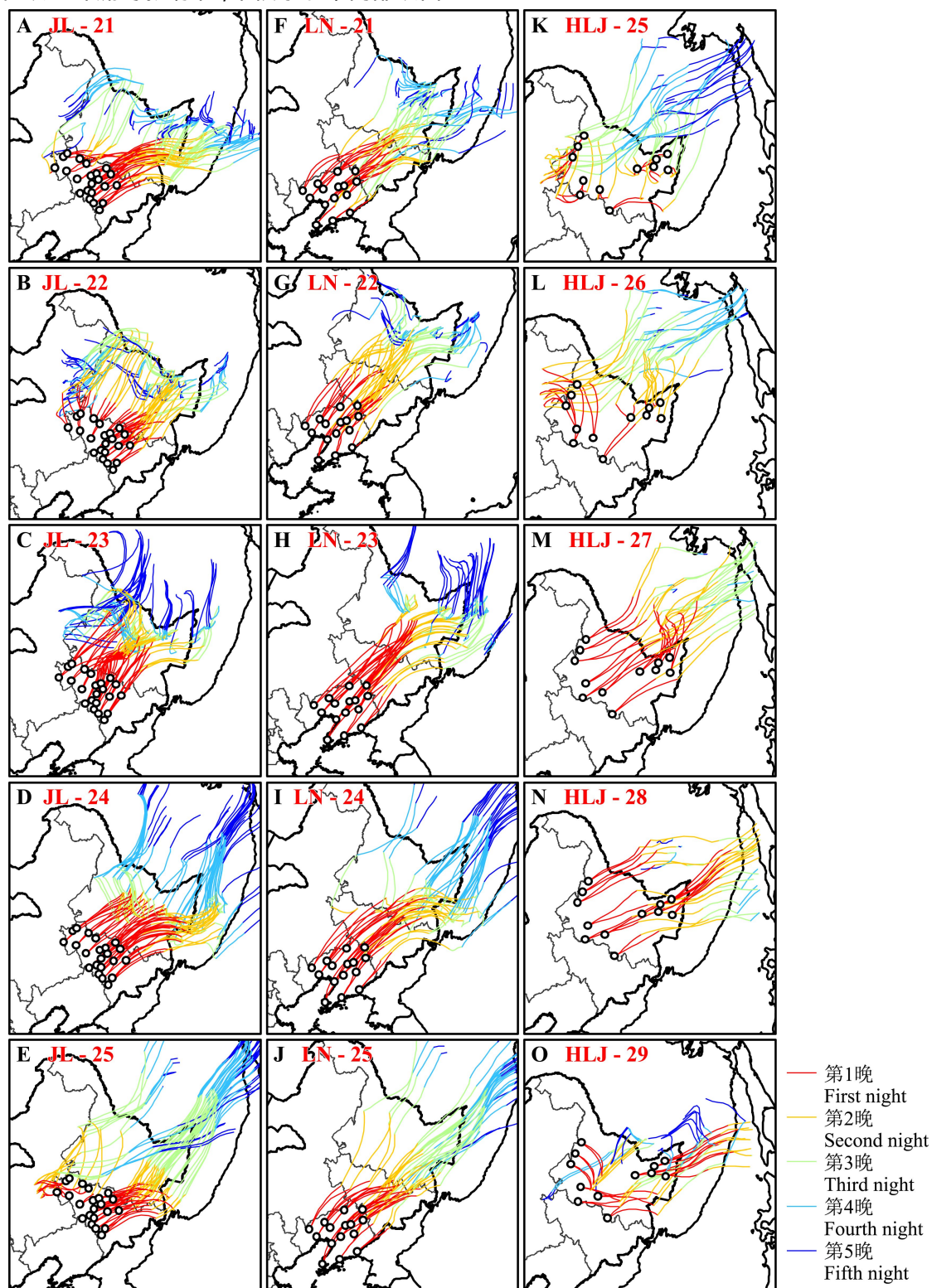


图 3 1978 年 7 月下旬东北粘虫 1 代成虫顺推轨迹

Fig. 3 The forward trajectories of the 1st generation armyworm moths from northeastern China in late July, 1978

HLJ: 黑龙江省; JL: 吉林省; LN: 辽宁省; 数字为日期。

HLJ, Heilongjing Province; JL, Jilin Province; LN, Liaoning Province. The number on each figure is the date, say, 21 means the 21st of July.

