

沙漠蝗生物学特性及防治技术研究进展

涂雄兵^{1#}, 李 霜^{1#}, 杜桂林^{2#}, 潘 凡¹, 徐超民¹,
陈 俊¹, 王卓然³, 杨 智³, 张泽华^{1*}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193; 2. 全国畜牧总站, 北京 100125;
3. 国家林业和草原局草原管理司, 北京 310012)

摘要 历史记载中,沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) 主要在北非发生,对当地农作物构成严重威胁。大规模发生时,可向西亚等地继续扩散为害。2020 年初沙漠蝗在巴基斯坦、印度大量发生,肆虐为害,对粮食安全和生态安全构成了严重威胁。因其具有迁飞性,周边多个国家面临重大入侵风险。因本次沙漠蝗发生规模与破坏程度堪比 1985 年非洲蝗灾,2020 年 2 月 11 日,联合国粮农组织 (FAO) 向全球发布预警:“高度戒备正在肆虐的蝗灾,防止被入侵国家出现粮食危机”。本文介绍了沙漠蝗分类地位、形态学特征,概述了沙漠蝗生物学特性、监测预警与防治技术研究进展,为科学防控沙漠蝗提供理论支撑。

关键词 沙漠蝗; 入侵风险; 综合防治

中图分类号: S 433.2 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2020204

Research progresses in the biological characteristics and control techniques of the desert locust *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775)

TU Xiongbing^{1#}, LI Shuang^{1#}, DU Guilin^{2#}, PAN Fan¹, XU Chaomin¹, CHEN Jun¹,
WANG Zhuoran³, YANG Zhi³, ZHANG Zehua^{1*}

(1. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;
2. National Animal and Husbandry Service, Beijing 100125, China; 3. Grassland Management
Department of State Forestry and Grassland Bureau, Beijing 310012, China)

Abstract *Schistocerca gregaria* has been recorded to occur mainly in North Africa, posing a serious threat to local crops. When occurring on a large scale, it might spread to Western Asia and other places. At the beginning of 2020, *S. gregaria* ravaged Pakistan and India due to its migration, threatening food security and ecological security in many countries. The scale and destruction of *S. gregaria* this year was comparable to the African locust plague of 1985. On February 11, 2020, Food and Agriculture Organization (FAO) issued an alert: “high alert for an ongoing plague of desert locusts to prevent food crisis in the invaded countries”. Here, we summarized the classification status, morphological and biological characteristics, and the research progresses in monitoring and sustainable management methods of desert locust, helping to provide effective measures to defeat this notorious pest.

Key words *Schistocerca gregaria*; potential invasion risk; sustainable management

根据历史记载,蝗虫造成了周期性的人类灾难^[1]。直到今天,蝗灾仍是世界农牧业生产的重大威胁^[2-3]。沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) 是发生最为严重的蝗虫之一,据报道,公元前 2800 年乌干达语中就有沙漠蝗的记载^[4]。公元 2 世纪以

来,沙漠蝗几乎连年发生^[4]。20 世纪以来,沙漠蝗大规模暴发 15 次,波及非洲和亚洲 3 000 万 km² 农田和草原,影响 65 个国家 8.5 亿人口的生活^[5-7]。2020 年初沙漠蝗在巴基斯坦、印度肆虐为害,威胁多个国家粮食安全和生态安全^[8]。据报道,沙漠蝗

收稿日期: 2020-04-17

修订日期: 2020-04-19

基金项目: 中国农业科学院应急任务 (Y2020YJ02); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (Y2018YJ16)

* 通信作者 E-mail: zhangzehua@caas.cn

为并列第一作者

直接跨越喜马拉雅山脉进入我国的可能性较小,但是如果 5—7 月份西风急流和印度洋暖湿气流强劲,沙漠蝗仍然存在入侵我国的可能,进而对我国的农牧业生产构成严重威胁^[9]。因此,了解沙漠蝗分类地位、分布与为害,掌握其形态特征,摸清其生物学特性,是开展沙漠蝗监测与防治工作的前提和基础。本文概述了沙漠蝗分布与为害、生物学特性,综述了近年来沙漠蝗监测与防治工作进展,为科学防治提供理论支撑。

