

# 2021年湖南省草地贪夜蛾迁飞路径及虫源地分析



谭泗桥<sup>1</sup> 王梓轩<sup>1</sup> 何健璇<sup>1</sup> 马智能<sup>3</sup> 尹丽<sup>2</sup> 张政兵<sup>2</sup> 张永生<sup>3\*</sup>

(1. 湖南农业大学信息与智能科学技术学院, 长沙 410128; 2. 湖南省植检植保站, 长沙 410006;

3. 湖南农业大学植物保护学院, 长沙 410128)

**摘要:** 为明确2021年湖南省草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的迁飞路径与虫源地, 基于2021年湖南省60个县(市、区)的高空测报灯诱集数据及性诱捕数据, 通过HYSPLIT分析平台分析其迁飞轨迹及虫源地, 同时使用NCL气象软件分析2021年草地贪夜蛾迁飞期间的天气背景, 获得草地贪夜蛾在湖南省的迁飞路径。结果表明, 2021年3月下旬最早在湘西南(怀化市)发现草地贪夜蛾, 4月下旬至5月中旬进入草地贪夜蛾大规模迁入期。草地贪夜蛾主要经西、中、东3条路线迁入湖南省, 西线以贵州省为主要虫源地, 中线以广西壮族自治区为主要虫源地, 东线则以广东省为主要虫源地。草地贪夜蛾迁出路径由湘西南迁向湘东北直至迁飞出省, 最远可达江苏省沿海地区。结合迁飞轨迹与水平风场分析发现, 由东太平洋以及孟加拉湾的热带及亚热带暖湿气流提供的运载气流是草地贪夜蛾迁飞的重要条件。2021年湖南省草地贪夜蛾的迁飞路径整体表现为由西南向东北, 虫源地主要分布在贵州省和广西壮族自治区, 小部分分布在广东省。

**关键词:** 草地贪夜蛾; 迁飞路径; 轨迹分析; 虫源地

## Analysis of the migration path and source areas of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Hunan Province in 2021

Tan Siqiao<sup>1</sup> Wang Zixuan<sup>1</sup> He Jianxuan<sup>1</sup> Ma Zhineng<sup>3</sup> Yin Li<sup>2</sup> Zhang Zhengbing<sup>2</sup> Zhang Yongsheng<sup>3\*</sup>

(1. College of Information and Intelligence, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan Province, China;

2. Plant Protection Station of Hunan Province, Changsha 410006, Hunan Province, China; 3. College of Plant Protection,

Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan Province, China)

**Abstract:** To better understand the migration routes and source areas of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Hunan Province in 2021, the HYSPLIT analysis platform was utilized to simulate the migration trajectory of the species. Additionally, the NCAR Command Language (NCL) was employed to analyze the weather conditions during migration based on the data obtained from vertical-pointing search-light-traps and sex pheromone traps across 60 counties, cities, and districts in Hunan Province in 2021. The results showed that *S. frugiperda* initially migrated into southwestern Hunan Province (Huaihua City) in late March 2021, and subsequently, a large scale invasion occurred from late April to mid-May. *S. frugiperda* utilized three migration pathways to enter Hunan Province: west, middle, and east. The main source areas of insects were identified as Guizhou Province for the western route, Guangxi Zhuang Autonomous Region for the middle route, and Guangdong Province for the eastern route. The overall migration path of *S. frugiperda* in Hunan proceeded from southwest to northeast, terminating in the coastal areas of Jiangsu Province. Combined with the analysis of migration trajectory and horizontal wind fields, it was found that the carrier airflow facilitated by tropical and subtropical warm and humid

基金项目: 湖南省重点研发计划(2020NK2034), 湖南省教育厅资助科研项目(20B295)

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: yshzhang@hunau.edu.cn

收稿日期: 2022-11-23

airflow from the eastern Pacific Ocean and the Bay of Bengal played a key factor in the successful immigration of *S. frugiperda* into Hunan. In 2021, the migration path of *S. frugiperda* in Hunan was predominantly from southwest to northeast, with the major source populations located in Guizhou Province and Guangxi Zhuang Autonomous Region, while a smaller portion originated from Guangdong Province.

**Key words:** *Spodoptera frugiperda*; migration routes; trajectory analysis; source area

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属于鳞翅目夜蛾科灰翅夜蛾属,其幼虫可为害玉米、水稻、高粱以及牧草等300多种植物,是一种重大的迁飞性农业害虫(Montezano et al., 2018)。草地贪夜蛾具有食性广、繁殖力高、抗药性和迁飞能力强等特性,在适宜风速下每晚迁飞距离可达几百公里(杨普云和常雪艳, 2019)。我国于2019年1月在云南省江城首次发现草地贪夜蛾幼虫(姜玉英等, 2019a; 全国农业技术推广服务中心, 2019),到2019年10月就已扩散到全国26个省(自治区、直辖市),见虫面积超过100万 $\text{hm}^2$ ,实际发生面积16.4万 $\text{hm}^2$ (姜玉英等, 2019b)。该虫于2020年9月被列入我国一类农作物病虫害名录。

湖南省地处云贵高原向江南丘陵和南岭山脉向江汉平原过渡的地带,地势呈三面环山、朝北开口的马蹄形地貌,这导致草地贪夜蛾由南向北迁飞的速度会很快。而且玉米是湖南省的第二大粮食作物,在全省各地均有种植,据2022年湖南统计年鉴(<http://222.240.193.190/2022tjnj/indexch.htm>)可知,2021年种植面积约为39.8 $\text{hm}^2$ 。因此,随着草地贪夜蛾迁入时间的推移,其对湖南省玉米的为害会逐渐加重。从虫源地来看,从广西壮族自治区(简称广西)和广东省迁出的草地贪夜蛾为湖南省提供了迁入虫源(吴秋琳等, 2019a; 唐继洪等, 2022)。2019年4月上旬,湖南省郴州市宜章县首次发现草地贪夜蛾幼虫,到5月就已入侵该省大部分地区,从湘南至湘北均有分布(郭欢乐等, 2021),且为害程度从北至南呈逐渐加重的趋势(马明勇等, 2019; 王逸才等, 2020)。在夏季西南季风加强背景下,该虫通过3个夜晚连续飞行便可迁入我国华北、长江下游流域以及东北地区(林培炯等, 2020; 陈智勇等, 2022),甚至进入日本和韩国部分地区(Wu et al., 2022)。