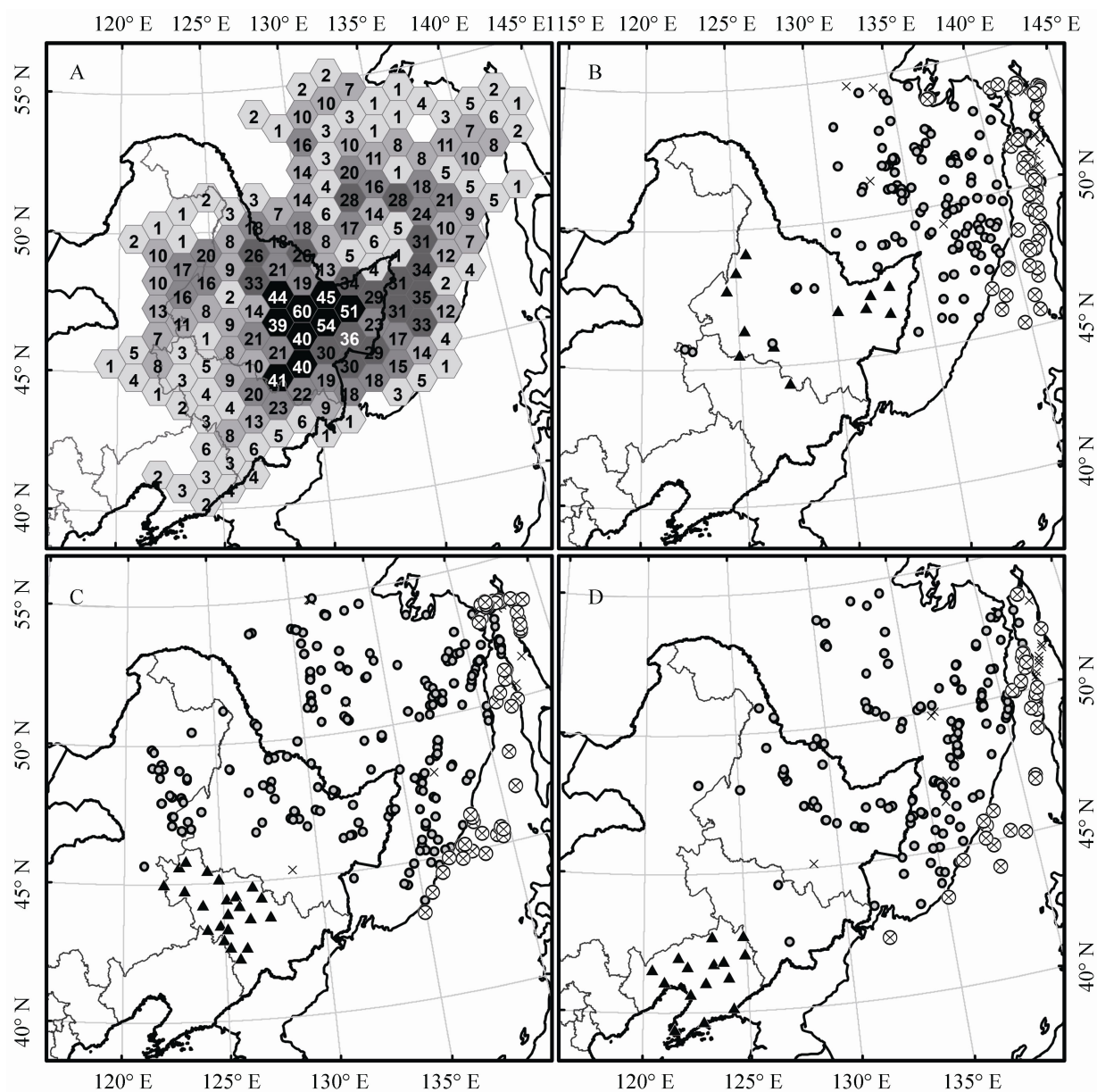


图 4 1978 年 7 月下旬东北粘虫 1 代成虫顺推轨迹终点分布

Fig. 4 The endpoint distribution of the forward trajectories of the 1st generation armyworm moths from northeastern China in late July, 1978

A. 所有有效轨迹点的分布, 其中每个正六边形网格的面积为 10 000 km²; B. 黑龙江省最终轨迹落点的分布; C. 吉林省最终轨迹落点的分布; D. 辽宁省最终轨迹落点的分布。(▲) 顺推轨迹起点; (○) 顺推轨迹终点; (⊗) 入海的轨迹终点; (X) 超出边界轨迹的最终落点。

A.The distribution of all valid endpoints, and each hexagon covers 10 000 km². The last endpoints of trajectories from B.Heilongjiang Province; C.Jilin Province; D. Liaoning Province. ‘▲’ presents the start location of these forward trajectories, ‘○’ presents the last endpoints of these trajectories, ‘⊗’ presents the first endpoints of the trajectories in sea, and ‘X’ presents the last points of the trajectories that outranged.

