

东北二代粘虫大发生机制：1980 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】 1980 年东北地区 1 代粘虫在黑龙江大发生, 1 代成虫羽化盛期也诱到大量的粘虫蛾, 但 2 代粘虫在黑龙江省却并没有大发生, 而在吉林省大发生。那么, 黑龙江 1 代成虫迁往何处? 吉林省 2 代粘虫大发生虫源又来自何方? 本文通过解析 1980 年东北粘虫 1 代成虫的迁入迁出动态和大发生种群的形成过程, 为粘虫间歇性猖獗的预测和治理提供依据。【方法】 基于 WRF 模式输出的高分辨率大气背景场, 通过轨迹分析和天气学背景分析, 阐释 1980 年东北粘虫 1 代蛾盛期的发生过程和迁飞动态及其大发生种群的形成机制。【结果】 1980 年吉林省 1 代粘虫蛾盛期受东北气旋降水的影响, 1 代成虫无法成功外迁而滞留, 加之从黑龙江迁出的粘虫蛾南迁过程中亦遇雨而迫降吉林, 最终导致当年吉林 2 代粘虫的暴发。此外, 由于副热带高压位置偏南, 高压中心 7 月第 6 候南移到东北平原而盛行偏北气流, 辽宁省有一定比例的南迁粘虫蛾能跨海进入山东、河北。【结论】 无法成功外迁而滞留 (包括迁出后由于轨迹回旋或天气迫降等最终仍在东北境内降落) 是东北 2 代粘虫暴发的根本原因。

关键词 粘虫, WRF 模式, 轨迹分析, 东北气旋

Outbreak mechanism of second generation armyworms in northeastern China: A case study in 1980

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] An outbreak of 1st generation armyworm, *Mythimna separata* (Walker) occurred in Heilongjiang Province in 1980, and numerous newly emerged moths were caught by poplar branch traps. However, an outbreak of 2nd generation armyworm subsequently occurred in Jilin Province rather than in Heilongjiang Province. Where did these moths emigrate to and what was the source population? This study aims to provide suggestions for forecasting and controlling *M. separata* by investigating the migration process and the formation of outbreak populations. [Methods] The outbreak in Jilin Province in 1980 was studied by calculating trajectories using WRF, a mesoscale numerical weather prediction model. [Results] In 1980, the emigration of moths from Jilin Province was suppressed by successive rainfall caused by passing cyclones, which also flushed out the passing southward airborne migrants from Heilongjiang Province. Thus, the outbreak population in Jilin Province in 1980 was comprised of both the local population and immigrants. In addition, as the west Pacific subtropical high remained farther south than usual and the Yakutsk high reached the central plain of northeastern China in the sixth pentad of July, a few of moths from Liaoning Province could immigrate into Shandong and Hebei across the Bohai Sea with the prevailing northerly winds. [Conclusion] The primary cause of the outbreak of 2nd generation *M. separata* in

* 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

Jilin Province in 1980 was the prevention of emigration of local populations and the concentrated immigration of both southward and northward airborne moths by fickle winds and heavy rainfall in the season.

Key words *Mythimna separata*, WRF model, trajectory analysis, northeast cyclone

在 1980 年以前,粘虫是我国农业上一种毁灭性的大害虫,尤以东北三省为重(林昌善, 1990)。粘虫在东北一年发生两代,常年以第 1 代发生普遍,为害较重,而第 2 代偶发为害,暴发年份危害严重,如黑龙江省 2 代粘虫 1972 年大发生,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 2 代粘虫 1972 年在长春地区和白城地区重发生(严重受害面积 0.67 万 hm^2),1976、1977 和 1980 年全省大发生,每年发生面积 16.67 万 hm^2 左右(谢为民等,1984)。辽宁(锦州)1958、1966 和 1980 年大发生(董大燊等,1983)。1980 年中期以后,随着两广麦区小麦种植面积的急剧缩减,境外进入我国的第 1 代粘虫因桥梁田的锐减而食物链断裂,粘虫种群数量也大大减少,逐渐退出主要害虫之列,但在某些年份却会出现局地暴发甚至大区域暴发。如 1997 年,长春至沈阳铁路沿线大片玉米田的玉米叶片被 2 代粘虫吃得仅存叶脉(孙雅杰和高月波,1999)。2012 年 8 月,东北 2 代粘虫大暴发,吉林省农作物受害总面积达 347.47 万 hm^2 ,直接经济损失高达 10.1 亿元(张云慧等,2012;曾娟等,2013)。目前,对这种长期保持低密度种群、在特殊条件下突然暴发的小概率事件尚无有效的预警手段。究其原因,基础研究薄弱使得科学储备不足与害虫种群暴发性突增的预测难度形成了巨大反差。对小概率事件的预测,亟需在更大的空间尺度(跨区域)和更长的时间尺度(数十年来的历史虫情)上通过大量的个例分析,将这些不可预测和无法重复的个例上升到这些事件的集合,从而找出某种程度的统计规律性,为害虫的间歇性暴发性突增提供可识别的多因素前兆,得到有关大发生种群形成的可预测性指标(翟保平,2010)。

根据前文分析(胡高等,2014),1978 年黑龙江省 2 代粘虫大发生,是当地 1 代成虫迁出

期的西南大风和大范围强降水使本地迁出种群滞留在三江平原而迁出蛾群又折返黑龙江省以及辽宁与吉林两省迁出的过境种群在黑龙江省遇雨迫降而集中暴发。张云慧等(2012)分析,2012 年东北重灾区虫源大部分来自本地,受偏西气流和降雨的影响,东北地区 2 代成虫未形成有效迁出,并与由华北地区迁入的虫源汇集,暴发为害。显然,特殊的天气条件是东北 2 代粘虫暴发的关键触发因子。

1980 年东北地区 1 代粘虫(全国 2 代)在吉林和辽宁两省中等发生,在黑龙江大发生;黑龙江 1 代粘虫羽化盛期,曾诱到大量的粘虫蛾,其中黑龙江农科院、合江等地诱蛾量达 1 000 多头,但黑龙江省的 2 代(全国 3 代)粘虫却基本没发生。而在吉林和辽宁,2 代粘虫大发生:吉林发生面积达 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。显然,黑龙江省的 1 代粘虫成虫成功外迁。那么,黑龙江 1 代成虫迁往何处?吉林和辽宁 2 代粘虫大发生虫源又来自何方?本文拟对 1980 年东北 2 代粘虫大暴发进行个例分析,通过解析当年粘虫迁入迁出动态,阐释大发生种群的形成过程,以期对粘虫间歇性猖獗的预测和治理提供科学依据。

1 材料与方法

虫情资料主要取自于农业部全国农技推广中心病虫测报处的各站逐日虫情资料和模式电报及吉林省病虫测报站汇编的《吉林省农作物主要病虫预测预报资料》(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。共选择了该年 43 个站点 (黑龙江 12 个, 吉林 16 个, 辽宁 15 个) (表 1), 共 215 个分析日

进行了分析。

WRF 模式及其参数化方案、轨迹分析参数设定方法和大气环流背景分析同胡高等 (2014), 将东北 2 代粘虫迁飞轨迹的最终终止地划分成 8 个区: (1) 日本海及锡霍特山脉东侧地区; (2) 渤海和黄海; (3) 大兴安岭高山区及以西地区; (4) 小兴安岭高山区及以北地区; (5) 三江平原以北和以东的俄远东地区; (6) 关内华北地区; (7) 东北三省的平原和低山区; (8) 长白山高山区及朝鲜半岛。

表 1 东北粘虫监测站点
Table 1 The monitoring stations for armyworm moths in northeastern China

