

# 2019年四川省草地贪夜蛾迁入虫源地分布及迁飞路径

张雪艳<sup>1</sup> 封传红<sup>2</sup> 万宣伍<sup>2</sup> 胡 高<sup>3</sup> 李 庆<sup>1</sup> 蒋春先<sup>1\*</sup>

(1. 四川农业大学农学院, 成都 611130; 2. 四川省农业农村厅植物保护站, 成都 610041;

3. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095)

**摘要:** 为明确2019年四川省草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的虫源地分布及迁入路径, 利用HYSPLIT轨迹分析平台模拟草地贪夜蛾的迁入及迁出轨迹, 并利用GrADS气象图形处理软件进一步分析其迁飞期间的天气背景。结果表明, 草地贪夜蛾最早于2019年4月下旬迁入川西南及川南地区, 其虫源主要来自云南省; 5月上中旬进入大规模迁入和向北扩展期, 四川盆地大部分地区见虫, 最远可达川东北32.087°N; 川西南及川南虫源来自我国云南省和缅甸, 川东虫源来自我国贵州省, 而川西、川中虫源多为川内虫源扩散而至; 6月中旬本地的草地贪夜蛾进一步向北迁飞, 到达四川盆地西北地区, 甚至进入陕西省, 除川西高原外, 四川省各地均可见虫。草地贪夜蛾在四川省的整体迁飞路径表现为由南向北, 再由东北向西北扩展。结合迁飞轨迹与水平风场分析发现, 由孟加拉湾而来的西南暖湿气流可为草地贪夜蛾迁飞提供运载气流。

**关键词:** 草地贪夜蛾; 四川省; 迁飞轨迹; 虫源地; 迁入路径

## The source areas and migration routes of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Sichuan Province in 2019

ZHANG Xueyan<sup>1</sup> FENG Chuanhong<sup>2</sup> WAN Xuanwu<sup>2</sup> HU Gao<sup>3</sup> LI Qing<sup>1</sup> JIANG Chunxian<sup>1\*</sup>

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan Province, China; 2. Plant Protection Station of Sichuan Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, Sichuan Province, China;

3. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu Province, China)

**Abstract:** In order to understand the distribution of source areas and migratory routes of *Spodoptera frugiperda* in Sichuan Province in 2019, the HYSPLIT trajectory analysis platform was used to simulate the immigration and emigration of *S. frugiperda*, and the weather background during the migration was analyzed by using the meteorological graphics processing software GrADS. The results showed that *S. frugiperda* immigrated into southwestern Sichuan and southern Sichuan in late April, 2019, and the source areas were mainly from Yunnan Province. In early to mid-May, *S. frugiperda* invaded most areas of Sichuan on a large scale, which could be found in most parts of the Sichuan Basin, up to 32.087°N in northeastern Sichuan. The pest found in southwestern and southern Sichuan came from Yunnan Province of China and Myanmar, while the pest found in eastern Sichuan came from Guizhou Province of China. After reproduction, *S. frugiperda* that arrived in Sichuan in early to mid-May, could migrate north and provide insect source for other areas of Sichuan and Shaanxi provinces in mid-June. Up to mid-June, *S. frugiperda* spread to other parts of Sichuan except the western Sichuan Plateau. The general migration path of *S. frugiperda* in Sichuan was from south to north, then from northeast to northwest. Combined with the analyses of migration trajectory and horizontal wind field, the southwest warm and

基金项目: 四川省科技厅四川省重点研发项目(2019YFN0180), 国家重点研发计划(2019YFD0300102)

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: chunxianjiang@126.com

收稿日期: 2020-04-25

humid airflow from the Bay of Bengal could provide a carrier airflow for the migration of *S. frugiperda*.

**Key words:** *Spodoptera frugiperda*; Sichuan Province; migration trajectory; source area; migration path

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属鳞翅目夜蛾科昆虫,原产于美洲热带及亚热带地区,食性杂,幼虫可取食玉米、水稻、高粱等 300 多种植物(Montezano et al., 2018),可造成玉米 15%~73% 的产量损失(Hruska & Gould, 1997; Casmuz et al., 2010; Rodríguez-del-Bosque et al., 2012)。草地贪夜蛾迁飞能力强,不存在滞育现象,成虫通常会季节性迁飞寻找适宜的环境以完成多个世代的繁殖(Sparks, 1979; Drake & Gatehouse, 1995),适宜风速下单晚迁飞距离可达几百公里(Westbrook et al., 2016)。2019 年 1 月,我国云南省普洱市江城首次发现并确认草地贪夜蛾入侵(姜玉英等, 2019a; 全国农业技术推广服务中心, 2019);随后在全国大范围迅速蔓延扩张。截至 2019 年 10 月,草地贪夜蛾遍及我国从南到北 26 个省(自治区、直辖市),玉米受害面积超过 107 万  $\text{hm}^2$ (姜玉英等, 2019b)。

明确迁飞性害虫的虫源地分布和迁飞路径是异地预测和源头治理的重点。草地贪夜蛾入侵我国后,国内学者们开展了草地贪夜蛾境外虫源地分布和迁入路径的研究(吴秋琳等, 2019a, b; Li et al., 2020)。除此之外,也开展了中国区域内草地贪夜蛾迁飞路径研究(罗举等, 2019; 齐国君等, 2019)。Li et al. (2020) 基于历史气象资料,预测草地贪夜蛾将从西线、东线 2 条路径由南向北迁飞,西线源于缅甸和我国云南省越冬区,经贵州省和四川省后进入山西省、陕西省及甘肃省;东线源于泰国、老挝、越南以及我国华南越冬区,逐步北迁进入长江流域、黄淮地区以及入黄河以北地区,甚至进入东北地区。同时, 6、7 月草地贪夜蛾还可跨海进入日本和韩国(Ma et al., 2019)。陈辉等(2020)在此基础上,综合轨迹分析方法和有效积温模型,进一步将我国草地贪夜蛾发生区域分为 4 个区域,即华南南部 9~12 代区、长江以南 6~8 代区、黄淮海及西南 3~5 代区和北方 1~2 代区。这些研究绘制了我国草地贪夜蛾迁飞路线的总体框架,为该虫的预测及防控提供了指导。

