应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(4):804—810

蝗虫专栏

国内外蝗害治理技术现状与展望*

张 龙**

(中国农业大学农业部生物防治重点开放实验室 北京 100193)

摘 要 本文首先概述了国内外蝗虫发生与为害的态势,总结了现阶段我国蝗虫发生与为害的主要特点:即农田飞蝗暴发频繁而且严重,草原土蝗的发生时常造成严重的经济损失,而且侵入城市干扰市民生活,我国与周边国家之间蝗虫过境迁移频繁,使用化学农药污染环境和农产品;分析了国内外蝗虫防治对策与技术的发展现状,重点介绍了应急防治和可持续治理对策、生物防治技术、生态治理技术、信息技术、化学防治技术和施药技术等方面的进展;提出了我国蝗害绿色防控技术体系的主要内容、技术和目标;介绍了国家农业行业科研专项"我国迁移性蝗害绿色防控技术研究与示范"的主要目标和任务,预计通过此项目的实施,将促进我国蝗灾可持续治理水平的提高。

关键词 蝗虫,生物防治,生态治理,信息支持系统,可持续管理技术体系

Advances and prospects of strategies and tactics of locust and grasshopper management

ZHANG Long**

(Key Laboratory for Biological Control, The Ministry of Agriculture of China, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Features of the occurrence of locusts and grasshoppers in China and other countries are summarized. In China, locust outbreaks are frequent in crop fields, and grasshoppers occur widely and often migrate into cities and between the borders of China and adjacent countries. The use of large quantities of chemical pesticides to control locusts causes severe pollution to the environment and crops. Global progress in strategies and tactics of locust and grasshopper management is reviewed, including biological control, ecological control, chemical control and the application of information technology in the sustainable management of locusts and grasshoppers. Finally, the main tasks and objectives of a project supported by Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest "Sustainable Management System of Migratory Locusts and Grasshoppers" are introduced. We hope that this project may improve the ability to control locust and grasshopper plagues in our country. Future locust and grasshopper management should be supported by good facilities, sufficient finance and qualified staff, as well as integrated biological control, information system support and ecological control.

Key words locust and grasshopper, biological control, ecological control, information supporting system, sustainable management technological system

1 国内外蝗虫发生与为害态势

1.1 国外蝗虫的发生概况

蝗虫是世界性的重大经济害虫。自 1985 年以来,蝗虫在世界的一些主要分布区开始新一轮大暴发。在非洲,1986—1989 年间仅在撒哈拉和西北非洲就花费近 3 亿美元用于防治发生在 10 多个国家,面积达 460 万 hm^2 的蝗灾,喷施化学农药上万吨。2004 年发生的蝗灾给西北部非洲造成的谷物损失达 30%。在澳大利亚经常有蝗虫成群大规模迁飞为害的报道,1984 年如果不进行防治,

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903021)。

**项目首席专家,E-mail: locust@cau.edu.cn

收稿日期:2011-05-13,接受日期:2011-05-30

澳大利亚因蝗灾将损失约 1 亿美元。在北美,1986—1989 年间化学防治面积达 8 200 万 hm^2,消耗资金 7 500 万美元。在中亚的哈萨克斯坦,1999 年 22 万 hm^2 农田遭受蝗灾,损失 150 万美元。一般认为,土蝗能造成的作物损失在 10% ~12% 之间,而飞蝗可以造成 45% ~50% 的损失,如果发生严重则可造成绝收。特别是飞蝗和沙漠蝗,其一旦暴发,就可能聚集成庞大的蝗群远距离迁飞,跨地区危害,造成十分严重的经济损失(Enserink,2004)。