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	7/19-7/23	洮安 Taoan	122.82	45.67	7/18-7/22
哈尔滨 Harbin	126.77	45.75	7/19-7/23	九台 Jiutai	125.80	44.17	7/19-7/23
牡丹江 Mudanjiang	127.47	44.37	7/19-7/23	农安 Nongan	125.17	44.42	7/19-7/23
肇源 Zhaoyuan	125.00	45.50	7/19-7/23	乾安 Qianan	122.02	45.00	7/19-7/23
安达 Anda	125.32	46.38	7/19-7/23	通榆 Tongyu	123.07	44.78	7/19-7/23
讷河 Nehe	125.00	48.49	7/19-7/23	长岭 Changling	123.97	44.25	7/19-7/23
富裕 Fuyu	124.48	47.84	7/19-7/23	镇赉 Zhenlai	123.17	45.85	7/19-7/23
友谊 Youyi	131.77	46.81	7/19-7/23	梨树 Lishu	124.18	43.35	7/20-7/24
富锦 Fujin	132.08	47.24	7/19-7/23	长春 Changchun	125.22	43.90	7/20-7/24
创业农场 Chuangye farm	133.15	47.47	7/19-7/23	公主岭 Gongzhuling	124.80	43.50	7/21-7/25
嫩江 Nenjiang	125.60	49.14	7/19-7/23	榆树 Yushu	126.53	44.83	7/21-7/25
八五农场 Bawu farm	133.00	46.50	7/19-7/23	大安 Daan	124.27	45.50	7/23-7/27
大连 Dalian	121.50	39.42	7/23-7/27	东辽 Dongliao	124.95	42.95	7/23-7/30
锦州 Jinzhou	121.02	41.13	7/23-7/27	永吉 Yongji	126.31	43.70	7/27-7/31
庄河 Zhuanghe	122.86	39.69	7/23-7/27	扶余 Fuyu	124.83	45.18	7/29-8/2
朝阳 Chaoyang	120.42	41.58	7/23-7/27	伊通 Yitong	125.17	43.35	7/29-8/2
丹东 Dandong	124.29	40.15	7/23-7/27	康平 Kangping	123.36	42.75	7/23-7/27
阜新 Fuxin	121.68	42.01	7/23-7/27	沈阳 Shenyang	123.40	41.78	7/23-7/27
黑山 Heishan	122.13	41.69	7/23-7/27	昌图 Changtu	124.88	42.75	7/23-7/27
抚顺 Fushun	123.87	41.85	7/23-7/27	本溪 Benxi	124.10	41.26	7/23-7/27
鞍山 Anshan	123.00	41.09	7/23-7/27	营口 Yingkou	122.25	40.69	7/23-7/27
清原 Qingyuan	124.91	42.09	7/23-7/27				

对于进入海域的轨迹终点,以轨迹终点的位置为起点,以终止时刻为起始时间,重新运行程序计算轨迹,确定跨海之后到达我国东部地区的位置以及时间(芦芳等,2013)。整个越海过程需要的时间包括两部分:(1)进入海域的轨迹终点重新计算轨迹之前已经历的时间,即粘虫起飞时刻到降落时刻所经历的9 h;(2)重新计算的轨迹所经历的时间。

降水对粘虫迫降的影响:结合WRF模式输出的逐时降雨量,当轨迹点所在位置的1 h累积降雨量大于2.5 mm时,中止轨迹。

2 结果与分析

2.1 1980年东北2代粘虫发生情况

1980年吉林1代粘虫中等偏轻发生,辽宁1

代粘虫轻发生,而黑龙江1代粘虫严重发生。但2代粘虫(全国3代)黑龙江极轻微发生,吉林和辽宁两省却大发生,两省发生面积均达26.67万 hm^2 以上,发生程度4~5级。

1980年用杨树把诱蛾东北2代粘虫成虫始见期在7月中旬,吉林省的北部及以北地区和西部平原地区略早于南部及东部丘陵和山地。最早出现的是哈尔滨(黑龙江省农科院),该站7月10日即诱到1头雌蛾,最迟出现的是伊通和东辽,此两地都是7月20日才诱到粘虫蛾。诱蛾高峰日在7月20至31日之间。各省之间,黑龙江的站点比吉林、辽宁两省站点略早,辽宁与吉林之间差别不明显,吉林省西北部平原区略早于东部山地丘陵。黑龙江合江高峰日出现最早(7月20日),最迟高峰日(7月31日)出现在吉林省东南部(表2)。

表2 1980年7月下旬东北地区粘虫诱蛾情况(杨树把)

Table 2 The poplar branch trap catches of *Mythimna separata* in northeastern China in late July, 1980

地点 Location	纬度(°) Latitude	经度(°) Longitude	始见期 Appearance day	高峰日 Peak day	高峰日蛾量 Catches on peak day	总蛾量 Total catches	连续最多5 d Pentad days with max catches
合江 Hejiang	46.82	130.28	7/16	7/20	238	568	7/19-7/23
哈尔滨 Harbin	45.75	126.77	7/10	7/21	543	1 374	7/18-7/22
大安 Daan	45.50	124.27	7/17	7/25	318	831	7/23-7/27
洮安 Taoan	45.67	122.82	7/16	7/21	483	914	7/18-7/22
通榆 Tongyu	44.78	123.07	7/18	7/21	115	272	7/19-7/23
前郭 Qianguo	45.12	124.83	7/15	7/27	40	158	7/24-7/28
梨树 Lishu	43.35	124.30	7/15	7/31	65	292	7/31-8/04
伊通 Yitong	43.35	125.28	7/20	7/31	56	171	7/28-8/01
公主岭 Gongzhuling	43.50	124.80	7/15	7/22	112	364	7/21-7/25
东辽 Dongliao	42.95	124.95	7/20	7/29	104	331	7/27-7/25
榆树 Yushu	44.83	126.53	7/17	7/23	285	1 111	7/21-7/25
农安 Nongan	44.42	125.17	7/15	7/21	319	1 105	7/21-7/25
九台 Jiutai	44.10	125.80	7/15	7/21	225	514	7/19-7/23
长春 Changchun	43.90	125.22	7/17	7/23	148	480	7/22-7/26
锦州 Jinzhou	41.13	121.02	7/16	7/26	49	299	7/23-7/27
大连, Dalian	39.42	121.00	7/15	7/24	35	208	7/23-7/27

2.2 轨迹分析结果

所得轨迹不同地区表现出较大的差异。黑龙江各站 19、20 日的轨迹都是向北，然后折向西南；21 日轨迹三江平原各站轨迹向北，然后折向南，其他各站均是向西南。22、23 日的轨迹均向西南。总体来看，黑龙江所有轨迹最终都是朝向西南方向，到达吉林，或经过吉林最终到达内蒙古和辽宁。辽宁不同起始时间的轨迹变化较大，23—25 日的轨迹多向北作回旋，但最终大多数折向南方，进入渤海和黄海。26、27 日轨迹基本都是朝向南方。吉林的轨迹变化更多，18—21 日的轨迹向北进入黑龙江，然后折回吉林，最后进入内蒙古、辽宁和河北。23—26 日则是朝南，27 日起都朝向北方（图 1）。

所有计算的 430 条轨迹中，第 5 天有效轨迹仍然有 227 条（64.42%）。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 16 个，占总有效落点的 31.04%）。无效轨迹主要是由于进入海域被迫终止，占 95.73%（157/164）（表 3）。

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 1 538 个有效轨迹落点（表 3）。这些轨迹落点主要分布于辽宁、吉林、内蒙古境内（图 2：A）。

在不考虑风向和风速以外的其它天气条件下，430 条轨迹中，除了 65 条轨迹第 1 天便进入海域外，365 条轨迹都产生了有效的轨迹落点。最终落点的分布主要集中在大兴安岭高山区及其西面大片地区（区域 III）、东北平原区（区域 VII），两个区域共计 312 条，占 85.48%。有 21 条轨迹进入了我国东部地区（区域 VI），占有效轨迹的 5.75%，主要集中河北北部、北京、天津等区域（表 4）。这 21 条轨迹主要来自辽宁境内，部分来自黑龙江和吉林。