四川省地处我国西南部,地形复杂,地跨高原、山地、丘陵、盆地等几大地貌单元,以邛崃山脉为界,东部为四川盆地及盆缘山地,西部为川西高山高原及川西南山地,地势西高东低,地表起伏悬殊(毕建春, 2016; 管磊等, 2016)。地形地势的明显不同造就了其自成体系的昆虫迁飞环境,使得四川省的迁飞

性昆虫具有与中国东半部的东亚迁飞场迥然不同的种群时空动态规律(刘苡宸等, 2012; 毕建春等, 2014; 向薇薇等, 2015)。同时,迁飞性害虫在四川省繁殖后也可进一步向北迁飞为害,成为北方迁飞性害虫的虫源地(刘苡宸等, 2012)。2019 年 5 月 8 日,四川省西南地区西昌礼州镇首次发现草地贪夜蛾幼虫为害,截至 7 月 4 日,除川西高原阿坝州外,四川省所有市州均已见虫。根据适生性分布预测,草地贪夜蛾在四川省有较广的适生区域(林伟等, 2019; 秦誉嘉等, 2019)。鉴于四川省的地理特殊性及其在中国有害昆虫迁飞路径上的重要性,本研究拟通过分析 2019 年四川省草地贪夜蛾的迁入动态,利用 HYSPLIT 轨迹分析平台模拟 2019 年草地贪夜蛾迁入及迁出的轨迹,探讨该省草地贪夜蛾虫源地分布和迁入及迁出路径,以期为四川省及周边其它地区草地贪夜蛾的监测预警及有效防控提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

虫情数据:四川省草地贪夜蛾虫情调查数据来源于四川省农业农村厅植物保护站;缅甸和我国四川省及周边省市草地贪夜蛾虫情数据,来源于全国农业技术推广服务中心植物病虫情报(全国农业技术推广服务中心, 2019)及各省植保站。

气象数据:来源于美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)和美国国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)的全球再分析数据,时间分辨率为每 6 h 一次,空间分辨率为  $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ 。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 草地贪夜蛾迁入动态分析

由于四川省各植保站调查获得的均为草地贪夜蛾幼虫数据,因此根据发现草地贪夜蛾时间、查见幼虫龄期,结合草地贪夜蛾的发育历期(何莉梅等, 2019; 谢殿杰等, 2019; 张红梅等, 2020),推测各地草地贪夜蛾的迁入时间。幼虫虫龄为 2 龄时,回推 4~5 d;幼虫虫龄为 3 龄时,回推 5~7 d;幼虫虫龄为 4 龄时,回推 7~9 d;幼虫虫龄为 5 龄时,回推 9~11 d;幼虫虫龄为 6 龄时,回推 12~14 d。将不同时间段查见草地贪夜蛾的地理坐标导入 ArcGIS 10.2 软件,绘制四川省草地贪夜蛾迁入虫情图,分析四川省草地贪夜

蛾的迁入动态。

### 1.2.2 草地贪夜蛾迁入虫源轨迹分析

草地贪夜蛾迁飞轨迹模拟使用美国国家海洋和大气管理局与澳大利亚国家气象局共同开发的大气质点轨迹分析平台 HYSPLIT 进行在线模拟。根据四川省植保站对四川省的区划,将四川省分为川西南(凉山彝族自治州、攀枝花市)、川南(自贡市、宜宾市、泸州市)、川中(南充市、遂宁市、资阳市、内江市)、川西(成都市、眉山市、雅安市、乐山市)、川东(巴中市、达州市、广安市)、川北(广元市、绵阳市、德阳市)、川西高原(甘孜藏族自治州、阿坝藏族羌族自治州)7个区域。根据四川省草地贪夜蛾虫情和地理位置在4月下旬选择川西南西昌市礼州镇、川南泸州市合江县,5月上中旬选择川西南攀枝花市仁和区、川南宜宾市筠连县、川中资阳市乐至县、川西都江堰市、川东达州开江县,6月中旬选择川北绵阳平武县共8个代表性地点,对草地贪夜蛾迁入事件进行轨迹回推。

草地贪夜蛾的轨迹分析基于以下迁飞行为参数:(1)在高空顺风迁飞(Wolf et al., 1995; Nagoshi et al., 2009);(2)草地贪夜蛾夜间飞行,傍晚起飞、黎明前降落(Farrow & Daly, 1987),根据四川省日出日落时间,设置起飞时间为北京时间 20:00,降落时间为北京时间 06:00;(3)设置迁飞高度为距地面高度 500、750、1 000、1 250、1 500 m(Wolf et al., 1990; Westbrook et al., 1995; 2016);(4)草地贪夜蛾可连续飞行 1~3 个夜晚(Wang et al., 2017; Li et al., 2020)。

将得到的所有落点导入 ArcGIS 10.2 软件中,以轨迹落点处有适宜的寄主、落点地区有虫态适宜的草地贪夜蛾发生为标准进行有效轨迹筛选,将有效轨迹与地图叠加后成图显示,综合分析草地贪夜蛾虫源地分布和迁飞轨迹。