1.2　国内蝗虫发生概况

蝗虫是我国农牧业生产的重要害虫,在我国过去 3 千多年的历史中就记载了 800 多次发生严重的蝗灾。蝗灾暴发严重时遮天蔽日,所到之处禾草一空,饿殍遍野。因此历史上,把蝗灾与旱灾、水灾并称为我国农业生产的三大自然灾害(陈永林,1991)。1985 年以来,飞蝗常年发生面积超过 133.3 万 hm^2,个别地区的蝗虫虫口密度高达上千头/m^2。草原蝗虫的累计发生面积达 6.7 千万 hm^2,经常给牧场和农田造成严重损失。因为我国是农业大国,农业是国民经济的基础,所以蝗害的防治工作对于保持我国农业生产稳定发展、确保我国粮食安全十分重要,是关系到国家安全和人民生活稳定的重大战略性问题。

我国已记录的蝗虫种类多,但能够造成严重经济损失的种类 20 多种。蝗虫的发生与为害在不同地区具有不同的特点,我国目前蝗虫发生的主要问题可以概括为以下 4 点。

1.2.1　农区飞蝗发生严重　东亚飞蝗 *Locusta migartoria manilensis* 主要分布在我国北纬 42° 以南,北自河北,南到海南,西起陕西,东到渤海湾和辽宁的葫芦岛。一年发生世代数也由北向南增加。北方 1 年 2 代,南方 2 ~4 代。近年来,由于我国北方地区持续干旱,以及一些地区退耕还湖、还草、农田耕作粗放或弃耕撂荒等,东亚飞蝗的孳生面积增加、发生范围扩大、发生程度逐年加重。特别是 1998—2003 年间,冀、鲁、豫等省飞蝗连年大发生,不仅出现了大面积、高密度、群居型蝗群,个别地区虫口密度高达 1 000 头/m^2 以上。如 2001 年发生面积突破 200 万 hm^2,较 20 世纪 70 年代增加了 53 万 hm^2。

1.2.2　跨国境迁移为害频繁　亚洲飞蝗 *Locusta migratoria*、亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus*、意大利蝗 *Calliptanus italicus* 等草原蝗虫不但分布在我国北方边境的草原地区,也分布在与我国接壤的邻国,如哈萨克斯坦、蒙古、吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦国的草原。近几年在我国与周边的国家之间常有蝗虫大范围相互迁徙为害的事件发生,如 1999 年由境外迁入新疆塔城地区的蝗虫发生面积为 46.7 万 hm^2,造成严重危害的面积达 2 万 hm^2。

1.2.3　草原蝗虫的发生不但造成严重的经济损失,而且时常侵入城市干扰市民生活　近几年草原土蝗连续暴发,常年发生面积近 700 万 hm^2,由于对草原蝗虫暴发成灾规律研究不够、对其种群动态的预测预报不准、防治工作相对滞后,常常是牧草被蝗虫啃食一空,给我国的草地畜牧业造成严重损失,每年的经济损失巨大。近几年,亚洲小车蝗时常大量侵入内蒙古的呼和浩特市、赤峰市、河北省的张家口市和承德市,特别是 2002 年,亚洲小车蝗大量侵入北京市,严重干扰了市民的正常生活。

1.2.4　大量使用化学农药严重污染环境和农产品　目前我国对蝗虫的防治仍是以化学农药为主,主要是有机磷和菊酯类等广谱性的化学农药,每年用量上千吨,大量而广泛地使用化学农药,尽管可以有效的将蝗虫虫口密度在短时间内迅速压低在经济损失水平以下,但是也带来了环境和农产品的污染、天敌被大量杀伤、蝗灾再暴发的频率增加、人畜农药中毒等一系列负面作用,不利于农牧业的可持续发展。

2　国内外蝗虫防治的对策与技术现状

目前蝗害防治的主要策略是应急防治和可持续治理策略,前者主要是对于突发、暴发成灾所采用的策略,而后者是预防性的策略,二者在适当时期和地区可以相互协调。

2.1　国内外蝗虫防治的对策

2.1.1 应急防治对策　自 20 世纪中期人类开始大量使用化学农药防治有害生物以来,对蝗虫的防治一直采取以化学农药为主要防治措施的对策,这是因为对蝗虫的发生规律和成灾原因不清楚,无法及时准确地掌握蝗虫发生动态,而不得不采取的应急对策。在 20 世纪 90 年代以前,由于长