表 4 1978 年 7 月下旬东北粘虫 1 代成虫顺推轨迹概况
Table 4 The forward trajectories of the 1st generation armyworm moths from northeastern China in late July, 1978

天数 Duration	总计 Total	有效轨迹 Valid trajectories			被迫中止轨迹 Trajectories aborted			
		小计 Subtotal	正常 Normal	低温阈值 Low temperature	小计 Subtotal	进入海域 Enter sea	迭代错误 Iterative error	超出模拟区 Overrange
1	490	487	487	0	3	2	1	0
2	487	465	459	6	22	16	2	4
3	465	427	416	11	38	31	1	6
4	427	381	356	25	46	36	3	7
5	381	295	260	35	86	54	4	28
总计 Total	2 250	2 055	1 978	77	195	139	11	45

表 5 1978 年 7 月下旬东北粘虫 1 代成虫顺推轨迹最终去向分布
Table 5 The endpoints distribution of the forward trajectories of the 1st generation armyworm moths from northeastern China in late July, 1978

区域 Regions	有效轨迹 Valid trajectories				被迫中止轨迹 Trajectories aborted			
	小计 Subtotal	黑龙江 Heilongjiang	吉林 Jilin	辽宁 Liaoning	小计 Subtotal	进入海域 Enter sea	迭代错误 Iterative error	超出模拟区 Over range
I	17	0	8	9	12	12	0	0
II	0	0	0	0	0	0	0	0
III	0	0	0	0	0	0	0	0
IV	99	26	53	20	8	0	2	6
V	245	78	90	77	173	127	7	39
VI	0	0	0	0	0	0	0	0
VII	126	14	68	44	2	0	2	0
VII	0	0	0	0	0	0	0	0
合计 Total	487	118	219	150	195	139	11	45

23 日 20:00 哈尔滨附近存在锢囚锋 ,并一直持续到 25 日。20 日吉林西部普降小到中雨 ,黑龙江少数地方降大雨。21 日吉林北部、黑龙江中部小到中雨 ,黑龙江部分地方大雨。22 日吉林中部、黑龙江中部少数地方小到中雨。23 日 ,黑

龙江嫩江中雨 (图 7 : A) , 24 日黑龙江大部分地区小到中雨 ,部分地区大雨甚至暴雨 ,吉林中部部分地区小或中雨 ,少数地区暴雨 (图 7 :B)。25 日 ,黑龙江中部普降大雨或暴雨 (图 7 : C ,表 6)。

这一阶段内吉林和辽宁两省进入发蛾高峰期。顺推轨迹分析表明, 21—25 日期间, 由吉林、辽宁迁飞的粘虫径直向东北方向迁出。在黑龙江境内以及吉林和黑龙江交界处, 受东北气旋

的影响, 轨迹大多折向东方, 然后继续向东北方向, 大多经三江平原进入俄罗斯远东地区。吉林的轨迹在 1~2 d 便可到达黑龙江境内, 辽宁大多在 2~3 d 内便可到达黑龙江境内 (图 3)。由于