### 1.2.3 迁入虫源 $F_1$ 代的迁出轨迹分析

根据 1.2.1 所得的 2019 年四川省草地贪夜蛾迁入虫情动态情况,确定 2019 年 5 月上中旬为四川省草地贪夜蛾大规模迁入期。选择该时期已见虫的川西南攀枝花市仁和区、川南宜宾市筠连县、川中资阳市乐至县、川西都江堰市、川东达州开江县作为代表性地点,根据草地贪夜蛾发育历期推测其虫源迁出日期,对在四川省繁殖的  $F_1$  代成虫迁出事件进行轨迹顺推。轨迹分析平台及草地贪夜蛾迁飞行为参数、数据分析处理等与 1.2.2 中草地贪夜蛾迁入虫源轨迹分析一致。

### 1.2.4 草地贪夜蛾迁飞的水平风场分析

利用气象图形处理软件 GrADS 提取全球再分析数据中 4 月下旬到 6 月中旬 850 hPa 高度层  $92^{\circ}\text{E}\sim 112^{\circ}\text{E}$ 、 $20.15^{\circ}\text{N}\sim 37^{\circ}\text{N}$  区域内的风向和风速,绘制水平风场图,对草地贪夜蛾迁飞的运载气流进行分析。

### 1.2.5 2019 年四川省草地贪夜蛾迁入路径分析

根据 1.2.2 所得的四川省不同地区草地贪夜蛾迁飞轨迹及 1.2.4 所得其迁飞期间的气象背景,并结合本课题组前期对川西高原虫源的研究结果(邓晓悦等, 2020),综合分析获得 2019 年四川省草地贪夜蛾的迁入路径,并利用 ArcGIS 10.2 和 Photoshop CC 2015.1.1 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 2019 年四川省草地贪夜蛾迁入虫情

2019 年 5 月 8 日首次在川西南山地西昌市礼州镇查见草地贪夜蛾幼虫为害,此后陆续在各地均发现其幼虫为害。根据各地发现草地贪夜蛾时间、查见幼虫龄期,结合草地贪夜蛾发育历期推算各地的草地贪夜蛾迁入时间,获得 2019 年四川省草地贪夜蛾迁入虫情动态。草地贪夜蛾最早在 4 月下旬迁入川西南西昌礼州镇和川南泸州合江县,5 月上中旬草地贪夜蛾大规模迁入;5 月上旬最远可达  $31.039^{\circ}\text{N}$ ;5 月中旬最远可达四川盆地东北部  $32.087^{\circ}\text{N}$ ;5 月下旬和 6 月上旬迁入区域多集中在已有见虫区域内;6 月中旬迁入区域主要集中在四川盆地西北部,至此遍及四川盆地(图 1)。草地贪夜蛾在四川省的整体迁飞路径表现为由南向北,再由东北向西北扩张。

### 2.2 四川省草地贪夜蛾迁入虫源轨迹

根据四川省草地贪夜蛾的虫情动态情况,选取不同时段、不同区域的 8 个代表性地点进行草地贪夜蛾回推轨迹。具体选择对 4 月下旬川西南、川南,5 月上中旬大规模迁入期各区域代表性地点,6 月中旬川北迁入的草地贪夜蛾,根据各个地点的经纬度及推测的虫源迁入日期,结合草地贪夜蛾迁飞特征参数进行迁飞轨迹的回推分析(表 1)。

4 月末,草地贪夜蛾入侵四川省(表 1),首发地川西南礼州镇草地贪夜蛾回推轨迹第 1 晚的落点主要落在川内;回推第 2~3 晚的落点主要落在我国云南省西北部,少数落在缅甸(图 2-A)。因此,礼州镇虫源可能主要来自我国云南省西北部,少数来自缅甸。川南合江县草地贪夜蛾回推轨迹第 1 晚的落点主要落在贵州省西部、云南省东部;回推轨迹第 2 晚

落点主要落在云南省中部、北部,贵州省西部及北部,广西壮族自治区(简称广西)西北部;回推轨迹第3晚的落点主要落在云南省中部、西部及广西(图2-B)。根据贵州省的虫情及草地贪夜蛾生育历期推算,4月底时贵州省无法作为合江县的虫源地,因此合江县的草地贪夜蛾可能主要由云南省迁飞而来,少部分由广西经2~3晚飞行而来。

