

2002 年我国华北三代粘虫大发生的虫源分析

潘 蕾, 翟保平*

(南京农业大学昆虫学系, 农业部病虫害监测与治理重点开放实验室, 南京 210095)

摘要: 华北平原地区三代粘虫的大发生是一小概率事件, 对其虫源问题尚无确切回答。应用 HYSPLIT 4.8 轨迹分析平台对 2002 年华北平原地区三代粘虫主要迁入峰期进行轨迹回推以确定此次迁入的虫源区, 同时对东北地区虫源在迁出期的去向进行了模拟; 并运用 GrADS 气象图形软件对华北地区和东北地区迁飞期天气学背景和风场的时空分布进行了分析。结果表明: 2002 年华北平原地区大发生的三代粘虫主要虫源来自陕西、山西二省; 东北地区虫源对本次华北平原地区的迁入无影响。

关键词: 三代粘虫; 大发生虫源; 夏季迁飞; 轨迹分析

文章编号: 1000-0933(2009)11-6248-09 中图分类号: Q145 文献标识码: A

Analysis of source population and immigration process of *Mythimna separata* (Walker) caused an outbreak in North China in 2002

PAN Lei, ZHAI Bao-Ping*

Key Laboratory of Pest Monitoring and Management of Plant Diseases and Insect Pests of the Ministry of Agriculture, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6248 ~ 6256.

Abstract: *Mythimna separata* (Walker) occurs almost everywhere in China and especially is one of the important pests of grain crops in north China. As the change of the farming system, *M. separata* population has decreased dramatically since 1980s. However, an outbreak of the third generation armyworm was seen in north China plain in 2002 abruptly, and caused a serious damage to the summer crops in five provinces in north China. In order to confirm the source areas and the migration route of the pest, the weather background during the immigration and distribution of the wind in various places at different time were analyzed and the flight pathways were traced by trajectory analysis. The re-analyzed data of global wind fields at 850hPa were provided by NOAA and ground surface rainfall records were provided by National Weather Bureau of China. Trajectory analysis was performed by using HYSPLIT 4.8 trace analysis platform of NOAA and longitude and latitude of relevant stations were set to starting point. We set one hour before sunrise as starting time of back-trajectories and finishing time of forward-trajectories, and one hour after sunset as starting time of forward-trajectories and finishing time of back-trajectories. Generally, each migration process was analyzed for 5 successive nights. And when the route passed an emigration area or marine coast, the trajectory was stopped and the flight speed of the moths was ignored. The results from trajectory analysis of the pest in north China plain area on July 22, 2002 shows that the third generation of *M. separata* immigrated mainly from Shanxi and Shanxi province. At 18th night July, *M. separata* began to emigrate from resource areas. Their flight routes were closed to the eastward trend of sub-tropical high pressure belt, the southward of mainland high pressure and the southward of cold air marching from the east side of the Qing-Tibet Plateau. After 2 nights' flight of 18th and 19th, immigration population entered Henan and Hebei Province. Then south-east wind and south-west wind of the later 2 days retarded the immigrants to exodus and the barrier of sinking air-flow and rainfall detained the moths in Henan and Hebei. Finally, the pest outbreak occurred in the two provinces.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30571202)

收稿日期: 2008-04-25; 修订日期: 2009-08-18

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

Among the 231 trajectories of the emigration population of *M. separata* in northeastern China from 15th to 25th of July shows that most of them remained in northeastern China (58.5%), some fallen into Bohai Sea or Japanese Sea (15.2%) and the rest passed Sanjiang Plain and further to Far east region of Russia (19.7%) or migrated westward to High Mountain Zone of Great Xing'an Mountain (5.7%), but none could enter to the plain area of North China. The results indicate that the summer population of armyworm in northeastern China, as a victim of Pied Piper effect, could not become the source of the third generation in the plain area of northern China.

Key Words: *Mythimna separata*; outbreak; summer migration; trajectory analysis

粘虫 *Mythimna separata* (Walker) 是我国粮食作物的一种重要的迁飞性害虫,其幼虫食性广、食量大,猖獗暴发时往往造成惨重损失^[1]。20 世纪五六十年代国内对粘虫迁飞的研究已成世界昆虫迁飞研究的经典之作,我国粘虫南北周年往返迁飞的基本规律到 20 世纪 80 年代中期已基本摸清^[2];但是华北三代粘虫的虫源问题一直未被阐明^[3]。1980 年代中期以后我国南方麦区种植面积大幅度减少,国内粘虫的发生为害大大减轻,只在某些年份局地偶发。但在 2002 年,华北地区二代粘虫虽是轻发生,三代粘虫却突然暴发。2002 年 8 月中旬,晋冀鲁豫津近 100 万 hm^2 秋熟作物三代粘虫大暴发,局部地区的作物被吃成了光杆,有些甚至绝收,其发生范围之广、为害程度之重均为历史罕见^[4,5]。