自2019年草地贪夜蛾入侵我国后,国内学者就开展了草地贪夜蛾迁飞路径分析(张雪艳等, 2020; Wu et al., 2022)、种群动态监测(卢鹏等, 2021)与虫源地分析(罗举等, 2020; 孙旭军等, 2021)的研究。明确草地贪夜蛾的迁飞路径、虫源地、迁入地区及迁入时间对草地贪夜蛾的监测预警与防控工作有重要

意义。湖南省地处我国中部,是草地贪夜蛾由南向北迁飞的主要通道与过渡区(吴秋琳等, 2019b; 陈辉等, 2020; Li et al., 2020)。因此,亟需明确草地贪夜蛾在湖南省的迁飞路径、迁入时间和虫源地。本研究基于2021年湖南省草地贪夜蛾的田间监测数据,利用混合单粒子拉格朗日综合轨迹(hybrid single-particle Lagrangian integrated trajectory, HYSPLIT)模型模拟2021年草地贪夜蛾的迁飞轨迹,分析草地贪夜蛾的迁入、迁出路径和虫源地,以期为湖南省草地贪夜蛾的监测预警与防控提供指导与参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

虫情数据来源:2021年湖南省草地贪夜蛾的田间调查数据来源于湖南省植保植检站在60个县(市、区)设置的高空测报灯和性诱监测站点。

气象数据来源:全球再分析(final operational global analysis, FNL)数据来源于美国国家环境预报中心(National Centers for Environment Prediction, NCEP)和美国国家大气研究中心(The National Centers for Atmospheric Research, NCAR),时空分辨率为 $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ ,时间分辨率为每6h一次。

气温数据来源:湖南省2021年4至5月平均气温数据来自地理监测云平台(<http://www.dsac.cn/DataProduct/Index/201000>)。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 湖南省草地贪夜蛾迁入动态分析

根据湖南省植保植检站提供的调查数据,将2021年4—6月首次发现草地贪夜蛾的县(市、区)的地理坐标导入ArcGIS 10.8软件中,绘制2021年湖南省草地贪夜蛾迁入虫情图,以此分析湖南省草地贪夜蛾的迁入动态。

#### 1.2.2 湖南省草地贪夜蛾迁飞轨迹分析

为明确分析草地贪夜蛾在湖南省的迁飞轨迹,使用HYSPLIT模型进行迁飞轨迹模拟。HYSPLIT模型是美国国家海洋和大气管理局空气资源实验室与澳大利亚气象局联合研发的一种用于计算与分析大气污染物输送、扩散轨迹的专业模型。根据湖南

省(市、区)首次发现虫情的时间与地理位置,选择10个具有代表性的县(市、区),分别为怀化市新晃侗族自治县、邵阳市新宁县、永州市江永县、郴州市苏仙区、郴州市汝城县、娄底市双峰县、衡阳市衡东县、衡阳市耒阳市、岳阳市华容县、张家界市桑植县,对这些地区的草地贪夜蛾迁飞轨迹进行回推。

根据草地贪夜蛾的迁飞生物学特征,在HYSPLIT模型中设置迁飞轨迹计算参数:1)飞行速度。高空飞行速度视为风速(Chapman et al., 2010; 2012)且顺风迁飞(Nagoshi et al., 2009)。2)飞行时间。草地贪夜蛾在夜间飞行,每天傍晚日落后起飞,次日黎明前降落(Farrow & Daly, 1987),根据湖南省4月和5月的日出和日落时间,将起飞时间设为19:00(北京时间),降落时间为次日5:00(北京时间),每晚连续飞行10 h,可连续飞行1~3个夜晚(Wang et al., 2017; Li et al., 2020),以前一个夜晚的轨迹终点作为次日傍晚起飞的起点。3)飞行高度。设置迁飞高度为距地面高度500、750、1 000、1 250和1 500 m(Wolf et al., 1990; Westbrook et al., 1995; 2016),考虑到实际地形情况,鉴于张家界市桑植县海拔较高,故在该地的迁飞高度调整为1 750 m和2 000 m,郴州市汝城县山脉连绵,故在该地的迁飞高度调整为1 750、2 000和2 250 m(蒋春先等, 2012; 吴秋琳等, 2019a)。

将模拟的所有迁飞起点与轨迹降落点坐标导入ArcGIS 10.8软件中,绘制草地贪夜蛾迁飞轨迹,根据落点有适宜的寄主与草地贪夜蛾虫情,筛选有效的迁飞轨迹。使用ArcGIS 10.8软件将有效迁飞轨迹与地图叠加后输出结果,并分析草地贪夜蛾的迁飞路径和虫源地。

### 1.2.3 草地贪夜蛾迁入虫源 $F_1$ 代迁出轨迹分析

由于草地贪夜蛾在本地繁殖 $F_1$ 代后会继续迁飞,所以需进一步分析 $F_1$ 代的迁飞轨迹。根据湖南省植保植检站提供的调查数据可知,4月上旬至5月上旬为湖南省草地贪夜蛾大规模迁入期。选择该时期的怀化市新晃侗族自治县、邵阳市新宁县、永州市江永县、郴州市苏仙区、娄底市双峰县5个县作为代表性地点,根据有效积温模型(何莉梅等, 2019)并查询2021年湖南省4—5月平均气温,可得出草地贪夜蛾的发育历期约为19 d,基于此推出本地繁殖的 $F_1$ 代成虫迁出时间,并进行顺推轨迹分析。轨迹分析方法同1.2.2。

### 1.2.4 草地贪夜蛾迁飞水平风场分析

水平风场是迁飞的重要条件,通过使用气象数

据处理语言(NCAR command language, NCL)提取FNL数据中2021年4月上旬至6月下旬位于 $10^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $90^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$ 区域内850 hPa高度层的风速和风向,分析运载草地贪夜蛾迁飞的气流背景场,并绘制水平风场图。

### 1.2.5 2021年湖南省草地贪夜蛾迁飞路径分析

结合1.2.2所得湖南省草地贪夜蛾各区域的迁飞轨迹、1.2.4所得其迁飞期间的水平风场以及田间虫情调查与湖南省玉米种植区划(佟屏亚, 1992; 龙志长等, 2005),综合分析得出2021年草地贪夜蛾在湖南省的迁入路径与迁出路径,并利用ArcGIS 10.8软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 2021年湖南省草地贪夜蛾的迁入动态