但若考虑降水迫降作用，367 条轨迹有产生有效轨迹落点，仅有 4 条轨迹进入我国东部地区，仅占有效轨迹数的 1.09%。大多数轨迹仍然以大兴安岭高山区及其西面大片地区（区域 III）和东北平原区（区域 VII）最多，共计 332 条，占 90.46%（图 3：A）。

在不考虑风向和风速以外的其它天气条件下，被迫中止的轨迹总计 164 条，其中 157 条轨迹是由于进入海域而中止的，占 95.73%（表 4）。所有进入海域的轨迹都进入渤海和黄海，没有进入其它区域的（图 2：B~D）。若以进入海域的落点为起点，继续顺推轨迹，157 条轨迹中，有 156 条轨迹都能跨海到达陆地（图 3：B），并且有 71 条轨迹能够到达我国东部地区（区域 VI），主要落在山东、河北沿海地区。71 条轨迹中，历时 18 h、19~24 h 的轨迹，分别有 15、48 条。

表 3 1980 年 7 月下旬东北粘虫 1 代成虫顺推轨迹概况
Table 3 The forward trajectories of the 1st generation armyworm moths from northeastern China in late July, 1980

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	430	365	365	0	65	65	0	0
2	365	332	329	3	33	33	0	0
3	332	298	293	5	34	32	2	0
4	298	277	276	1	21	19	2	0
5	277	266	259	7	11	8	0	3
总计 Total	1 702	1 538	1 522	16	164	157	4	3

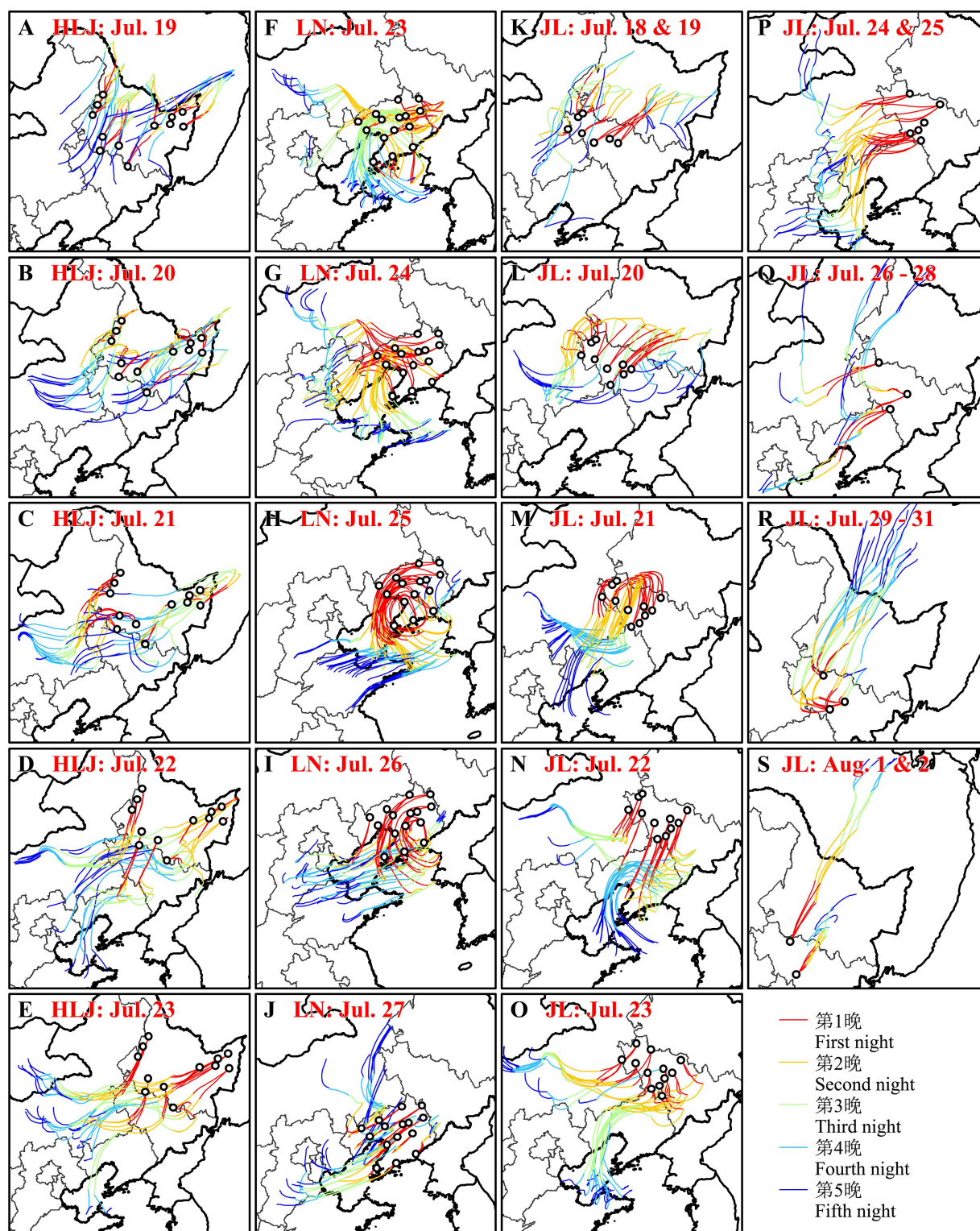


图1 1980年7月下旬东北粘虫1代成虫顺推轨迹

Fig. 1 The forward trajectories of the 1st generation armyworm moths from northeastern China in late July, 1980

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.

