

我国及毗邻国家重要蝗虫迁飞规律

涂雄兵¹ 杜桂林² 柴守权³ 朱景全⁴ 张泽华^{1*}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 2. 全国畜牧总站, 北京 100125; 3. 国家林业和草原局生物灾害防控中心, 沈阳 110034; 4. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

摘要: 蝗虫灾害是国际性的自然生物灾害, 涉及多个国家和地区, 大发生时对全球经济和环境造成严重影响。该文列举出中国及毗邻国家对我国产生影响的主要迁飞蝗虫种类, 分析东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* (Meyen)、亚洲飞蝗 *Locusta migratoria migratoria* (L.)、西藏飞蝗 *Locusta migratoria tibetensis* Chen、亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus* (Bey-Bienko)、意大利星翅蝗 *Calliptamus italicus* (L.) 和黄脊竹蝗 *Ceracris kiangsu* Tsai 共 6 种重要蝗虫种群的迁飞动态, 重点介绍境外蝗虫入境的迁飞路线, 揭示蝗虫主要借助低空气流进行迁飞, 发现群居型蝗虫迁飞现象普遍存在, 迁飞是导致其猖獗为害、暴发成灾的重要因子, 并就如何开展迁飞蝗虫监测和防治工作提出建议。

关键词: 蝗虫; 蝗灾; 迁飞; 监测预警; 害虫综合防治

Migration dynamics of important locust species in China and adjacent countries

Tu Xiongbing¹ Du Guilin² Chai Shouquan³ Zhu Jingquan⁴ Zhang Zehua^{1*}

(1. State Key Laboratory of Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. National Animal Husbandry Service, Beijing 100125, China; 3. Biological Disaster Control and Prevention Center, National Forestry and Grassland Administration, Shenyang 110034, Liaoning Province, China; 4. National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China)

Abstract: Locust plagues result in significant environmental and economic impacts both at the regional and country scales. If prolonged and widespread, these plagues represent natural disasters at an international level. In this review, the main migratory locust species in China along with several high-impact locust species occurring both in China and adjacent countries that could invade into China were listed. The migration dynamics of six important gregarious locusts, *i.e.*, *Locusta migratoria manilensis* (Meyen), *Locusta migratoria migratoria* (L.), *Locusta migratoria tibetensis* Chen, *Oedaleus asiaticus* (Bey-Bienko), *Calliptamus italicus* (L.), *Ceracris kiangsu* Tsai were analyzed, and then the migration pathways of the species occurring in adjacent countries into China were introduced. The analysis showed that locusts could migrate over long distances, predominantly by the low-air flow, and that long-distance flight was an important factor that facilitated the outbreaks of gregarious locusts and subsequent widespread damage. Finally, several strategies to monitor and control these high-impact insect pests were proposed.

Key words: locust and grasshopper; locust plague; migration; monitoring and warning; integrated pest management (IPM)

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-34-07), 中国农业科学院国际农业科学计划(CAAS-ZDRW202108), 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(S2021XM01)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: zhangzehua@caas.cn

收稿日期: 2021-10-07

蝗虫灾害是一种国际性的自然生物灾害,除南极洲以外,各大洲均有分布和发生,据统计全球约有1/8的人口常遭受蝗灾的袭扰(陈永林,2019)。全世界蝗虫种类超过14 000种,其中约有300种可对农林牧业生产造成损失(Bidau,2014);中国分布有约1 200种,但为害农林牧业生产的有60余种(印展,2010;中国动物主题数据库,2020)。历史上,蝗灾与水灾、旱灾并称为三大自然灾害,这里所指的蝗灾主要是由飞蝗迁飞导致的灾害(陈永林,2007)。现阶段,我国蝗虫发生面积约600万 hm^2 ,给全国农牧业生产和生态安全带来重大威胁(全国农业技术推广服务中心,2011;洪军等,2014;李新一,2018)。蝗虫之所以能造成如此巨大的威胁,与其生物学特性密切相关,如成灾蝗虫一般有3个特征:食性杂且食量大、繁殖力强以及能远距离迁飞(陈永林,2000a),其中远距离迁飞是蝗虫猖獗为害、暴发成灾的重要因子(陈永林,2019)。蝗虫可分为群居型和散居型,群居型蝗虫成虫迁飞能力较强,静风状态下飞行速度可达到2~3 m/s,而散居型蝗虫迁飞能力较弱,一般而言仅群居型蝗虫能聚集,并随低空气流进行远距离迁飞(郭鄂等,1991)。因此,本文对我国主要迁飞蝗虫种类进行了整理,分析了群居型蝗虫种群迁飞规律,并就如何开展迁飞蝗虫监测和防治工作提出了建议。

