



特邀稿件

Invited Review

张龙, 班丽萍, 游银伟, 尹学伟. 蝗虫的发生与防控 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (3): 511–519.

蝗虫的发生与防控

张 龙^{1*}, 班丽萍¹, 游银伟², 尹学伟¹

(1. 中国农业大学草业科学与技术学院, 北京 100193; 2. 山东省农业科学院生物技术创新中心, 济南 250100)

摘要: 蝗虫暴发引起的灾害是全球重要的生物灾害, 可影响到全世界十分之一的人口。自 2019 年, 东部非洲、西亚、南亚多个国家遭遇严重的沙漠蝗虫灾害, 这场蝗灾不但对该区域的粮食安全构成严重威胁, 而且还有可能引发严重的人道主义危机。为了制定合理的防治方案, 实施有效防控, 避免大规模蝗灾的发生, 需要掌握蝗虫的生物学、生态学、暴发和为害规律、防治策略和技术特点及其进展等。本文介绍了世界各地包括沙漠蝗、飞蝗、澳大利亚疫蝗在内的 11 种可以引起灾害的重要种类的主要分布、为害和特性, 并对国内外蝗虫防治策略、技术进展进行了重点综述。最后, 针对目前蝗虫防治存在的问题提出了相应建议。

关键词: 蝗虫; 分布; 暴发; 治理对策; 防治技术

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 03-0511-09

Locust outbreak and management

ZHANG Long^{1*}, BAN Li-Ping¹, YOU Yin-Wei², YIN Xue-Wei¹ (1. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Biotechnology Research Center, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China)

Abstract: Locust plagues are the most globally important biological disaster, impacting one-tenth of the global population. The desert locust plague is spreading in East Africa and South Asia and West Asia and causing tremendous loss of crops and humanitarian crisis since 2019. To design management program and control effectively to avoid the large scale locust plague, it is necessary to well understand locust biology, ecology, dynamics of locust outbreak and damage and the proper control measures. This paper firstly introduces the distribution, damage and characteristic of 11 important locust species which could cause locust plague, including desert locust *Schistocerca gregaria*, migratory locust *Locusta migratoria* and Australian plague locust *Chortoicetes terminifera* in the world, then highlights on review of the progresses in locust management strategies, control methods. Lastly, some suggestions are proposed on the problems in locust management.

Key words: Locust; distribution; outbreak; management strategy; control method

蝗虫是全世界范围内的重大害虫, 自人类文明以来, 蝗虫就是最为严重的害虫, 给农业生产带来极大危害。蝗虫隶属于直翅目蝗总科, 它的

种类多, 分布广。目前全世界有超过 500 种蝗虫为害牧场和农作物, 其中大约 50 多种是主要害虫, 十分之一的人口受到蝗虫的影响 (Zhang *et al.*,

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFF0213405)

作者简介: 张龙, 男, 博士, 教授, 研究方向为蝗虫生物防治, E-mail: locust@cau.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: locust@cau.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-04-20; 接受日期 Accepted: 2020-04-30

2019)。

蝗虫之所以能够成为重大的农业害虫,和它的发生为害特点密不可分。首先,蝗虫在密度高时从不活跃的独居状态转变为活跃的群集在一起的群居状态,而群居状态的蝗虫形成行动方向一致的蝗群(张龙和李洪海,2002);成虫群具有很强的远距离迁飞能力,沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* 一天可以迁飞 150 km;其次,蝗虫取食量很大,平均每天能吃掉和虫体体重相当重量的植物;再次,迁飞性蝗虫的繁殖能力强,一生可产生 300~400 个后代,这就使得蝗虫可以在很短的时间内发展成为密度很高、可以造成灾害水平的蝗虫群;而且蝗虫成虫群可以远距离迁飞,跨地区、跨国、跨洲为害,在短时间内可以造成上百万平方公里的大面积农作物损失,给粮食安全和牲畜生产带来严重威胁;还有面对蝗灾时大量使用化学农药,严重威胁环境、农产品和非靶标生物的安全。

1 世界重要蝗虫种类的分布、为害

沙漠蝗 *Schistocerca gregaria*, 是引起蝗灾的最为重要的种类之一。其分布贯穿非洲赤道北部的广大区域、欧洲靠近地中海部分地区、中东、阿拉伯和巴基斯坦和印度,主要生活在有沙漠的生态环境中。沙漠蝗的繁殖区或者是在衰退期主要分布在年降雨量小于 200 mm 的地区,正常分布面积 1 600 km²,在暴发期则分布面积超过 2 900 km²。寄主植物主要包括小麦、水稻、高粱、玉米、大麦、棉花、柑橘、葡萄、香蕉、甘蔗、马铃薯、向日葵、烟草等几百种植物(Lecoq and Zhang, 2019)。

沙漠蝗危害极大,间歇性暴发,1986–1989 年和 1992–1994 年曾在非洲大面积暴发(Showler and Potter, 1991; Showler, 1995; Lomer *et al.*, 2001)。大暴发时可以导致农业生产绝产,严重威胁当地人的粮食供应安全。自 2019 年以来,肯尼亚、埃塞俄比亚、乌干达、坦桑尼亚、索马里和南苏丹 6 个东非国家正遭遇近几十年来最严重的蝗虫暴发,索马里在 2020 年 1 月宣布进入国家紧急状态,在肯尼亚有一个长 60 km,宽 40 km,面积达 2 400 km² 的蝗群正在掠食,同时在西亚地区的伊朗、沙特、也门、阿曼和南亚地区的巴基斯坦、印度同样也遭受了蝗灾的侵袭(Anon,