回顾 2002 年全国粘虫的发生情况,二代粘虫在东北、华北、西北和西南大部地区轻发生,仅内蒙通辽、晋中、冀中南和天津等地发生数量较多。其中,通辽市发生 18.53 万 hm^2 ,麦田虫量一般为 200 ~ 300 头/ m^2 ;山西达到防治指标的发生面积 17.33 万 hm^2 ,其中受害较重的有 8.67 万 hm^2 ,主要发生区域为晋中盆地汾河沿岸小麦、玉米主产区以及吕梁、忻州、朔州和北部山区谷子、豌豆主产区。受害玉米田百株虫量 500 头以上,豌豆田有虫 30 ~ 50 头/ m^2 ,麦套玉米田与麦田毗邻的玉米田受害最重,百株虫量 3000 ~ 5000 头。天津局部地区水稻田虫量较高,局部地块百穴有虫 300 头。河北邯郸、沧州、保定等地达中等发生,主要为害夏玉米^[4]。三代粘虫则在黄淮和华北局部大面积暴发。其中受害最重的是河南孟州,发生面积 0.87 万 hm^2 ,严重发生 0.4 万 hm^2 ,玉米田百株虫量平均 1380 头,最高 2700 头;玉米田杂草有虫 50 ~ 60 头/ m^2 ,133.3 hm^2 玉米绝收。三代粘虫在河南焦作、郑州、开封、洛阳、许昌、漯河、平顶山、驻马店等 8 市 27 个县发生面积 15.3 万 hm^2 ,严重发生近 2 万 hm^2 ;此外,山东肥城、滕州和曹县,河北廊坊、沧州和石家庄郊区,天津静海和武清两县以及山西运城和晋城等地的三代粘虫也都达到了大发生水平。甚至渭河平原玉米主产区(宝鸡、咸阳、渭南、铜川等)也发生三代粘虫约 12 万 hm^2 ,虽然百株虫量一般在 5 头以下,但局部偏重至大发生。如华阴市发生 0.11 万 hm^2 ,局部百株虫量 300 ~ 500 头,最高达 5000 头,有 3.33 hm^2 玉米绝收^[5]。

如此大量的大发生种群是如何形成的?它们源自何处?根据国内对粘虫迁飞的研究结果^[1~3],粘虫在我国周年主要有 4 次迁飞,形成 5 次发生区。

(1)第一次迁飞在 3 ~ 4 月份,华南和江南第一次发生区的越冬代虫源北迁迁入长江中下游平原和黄淮平原冬麦区,即 30° ~ 35°N 包括苏皖两省、豫中豫南、鲁南及鄂西北等地区,形成一代常发区(第二次发生区)的虫源。

(2)第二次迁飞在 5 ~ 6 月份,江淮流域一代常发区的成虫羽化后,继续北迁至 39°N 以北各地形成第三次发生区,包括东三省、内蒙东部、冀东冀北和晋中晋北等地,其中主要迁入区在东北平原。另有一部分虫源随风迁入西北地区(陕甘宁)和西南地区(川贵)。

(3)第三次迁飞在 7 ~ 8 月份,第三次发生区的二代成虫羽化后,除少数留在原地繁殖外,大部分向南回迁到 35° ~ 39°N 的海河平原和黄河下游平原,即第四次发生区,包括冀西冀中冀南、鲁西鲁南和豫东豫北等地区,西北地区的二代虫源也会随风迁入这些地区。三代粘虫在这里繁殖危害秋熟作物。

(4)第四次迁飞在 8 ~ 9 月份,第三次发生区的三代成虫羽化后,绝大部分个体继续回迁到 30°N 以南的江南稻区和华南稻区繁殖为害,形成第五次发生区 9 ~ 10 月份间的主害虫源。

在这 4 次大规模迁飞中,各世代发生区的成虫仅做单程外向迁飞,迁入新发生区繁殖后代,不返回原发生区;每一世代的成虫均迁离原发生区,而由新发生区羽化的成虫再做远距离迁飞。比较前两次迁飞的 3 个发生区,其发生范围无论是经度还是纬度,均逐次由南向北扩大且互不重复,使第三次发生区成为常年最大的一次发生区,仅东北和西北两地区,南北跨度达 2000km,东西达 3000 km,而且在发生区之间往往存在相隔离的中转区。只有第三次迁飞,因其虫源区的第三次发生区范围极为广阔且迁飞历期缩短,加上此期优势风向不明显且强度较弱而使迁飞方向较分散、迁飞距离较短,从而形成第三次发生区与第四次发生区之间相互重叠,并使第四次发生区呈点片状分布且迁入区的分布范围年度间变化很大。

可见,2002 年三代粘虫的大发生虫源应来自于分布范围极广的第三次发生区,但究竟是来自东北地区的回迁虫源还是来自西北地区的夏季种群还不得而知。本文根据 2002 年华北地区三代粘虫主要迁入峰期的天气学背景及风场的时空分布,应用轨迹分析方法研究了 2002 年我国北方各地虫源的对应关系,以阐明 2002 年华北地区三代粘虫大发生虫源的形成机制,为三代粘虫暴发的监测预警提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 气象及虫情资料

已有的研究表明,夏季粘虫的迁飞方向与 1500m,即 850hPa 等压面的盛行风向是一致的^[6,7]。因此,选用美国 NOAA 提供的全球风场再分析资料中 850 百帕风场以及国家气象局所提供地面 24h 降水资料。虫情资料采用全国农技中心测报处和河南省植保站所提供的虫情资料以及孟州市测报站逐日灯下诱蛾量。