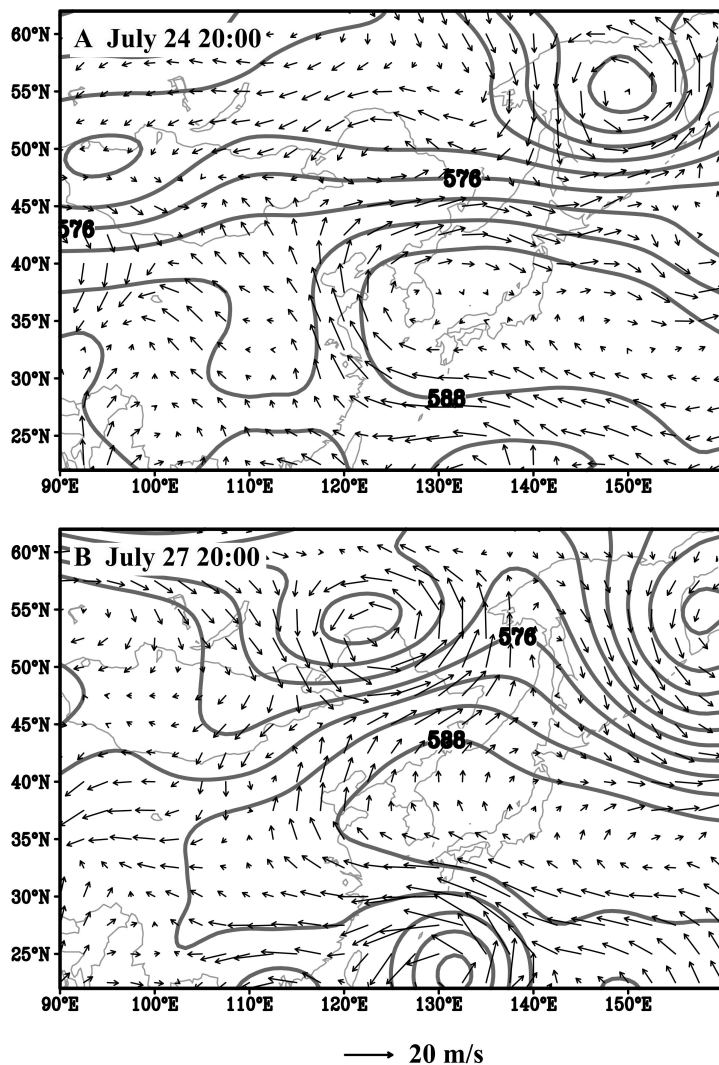


图 5 1978 年 7 月 24、27 日 20:00 我国东部地区 500 hPa 等高线和 850 hPa 风场图

Fig. 5 Geopotential height contour on 500 hPa and the wind field on 850 hPa in eastern China at 20:00 on the 24th and 27th of July, 1978

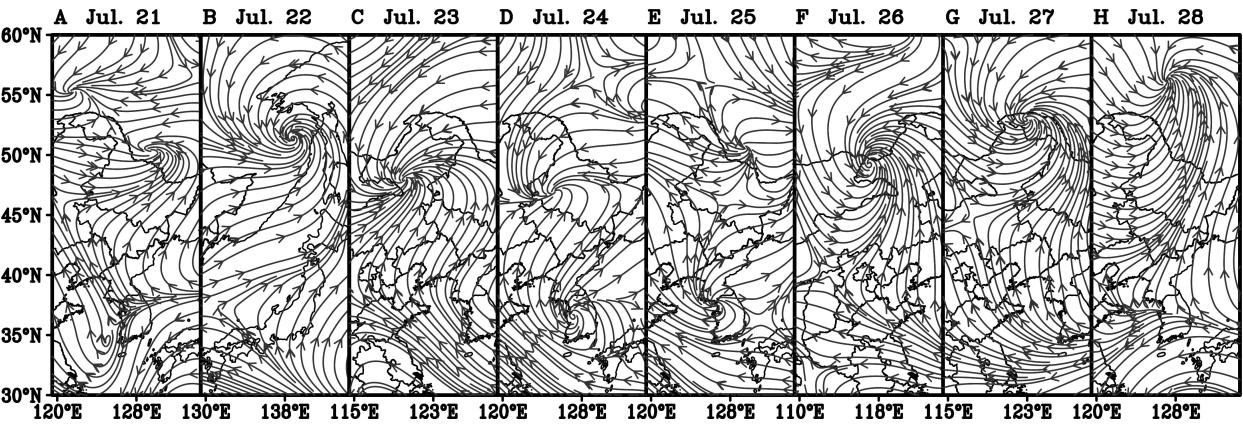


图 6 1978 年 7 月 21—28 日 20:00 东北三省 850 hPa 流场图
Fig. 6 Wind streamlines on 850 hPa in northeastern China at 20:00 during July 21-28, 1978