期以来过于依赖化学农药防治，而忽略其他防治措施，如生物防治、生态防治等技术的研制，即使是对蝗虫种群动态预测准确且及时，也没有可选择的替代化学农药的防治措施可用。

在应急防治对策中也有主动性和被动性的区别。虽然主动的应急防治是具有良好的测报和监测技术和体系，能够及时实施化学防治，防止形成蝗灾，但是无法避免化学农药的污染问题。如我国和澳大利亚、美国等所采取的应急防治对策就是主动的。相反，由于多种原因不能准确、及时地预测蝗虫发生动态，当蝗虫发生密度高，甚至开始扩散和迁飞，并且造成严重损失之后，才采取化学农药防治的情况则属于被动的应急防治。这样既造成了严重的经济损失也会污染环境，如非洲的部分地区。

从有害生物可持续治理的理论来看，其既有现实经济学的，更有长远的生态学目标。因此，可持续治理的概念中包含着中国古代天人合一的哲学思想，提倡人类与自然长期和谐相处。实际上蝗虫的可持续治理对策应该采用环境友好的技术与措施，进行预防性防治，有效地控制蝗害，在避免经济损失的同时，还要避免对环境和自然生态平衡的破坏。这是国际上蝗灾治理的共识和必然的趋势，自 20 世纪 90 年代中后期开始提倡的蝗灾可持续治理对策。

2.1.2 可持续治理策略 在蝗灾治理中，能够防止蝗虫高密度种群大面积发生，并且保护环境的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且实施的。20 世纪 80 年代初，美国最早研制出了生物治蝗制剂——蝗虫微孢子虫（Henry and Oma，1981）。到 20 世纪 80 年代后期，我国在蝗虫微孢子虫的生产和应用方面处于世界领先水平（Johnson，1997）。20 世纪 90 年代中期，英国、澳大利亚开发了绿僵菌治蝗制剂。总结目前生物治蝗的策略，可分为两种，一是将生物制剂作为化学农药的直接替代物的策略，另外一种是作为间接替代物策略。作为化学农药直接替代物的策略其目的是应用生物制剂后，蝗虫的虫口密度应该迅速压低到经济损失水平以下，但是一般不能在生态系统中建立种群，如植物源生物农药和绿僵菌。而作为化学农药间接替代物策略其目的是应用生物制剂后可以使得天敌微生物或昆虫能够在生态系统中建立种群，成为蝗虫种群密度的长期控制因素，如捕食性天敌昆虫、蝗虫微孢子虫（张龙和严毓骅，2000）。

可持续治理策略的另一个重要支撑技术是生态治理技术或蝗虫发生基地改造技术。20 世纪 50 年代开始，有关生态治理与蝗虫发生基地改造技术首先在我国大面积应用，并取得显著成果（马世骏，1956）。虽然生态治理技术一般难度大，因为蝗虫发生区目前大多是草原或者湿地生态系统，不适宜进行改造。但是生态治理可以保护环境，保护天敌，可以充分发挥自然界的控制因素，因此在适宜改造的地区成为防治蝗灾的根本性技术。

可持续治理策略由于其符合环境保护、可持续农业发展、低耗能等要求是当前和今后的必然趋势。

2.2 国内外蝗虫防治的技术进展

2.2.1 生物防治技术进展 正如上面提到的，技术的发展是制订策略的基础。在众多的蝗虫防治技术中，近几年来发展最快的是生物防治技术。

虽然蝗虫的天敌种类很多（Greathead，1992），但是当今大规模用于实际防治的主要是蝗虫的病原微生物。早在 20 世纪 80 年代初，美国开发的蝗虫微孢子虫是第 1 个能够商品化生产的治蝗生物产品，主要用于防治草原和花园中的蝗虫。在加拿大和中美洲的阿根廷也进行了大规模应用，取得较好的效果（Henry and Oma，1981；Lange and De Wysiecki，1996；Johnson，1997）。1986 年中国农业大学从美国引进了蝗虫微孢子虫，经过近 20 余年的研究与应用实践，已经开发出完善的微孢子虫防治蝗虫的技术体系。一般将蝗虫微孢子虫作为长期控制蝗灾的因素应用，应用后可以使得蝗虫种群中长期流行，控制蝗虫的种群数量长期保持在较低的水平（Yan *et al.*，1992；Zhang *et al.*，1996）。蝗虫微孢子虫是蝗虫等直翅目昆虫的专性寄生物，具有对其它生物和环境十分安全、生产成本低廉等特点，在整个防治蝗虫的生物农药中仍占有十分重要的地位（陈永林，1991）。目前对该昆虫病原物的研究方兴未艾。