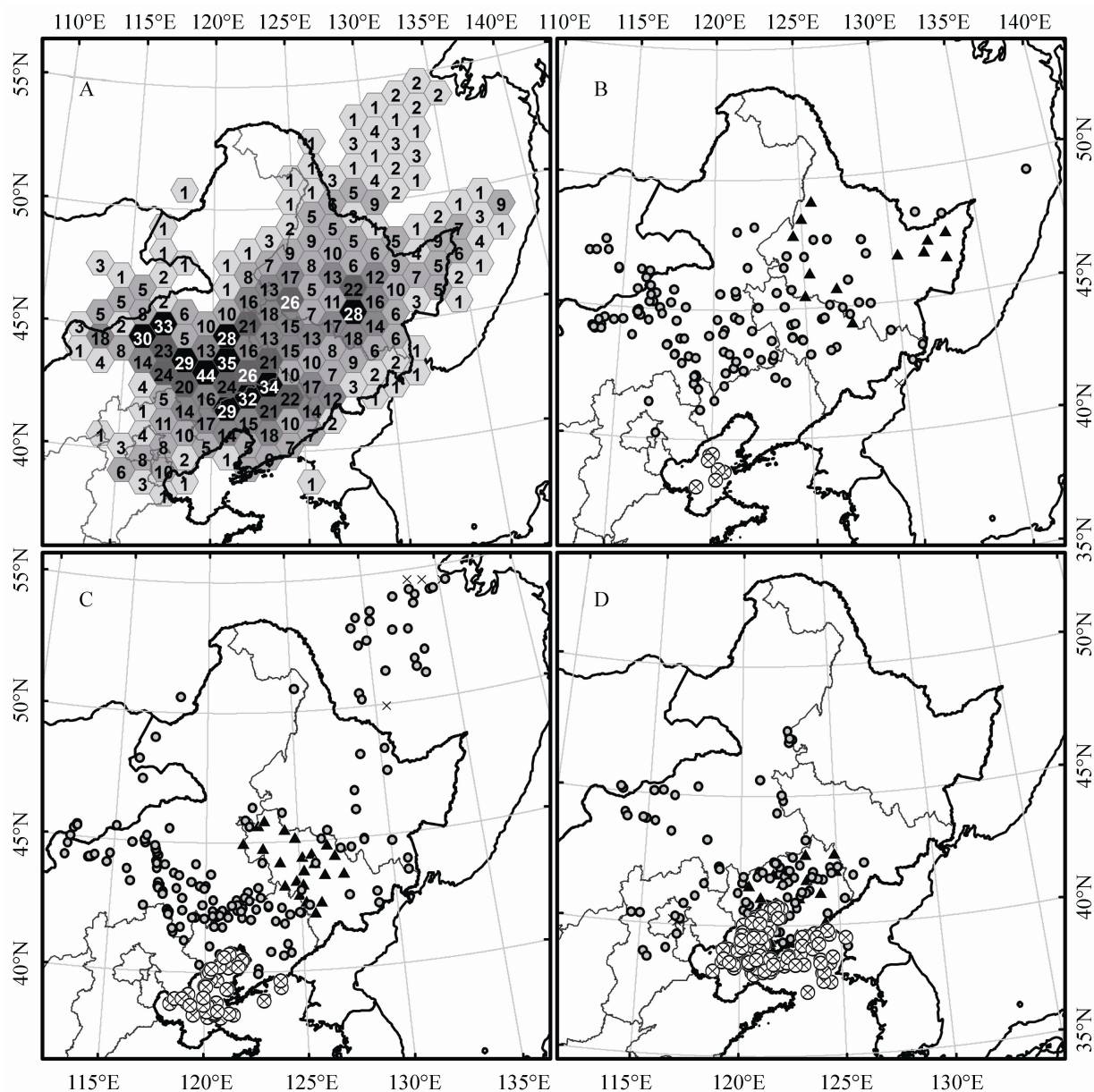


图 2 1980 年 7 月下旬东北粘虫 1 代成虫顺推轨迹终点分布

Fig. 2 The endpoint distribution of the forward trajectories of the 1st generation armyworm moths from the Northeast China in late July, 1980

A. 所有有效轨迹点的分布; 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。每个正六边形网格的面积为 10 000 km²。

A. The distribution of all valid endpoints; 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. The area of each hexagon was 10 000 km².

但 53.97% 的轨迹是第 3 次及以上的飞行,即在跨海迁飞前已经历 2 个或以上夜晚的飞行。历时 ≤ 24 h, 并且是第 1 个或第 2 个晚上飞行的轨迹有 29 条, 其中吉林 5 条, 辽宁 24 条(表 5)。

综合上述分析结果,在不考虑风向和风速以外的其它条件,能够进入我国东部地区的有 92 条轨迹,包括 21 条计算正常的轨迹和 71 条跨海的轨迹,占 430 条轨迹的 21.40%。但若考虑降水、跨海飞行所需时间,仅有 33 条轨迹,占 7.67%。

黑龙江省 60 个分析日所得的 120 条轨迹,有 63 条推到大兴安岭高山区及其西面大片地区(区域 III),51 条仍在东北境内,主要集中在吉林境内,迁入我国东部地区的有 4 条。吉林省所得的 156 条轨迹中,有 68 条推到大兴安岭高

山区及其西面大片地区(区域 III),57 条轨迹留在东北境内,但以辽宁居多,有 5 条轨迹进入我国东部地区。而辽宁省分析所得的轨迹多数(107 条)最终落入海里,占总数的 71.33%。进入海域之前的轨迹以及没有进入海域的轨迹,大多数落在辽宁省境内,有 12 条抵达我国东部地区(表 4)。

2.3 迁飞过程天气分析

1980 年夏季北半球极区低压偏强,7 月份平均 500 hPa 上极涡中心位置偏向于北美,高纬度的 4 个长波槽中,西亚和美洲东岸的长波槽较常年位置偏西 10~15 个经度;伊朗高压和远东至鄂霍次克海高压稳定,势力比常年偏强;中纬度亚洲东部主槽与常年相比偏东了 15 个经度左右,朝鲜至日本地区多低压活动。

表 4 1980 年 7 月下旬东北粘虫 1 代成虫顺推轨迹最终去向分布

Table 4 The endpoints distribution of the forward trajectories of the 1st generation armyworm moths from northeastern China in late July, 1980

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 Overrange
I	5	2	3	0	0	0	0	0
II	0	0	0	0	137	137	0	0
III	146	62	68	16	0	0	0	0
IV	22	0	22	0	2	0	0	2
V	2	1	1	0	1	0	0	1
VI	21	4	5	12	2	0	2	0
VII	166	51	57	58	20	19	1	0
VIII	3	0	0	3	2	1	1	0
合计 Total	365	120	156	89	164	157	4	3

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。

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.

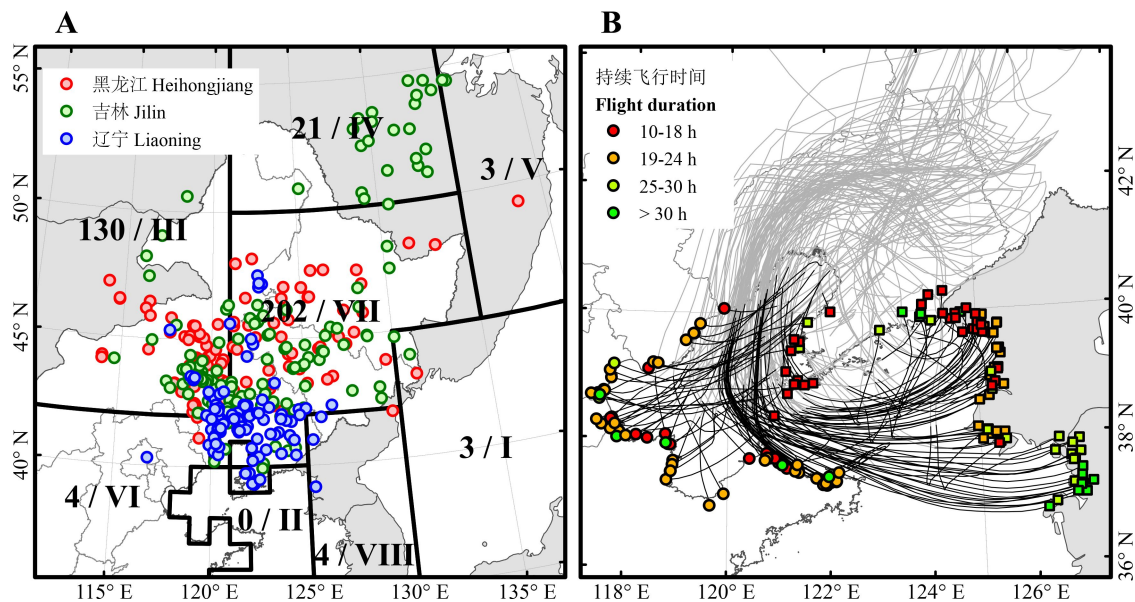


图 3 1980 年 7 月下旬东北粘虫 1 代成虫顺推轨迹最终去向分布
Fig. 3 The endpoints distribution of the forward trajectories of the 1st generation armyworm moths from northeastern China in late July, 1980

A.考虑降水影响后的轨迹点分布; B.跨海轨迹的落点分布。图 A 可能的降落区分为 8 个区(表 4), 每个区用罗马数字标识, 阿拉伯数字表示轨迹点点数; B 中(●)表示到达我国东部地区的轨迹点, (■)表示未能到达我国东部地区的轨迹点, 主要到达朝鲜半岛。黑色实线表示重新计算的跨海轨迹, 灰色实线表示跨海轨迹之前的轨迹。

A of all valid trajectories after excluding rainfall effect; B of the trajectories across sea. In A, the likely destination of trajectories were divided into 8 regions (Table 4), each region labelled with Roman numeral, and the number of endpoints in each region labelled with Arabic numerals. In B, '●' presents the endpoints arrived in eastern China, '■' presents the endpoints reached to other regions, mainly located in Korean Peninsula. The black solid lines present the recalculated trajectories across sea, and the gray solid lines present the trajectories before recalculated.

