

我国蝗虫绿色防控技术体系集成与应用

Integration and application of sustainable management system against locusts & grasshoppers in China

涂雄兵¹ 杜桂林² 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)

Tu Xiongbing¹ Du Guilin² 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)

蝗虫属于直翅目蝗亚目蝗总科,是世界农业生产中为害最严重的害虫之一(康乐和陈永林,1992;陈永林,2000a)。全世界蝗虫种类已超过1万种,其中约有300种可对农林牧业造成危害(印展,2010;Bidau,2014),中国分布约1200余种,对农牧业生产造成危害的有60余种(中国动物主题数据库,2020)。由于蝗虫孳生区域广,繁殖力强,发育快,食性杂,并具有群聚集和远距离迁飞等独特生物学现象,因此容易猖獗为害,暴发成灾(陈永林,2007;2019)。

蝗灾与水灾、旱灾并称为三大自然灾害,在我国历史上曾有过蝗灾导致饿殍遍野的惨象发生(陈永林,2007)。1980年以来,世界各地蝗灾仍频繁发生,给世界粮食生产和生态安全造成严重威胁。例如1984年和1998年,澳洲疫蝗 *Chortoicetes terminifera* 大发生,上百万公顷草场被毁(Wright,1986;Hunter,2010);1997—1999年,意大利蝗 *Calliptamus italicus* 在哈萨克斯坦大暴发,发生面积超过22万 hm^2 ,直接经济损失达1500万美元(Latchininsky,2013)。2003年,中国草原蝗虫发生面积超过2666万 hm^2 ,严重为害面积达1330万 hm^2 ,年均直接经济损失超过26亿元(洪军等,2014)。2003—2005年沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* 在非洲暴发,22个国家遭受侵袭,西非地区有800多万人受到影响,谷类作物颗粒无收,高达90%的豆类和草场遭到破坏(Ceccato et al.,2007)。2019年至今,肆虐的沙漠蝗灾害给非

洲、西亚、南亚等地区造成了深重的灾难,导致多个国家进入紧急状态(FAO,2020)。

蝗虫是我国农牧业生产的重大害虫,因此对蝗虫的研究也得到国家和政府的大力支持。许多研究机构以及大学都有研究人员从事蝗虫的生物学、生态学、分子生物学以及综合防治等方面的研究。本文将从以下5个方面进行阐述。

1 蝗虫的监测预警

现阶段我国在蝗虫监测预警技术方面取得了重要进展,基于地理特征、气候特征、植被特征等开发的蝗虫发生区、发生期、发生量预测模型,实现了蝗虫分布的可视化,短期及中长期预测准确率均达90%以上,为实现蝗虫精准防控提供了重要决策支撑(涂雄兵等,2015;黄文江等,2020)。例如,全国畜牧总站等开发的草原蝗虫数据库、预警模型、预测软件系统,以及构建的草原蝗虫四级监测预警体系,为我国草原蝗虫的监测预警提供了重要支撑(李新一,2018)。Zhang et al.(2019)提出的蝗虫预防管理策略可以提高人们对害虫生物学和生态学的认识,更重要的是有效的监测技术可为害虫综合治理提供重要支撑。本期专刊中有18篇文章描述了蝗虫的生物学和监测相关工作,包括群落结构分布6篇、温度适应性分析5篇、不连续气体交换循环模式比较1篇、蝗虫降落的天气过程分析1篇、监测预警5篇。

基金项目: 中国农业科学院基本科研业务费专项(Y2020YJ02),现代农业产业技术体系(CARS-34-07)