1.2 大气环流背景分析

根据 NOAA 的再分析资料,逐日分析粘虫迁飞过程中相关地区上空的大气环流特征和天气状况。

1.3 轨迹分析

(1)轨迹分析程序 应用 NOAA 的 HYSPLIT 4.8 轨迹分析平台。对华北地区迁入事件进行回推分析,并对东北地区有无可能成为本次迁入的虫源地做顺推分析。一般连续分析 5 个夜晚^[8],若分析过程中轨迹经过蛾量盛发区或进入海域即终止轨迹。每 1h 输出一个迹点,迹点数据以文本形式存储,然后利用地理信息系统平台 ArcGIS 输出分析结果。

(2)轨迹分析参数

起点位置 迁入迁出地点以事件发生当地城镇的地理坐标(经纬度)表示。

起飞降落时间 迁入事件以当地灯下诱蛾量突增作为分析起始日期,根据病虫害情报所提供信息以及当地降雨情况推断迁入日期;东北地区迁出分析,在黑龙江、吉林、辽宁三省分别取 7 个点,对 2002 年 7 月 15 日~25 日期间粘虫迁出轨迹进行模拟;如轨迹入海,则停止分析。以分析起始地日出前 1h 作为逆推的起始时间和顺推的终止时间,以日落后 1h 作为顺推的起始时间和逆推的终止时间^[8-11]。

2 结果与分析

2.1 华北平原地区

2.1.1 华北平原地区迁入种群轨迹回推

华北二代粘虫成虫的始见期在 7 月中旬到 7 月下旬,盛期在 7 月下旬到 8 月上旬。华北三代粘虫幼虫盛孵期在 7 月下旬到 8 月上中旬,迟早因年而异。卵期约 3~4d,幼虫期:1 龄约 2~3d,2 龄约 2d,3 龄约 2~3d,4 龄约 3d,5 龄约 3~4d,6 龄约 4~6d 不等^[12]。

2002 年 8 月上旬,河南省出现粘虫大面积严重发生为害,河南省农业厅 8 月 9 日发出《关于切实搞好粘虫防治工作的紧急通知》,8 月 13 日河南省植保站下发《抓紧查治三代粘虫》的病虫害情报^[13]。根据三代粘虫的发育进度,从卵到幼虫暴食期大约需要半个月,故其迁入期应在 7 月 22 日前后。从各地二代成虫的上灯情况看,迁入期也是在 7 月 22 日前后(图 1)。

粘虫降落是一个主动性明显的过程,但是下沉气流、降雨或锋面切变等外界因子的影响也可能造成迫降^[14]。由国家气象局所提供地面 24 小时降水资料来看,在 7 月 22 日前,华北地区几乎无降水;而 22 日,整

个河北省普遍出现较大降水,河南省中部也出现大面积降水。根据 2002 年 7 月降雨情况结合粘虫蛾灯诱数据,可确定此次迁入粘虫种群降落日期为 7 月 21~23 日。据此对本次迁入种群的虫源地做轨迹回推(图 2),可知 2002 年 8 月上旬在华北平原猖獗危害的粘虫种群主要来自陕西和山西。

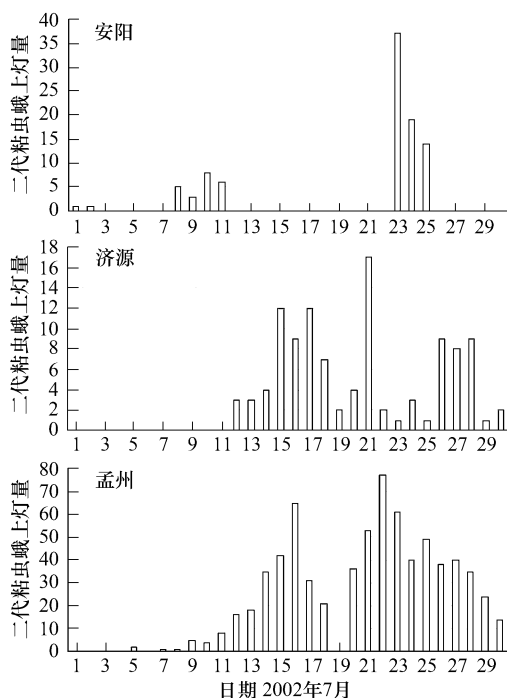


图 1 2002 年 7 月河南省部分县市二代粘虫成虫的灯下虫量
Fig. 1 The light trap catches of armyworm moths in Anyang, Jiyuan and Mengzhou counties, Henan Province, July 2002