湖南省田间虫情调查结果表明,最早在2021年3月末至4月上旬发现草地贪夜蛾,2021年3月28日首次在怀化市新晃侗族自治县发现草地贪夜蛾成虫,此后陆续在各地发现(图1-A)。4月下旬至5月上旬,湘中、湘东南和湘西北均已发现草地贪夜蛾为害(图1-B),直到6月下旬,最东北方向的临湘市也发现草地贪夜蛾为害,至此基本覆盖湖南省全境(图1-C)。4月下旬至5月上旬、6月中上旬是2个迁入高峰期,全省草地贪夜蛾整体迁飞趋势呈现从西向东、由南往北逐步递增。

### 2.2 湖南省草地贪夜蛾的迁入轨迹

湖南省草地贪夜蛾2021年的迁入动态呈现多时段、多区域的趋势,故选择不同区域的10个代表性地点进行轨迹回推。

3月28日在首次发现草地贪夜蛾的怀化市新晃侗族自治县,回推轨迹显示第1晚的落点主要位于贵州省,第2晚与第3晚的落点基本上位于贵州省南部及广西西北部,推测新晃侗族自治县虫源可能主要来自贵州省以及广西西北部(图2-A)。4月7日在永州市江永县发现草地贪夜蛾,回推轨迹显示第1晚和第2晚的落点大部分位于广西中部和南部,第3晚的落点位于广东省西部,推测江永县的虫源主要来源于广西,少部分从广东省迁入(图2-B)。4月12日在邵阳市新宁县发现草地贪夜蛾,回推轨迹显示,第1晚与第2晚只有500 m迁飞轨迹落点在第1晚位于新宁县本地及第2晚位于祁阳县,其余落点均位于广西;第3晚的落点在湖南省和广东省均有分布,根据田间调查数据,落点所在的湘中地区暂未发现草地贪夜蛾为害,所以虫源可能大部分来源于

广西,小部分来源于广东省(图2-C)。与新宁县同一时间发现草地贪夜蛾的湘中地区娄底市双峰县,回推轨迹则显示第1晚与第2晚有4条轨迹的落点分别位于湖南省的湘乡市、祁阳县、道县及双峰县,1条轨迹的落点位于广西;第3晚500 m轨迹落点位于江西省,其余4条轨迹落点位于湖南省本地,而江西省4月上旬未被冬繁区内的草地贪夜蛾入侵,所以双峰县的虫源主要来源于湖南省祁阳县和道县,小部分来源于广西(图2-D)。4月22日在湘南地区郴州市苏仙区发现草地贪夜蛾,回推轨迹显示3个

晚上的落点大部分位于广东省,其次是广西,因此推测苏仙区的虫源主要来自于广东省,部分来自于广西(图2-E)。4月25日在湘西北的张家界市桑植县发现草地贪夜蛾,回推轨迹显示第1晚放入落点均位于重庆市,第2晚1 750 m轨迹落点位于贵州省,2 000 m轨迹落点位于重庆市,第3晚轨迹因飞行高度过高导致温度低于10℃,草地贪夜蛾无法进行正常活动,推测桑植县大部分草地贪夜蛾可能来源于重庆市,小部分来自贵州省(图2-F)。

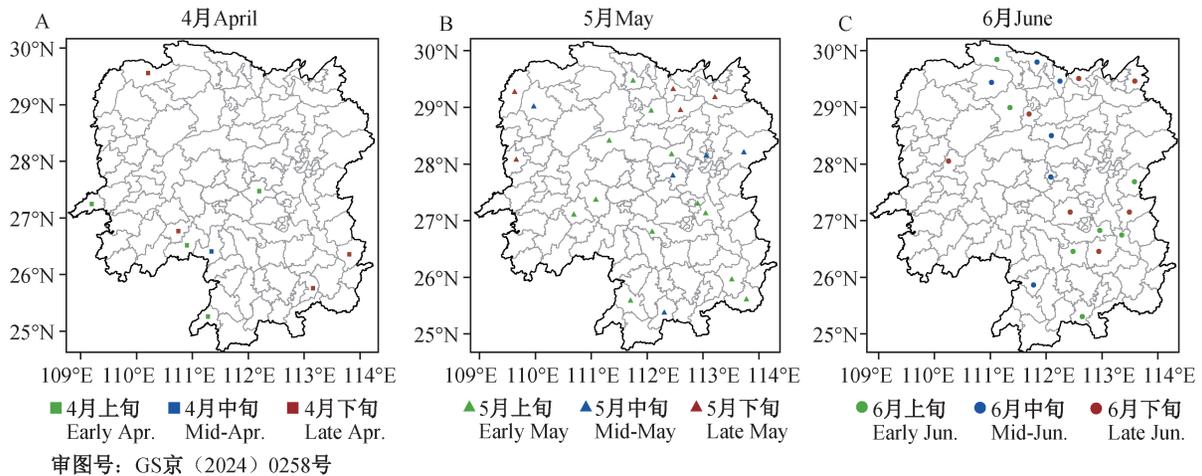


图1 2021年湖南省草地贪夜蛾首次迁入分布图

Fig. 1 The dynamics of *Spodoptera frugiperda* immigration into Hunan Province in 2021

5月5日在湘北的常德市汉寿县发现草地贪夜蛾,从第1晚轨迹落点可推测汉寿县的草地贪夜蛾是由娄底市双峰县迁飞而来(图2-G),第2晚与第3晚轨迹不符合草地贪夜蛾迁飞要求,均作为无效轨迹。5月5日在湘南的郴州市汝城县发现草地贪夜蛾,回推轨迹显示第1晚与第2晚的落点均位于广西境内,第3晚因飞行高度过高导致温度低于草地贪夜蛾正常活动所需温度,不适合迁飞,推断郴州汝城县虫源主要来自广西,少数可能由广东省迁飞1晚至汝城县(图2-H)。

6月中下旬,草地贪夜蛾开始侵入湘东北及湘东南地区。6月21日在湘东北的岳阳市华容县发现草地贪夜蛾,回推轨迹显示第1晚的落点位于益阳市赫山区及安化县和娄底市新化县,第2晚的落点大部分位于邵阳县和隆回县,第3晚的落点基本上位于祁阳县;根据田间虫情调查结果,赫山区、邵阳县和祁阳县在此段时间未发现草地贪夜蛾为害,因此推测华容县虫源应该来自安化县、新化县和隆回县(图2-I)。6月24日在湘东南的耒阳市发现草地贪夜蛾,回推轨迹显示第1晚的落点位于郴州市苏仙区,