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

收稿日期: 2020-12-17

2 蝗虫的综合防治

蝗虫防治包括生物防治、生态调控、化学防治等。生物防治作为害虫治理中的重要策略,包括杀蝗真菌、蝗虫微孢子虫 *Paranosema locustae*、杀蝗金线虫、蝗虫痘病毒、杀蝗细菌等,在蝗虫防治中发挥了重要作用。例如,张泽华等(2000)在典型草原亚带向荒漠草原亚带过渡类型草原喷施绿僵菌油剂后8 d发现蝗虫的虫口减退率为70%~80%。在同一地区,连续施用真菌可实现蝗虫的长期控制(涂雄兵等,2015)。中国农业科学院植物保护研究所通过金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 侵染和绿步甲 *Carabus smaragdinus* 捕食东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 的研究结果表明,投放绿步甲同时喷施金龟子绿僵菌处理和投放经金龟子绿僵菌剂接种过的绿步甲处理对东亚飞蝗的捕食率为61.23%和64.19%,侵染率分别为75.34%和70.85%,校正致死率分别达83.33%和100.00%,均显著高于金龟子绿僵菌单剂侵染和绿步甲单独捕食处理(秦兴虎等,2015)。新疆维吾尔自治区(简称新疆)哈密市农业技术推广中心研究结果表明,1个放牧单元(1 600只牧鸡)治蝗的最优控制半径为1.5 km,合理轮牧天数为15 d,蝗虫的防效能达到85%以上,1人放牧每天治蝗面积为10.0~13.3 hm²,放牧30 d后,对蝗虫的防效达90%以上(洪军等,2014;杜桂林等,2019)。

生态调控是实现自然生态系统平衡调控的重要手段,通过对蝗虫栖境地进行改造可以实现这一目标。20世纪80年代,“改治结合、根除蝗害”的措施使我国农区的飞蝗治理工作有了重大突破,取得了举世瞩目的成就(陈永林,2000b)。对蝗虫孳生地的改造可以形成不利于蝗虫发生和繁衍、而有利于天敌繁衍和觅食的生态控制区,从而从根本上抑制蝗虫的发生。另外,根据不同寄主植物挥发性物质对蝗虫的作用不同,应用“推-拉”理论,可在田间将对蝗虫具有趋避作用的植物与农作物进行间作,用于蝗虫的田间防控(Finch & Collier, 2012)。同时,我国新疆采用的人工筑巢招引粉红椋鸟 *Sturnus roseus* 取得了成功,每只椋鸟每日捕食蝗虫数量约120~180头,目前该技术已在新疆西部地区大面积推广应用(杜桂林等,2018)。例如,2014年成功招引椋鸟40余万只,建筑石巢2万m²,控制蝗虫面积24万hm²,节约防治经费达3 928万元,经济效益显著(林峻和佟玉莲,2010)。

化学防治作为应急防治的重要措施,现阶段仍

是世界各地防治害虫的首选手段。但是长期使用化学农药以及大量滥用等原因造成的“3R”问题受到广泛关注。害虫抗药性治理作为害虫综合治理的重要组成部分在蝗虫的防治过程中显得尤为突出。经检测,东亚飞蝗对马拉硫磷已产生抗性,其中天津市东亚飞蝗种群抗性水平为2.9倍(杨红军等,2002),海南省种群抗性水平为14.8倍,河北省种群抗性水平为57.5倍(杨美玲,2008)。金永玲等(2021)检测了黑龙江省西部草原优势种蝗虫大垫尖翅蝗 *Epacromius coerulipes* 对10种常用杀虫剂的敏感性,以及增效剂对杀虫剂的增效作用,结果表明大垫尖翅蝗对常用各类杀虫剂未产生高水平抗性,对大部分药剂仍较敏感。因此,对于化学农药使用,应通过合理轮用,限制高风险抗性药剂的使用频次,混用增效剂等措施可以有效延长药剂的使用寿命,高效控制草原蝗虫对草原和农牧交错地带农作物的为害。本期专刊中有6篇文章在综合防控技术以及生态治理在防控中的应用、2篇文章在抗药性监测与治理方面做了报道。

3 蝗虫灾变分子机制

在基础研究对应用研究的支撑方面,国内外已开展了大量工作,特别是针对区域优势种蝗虫已经开展了灾变机理的探索。中国科学院动物研究所康乐院士团队报道的飞蝗型变、聚集信息素等研究促进了蝗虫研究从宏观向微观的转变,极大地推动了人类对于蝗灾暴发本质的认识(Guo et al., 2020)。Wang & Kang(2014)从分子生物学和代谢组学等角度阐述了群居型和散居型蝗虫行为、体色和免疫变异的内在机制。一旦散居型蝗虫开始聚集,行为也迅速开始向群居型转化,这种变化主要受其他蝗虫的视觉、味觉以及自身机械受体的重复刺激与其他蝗虫联系的影响。不同生态型的蝗虫为了适应生存环境,在行为、体色和免疫方面都存在显著差异,蝗虫的型变特性与集群行为即种群密度高度相关,在发育过程中当更多的蝗虫形成群居型种群,则蝗灾暴发的概率大大增加(Song et al., 2019)。本期专刊中有8篇文章在蝗虫基因组学、分子生物学等方面做了报道,包括蝗虫微孢子虫2篇、相关酶活性比较研究3篇、蛋白基因表达量3篇。