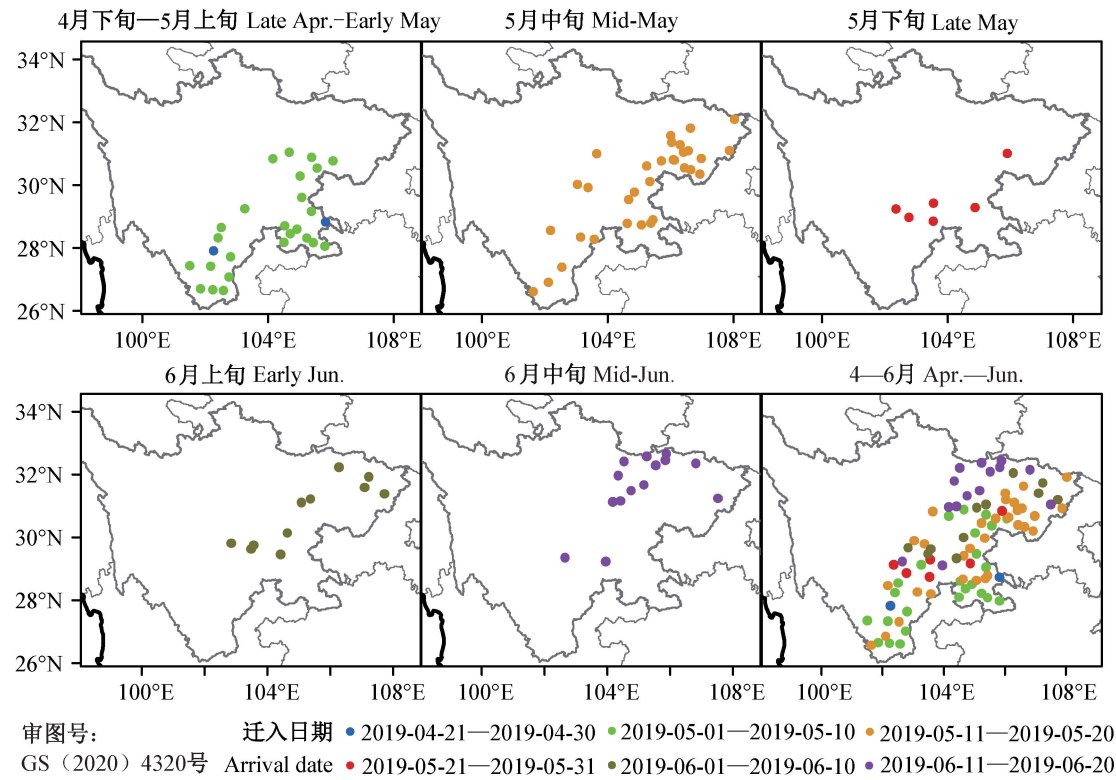


图1 2019年四川省草地贪夜蛾迁入虫情动态

Fig. 1 The dynamics of *Spodoptera frugiperda* immigration into Sichuan Province in 2019

表1 四川省不同地点草地贪夜蛾迁入时间

| Table 1 The estimated immigration dates of <i>Spodoptera frugiperda</i> in different places of Sichuan Province |                             |                                           |                                          |                                      |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 时间<br>Time                                                                                                      | 区域/地点<br>Region/site        | 经纬度<br>Longitude/latitude                 | 幼虫发现日期<br>First appearance date of larva | 推测迁入日期<br>Estimated immigration date |  |
| 4月下旬<br>Late April                                                                                              | 川西南<br>Southwestern Sichuan | 西昌市礼州镇<br>Lizhou Town, Xichang City       | 5-08                                     | 4-24—4-26                            |  |
|                                                                                                                 | 川南<br>Southern Sichuan      | 泸州市合江县<br>Hejiang County, Luzhou City     | 5-09                                     | 4-25—4-27                            |  |
| 5月上中旬<br>Early & Mid-May                                                                                        | 川西南<br>Southwestern Sichuan | 攀枝花市仁和区<br>Renhe District, Panzhihua City | 5-15                                     | 5-01—5-03                            |  |
|                                                                                                                 | 川南<br>Southern Sichuan      | 宜宾市筠连县<br>Junlian County, Yibin City      | 5-14                                     | 5-03—5-05                            |  |
|                                                                                                                 | 川中<br>Central Sichuan       | 资阳市乐至县<br>Lezhi County, Ziyang City       | 5-19                                     | 5-08—5-10                            |  |
|                                                                                                                 | 川西<br>Western Sichuan       | 都江堰市<br>Dujiangyan City                   | 5-22                                     | 5-11—5-13                            |  |
|                                                                                                                 | 川东<br>Eastern Sichuan       | 达州市开江县<br>Kaijiang County, Dazhou City    | 5-22                                     | 5-15—5-17                            |  |
|                                                                                                                 | 川北<br>Northern Sichuan      | 绵阳市平武县<br>Pingwu County, Mianyang City    | 6-23                                     | 6-14—6-16                            |  |

5月上中旬,草地贪夜蛾大规模入侵四川省,对各区域均选择1个代表性地点做轨迹回推分析(表1)。川西南仁和区草地贪夜蛾的回推轨迹第1晚主要落在云南省西北部;第2~3晚轨迹落点主要落在我国云南省西部及缅甸北部(图2-C)。因此仁和区的虫源地主要集中在我国云南省西北部、西部,也有极少数来自缅甸。川南地区筠连县草地贪夜蛾回推轨迹第1晚的落点落在云南与贵州2省交界处;第2晚的落点主要落在云南省东北部;第3晚的落点主要落在我国云南省北部、西部,少数落在缅甸(图2-D)。筠连县的虫源主要由我国云南省迁飞而来,缅甸也可为其提供迁飞虫源。川中乐至县草地贪夜蛾的回推轨迹落点主要落在川中周围、川东,极少数落在重庆市(图2-E)。而5月上旬,川东与重庆市均无法作为川中的虫源地,因此,模拟的乐至县草地贪夜蛾迁飞轨迹均为无效轨迹,推测虫源可能由附近虫源扩散而来。川西地区都江堰市草地贪夜蛾迁飞的回推

落点主要在回推起点附近,可能由附近虫源扩散而来(图2-F)。川东开江县草地贪夜蛾回推轨迹落点第1~2晚主要落在重庆市,少部分落在贵州省;第3晚的轨迹落点落在贵州省,极少数落在广西(图2-G),但此时重庆市并不能提供虫源,因此开江县草地贪夜蛾可能为贵州省、广西虫源经过2~3晚飞行而来。

6月中旬,草地贪夜蛾迁飞至盆地西北地区,遍及四川盆地(表1)。川北平武县草地贪夜蛾回推轨迹落点主要落在川东,极少数落在川中(图2-H)。因此,平武县草地贪夜蛾虫源主要来自川东地区,为四川省境内虫源。综上所述,四川省草地贪夜蛾虫源分布表现出明显的时间和空间异质性。四川省4月下旬的虫源主要来自我国云南省,少数来自缅甸。5月上中旬大规模迁入期,川西南及川南虫源主要来自我国云南省和缅甸,川东虫源主要来自我国贵州省,而川西、川中虫源多由川内虫源扩散而至。6月中旬川北虫源主要来自川东地区。