1 形态特征

1.1 分类地位

沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) 为直翅目 Orthoptera, 蝗亚目 Caelifera, 蝗总科 Acridoidea, 斑腿蝗科 Catantopidae, 刺胸蝗亚科 Cyrtacanthacridinae, 沙漠蝗属 *Schistocerca*^[10-12] 昆虫。沙漠蝗 1775 年由德国分类学家 Forskål 定名为 *Gryllus gregarius*, 1804 年 Olivier 定名的 *Acridium peregrinum* 为其同物异名^[10]。1838 年 Bureister 将采自非洲南部的标本定名为 *Acridium flaviventre*, 1979 年 Jago 将其定为沙漠蝗的亚种^[13]。1873 年 Stål 建立了沙漠蝗属 *Schistocerca*, 并把沙漠蝗移到该属。1910 年 Kirby 完成了系统的蝗虫分类工作, 并建立了刺胸蝗亚科, 将沙漠蝗属分类到该亚科^[12]。Krauss 曾在其论文中详细记载了 Forskål 和 Olivier 关于沙漠蝗的定名工作, 但 Kirby 忽略了前人的工作, 误认为 *Gryllus talarieus* L. 就是沙漠蝗。1923 年俄国分类学家 Uvarov 发现了这个错误并将其订正为 *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775)^[14], 该学名一直沿用至今。1979 年 Jago 将沙漠蝗分为两个亚种 *Schistocerca gregaria gregaria* (Forskål 1775) 和 *Schistocerca gregaria flaviventris* (Burmeister 1838)^[13]。

1.2 沙漠蝗属特征

沙漠蝗属 *Schistocerca* 主要形态学特征为: 雄虫下生殖板双叶状, 其裂片明显突出。该属体色多变是其分类困难的原因之一。其余特征还包括: 头部有明显的颞凹; 颜顶角略微隆起, 沟前区宽度略等于沟后区宽度, 形成一个圆角; 背面有条纹, 从头部延伸到前胸端部; 具复眼, 单眼内侧的额脊宽; 前胸较发达, 有的种可见 3 个横沟; 前胸腹板直, 完全不

向中胸腹板倾斜, 分布有刺, 中胸腹板的侧裂片长小于或等于宽。前翅可延伸到腹部末端甚至更长, 翅脉清晰可见, 不密集, 多数种前翅上布有斑纹; 前翅翅基端部圆形或斜圆形, 末端支脉部分垂直于主脉; 有的种有较长的后翅。后足发达, 股节基部短宽, 端部窄长, 胫节基部强烈侧向收缩, 不同种类后足胫节颜色不同, 胫节内外侧均密被刚毛^[12, 15]。

1.3 沙漠蝗形态特征

雄虫体长 45.8~55.3 mm, 雌虫体长 50.7~61.0 mm。雌虫形态近似雄虫, 体型粗大, 头顶短于前胸背板, 略凹陷; 复眼大, 卵形; 触角到达或超过前胸背板的后缘; 前胸腹板突圆锥状, 直或微后倾, 背板沟前区在群居型甚缩狭, 具小刻点, 中隆线不明显, 后缘呈宽圆形, 而散居型沟前区略缩狭, 具粗刻点, 中隆线明显, 后缘近 90°, 略圆; 中胸腹板侧叶狭长, 后角明显向内倾斜成锐角; 侧叶间的中隔呈梯形, 中隔的长度明显大于其最狭处; 后胸腹板侧叶略分开或毗连; 前、后翅狭长, 明显超过后足股节的端部, 长约为宽的 5~5.5 倍; 后足股节细长, 其长度为其宽度的 5~5.6 倍。后足胫节无外端刺, 外缘具刺 9~10 个, 内缘具刺 10~11 个^[10, 16]。



