

中国特色蝗灾治理技术体系及应用成效

张 龙* 游银伟

(山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100)

摘要: 中国有数千年蝗灾发生为害的历史, 建国初期在政府的组织领导下, 在科研人员和广大群众的努力下, 提出并实施了“政治并举”的策略, 改造东亚飞蝗发生基地近2/3, 同时大规模使用化学农药进行防治, 初步形成了以改造蝗虫发生基地为特色的蝗灾治理技术体系, 经过长期实践, 蝗灾得到有效遏制, 保障了我国粮食生产安全和社会稳定, 取得了世界瞩目的成绩。自20世纪80年代起, 随着利用蝗虫微孢子虫 *Nosema locustae* 和绿僵菌 *Metarhizium* spp. 等微生物的治蝗技术获得突破性进展, 我国已经形成了以生态控制(改造蝗虫发生基地)为基础, 以生物防治为核心, 以信息技术为辅助的具有中国特色的蝗灾治理技术体系, 并走在国际前列。该技术体系的长期大规模应用, 不但在有效防治蝗灾保障我国粮食安全生产、避免大规模使用化学农药造成环境污染和生态失衡等方面发挥了重大作用, 而且也在支援国际蝗灾治理中做出了贡献。最后对未来蝗灾治理的关键问题和发展方向进行了探讨。

关键词: 蝗虫; 改造发生基地; 生物防治; 化学防治; 粮食安全

Technical systems for locust and grasshopper management with Chinese features and their success in application

Zhang Long* You Yinwei

(Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China)

Abstract: Locust plague has existed for over thousands of years in China. Under the leadership of the Chinese government and with the efforts of scientific researchers and the people, the strategy of transforming locust breeding regions and chemical control was proposed and implemented in the early 1950s. Nearly two-thirds of *Locusta migratoria manilensis* breeding areas were transformed. Chemical pesticides were popularly used to control locusts and grasshoppers at the same time. Technical systems for locust and grasshopper management characterized by transforming locust breeding regions were preliminarily formed. Through long-term practice of this system, locust plagues in China were effectively suppressed, which had ensured China's food security and social stability. This is a great achievement drawing attention to the world. Since 1980s, biological control has made breakthrough progresses, mainly in development and application of biological control agents, such as *Nosema locustae* and *Metarhizium* spp. in locust management. So far, the technical system for locust and grasshopper management with Chinese features is based on ecological control (transforming locust breeding regions), with biological control as main measures and information technology as supporting method. Now this system ranks high in the world. Long-term and large-scale application of the technical system has not only played an

基金项目: 山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2021B12)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: locust@cau.edu.cn

收稿日期: 2021-11-29

important role in effectively controlling locust plague to ensure food security in China, avoiding large-scale application of pesticides in which causes environmental pollution and ecological imbalance, but also made international contribution to locust control. The key questions and development directions for locust management in the future are also proposed.

Key words: locusts and grasshoppers; locust breeding habitat transformation; biological control; chemical control; food security

蝗虫是世界性的害虫,全世界约有 1/10 的人口都受到蝗虫灾害的影响(Lecoq & Zhang, 2019)。中国有 3 000 多年蝗灾发生为害的历史,公元前 707 年到 1950 年,中国记载的蝗灾发生次数至少有 800 次,每次大的蝗灾暴发都会造成严重的粮食损失和饥荒(郭郢, 1955)。古书《五行志》记载唐代贞元元年暴发的蝗灾情况:“夏蝗,东自海,西尽河陇,群飞蔽天,旬日不息,所至草木叶及畜毛靡有孑遗,饿殍枕道”。1927 年仅山东省的蝗灾就造成 700 万灾民流离失所。1929 年前江苏昆虫局估计该年全国蝗虫发生造成的损失超过 1 000 万银元。由于当时对蝗虫的科学认知十分匮乏,面对重大蝗灾时根本无法有效控制。在中国为害最严重的是分布在北方的东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis*。新中国成立之初的 20 世纪 50 年代,东亚飞蝗的发生仍十分严重,如 1952 年飞蝗在河北、山东、安徽、河南、江苏等省市的总发生面积逾 121 万 hm^2 ,发生密度最高时每平方米可达上千头,防治蝗虫动用了 7 650 万个日工,用药粉 300 万 kg,防治面积达 198 万 hm^2 ,估计挽回粮食 874.8 万 t(马世骏, 1956)。1957 年农业部在当年冀、鲁、豫、苏、皖 5 省及天津市治蝗座谈会的总结中,提及这 5 省夏蝗发生面积逾 103 万 hm^2 ,是新中国成立以来夏蝗扩散最严重的一年,其中达到防治指标的约占 60%,实际防治面积逾 83 万 hm^2 ,药剂防治面积逾 62 万 hm^2 ,飞机防治面积逾 12 万 hm^2 (农业部, 1957)。