第2晚的落点位于在郴州市汝城县,第3晚由于飞行高度过高导致温度降低,不适合草地贪夜蛾迁飞,推测耒阳市虫源是由苏仙区与汝城县迁飞而来(图2-J)。

综合分析草地贪夜蛾在湖南省各代表地区的回推轨迹,发现2021年湖南省的草地贪夜蛾迁入虫源主要来自广东省、贵州省和广西,小部分来自重庆市,分别位于湖南省的西部、西南部和南部,而在发生末期的草地贪夜蛾均由湖南省本地迁飞而来。

### 2.3 2021年湖南省草地贪夜蛾 $F_1$ 代迁出轨迹

在草地贪夜蛾迁入高峰期选取5个代表性地点进行 $F_1$ 代顺推轨迹分析,最早发现草地贪夜蛾的新晃侗族自治县, $F_1$ 代于4月17日迁出,第1晚可迁入贵州省北部及重庆市东南部,第2晚迁入湖北省西南部,第3晚最远可迁入四川和河南等省(图3-A)。湘西南的永州市江永县和邵阳市新宁县的 $F_1$ 代均于5月2日迁出,第1晚均向北迁飞到达湘北地区,第2晚与第3晚从江永县直接迁入江西省(图3-B),而新宁县虫源则经过湖北省后迁入江西省(图3-C)。位于湘中双峰县的草地贪夜蛾 $F_1$ 代在5月2日迁出,

第1晚与第2晚的落点均位于湖北省,第3晚的落点则位于湘东北地区(图3-D)。湘东南郴州市苏仙区的草地贪夜蛾F<sub>1</sub>代于5月12日迁出,第1晚可迁入江西省,第2晚则迁入湖北、安徽和浙江等省,第3晚

最远可达江苏省沿海地区(图3-E)。F<sub>1</sub>代迁出轨迹整体趋势呈现为由南向北、由西向东的趋势,与草地贪夜蛾的迁入趋势有共同之处。

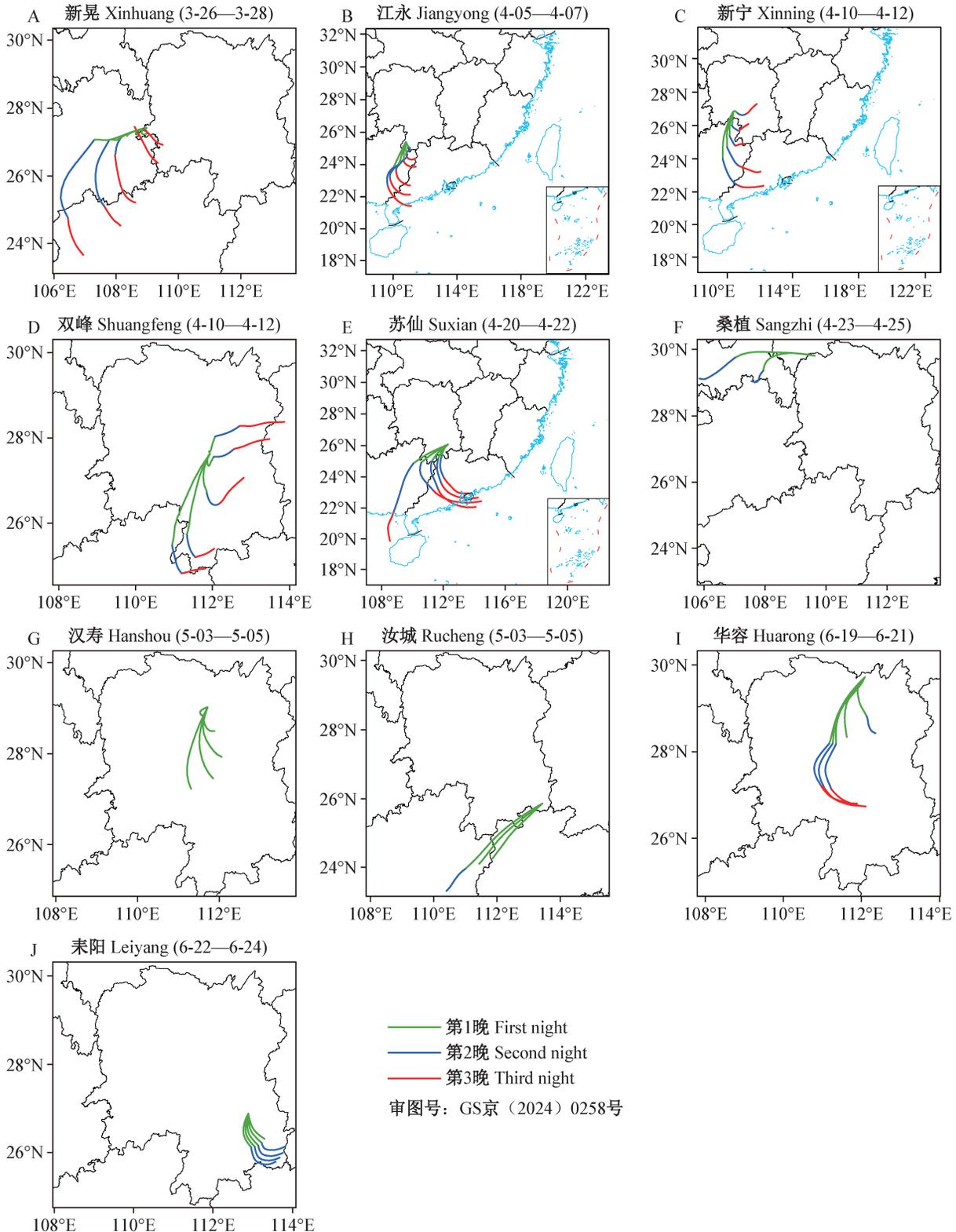


图2 湖南省草地贪夜蛾不同地点回推轨迹

Fig. 2 The backward trajectories of *Spodoptera frugiperda* in different places of Hunan Province