图 1 沙漠蝗雄成虫侧面观(张泽华 摄)

Fig. 1 The profile view of male adult *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (photographed by Zhang Zehua)

2 分布与为害

2.1 分布

沙漠蝗主要分布在沙漠灌丛地区, 包括萨赫勒地区、阿拉伯半岛、西亚部分地区及印度西部^[17-18]。沙漠蝗猖獗发生时, 每天可随气流飞行 150~200 km^[6, 19-20]。通常情况下, 入侵扩散可由非洲的西部、北部迁飞扩散到非洲中东部和亚洲西南部等地区, 有时还可以从非洲迁飞到葡萄牙的马德拉群岛和西班牙的加那利群岛^[21], 波及 65 个国家的全部或部分地区^[15]。而当沙漠蝗蝗群处于衰退期, 即平静期时, 沙漠蝗通常局限于非洲西北部、中东及西南亚的半干旱和干

旱沙漠,尤其是年降雨量不超过 200 mm 的地区,该地区面积约 1 600 万 km²,近 30 个国家受害^[15]。

2.2 食性与栖境

沙漠蝗为杂食性昆虫,可取食 300 多种植物^[6],包括一年生紫草科 Boraginaceae 天芥菜属 *Heliotropium*,禾本科 Gramineae 狼尾草属 *Pennisetum*、黍属 *Panicum*,大戟科 Euphorbiaceae 沙戟属 *Chrozophora*,蒺藜科 Zygophyllaceae 蒺藜属 *Tribulus* 等 4 个科 5 个属植物^[22-23],以及多年生禾本科赖草属 *Leymus*、羊茅属 *Festuca*、狼尾草属 *Pennisetum*,大戟科大戟属 *Euphorbia*,豆科 Leguminosae 苜蓿属 *Medicago*,苋科 Amaranthaceae 白花苋属 *Aerva* 等 4 个科 6 个属植物^[16, 22-24]。决定沙漠蝗食性的主要因子是植物次生代谢物,如沙漠蝗对黄酮含量高的植物具有偏好性^[25]。但会拒食一些苦味的植物,如常春藤 *Hedera nepalensis* var. *sinensis* (Tobl.) Rehd 等^[26]。同时,开阔的草原植被中,裸露地面为沙漠蝗创造了理想的繁殖场所^[27-28]。在夏季,巴基斯坦、伊朗和印度等地的蝗虫往往集中暴发于有成片裸露地面的沙丘顶部和斜坡上,而在冬季和春季,沙漠蝗喜欢在低覆盖的开放草原植被周边区域大量繁殖^[27]。

2.3 为害

迁飞扩散为害是沙漠蝗造成重大损失的重要原因。1967 年 4—5 月沙漠蝗在阿拉伯半岛西南部大暴发,扩散为害至红海沿岸国家,至 1969 年中结束,3 年间成功繁衍了 7 代,大规模发生了 5 次,仅第 5 代沙漠蝗(1968 年 4 月)为害面积就达 10 万 km²^[29]。1986 年—1989 年沙漠蝗蝗灾造成毛里塔尼亚近 300 万 hm² 遭受为害,政府耗资约 2 亿美元用于开展防治工作^[30]。2003 年—2005 年大规模沙漠蝗灾,使得西非、北非及非洲中东部多个国家受到影响,引起了 FAO 高度重视^[20];这次蝗灾导致整个萨赫勒地区 800 多万人遭受粮食危机,除直接经济损失外,蝗灾还造成了严重的社会影响,据调查,2004 年马里受灾地区出生儿童的身高较未受灾地区出生儿童的身高明显降低^[31]。2019 年 5 月开始的沙漠蝗灾至今仍未停息,为害区域遍布非洲、亚洲,使得巴基斯坦、索马里、埃塞俄比亚、肯尼亚等国家和地区宣布进入紧急状态,联合国粮农组织呼吁全球高度重视此次蝗灾,并计划筹集约 7 600 万美元来阻止蝗灾进一步扩散蔓延^[32]。