绿僵菌是近几年国际上研究与开发的热点之一（Goettel，1992；Lomer *et al.*，2001）。而且已有一些产品相继问世，如英国研制的产品（Green

Muscle®) 和澳大利亚研制的产品(Green Guard®)等。澳大利亚筛选出了产孢量高、对蝗虫的致病性强的新品系(*Metarhizium anisopliae* var. *acridum*),现已商品化大量生产。自 2000 年以来,每年在澳大利亚防治蝗虫近 25 000 公顷。主要用于近水源的地区和有机农产品生产的农场、牧场地区,从而保证了水源和从事有机农产品生产的地区不受化学农药的污染(Lomer *et al.*, 1997,2001; Hunter *et al.*, 1999; Milner *et al.*, 2003)。在我国也有很多单位在开发绿僵菌,部分产品已经在国内进行了登记,并且开展了大规模的应用。

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。现已发现蝗虫有多种信息素,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。在聚集信息素方面,国际昆虫生理生态研究中心首先证明沙漠蝗具有蝗蝻和成虫 2 种不同的聚集信息素系统,并于近期在非洲开展了小面积的田间试验防治沙漠蝗(Hassanali and Bashir, 1999)。应用信息素的主要目标是破坏飞蝗的群集行为,防止其群集起飞和迁飞。此方面的研究成果有可能会促进蝗虫防治技术的全面提高。

整体上看,生物防治蝗害实质上是预防性的措施,因此,在蝗虫防治中更加强调对蝗虫生物学特性和种群数量动态的了解,对于蝗虫的种群数量动态的预测预报及时性、准确性要求更高,在此基础上提出合理的生物防治行动时间和使用方法,才能确保生物防治的效果。

2.2.2　生态治理技术进展　1950 以后,我国通过采取"改治并举"的措施(马世骏,1956; 邱式邦,1956; 陈永林,1991),使东亚飞蝗的孳生区,由建国初的 520 万 hm^2 压缩到 20 世纪末的 166.7 万 hm^2 左右,353.3 万 hm^2 蝗区得到了有效改造。山东省东营、河北省黄骅和河南孟津建立了多个生态控蝗区。通过改土整地,模式化种植苜蓿、冬枣、中草药等特种植物,上枣下草、上粮下鱼,种植替代性特种植物等,提高植被覆盖度,切断蝗虫食物链,创造不利于蝗虫栖息、繁殖,而有利于蝗虫天敌繁殖的良性生态环境,达到控害目标。在美国也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。

总之,生态治理是治理蝗灾的根本性措施,需要提倡、也需要开展更为深入的研究,以解决目前实施该措施的成本过高、难度过大等问题。

2.2.3　化学防治技术进展　化学农药防治是在蝗虫大暴发时所必须采取的措施。当前用于防治蝗虫的化学农药主要是杀螟松、马拉硫磷、锐劲特和仿生农药(昆虫生长调节剂)。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。很多国家,如俄罗斯、哈萨克斯坦、非洲各国等都在寻找昆虫生长调节剂来代替广谱性的化学农药,如卡死克,铁灭林等。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。近期在美国、哈萨克斯坦、毛里坦尼亚、摩洛哥、西班牙、马达加斯加等国开始使用铁灭林等昆虫生长调节剂。