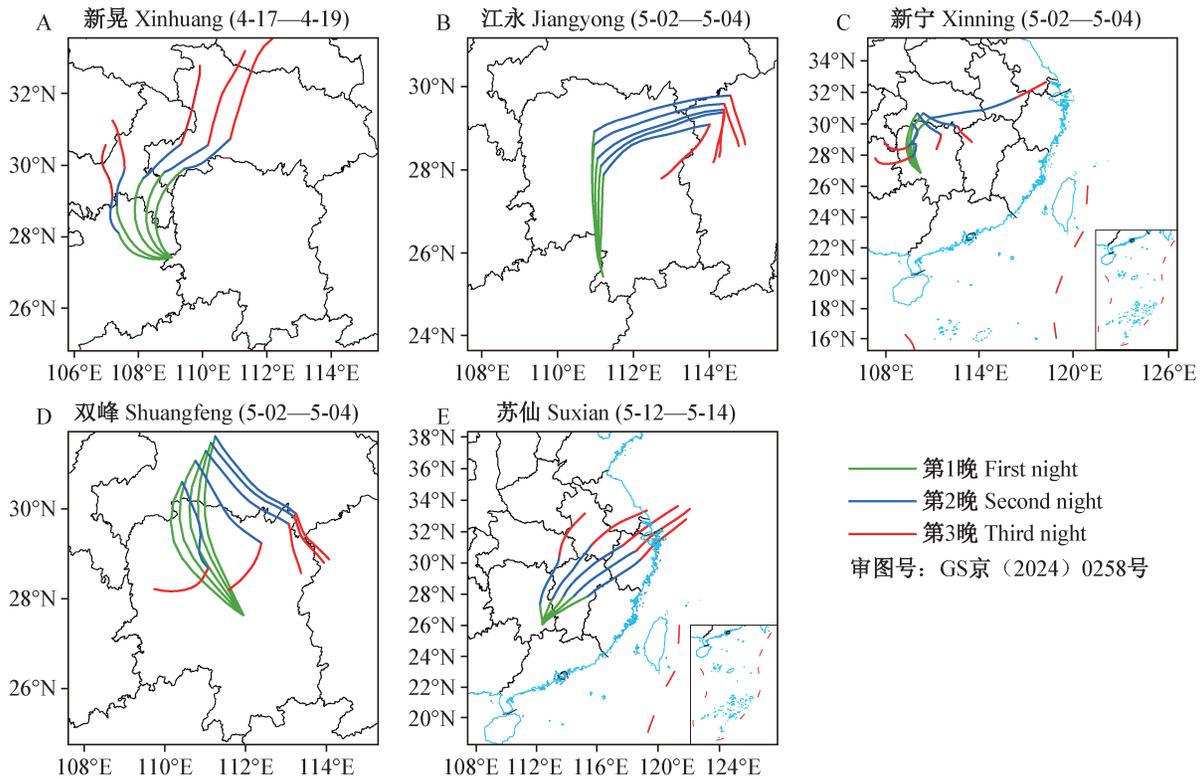


图3 2021年湖南省草地贪夜蛾迁入虫源 $F_1$ 代成虫迁出顺推轨迹

Fig. 3 The forward trajectories of the emigration of  $F_1$  generation of *Spodoptera frugiperda* in Hunan Province in 2021

#### 2.4 2021年湖南省草地贪夜蛾迁飞的水平风场

4月上旬至5月中旬为湖南省草地贪夜蛾迁入高峰期,4月主要盛行由东南亚及孟加拉湾而来的西南风,经由贵州省与广西进入湖南省西部及中部,湖南省东部及南部则盛行我国南部季风环流带来的西南风,这两股风向均为4月草地贪夜蛾迁入提供了运载气流(图4-A~D)。5月上旬主要为从太平洋而来的西南风,小部分则为从东南亚而来的西南季风,途经广西与广东省,为湘南虫源迁飞至北部提供了运载气流(图4-E)。5月中旬风速增大,为草地贪夜蛾 $F_1$ 代最远可迁飞至江浙沿海一带提供了运载气流(图4-F~G)。进入6月后,湖南省大部分地区仍受西南风控制,继续为草地贪夜蛾 $F_1$ 代迁飞至湖北、安徽、江西、河南和江苏等省提供运载气流(图4-H~J)。

#### 2.5 2021年湖南省草地贪夜蛾的迁飞路径

从全省范围看,草地贪夜蛾在湖南省的迁飞路径有西线、中线和东线3条路径,西线为来自贵州省东部的草地贪夜蛾随西南气流途经湘西南和湘西北玉米种植区;中线为来自广西北部的草地贪夜蛾途经湖南省南部的湘南种植区,随后迁入湘中,并往洞庭湖玉米种植区迁飞,此处以平原为主,适合草地贪夜蛾进一步迁出湖南省;东线为来自广东省的草地贪夜蛾迁入湖南省东南部,经过湘东玉米种植区并

迁飞至湖南省东北部(图5)。

### 3 讨论

地形特征、气流的稳定性和速度对于草地贪夜蛾的迁飞过程有着极大影响。湖南省地势复杂,东西南三面环山,山脉以东西走向为主,山脉的阻挡使空气抬升形成能让草地贪夜蛾大规模集聚并集中降落的气流。怀化市北临武陵山脉,南靠雪峰山脉,于2021年3月底最早发现草地贪夜蛾迁入并迁向湘北,到5月下旬湖南省全省均可见虫。湖南省草地贪夜蛾迁飞早期虫源主要来自贵州省和广西,与吴秋琳等(2015)研究发现湖南省白背飞虱 *Sogatella furcifera* 前期迁入虫源为广西西南部的结论相似。齐国君等(2019)在研究广东省草地贪夜蛾周年发生特征时发现,广东省是草地贪夜蛾周年繁殖区。本研究结果显示,在湖南省草地贪夜蛾迁入高峰期,湘南地区虫源主要来自广东省和湘西地区,这与齐国君等(2019)认为广东省是草地贪夜蛾周年繁殖区的结果一致;湘中地区虫源则来源于湘南以及湘西地区。5月下旬至6月下旬湘北地区虫源来自湘中及湘南地区,4月中旬至5月上旬虫源情况与吴秋琳等(2019a)得出广西和广东省可为湖南省提供虫源的结果相似。