3 生物学特性

3.1 生活史

沙漠蝗为不完全变态昆虫,分为卵、蝗蝻和成虫 3 个阶段,蝗蝻有 5 个龄期,成虫有两种类型:一种为散居型,呈灰黄色或灰色,即在低密度条件下,蝗虫多以散居型出现,相对不活跃;另一种为群居型,呈鲜黄色或黑色,更加活跃。当散居型沙漠蝗密度较高时,个体间的身体接触会刺激其向群居型转变^[33-35]。

散居型雌成虫每头可产卵 200~300 粒,群居型可产 95~158 粒。蝗卵通常产在 10~15 cm 深的湿润沙土中,每头雌成虫平均可产卵 2~3 次,一般间隔 6~11 d 左右。产下的卵被一种分泌物结合在一起,形成一个卵荚,长约 3~4 cm。蝗卵最高密度可达 5 000~6 000 块/m²^[6, 16]。蝗卵一般在 2 周后开始孵化,蝗蝻分为 5 个龄期,最快在 25 d 后羽化,成虫至少需要 3 周才能性成熟,并开始交配产卵。成虫存活时间为 2.5~5 个月,主要取决于天气和环境条件,且性成熟越早,寿命就越短^[29, 36]。一般而言,不同区域沙漠蝗每年可发生 1~4 代^[18]。例如,1967 年在沙特阿拉伯沙漠蝗一年可发生 3 代^[29]。

3.2 发生规律

沙漠蝗无滞育现象^[37-39]。在非洲,每年 3 月、7 月和 10 月上旬是沙漠蝗卵孵化盛期;每年 5—6 月、11 月,受气流影响,成虫可远距离迁飞扩散为害。若遭遇不利条件,如低温,沙漠蝗发育较慢,羽化后成虫到产卵可能需要长达 6 个月的发育时间^[18]。

3.3 迁飞规律

沙漠蝗具备很强的迁飞能力,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;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,可到达两河(底格里斯和幼发拉底河)流域,严重威胁农牧业生产^[5, 31, 39]。

4 环境因子对沙漠蝗种群的影响

4.1 温度

沙漠蝗卵孵化温度范围为 21~45℃,在 42~43℃ 发育最快,9 d 即可孵化,在 21℃ 时孵化则需 23 d,在 15.5℃ 以下和 45℃ 以上时,蝗卵不发育^[6, 19, 40]。24℃

时,蛹期约 62~64 d;41℃条件下,蛹期仅 21 d,且当温度在 20℃及以下时蝗蛹活动减弱^[6]。沙漠蝗蝗蛹和成虫活动的最适温度约 40℃^[19,41]。高于 40℃时,活动开始减弱^[36]。温度还决定了沙漠蝗的迁飞,通常将 20℃作为蝗虫飞行的阈值温度。群居型沙漠蝗迁飞的环境温度范围为 22~24℃^[42],散居型持续飞行温度范围为 19.5~33℃^[43]。

4.2 光照

沙漠蝗产卵与光照无关,但光周期是决定卵孵化的重要因子,并相应地控制了孵化时间^[44-46]。群居型沙漠蝗日夜均能迁飞,而散居型沙漠蝗通常只能在晚上发生短距离迁移扩散^[29]。另一个有趣的发现是,适当延长光照时间可使沙漠蝗体内乙酰胆碱酯酶的活性上升,且在光照期间,温度升高到 30℃时,可导致沙漠蝗所有神经节的酶活性显著升高,反之下降^[47]。