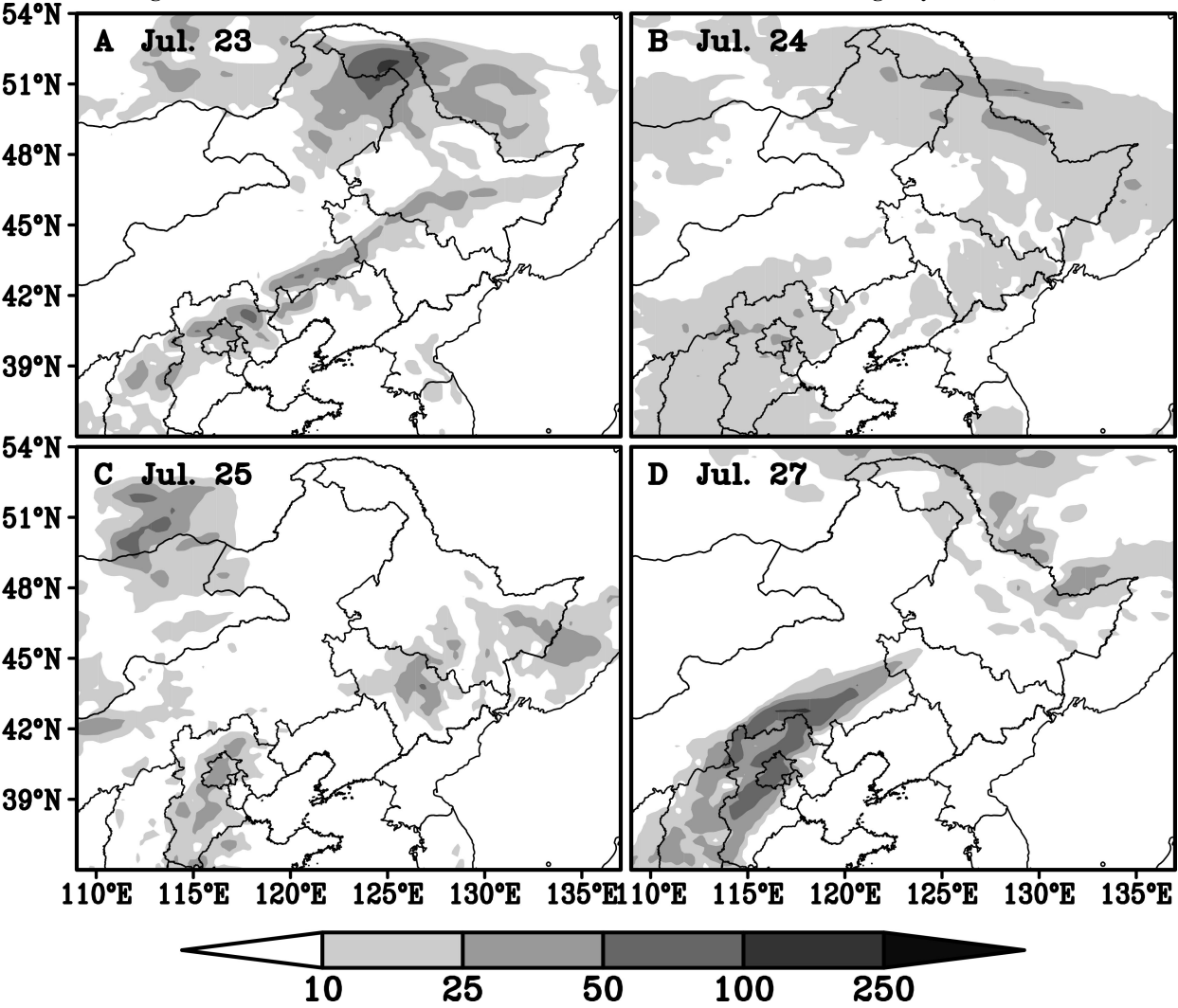


图 7 1978 年我国东北三省 7 月下旬模拟的日降水量 (mm)
Fig. 7 The simulated daily precipitation (mm) in northeastern China in late July, 1978

表 6 1978 年 7 月下旬东北三省天气实况

Table 6 The weather in northeastern China in late July, 1978

省份 Province	天气实况 Weather
黑龙江 Heilongjiang	7月21大部分地区出现降雨,其中部分地区大雨;23日西部少数地方小雨到中雨;24日西部和中部普遍降雨,部分地区大雨;25日中、西部部分地区大雨,其中部分地区暴雨;27日中西部普遍大雨,少数地方小雨;29日中西部中雨,少数小雨;8月1、2日普降中到大雨;3日东部部分地方降雨;4日西部地区降雨
吉林 Jilin	7月21日北部少数地方降雨;22日个别地方大雨;24日中部普遍降雨,个别地方暴雨、大风;26日东部小雨,部分地方中雨
辽宁 Liaoning	7月24日西部小雨,部分地区中雨;25日仅营口和沈阳小雨;26日少数地方降雨,其中个别地区大雨