1 我国及毗邻国家主要迁飞蝗虫种类

从蝗虫生物学特性来看,我国主要迁飞蝗虫种类包括东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* (Meyen)、亚洲飞蝗 *L. migratoria migratoria* (L.)、西藏飞蝗 *L. migratoria tibetensis* Chen、亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus* (Bey-Bienko)、意大利星翅蝗 *Calliptamus italicus* (L.) 和黄脊竹蝗 *Ceracris kiangsu* Tsai,经常从境外迁入我国的蝗虫种类有亚洲飞蝗、亚洲小车蝗和黄脊竹蝗,对我国边境地区存在潜在威胁的有沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* (Forskål) (张源等,2021;赵紫华等,2021)。其中,东亚飞蝗分布于我国东部季风区,主要在农区为害,1年可发生1~4代,以卵在土壤中越冬,成虫与幼虫均具有群集性,寄主植物包括禾本科作物或杂草,尤其喜食芦苇(郭鄂等,1991)。亚洲飞蝗是重要的农牧业害虫,也是历史性害虫,常聚集、迁飞为害(查绪栋等,2021),主要分布于亚洲和欧洲部分地区,在我国分布于新疆维吾尔自治区(简称新疆)、青海省和甘肃省等地

区,其分布区海拔一般介于200~1 000 m之间,最高达2 500 m,最低为-154 m(新疆吐鲁番盆地的艾丁湖湖畔),以禾本科和莎草科作物为食,喜食芦苇、稗、玉米和小麦等,多发生在生长芦苇的沼泽地带(郭鄂等,1991)。西藏飞蝗分布于我国西藏自治区、青海省和四川省,为害农田和草场,1年发生1代,喜食禾本科作物和杂草(陈永林,2007)。亚洲小车蝗是我国北方草原和农牧交错带的重要害虫,也见于俄罗斯和蒙古等国家,1年发生1代,成虫具有趋光性,喜食羊草、隐子草、针茅和冰草等(内蒙古自治区草原工作站,2019)。意大利蝗广泛分布于欧洲大陆及中亚、东亚地区,在我国主要分布于新疆和甘肃省等地区,多为害草原,1年发生1代,喜食菊科多种蒿类、藜科和禾本科植物(范福来,2011)。黄脊竹蝗分布于老挝以及越南等东南亚国家,在我国主要分布于广西壮族自治区(简称广西)、云南省和贵州省等地区,是竹林主要害虫,也可为害水稻和玉米,1年发生1代(钟武洪等,2010)。2020年,云南省普洱市和西双版纳州发现境外黄脊竹蝗入侵(卓富彦等,2020)。沙漠蝗为非洲、西亚及南亚地区的重大害虫,2019年至今,在非洲之角、阿拉伯半岛等区域给当地的农牧业造成严重损失,多个国家宣布进入紧急状态(涂雄兵等,2020a)。2020年7月,沙漠蝗翻越青藏高原进入我国边境地区,由于监测和防治及时,未造成大面积扩散为害(FAO,2020;Liu et al., 2021)。

2 群居型蝗虫种群迁飞规律

迁飞是昆虫重要的生活史策略,可促进昆虫生殖以及取食等行为(张宗炳,1987)。结合近年来飞蝗迁飞的研究进展和观测数据,本文着重分析了东亚飞蝗在我国东部季风区的迁飞规律,以及迁飞蝗虫从毗邻国家迁入我国境内的路线。