4 蝗虫综合防控技术的集成与应用

近年来,基于在农区和草原地区蝗虫的防治实践,集成了以生物防治为主、生态调控为辅的蝗虫可

持续防控技术体系。即开发新型高效低毒生物农药,分别研发微生物制剂和植物源农药的增效剂及其不同剂型的生物农药,混用以上微生物制剂和植物源农药,结合天敌防控与生态调控等措施,采用飞机与大型机械等配套施药技术,实现草原的绿色可持续发展(马崇勇等,2018)。目前,农区飞蝗防治面积年均均为66.67万hm²,草原蝗虫防治面积年均均为466.67万hm²,生物防治比例超过60%(李新一和王加亭,2017)。利用生物药剂替代化学农药防控能够将灾害控制在防治指标以内,生态持续控制技术能够保护生物多样性,实现草原持续健康发展,经济、生态和社会效益显著(马崇勇等,2018)。本期专刊中有6篇文章在蝗虫的防控及应用方面做了报道,包括综合防控技术5篇,生态治理在防控中的应用1篇。

本期专刊共收录33篇文章,涉及蝗虫监测预警、综合防控等环节,特别是针对近期沙漠蝗灾害,本期专刊也有6篇文章描述了沙漠蝗的生物学特性及其潜在入侵我国的风险,以期能及时监测和科学防控沙漠蝗提供重要依据。有3篇文章研究了能量代谢物质相关酶活性的比较;还有3篇分别介绍了蝗虫蛋白基因克隆、分子特性、序列分析以及原核表达,对从事这方面研究的读者会有所启迪。

最后,作为本期的编者,非常感谢各位作者的密切配合!感谢各位审稿人的大力支持,认真且细致地提出了修正意见,保证了所选论文的质量!还要感谢《植物保护学报》编辑部的支持与配合!希望本专刊文章能够对我国从事蝗虫研究的工作者有所裨益。由于时间紧迫,所选文章难免有不妥之处,敬请各位读者斧正。

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): 1-39
- Ceccato P, Cressman K, Giannini A, Trzaska S. 2007. The desert locust upsurge in West Africa (2003-2005): information on the desert locust early warning system and the prospects for seasonal climate forecasting. *International Journal of Pest Management*, 53(1): 7-13
- 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): 50-58 (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): 50-58]
- Chen YL. 2007. Main locusts in China and ecological management of locust disasters. 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. Studies on locusts 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]
- 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]
- Du GL, Zhao HL, Ma CY, Tu XB, Zhang ZH. 2018. Effect of pink starlings nest structure and migrating time on grasshoppers management. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(6): 923-926 (in Chinese) [杜桂林, 赵海龙, 马崇勇, 涂雄兵, 张泽华. 2018. 粉红椋鸟鸟巢结构和迁离时间防治草原蝗虫效果分析. 中国生物防治学报, 34(6): 923-926]
- Du GL, Zhao HL, Ma CY, Tu XB, Zhang ZH. 2019. Use of herding chicken for control of locust in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(2): 295-300 (in Chinese) [杜桂林, 赵海龙, 马崇勇, 涂雄兵, 张泽华. 2019. 内蒙古草原牧鸡治蝗效果. 中国生物防治学报, 35(2): 295-300]
- FAO. 2020. Desert locust project final report. Rome, Italy: FAO
- Finch S, Collier RH. 2012. The influence of host and non-host companion plants on the behaviour of pest insects in field crops. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 142(2): 87-96
- Guo XJ, Yu QQ, Chen DF, Wei JN, Yang PC, Yu J, Wang XH, Kang L. 2020. 4-Vinylanisole is an aggregation pheromone in locusts. *Nature*, 584(7822): 584-588
- Hong J, Zhao HL, 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]
- Hunter DM. 2010. Credibility of an IPM approach for locust and grasshopper control: the Australian example. *Journal of Orthoptera Research*, 19(1): 133-137
- Jin YL, Gao YG, Dong H, Wang LY, Zhang HY. 2021. Resistance monitoring and management of grasshopper field populations in western Heilongjiang Province. *Journal of Plant Protection*, 48(1): 230-238 (in Chinese) [金永玲, 高玉刚, 董辉, 王丽艳, 张海燕. 2021. 黑龙江省西部草原蝗虫田间种群的抗性检测及治理. 植物保护学报, 48(1): 230-238]
- Kang L, Chen YL. 1992. Discussion on locust disaster and mitigation