东北气旋天气带来降水过程,迁飞粘虫极可能在黑龙江境内降落,而不会继续迁往黑龙江以东以北的俄罗斯远东地区(图7:A~C)。

2.3.2 7月26日—8月5日 这一阶段内副热带高压仍旧偏北,并出现南北震荡和东西向的摆动(图5:B)。26日7805号台风中心靠近东北,随后逐渐被填塞消失。27日850 hPa气压层面上,位于东北西北方的东北气旋强盛,影响着东北的环流,东北大部为西南风(图6:F~H)。28日副热带高压北上,588线穿越我国东部及东北平原。蒙古高原上空不断有低压生成,蒙古低压常发展成蒙古气旋后向东和北移动加强,东移和北上过程中常常诱发东北低压的产生,形成的大槽对东北大气环流起着主导作用。雅库茨克附近及鄂霍次克海附近也有高压和低压生成和活动(图6:F~H)。8月初贝加尔湖附近又有高压生成,并发展成阻塞高压。东北低压生成并逐渐东移。副热带高压东移南撤。8月3日,东北低压消散,雅库茨克低压形成。日本附近形成一大槽。在此影响下,此期间东北锋面天气频繁出现,雨量丰富,尤其是黑龙江连续数日降大雨。26日,小兴安岭北侧产生一暖锋,东北处于锋后。27日,大兴安岭生成一冷锋,东北处于锋前;黑龙江处于冷锋前,暖锋后。28日,大兴安岭至太行山一线为冷锋所在,辽宁和吉林个别地方出现大风天气。随后冷锋逐渐东移。20:00冷锋移到东北平原中部。到29日冷锋移出东北。8月1日20:00

东北低压的相应位置产生东西向冷锋。2日20:00东北东部沿海产生冷锋,黑龙江处于锋前。26日东部沿长白山一线小到中雨,辽宁少数地方大雨。27日黑龙江中部至西部普遍降雨,多数地区雨量达中到大,中部个别地方达暴雨。辽宁西部中到大雨(图7:D)。29日东北中部平原普遍降雨、雨量从小到大不等。30日长白山出现小雨。31日,辽宁和吉林少数地方小雨。8月1日东北再次普遍降雨,程度不等,部分地区达大雨,2日黑龙江中部、吉林大部、辽宁东北部仍持续降雨。4日黑龙江中、西部部分地区产生中到大降雨(表7)。

此阶段,黑龙江省处于发蛾高峰期。顺推轨迹结果表明,由于境内上空东北气旋频繁,顺推轨迹多出现回旋,并且粘虫由于气旋所来降水的影响,大部分并未能迁出黑龙江境内。25日黑龙江省境内处于气旋和反气旋的南北气流的交汇辐散区,各个地区间气流方向不一(图6:E),导致各站轨迹方向不一,并且以下沉气流为主,受此影响迁出粘虫飞行距离有限。三江平原迁出的轨迹在第1、2日内距离极短,向东、向南、向西各方向在站点间均有出现(图3:K)。其他地区迁出的先向南,后向北方向,然后向东北方向,大多进入小兴安岭北部(图3:K)。26日起,黑龙江境内位于蒙古气旋或东北气旋的东部,盛行西南风,迁出轨迹多向东北方向。该气旋过程进入黑龙江后,向东北方向移动,但仍给黑龙江中、北部带来了降水(图7:D)。除了

26 日三江平原迁出距离极短(图 3:L)外, 其他各地区均向东北方向迁出, 进入俄罗斯远东地区(图 3:L~N)。29 日起, 再次受气旋影响, 前进方向变化无常, 经数日仍未能离开黑龙江省(图 3:O)。

2.4 黑龙江大发生虫源分析

以上轨迹分析结果表明: 辽宁省高峰期迁出的粘虫, 均先向北或东北经过黑龙江省。吉林省各日迁出的大部分也先经过黑龙江省。黑龙江省 29 日迁出的, 除三江平原外, 其它地区迁出的均回到黑龙江中部和西部地区。各地区有相当时日迁出的经过或到达黑龙江, 且经过或达到日期集中在 7 月 24 日、25 日及 27 日。

根据以上迁飞过程天气分析, 黑龙江省大部分地区从 21 日开始即阴雨连绵。从 7 月 21 日至 8 月 4 日有 10 d 不同地区出现降雨天气, 这段时间内全省均无降水天气的只有 4 d。且吉林和辽宁迁出粘虫到达和经过黑龙江最多的 3 d 为 24、25、27 日, 黑龙江普遍降雨, 部分地区出现暴雨。而吉林和辽宁峰期雨日则相对少得多(表 7)。因此, 1978 年黑龙江 2 代粘虫大发生可能虫源一部分是黑龙江 1 代粘虫羽化后遇上当地降雨等不利天气致使存留当地或迁出后又回到黑龙江(如 29 日迁出的); 另一部分是吉林和辽宁一代粘虫羽化后北迁, 当经过或从黑龙江中转时遇上黑龙江地区降雨天气, 使迁飞粘虫迫降停留当地。而黑龙江丰富的雨水给 2 代粘虫生存和繁殖提供了适宜条件。