2.1 我国东部季风区东亚飞蝗迁飞常态

2009年7月,黑龙江省肇源县和龙江县发生飞蝗灾害,发生面积超过20 000 km^2 ,大部分为5龄蝗蝻,严重地区密度超过1 000头/ m^2 ,这是继20世纪80年代后黑龙江省再次发生蝗灾。关于蝗虫的来源,当时有2种分析,一种认为是本地飞蝗引起;另一种则认为黑龙江省多年未发生蝗灾,这次蝗灾可能是外地种群迁入为害导致。针对这一争议,本课题组首先计算了飞蝗发育有效积温,发现肇源县和龙江县有效积温不能满足飞蝗种群完成1个完整的

世代,而且2009年7月发现的多为5龄蝗蛹,蝗蛹不能远距离迁飞,推测该种群是2008年由其他地区迁入肇源县和龙江县,产卵、越冬后翌年孵化,从而导致大面积暴发。

为验证这一假设,本课题组将该区域飞蝗翅脉(形态学)、线粒体DNA与其他地理种群飞蝗进行了比较,发现该区域飞蝗符合东亚飞蝗特征。结合2003—2016年蝗虫迁飞定点监测,在长岛野外观测站连续多年均能捕获一定数量的东亚飞蝗个体,表明东亚飞蝗在我国东部季风区迁飞是一个非常普遍的现象。结合风场数据分析发现,低空气流是主导东亚飞蝗在我国东部季风区迁飞的主要推动力,迁飞轨迹回推发现渤海湾南部(河北、辽宁、天津和山东等省市)可能是此次东亚飞蝗迁飞的起源地。针对发育和积温的研究结果表明东亚飞蝗在2008年7月20日—8月10日迁入可完成产卵并安全越冬,进而导致次年大暴发。上述多个证据揭示了东亚飞蝗在我国东部季风区的迁飞常态,并且低空气流是主导其迁飞的重要因子(Tu et al., 2020)。

2.2 亚洲飞蝗从境外迁飞入境路径分析

Yu et al. (2020)通过分析亚洲飞蝗在中亚国家与我国新疆地区的跨境迁飞轨迹,发现每年6—9月均有亚洲飞蝗迁入我国新疆地区;并以中哈边境新疆塔城区域亚洲飞蝗跨境为害最严重的1999年、2000年和2008年为例,发现境外虫源地主要分布在哈萨克斯坦境内阿拉湖、斋桑泊、巴尔喀什湖东部、额尔齐斯河沿岸和阿亚古兹河,从9条不同路径迁飞至我国新疆塔城境内为害,此时段虫源地以西北风为主,利于亚洲飞蝗跨境迁飞。

2.3 亚洲小车蝗从境外迁飞入境路径分析

2002—2019年,通过野外定点观测发现7月上中旬在二连浩特市—锡林浩特市—北京市沿线均有大量的亚洲小车蝗成虫迁飞种群,而该时段本土的亚洲小车蝗多处于5龄至成虫初期,不具备远距离迁飞能力,因此推测此阶段我国北方地区的亚洲小车蝗成虫可能由蒙古国迁飞入境。结合虫情灯诱、雷达监测数据和气象数据(二连浩特市、锡林浩特市、北京市延庆区)分析,发现气流对亚洲小车蝗远距离迁飞至关重要,且风切变是其迫降的主要因素。通过分析天气过程可知,该种群侵入时均盛行西北风,即7月上中旬,亚洲小车蝗借助西北风顺势起飞并随着西北气流南下,因其拥有较强的迁飞能力,顺着气流能连续飞行多个晚上,当西北气流与北