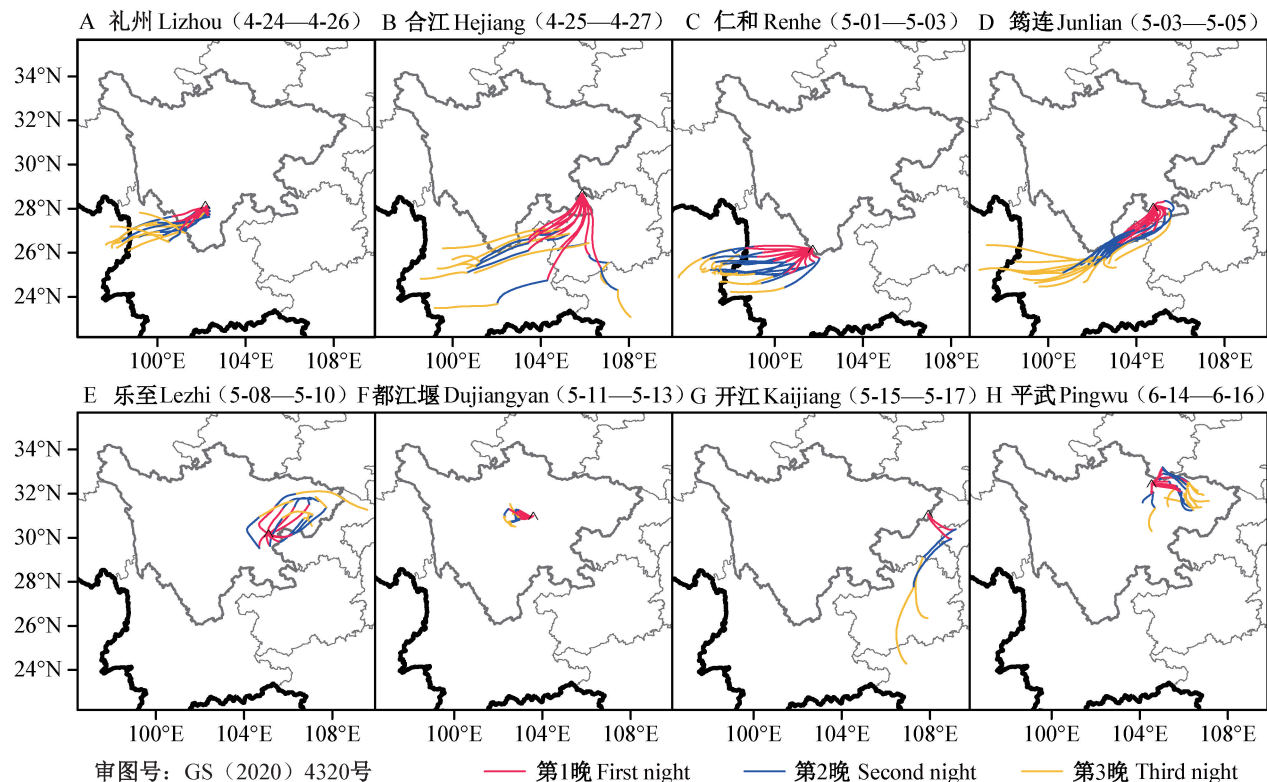


图2 四川省不同地点的草地贪夜蛾回推轨迹

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

### 2.3 2019年5月上中旬迁入虫源 $F_1$ 代顺推轨迹

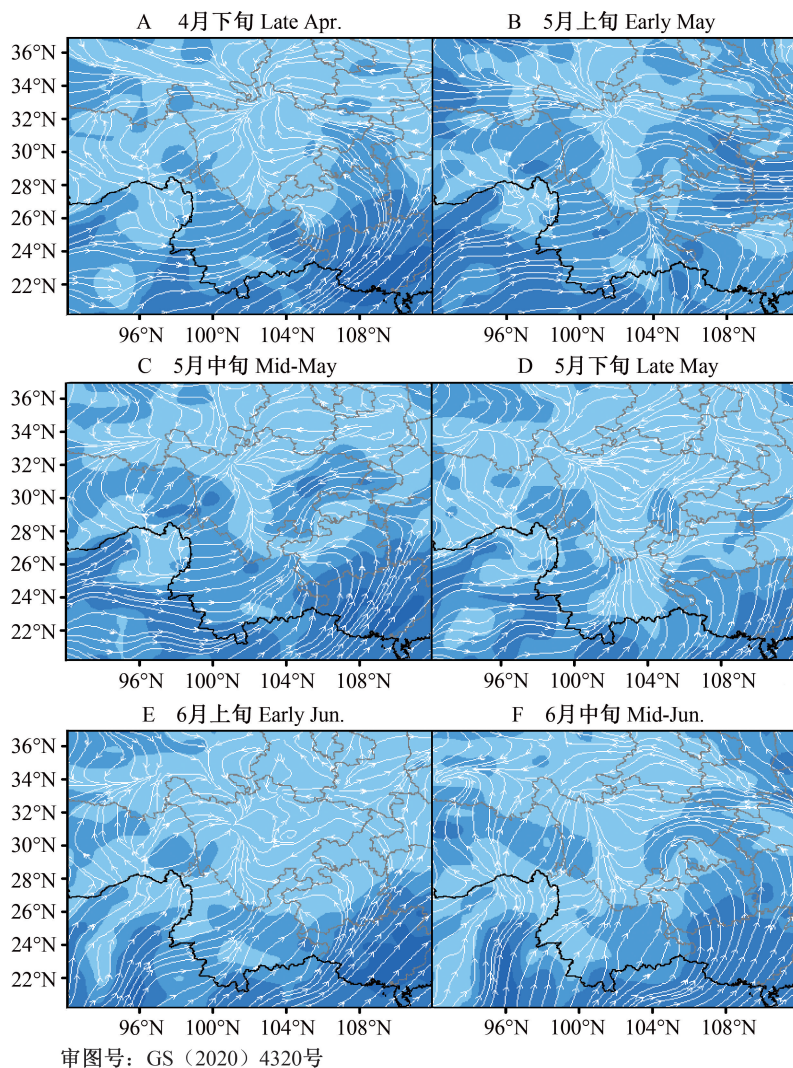
根据虫情动态分析可知,2019年5月上中旬为四川省草地贪夜蛾大规模迁入期,选取5月上中旬四川省5个区域的代表性地点,根据各个地点的经纬度及推测的虫源迁出日期,结合草地贪夜蛾迁飞