3 结论与讨论

本文研究结果表明: 1978 年东北 2 代粘虫蛾不能回迁至我国东部地区, 即在当年的大气环流背景下, 东北地区盛行西南风, 对本该外迁的粘虫夏季种群产生了明显的阻滞作用。同时, 由于气旋活动带来的大范围强降水天气使大量外迁种群和过境种群滞留在三江平原, 从而造成黑龙江省当年粘虫大发生。

从河西走廊、中蒙边境至东北地区为我国北

方锋生地带, 东北地区位于其中, 同时, 东北地区又是各种西来气旋路径汇集的枢纽区域, 因而各种气旋活动频繁。影响东北的天气系统主要有风、蒙古气旋、东北气旋、东北冷涡等。其中气旋的过境对东北风场影响最大, 常常引起强烈而持久的大风天气, 特别在中部大平原上, 由于其马蹄形山地的地形槽制约作用经常出现偏南大风(李祯等, 1993)。本文研究表明, 1978 年 7 月下旬至 8 月初, 黑龙江上空气旋频繁活动, 位于气旋以南的吉林、辽宁两省西南风异常强盛, 导致 2 代粘虫北迁而非南迁。同时, 由于气旋活动, 黑龙江境内强对流天气持续出现, 并产生了丰富的降水, 从而造成当地虫源滞留和迁入虫源降落与滞留。2012 年粘虫的大发生亦是受气旋活动频繁影响, 造成东北黑龙江、吉林普降大雨(张云慧等, 2012)。与 1978 年相比, 当年气旋活动位置偏南, 主要位于吉林、黑龙江交界处。因此, 2012 年粘虫大发生以吉林最为严重。

通过对东北 2 代粘虫蛾去向的轨迹分析, 东北 2 代粘虫大发生年份 2 代粘虫均未能迁出东北——迁出期遭遇不利天气未曾迁出, 或迁出后遇上强对流天气或气旋性天气, 使得迁出粘虫又回到东北。这部分粘虫即是造成东北大发生的主要虫源, 但是否还存在外来虫源, 比如, 俄罗斯远东地区、蒙古国及中国的内蒙古等地的粘虫是否有可能迁至东北呢? 这需要进一步的详细研究和具体分析。

东北 2 代粘虫回迁到华北 3 代发生区的可能性很小。东北粘虫要回到华北, 须借助东北气流才能完成; 而东北 2 代粘虫回迁期, 东北气流出现的频率很小。那么, 这种显著的 Pied piper 效应为何并未造成粘虫种群迁飞基因的缺失呢? 从以往的研究可知, 5 月下旬至 6 月上旬, 粘虫由江淮流域一代发生区向东北地区迁飞的同时, 也向华北和西北迁飞, 少量个体甚至迁入西南地区, 形成了南北跨度达 2 000 km、东西跨度达 3 000 km 的极为广阔的 2 代发生区(李光博等, 1990)。7 月下旬到 8 月上旬, 虽然东北粘虫种群几乎全军覆没, 但西北、西南等地的粘虫种群

则陆续迁入晋冀鲁豫等地的 3 代发生区 9 月份, 3 代发生区的粘虫种群随着季风转换而南迁回到华南越冬区(林昌善, 1990)。正是这些粘虫的回迁将其迁飞基因保留下来, 使每年的南北往返迁飞得以持续进行。

致谢: 黑龙江省农科院植保所提供黑龙江省 2 代粘虫虫情数据, 全国农技推广中心病虫测报处提供各站逐日虫情资料, 中国农科院植物保护研究所马春森研究员和广东省农科院植保所吕利华研究员为数据搜集提供了热情帮助, NCEP/NCAR 提供再分析资料, 在此一并致谢!