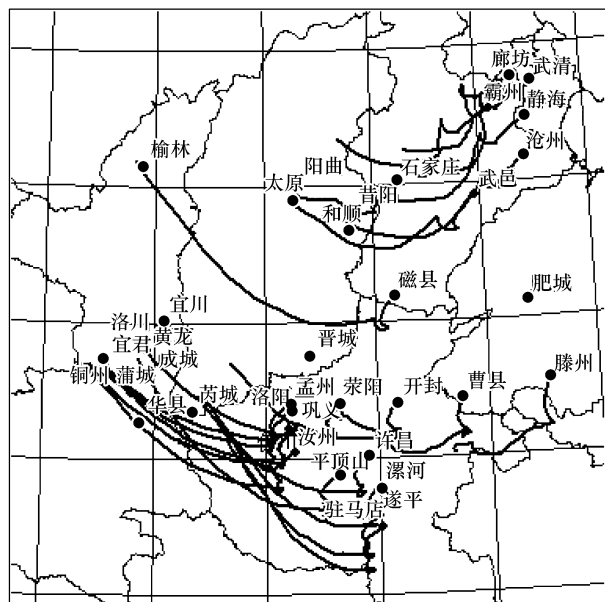


图 2 华北平原地区 2002 年三代粘虫大发生种群回推轨迹
Fig. 2 The backward trajectory of the outbreak population from North-China

2.1.2 迁飞过程分析

2002 年 7 月,西太平洋副热带高压偏东、偏北,这种形势有利于北方冷空气南下,受冷空气与暖湿气流共同影响而降水偏多。7 月上旬后期始,40°N 以南大陆高压稳定少动,又恰逢西太平洋副热带高压加强西伸与大陆高压合并,使大陆高压变得异常强大。受其影响,我国东部出现持续性的大范围高温酷热天气。到 17 日我国东部大范围高温酷热天气开始消退,并从北到南先后出现降水天气,这样的形势一直维持到下旬中期^[15,16]

(1)7 月 16 日~7 月 17 日 16 日,贝加尔湖地区高压脊与欧洲北部阻塞的高压打通得到异常发展,亚洲北部环流出现调整,呈两槽一脊型。受脊前强盛西北气流作用,高纬冷空气迅速南下,西太平洋副热带高压东退,大陆高压南撤;由于 2002 年亚欧中高纬度环流经向度较常年偏大,使得影响我国的冷空气路径明显分为东西两路,分别从新疆和东北地区开始侵袭我国。17 日,冷空气到达我国华北,开始自北向南影响我国东部地区。

(2)7 月 18 日:18 日 20:00(UTC 12:00)甘肃省东南部有一高压形成,于此同时同纬度地区河南省西部出现一个低压中心,强烈的西风横穿陕西省中部地区(34~35°N),大量粘虫从陕西省中部乘势起飞,随气流向东南方向飞行,到达陕西省与河南省交界处。而山西省东部也有强烈的上升气流,太原、五台等地区的羽化粘虫起飞后,随风向东进入河北省境内,其中一部分到达石家庄地区(图 3)。

(3)7 月 19 日 19 日夜间,低压中心东移,陕西中部和南部地区全是强西风,但河南省西部却呈偏西南风,而河南中部已是很强的偏南风,前一夜到达豫陕交界的粘虫继续向东行进入河南中西部地区。前一夜到达石家庄的虫群则继续向河北省东北部前进(图 4)。

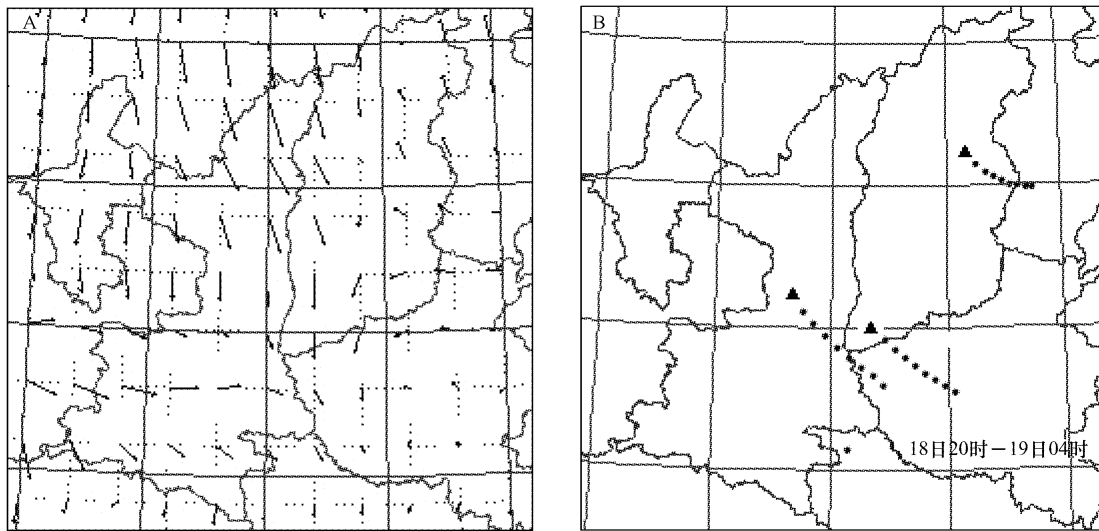


图3 2002年7月18日20时850hPa水平风场(A)与2002年7月18日~19日陕西和山西迁出种群顺推轨迹(B)

Fig. 3 Wind fields on 850hPa at 20:00, 18 July, 2002 (A) and forward trajectories from Shanxi and Shaanxi during 18~19 July, 2002 (B)