1 改治并举,遏制蝗灾

新中国成立后各级政府十分重视蝗灾的治理,农业部设立了病虫害防治局治蝗处,统一领导全国治蝗工作,并且由国家负担治蝗的药械和费用。与此同时,中国科学院昆虫研究所、中国农业科学院植物保护研究所、华北农业科学研究所等单位以马世骏、钦俊德、邱式邦、李光博、郭郢和陈永林等为代表的一大批科技工作者为我国蝗灾防治科技的进步贡献了重要力量。他们对东亚飞蝗的生态学、生物学

(郭郢等, 1991)、生理学(钦俊德等, 1957)、形态学以及防治技术开展了系统性长期研究,掌握了东亚飞蝗的发生规律、成灾特性以及防治关键技术(邱式邦等, 1952a; 马世骏, 1956; 1958),为我国蝗灾治理提供了重要的科技支撑。

新中国成立之初,严重缺乏蝗虫防治的技术、物资和设备,只能组织大量的人力采用围打、烧杀、挖沟截杀和挖卵等物理方法,这需要花费一年中几个月的时间,因此既耗力又耗时。之后采用手摇喷粉机喷施六氯环己烷(简称 666),以及人工手撒 666 毒饵,在重点蝗区应用了飞机治蝗等新技术(刘崇乐, 1951),防治策略从最初的人工防治为主药剂防治为辅,转为以药剂防治为主人工防治为辅。

为了在蝗灾治理中取得主动,在新中国成立的前几年,邱式邦等(1952b)专家就提出对蝗虫实行“三查”,即查卵、查蝗蛹、查残余成虫的预测预报方法,1953 年农业部颁发了《侦察蝗虫试用办法》。查卵主要是查秋季发生的蝗虫(秋蝗)所产卵的分布地点、面积和密度,为预测下一年飞蝗的发生提供依据。由于查卵费时费力,在蝗虫发生不严重的地区,可以不查卵。查蝗蛹主要包括 2 部分,一是查孵化,明确孵化的时间、地点、面积以及孵化率等;二是查蝗蛹,明确发生地点、面积、密度以及发生龄期等,特别是要确定 3 龄蝗蛹的发生期。查蝗蛹主要为制订防治措施提供参考依据。查残余成虫(包括夏蝗和秋蝗)可以明确产卵的地点,为查卵和下一代防治提供依据。这项工作方法的建立和完善,有力地促进了我国蝗虫防治工作的主动性,能够做到治早、治小、治了。马世骏(1960; 1965)通过对蝗虫发生区的研究,将我国的飞蝗发生区划分为滨湖蝗区、内涝蝗区、河泛蝗区和沿海蝗区 4 个类型,并且提出因地制宜改造蝗区自然面貌,压低飞蝗发生和繁殖的生态环境,根治蝗虫灾害的策略,经过多年的研究与实践,在 1959 年将改造飞蝗发生基地的办法纳入了全国主要蝗虫发生省的防治策略中。在蝗虫发生基地改造方面,结合当时兴修水利,根治黄河、海河和淮

河,建水库等,稳定河道和水位,使得飞蝗繁殖和生存的适宜环境大大缩减。除此之外,改旱田为水田、种植飞蝗不喜食植物、增加植被覆盖度、开垦荒地等措施对于压低蝗区面积也发挥着重要作用。1956年,马世骏先生在总结当时治蝗经验时指出:“行政与技术相结合,是完成治蝗任务的最重要基础。技术只要在行政力量的支持下,通过群众的掌握方能发挥他的作用,否则任何技术都是要落空的”。这是基于蝗灾发生的规律和特点提出的,是我国成功治理蝗灾的关键和重要经验。20世纪60年代初我国建立了较为完整的蝗虫防治组织系统,在科学技术方面已经掌握了东亚飞蝗发生规律,提出了预测预报的办法、改治并举的策略和有效的防治技术,标志着中国特色的蝗灾治理技术和组织体系已经基本成熟(王炳章,1963)。通过之后几年的实践,飞蝗成群迁飞、遮天蔽日,造成大面积蝗灾的时代一去不复返了(马世骏等,1959;陈永林,1982;2007)。到20世纪80年代中期,在蝗虫治理方面,我国除了改造蝗虫发生基地的措施外,基本以化学农药防治为主,但开始推广应用有机磷农药替代有机氯类农药和飞机超低量喷雾防治蝗虫的技术(李允东等,1982)。