2.2.4　施药技术进展　在施药方式上,我国采用生物防治和化学防治间隔式条带实施的技术。而很多国家如澳大利亚、哈萨克斯坦、俄罗斯、美国等均采用提倡阻隔带式喷药方法替代地毯式全面覆盖施药的方式,达到了既可以降低蝗虫密度在经济损失水平以下,又可以减少用药量,降低了成本,减少了化学农药的污染,同时可以保护天敌。英国科学家在对微生物制剂喷施技术方面也作了十分有益的研究与改进,不但提高了作业效率,而且也提高了杀虫剂的效果(Bateman, 1992)。

使用毒饵是当前防治蝗虫的另一项主要施药措施。我国在 1990 年代初期防治草原土蝗时就使用毒饵。采用毒饵防治,可以减少化学农药的飘移,以及天敌和其它非靶标生物与化学农药接触的几率,因此利于保护生态和环境,同时化学农药的使用量会大大减少,更为经济。但是毒饵的加工程序相对较复杂,工作效率较低。

采用飞机施药效率很高,是地面施药的十几倍。因此在蝗虫大面积发生时,为了能够及时控制蝗虫的暴发与迁飞扩散,采用飞机施药是首选的技术。但是飞机施药面临的重要问题是容易漏喷或重复喷施,无法精准地控制喷施地点和喷量。全球卫星定位系统(GPS)在解决上述问题方面提供了有利的技术支持。目前在北美、澳大利亚和部分非洲地区飞机防治都不再使用地面人员为飞机打信号,而是由 GPS 导航系统指挥防治。2001

年联合国粮农组织在非洲北部进行过飞机精准施药试验，但是至今尚未完全实现飞机精准施药防治蝗虫。2002 年起我国在此方面也进行了有益的探索，在很多省市都采用 GPS 导航系统指挥防治，取代了人工地面信号员，但是未能实现真正意义上的精准施药。

2.2.5 信息技术在蝗灾控制方面应用的进展

美国、加拿大等国家在 1990 年代初期就开始使用计算机模拟技术对蝗虫发生进行预测，目前美国和加拿大都采用卫星遥感照片结合人工实地调查和 GPS 定位、地理信息系统（GIS）、气象数据等对蝗虫的发生地点、面积和时间、程度进行预测，有效的地提高了蝗虫管理水平（Andrew *et al.*，1993；Dennis and Brusven，1993；Scott and Lockwood，1997）。澳大利亚在 1990 年代中后期开发了结合卫星遥感、气象和地面植被生长情况，之后再派人实地调查蝗虫密度、进行 GPS 定位，来预测蝗虫的发生地点与时间（Hamilton，2004）。由于蝗虫多发生在比较偏远的地区，对其种群动态和发生区的监测技术一直是困扰各国的重要问题。信息技术可能为蝗虫的发生动态的监测和预报提供新的手段。

21 世纪初，中国农业大学与全国农业技术推广服务中心合作采用 GPS 和 GIS 相结合的技术，研制出了蝗灾防治的指挥决策辅助系统，该系统可以用于对蝗区的历史数据和实时数据的查询、计算与分析、指挥防治和应急预警。该系统已经被我国发生飞蝗的主要省市应用于蝗灾防治决策与管理中，为实现我国蝗灾的数字化管理奠定了基础（Zhang *et al.*，2004）。

3 我国迁移性蝗害绿色防控技术研究与示范

蝗害可持续治理是一项复杂的系统工程，该系统工程既包含了科学技术方面的要素、也包含人文社会方面的要素。对于该系统工程，仅就其科学技术方面的建设来讲，需要通过采取多学科交叉合作，在深入研究我国蝗虫的生物学特性和种群动态规律的基础上，创新蝗害防治的关键技术、产品、策略和配套设施；建立我国蝗害绿色防控的共性技术体系；在典型蝗区，集成并建立区域特性的蝗害绿色防控技术体系。为此，设立了“我国迁移性蝗害绿色防控技术研究与示范”的公益行业科研专项。该项目采用系统工程的方法，进行顶层设计、结合国内外害虫防治的趋势和我国蝗虫防治现状，提出了我国蝗害绿色防控技术体系的内容、特征和目标，该项目主要有 3 大研究模块。