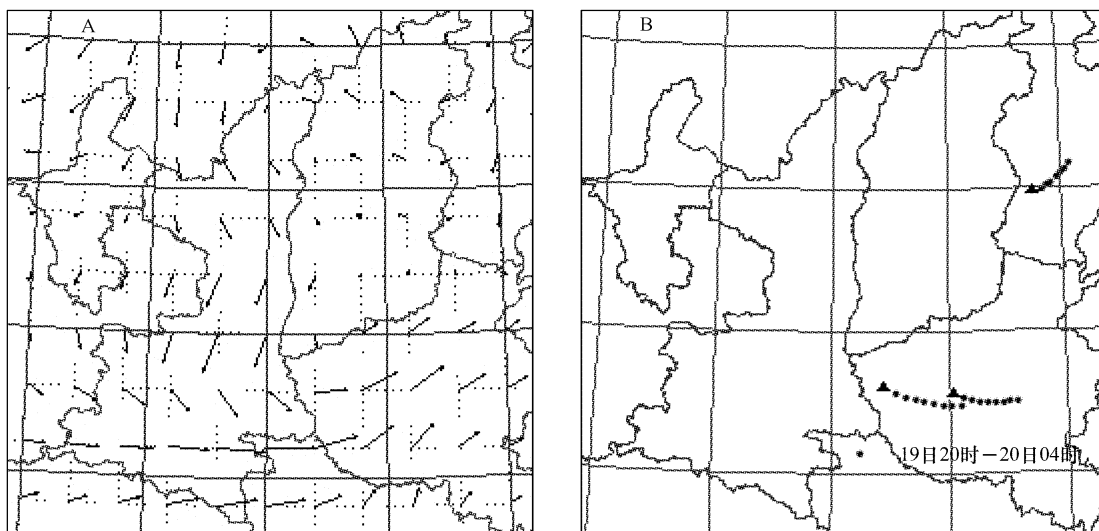


图4 2002年7月20日02时850hPa水平风场(A)与2002年19日~20日陕西和山西迁出种群顺推轨迹(B)

Fig. 4 Wind field on 850hPa at 02:00, 20 July, 2002 (A) and forward trajectories from Shanxi and Shaanxi during 19 to 20 July, 2002 (B)

(4)7月20日~21日 受到110°E附近的低压槽影响,河南省中部及西部20日夜间一直受到东南风及南风的控制。21日,副高西侧的西南风偏南分量突然加大,风速提高到 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (700hPa)以上,切变线也向北推进,回到江南一带。受此影响,河南省21日夜间一直处于东南风控制之下,一直到22日凌晨,西南风急流速度降低为止。20、21两晚,如果进入河南省中部的粘虫再次起飞,则会随风场徘徊北进,但并未能离开河南省。而已经到达河北省中南部的虫群则继续向东北徘徊前进。

(5)7月22日~23日 22日、23日夜间,延黄河一线洛阳、孟州等地均有较强烈的下沉气流,不适宜粘虫起飞。这使得这批粘虫滞留在洛阳、伊川、孟州等地不再迁出,交配繁殖后造成爆发。

2.2 东北地区

2.2.1 7月15日~25日东北地区天气过程分析

(1)7月15日~17日 15日晚,日本海上有低涡开始形成;16日,地面气旋逐步增强,850hPa低涡中心

一直维持稳定,地面低压中心也基本无位移,此期间整个东北地区均为东北气流控制。直到 18 日凌晨时转为西南风。

(2)7 月 18 日~21 日:受西南风急流与南下的弱冷空气的影响,此段期间东北地区的风场凌乱,不时有低涡发生但都不能稳定。20 日凌晨,日本海上再次出现冷涡;20 日 8:00,850 hPa 中心北移至三江平原以东地区,并稳定在此,直到 21 日凌晨消失。此期间,东北地区处于东北风及东风控制。

(3)7 月 22 日~24 日:22 日 08 时,东北冷涡形成。22 日晚,低压中心南移至额尔古纳旗附近,并迅速发展,整个东北地区受到西南风的控制,风速在 23 日晚达到最大。24 日凌晨,东北低压开始逐渐减弱,直到晚间不再影响东北地区。

(4)7 月 25 日~26 日:25 日 8:00,新的低涡在小兴安岭以北地区形成,但仅影响到黑龙江省,全省以西北风为主;辽宁、吉林依然受多个天气系统影响,风向多变。

总体看来,15~25 日期间,东北地区除 16、17 以及 20、21 不连续的 4d 有适宜的东北风外,其他时段均无适宜风向能将东北地区的粘虫带入关内。

2.2.2 7 月 15 日~25 日迁出轨迹落点分析

从对迁出轨迹模拟所得到的结果来看:如果粘虫于 2002 年 7 月 15 日~25 日期间从东北迁出,在连续飞行 5 夜的情况下,所得的 231 条模拟轨迹中(图 5),大部分在盘旋后会留在东北(58.5%);一部分会落入渤海或日本海中死亡(15.2%);此外还有一部分会越过三江平原进入俄远东地区(19.7%)或向西进入大兴安岭高山区的西面(5.7%);而无一条突入关内,到达我国华北平原地区而成为当地三代粘虫的虫源。