同期的国际蝗虫防治技术也主要是以化学农药防治为核心。自20世纪30年代开始,美国等发达国家使用有机氯化学农药防治蝗虫,把狄氏剂、氯丹、双对氯苯基三氯乙烷(简称DDT)、六氯环己烷等制成毒饵,或喷粉、喷雾(Hill & Hixson, 1947; Weinman & Decker, 1947; Weinman et al., 1947),到20世纪40年代利用飞机防治蝗虫较为普遍,而且对喷雾的雾滴大小、喷量和喷幅等进行了一系列研究,显著提高了防治效率,后期还开发出了地面喷雾用的机动喷雾机(Rainey, 1958; Gunn, 1960)。由于狄氏剂等有机氯化学农药广谱且残效期长,对哺乳动物也有很高的毒性,1970年左右开始禁止使用,替代化学农药为有机磷农药,如马拉硫磷、杀螟松、西维因和敌敌畏等。进入20世纪80年代开始使用拟除虫菊酯(主要是溴氰菊酯、氯氰菊酯),也提倡使用昆虫生长调节剂(主要是氟虫脲)。在施药技术上开发出超低量喷雾技术,极大地降低了用药量(Sayer, 1959)。

与同时代的国际蝗虫防治方法比较不难发现,改造蝗虫发生基地(生态控制)是我国治蝗技术独创的成果。尽管国外在1952年提出了蝗虫生态控制(ecological control)的想法(Gunn, 1952),但是至今在非洲、美洲和亚洲的其他国家和地区也未能做到。

2 生物治蝗,绿色高效

从20世纪80年代至今,世界开始注重环境保护和可持续发展。化学农药虽然可以快速压低蝗虫虫口密度,但同时也大量杀伤蝗虫天敌,使得蝗虫丧失自然控制因素,而且使蝗虫产生抗药性,更容易再猖獗。人们意识到害虫治理不能单一地依赖化学农药,而应采用多种措施综合治理。国际上开始寻求替代化学农药且对环境更友好的防治技术,并且积极引入信息技术提高防治的效率和精准性。在此时期,最有代表性的创新成果是开发了蝗虫病原微生物防治蝗虫技术和信息技术并应用于蝗虫预测预报。美国最先开发出了蝗虫微孢子虫*Nosema locustae*防治蝗虫的技术和产品(Henry & Oma, 1981),20世纪90年代初英国和澳大利亚分别研究开发了绿僵菌*Metarhizium* spp.生产技术和产品(Lomer & Prior, 1992; Lomer et al., 2001)。美国、加拿大、澳大利亚以及联合国粮农组织分别开发了基于信息技术的蝗虫监测预警技术。在此期间我国也积极跟踪世界发展前沿,探索替代化学农药防治的新途径。中国农业大学严毓骅教授带领团队在我国率先开展了蝗虫生物防治技术研究(张龙, 1999; 2011; 张龙和严毓骅, 2000),该团队从美国引进蝗虫微孢子虫,研究明确了蝗虫微孢子虫对我国的主要蝗虫种类都有致病性,包括东亚飞蝗、亚洲小车蝗*Oedaleus asiaticus*和中华稻蝗*Oxya chinensis*等近30余种有重要经济危害性的蝗虫,筛选出致病力高的株系以及研制出了人工大量繁殖蝗虫微孢子虫的生产工艺,在深入研究蝗虫微孢子虫病流行病学的基础上,提出了利用蝗虫微孢子虫长期控制蝗虫种群数量的新思路(Lecoq & Zhang, 2019; Zhang & Lecoq, 2021),并且结合前人创建的生态控制技术(王广君等, 2021),建立了以蝗虫生物防治技术为主的蝗灾可持续治理技术体系(Zhang et al., 2019; 张龙等, 2020; 张鹏飞等, 2020)。进入20世纪90年代,中国农业科学院生物防治研究所邱式邦院士带领团队引进了金龟子绿僵菌*Metarhizium anisopliae*,通过对金龟子绿僵菌的生产工艺、加工制剂研究和防治效果评价等,开发出了相关产品和应用技术(张泽华等, 2000; 董辉等, 2011; 徐超民等, 2021)。重庆大学的科研团队也经过多年系统研究,研制出杀蝗绿僵菌的高效生产工艺,开发了多个产品(彭国雄等, 2003; 2020; Peng et al., 2008)。这些成果已在我国蝗虫防治中得到大规