上的西南暖流相遇产生风切变则会引起大量降落,进而在降落区域为害(Wang et al., 2022)。

2.4 黄脊竹蝗从老挝迁飞入境

2020年6月28日—8月23日,黄脊竹蝗经老挝边境地区多次迁飞进入我国云南省普洱市和西双版纳州。卓富彦等(2020)通过实地观察和雷达监测发现入境黄脊竹蝗主要来自老挝丰沙里省,从6月28日首次迁入以来,分别在7月6日、9日、14日、17日及22日出现5个明显的迁入高峰;黄脊竹蝗从老挝迁入我国云南省主要有6条迁飞入境通道,每次蝗群迁飞持续时间在0.5~2.0 h之间。雷达数据显示,黄脊竹蝗多在下午14:00后迁飞,迁飞高度较为分散,海拔400 m以下迁飞密度较高,并且在晴天、有风、温度较高的天气进行大规模迁飞。据当地植保技术人员测算,单次迁入蝗虫数量普遍超过百万头,且在西双版纳州和普洱市沿国境线253 km范围内均有不同数量迁入,蝗群迁入后一般在距离边境30 km范围内降落,最远扩散纵深达到82 km,降落区域分布不均匀,一般密度为10~50头/m²,最高超过500头/m²(卓富彦等, 2020)。

2.5 其他群居型蝗虫种群迁飞动态

西藏飞蝗和意大利蝗这2种蝗虫迁飞路线目前未见报道,但是通过观察其生物学特性发现这2种蝗虫均具有较强的迁飞能力,可借助低空气流进行远距离迁飞(陈淋等, 2021)。今后,应重点关注与印度、尼泊尔接壤的我国西藏边境地区西藏飞蝗的种群动态,以及与哈萨克斯坦接壤的我国新疆等边境地区意大利蝗的种群动态。沙漠蝗具备很强的迁飞能力,可随低空气流每天迁移150 km,每年夏季从红海经阿拉伯半岛迁飞至印度河流域,冬天从印度河流域回迁至红海附近,并进一步迁移至萨赫勒地区(于红妍和石旺鹏, 2021);红海沿岸为沙漠蝗重要虫源地,向南经过埃塞俄比亚到达肯尼亚,转向乌干达进入南苏丹为害;萨赫勒西段受西非季风控制,向北进入北非,转而向东进入埃及,可到达底格里斯和幼发拉底河两河流域,严重威胁当地的农牧业生产(涂雄兵等, 2020b)。2019年以来沙漠蝗大面积暴发,再次说明远距离迁飞是沙漠蝗猖獗为害、暴发成灾的重要推动力。

3 应对策略

历史上,蝗灾治理是评价一个官员政绩的重要标准,在封建时代有一个说法——“蝗虫起飞,县官

人头落地”;虽然不科学,但是可见当时对蝗虫治理工作的重视(张德二,2004;陈永林,2007)。千百年来,由于缺乏对蝗虫生物学特性和迁飞规律的系统研究,人们普遍认为蝗虫迁飞是不正常的自然现象(张德二,2004)。直至20世纪80年代,飞蝗的迁飞规律被发现后,我国蝗虫的防控目标才开始发生转变(康乐和陈永林,1992;陈永林,2000b)。到2002年,蝗虫防控目标由之前的“飞蝗不起飞,土蝗不扩散”转变为“飞蝗不起飞成灾,土蝗不扩散为害”。这是一个非常重大的转变,该转变是基于发现了蝗虫迁飞是非常普遍的自然现象后做出的改变,即使在实际工作中遭遇了蝗虫迁飞为害,但是只要及时采取措施,控制其扩散蔓延,就能达到保障粮食安全生产的目的。随后,进一步将“入境蝗虫不二次起飞”作为我国蝗虫治理的总体目标。我国蝗虫防控总体目标的形成,是在充分掌握蝗虫生物学特性的基础上,系统开展治蝗工作的总结和凝练,是科学治蝗、依法治蝗的生动体现。现阶段,蝗虫灾害仍然给我国农牧业生产带来巨大威胁,因此针对境内外蝗虫持续暴发为害的现状,建议开展以下4个方面的工作。