3 结论与讨论

3.1 华北平原地区三代粘虫虫源探讨

以往的研究者多认为华北平原地区三代粘虫的迁入种群主要来自于东北地区的回迁虫源^[1~3],而本研究结果与之大相径庭。根据逆推轨迹结果与天气过程分析可知:2002 年豫西北地区迁入的粘虫种群主要来自陕西中部,豫中及豫东的迁入种群主要来自晋西南地区;冀南个别地区迁入种群来自陕北,冀中南地区的虫源则来自于晋中,而冀中以及天津的迁入种群来自本省西部地区;山东省的迁入粘虫主要来自豫东。而从 2002 年陕西和山西两省二代粘虫发生情况来看:陕西全省中度偏轻至中度发生,陕北及关中局部偏重发生,重发区域集中在陕北的延安、榆林两市及关中个别县,如华阴等;晋中地区太原、榆次、太谷、祁县等市区二代粘虫暴发,危害严重。

因此可认为,2002 年华北平原地区三代粘虫大发生迁入种群主要来自陕西和山西两省。东北地区粘虫种群,在连续 5 夜飞行的情况下并不能成功逃脱 pied piper 效应进入华北地区,成为本次迁入的虫源。以往我国三代粘虫发生区将目光集中在东北地区的夏季种群发生情况上,而忽视了西北和西南地区的虫情,往往造成对三代粘虫发生趋势预计不准确,而本研究结果为我国三代粘虫监测和预警提供了一个新思路。

3.2 华北地区三代粘虫暴发虫源的运载气流

通过对本次迁入的分析来看,对迁入的粘虫种群影响最大的是 18 日和 19 日晚的偏西风。连续两晚的强劲西风流将陕西、山西的虫群送入河南、河北境内,这与副热带高压东退、大陆高压南撤,冷空气从青藏高原东侧南下的路径是相吻合的。而随后两夜的东南及西南风又未能将虫子送出两省,最后由于下沉气流以及降水阻碍,最终滞留在河南及河北形成暴发。但三代粘虫暴发属于偶发性小概率事件,不同年份迁入种群的运载气流并不一定相同,故如想摸清其间歇性暴发机制,提取可操作的预警指标,还需要进一步研究。

3.3 虫情资料的不足

由于 1980 年代中期以后我国南方麦区种植面积的大幅度减少,国内粘虫的大发生频率大大降低,只在某些年份局地偶发,故对粘虫迁飞规律的全国性的深层次研究处于停顿状态,只有少数研究人员在国家自然科学基金的资助下做些零星的探索,仅有少数站点对粘虫进行监测。故此本研究只有暴发区及虫源区部分站点零星诱蛾数据,未能对虫源地进行更深入的研究。如果能够掌握足够的虫情资料,则可为进一步探索三代粘