模应用,目前蝗虫的生物防治面积在总防治面积中已占有近一半的比例,有力地推动了我国蝗虫防治朝可持续治理方向发展。我国在利用微生物防治蝗虫灾害方面后来居上,在微生物防治蝗虫的机理研究、产品研发、生产规模和应用面积方面都处于世界领先地位(张龙和严毓骅,2008)。在蝗虫天敌和保护利用方面,新疆维吾尔自治区治蝗灭鼠指挥部探索了招引粉红椋鸟 *Sturnus roseus* 防治草原蝗虫的技术,成为了适用于当地的特色生物防治技术(熊志焱和赵新春,1995;王建华等,1998)。粉红椋鸟是迁徙性候鸟,每年春夏季在新疆草原繁殖,主要取食蝗虫,每天可以吃掉近百只蝗虫。在当地人工筑巢,保护和增加粉红椋鸟数量,对草原蝗虫有明显的控制作用。

我国也在利用信息技术和遥感技术提高蝗虫监测预警技术水平以及蝗虫防治工作效率方面进行了有效探索。中国农业大学、全国农业技术推广服务中心等团队采用地理信息系统、全球卫星定位系统和手机相结合研制出了蝗虫调查手持机,可用于野外蝗虫及其生态环境的调查和数据采集,还开发出了基于地理信息系统的蝗虫防治管理信息平台,可以对采集到的数据进行分析,制成蝗虫发生图(发生期和发生程度),为进一步监测和防治蝗虫提供精准的位置服务(Li et al., 2014; 王佳宇等, 2021)。预测预报和防治的标准化是蝗虫防治现代化的重要内容。我国近些年来先后制定并颁布了东亚飞蝗测报技术规范、亚洲飞蝗 *L. migratoria migratoria* 测报技术规范 and 西藏飞蝗 *L. migratoria tibetensis* 测报技术规范,以及蝗虫防治技术规范等国家标准,为我国蝗虫防治标准化提供了重要依据。我国在生物防治、信息化管理和标准化方面的进步,不但丰富了中国特色的蝗虫防治技术体系,而且因技术水平显著提高而跻身于世界前列。在实际应用中取得了良好的防治效果,有效遏制了蝗灾暴发,保障了我国粮食安全和社会稳定。

随着我国治蝗技术水平的不断提高,我国的治蝗技术也走出国门,参与国际蝗灾治理工作。自2003年中国与哈萨克斯坦签订联合治理边境蝗虫的协议以来,中方为哈方提供了一系列的技术支持,保障了中哈边境蝗虫的有效治理。2015年老挝和越南发生了严重的黄脊竹蝗 *Ceracris kiangsu* 灾害,蔓延老挝北方5省,给老挝旱稻造成严重损失,当地十分缺乏蝗虫防治技术和设备,中国政府派云南省

植物保护站前往支援,促进了老挝黄脊竹蝗的防治工作。2016—2018年联合国粮农组织邀请中国农业大学张龙教授作为专家顾问前往老挝、越南指导黄脊竹蝗的防治,期间为老挝和越南制定了以生物防治为主的黄脊竹蝗治理方案,实施效果十分显著,得到老挝、越南和联合国粮农组织的高度认可(Siriphonh & Zhang, 2018)。2020年1月沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* 开始在东非、中东国家和印度、巴基斯坦大暴发(赵紫华等,2021),巴基斯坦政府为了治理蝗灾,2020年1月31日宣布全国进入紧急状态。中国政府应巴基斯坦政府的邀请,为巴方提供了大量物资援助的同时,派往巴基斯坦的专家代表团经过实地调查研究,提出了有针对性的蝗虫防治综合治理方案,得到巴方的高度认可和赞赏。