2020)。

沙漠蝗在巴基斯坦常年发生,沙漠蝗蝗群也时常从伊朗、印度等邻国迁入为害。每年发生两季,冬春季和夏雨季。冬春季发生期 1 月至 6 月,主要发生在与伊朗接壤的 Balochistan (俾路支)省,夏雨季发生期 6 月至 11 月,主要发生在与印度接壤的 Sindh (信德)和 Punjab (旁遮普)省。笔者于 2020 年 2 月 23 日–3 月 5 日前往巴基斯坦调查了这三个省 6 个地区的沙漠蝗发生情况。在巴基斯坦沙漠蝗发生区的生态环境复杂,有稀树荒漠生态系统、山区生态系统、农作物生态系统等。在调查中发现,2 月底至 3 月初俾路支省的沙漠蝗均已处于成虫期,而且都是群居型,60% 左右开始交配产卵,20% 未成熟,20% 已产过卵。在旁遮普省 90% 以上的沙漠蝗在交配产卵,成虫密度相当高,最高可达每平方米上千头。在产卵地可以挖到蝗虫卵,最高达 228 个卵块/m²,平均每个卵块有卵 90.2 粒。联合国粮农组织认为,这场大蝗灾将造成非洲和西亚地区近 2 000 万人的粮食供应不足,如不加以控制将会造成严重饥荒和社会动荡。

飞蝗 *Locusta migratoria*, 是引起蝗灾的十分重要的种类,具有 9 个亚种,分布在非洲、亚洲、欧洲和大洋洲,其生活环境主要是草地、滩涂等。在中国大陆的亚种就包括东亚飞蝗、亚洲飞蝗、西藏飞蝗 3 个亚种(陈永林,2007)。目前我国年平均发生面积约 3 000 万亩。飞蝗在我国发生 1~3 代。寄主植物种类主要是禾本科植物,包括重要的农作物,如水稻、小麦、玉米、甘蔗等。飞蝗是我国最重要的农牧业害虫,有记录的危害历史长达 3 000 多年。遇到大的蝗灾,蝗虫遮天蔽日,所到之处禾草一空,民不聊生,社会动荡。因此,蝗灾与旱灾和水灾并称为三大自然灾害(郭鄂等,1991)。飞蝗暴发与很多因素有关,其中与气候条件关系最大,干旱和洪水的交替出现会加强蝗灾暴发(Stige *et al.*, 2007)。

摩洛哥蝗 *Docistaurus moroccanus*, 分布广,从大西洋的马德拉群岛的西部,到哈萨克斯坦和阿富汗的东部,北到匈牙利和罗马尼亚,南到北纬 28°。主要分布在高加索、中东、中亚地区的 25 个国家。寄主植物包括小麦、玉米、水稻、棉花、豆类、苜蓿、柑橘、葡萄、橄榄树、烟草、向日葵和蔬菜等农作物。塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦和土库曼斯坦等国家经常遭受摩洛哥蝗的严重为

害。暴发的蝗蝻群可以把大片的植物全吃光,成虫群在整个生长季可以迁移 50 ~ 70 km,甚至可达到 250 km (Rambier, 1951; Pasquier, 1952; Lecoq and Zhang, 2019)。

红蝗 *Nomadacris septemfasciata*, 是引起非洲中南部蝗灾的重要蝗虫。可以取食 50 余种粮食农作物,以及柑橘、葡萄、棉花、蔬菜、烟草等,在草原上为害,严重威胁牧业生产。一年发生一代,在旱季红蝗成虫进入滞育期。蝗蝻经历 6 ~ 7 个龄期,成虫期 5 ~ 6 个月。具有群居型和散居型的转变特性。群居成虫群在白天迁飞,每天的迁飞距离 20 ~ 330 km (Lecoq and Zhang, 2019)。

意大利蝗 *Calliptamus italicus*, 分布广,从俄罗斯的西伯利亚西南部到地中海的西部和中国的新疆,从中欧的德国、波兰,到以色列、伊朗和阿富汗 (陈永林, 2007)。食性杂,取食 17 科 45 种植物,嗜食蒿属植物,包括小麦、玉米、燕麦、棉花、马铃薯,柑橘、葡萄、西瓜、向日葵、烟草、甘蓝等农作物,以及多种牧草 (黄春梅, 1995; 薛智平, 2009)。暴发时可以对农作物和牧草造成十分严重的损失。在我国,意大利蝗主要分布于新疆北疆地区海拔为 800 ~ 1 300 m 的荒漠、半荒漠草原 (黄训兵等, 2013)。该种蝗虫也有群居型和散居型转变的特性。蝗蝻期的每天迁移 400 m,而成虫每天迁移可达几十公里 (Lecoq and Zhang, 2019)。

亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus*, 主要分布在中国北部和蒙古国,是我国北方草原和蒙古草原的重要害虫。一年一代。主要为害牧草,也为害小麦、玉米、谷子等农作物。亚洲小车蝗成虫群有夜间迁飞习性,遇到强光则降落 (蒋湘等, 2003)。

黄脊竹蝗 *Ceracris kiansu*, 主要分布在中国南部、越南、老挝等地区。一年一代。寄主植物包括竹子、香蕉、甘蔗、玉米、水稻等多种植物。具有白天远距离迁飞的习性。2015 年至 2018 年在老挝和越南大暴发,给发生区的水稻等农作物造成的损失高达 80% 以上 (杨虹等, 2017; Lecoq and Zhang, 2019)。

塞内加尔小车蝗 *Oedaleus senegalensis*, 主要分布在撒哈拉地区的佛得角、苏丹,还有中东、印度以及东非的坦桑尼亚。寄主植物包括农作物的小麦、玉米、水稻以及很多牧草。严重发生时会造成庞大的蝗虫群,但是不像飞蝗类,可以保持

群聚在一起,可以造成严重损失。塞内加尔小车蝗一般每年可以有 3 代。成虫群在夜间迁飞,每晚最高可以迁飞 350 km (Lecoq and Zhang, 2019)。

澳大利亚疫蝗 *Chortoicetes terminifera*, 是澳大利亚最重要的害虫。主要分布在澳大利亚的东部区域。主要寄主包括小麦、玉米、水稻、葡萄、大麦等农作物及很多种类的牧草。在新南威尔士州、昆士兰、澳大利亚的东南部,每十年就可以暴发几次,大暴发时还可以侵入维多利亚州,在农业生产区造成蝗灾。1984 年暴发的一次蝗灾,如果不防治,会造成农作物损失产值 1 亿澳大利亚元 (Lecoq and Zhang, 2019)。