一是持续监测国内蝗虫发生动态,加快边境生物灾害“防火墙”建设。在东部季风区,开展飞蝗年际间种群动态监测;在新疆、西藏、内蒙古和云南等省区应加强草原和林业蝗情监测,特别是重要虫源地蝗虫迁飞动态监测。同时,结合气象因子(温度、降雨、风场等)开展蝗虫发生动态预报工作(王佳宇等,2021)。在与周边国家接壤的我国边境地区,针对沙漠蝗、黄脊竹蝗、亚洲飞蝗以及亚洲小车蝗等入境蝗虫,尽快在内蒙古、新疆、西藏和云南等边境省区建立监测平台,建立蝗虫监测预警网络,实时预警沙漠蝗等重大害虫迁飞动态(李霜等,2021a)。

二是加快蝗虫迁飞规律研究,强化现代监测技术开发和应用。现阶段,我国蝗虫迁飞研究工作刚刚起步,很多关键问题还有待进一步解决,例如蝗虫起飞时间、天气对蝗虫迁飞的影响、蝗虫在空中飞行行为是否发生改变以及蝗群如何降落等等(Chapman et al., 2010),因此亟需加强对蝗虫迁飞规律的研究。同时,还要充分利用现代监测技术和手段,特别是分子遗传标记(曹卫菊,2006)、同位素标记(付晓伟,2015)、雷达和低空探照灯(程登发等,2005)以及遥感(Latchininsky, 2013;黄文江等,2020)等技术和手段,并在生产实践中需要进一步加强推广和应用。

三是强化分区治理,推进统防统治。蝗虫迁飞速度快、种群密度大,极易在短时间内暴发成灾。建议在地方政府部门领导下,严密监测蝗虫种群,及时做好灾害预警,统一组织,统一防治。并根据不同区域蝗虫的发生特点,因地制宜,采取适宜的防治措施和防控策略,实现统防统治(涂雄兵等,2015;马崇勇等,2018)。

四是加强国际合作,实现蝗灾可持续治理。在加强蝗虫生物学特性研究的基础上,进一步加强国家之间的合作,建立国际合作沟通机制,特别是与FAO以及周边接壤国家加强沟通,促进蝗虫灾情信息交流和防控技术等方面的国际合作,分享中国治蝗技术和方案(李霜等,2021b;涂雄兵等,2021)。同时,积极帮助灾区国家共同防控蝗灾,实现蝗虫源头控制,做到防蝗于国门之外。

参 考 文 献 (References)

- Bidau CJ. 2014. Patterns in Orthoptera biodiversity, I: adaptations in ecological and evolutionary contexts. *Journal of Insect Biodiversity*, 2(20): 1
- Cao WJ. 2006. Studies on genetic diversity and migration trajectory of different geographic populations of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae). Master thesis. Yangzhou: Yangzhou University (in Chinese) [曹卫菊. 2006. 草地螟不同地理种群的遗传多样性及迁飞轨迹分析. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学]
- 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 L, Wang TX, Li C, Jiang CX, Li Q. 2021. Research progresses in Tibetan migratory locust *Locusta migratoria tibetensis* Chen. *Journal of Plant Protection*, 48(1): 46–53 (in Chinese) [陈淋, 王廷萱, 李婵, 蒋春先, 李庆. 2021. 西藏飞蝗研究进展. 植物保护学报, 48(1): 46–53]
- Chen YL. 2000a. Characteristics, causes and ecological management of locust disasters. *Bulletin of Biology*, 35(7): 1–5 (in Chinese) [陈永林. 2000a. 蝗虫灾害的特点、成因和生态学治理. 生物学通报, 35(7): 1–5]
- Chen YL. 2000b. Main achievements of locust research and management in China. *Entomological Knowledge*, 37(1): 50–59 (in Chinese) [陈永林. 2000b. 中国的飞蝗研究及其治理的主要成就. 昆虫知识, 37(1): 50–59]
- Chen YL. 2007. The main locust and ecological management of the locust plague in China. Beijing: Science Press (in Chinese) [陈永林. 2007. 中国主要蝗虫及蝗灾的生态学治理. 北京: 科学出版社]