3 勿忘治蝗,持续发力

经过长期进化的蝗虫适应性很强,而且其赖以生存的生态系统在短时间内难以完全改变,因此人类需要与蝗虫长期共存,蝗虫暴发的可能性也会长期存在,蝗灾的防控仍是长期而艰巨的任务,“勿忘治蝗”(朱恩林,2021)。

蝗虫防治技术体系和理念随着时代的发展必将更加先进和完善。目前的生物防治产品和技术对防治蝗蝻有效,但是对于成虫期的蝗虫防治效果有局限性,如果遇到跨境迁飞的成虫群时,则无生物防治技术可用,因此亟需开发出对蝗虫成虫防治效果显著的生物防治技术。信息技术、无人机技术等已在我国蝗虫防治中发挥了重要作用(Li et al., 2014; 胡战朝, 2020),这些高新技术将会促进蝗虫防治的智能化和精准化。近几年来,我国在蝗虫基因组学(Kang et al., 2004; Wang et al., 2014)、生态学、生理学、行为学的分子机制研究(You et al., 2016; Li et al., 2018; Guo et al., 2020),以及蝗虫与病原微生物之间的互作分子机制研究(Chen et al., 2017; 高兴珂和班丽萍, 2021)等方面都取得了令人瞩目的进展,将会为研发出新的防治技术奠定重要基础。

由于蝗灾的突发性、规模大等特点,政府及其组织在蝗灾治理中的作用十分关键。我国中央及地方已经建立了蝗虫防治的相关组织体系,有力保障了蝗虫防控的组织实施。除此之外,蝗虫暴发还有间歇性的特点,历史上往往是在蝗虫暴发期会引起人们的高度重视,但是进入衰退期则被忽视,得不到人力和资金的有效保障,蝗灾再次暴发则被动受灾

(Therville et al., 2021)。因此,建立长效的防治组织体系和资金支持制度对于控制蝗灾极其重要。

飞蝗、沙漠蝗、黄脊竹蝗、意大利蝗 *Calliptamus italicus* 和亚洲小车蝗的迁移扩散能力强,而且部分虫源来自邻国,这些蝗虫从周边邻国跨境迁入我国为害的风险一直存在,因此需要进一步加强国际合作,开展跨区域、跨国联防联控,才能有效避免蝗灾跨国为害。

参 考 文 献 (References)