中美洲蝗虫 *Schistocerca piceifrons*, 有 *S. p. piceifrons* 和 *S. p. peruviana* 2 个亚种。前者主要分布在墨西哥南部、危地马拉、洪都拉斯、厄瓜多尔、尼加拉瓜、哥斯达黎加;后者主要分布在秘鲁,大暴发时在巴拿马、圭亚那、哥伦比亚和委内瑞拉等也有发生。寄主植物包括小麦、玉米、高粱、豆类、木薯、棕榈、香蕉、甘蔗和棉花。每年发生 2 代。这个种类是墨西哥和中美洲的最重要的害虫之一。早在玛雅时期就有记载,最早的暴发记录可以追溯到 1 500 年前。在墨西哥的常年为害面积 490 万 ha,约占国土面积的 20%。几乎每年都有群居蝗虫群暴发,个别年份造成蝗灾 (Lecoq and Zhang, 2019)。

南美洲蝗 *Schistocerca cancellata*, 广泛分布在南美洲的智利、阿根廷、乌拉圭、巴拉圭以及巴西的南部。一年发生 2 代。发生的最大面积可覆盖近 400 万 km²。该种蝗虫取食的植物种类很多,包括小麦、燕麦、玉米、柑橘、棉花、马铃薯、大豆、菜豆、花生、高粱、甘蔗等,是南美洲为害最为严重的蝗虫种类之一。也具有群居型和散居型,群居型蝗虫群引起的蝗灾在阿根廷频繁暴发,最大的蝗虫群有数十亿只,覆盖 65 km²。1933 年暴发的蝗灾造成 200 万吨的谷物损失,1936 年暴发造成 1 万 t 的棉花损失,2014 - 2017 年大暴发严重为害 70 万 ha 农作物 (Lecoq and Zhang, 2019)。

2 蝗虫防治策略

目前国际上普遍提倡预防性或可持续治理蝗灾,其核心内容是:在蝗虫未大暴发之前采用生态控制、生物防治等环境友好的措施,及时有效

地降低蝗虫的虫口密度,使之种群数量达不到形成群居型的水平,不能造成经济损失 (Zhang *et al.*, 2019)。中国政府长期重视对蝗虫的治理,经过多年的研究和治理,蝗虫发生和危害得到一定程度的控制,特别是近 10 余年来,中国未暴发大规模的蝗虫灾害,主要是在防治策略上,从采用化学农药的应急防治转向了以应用生物防治和生态控制为主的可持续治理。同时,我国建立健全了蝗虫防治组织系统,中央的农业农村部设有全国蝗灾防治指挥部办公室,蝗虫主要发生省区等地方设有省治蝗指挥部,在蝗虫主要发生县设有蝗虫防治站,配备了先进的防治设备和设施,这些能够保证先进的防治理念、技术和措施的实施。此外,我国还有一批蝗虫防治技术研究专家,经过长期坚持研究,在蝗虫防治过程的各个主要环节都进行了创新,推动了我国蝗虫防治技术的整体进步。

2.1 应急防治对策

自 20 世纪中叶开始有害生物的防治主要是采用化学农药。由于化学农药防治对害虫的生物学特性掌握程度要求不高,实际上对包括蝗虫在内的许多害虫发生规律的成灾原因都不甚清楚,因此,蝗虫的防治对策自那时起的半个多世纪以来一直是以应用化学农药快速杀灭的应急对策为主。

应急防治对策又可分为主动性的和被动性的。主动性的应急防治对策存在于建立了良好的测报技术和防控组织体系的国家或地区 (如美国、加拿大、中国),这种对策能够及时预测蝗虫发生的情况,并且采取必要的化学农药应急防治措施,因此能够防止蝗灾暴发,但是无法避免化学农药的污染。

被动性的应急防治对策,主要存在于不发达国家或者经常发生战乱的国家 and 地区,如非洲、中亚等,由于没有建立良好的测报技术和防控组织体系,因此往往只有在蝗虫暴发,甚至发生了大规模的扩散和迁飞时,才不得不大范围地采取喷施化学农药进行应急防治,这样常常造成严重的农作物损失和环境污染。

2.2 可持续治理策略

可持续治理策略就是要以预防性防治 (preventive management) 为主,采用与环境友好的技术与措施,有效地控制有害生物,在避免经济损失的同时,实现人类与自然的和谐发展,这是国际上治蝗的共识和必然趋势 (Zhang *et al.*,

2019)。因此,在蝗虫防治的策略上也应该从应急防治转向可持续治理。自 20 世纪 90 年代中后期,蝗灾的可持续治理对策开始提倡并实施。

可持续治理策略是在蝗虫的生物防治技术和生态治理技术有较大进展的基础上提出并实施的,能够防止蝗虫种群高密度大面积发生,保护环境。基本原则是在深入了解蝗虫发生规律的基础上,找到薄弱环节并采取必要措施加以控制,将蝗虫种群数量控制在经济危害水平以下。优先采取自然控制因素,结合采用生态治理、物理防治等措施,将这些措施进行集成、组合、配套,形成综合的治理技术体系,控制蝗虫,保护农产品质量和环境安全。

蝗虫的自然控制因素很多,但是可以人为利用的不多。目前大规模利用的主要是杀蝗微生物制剂 (蝗虫微孢子虫和绿僵菌) (Zhang *et al.*, 1995; 张龙, 2011; Zhang and Hunter, 2005) 和鸟类 (粉红椋鸟) (于非和季荣, 2007)。微生物制剂可以作为化学农药的直接替代物和间接替代物两种方式进行使用。微生物制剂作为化学农药的直接替代物的目的是应用微生物防治制剂后,应该与应用化学农药一样,蝗虫的虫口密度被迅速压低到经济危害水平以下,但是一般不能在生态系统中建立该微生物菌群。微生物农药作为化学农药的间接替代物的目的是应用微生物防治制剂后,既可以压低当年的蝗虫种群,又可以使该微生物能够在生态系统中建立菌群,成为蝗虫种群密度的长期控制因素,如蝗虫微孢子虫 (张龙和严毓骅, 1999; 2008)。