特征参数,对2019年5月上中旬四川省5个区域迁入草地贪夜蛾繁殖后的 $F_1$ 代成虫迁出进行顺推轨迹分析(表2)。结果表明,5月上中旬迁入川西南及川南的草地贪夜蛾繁殖1代后可向北迁飞,川西南山地的草地贪夜蛾可为本区域内其它地点、川南和



汇合,副高中心位置不断北抬,在此形势下,缅甸和我国云南省 850 hPa 高空的风向为偏西-西南风,贵州省上空主要风向为东风、东南风,可作为草地贪夜蛾迁入四川省并继续北迁的运载气流(图 4-A~D)。进入 6 月后,来自孟加拉湾的西南季风不断加强,同

时副热带高压也加强西伸北抬,使得四川省主要受西南暖湿气流控制。6 月中旬,四川省东部及北部广大地区受东风控制,可为川东虫源迁飞至盆地西北部提供运载气流(图 4-E~F)。



审图号: GS (2020) 4320号

图 4 2019 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 2019

## 2.5 2019 年四川省草地贪夜蛾迁入路径

根据四川省不同地区草地贪夜蛾的迁飞轨迹及迁飞期间的气象背景,并结合对川西高原虫源的研究结果,综合分析获得 2019 年四川省草地贪夜蛾的迁入路径,路径 1(川西南路径):随西南气流从缅甸或我国云南省,经云南省北部迁入川西南山地;路径 2(川南路径):随西南气流从缅甸,经我国云南省东北部迁入川南地区;路径 3(川东路径):随偏南气流从贵州省迁入川东地区;路径 4(川北径路):随偏东气流从川中或川东迁入川北;路径 5(川西高原路径):随西南气流从云南省或西藏自治区迁入川西高

原地区(图 5)。

## 3 讨论

川南和川东是四川省迁飞性害虫如白背飞虱 *Sogatella furcifera* 的常发地、重发地,白背飞虱整体迁飞路径表现为由东南向西北发生、发展(刘苡宸等, 2012; 向薇薇等, 2015; 毕建春等, 2017)。本研究结果表明,2019 年草地贪夜蛾于 4 月下旬开始迁入四川省西南及南部地区,6 月中旬可遍及整个四川盆地,整体迁飞路径表现为由南向北,再由东北向西北扩展。这与毕建春等(2017)研究分析的四川省白背

飞虱迁入模式略有不同。

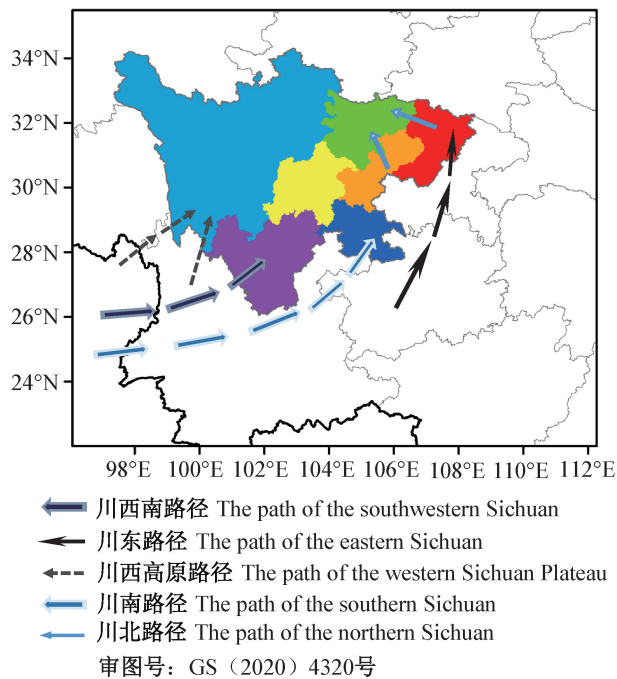


图5 2019年四川省草地贪夜蛾迁入路径图

Fig. 5 Migration pathway of *Spodoptera frugiperda* in Sichuan Province in 2019

吴秋琳等(2019a)在进行中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹分析时发现,4月时,我国云南省和缅甸的草地贪夜蛾种群可为我国四川省提供虫源。本研究结果表明,四川省的草地贪夜蛾早期虫源主要来自我国云南及贵州2省和缅甸,少数来自我国广西,与吴秋琳等(2019a)研究结果相似。5月上中旬草地贪夜蛾大规模迁入四川省,且不同区域的迁入虫源存在差异,川西南虫源主要来自我国云南省和缅甸,川南虫源主要来自我国云南省,川东虫源主要来自我国贵州省;而5月上中旬川西、川中上空主要为东北风,没有适合草地贪夜蛾迁飞的运载气流,因此川中、川东的迁入虫源可能主要由附近虫源因繁殖或觅食等原因短距离飞行扩散而来。与四川省常发迁飞性害虫白背飞虱早期虫源来自我国云南省南部以及越南和老挝北部不同(毕建春等,2017),四川省草地贪夜蛾虫源地分布更为集中和偏北。