- Chen YL. 2019. Research on locusts and grasshoppers in China. Wuhan: Hubei Science and Technology Press (in Chinese) [陈永林. 2019. 中国蝗虫研究. 武汉: 湖北科学技术出版社]
- Cheng DF, Feng HQ, Wu KM. 2005. Scanning entomological radar and insect migration. Beijing: Science Press, pp. 1–20 (in Chinese) [程登发, 封洪强, 吴孔明. 2005. 扫描昆虫雷达与昆虫迁飞监测. 北京: 科学出版社, pp. 1–20]
- China Animal Scientific Database. 2020. Locust species search data. <http://www.zoology.csdb.cn>. 2020-12-20 (in Chinese) [中国动物主题数据库. 2020. 蝗虫种类检索数据. <http://www.zoology.csdb.cn>. 2020-12-20]
- Fan FL. 2011. The locusts disaster management in Xinjiang. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Publishing House, pp. 97–99 (in Chinese) [范福来. 2011. 新疆蝗虫灾害治理. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, pp. 97–99]
- FAO. 2020. Desert locust project final report. Rome, Italy: FAO
- Fu XW. 2015. Study on the community structure and population dynamics of migratory insects across the Bohai strait. PhD thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [付晓伟. 2015. “渤海湾通道”迁飞性昆虫群落结构及种群动态研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院]
- Guo F, Chen YL, Lu BL. 1991. The biology of the migratory locusts in China. Jinan: Shandong Science and Technology Press (in Chinese) [郭鄂, 陈永林, 卢宝廉. 1991. 中国飞蝗生物学. 济南: 山东科学技术出版社]
- Hong J, Du GL, Wang GJ. 2014. The occurring and control situation of grasshopper in the grassland of China (review). *Acta Agrestia Sinica*, 22(5): 929–934 (in Chinese) [洪军, 杜桂林, 王广君. 2014. 我国草原蝗虫发生与防治现状分析. 草地学报, 22(5): 929–934]
- Huang WJ, Dong YY, Zhao LL, Geng Y, Ruan C, Zhang BY, Sun ZX, Zhang HS, Ye HC, Wang K. 2020. Review of locust remote sensing monitoring and early warning. *Journal of Remote Sensing*, 24(10): 1270–1279 (in Chinese) [黄文江, 董莹莹, 赵龙龙, 耿芸, 阮超, 张弼尧, 孙忠祥, 张寒苏, 叶回春, 王昆. 2020. 蝗虫遥感监测预警研究现状与展望. 遥感学报, 24(10): 1270–1279]
- Inner Mongolia Grassland Station. 2019. Green prevention-control of pests in the grasslands of Inner Mongolia. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [内蒙古自治区草原工作站. 2019. 内蒙古草原有害生物绿色防控. 北京: 中国农业出版社]
- Kang L, Chen YL. 1992. Discussion on locust disaster and mitigation countermeasures. *Disaster Reduction in China*, (1): 50–52 (in Chinese) [康乐, 陈永林. 1992. 关于蝗虫灾害减灾对策的探讨. 中国减灾, (1): 50–52]
- Latchininsky AV. 2013. Locusts and remote sensing: a review. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7: 075099
- Li S, Wang JT, Pan F, Liu LL, Wang KF, Wang WC, Yao GM, Yang Z, Tu XB, Zhang ZH. 2021a. Analysis of the adaptability of desert locust *Schistocerca gregaria* to temperature and food. *Journal of Plant Protection*, 48(1): 13–27 (in Chinese) [李霜, 王加亭, 潘凡, 刘路路, 王坤芳, 王文成, 姚贵敏, 杨忠, 涂雄兵, 张泽华. 2021a. 沙漠蝗温度和食物适应性分析. 植物保护学报, 48(1): 13–27]