表 5 越海到达山东和河北的顺推轨迹
Table 5 The trajectories that arrived in Shandong and Hebei Provinces in China across the sea in July, 1980

轨迹持续时间 (h) Duration (h)	合计 Total	越海迁飞前已计算的夜晚数 Nights before across sea		
		0	1	2-4
18	15	1	6	8
19-24	48	14	8	26
>24	8	4	1	3

亚洲东部大槽 4、5 月份势力即比较强, 到 6 月份大槽转呈不同趋势, 一度较弱, 而乌拉尔到巴尔喀什湖一带的大低压槽不断发展。从 7 月 21 日到 8 月 31 日乌拉尔山附近的长波槽位置稳定, 且势力愈益发展加强, 成为北半球中、高纬度地区最深广的一个大槽。同时, 亚洲东部大槽

的南段又复加强, 转回原来的趋势, 影响到从日本海到我国的黄海一带; 在亚洲出现了稳定的阻塞形势, 主要高压中心常在贝加尔湖附近及苏联东部地区活动, 势力十分强盛, 影响了 40°N 以北的亚洲大部分地区, 7 月下旬到 8 月底贝加尔湖以北的东亚地区就有 5 次阻塞高压活动过程。

乌拉尔大槽以东,西伯利亚及我国黑龙江一带,经常为高压脊所在。乌拉尔大槽南部的西风急流,至西伯利亚东部高压附近,分为两支:一支沿槽底向东南延伸,一支绕此高压西北向北流去。东北、华北地区处于两支峰区间的弱峰区,常年为高压坝活动区。这样,在我国华北一带,经常出现一种气流自西向东扇形辐散的形势。

西太平洋副热带高压呈纬向型,势力强盛,脊线稳定偏南,7月,副热带高压脊线南北摆动较大,月平均位置为 24°N ,较常年偏南1.4个纬度,8月偏南尤其显著,月平均位置在 21°N ,比常年偏南了7.4个纬度。整个夏季,脊线始终没有稳定超过 30°N 。加之中、高纬度多阻塞过程,朝鲜、日本一带常为稳定的切断低压活动地区,使西风带锋区明显地分为两支, $30\sim 35^{\circ}\text{N}$ 的锋区位置偏南,势力强,常常盛行较强的纬向西风(图4)。

2.3.1 7月16日—20日 整个7月下半月,低压和冷涡频繁从东北上空过境(图5)。16日—20日,西太平洋副热带高压中心处于 $135^{\circ}\text{E } 30^{\circ}\text{N}$ 附近,东亚大槽东移南下,蒙古低压及相应的低压槽从东北过境,影响到下层的环流和天气(图4:A)。850 hPa等压面上,除相应位置存在一低压槽外,在鄂霍次克海和黄海附近还分别存在两高压,并随着蒙古低压槽的东移过境也逐渐东移瓦解;同时,由于低压的过境和东北地形的作用,在东北中部生成一弱低压。因此,东北地区风向变化迅速,大部分地区风向经历了由西南风转变为南风,再变为西北甚至东北、北风的过程。19日哈尔滨附近有一弱低压生成(图4:A,图5:A),20日在吉林东部出现切变(图5:B)。19日、20日东北大部分地区出现弱降雨天气(图6:A)。19日黑龙江开始进入诱蛾高峰期,黑龙江及吉林该日开始的前推轨迹本候内均径直往北,但随后即折回往南(图1:A,B,K,I)。

2.3.2 7月21日—25日 本候一冷涡自西往东从东北过境。21日贝加尔湖阻塞高压形成,蒙古低压发展成冷涡,并经东北向东快速移动。23日冷涡中心到达锡霍特山脉附近,在此稳定并与东北低压合并加强,直到25日才渐渐崩溃(图

4:B)。在此影响下,与上候相似,东北大部分地区风向和天气变化激烈。850 hPa等压面上22日低压中心从吉林过境,25日渤海附近生成一低压对当日东北环流起着主要作用(图5:C~G)。地面21日、22日吉林和辽宁处于冷锋区,24、25日辽宁处于暖锋区。21日东北大部分地区出现少量降水(图6:B),22日辽宁和吉林中部平原地区产生中到大雨,24、25日辽宁出现中到大雨(图6:C)。

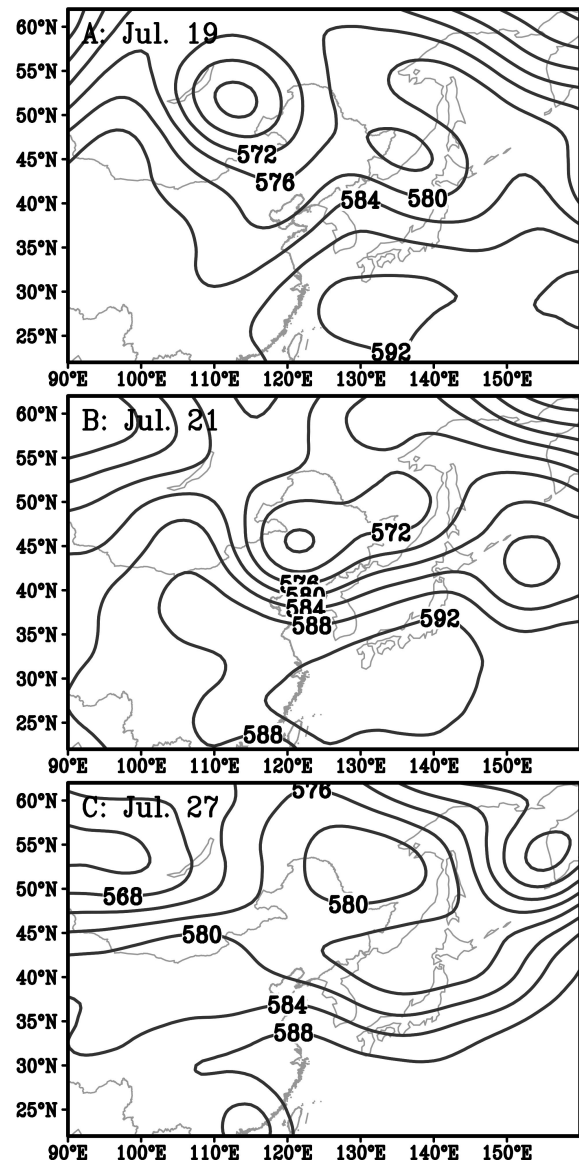


图4 1980年7月19、21、27日20:00我国东部地区500 hPa高度场

Fig. 4 Geopotential height contour on 500 hPa in eastern China at 20:00 on the 19th, 21st and 27th of July, 1980