现已证实入侵我国的草地贪夜蛾为玉米型,主要为害玉米(刘杰等,2019;张磊等,2019),四川省各地区均大面积种植着春玉米和夏玉米,为草地贪夜蛾提供了丰富的食物。草地贪夜蛾可在四川省快速繁殖后向北继续迁飞。Li et al. (2020)预测草地贪

夜蛾从缅甸和我国云南省越冬区,经贵州、四川2省进入山西省、陕西省及甘肃省。本研究结果显示,5月上中旬迁入四川省的草地贪夜蛾繁殖后 $F_1$ 代成虫向北迁飞的落点多集中在川内,部分可到达陕西省,与Li et al. (2020)预测结果相似。本研究结果表明,川东草地贪夜蛾繁殖后可向西北迁飞到达四川盆地北部,与6月中旬川北虫源来自于川东的回推结论相呼应。川西南地区 $F_1$ 代成虫顺推轨迹向北最远达到川西与川西南交界处,可能是由于川西南地区位于邛崃山脉西侧,其东侧、南侧、西北侧均有高山,导致其主要受来自云南省方向的偏南-西南气流影响,而邛崃山脉对偏南的气流起到一定的阻挡作用,因此由川西南迁往其它地区的草地贪夜蛾较少。毕建春等(2017)对白背飞虱和向卫国等(1995)对稻飞虱的研究结果与本研究结果一致,也表现为虫源难以从川西南迁往四川盆地的其它地区。

2019年是草地贪夜蛾入侵我国后向北迁飞的第1年,仅仅1年的研究数据远不足以反映其迁飞规律。本课题组后期调查发现,2019年冬季在川西南温暖地区如攀枝花市米易县等地一直有草地贪夜蛾繁殖为害。根据农业农村部印发的《全国草地贪夜蛾防控方案》,四川省南亚热带地区被划入草地贪夜蛾周年繁殖区,因此2020年之后四川省草地贪夜蛾的迁入时间、虫源分布及迁入路径等应当与2019年有显著不同,还需持续进行多年监测,开展不同年份、不同区域、不同时间草地贪夜蛾的虫源分布及迁飞路径研究,才能更精准地掌握其迁飞规律。

## 参考文献 (References)

- BI JC. 2016. The study on migration origins of white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in Sichuan. Master Thesis. Ya'an: Sichuan Agricultural University (in Chinese) [毕建春. 2016. 四川稻区白背飞虱迁入虫源分析. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学]
- BI JC, CHEN XL, JIANG CX, LI Q, FENG CH, MA L, WANG HJ, YANG QF. 2017. Origins and migration pathways of white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*, 37(6): 1832-1843 (in Chinese) [毕建春, 陈星燎, 蒋春先, 李庆, 封传红, 马利, 王海建, 杨群芳. 2017. 四川地区白背飞虱虫源地分析及迁入路径. *生态学报*, 37(6): 1832-1843]
- BI JC, CHEN XL, PENG XM, FENG CH, MA L, JIANG CX, LI Q, WANG HJ, YANG QF. 2014. Source area and landing mechanism of early immigration population of white-backed planthoppers in Xuyong, Sichuan Province. *Chinese Journal of Rice Science*, 28(5): 541-550 (in Chinese) [毕建春, 陈星燎, 彭晓明, 封