- Li S, Wang JT, Pan F, Liu LL, Yao GM, Wang KF, Wang WC, Wei J, Ma JP, Tu XB, et al. 2021b. Review of control technology of the desert locust *Schistocerca gregaria*. *Journal of Plant Protection*, 48(1): 37–45 (in Chinese) [李霜, 王加亭, 潘凡, 刘路路, 姚贵敏, 王坤芳, 王文成, 伟军, 马建萍, 涂雄兵, 等. 2021b. 沙漠蝗防控技术的综述. 植物保护学报, 48(1): 37–45]
- Li XY. 2018. Grassland biological disasters in China. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [李新一. 2018. 中国草原生物灾害. 北京: 中国农业出版社]
- Liu J, Lecoq M, Zhang L. 2021. Desert locust stopped by Tibetan highlands during the 2020 upsurge. *Agronomy*, 11(11): 2287
- Ma CY, Du GL, Zhang ZR, Yao GM, Luo JP, Na RH. 2018. Research of grassland locust regionalization and its green prevention-control matching technology in Inner Mongolia. *Acta Agrestia Sinica*, 26(4): 804–810 (in Chinese) [马崇勇, 杜桂林, 张卓然, 姚贵敏, 罗建平, 娜仁花. 2018. 内蒙古草原蝗虫区划及其绿色防控配套技术研究. 草地学报, 26(4): 804–810]
- National Agricultural Technology Extension Service Center. 2011. Forecast and integrated control of grasshoppers in China. Beijing: China Agriculture Press, pp. 178–179 (in Chinese) [全国农业技术推广服务中心. 2011. 中国蝗虫预测预报与综合防治. 北京: 中国农业出版社, pp. 178–179]
- Tu XB, Du GL, Li CJ, Wei YH, Zhang WG, Yuan XJ, Hong J, Li YZ, Wang BH, Zhao L, et al. 2015. Research progress in biological control of rangeland pests in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(5): 780–788 (in Chinese) [涂雄兵, 杜桂林, 李春杰, 尉亚辉, 张卫国, 负旭江, 洪军, 李彦忠, 王保海, 赵莉, 等. 2015. 草地有害生物生物防治研究进展. 中国生物防治学报, 31(5): 780–788]
- Tu XB, Du GL, Zhang ZH. 2021. Integration and application of sustainable management system against locusts & grasshoppers in China. *Journal of Plant Protection*, 48(1): 1–4 (in Chinese) [涂雄兵, 杜桂林, 张泽华. 2021. 我国蝗虫绿色防控技术体系集成与应用. 植物保护学报, 48(1): 1–4]
- Tu XB, Hu G, Fu XW, Zhang YH, Ma J, Wang YP, Gould PJL, Du GL, Su HT, Zhang ZH, et al. 2020. Mass windborne migrations extend the range of the migratory locust in East China. *Agricultural and Forest Entomology*, 22(1): 41–49
- Tu XB, Li S, Du GL, Pan F, Xu CM, Chen J, Wang ZR, Yang Z, Zhang ZH. 2020b. Research progresses in the biological characteristics and control techniques of the desert locust *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775). *Plant Protection*, 46(3): 16–22 (in Chinese) [涂雄兵, 李霜, 杜桂林, 潘凡, 徐超民, 陈俊, 王卓然, 杨智, 张泽华. 2020b. 沙漠蝗生物学特性及防治技术研究进展. 植物保护, 46(3): 16–22]
- Tu XB, Li S, Pan F, Xu CM, Chen J, Dong FS, Zhang ZH. 2020a. Advances research on chemical control of locusts and grasshoppers.