除上述策略外,21 世纪初联合国和澳大利亚提出了在敏感的生态系统,如水域附近、有机农牧业区域、野生动物保护生态区域等,只能使用生物防治等无污染、无公害的技术措施防治蝗虫的策略 (Hunter, 2005)。

3 蝗虫防治技术

3.1 生态治理与发生基地改造

生态治理与蝗虫发生基地改造技术在我国 20 世纪 50 年代开始大面积实施,成果显著。到目前为止已经改造飞蝗发生基地 35 万 ha (朱恩林, 1999)。在山东省沿海蝗区采用生物多样性控制措施改造东亚飞蝗发生基地后,在控制区内的东亚飞蝗蝗蝻种群密度是对照区的 $1/8 \sim 1/23$,有效地

抑制了东亚飞蝗的种群增长 (张龙, 1999)。美国在 20 世纪 90 年代提倡种植一些蝗虫不喜食的植物或者可以吸引天敌的植物来控制蝗虫。在草原蝗虫治理中也有关于通过草原火烧和放牧减少蝗虫种群数量的报道。但是生态治理在其它国家用于治蝗还很少报道。生态治理实施一般难度较大, 而且有时蝗虫发生区是草原或者湿地生态系统, 不适宜进行生态改造。但是生态治理可以保护环境、植物和天敌, 充分发挥自然控制的因素, 因此在适宜地区实施生态改造是根治蝗灾的重要途径。

3.2 生物防治技术

3.2.1 天敌保护

粉红椋鸟主要以蝗虫为食, 每头成鸟每天可取食 100 多头蝗虫。我国新疆自 20 世纪 90 年代以来, 开展了人工建鸟巢招引粉红椋鸟控制蝗虫工程。自 1980 年以来, 已经人工建鸟巢 7 万多 m^3 , 为控制新疆草原蝗虫提供了重要的手段 (于非和季荣, 2007; 王晗等, 2010)。

3.2.2 微生物防治

自 1980s 以来, 在众多的蝗虫防治技术中发展最快的是微生物防治技术。虽然蝗虫天敌的种类很多, 但是当今用于大规模生产的主要是蝗虫的病原微生物。蝗虫微孢子虫是蝗虫等直翅目昆虫的单细胞专性寄生原生动植物 (尽管近期有些专家建议把蝗虫微孢子虫归于真菌类)。蝗虫微孢子虫主要侵染蝗虫的脂肪体 (Canning, 1953)。已有很多国家的研究表明, 蝗虫微孢子虫对环境安全, 对蜜蜂、家蚕、鸟、牲畜和人等非靶标生物也十分安全 (Goettel and Jaronski, 1997)。20 世纪 80 年代初美国就开发了蝗虫微孢子虫的第一个能够商品化生产的治蝗生物产品 (Henry and Oma, 1981)。现在美国仍有许多厂商生产此产品且主要用于防治草原和花园中的蝗虫。蝗虫微孢子虫在南美洲的阿根廷作为天敌引入到牧场中, 成为蝗虫的长期控制因素, 在阿根廷的有机牧业生产中起到重要作用 (Lange and Wysiecki, 1996)。我国已经开发出了完善的主要基于蝗虫微孢子虫水悬浮剂的草原蝗虫和农田蝗虫的绿色防控技术体系, 研制并建立了先进、环保的生产工艺, 开发出了环保的水悬浮剂, 可保证蝗虫微孢子虫制剂在常温下保持高活性 1 年以上。在我国近 20 个省市自治区中示范应用, 获得了良好的生态、社会和经济效益 (张龙和周海鹰, 1995; 巩爱岐等, 2003; 张付

旭等, 2007; 张龙和严毓骅, 2008; Zhou *et al.*, 2009)。

绿僵菌是近几年国际上研究与开发的热点之一, 已经有一些产品相继问世, 如英国、澳大利亚、中国等已有多个产品 (Lomer *et al.*, 2001; Hunter, 2005; Zhang and Hunter, 2005)。在 2000 - 2009 年, 澳大利亚用绿僵菌防治蝗虫的面积超过 10 万 ha, 主要用于近水源地区和生产有机农产品的农场、牧场地区, 从而使这些地区不受化学农药的污染。20 世纪 90 年代开始我国对绿僵菌也进行了应用开发, 研究开发了绿僵菌孢子的发酵生产和制剂加工技术, 菌剂在常温条件下可储藏 1 年以上, 目前部分产品已经在国内规模化应用 (张泽华, 2000; 丁晓宇和张龙, 2009; 张丽萍等, 2017)。

3.2.3 蝗虫的信息化合物

对蝗虫的信息素研究始于 20 世纪 50 年代中期, 主要是针对非洲飞蝗和沙漠蝗。非洲、德国和英国的科学家经过多年的研究现已发现在沙漠蝗和飞蝗中有多种信息素, 如促成熟信息素、产卵聚集信息素、群居信息素和聚集信息素等 (Nolte *et al.*, 1970; Seidelmann *et al.*, 2002, 2005; Hassanali *et al.*, 2005)。在聚集信息素方面, 国际昆虫生理生态研究中心于 20 世纪 90 年代中期开始证明沙漠蝗的蝗蛹和成虫具有 2 套不同的聚集信息素系统 (Obeng - Ofori *et al.*, 1994), 并于近期在非洲开展了小面积的田间试验防治沙漠蝗, 其主要目标是破坏飞蝗的聚集行为, 防止其群集起飞和迁飞。中国农业大学从 20 世纪末开始对东亚飞蝗的信息素开展了相关研究, 发现了多个行为信息化合物 (Cui *et al.*, 2011; Ban *et al.*, 2013)。