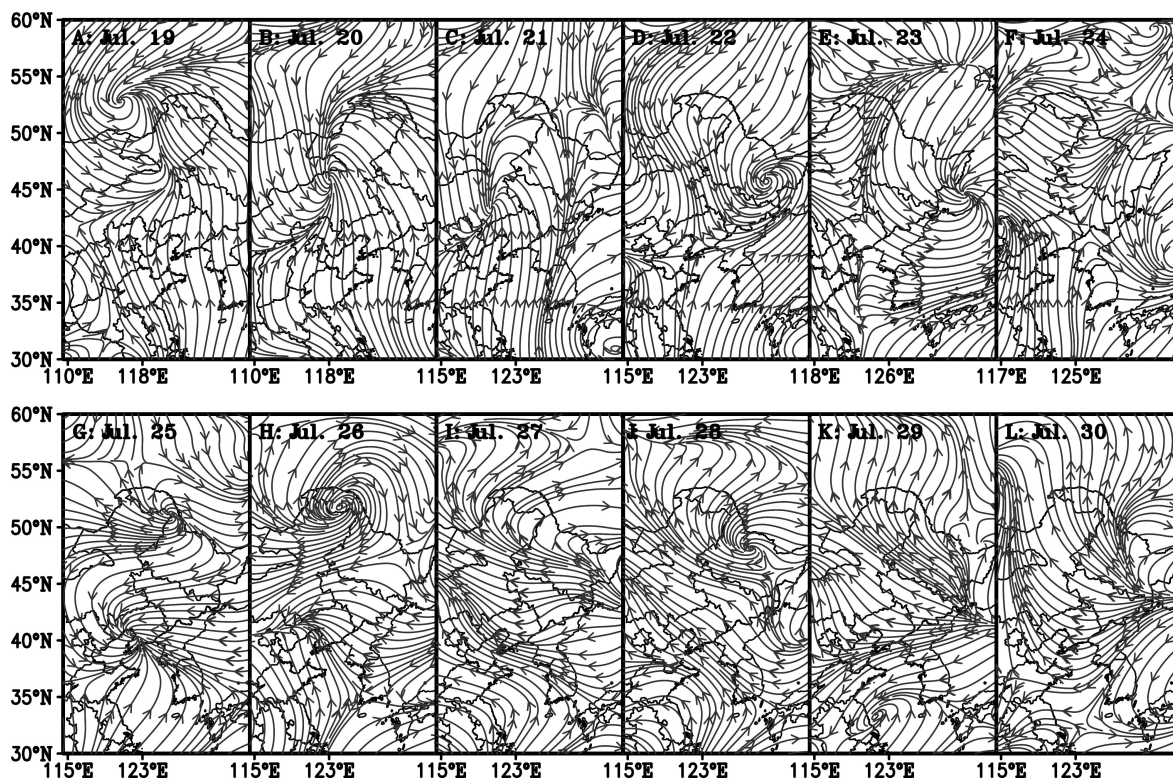


图 5 1980 年 7 月 19—30 日 20:00 东北三省 850 hPa 流场图

Fig. 5 Wind streamlines on 850 hPa in northeastern China at 20:00 from the 19th to 30th of July, 1980

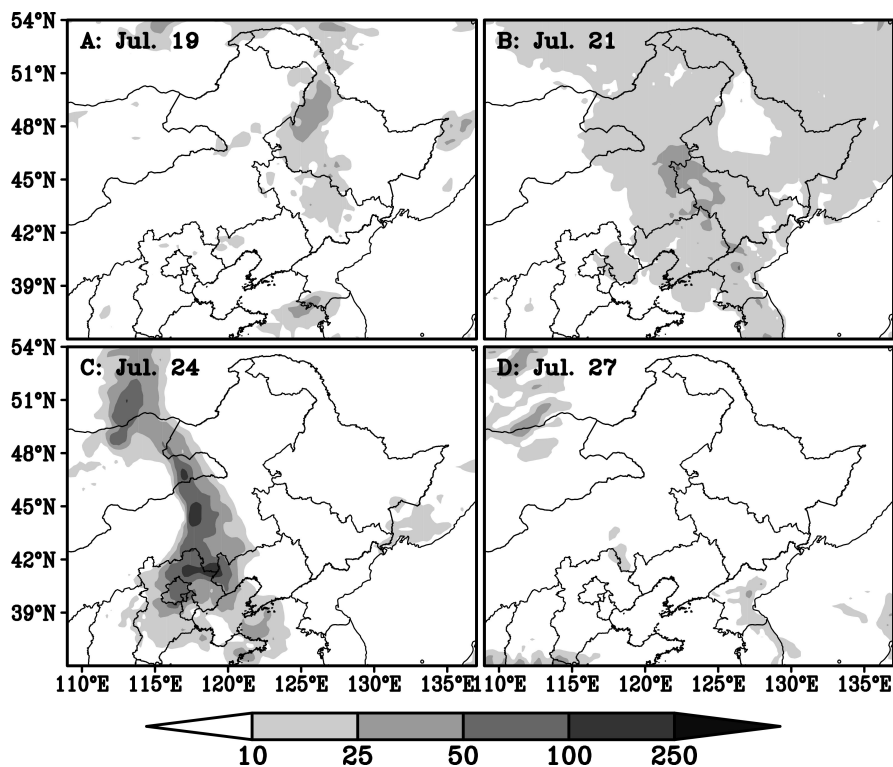


图 6 1980 年我国东北三省 7 月 19、21、24 和 27 日模拟日降水量

Fig. 6 The simulated daily precipitation in northeastern China on the 19th, 21st, 24th and 27th of July, 1980

本候内,黑龙江省仍处在发蛾高峰期,吉林大部分地区也在本候达到发蛾高峰期。如黑龙江省合江农科所 19 日以前 10 束杨树把日诱蛾都在 10 头以下,19 日剧增到 83 头,20 日诱到 238 头,21 日诱到 152 头,21 日以后又剧减到 20 头以下。同时,哈尔滨、吉林洮安、通榆站农安以及九台等 5 个站点日诱蛾量在 21 日达到高峰。本候内轨迹,黑龙江三江平原迁出的 21 日均向东北前进,然后折向西南方向(图 1:C),22、23 日均向南再折回向西偏北方向至大兴安岭及以西(图 1:E),大部分先往南经一、两天到达吉林或往东南方向迁出后又折回到吉林(图 1:E)。吉林省大部分地区 21 日推出的轨迹产生回旋,前一、两天仍停留在吉林省境内,最后南下进入渤海或向西进入内蒙古境内(图 1:M)。22 日后迁出的则往西到达大兴安岭或南下入渤海(图 1:N,O)。辽宁省 23—25 日由于受东北气旋影响,迁出轨迹在辽宁境内回旋,但最终都迁入黄海和渤海(图 1:F~H)。

2.3.3 7月26日—31日 本候雅库茨克阻塞高压稳定维持,蒙古附近又有一低压从东北过境,东北天气变化复杂。25 日雅库茨克高压在斯塔诺夫山脉形成阻塞之势,受其影响鄂霍次克切断低压形成。与此同时,蒙古低压及其低压槽径直向东从东北中南部过境,随后被一高压代替,27 日雅库茨克高压中心抵达东北中部平原,对东北环流形成控制之势(图 4:C)。从 850 hPa 来看,自 25 日起黑龙江被一高压控制。蒙古低压由通辽附近进入东北,并逐渐减弱(图 5:G~I)。低压中心及其低压槽所经之处均引起中到大的降雨。如 25、26 日吉林和辽宁全部、内蒙东部产生中到大的降雨,27 日降雨之势减弱(图 6:D)。

此期间辽宁省仍处于粘虫蛾羽化高峰期,吉林省也还有几个站点日诱蛾量达到高峰,但蛾量都不多。轨迹分析表明,辽宁省迁出的粘虫全部直向南方,除少部分跨越渤海湾到达山东等地外,大部分掉入海域(图 1:I,J)。吉林省的几个站点推出的轨迹逐夜变化较大,方向依次为西南、西、东北(图 1:M,N)。

2.3.4 8月1日—5日 到这一候三省的诱蛾高峰基本已过,吉林省个别地方出现小高峰,对吉林榆树、扶余两站进行轨迹分析,轨迹均向北直进(图 1:R,S)。

2.4 吉林省 2 代粘虫虫源分析

1980 年吉林省 2 代(全国 3 代)粘虫除辽源地区外其它地方均大发生。各地区盛蛾期逐日诱蛾资料表明,长春、白城地区的诱蛾高峰出现在 7 月 5 候,高峰期诱蛾量大。高峰后,在 7 月底的 2~3 d 内诱蛾量又有所增加,多数站点单日虫量达 30 至 40 头,多者达到 60 多头。四平地区多数站点的诱蛾量都不大,从整体看,7 月 21 日开始直到 8 月初虫量处于同一水平,很少变化。吉林地区各站的诱蛾量都很少,整个发蛾期的总诱蛾量最多的也不超过 250 头,7 月 27 日以前只是零星地诱到几头(图 7)。