- Chen LX, Li RT, You YW, Zhang K, Zhang L. 2017. A novel spore wall protein from *Antonospora locustae* (Microsporidia: Nosematidae) contributes to sporulation. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 64(6): 779–791
- Chen YL. 1982. How to control locust disaster in China. *The Chinese Journal for the History of Science and Technology*, 3(2): 15–22 (in Chinese) [陈永林. 1982. 我国是怎样控制蝗害的. *中国科技史料*, 3(2): 15–22]
- Chen YL. 2007. Major locusts and the ecological management of locust plagues 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]
- Chin CT, Quo F, Cheng CY. 1957. Food specialization and food utilization of the oriental migratory locust and the influence of different food plants on its growth and fecundity. *Acta Entomologica Sinica*, (2): 143–166 (in Chinese) [钦俊德, 郭鄂, 郑竺英. 1957. 东亚飞蝗的食性和食物利用以及不同食料植物对其生长和生殖的影响. *昆虫学报*, (2): 143–166]
- Dong H, Gao S, Nong XQ, Cong B, Zhang ZH. 2011. The control effect of *Metarhizium anisopliae* and regent to grasshopper. *Hubei Agricultural Sciences*, 50(17): 3543–3545 (in Chinese) [董辉, 高松, 农向群, 丛斌, 张泽华. 2011. 应用绿僵菌与锐劲特防治蝗虫的效果. *湖北农业科学*, 50(17): 3543–3545]
- Gao XK, Ban LP. 2021. Genomics research progresses in microsporidia *Antonospora locustae* and its application status. *Journal of Plant Protection*, 48(1): 60–64 (in Chinese) [高兴珂, 班丽萍. 2021. 蝗虫微孢子虫的基因组学研究进展及应用现状. *植物保护学报*, 48(1): 60–64]
- Gunn DL. 1952. Control of red locusts by insecticides. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 3(7): 289–296
- Gunn DL. 1960. The biological background of locust control. *Annual Review of Entomology*, 5: 279–300
- Guo F. 1955. Observations on locust bionomics and methods of locust control in ancient China. *Acta Entomologica Sinica*, (2): 211–220, 246 (in Chinese) [郭鄂. 1955. 中国古代的蝗虫研究的成就. *昆虫学报*, (2): 211–220, 246]
- 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]
- 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
- Henry JE, Oma EA. 1981. Pest control by *Nosema locustae*, a pathogen of grasshoppers and crickets. // Burges HD. *Microbial control of pests and plant diseases (1970–1980)*. New York: Academic Press, pp. 573–586
- Hill RE, Hixson E. 1947. Hexachlorocyclohexane dusts and fogs to control grasshoppers. *Journal of Economic Entomology*, 40(1): 137–138
- Hu ZC. 2020. Preliminary test of drone application to control grassland locusts. *Contemporary Animal Husbandry*, (8): 26–27 (in Chinese) [胡战朝. 2020. 无人机施药防治草原蝗虫初步试验报告. *当代畜牧*, (8): 26–27]
- Kang L, Chen XY, Zhou Y, Liu BW, Zheng W, Li RQ, Wang J, Yu J. 2004. The analysis of large-scale gene expression correlated to the phase changes of the migratory locust. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(51): 17611–17615
- Lecoq M, Zhang L. 2019. *Encyclopedia of pest Orthoptera of the world*. Beijing: China Agricultural University Press
- Li HW, Wang P, Zhang LW, Xu X, Cao ZW, Zhang L. 2018. Expressions of olfactory proteins in locust olfactory organs and a palp odorant receptor involved in plant aldehydes detection. *Frontiers in Physiology*, 9: 663
- Li L, Zhu DH, Ye SJ, Yao XC, Li J, Zhang N, Han YQ, Zhang L. 2014. Design and implementation of geographic information systems, remote sensing, and global positioning system-based information platform for locust control. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8: 084899
- Li YD, Huang JG, Yan HJ, Hu XG, Chen YL. 1982. Control of acridids by aeroapplication with organophosphorus ULV-formulations. *Acta Entomologica Sinica*, 25(3): 275–283 (in Chinese) [李允东, 黄九根, 阎洪纪, 胡祥恩, 陈永林. 1982. 用飞机喷洒有机磷超低容量制剂防治蝗虫. *昆虫学报*, 25(3): 275–283]
- Liu CL. 1951. A pioneering work: control of acridids by aeroapplication in new China. *Chinese Science Bulletin*, 2(8): 826–831 (in Chinese) [刘崇乐. 1951. 新中国的创举——飞机灭蝗. *科学通报*, 2(8): 826–831]
- Lomer CJ, Bateman RP, Johnson DL, Langewald J, Thomas M. 2001. Biological control of locusts and grasshoppers. *Annual Review of Entomology*, 46(1): 667–702
- Lomer CJ, Prior C. 1992. *Biological control of locusts and grasshoppers*. Wallingford: CAB International, pp. 394
- Ma SJ. 1956. Eradication of migratory locust disaster. *Chinese Science Bulletin*, 1(2): 52–56 (in Chinese) [马世骏. 1956. 根除飞蝗灾害. *科学通报*, 1(2): 52–56]
- Ma SJ. 1958. The population dynamics of the oriental migratory locust (*Locusta migratoria manilensis* Meyen) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 1(1): 1–40, 98 (in Chinese) [马世骏. 1958. 东亚