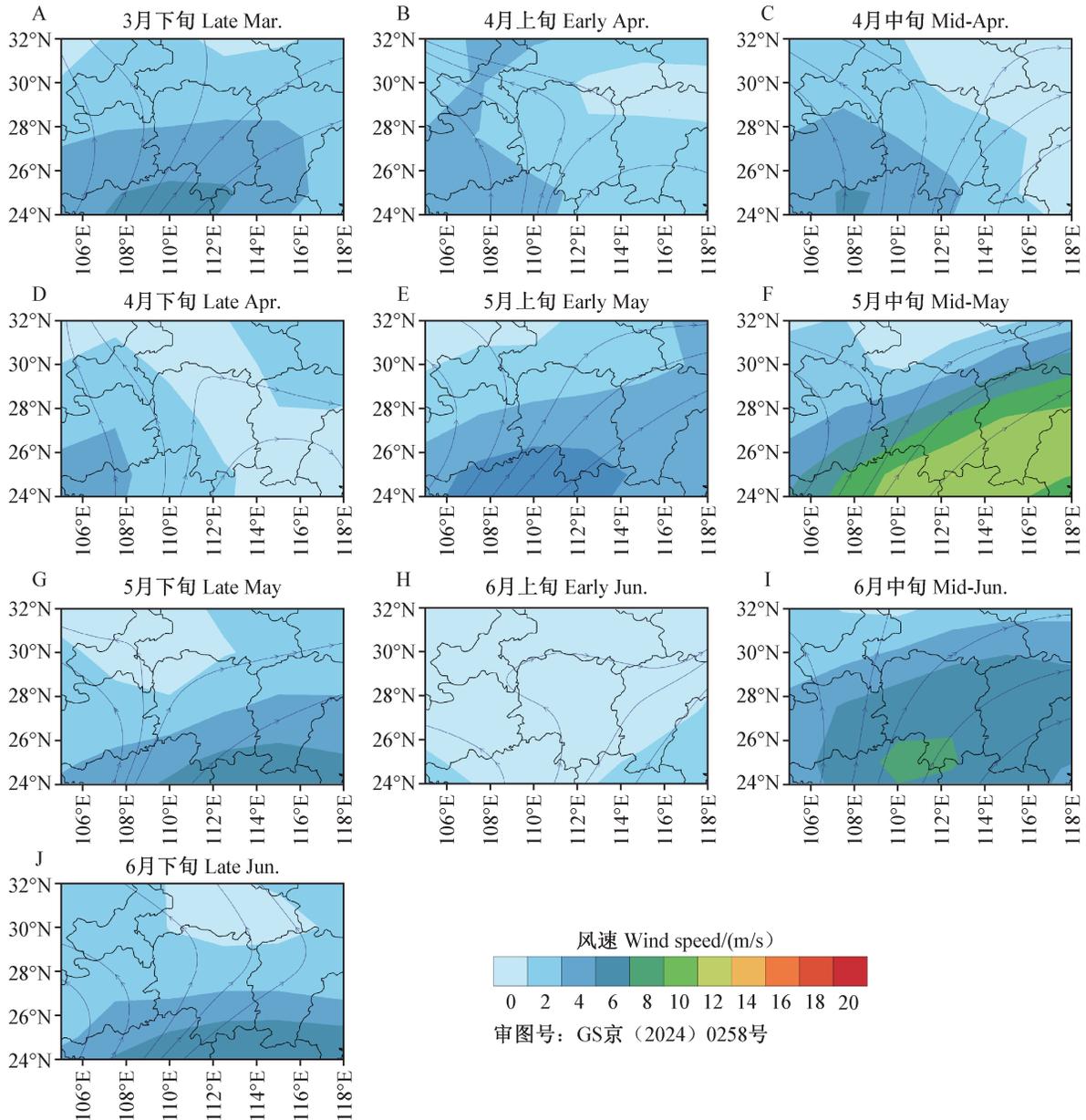


图4 湖南省2021年草地贪夜蛾迁入期850 hPa水平的平均风场

Fig. 4 Average wind field at the 850 hPa level during *Spodoptera frugiperda* migration in Hunan Province in 2021

草地贪夜蛾繁殖速度快,在本地繁殖后的 $F_1$ 代继续向东北方向迁飞。由于湘东北基本属于平坦的洞庭湖平原地区,地势不高,对于草地贪夜蛾的迁飞阻挡作用较小,风速适宜草地贪夜蛾迁出。同时,2021年草地贪夜蛾的迁飞高峰期湖南省盛行由孟加拉湾和东太平洋而来的暖湿季风,西南季风可为草地贪夜蛾迁飞提供运载气流。本研究结果显示江永县、新宁县和双峰县的草地贪夜蛾 $F_1$ 代经过1~2 d的迁飞后均存在向湖南省回迁的现象,这与张雪艳等(2020)研究发现草地贪夜蛾 $F_1$ 代迁飞过程中存在回迁的现象相似。Li et al.(2020)认为草地贪夜蛾经湖南省最远可到达江浙沿海,本研究结果显示邵

阳市新宁县的草地贪夜蛾 $F_1$ 代都可以通过3晚的迁飞到达长江三角洲地区甚至沿海地区,这与Li et al.(2020)的预测结果相吻合。Wu et al.(2022)研究结果显示草地贪夜蛾可在5—6月侵入日本及韩国;本研究表明,我国湖南省郴州市苏仙区的草地贪夜蛾 $F_1$ 代通过3晚迁飞最远可到达东海,这与Wu et al.(2022)的研究结果基本一致。

湖南省作为草地贪夜蛾迁飞的通道与过渡区,面临春夏季北迁、本土繁殖和秋季南回等多重虫源的压力,因此对湖南省草地贪夜蛾发生动态进行长期监测和及时预警具有重要意义。根据本研究结果,在草地贪夜蛾迁飞早期(3月),湘南、湘西地区

可以根据虫源地贵州省与广西3月的虫情提前做好监测与预防措施;在4—5月草地贪夜蛾迁入高峰期需做好全省防控工作。本研究仅有1年的监测数据,草地贪夜蛾的迁飞时间、迁飞路径可能由于其周年繁殖区分布的不同而不同,因此还需要进行多年的持续监测,开展长期跨区域的草地贪夜蛾迁飞路径研究,掌握其迁飞与暴发规律,为草地贪夜蛾监测预警与防控提供科学依据。