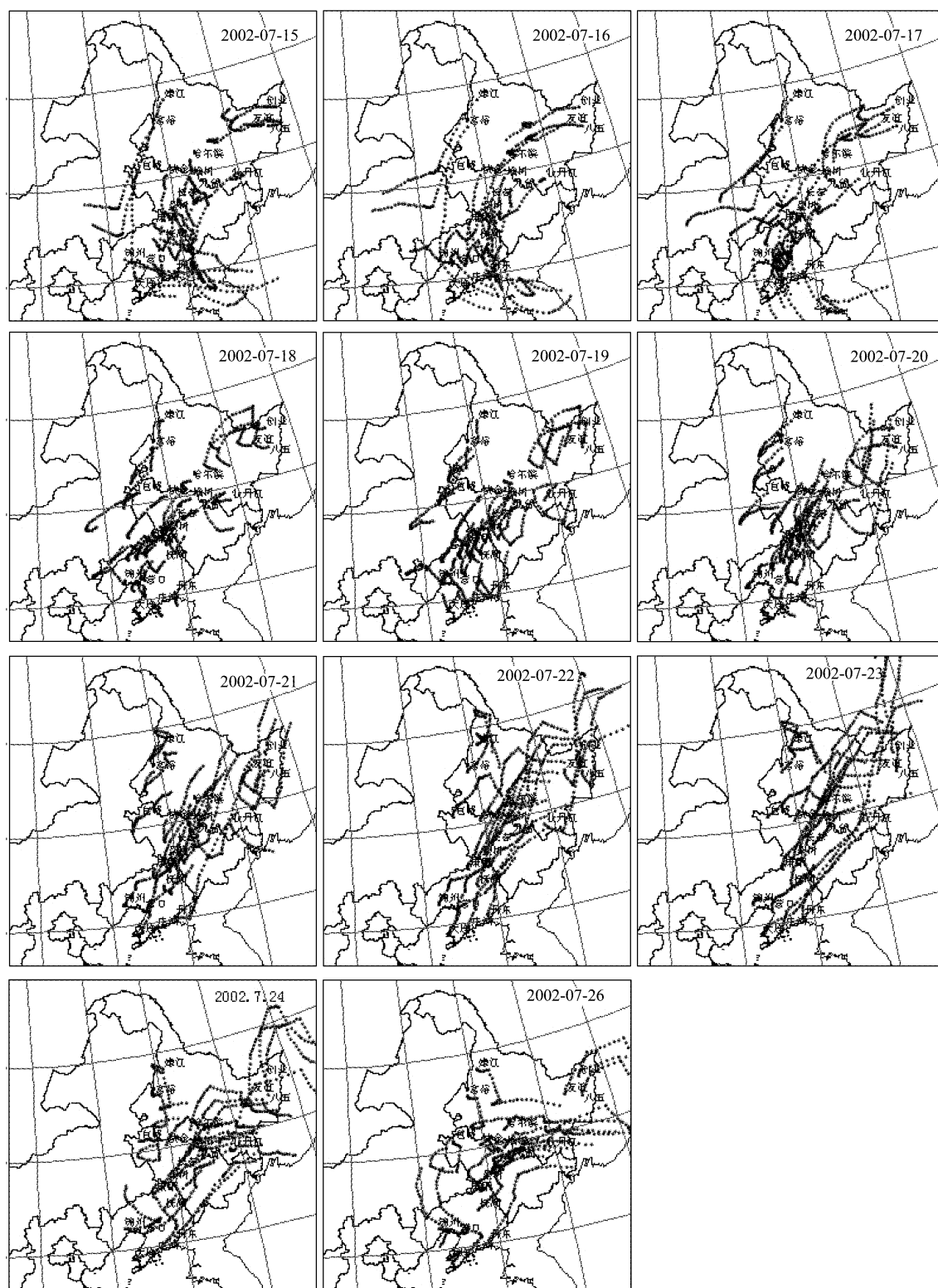


图5 2002年7月15日~7月25日东北地区迁出种群顺推轨迹^①

Fig. 5 Forward trajectories of the emigrant population from Northeastern China during 15th to 25th of July, 2002

虫源提供更加充分的依据。

①底图来源于国家基础地理信息中心 <http://ngcc.sbsm.gov.cn> 地图审核批准号:JS2009008

3.4 轨迹分析方法存在的不足与展望

本研究中对粘虫进行轨迹分析时,选取 5 天作为连续分析的时间长度,假设这 5d 中傍晚起飞、清晨降落,并未考虑其自主飞行速度和定向问题。粘虫实际迁飞过程要复杂的多,很多情况下,天气、中转停留地的营养补充等对粘虫的起降和再迁飞影响很大。粘虫是起飞降落主动性非常大的昆虫,本研究所使用的轨迹分析软件只能模拟粘虫的空中路径而不能模拟起飞与降落时的情形,所以不可避免存在着误差。不过,这不影响总体趋势,本文的结果还是具有足够的代表性。尽管如此,今后若能引入更合理的迁飞行为参数进行轨迹分析,将会得到生物学意义和物理学意义更充分的结果。

3.5 对粘虫的回迁研究

我国五六十年代对粘虫迁飞的研究已成为世界昆虫迁飞研究的经典之作,我国粘虫南北周年往返迁飞的基本规律到 80 年代中期已基本摸清。但这种基本规律只是粘虫迁飞的一种概念化和理想化模式,离粘虫大发生预测的可操作层面还有相当的距离,仍有许多地方规律不清楚,对粘虫回迁为害研究得极少,几乎是空白,尤其是三代粘虫间歇性暴发机制更是知之甚少。本文借助轨迹分析方法和 GIS 应用,综合高空风场、作物信息与虫情及相关地理信息进行大区域的空间分析,对我国华北平原地区三代粘虫大发生虫源做了初步的探索性研究,为三代粘虫的异地预测和早期预警提供了科学依据。但由于虫情资料不全面等诸方面的原因,尚缺乏足够的地面虫情来验证轨迹分析的结果,另外也未做迁飞过程中天气系统的分析,这还有待进一步细化研究。

长期以来,国内昆虫学界多认为华北三代粘虫的大发生虫源主要来自东北地区的回迁种群。而我国东北地区(包括黑龙江、吉林、辽宁北部和内蒙东北部)三面环山、平原中开的独特的马蹄型地势犹如地形槽,使东北迁飞场温带性季风气候显著,夏秋西南风盛行,即使来自蒙古高原的西北气流在地形槽的作用下也发生气旋性弯曲而盛行西南风,只有在气旋、锋面等天气系统过境时才会有短暂的偏北风^[18,19]。这种独特的自然地理特征会使得春季迁入的粘虫种群在秋季无法顺利往南回迁而形成独特的 Pied Piper 效应^[17],使得东北粘虫的夏季种群无法成为华北三代粘虫的虫源。因此,东北、华北、西北和西南二代粘虫的回迁问题尚待深入的综合研究。

References:

- [1] Li G B. The integrated control of armyworm. In: Institute of Zoology, Chinese Academy of Science. The Integrated Control of Important Pest in China. Beijing: Science Press, 1979. 301—319.
- [2] Li G B. The general situation and progress of the research on the armyworm in China. Plant Protection, 1993, 19(4): 2—4.
- [3] Chen R L. The Migration Modes of Armyworm. In: Lin C. S. eds. Physiology and Ecology of the Armyworm. Beijing: Peking University Press. 1990, 322—335.
- [4] NATESC. The forecasting of the trends of the third generation armyworm. Bulletin of Crop Pests, 2002, 23 July.
- [5] NATESC. The outbreaks of the trends of the third generation armyworm in Huang-Huai basin and Northern China. Bulletin of Crop Pests, 2002, 16 Aug.
- [6] Zhao S J. The relationship between armyworm migration and meteorological condition. Chinese Science Bulletin, 1982, (11): 692—695.
- [7] Yin Jiao, Feng H Q, Cheng D F, *et al.* Observations on the flight behavior of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) in airflow. Acta Entomologica Sinica, 2003, 46(6): 732—738.
- [8] Wang Y Z, Zhang X X. Studies on the migratory behaviours of oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(5): 772—779.
- [9] Ma S J. Physiological and ecological foundation of armyworm migration. Chinese Science Bulletin, 1963, (9): 65—68.
- [10] Zhai B P, Zhang X X, Cheng X N. Parameterizing the migratory behaviour of insects I. Behavioural analysis. Acta Ecologica Sinica, 1997, 11(1): 7—17.
- [11] Zhai B P, Zhang X X. Parameterizing the migratory behaviour of insects II. Models and verification. Acta Ecologica Sinica, 1997, 11(2): 190—199.
- [12] Li G B, Wang H X, Hu W X. Forecasting and control of the 3rd generation armyworm in northern China. Plant Protection, 1963, (1): 14—15.

- [13] Henan Plant Protection Station. Control the 3rd generation armyworm. Pest Information, 2002, (16): 1—2
- [14] Zhao S J, Bian L G. Effect of vertical motion in lower atmosphere layer on ascending and descending movement of army worm. Acta Ecologica Sinica, 1981, 1(2): 136—146.
- [15] Xu L Y. Mensal weather analysis, July 2002. Meteorological Monthly, 2002, 28(10): 62—63.
- [16] Liu Z S. Mensal climate and its influence. Meteorological Monthly, 2002, 28(10): 58—61.
- [17] Zhai B P, Wu X W. Pied Piper Effect on Oriental Armyworm in Northeastern China: Implications for Forecasting the Summer Outbreaks. Proc. ESA 2002 Annual Meeting, November 17—20, Fort Lauderdale, Florida. 2002, Paper #6393. http://esa.confex.com/esa/2002/techprogram/paper_6393.htm.
- [18] Li Z, Qi C L, Sun W C. In: Physical Geography of Northeastern China. Beijing: Higher Education Press, 1993.
- [19] Liu X T. Surveys of Northeastern Geography. In: Zhou L. Climate in Northeastern China. Beijing: China Meteorological Press, 1991. 1—9.

参考文献:

- [1] 李光博. 粘虫的综合防治. 见: 中国科学院动物研究所主编. 中国主要害虫综合防治. 北京: 科学出版社, 1979. 301~319.
- [2] 李光博. 我国粘虫研究概况及主要进展. 植物保护, 1993, 19(4): 2~4.
- [3] 陈瑞鹿. 粘虫迁飞的模式. 见: 林昌善主编. 粘虫生理生态学. 北京: 北京大学出版社, 1990. 322~335.
- [4] 全国农业技术推广服务中心. 三代粘虫发生趋势预报. 植物病虫情报, 2002 年 7 月 23 日
- [5] 全国农业技术推广服务中心. 黄淮和华北局部三代粘虫发生严重. 植物病虫情报, 2002 年 8 月 16 日
- [6] 赵圣菊. 粘虫迁飞与气象条件关系的研究. 科学通报, 1982, (11): 692~695.
- [7] 尹姣, 封洪强, 程登发, 曹雅忠. 粘虫成虫在气流场中飞行行为的观察研究. 昆虫学报, 2003, 46(6): 732~738
- [8] 王玉正, 张孝羲. 粘虫 (*Mythimna separata* Walker) 迁飞行为研究. 生态学报, 2001, 21(5): 772~779.
- [9] 马世骏. 粘虫蛾迁飞的生理生态学背景. 科学通报, 1963, (9): 65~68.
- [10] 翟保平, 张孝羲, 程遐年. 昆虫迁飞行为的参数化 I. 行为分析. 生态学报, 1997, 17(1): 7~17.
- [11] 翟保平, 张孝羲. 昆虫迁飞行为的参数化 II. 模式与检验. 生态学报, 1997, 17(2): 190~199.
- [12] 李光博, 王恒祥, 胡文绣. 华北第三代粘虫防治与发生预测. 植物保护, 1963, (1): 14~15
- [13] 河南省植物保护植物检疫站. 抓紧查治三代粘虫. 病虫情报, 2002, (16): 1~2.
- [14] 赵圣菊, 卞林根. 低层大气垂直运动对粘虫起飞、降落的影响. 生态学报, 1981, 1(2): 136~146.
- [15] 徐良炎. 江南华南局地洪涝严重华北黄淮一度旱情发展——2002 年 7 月. 气象, 2002, 28(10): 62~63.
- [16] 刘震坤. 东部高温酷热南方暴雨频繁——2002 年 7 月. 气象, 2002, 28(10): 58~61.
- [18] 李贻, 祁承留, 孙文昌. 见: 东北地区自然地理. 北京: 高等教育出版社, 1993.
- [19] 刘兴土. 东北区地理概况. 见: 周琳主编. 东北气候. 北京: 气象出版社, 1991. 1~9.