- 传红, 马利, 蒋春先, 李庆, 王海建, 杨群芳. 2014. 四川叙永白背飞虱早期迁入种群虫源地分布与降落机制研究. 中国水稻科学, 28(5): 541-550]
- CASMUZ A, JUÁREZ ML, SOCÍAS MG, MURÚA MG, PRIETO S, MEDINA S, WILLINK E, GASTAMINZA G. 2010. Review of the host plants of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, 69(3/4): 209-231
- CHEN H, WU MH, 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]
- DENG XY, ZHANG XY, JIANG CX, ZHANG Y, LI Q, WANG RL, FENG CH, MA L, WAN XW, TIAN H. 2020. Source analysis of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) invaded western Sichuan Plateau. Plant Protection, 46(2): 78-84, 100 (in Chinese) [邓晓悦, 张雪艳, 蒋春先, 张悦, 李庆, 王茹琳, 封传红, 马利, 万宣伍, 田卉. 2020. 入侵川西高原的草地贪夜蛾虫源分析. 植物保护, 46(2): 78-84, 100]
- DRAKE VA, GATEHOUSE AG. 1995. Insect migration: tracking resources through space and time. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 478
- 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): 1-24
- GUAN L, WANG HJ, WANG YK, PENG PH. 2016. Relationship analysis of seed plants' species variety and topography in Sichuan Province based on GIS. Yangtze River, 47(18): 11-17 (in Chinese) [管磊, 王华军, 王玉宽, 彭培好. 2016. 基于GIS的四川植物物种丰富度与地形关系分析. 人民长江, 47(18): 11-17]
- 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]
- HRUSKA AJ, GOULD F. 1997. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): impact of larval population level and temporal occurrence on maize yield in Nicaragua. Journal Economics Entomology, 90(2): 611-622
- JIANG YY, LIU J, XIE MC, LI YH, YANG JJ, ZHANG ML, QIU K. 2019b. 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. 2019b. 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. 2019a. Analysis on the occurrence dynamics of invasion and future trend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in China. China Plant Protection, 39(2): 33-35 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 2019a. 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 W, XU MF, QUAN YB, LIAO L, GAO L. 2019. Potential geographic distribution of *Spodoptera frugiperda* in China based on MaxEnt model. Plant Quarantine, 33(4): 69-73 (in Chinese) [林伟, 徐森锋, 权永兵, 廖力, 高磊. 2019. 基于MaxEnt模型的草地贪夜蛾适生性分析. 植物检疫, 33(4): 69-73]
- LIU J, JIANG YY, WU QL, ZHAO SY, LI H. 2019. Characteristics of the damage caused by *Spodoptera frugiperda* in winter and spring in China and the trend in the second half of the year. China Plant Protection, 39(7): 36-38, 49 (in Chinese) [刘杰, 姜玉英, 吴秋琳, 赵胜园, 李虎. 2019. 我国草地贪夜蛾冬春季发生为害特点及下半年发生趋势分析. 中国植保导刊, 39(7): 36-38, 49]
- LIU YC, BI JC, HENG XR, LIU ZX, AN W, JIANG CX. 2012. On analysis of source area of white-backed plant-hopper (*Sogatella furcifera* (Horváth)) in early immigration to Miyi, Sichuan in 2009. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 37(12): 50-55 (in Chinese) [刘苡宸, 毕建春, 衡晓容, 刘子欣, 安伟, 蒋春先. 2012. 2009年四川米易地区白背飞虱早期迁入虫源分析. 西南师范大学学报(自然科学版), 37(12): 50-55]
- 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 J, WANG YP, WU MF, GAO BY, LIU J, LEE GS, OTUKA A, HU G. 2019. High risk of the fall armyworm invading into Japan and the Korean Peninsula via overseas migration. Journal of Applied Entomology, 143(9): 911-920
- 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 SJ, 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, LÜ LH. 2019. Analysis of migratory routes and atmospheric features of newly invaded the 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, 湛爱东, 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]
- QIN YJ, LAN S, ZHAO ZH, SUN HY, ZHU XM, YANG PY, LI ZH. 2019. Potential geographical distribution of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 45(4): 43–47, 60 (in Chinese) [秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 孙宏禹, 朱晓明, 杨普云, 李志红. 2019. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布. *植物保护*, 45(4): 43–47, 60]
- RODRÍGUEZ-DEL-BOSQUE LA, CANTÚ-ALMAGUER MA, REYES-MÉNDEZ CA. 2012. Corn hybrids and planting dates affect yield losses by *Helicoverpa zea* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) feeding on ears in Mexico. *Journal of Entomological Science*, 47(2): 177–184
- SPARKS AN. 1979. A review of the biology of the fall armyworm. *The Florida Entomologist*, 62(2): 82–87
- WANG FY, YANG F, LU MH, LUO SY, ZHAI BP, LIM KS, MCLNERNEY 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
- 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, RILEY JR, MASON PJ, JOYCE RJV. 1990. Recent airborne radar observations of migrant pests in the United State. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 328(1251): 619–630
- WOLF WW, WESTBROOK JK, RAULSTON JR, PAIR SD, LINGREN PD. 1995. Radar observations of orientation of noctuids migrating from corn fields in the Lower Rio Grande Valley. *Southwestern Entomologist*, 20(S): 45–61
- 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]
- XIANG WG, HU HB, WAN J, HU Y, HE SL, HE M. 1995. Analysis of the patterns of weather circulation in which plant hopper occurs in Sichuan Province. *Journal of Chengdu Meteorological University*, 10(3): 211–219 (in Chinese) [向卫国, 胡红兵, 万军, 胡毅, 何树林, 何明. 1995. 四川水稻稻飞虱发生的天气环流型式分析. *成都气象学院学报*, 10(3): 211–219]
- XIANG WW, ZENG W, CHEN XL, JIANG CX, FENG CH, MA L, LI Q, YANG QF, WANG HJ. 2015. Source areas and landing mechanisms of the immigration populations of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) in eastern Sichuan, southwestern China. *Acta Entomologica Sinica*, 58(3): 308–318 (in Chinese) [向微微, 曾伟, 陈星燎, 蒋春先, 封传红, 马利, 李庆, 杨群芳, 王海建. 2015. 川东地区白背飞虱迁入种群虫源地分布与降落机制. *昆虫学报*, 58(3): 308–318]
- XIE DJ, ZHANG L, CHENG YX, JIANG XF. 2019. Age-stage two-sex life table for laboratory populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* at different temperatures. *Plant Protection*, 45(6): 20–27 (in Chinese) [谢殿杰, 张蕾, 程云霞, 江幸福. 2019. 不同温度下草地贪夜蛾年龄-阶段实验种群两性生命表的构建. *植物保护*, 45(6): 20–27]
- ZHANG HM, YIN YQ, ZHAO XQ, LI XY, WANG Y, LIU Y, CHEN FS, CHEN AD. 2020. The growth and development characteristics of *Spodoptera frugiperda* under different temperature conditions. *Journal of Environmental Entomology*, 42(1): 52–59 (in Chinese) [张红梅, 尹艳琼, 赵雪晴, 李向永, 王燕, 刘莹, 陈福寿, 湛爱东. 2020. 草地贪夜蛾在不同温度条件下的生长发育特性. *环境昆虫学报*, 42(1): 52–59]
- ZHANG L, LIU B, JIANG YY, LIU J, WU KM, XIAO YT. 2019. Molecular characterization analysis of fall armyworm populations in China. *Plant Protection*, 45(4): 20–27 (in Chinese) [张磊, 柳贝, 姜玉英, 刘杰, 吴孔明, 萧玉涛. 2019. 中国不同地区草地贪夜蛾种群生物型分子特征分析. *植物保护*, 45(4): 20–27]

(责任编辑:李美娟)