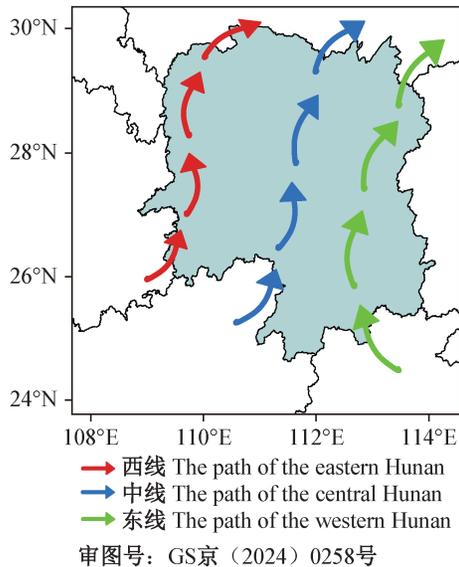


图5 2021年湖南省草地贪夜蛾的迁飞路径

Fig. 5 Migration pathway of *Spodoptera frugiperda* in Hunan Province in 2021

### 参考文献 (References)

- Chapman JW, Bell JR, Burgin LE, Reynolds DR, Pettersson LB, Hill JK, Bonsall MB, Thomas JA. 2012. Seasonal migration to high latitudes results in major reproductive benefits in an insect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 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
- Chen H, Wu MF, Liu J, Chen AD, Jiang YY, Hu G. 2020. Migratory routes and occurrence divisions of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in China. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 747–757 (in Chinese) [陈辉, 武明飞, 刘杰, 谌爱东, 姜玉英, 胡高. 2020. 我国草地贪夜蛾迁飞路径及其发生区划. *植物保护学报*, 47(4): 747–757]
- Chen ZY, Zhang Z, Liu J, Kang AG, Zhao SM, Yin XJ, Li ZQ, Xie AT, Zhang YH. 2022. Spatiotemporal dynamics and source of *Loxostege sticticalis* in northern China in 2020. *Scientia Agricultura Sinica*, 55(5): 907–919 (in Chinese) [陈智勇, 张智, 刘杰, 康爱国, 赵素梅, 尹祥杰, 李占清, 谢爱婷, 张云慧. 2022. 2020年我国北方地区草地螟种群的时空动态与虫源分析. *中国农业科学*, 55(5): 907–919]
- Farrow RA, Daly JC. 1987. Long-range movements as an adaptive strategy in the genus *Heliothis* (Lepidoptera, Noctuidae): a review of its occurrence and detection in 4 pest species. *Australian Journal of Zoology*, 35(1): 1
- Guo HL, Tang B, Li H, Zeng Q, Cao ZY, Wang P, Tang T, Qu YG, Chen ZH, Fu W. 2021. Preliminary report of field trapping results of male moth of *Spodoptera frugiperda* in Changsha. *Crop Research*, 35(6): 633–638 (in Chinese) [郭欢乐, 汤彬, 李涵, 曾强, 曹钟洋, 王培, 唐涛, 瞿玉国, 陈志辉, 符伟. 2021. 长沙地区草地贪夜蛾雄虫田间诱捕调查. *作物研究*, 35(6): 633–638]
- He LM, Ge SS, Chen YC, Wu QL, Jiang YY, Wu KM. 2019. The developmental threshold temperature, effective accumulated temperature and prediction model of developmental duration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(5): 18–26 (in Chinese) [何莉梅, 葛世帅, 陈玉超, 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 2019. 草地贪夜蛾的发育起点温度、有效积温和发育历期预测模型. *植物保护*, 45(5): 18–26]
- Jiang CX, Wu JJ, Qi HH, Zhang YH, Cheng DF. 2012. Occurrence dynamics and trajectory analysis of *Nilaparvata lugens* in Xing'an, Guangxi. *Journal of Plant Protection*, 39(6): 523–530 (in Chinese) [蒋春先, 武俊杰, 齐会会, 张云慧, 程登发. 2012. 广西兴安地区褐飞虱发生动态及迁飞轨迹分析. *植物保护学报*, 39(6): 523–530]
- Jiang YY, Liu J, Xie MC, Li YH, Yang JJ, Zhang ML, Qiu K. 2019a. Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019. *Plant Protection*, 45(6): 10–19 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 李亚红, 杨俊杰, 张曼丽, 邱坤. 2019a. 2019年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测. *植物保护*, 45(6): 10–19]
- Jiang YY, Liu J, Zhu XM. 2019b. Analysis on the occurrence dynamics and future trend of *Spodoptera exigua* invading China. *China Plant Protection*, 39(2): 33–35 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 2019b. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析. *中国植保导刊*, 39(2): 33–35]
- Li XJ, Wu MF, Ma J, Gao BY, Wu QL, Chen AD, Liu J, Jiang YY, Zhai BP, Early R, et al. 2020. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach. *Pest Management Science*, 76(2): 454–463
- Lin PJ, Zhang Z, Wang XL, Liu DX, Hu G, Zhang YH. 2020. Population dynamics and trajectory simulation of migratory moths of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Yanqing of Beijing in 2019. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 758–769 (in Chinese) [林培炯, 张智, 王旭龙, 刘冬雪, 胡高, 张云慧. 2020. 2019年北京市延庆区草地贪夜蛾种群动态与虫源分析. *植物保护学报*, 47(4): 758–769]
- Long ZC, Duan SR, Long H, Zhou W. 2005. Analysis of climatic conditions and planting division of spring maize in Hunan Province. *Crop Research*, 19(2): 83–86 (in Chinese) [龙志长, 段盛荣, 龙晖, 周伟. 2005. 湖南省春玉米生育气候条件分析及种植区划. *作物研究*, 19(2): 83–86]
- Lu P, Zhang HB, Zhang F, Zhang ZC, Yang RM. 2021. Investigation on