3.2.4 植物源农药

在植物源农药方面, 已经有印楝素、苦参碱等产品相继问世。但是国际上应用较广的是印楝素。印楝素对蝗虫具有明显的拒食作用, 还可以阻止蝗虫蜕皮 (Schmutterer, 1990)。

3.3 化学防治技术

化学农药防治是在蝗虫大暴发时所必须采取的紧急措施。美国、澳大利亚当前用于防治蝗虫的化学农药主要是杀螟松、西维因、马拉硫磷、毒死蜱和仿生农药 (昆虫生长调节剂)、拟除虫菊酯类农药, 包括高效氯氟氰菊酯、溴氰菊酯。值得注意的是由于锐劲特是广谱性农药, 尽管比马拉硫磷等有机磷农药安全得多, 但是因对虾等水

生生物和天敌也有杀伤作用,而且残效期长,在一些发达国家正在逐渐被限制使用。现在很多国家,如美国、俄罗斯、哈萨克斯坦、非洲各国等都在采用昆虫生长调节剂来代替广谱性的化学农药,如除虫脲、伏虫脲等。随着对有机磷农药和锐劲特的限制使用,昆虫生长调节剂有可能成为防治蝗虫的主流化学农药 (Lockwood and Schell, 1997; Lockwood *et al.*, 2002; McNary *et al.*, 2011; Lecoq and Zhang, 2019)。

化学防治中的一个突出问题是确定经济阈值。俄罗斯的土蝗经济阈值是 $5 \sim 10$ 头/ m^2 , 哈萨克斯坦的迁飞性蝗虫防治经济阈值约为 5 头/ m^2 , 非迁飞性蝗虫的约为 $8 \sim 10$ 头/ m^2 。美国 USDA 确定美国草原土蝗的经济阈值是 9.6 头/ m^2 , 据计算,在该口虫密度下庄稼损失 $3\% \sim 5\%$ 。实际上蝗虫的经济阈值难于测算,因为蝗虫的发生不仅仅是经济上的问题,还会引起政治和社会上的问题。

3.4 施药技术进展

飞机治蝗效率高、速度快,被世界各地广泛采用。在澳大利亚现在飞机治蝗主要是喷施阻隔带,宽幅为 100 m,要求雾滴大小为 $50 \sim 150 \mu\text{m}$,飞行高度为 10 m,飞行时的风速为 $3 \sim 6 \text{ m/s}$ 。近些年来哈萨克斯坦、俄罗斯、美国等国均提倡采用阻隔带式喷药方法替代地毯式喷施方式,这样既可以将蝗虫密度降低到经济损失水平以下,又可以减少用药量,降低成本,减少化学农药的污染。由于蝗虫发生区多在缺水区域,包括沙漠区,因此国际上普遍采用超低量 (ULV, ultra-low volume) 喷施农药,不用水或少用水,显著提高防治工作的效率。

提倡使用毒饵是当前防治蝗虫的另一项主要措施。在加拿大目前提倡使用毒饵防治蝗虫,可以减少化学农药的飘移,降低天敌和其它非靶标生物与化学农药接触的几率,利于保护生态环境,同时大大减少使用量,更经济。

飞机精准施药治蝗技术是发达国家正在研发的重要方面,但是进展较慢。该项技术是基于精准的地理信息和全球定位系统与自动控制相结合的综合系统。在 21 世纪初联合国粮农组织开展了飞机精准施药防治蝗虫的田间小区实验,之后相关的报道较少。近几年,采用无人机防治蝗虫已展现出潜力。

3.5 蝗虫的监测预警技术和防治信息管理

美国、加拿大等国家在 1990s 初期就开始使用

计算机模拟技术对蝗虫发生进行预测 (Deveson & Hunter, 2002)。如美国采用卫星遥感、全球卫星定位系统和地理信息系统技术,先后研制出与蝗虫种类鉴定、防治调查和信息管理相关的信息系统软件 3 套,用于美国的黑蝗属蝗虫种群调查、发生预测等,为防治的数字化管理奠定了基础 (Hastings, 2009)。澳大利亚在 1990s 中后期开发了计算机辅助决策系统,再根据地理信息系统和全球卫星定位系统定位,指导飞机 (主要是直升飞机) 到实地调查,确定蝗虫的发生地点与时间。澳大利亚自 1990s 开发出了蝗虫防治决策辅助信息系统,结合雷达和光诱系统对澳大利亚疫蝗进行监测预警 (Cressman, 2013; Latchininsky, 2013)。自 2000 年我国也开发了基于全球卫星定位系统、地理信息系统的蝗虫野外调查手持机、蝗虫防治信息平台 (Li *et al.*, 2014; Zhang and Hunter, 2017)。近期还开发出了飞蝗的光与化学引诱相结合的自动监测系统,显著提高了监测和预警的精准性和效率。FAO 开发出了沙漠蝗的调查与预警系统,广泛用于非洲、中东和东南亚。蝗虫的监测预警技术主要是基于蝗虫自身的生物学特性,如对光、化学物质的趋性,以及气候条件与蝗虫发生规律的关系而开发 (Zhang *et al.*, 2019)。

4 存在的问题与展望

4.1 人类与蝗虫共存

蝗虫作为长期进化的生态系统中的因素,还将长期存在,因此人类与蝗虫争夺粮食、牧草等的斗争也将是长期的,特别是有些蝗虫种类是间歇性暴发的,暴发周期有的是几年,有的长达十几年。有些国家常常在暴发期十分重视,投入大量资金、人力和物力,积极防控,而在蝗灾衰退期则几乎无人问津。蝗灾一旦暴发则造成严重的农牧业损失,甚至产生人道主义危机。因此,对重要的蝗虫种类要重点监测和防控,在暴发期要大力防治,在衰退期要保持警觉,密切监测,及时预警,要准备充足的物资和技术,在蝗灾暴发时才能有效防控,保障粮食、牧业生产安全。