4.3 湿度

沙漠蝗在半干旱环境中发育快,喜在湿润的新沙土中产卵,降雨有利于其生存和繁殖,大发生多出现在年降雨量超过 200 mm 的地区^[19],如 2003 年 7 月至 2004 年 4 月,萨赫勒地区和非洲西北部地区的降雨量超过平均水平,为沙漠蝗聚集创造了理想的条件,形成了蝗灾^[20]。蝗蛹和两型成虫正常发育和迅速成熟的相对湿度为 60%~75%,当缺乏足够的湿度时蝗蛹寿命可延长几个月^[19,41]。湿度还可控制沙漠蝗体壁颜色的多型现象,在潮湿的条件下沙漠蝗以绿色种为主,而在干燥条件下棕色种居多^[48-50]。

5 沙漠蝗监测与防控技术研究进展

5.1 监测技术

沙漠蝗监测工作最早始于 1912 年,Uvarov 在摩洛哥采用捕虫网开展野外调查^[11],到 20 世纪 90 年代中期,联合国粮农组织及其他防蝗组织利用遥感图像、气候变化预测模型和气象数据,提出了早期预警和快速反应的预防策略。同时,结合蝗虫种群现状(实地调查)、生态条件(植被和土壤水分)和历史资料(过去的类似情况)等数据进行综合研判^[51-53],借助蝗虫信息服务系统(DLIS)、物种分布模型(SDMS)和数字工具,评估、预警蝗虫暴发的潜在可能性^[54-55]。在上述技术基础上,Gómez 等基于人工智能算法和卫星遥感数据,开发了一种用于识别沙漠蝗的预警系统,能快速、有效提高沙漠蝗早期

预警效率,减少地理偏差。该系统能结合物种分布模型(SDMs)、归一化植被指数(NDVI)、叶面积指数(LAI)等模型,大大提高了监测效率和准确率^[56]。

5.2 防治策略

1921 年,Uvarov 提出沙漠蝗“预防控制”策略^[57],主要是在群居型沙漠蝗活跃早期开始使用。但这种策略在很大程度上依赖于有机氯农药的使用,由于其对环境的破坏性,这种防治策略在 20 世纪 80 年代后期限制使用,仅在灾情大面积暴发时使用^[58]。随后,Haskell 于 1993 年提出了“标准控制系统”的理念,Lecoq 等在此基础上制定了沙漠蝗综合防治战略,即预防、应急防治和保守控制,其主要内容包括开展沙漠蝗种群动态研究(地理分布、密度和发育进度等),利用气象、卫星数据,开发专门监测沙漠蝗动态的地理信息系统(GIS),在此基础上制定一级和二级紧急防治计划^[54,58],根据不同受灾程度采取对应的防治措施。

5.3 防治药剂

沙漠蝗防治工作最早始于 1860 年,主要采用挖掘沟渠、诱捕后将其焚烧的方法以减少种群数量^[59]。至 1945 年,英国海外害虫研究中心开始采用化学杀虫剂如狄氏剂防治沙漠蝗,化学防治在当时发挥了重要作用^[60]。随后研发的杀硝脲等有机氯农药也在 60 年代用于防治沙漠蝗^[61]。70 年代初,非洲多个国家发现有机氯农药包括狄氏剂具有广谱性,不仅造成非靶标生物死亡,还严重污染环境^[62-63]。人们开始选用有机磷农药(如杀螟松和马拉硫磷)、氨基甲酸酯(如苯二甲酸乙酯)和拟除虫菊酯(如溴氰菊酯)等触杀型、持效期短的杀虫剂来替代狄氏剂等有机氯农药^[64]。但因有机磷农药(马拉硫磷)、氨基甲酸酯类杀虫剂(恶虫威)等对环境毒性大,加之使用量大幅增加造成严重的“3R”问题,因此在 90 年代开始使用昆虫生长调节剂(如除虫脲、杀铃脲和氟乐美隆)和新型苯基吡唑(氟虫腈)等产品^[54,65]。90 年代中期至今,绿僵菌^[66]和白僵菌^[67]、印楝油^[68]、微孢子虫^[69]等生物源农药开始用于沙漠蝗的防治。同时,一些生态治理手段也逐渐用于沙漠蝗防治中,如改变作物种植结构^[70]、利用天敌等^[71-72]。