- countermeasures. Disaster Reduction in China, 2(1): 50–53 (in Chinese) [康乐, 陈永林. 1992. 关于蝗虫灾害及减灾对策的探讨. 中国减灾, 2(1): 50–53]
- Latchininsky A. 2013. Locusts and remote sensing: a review. Journal of Applied Remote Sensing, 7(1): 075099
- 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]
- Li XY, Wang JT. 2017. Statistics of grass and animal husbandry in China. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [李新一, 王加亭. 2017. 中国草业统计. 北京: 中国农业出版社]
- Lin J, Tong YL. 2010. Benefit evaluation of artificial recruitment of pink starling to control grasshopper in grassland. Animal Husbandry in Xinjiang, (3): 55–57 (in Chinese) [林峻, 佟玉莲. 2010. 人工招引粉红椋鸟控制草原蝗害效益评价. 新疆畜牧业, (3): 55–57]
- 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]
- Qin XH, Wu HH, Wang GJ, Zuo YY, Li YS, Zhao HL, Liu YS, Zhang ZH. 2015. Combined control of *Locusta migratoria manilensis* by *Metarhizium anisopliae* and *Carabus smaragdinus*. Chinese Journal of Biological Control, 31(2): 284–290 (in Chinese) [秦兴虎, 吴惠惠, 王广君, 左亚运, 李元盛, 赵慧龙, 刘玉升, 张泽华. 2015. 以绿步甲为载体携播绿僵菌对东亚飞蝗的协同控制作用研究. 中国生物防治学报, 31(2): 284–290]
- Song H, Foquet B, Mariño-Pérez R, Woller D. 2019. Phylogeny of locusts and grasshoppers reveals complex evolution of density-dependent phenotypic plasticity. Scientific Reports, 7: 6606
- Tu XB, Du GL, Li CJ, Wei YH, Zhang WG, Yun XJ, Hong J, Li YZ, Wang BH, Zhao L. 2015. Research progress in biological control of grassland 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, 俞旭江, 洪军, 李彦忠, 王保海, 赵莉. 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]
- Wang XH, Kang L. 2014. Molecular mechanisms of phase change in locusts. Annual Review of Entomology, 59(1): 225–244
- Wright DE. 1986. Economic assessment of actual and potential damage to crops caused by the 1984 locust plague in south-eastern Australia. Journal of Environment Management, 23(4): 293–308
- Yang HJ, Wang DS, Zhang LS, Xie JJ. 2002. Preliminary study on malathion resistance of oriental migratory locust. China Plant Protection, (8): 11–12, 16 (in Chinese) [杨红军, 王东升, 张立顺, 谢建军. 2002. 东亚飞蝗对马拉硫磷抗性研究初报. 中国植保导刊, (8): 11–12, 16]
- Yang ML. 2008. Resistance of oriental migratory locust to organophosphorus insecticides and its mechanism. Ph. D thesis. Taiyuan: Shanxi University (in Chinese) [杨美玲. 2008. 东亚飞蝗对有机磷杀虫剂的抗性及其机理研究. 博士学位论文. 太原: 山西大学]
- Yin Z. 2010. A taxonomic study of grasshoppers in 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]
- Zhang L, Lecoq M, Latchininsky A, Hunter D. 2019. Locust and grasshopper management. Annual Review of Entomology, 64(1): 15–34
- Zhang ZH, Gao S, Zhang GY, Wang Y, Yang BD, Zhang ZR, Zheng SY, Wang ML. 2000. Using *Metarhizium flavoviride* oil spray to control grasshoppers in Inner Mongolia grassland. Chinese Journal of Biological Control, 16(2): 49–52 (in Chinese) [张泽华, 高松, 张刚应, 王扬, 杨宝东, 张卓然, 郑双悦, 王梦龙. 2000. 应用绿僵菌油剂防治内蒙草原蝗虫的效果. 中国生物防治, 16(2): 49–52]

(责任编辑:高 峰)