实际上蝗虫在生态系统中有其重要的地位,因此要树立人类与蝗虫共存的理念,改变蝗虫即等于害虫的思想。蝗虫数量庞大,在欧亚大陆的牧场、草原、半沙漠和北美洲的草原,每平方米有几十头 (在暴发时能达到几千头)。在中国内蒙

古、哈萨克斯坦、俄罗斯西伯利亚的草原上,蝗虫是优势植食性动物。除数量庞大之外,蝗虫种类也繁多,据估计全世界蝗虫种类多达上万种,我国也有上千种。仅在某一种生态系统中,如森林草原、草原、半沙漠和沙漠,蝗虫的群体通常也由几十种组成,这就决定了蝗虫在生态系统中的重要地位。首先,有些植物因其叶片被蝗虫取食反而生长更快;其次,蝗虫作为草本植物群落不可分割的组成部分在营养物质的循环中起着重要作用,蝗虫在取食植物的同时把植物弄碎成小块,利于其它动物、真菌和细菌再利用,蝗虫取食的植物也为其肠道中共生的微生物提供营养;最后,蝗虫是草原动物特别是鸟类和爬行动物的主要食物,是食物链中十分重要的环节。值得指出的是有些蝗虫种类尽管数量十分稀少,但是在生物多样性中却有着重要作用,因此应该加以保护防止其灭绝(张龙,2019)。

4.2 监测、预警手段亟待加强

目前尽管 GPS、GIS 和 RS 技术已经应用于蝗虫的监测预警中,大大提高了监测预警效率,但是仍十分缺少针对重要蝗虫种类的特异性强、灵敏度高的监测技术,特别是针对不同地理条件的蝗虫发育监测模型建立以及迁飞蝗虫群的动态监测和预测技术还十分匮乏。

4.3 大力发展生物防治产品和高效绿色防控措施

目前尽管已经有几种生物防治产品上市,但是这些产品的防治效果仍有待提高,产品制剂的性能不够理想,而且生物防治产品的种类还十分少。实际上,蝗虫的天敌种类众多,不下几十种,但是开发出的天敌保护技术少之又少。总结出的轻型简便的生态控制技术十分少,特别是没有针对河谷、湖泊和水库地区的轻简技术,目前这些地区暴发高密度蝗虫及迁飞的蝗虫群时,仍是利用化学农药防治,未有效地利用环保的生态控制措施。因此,需要从新资源、新材料、新靶标和新思路,探讨开发环境友好的防治新技术。

4.4 跨区域合作有待提高

很多为害严重的蝗虫具有跨区域、跨国界分布和迁飞特征,如果按行政区域或国家边界原则管理,则常常是顾此失彼。因此,与国际组织、相关国家之间建立顺畅的信息交流渠道非常重要,要密切关注边境国家蝗灾发生动态,及时做出研判和制定防控预案,在区域边界特别是国家相关边境地区设立监测点,储备相应的防治设备和物

资,必要时在国与国之间、区域与区域之间开展联防联控,才能更加有效。

4.5 蝗虫防治的科技支撑有待加强

目前国内外能够长期开展蝗虫研究的人才队伍不能满足蝗虫防治多方面问题的解决,有待培养和扶持,而且,由于蝗虫防治和管理的特殊性,参与蝗虫防治的队伍的专业素养也有待提高。国家在科研项目和相关的科研基地建设上要有长期稳定的支持措施,保障针对蝗虫暴发的一些基础性关键问题和应急性技术开展研究,才能为蝗虫防治工作不断增长的新需求提供科技支撑和储备。

致谢: 本文得到农业农村部财政项目和国家重点研发计划(2018YFF0213405)的支持。

参考文献 (References)

- Anon. Funding gap for locust crisis [J]. *Nature Food*, 2020, 1 (3): 143.
- Ban L, Napolitano E, Serra A, et al. Identification of pheromone-like compounds in male reproductive organs of the oriental locust *Locusta migratoria* [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2013, 437 (4): 620–624.
- Canning EU. A new microsporidian, *Nosema locustae* n. sp., from the fat body of the African migratory locust, *Locusta migratoria migratorioides* R. & F. [J]. *Parasitology*, 1953, 43 (3–4): 287–290.
- Chen YL. Ecological Management of the Locusts and Locust Plagues in China [M]. Beijing: Science Press, 2007. 陈永林. 中国主要蝗虫及蝗灾的生态学治理 [M]. 北京: 科学出版社, 2007]
- Cressman K. Role of remote sensing in desert locust early warning [J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2013, 7 (1): 075098.
- Cui X, Wu C, Zhang L. Electrophysiological response patterns of 16 olfactory neurons from the trichoid sensilla to odorant from fecal volatiles in the locust, *Locusta migratoria manilensis* [J]. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 2011, 77 (2): 45–57.
- Deveson T, Hunter D. The operation of a GIS-based decision support system for Australian locust management [J]. *Insect Science*, 2002, 9 (4): 1–12.
- Ding XY, Zhang L. Virulence of *Metarhizium anisopliae* and *Nosema locustae* against the nymphs of *Locusta migratoria manilensis* [J]. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 2009, 24 (1): 9–14.
- 丁晓宇, 张龙. 蝗虫微孢子虫与绿僵菌协调使用对东亚飞蝗的毒力测定 [J]. *北京农学院学报*, 2009, 24 (1): 9–14]
- Goettel MS, Jaronski ST. Safety and registration of microbial agents for control of grasshoppers and locusts [J]. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 1997, 171: 83–99.
- Gong AQ, Liu XJ, Jiang X, et al. Transmission of *Nosema locustae* disease in grasshopper populations in Qinghai grassland [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2003, 19 (3): 118–121.