参考文献 (References)

- Chen RL, Bao XZ, Drake VA, Farrow RA, Wang SY, Sun YJ, Zhai BP, 1989. Radar observations of the spring migration into north-eastern China of the Oriental Armyworm moth (*Mythimna separata*) and other insects. *Ecol. Entomol.*, 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 University Press. 93–104.
- Hu G, Lu F, Lu MH, Liu WC, Xu WG, Jiang XH, Zhai BP, 2013. The influence of typhoon Khanun on the return migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) in Eastern China. *PLoS ONE*, 8(2): e57277. doi:10.1371/journal.pone.0057277.
- Zhang YH, Zhang Z, Li C, Jiang YY, Zeng J, Cheng DF, 2013. Seasonal migratory behavior of *Mythimna separate* (Lepidoptera: Noctuidae) in Northeast China. *Acta Entomologica Sinica*, 56(12): 1418–1429.
- 董大璈, 戴淑兰, 许国忱, 1983. 谈谈三代粘虫. 新农业, (13): 13. [Dong DA, Dai SL, Xu GZ, 1983. 3 generation armyworm. *New Agriculture*, (13): 13].
- 黑龙江省农科院植保所粘虫课题组, 1981. 二代粘虫存留和发生条件的验证 (内部资料). [Armyworm Group in Institute of Plant Protection, Heilongjiang Academy of Agriculture, 1981. The condition and test and 2 generations armyworm outbreak].
- 胡高, 吴秋琳, 武向文, 姜玉英, 曾娟, 翟保平, 2014. 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. [Hu Gao, Wu QL, Wu XW, Jiang YY, Zeng J, Zhai BP, 2014. Outbreak mechanism of second generation armyworms in northeastern China: A case study in 1980. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 943–957.]
- 李光博, 曾士迈, 李振岐主编, 1990. 小麦病虫草鼠害综合治理. 北京: 中国农业科技出版社. 288–316. [Li GB, Zeng SM, Li ZQ, 1990. The integrated management of disease, insect pest, weed, and rodent in wheat. Beijing: China Agriculture Technology Press. 288–316]
- 李贻, 祁承留, 孙文昌, 1993. 东北地区自然地理. 北京: 高等教育出版社. 1–245 [Li Z, Qi LC, Sun WC, 1993. The nature geography of Northeast China. Beijing: High Education Press, 1–245].
- 林善昌, 1990. 粘虫生理生态学. 北京: 北京大学出版社. 1–52. [Lin SC, 1990. Physiological ecology of armyworm. Beijing: Beijing University Press. 1–52]
- 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): 874–883. [Lu F, Zhai BP, Hu G, 2013. Trajectory analysis methods for insect migration research. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 874–883.]
- 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. [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). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 974–986.]
- 孙雅杰, 高月波, 1999. 东北发生区粘虫种群调查报告. 全国迁飞性昆虫学术研讨会论文摘要集. 北京: 中国农科院植保所. [Sun YJ, Gao YB, 1999. The investigation report of armyworm in Northeast China. Conference Papers of insect migration. Beijing: Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agriculture].
- 魏倩, 张淑芳, 1978. 二代粘虫发生消长危害的探讨. 黑龙江省农业科学院(内部资料). [Wei Q, Zhang SF, 1978. Dynamics of 2 generations armyworm. Heilongjiang Academy of Agriculture]
- 谢为民, 陈瑞鹿, 岳宗岱, 1984. 吉林省二代粘虫发生规律及预测技术. 吉林省植保学会第四届会员代表大会论文集. 吉林省植保学会. 66–72. [Xie WM, Chen RL, Yue ZD, 1984. The outbreak regulation and prediction technology of 2 generation armyworm in Jilin province. Conference Papers of Jilin Plant Protection Society. Jilin Plant Protection Society].
- 张云慧, 张智, 姜玉英, 曾娟, 高月波, 程登发, 2012. 2012 年三代粘虫大发生原因初步分析. 植物保护, 38(5): 1–8. [Zhang YH, Zhang Z, Jiang YY, Zeng J, Gao YB, Cheng DF, 2012. Preliminary analysis of the outbreak of the third-generation army worm *mythimna separata* in China in 2012. *Plant Protection*, 38(5): 1–8.]
- 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. [Zhang ZT, Li GB, 1985. A study on the

- biological characteristics of the flight of the oriental armyworm moth. *Journal of Plant Protection*, 12(2): 93-00].
- 曾娟, 姜玉英, 刘杰, 2013. 2012 年黏虫暴发特点分析与监测预警建议. *植物保护*, 39(2): 217-226. [Zeng J, Jiang YY, Liu J, 2013. Analysis of the armyworm outbreak in 2012 and suggestions of monitoring and forecasting. *Plant Protection*, 39(2): 217-226.]
- 翟保平, 2005. 昆虫雷达让我们看到了什么? *昆虫知识*, 42(2): 178 - 184. [Zhai BP, 2005. What have we seen by entomological radar? *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(2): 178-184.]
- 周琳, 1991, 东北气候. 北京: 气象出版社. 1-366. [Zhou L, 1991. The climate in Northeast China. Beijing: Climate Press].