3.1 支撑技术模块

主要包括蝗害的数字化管理系统、蝗虫种群数量动态的监测预警技术、精准施药与生物农药施药技术 3 个内容。其中：第一是数字化管理系统即软件和信息平台研究与建设，该信息平台基于 GIS、GPS 和 RS 技术建设，通过研制和开发将会大大提升蝗害管理的数字化水平、提高效率、减少成本，为更加有效、快捷、精确地指挥蝗害防治奠定基础。第二是基于信息技术和行为技术的蝗害发生预测预报技术，只有对蝗虫种群数量动态准确监测，才能作到知己知彼，才能在适当时机、适合地点、采用适合的技术采取防治行动。第三是基于蝗虫一般发生在滩涂、荒地和草原等环境中，飞机防治是防治蝗害的常用技术的需求，在施药技术方面重点开展飞机精准施药技术的研究。

3.2 绿色防控技术模块

这是整个项目的核心。重点开展微生物农药的新产品和新剂型、新生产工艺研究；积极开展蝗虫天敌的保护与利用技术和飞蝗行为控制技术研究与开发，研究蝗害的控制技术等；探索飞蝗的新防治分子靶标。通过该项目的研究将会增加蝗虫绿色防控技术的新产品、新技术，对蝗灾防控进行技术储备。

3.3 技术的集成与示范

包括了本项目新研制的绿色防控支撑技术和已有技术，既要充分考虑生态、人文和社会现状，也要考虑绿色防控与应急防控技术的协调。有关技术为了能够被组装集成为适合于特定蝗虫发生区的配套技术，必须经过筛选、优化等一系列的田间试验、示范，并且进行技术改进，使之更为安全、简便、经济、有效。

由此可以看出，我国蝗害绿色防控技术工程要以安全、有效、经济、环保为目标，以蝗虫及其自然环境的生物学特性为基础、以绿色防控技术和支撑技术为核心，根据蝗虫发生区域特点对各项知识、技术进行集成、组装形成区域特色的防治技术体系，再组织实施技术推广应用。实施过程中，要建立具有区域特色的蝗害绿色防控示范区，逐

步推进,在人文、社会和经济环境的支持下,直至全面实现我国蝗害绿色防控的目标。

项目执行 2 年来,已在微生物防治技术、蝗虫防治指挥辅助信息系统、飞机精准施药装置、飞蝗的行为调控制剂、迁移性蝗虫的生物学、生态学和发生规律、飞蝗防治新分子靶标、以及生物防治与蝗虫防治指挥辅助信息系统的示范应用方面取得了可喜的进展。

4　展望

综上所述,现阶段蝗虫仍然是全球范围内严重威胁农牧业生产的重大害虫,在我国存在的问题也不尽相同。尽管对蝗虫的发生规律研究多年,但是对影响蝗虫发生的关键因素仍不十分清楚,而只有深入研究蝗虫的暴发规律,才能提出更为合理的防治对策与技术。目前蝗虫防治技术的主要进展集中在生物防治技术和信息支持技术方面。大力发展生物治蝗、生态治理技术和信息化管理蝗灾技术,必将促进我国蝗灾的可持续治理。实际上,蝗虫防治不仅仅是自然科学和技术问题,而是一个社会性的系统工程,建设良好的基础设施、资金来源渠道和人才队伍,对于保障蝗虫防治工作的顺利进行也同样重要。基于已有的工作基础,建设以有效、低耗、环境友好(绿色防控)为目标的蝗害可持续治理系统工程是其发展的历史趋势。

致谢: 感谢中国科学院动物研究所郝树广先生对本文的细心修改。感谢参加项目的所有成员。

参考文献(References)

陈永林, 1991. 蝗虫和蝗灾. 生物学通报, 11: 9—12.

马世骏, 1956. 根除飞蝗灾害. 科学通报, 2: 52—56.

邱式邦, 1956. 飞蝗. 农业科学通讯, 3: 143—150.

张龙, 严毓骅, 2000. 持续治理飞蝗灾害的新对策. 昆虫学报, 43(增刊): 180—185.