- 阮爱岐, 刘晓健, 蒋湘, 等. 蝗虫微孢子虫疾病在青海草原蝗虫种群中的传播 [J]. 中国生物防治, 2003, 19 (3): 118 – 121]
- Guo F, Chen YL, Lu BL. The Biology of the Migratory Locusts in China [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1991. [郭鄂, 陈永林, 卢宝廉. 中国飞蝗生物学 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1991]
- Hassanali A, Njagi PGN, Bashir MO. Chemical ecology of locusts and related acridids [J]. *Annual Review of Entomology*, 2005, 50: 223 – 245.
- Hastings JD, Latchininsky AV, Schell SP. Sustainability of Grasshopper Management and Support through CARMA [C]. Proceedings of the 42nd Hawaii International Conference on System Sciences. Los Alamitos, CA: IEEE Comp. Soc., 2009.
- Henry JE, Oma EA. Pest control by *Nosema locustae*, a pathogen of grasshoppers and crickets. In: Burges HD, ed. Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970 – 1980 [M]. New York: Academic Press, 1981: 573 – 586.
- Huang C. Feeding habits and subfamily systematic of acrididae in barkol grassland of Xinjiang [J]. *Entomotaxonomia*, 1995, 17 (Suppl.): 128 – 134. [黄春梅. 新疆巴里坤草原优势种蝗虫食性与蝗科中亚科分类系统关系的研究 [J]. 昆虫分类学报, 1995, 17 (增刊): 128 – 134]
- Huang XB, Zhang Y, Cao GC, et al. Effect on growth and fecundity in *Calliptamus italicus* by *Medicago sativa* and *Artemisia frigid* Willd. Sp. Pl [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (5): 617 – 622. [黄训兵, 张洋, 曹广春, 等. 冷蒿和苜蓿对意大利蝗生长及生殖力的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (5): 617 – 622]
- Hunter DM. Mycopensticides as part of integrated pest management of locusts and grasshoppers [J]. *Journal of Orthoptera Research*, 2005, 14 (2): 197 – 201.
- Jiang X, Mai MTM, Zhang L. Nocturnal migration of grasshopper (Acrididae *Oedaleus asiaticus*) [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2003, 11 (1): 75 – 77. [蒋湘, 买买提明, 张龙. 夜间迁飞的亚洲小车蝗 [J]. 草地学报, 2003, 11 (1): 75 – 77]
- Lange CE, Wysiecki MLD. The fate of *Nosema locustae* (Microsporidia: Nosematidae) in Argentine grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) [J]. *Biological Control*, 1996, 7 (1): 24 – 29.
- Latchininsky AV. Locusts and remote sensing: A review [J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2013, 7: 075099.
- Lecoq M, Zhang L. Encyclopedia of Pest Orthoptera of the World [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2019.
- Li L, Zhu D, Ye S, et al. Design and implementation of geographic information systems, remote sensing, and global positioning system-based information platform for locust control [J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2014, 8: 084899.
- Lockwood JA, Anderson-Sprecher R, Schell SP. When less is more: Optimization of reduced agent-area treatments (RAATs) for management of rangeland grasshoppers [J]. *Crop Protection*, 2002, 21 (7): 551 – 562.
- Lockwood JA, Schell SP. Decreasing economic and environmental costs through reduced area and agent insecticide treatments (RAATs) for the control of rangeland grasshoppers: Empirical results and their implications for pest management [J]. *Journal of Orthoptera Research*, 1997, 6: 19 – 32.
- Lomer CJ, Bateman RP, Johnson DL, et al. Biological control of locusts and grasshoppers [J]. *Annual Review of Entomology*, 2001, 46: 667 – 702.
- McNary TJ, Shambaugh BA, Elliston RJ, et al. Cooperative rangeland grasshopper suppression in Wyoming (USA) in 2010 [J]. *Metaleptea*, 2011, 31: 10 – 12.
- Nolte DJ, May IR, Thomas BM. The gregarisation pheromone of locusts [J]. *Chromosoma*, 1970, 29 (4): 462 – 473.
- Obeng-Ofori D, Torto B, Njagi PGN, et al. Fecal volatiles as part of the aggregation pheromone complex of the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forsk.) (Orthoptera: Acrididae) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1994, 20 (8): 2077 – 2087.
- Pasquier R, Colonna – Cesari X, Bonfils J. The determination of the gregarigenic regions of the Moroccan cricket, *Dociostaurus maroccanus* Thünbg., in Corsica [J]. *C. R. Hebd. Seances. Acad. Sci.*, 1952, 235 (19): 1157 – 9.
- Rambier A. Gregarious and solitary populations of the Moroccan cricket (*Dociostaurus maroccanus* Thunb.) in continental France [J]. *C. R. Hebd. Seances. Acad. Sci.*, 1951, 233 (23): 1491 – 3.
- Schmutterer H. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica* [J]. *Annual Review of Entomology*, 1990, 35: 271 – 297.
- Seidelmann K, Ferenz HJ. Courtship inhibition pheromone in desert locusts, *Schistocerca gregaria* [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2002, 48 (11): 991 – 996.
- Seidelmann K, Warnstorff K, Ferenz HJ. Phenylacetone nitrile is a male specific repellent in gregarious desert locusts, *Schistocerca gregaria* [J]. *Chemoeology*, 2005, 15 (1): 37 – 43.
- Showler AT, Potter CS. Synopsis of the 1986 – 1989 desert locust (Orthoptera: Acrididae) plague and the concept of strategic control [J]. *American Entomologist*, 1991, 37: 106 – 110.
- Showler AT. Locust (Orthoptera: Acrididae) outbreak in Africa and Asia 1992 – 1994: An overview [J]. *American Entomologist*, 1995, 41: 179 – 184.
- Stige LC, Chan KS, Zhang Z, et al. Thousand – year – long Chinese time series reveals climatic forcing of decadal locust dynamics [J]. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 2007, 104 (41): 16188 – 93.
- Wang H, Li ZW, Yu F, et al. Breeding behavior and artificial attraction countermeasures of *Sturnus roseus* in Hami, Xinjiang, China [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2010, 45 (4): 139 – 143. [汪哈, 李占武, 于非, 等. 新疆哈密地区粉红椋鸟繁殖行为及招引对策的初步研究 [J]. 动物学杂志, 2010, 45 (4): 139 – 143]
- Xue Z. The Loss Assessment of Grassland Caused by *Calliptamus italicus* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Master Thesis, 2009. [薛智平. 意大利蝗为害草场损失估计研究 [D]. 北京: 中国农业科学院硕士论文, 2009]
- Yang H, Qv TY, Han ZL, et al. Occurrence and control strategy of yellow – spined bamboo locust *Ceracris kiangsu* Laos [J]. *China*