- the occurrence and damage of *Spodoptera frugiperda* in Jiangsu Province in 2019. *China Plant Protection*, 41(1): 43–47 (in Chinese) [卢鹏, 张海波, 张芳, 张志春, 杨荣明. 2021. 2019年江苏省草地贪夜蛾发生及为害情况调查. *中国植保导刊*, 41(1): 43–47]
- Luo J, Ma J, Wu MF, Qi GJ, Liu J, Tang J, Hu G. 2020. Original area of fall armyworm individuals newly invaded in Zhejiang Province. *Chinese Journal of Rice Science*, 34(1): 80–87 (in Chinese) [罗举, 马健, 武明飞, 齐国君, 刘杰, 唐健, 胡高. 2020. 浙江入侵草地贪夜蛾的迁入虫源. *中国水稻科学*, 34(1): 80–87]
- Ma MY, Li CW, Cai YF, Peng ZP. 2019. Occurrence and spatial distribution of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) larvae in Hunan Province. *Hunan Agricultural Sciences*, (12): 45–47 (in Chinese) [马明勇, 李昌文, 蔡岳峰, 彭兆普. 2019. 草地贪夜蛾幼虫在湖南发生及其空间分布. *湖南农业科学*, (12): 45–47]
- Montezano DG, Specht A, Sosa-Gómez DR, Roque-Specht VF, Sousa-Silva JC, Paula-Moraes SV, Peterson JA, Hunt TE. 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2): 286–300
- Nagoshi RN, Fleischer S, Meagher RL. 2009. Texas is the overwintering source of fall armyworm in central Pennsylvania: implications for migration into the northeastern United States. *Environmental Entomology*, 38(6): 1546–1554
- National Agricultural Technology Extension Service Center. 2019. Notification of the occurrence and damage of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China and surrounding countries. <https://www.natesc.org.cn>. 2020-07-24 (in Chinese) [全国农业技术推广服务中心. 2019. 我国及周边国家草地贪夜蛾发生为害情况通报. <https://www.natesc.org.cn>. 2020-07-24]
- Qi GJ, Ma J, Hu G, Yu YH, Chen AD, Gao Y, Lv LH. 2019. Analysis of migratory routes and atmospheric features of the newly invaded fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in Guangdong Province. *Journal of Environmental Entomology*, 41(3): 488–496 (in Chinese) [齐国君, 马健, 胡高, 于永浩, 谌爱东, 高燕, 吕利华. 2019. 首次入侵广东的草地贪夜蛾迁入路径及天气背景分析. *环境昆虫学报*, 41(3): 488–496]
- Sun XJ, Zhang GY, Liu Y, Wang XY, Xu FS, Du GZ, Feng HK, Geng FH, Zhang QH, Hu G, et al. 2021. Tracking the migration path and source areas of the fall armyworm in Henan. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(3): 579–591 (in Chinese) [孙旭军, 张国彦, 刘一, 王新媛, 胥付生, 杜桂枝, 冯贺奎, 耿丰华, 张秋红, 胡高, 等. 2021. 河南省草地贪夜蛾迁入路径及虫源地分析. *应用昆虫学报*, 58(3): 579–591]
- Tang JH, Lu H, Lü BQ. 2022. Dynamic monitoring and analysis of *Spodoptera frugiperda* trapped by searchlight in Hainan. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 42(1): 51–55 (in Chinese) [唐继洪, 卢辉, 吕宝乾. 2022. 海南草地贪夜蛾高空诱虫灯诱虫动态监测与分析. *热带农业科学*, 42(1): 51–55]
- Tong PY. 1992. Division of maize planting in China. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press (in Chinese) [佟屏亚. 1992. 中国玉米种植区划. 北京: 中国农业科技出版社]
- Wang FY, Yang F, Lu MH, Luo SY, Zhai BP, Lim KS, McInerney CE, Hu G. 2017. Determining the migration duration of rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)) moths using a trajectory analytical approach. *Scientific Reports*, 7: 39853
- Wang YC, Chen MT, Yan JH, Qin MF, Wang L, Jin CZ, Hu JH, Tan XS. 2020. Occurrence and control of the new invasive pest *Spodoptera frugiperda* in middle Hunan. *Hunan Agricultural Sciences*, (1): 54–56 (in Chinese) [王逸才, 陈明田, 颜健红, 覃满飞, 王玲, 金晨钟, 胡军和, 谭显胜. 2020. 湘中地区新入侵害虫草地贪夜蛾的发生情况及防治. *湖南农业科学*, (1): 54–56]
- Westbrook JK, Eyster RS, Wolf WW, Lingren PD, Raulston JR. 1995. Migration pathways of corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) indicated by tetroon trajectories. *Agricultural and Forest Meteorology*, 73(1/2): 67–87
- Westbrook JK, Nagoshi RN, Meagher RL, Fleischer SJ, Jairam S. 2016. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *International Journal of Biometeorology*, 60(2): 255–267
- Wolf WW, Westbrook JK, Raulston J, Pair SD, Hobbs SE. 1990. Recent airborne radar observations of migrant pests in the United States. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 328(1251): 619–630
- Wu MF, Qi GJ, Chen H, Ma J, Liu J, Jiang YY, Lee GS, Otuka A, Hu G. 2022. Overseas immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), invading Korea and Japan in 2019. *Insect Science*, 29(2): 505–520
- Wu QL, Jiang YY, Hu G, Wu KM. 2019a. Analysis on spring and summer migration routes of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) from tropical and southern subtropical zones of China. *Plant Protection*, 45(3): 1–9 (in Chinese) [吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 吴孔明. 2019a. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析. *植物保护*, 45(3): 1–9]
- Wu QL, Jiang YY, Wu KM. 2019b. Analysis of migration routes of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) from Myanmar to China. *Plant Protection*, 45(2): 1–6, 18 (in Chinese) [吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 2019b. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析. *植物保护*, 45(2): 1–6, 18]
- Wu QL, Hu G, Lu MH, Wang B, Zhu XX, Su F, Zhang ZG, Zhai BP. 2015. Mesoscale source areas and landing mechanisms of the early immigrant white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in Hunan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 35(22): 7397–7417 (in Chinese) [吴秋琳, 胡高, 陆明红, 王标, 朱秀秀, 粟芳, 张仲刚, 翟保平. 2015. 湖南白背飞虱前期迁入种群中小尺度虫源地及降落机制. *生态学报*, 35(22): 7397–7417]
- Yang PY, Chang XY. 2019. Occurrence and influence of *Spodoptera frugiperda* in Asia and Africa and its control strategies. *China Plant Protection*, 39(6): 88–90 (in Chinese) [杨普云, 常雪艳. 2019. 草地贪夜蛾在亚洲、非洲发生和影响及其防控策略. *中国植保导刊*, 39(6): 88–90]
- Zhang XY, Feng CH, Wan XW, Hu G, Li Q, Jiang CX. 2020. The source areas and migration routes of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Sichuan Province in 2019. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 770–779 (in Chinese) [张雪艳, 封传红, 万宣伍, 胡高, 李庆, 蒋春先. 2020. 2019年四川省草地贪夜蛾迁入虫源地分布及迁飞路径. *植物保护学报*, 47(4): 770–779]

(责任编辑:李美娟)