Andrew ML, Rossi RE, Kemp WP, 1993. Geostatistics and geographic information system in applied insect ecology. *Annu. Rev. Entomol.*, 38(1): 303—327.

Bateman RP, 1992. Controlled droplet application of mycopesticides to locusts // Lomer CJ, Prior C (eds.). Biological Control of Locusts and Grasshoppers. CAB International in association with International Institute of Tropical Agriculture. 249—254.

Dennis JF, Brusven MA, 1993. Spatial analysis of grasshopper density and ecological disturbance on southern Idaho rangeland. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 43(1): 31—47.

Enserink M, 2004. Can the war on locusts be won? *Science*, 306(5703): 1880—1882.

Goettel MS, 1992. Fungal agents for biocontrol // Lomer CJ, Prior C (eds.). Biological Control of Locusts and Grasshoppers. CAB International in association with International Institute of Tropical Agriculture. Redwood Press. 122—132.

Greathead DJ, 1992. Biological control as a potential tool for locust and grasshopper control // Lomer CJ, Prior C (eds.). Biological Control of Locusts and Grasshoppers. CAB International in association with International Institute of Tropical Agriculture. Redwood Press. 4—7.

Hamilton G, 2004. The operation of a GIS-based decision support system for Australian locust management. In Proceedings of the 15th International Plant Protection Congress, Beijing.

Hassanali A, Bashir MO, 1999. Insights for the management of different locust species from new findings on the chemical ecology of the desert locust. *Insect Sci. Appl.*, 19(4): 369—376.

Henry JE, Oma K, 1981. Pest control by *Nosema locustae*, a pathogen of grasshoppers and crickets // Burges HD(ed.). Microbial Control of Pests and Plant Diseases, 1970—1980. Academic Press, New York. 573—586.

Hunter DM, Milner RJ, Scanlan JC, Spurgin PA, 1999. Aerial treatment of the migratory locust, *Locusta migratoria* (L.) (Orthoptera: Acrididae) with *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) in Australia. *Crop Protection*, 18(10): 699—704.

Johnson DJ, 1997. Nosematidae and other protozoa as agents for control of grasshoppers and locusts: Current status and prospects. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 171: 375—389.

Lange CE, De Wysiecki ML, 1996. The fate of *Nosema locustae* (Microsporida: Nosematidae) in Argentine grasshoppers (Orthoptera: Acrididae). *Biological Control*, 7(1): 24—29.

Lomer CJ, Prior C, Kooyman C, 1997. Development of *Metarhizium* spp. for the control of grasshoppers and locusts. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 171: 265—286.

Lomer CJ, Bateman RP, Johnson DL, Langewald J, Thomas

M, 2001. Biological control of locusts and grasshoppers. *Annu. Rev. Entomol.*, 46: 667—702.

Milner RJ, Lozano LB, Driver F, Hunter D, 2003. A comparative study of two Mexican isolates with an Australian isolate of *Metarhizium anisopliae var. acridum*—strain characterisation, temperature profile and virulence for wingless grasshopper, *Phaulacridium vittatum*. *BioControl*, 48(3): 335—348.

Scott PS, Lockwood JA, 1997. Spatial characteristics of rangeland grasshopper (Orthoptera: Acrididae) population dynamics in Wyoming: implications for pest management. *Population Ecology*, 26(5): 1056—1065.

Yan Y, Zhang L, Wang L, 1992. Biological control of grasshoppers and locusts by using *Nosema locustae* bait in China. In Proceedings of the 19th International Congress of Entomology, Beijing.

Zhang L, Zhu E, Huang H, Zhu D, Wang T, Ren B, 2004. Supporting information system for management of locust plague with GIS and GPS. In Proceedings of the 15th International Plant Protection Congress, Beijing.

Zhang L, Yan Y, Zhang Z, Yang Z, 1996. A preliminary survey of the epizootics of infection by *Nosema locustae* in grasshoppers on rangeland in Inner Mongolia, China. Submitted abstract, Technology Transfer in Biological Control: From Research to Practice. Montpellier, France. 9—11.