- Modern Agrochemicals, 19(2): 1–5, 33 (in Chinese) [涂雄兵, 李霜, 潘凡, 徐超民, 陈俊, 董丰收, 张泽华. 2020a. 蝗虫化学防控研究进展. 现代农药, 19(2): 1–5, 33]
- Wang JY, Du BB, Gao SJ, Menggenqiqige, Wang N, Lin KJ. 2021. Research progresses in grassland locust monitoring and early warning technology. Journal of Plant Protection, 48(1): 65–72 (in Chinese) [王佳宇, 杜波波, 高书晶, 孟根其其格, 王宁, 林克剑. 2021. 草原蝗虫监测预警技术的研究进展. 植物保护学报, 48(1): 65–72]
- Wang YP, Li S, Du GL, Hu G, Zhang YH, Tu XB, Zhang ZH. 2022. An Analysis of the possible migration routes of *Oedaleus decorus asiaticus* Bey-Bienko (Orthoptera: Acrididae) from Mongolia to China. Insects, 13: 72
- Yin Z. 2010. A taxonomic study of grasshoppers from Shandong Province. Master thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University (in Chinese) [印展. 2010. 山东蝗虫分类研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学]
- Yu BJ, Mai JW, Chen X, Xu CY, Chen Y, Cao KL, Xu Y, Roman J, Ji R. 2020. Source areas and migratory trajectories of *Locusta migratoria migratoria* (Orthoptera: Acrididae) in the border region of Tacheng, Xinjiang, China and adjacent regions. Journal of Entomological Science, 55(1): 46
- Yu HY, Shi WP. 2021. Outbreak, monitoring and control technology of desert locust *Schistocerca gregaria*. Journal of Plant Protection, 48(1): 28–36 (in Chinese) [于红妍, 石旺鹏. 2021. 沙漠蝗灾发生、监测及防控技术进展. 植物保护学报, 48(1): 28–36]
- Zha XD, Yu BJ, Wang SY, Yang J, Liu CC, Ji R. 2021. Analysis of the weather process in the landing of migratory locusts in China-Kazakhstan border area: a case study for Tacheng in 1999. Journal of Plant Protection, 48(1): 221–227 (in Chinese) [查绪栋, 于冰洁, 汪姝玥, 杨静, 刘程才, 季荣. 2021. 中哈边境迁飞蝗虫降落的天气过程分析——以1999年塔城地区为例. 植物保护学报, 48(1): 221–227]
- Zhang DE. 2004. A compendium of Chinese meteorological records of the last 3000 years. Nanjing: Jiangsu Education Press (in Chinese) [张德二. 2004. 中国三千年气象记录总集. 南京: 江苏教育出版社]
- Zhang Y, Qin YJ, Zhao ZH, Tu XB, Zhang ZH, Li ZH. 2021. The potential geographical distribution of desert locust in China. Journal of Plant Protection, 48(1): 90–95 (in Chinese) [张源, 秦誉嘉, 赵紫华, 涂雄兵, 张泽华, 李志红. 2021. 沙漠蝗在中国的潜在地理分布. 植物保护学报, 48(1): 90–95]
- Zhang ZB. 1987. Behavioral analysis of migratory insects. Entomological Knowledge, 24(6): 362–365 (in Chinese) [张宗炳. 1987. 昆虫迁飞的行为学分析. 昆虫知识, 24(6): 362–365]
- Zhao ZH, Tu XB, Zhang ZH, Li ZH. 2021. The alert of population expansion of the desert locust *Schistocerca gregaria* and its risk to enter China. Journal of Plant Protection, 48(1): 5–12 (in Chinese) [赵紫华, 涂雄兵, 张泽华, 李志红. 2021. 警惕沙漠蝗种群持续增加和入侵我国边境地区的风险. 植物保护学报, 48(1): 5–12]
- Zhong WH, Lian YM, Zhang XK. 2010. The biological characteristics of *Ceracris kiangsu* and its natural enemy protection. Hunan Forestry Science & Technology, 37(5): 57–59 (in Chinese) [钟武洪, 练佑明, 张贤开. 2010. 黄脊竹蝗生物学特性及其天敌保护利用. 湖南林业科技, 37(5): 57–59]
- Zhuo FY, Zhu JQ, Ren BY, Lü JP, Zhang L, Chen AD, Yang XL, Liu WC. 2020. Preliminary report on prevention and control of bamboo locust in Yunnan in 2020. China Plant Protection, 40(8): 60–62 (in Chinese) [卓富彦, 朱景全, 任彬元, 吕建平, 张龙, 谌爱东, 杨学礼, 刘万才. 2020. 2020年云南省黄脊竹蝗发生防控初报. 中国植保导刊, 40(8): 60–62]

(责任编辑: 李美娟)