剂型和施药方式也在逐渐改变。20 世纪 70 年代以前,防治沙漠蝗主要使用饵剂,少量使用粉剂和水剂^[29]。至 70 年代,开始少量使用粉剂、饵剂,大量使用水剂、乳油^[30],目前这几种剂型一直沿用至

今^[62]。20 世纪 50 年代年开始使用喷雾方式施药,主要采用人工和小型机械。1989 年 11 月 7 日,联合国粮农组织开始利用超轻型飞行器施药^[70]。现阶段,在上述施药方式基础上,对施药机械进行了进一步改进,包括背负式小型机械、地面大型器械和飞机等,推广使用超低容量(ULV)喷雾^[63]。特别是 21 世纪以来,结合全球定位系统逐步实现了精准用药,减少了化学农药的浪费和环境污染^[54,63]。

6 展望

我国关于沙漠蝗仅有 4 次报道,1956 年蔡邦华先生记录云南有分布^[73],1974 年中科院动物所在西藏聂拉木县的樟木地区采集到沙漠蝗,1982 年陈永林先生报告西藏有沙漠蝗分布^[74],2002 年,陈永林先生撰文《警惕沙漠蝗的猖獗发生》,指出西藏、云南等边境地区应加强监测工作^[6]。这些报道表明沙漠蝗曾借助风场迁飞到上述地区,由于青藏高原地理阻隔,没有形成种群,尚未造成灾害。我国近 30 年也并未发现沙漠蝗种群。但是,目前沙漠蝗灾在印巴边境和非洲之角等地大规模暴发^[75],除西藏外,我国云南、新疆也与印度、缅甸接壤,仍然存在一定的入侵风险。因此,现阶段应加强边境地区沙漠蝗监测预警工作。印巴边境塔尔沙漠地区是沙漠蝗的重要虫源地,扩散区可达缅甸,因此应重点关注印巴边境地区沙漠蝗种群动态,以及夏季西风和印度洋暖湿气流的变化,开展沙漠蝗迁飞路线、落点区域等研究工作。近年来,沙漠蝗持续为害,气候变化被认为是沙漠蝗成灾的主要原因。因此,应加强气候变化对沙漠蝗种群动态演变规律研究,从生态系统角度出发,分析环境因子、气象因子对沙漠蝗种群的影响。同时,应加快构建新型、高效沙漠蝗防控技术体系,针对不同区域沙漠蝗为害,筛选适合不同区域防控药剂和施药方式;加快研制一批真菌、细菌、病毒等高效、新型防蝗产品,建立分区分级防控策略,实现沙漠蝗持续控制。沙漠蝗灾情影响多个国家和地区,应加快建立国际合作沟通机制,共同应对蝗虫灾害。

参考文献

- [1] 康乐, 陈永林. 关于蝗虫灾害减灾对策的探讨[J]. 中国减灾, 1992, 2(1): 50-52.
- [2] 联合国粮食及农业组织. 沙漠蝗[EB/OL]. (2020-01-31) [2020-04-02]. <http://www.fao.org/locusts/zh/>.
- [3] HUNTER D M. Advances in the control of locusts (Orthop-

tera: Acrididae) in eastern Australia: from crop protection to preventive control [J]. Australian Journal of Entomology, 2004, 43(3): 293-303.