- 飞蝗(*Locusta migratoria manilensis* Meyen)在中国的发生动态. 昆虫学报, 1(1): 1-40, 98]
- Ma SJ. 1960. Formation and modification of the sites of the occurrence of *Locusta migratoria manilensis*. Scientia Agricultura Sinica, (4): 18-22 (in Chinese) [马世骏. 1960. 东亚飞蝗发生地的形成与改造. 中国农业科学, (4): 18-22]
- Ma SJ. 1965. Eradication of locust disaster based on different stage characteristics. Chinese Science Bulletin, 10(12): 1072-1077 (in Chinese) [马世骏. 1965. 根除蝗害的阶段性. 科学通报, 10(12): 1072-1077]
- Ma SJ, Qin JD, Qiu SB. 1959. Locust study and control.//Opera Entomologica. Beijing: Science Press, pp. 18-37 (in Chinese) [马世骏, 钦俊德, 邱式邦. 1959. 蝗虫研究与防治. //昆虫学集刊. 北京: 科学出版社, pp. 18-37]
- Ministry of Agriculture. 1957. Preliminary summary of the workshop on locust control in Hebei, Shandong, Henan, Jiangsu, Anhui and Tianjin in 1957. Scientia Agricultura Sinica, (8): 438-439 (in Chinese) [农业部. 1957. 1957年冀、鲁、豫、苏、皖五省及天津市治蝗座谈会初步总结. 中国农业科学, (8): 438-439]
- Peng GX, Li HH, Wang ZK, Yin YP, Zeng DY, Xia YX. 2003. Field trial of *Metarhizium anisopliae* in oil formulation against *Locusta migratoria manilensis* (Meyen).//Study and application on Chinese entomophagous fungus. Beijing: Chinese Agricultural Science & Technology Press, pp. 119-123 (in Chinese) [彭国雄, 李洪海, 王中康, 殷幼平, 曾德玉, 夏玉先. 2003. 杀蝗绿僵菌油剂防治东亚飞蝗田间试验. //中国虫生真菌研究与应用. 北京: 中国农业科学技术出版社, pp. 119-123]
- Peng GX, Wang ZK, Yin YP, Zeng DY, Xia YX. 2008. Field trials of *Metarhizium anisopliae* var. *acidum* (Ascomycota: Hypocreales) against oriental migratory locusts, *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) in Northern China. Crop protection, 27(9): 1244-1250
- Peng GX, Zhang SL, Xia YX. 2020. *Metarhizium anisopliae* CQMa421 and its application status. Chinese Journal of Biological Control, 36(6): 850-857 (in Chinese) [彭国雄, 张淑玲, 夏玉先. 2020. 金龟子绿僵菌CQMa421农药及应用情况. 中国生物防治学报, 36(6): 850-857]
- Qiu SB, Guo SG, Li GB. 1952b. Some suggestions for methods of locust detection. Scientia Agricultura Sinica, (9): 29-31 (in Chinese) [邱式邦, 郭守桂, 李光博. 1952b. 对于侦查蝗虫方法的建议. 中国农业科学, (9): 29-31]
- Qiu SB, Guo SG, Li GB, Xu CJ. 1952a. The method of poison bait application to control locust. Scientia Agricultura Sinica, (8): 20-21 (in Chinese) [邱式邦, 郭守桂, 李光博, 徐崇傑. 1952a. 毒饵治蝗的方法. 中国农业科学, (8): 20-21]
- Rainey RC. 1958. The use of insecticides against the desert locust. Journal of the Science of Food and Agriculture, 9(10): 677-692
- Sayer HJ. 1959. An ultra-low-volume spraying technique for the control of the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forsk.). Bulletin of Entomological Research, 50(2): 371-386
- Siriphonh, Zhang L. 2018. An effective biological control method of yellow-spined bamboo locust (*Ceracris kiangsu*) has been developed in Lao PDR and Vietnam. Metaleptea, 38(3): 15-16
- Therville C, Anderies JM, Lecoq M, Cease A. 2021. Locusts and people: integrating the social sciences in sustainable locust management. Agronomy, 11(5): 951
- Wang BZ. 1963. Controlling the migratory locusts by improving the environment and taking measures simultaneously. Plant Protection, (2): 61-62 (in Chinese) [王炳章. 1963. 防治飞蝗, 根治并举. 植物保护, (2): 61-62]
- Wang GJ, Li BB, Tian Y. 2021. Application and practice of major ecological strategies for locust control in China. Journal of Plant Protection, 48(1): 84-89 (in Chinese) [王广君, 李贝贝, 田野. 2021. 主要蝗虫生态治理策略在我国的实践应用. 植物保护学报, 48(1): 84-89]
- Wang JH, Huang LJ, Zheng J, Shang XG, Wu WS, Miao LW, Shao CF, Long XS, Dong ZM. 1998. Technology promotion of artificial attracting *Sturnus roseus* to control locusts. Xinjiang Agricultural Sciences, 35(5): 234-236 (in Chinese) [王建华, 黄立军, 郑炯, 尚新刚, 吴文寿, 缪礼维, 邵长发, 隆鑫森, 董忠民. 1998. 人工招引粉红椋鸟控制蝗害技术推广. 新疆农业科学, 35(5): 234-236]
- 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 XH, Fang XD, Yang PC, Jiang XT, Jiang F, Zhao DJ, Li BL, Cui F, Wei JN, Ma C, et al. 2014. The locust genome provides insight into swarm formation and long-distance flight. Nature Communications, 5: 2957
- Weinman CJ, Decker GC. 1947. An analysis of certain factors relating to control of grasshoppers with some chlorinated hydrocarbon insecticides. Journal of Economic Entomology, 40(1): 84-90
- Weinman CJ, Decker GC, Bigger JH. 1947. Insecticidal sprays and dusts for control of grasshoppers. Journal of Economic Entomology, 40(1): 91-97
- Xiong ZY, Zhao XC. 1995. Artificial attracting *Sturnus roseus* to control locusts. Pratacultural Science, 12(5): 21-23 (in Chinese) [熊志焱, 赵新春. 1995. 人工招引粉红椋鸟控制蝗害生物工程研究. 草业科学, 12(5): 21-23]
- Xu CM, Wang JT, Li S, Ma CY, Shan YM, Ji YH, Wei J, Tu XB, Zhang ZH. 2021. Control of locusts in different grasslands by *Metarhizium anisopliae*. Chinese Journal of Biological Control, 37(5): 946-955 (in Chinese) [徐超民, 王加亭, 李霜, 马崇勇, 单艳敏, 季彦华, 伟军, 涂雄兵, 张泽华. 2021. 绿僵菌在不同类型草原防治蝗虫的效果分析. 中国生物防治学报, 37(5): 946-955]
- You YW, Smith DP, Lv MY, Zhang L. 2016. A broadly tuned odorant receptor in neurons of trichoid sensilla in locust, *Locusta migratoria*. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 79: 66-72
- Zhang L. 1999. *Nosema locustae* and its role in locust management.