根据迁飞昆虫的一般规律,若雌蛾卵巢发育级率以低级别为主,则这段时间内蛾子是本地虫源以迁出为主;若雌蛾卵巢发育级率以高级别为主,则这段时间内蛾子是以外地迁入为主或是滞留的本地虫源。根据当年的解剖资料(表 6),长春地区九台县农业站和吉林省病虫测报站从 7 月 22 日至 7 月 27 日,以一级为主,而 7 月 28 日到 8 月 2 日 2 级以上的为主。由此可以推断,7 月 22 日至 27 日是本地羽化的虫源,羽化后立即迁出。轨迹分析结果表明,吉林省的乾安、长岭、大安、镇赉、洮安、通榆、长春、九台县、农安、榆树、东辽、伊通、公主岭、梨树等站点均有数天的前推轨迹最终又回到吉林(图 1:K~M)。到达日期集中在 7 月 23—25 日几天内。根据以上天气分析,吉林省处于风向切变地带;19—23 日间吉林均出现不同程度的降雨(图 6:A,B),导致迁出种群未能成功迁出而滞留。28 日后可能是本地虫源(19—23 日间未能成功迁出的)也可能是外地迁入虫源(由黑龙江南迁而来),且这部分粘虫很大程度上将在当地存留,而不是迁出。

综合以上分析,1980 年吉林省 1 代粘虫在 7 月中下旬达到羽化高峰,羽化后大量外迁,但迁

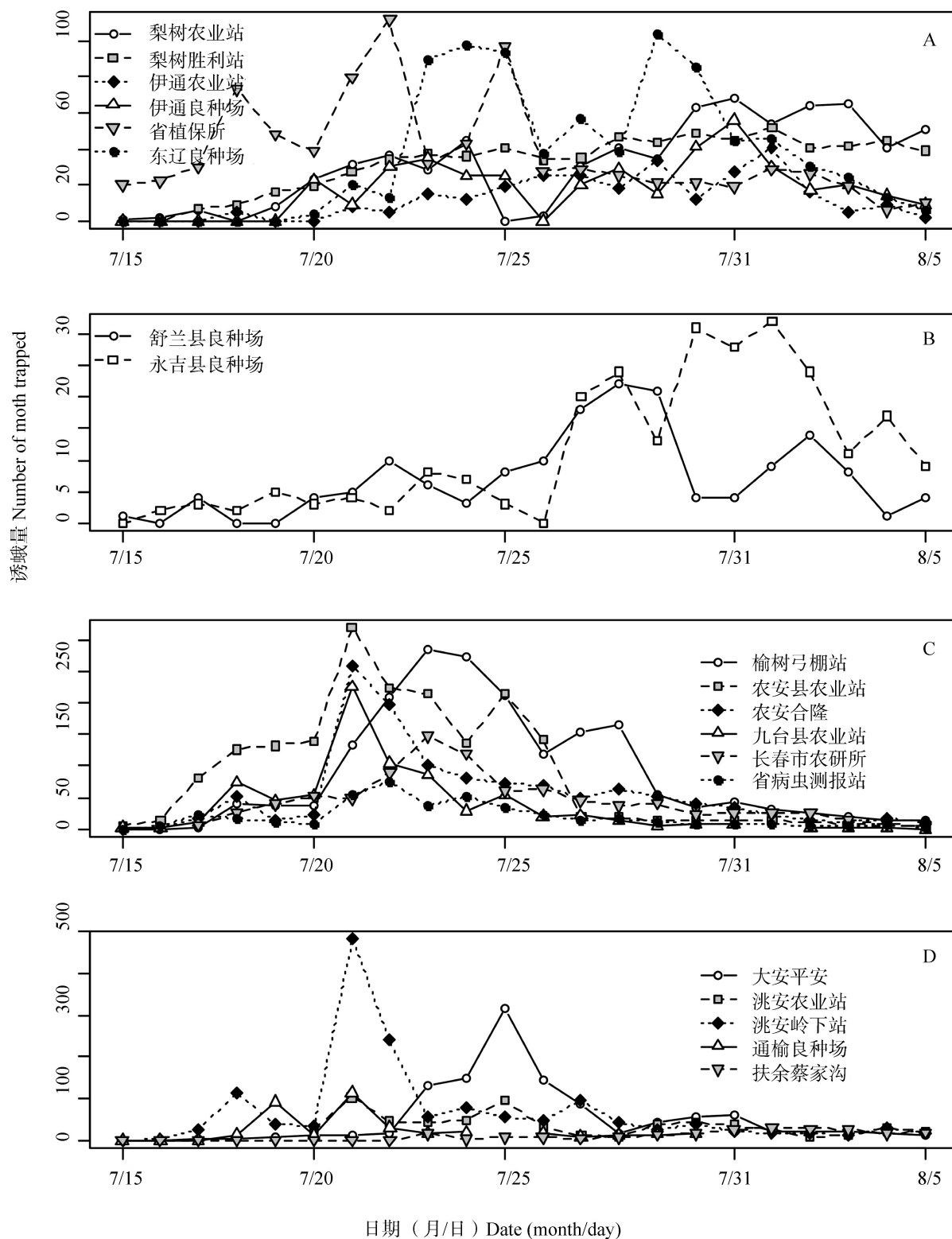


图 7 吉林省 1980 年 7 月 15 日至 8 月 5 日粘虫逐日诱蛾量

Fig. 7 Daily poplar branch trap catches of *Mythimna separata* in Jilin Province from July 15 to August 5, 1980

A. 四平市 Siping City ; B. 吉林市 Jilin City ; C. 长春市 Changchun City ; D. 白城市 Baicheng City.

表 6 1980 年吉林省 1 代粘虫蛾卵巢发育级率 (%)

Table 6 Ovarian development of the 1st generation moths of *Mythimna separata* in Jilin Province, 1980 (%)

站点 Station	7 月 22 日—27 日 July 22-27				7 月 28 日—8 月 2 日 July 28-August 2			
	I	II & III	IV	V	I	II & III	IV	V
九台县农业站 Jiutai	78.33	18.13	3.54	0.00	26.20	37.60	36.20	0.00
吉林省病虫测报站 Jilin1	53.55	44.40	2.05	0.00	22.50	51.50	15.80	10.15
吉林县农业站 Jilin2	87.93	12.07	0.00	0.00	53.53	46.47	0.00	0.00

出后又随着气流在 7 月下旬至 8 月初这段时间内迁回吉林。另外，黑龙江羽化的部分成虫南迁，也在这段时间内抵达吉林。而这期间内吉林的天气现象有利于迁入的粘虫蛾在吉林停留和繁殖。因此，这部分粘虫蛾可能就是造成吉林 2 代大发生的主要虫源。

3 结论与讨论

通过对 1980 年东北 2 代粘虫发生动态和迁飞过程的分析，明确吉林省 1 代粘虫蛾盛期受东北气旋降水的影响，1 代成虫无法成功外迁而滞留，加之黑龙江粘虫向南迁飞亦到达吉林遇雨降落，最终导致当年吉林 2 代粘虫的暴发。虽然当年 2 代粘虫多数不能迁回我国华北 3 代粘虫发生区，但辽宁省仍有一定比例的轨迹能够跨海进入山东、河北。