- Plant Protection, 2017, 37 (9): 50–54. 肠虹, 屈天尧, 韩忠良, 等. 老挝黄脊竹蝗发生现状与防治对策 [J]. 中国植保导刊, 2017, 37 (9): 50–54]
- Yu F, Ji R. The role and problem analysis of *Sturnus roseus* by manpower attraction on grasshopper control in Xinjiang [J]. Chinese Journal of Biological Control, 2007, 23 (Suppl.): 93–96. [于非, 季荣. 人工招引粉红椋鸟控制新疆草原蝗虫灾害的作用及其存在问题分析 [J]. 中国生物防治, 2007, 23 (增刊): 93–96]
- Zhang FX, Bai Y, Wang LM, et al. A preliminary study on strategies of grasshopper management in crop-grassland ecosystem in Inner Mongolia [J]. Entomological Journal of East China, 2007, 16 (2): 113–118. 张付旭, 白音, 王利民, 等. 内蒙古农牧交错区草地蝗虫防治对策与技术的研究初报 [J]. 华东昆虫学报, 2007, 16 (2): 113–118]
- Zhang L. Advances and prospects of strategies and tactics of locust and grasshopper management [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48 (4): 804–810. 张龙. 国内外蝗害治理技术现状与展望 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (4): 804–810]
- Zhang L. A Guide to 100 Species of Grasshoppers in China [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2019. 张龙. 中国百种蝗虫原色图谱 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2019]
- Zhang L. *Nosema locustae* and its role in locust management [J]. Bulletin of Biology, 1999, 34 (2): 11–12. 张龙. 蝗虫微孢子虫及其在蝗害治理中的作用 [J]. 生物学通报, 1999, 34 (2): 11–12]
- Zhang L, Hunter DM. Laboratory and field trials of Green Guard (*Metarhizium anisopliae* var. *acridum*) (Deuteromycotina: Hyphomycetes) against the oriental migratory locust (*Locusta migratoria manilensis*) (Orthoptera: Acrididae) in China [J]. Journal of Orthoptera Research, 2005, 14: 27–30.
- Zhang L, Hunter DM. Management of locusts and grasshoppers in China [J]. Journal of Orthoptera Research, 2017, 26 (2): 155–159.
- Zhang L, Lecoq M, Latchininsky A, et al. Locust and grasshopper management [J]. Annual Review of Entomology, 2019, 64: 15–34.
- Zhang L, Li HH. The impacts of nymph population densities and stadium of *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) on the changes of its social type to the scattered type [J]. Plant Protection Technology and Extension, 2002, 22 (4): 3–5. 张龙, 李洪海. 虫口密度和龄期对东亚飞蝗群居型向散居型转变的影响 [J]. 植保技术与推广, 2002, 22 (4): 3–5]
- Zhang L, Yan YH. New strategies and technical systems for sustainable management of locust and grasshopper mainly based on biocontrol [J]. Journal of China Agricultural University, 2008, 13 (3): 1–6. 张龙, 严毓骅. 以生物防治为主的蝗灾可持续治理新对策及其配套技术体系 [J]. 中国农业大学学报, 2008, 13 (3): 1–6]
- Zhang L, Yan YH, Shi WP, et al. Integrating application of *Nosema locustae* and IGR to control *Locusta migratoria manilensis* [J]. Chinese Journal of Biological Control, 1999, 15 (2): 57–59. 张龙, 严毓骅, 石旺鹏, 等. 协调应用蝗虫微孢子虫与卡死克防治东亚飞蝗 [J]. 中国生物防治, 1999, 15 (2): 57–59]
- Zhang L, Yan YH, Wang GQ, et al. A preliminary survey on the epizootics of infection of *Nosema locustae* among grasshoppers in rangeland [J]. Acta Agrestia Sinica, 1995, 3 (3): 223–229. 张龙, 严毓骅, 王贵强, 等. 蝗虫微孢子虫病田间流行的初步调查 [J]. 草地学报, 1995, 3 (3): 223–229]
- Zhang L, Zhou HY. Infection of female reproductive organs of the oriental migratory locust (*Locusta migratoria manilensis*) by *Nosema locustae* (Microsporidia: Nosematidae) [J]. Chinese Journal of Biological Control, 1995, 2: 93–94. 张龙, 周海鹰. 蝗虫微孢子虫对雌性东亚飞蝗生殖器官侵染的初步观察 [J]. 中国生物防治, 1995, 2: 93–94]
- Zhang LP, Cheng HC, Wang YC, et al. Study on solid fermentation of *Metarhizium* [J]. Pesticides, 2002, 41 (7): 20–21. 张丽萍, 程辉彩, 王迎春, 等. 绿僵菌固体生产条件的研究 [J]. 农药, 2002, 41 (7): 20–21]
- Zhang ZH, Gao S, Zhang GY, et al. Using *Metarhizium flavoviride* oil spray to control grasshoppers in Inner Mongolia grassland [J]. Chinese Journal of Biological Control, 2000, 16 (2): 49–52. 张泽华, 高松, 张刚应, 等. 应用绿僵菌油剂防治内蒙草原蝗虫的效果 [J]. 中国生物防治, 2000, 16 (2): 49–52]
- Zhou X, Zhang L. Selection of *Antonospora locustae* (Protozoa: Microsporidae) with higher virulence against *Locusta migratoria manilensis* (Orthoptera: Acrididae) [J]. Biocontrol Science and Technology, 2009, 19 (4): 421–427.
- Zhu EL. Occurrence and Management of the Oriental Migratory Locust in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999. 朱恩林. 中国东亚飞蝗发生与治理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999]