- Bulletin of Biology, 34(2): 11–12 (in Chinese) [张龙. 1999. 蝗虫微孢子虫及其在蝗害治理中的作用. 生物学通报, 34(2): 11–12]
- Zhang L. 2011. Advances and prospects of strategies and tactics of locust and grasshopper management. Chinese Journal of Applied Entomology, 48(4): 804–810 (in Chinese) [张龙. 2011. 国内外蝗害治理技术现状与展望. 应用昆虫学报, 48(4): 804–810]
- Zhang L, Ban LP, You YW, Yin XW. 2020. Locust outbreak and management. Journal of Environmental Entomology, 42(3): 511–519 (in Chinese) [张龙, 班丽萍, 游银伟, 尹学伟. 2020. 蝗虫的发生与防控. 环境昆虫学报, 42(3): 511–519]
- Zhang L, Lecoq M. 2021. *Nosema locustae* (Protozoa, Microsporidia), a biological agent for locust and grasshopper control. Agronomy, 11(4): 711
- Zhang L, Lecoq M, Latchininsky A, Hunter D. 2019. Locust and grasshopper management. Annual Review of Entomology, 64: 15–34
- Zhang L, Yan YH. 2000. Some considerations on sustainable control over plague of locusts in China. Acta Entomologica Sinica, 43 (S1): 180–185 (in Chinese) [张龙, 严毓骅. 2000. 持续治理飞蝗灾害的新对策. 昆虫学报, 43(S1): 180–185]
- Zhang L, Yan YH. 2008. New strategies and technical systems for sustainable management of locust and grasshopper mainly based on biocontrol. Journal of China Agricultural University, 13(3): 1–6 (in Chinese) [张龙, 严毓骅. 2008. 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. 中国农业大学学报, 13(3): 1–6]
- Zhang PF, Yuan SK, Zhang L. 2020. Entomopathogenic microorganisms and their application in locust plague control. Journal of Environmental Entomology, 42(3): 529–544 (in Chinese) [张鹏飞, 袁善奎, 张龙. 2020. 昆虫病原微生物及其在蝗灾治理中的应用. 环境昆虫学报, 42(3): 529–544]
- 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]
- 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]
- Zhu EL. 2021. The history of prevention and control of locust plague in China. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [朱恩林. 2021. 中国蝗灾发生防治史. 北京: 中国农业出版社]

(责任编辑:李美娟)