1978 年东北 2 代粘虫无法迁出东北，而向北迁飞，多在黑龙江境内降落，从而造成当年黑龙江大暴发（胡高等，2014）。2012 年也是无法迁出东北，大多在吉林、辽宁省聚集降落，从而造成吉林、辽宁两省粘虫大暴发（张云慧等，2012）。然而本文轨迹分析结果表明，1980 年 2 代粘虫东北三省均有可能实现向南迁飞，到达河北、山东等地。在仅考虑风向、风速的情况下，有 21.40% 的轨迹可以迁出关外。但是考虑降水和跨海所需要的时间，其可能性降至 7.67%。降水对迁飞性昆虫有迫降作用是肯定的。但是否在雨中继续迁飞，或者在小雨中继续迁飞，尚没有明确结论。本文人为设定 >2.5 mm 的每小时降雨量，即中雨及以上雨量导致粘虫迫降，该阈值

需要进一步实验进行确定。再者，跨海迁飞的成功率为多少，这一点也不能完全确定。张志涛和李光博（1985）曾用飞行磨连续吊飞粘虫 24 h，13.0%（27/208）的个体可连续飞行 24 h；吊飞 72 h，最多可连续飞行 41.42 h。因此，粘虫完全有能力跨海由辽宁进入山东。飞行磨测试的飞行能力与风载飞行能力两者可能是完全不一样的。风载飞行时，虽然需要保持振翅来维持飞行高度，但可以依据风速大小来进行调整，优化飞行行为，减少能量损耗，因此，持续飞行时间可能远长于吊飞试验结果。

本文仅根据蛾盛期来进行轨迹分析，然而除了吉林省有卵巢解剖资料加以判定种群性质以外，黑龙江和辽宁两省未能判断。从蛾盛期的早晚来看，黑龙江略早，在 20—21 日前后；吉林省有两个峰期，前峰在 21 日前后，后峰在 25—27 日；辽宁峰期在 24—26 日。从吉林省的解剖结果来看，前峰卵剿以低级别为主，表明为本地种群；后峰高级别卵巢占有较大比例，表明本地种群滞留或外地种群迁入。东北境内生境较统一，气候差异不大，春季迁入时应是先南后北，先辽宁、吉林然后黑龙江，从发育进度来看，南部温度高于北部，也应是先南后北，因此，黑龙江的蛾盛期应该迟于吉林、辽宁，或者时间上一致。由此可推测，黑龙江发蛾峰应为迁出峰；吉林前峰为迁出峰，后峰为迁入峰，而辽宁发蛾峰为迁入峰。若是如此，随着迁飞距离的延长，那么 1980 年迁出粘虫能够跨海迁飞成功进入我国东部地区的可能性更小。卵巢解剖资料能够很好的解决种群性质的问题（齐国君等，2011）。因此，

未来研究应考虑利用卵巢解剖数据来判定种群性质, 提高分析结论的精确度。

本文研究表明, 由于东北气旋带来降水影响导致吉林省粘虫滞留本地而不能成功外迁。东北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; 周琳, 1991)。1978、2012 年两个个例也表明, 东北气旋是影响东北粘虫去留和迁飞方向最重要的天气系统。对比分析 1978、1980 和 2012 年, 1978 年 7 月下旬由于副热带高压位置偏北, 气旋主要位于黑龙江中北部, 并向东北方向移动, 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, 黑龙江境内丰富的降水导致粘虫主要在黑龙江境内滞留(胡高等, 2014); 1980 年 7 月第 5 候副热带高压位置偏南, 气旋活动位于吉林、辽宁交界处, 自西向东移动, 导致黑龙江境内粘虫在东北气流影响下向南迁飞, 而吉林境内受降水影响造成粘虫滞留本地; 2012 年 7 月下旬气旋活动位置偏南, 位于黑龙江、吉林交界处, 吉林普降大雨, 粘虫大发生以吉林最为严重(张云慧等, 2012)。因此, 气旋活动位置、强度和移动方向, 决定了东北风场和降水分布, 进而影响粘虫迁飞和发生, 最终决定粘虫种群暴发的程度和区域。

虽然粘虫的去留是东北 2 代粘虫大发生的一个关键因子, 但是种群存留量的大小与 1 代粘虫的种群增殖倍数有关。1980 年东北地区 1 代粘虫黑龙江大发生, 吉林和辽宁两省 1 代中等发生, 为当年 2 代粘虫大发生积累了基数。同样, 2012 年粘虫在东北、华北大发生也是前期粘虫逐代积累(张云慧等, 2012)。同时, 东北 2 代粘虫大发生种群数量还取决于存留成虫蛾的繁殖量和子代的存活率。因此, 种群增殖倍数也是关键因子。粘虫“喜凉好湿”, 温度、湿度对粘虫种群增长, 包括成虫寿命和产卵以及卵、幼虫、蛹的存活, 都至关重要(金翠霞, 1979)。田间湿度大、郁闭的麦田粘虫发生重(李光博等,

1963)。2012 年 7 月下旬我国华北和东北地区平均气温比往年同期偏低 1~2℃, 降水量比往年同期明显偏多, 是当年粘虫大发生的一个前提条件(张云慧等, 2012)。

综上所述, 1980 年吉林省粘虫大发生的前提条件是 1 代粘虫数量大, 尤其是虫源地黑龙江 1 代粘虫大发生, 为 2 代粘虫提供了大量的迁入虫源; 同时, 连续的强降水使吉林省粘虫 1 代成虫无法成功外迁而滞留本地, 与遇雨受阻的迁入粘虫一起构成了大发生种群形成的基础。

参考文献 (References)

- 董大璽, 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]
- 胡高, 武向文, 吴秋琳, 姜玉英, 2014. 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 Gao, Wu XW, Wu QL, Jiang YY, 2014. Outbreak mechanism of second generation armyworms in northeastern China: A case study in 1978. Chinese Journal of Applied Entomology, 51(4): 927-942].
- 金翠霞, 1979. 粘虫发生数量与降雨量及相对湿度的关系. 昆虫学报, 22(4): 404-412. [Jin CX, 1979. The relation of population dynamics of the armyworm *Leucania separata* Walker to relative humidity and rainfall. Acta Entomologica Sinica, 22(4): 404-412]
- 李光博, 王鸿, 赵圣菊, 曹淑琴, 林振友, 1963. 麦田小气候对第一代粘虫发生数量影响的研究. 植物保护学报, 2(1): 57-62. [Li GB, Wang H, Zhao SJ, Cao SQ, Lin ZY, 1963. The effects of micro-climate on population of armyworm in wheat. Journal of Plant Protection, 2(1): 57-62]
- 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. 245. [Li Z, Qi CL, Lin SC, 1993. The natural geography of Northeast China. Beijing: High Education Press, 245].
- 林善昌, 1990. 粘虫生理生态学. 北京: 北京大学出版社. 526. [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.]
- 齐国君, 芦芳, 胡高, 王凤英, 高燕, 吕利华, 2011. 卵巢解剖在

- 我国迁飞昆虫研究中的应用. 中国植保导刊, 31(7): 18-22. [Qi GJ, Lu F, Hu G, Wang FY, Gao Y, Lv LH, 2011. The application of ovarian dissection in the research on migratory insects in China. *China Plant Protection*, 31(7): 18-22.]
- 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. [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].
- 谢为民, 陈瑞鹿, 岳宗岱, 1984. 吉林省2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].
- 翟保平, 2010. 农作物病虫测报学的发展与展望. 植物保护, 36(4): 10-15. [Zhai BP, 2010. Progress and perspectives of crop pest forecasting in China. *Plant Protection*, 36(4): 10-15.]
- 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.]
- 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 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): 93-99. [Zhang ZT, Li GB, 1985. The migration and biological characteristics of armyworm. *Journal of Plant Protection*, 12(2): 93-99].
- 周琳, 1991. 东北气候. 北京: 气象出版社. 366. [Zhou L, 1991. The climate in Northeast China. Beijing: Climate Press].