- [4] NEVO D. The desert locust, *Schistocerca gregaria*, and its control in the land of Israel and the near east in antiquity, with some reflections on its appearance in Israel in modern times [J]. Phytoparasitica, 1996, 24(1): 7-32.
- [5] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Desert Locust situation update [EB/OL]. (2020-03-17) [2020-04-02]. <http://www.fao.org/ag/locusts/en/info/info/index.html>.
- [6] 陈永林. 警惕沙漠蝗的猖獗发生[J]. 昆虫知识, 2002, 39(5): 335-339.
- [7] TUCKER C J, HIELKEMA J U, ROFFEY J. The potential of satellite remote sensing of ecological conditions for survey and forecasting desert-locust activity [J]. International Journal of Remote Sensing, 1985, 6(1): 127-138.
- [8] FAO of the United Nations. Desert locust bulletin, general situation during February 2020. Forecast until mid-April 2020 [R]. FAO of the United Nations, 2020-04-14(497).
- [9] 张泽华, 张鑫, 石旺鹏. 蝗虫压境, 会否影响我国粮食安全[N]. 中国科学报, 2020-02-18(1).
- [10] 中国动物主题数据库[DB/OL]. (2020-03-30) <http://www.zoology.csdn.cn/page/showTreeMap.vpage?uri=cnfana.tableTaxa&id=>.
- [11] WALOFF N, POPOV G B. Sir Boris Uvarov (1889-1970): The father of acridology [J]. Annual Review of Entomology, 1990, 35(1): 1-26.
- [12] UVAROV B P. XI.—A revision of the old world Cyrtacanthacrinini (Orthoptera, Acrididae).—I. Introduction and key to genera [J]. Annals & Magazine of Natural History, 1923, 11(61): 130-144.
- [13] JAGO N D, ANTONIOU A, SCOTT P. Laboratory evidence showing the separate species status of *Schistocerca gregaria*, *americana* and *cancellata* (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) [J]. Systematic Entomology, 1979, 4(2): 133-142.
- [14] UVAROV B P. XLVII—A revision of the old world Cyrtacanthacrinini (Orthoptera, Acrididae)—II. Genera Phyxacra to Willemsea [J]. Annals and Magazine of Natural History, 1923, 11(64): 473-490.
- [15] Food and Agriculture. Organization of the United Nations. Locust watch—desert locust [DB/OL] (2020-02-11) [2020-04-02]. <http://www.fao.org/ag/locusts/en/info/info/faq/index.html>.
- [16] 中国生物志库·动物[DB/OL]. (2020-03-30) [2020-04-02]. <http://species.sciencereading.cn/biology/v/speciesDetails/122/DW/3456324.html>. 2020.
- [17] YIN Xiangchu, SHI Jianping, YIN Zhan. A synonymic catalogue of grasshoppers and their allies of the world; Orthoptera; Caelifera [M]. Beijing: China Forestry Publishing House,

- 1996: 626–631.
- [18] SHOWLER A. Desert locust, *Schistocerca gregaria* Forskål (Orthoptera: Acrididae) plagues [M]. Dordrecht: Springer, 2005: 682–685.
- [19] SIR B U. Grasshopper and locusts—a handbook of general acridology [EB/OL]. Centre for Overseas Pest Research, 1977: 1–28.
- [20] CECCATO P, CRESSMAN K, GIANNINI A, et al. The desert locust upsurge in West Africa (2003–2005): Information on the desert locust early warning system and the prospects for seasonal climate forecasting [J]. International Journal of Pest Management, 2007, 53(1): 7–13.
- [21] WALOF Z. Proceedings of the international study conference on the current and future problems of acridology, London 1970 [M]. Centre for Overseas Pest Research, 1972: 343–349.
- [22] AKWAI L K E. Field study of host plant preference of solitary desert locust *Schistocerca gregaria* (Forskål) (Orthoptera: Acrididae) [D]. Sudan: Faculty of Agriculture University of Khartoum Shambat, 2003.
- [23] PEKEL J F, CECCATO P, VANCUTSEM C, et al. Development and application of multi-temporal colorimetric transformation to monitor vegetation in the desert locust habitat [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2011, 4(2): 318–326.
- [24] TOYE S A. Effects of food on the development of the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forsk.) [J]. Physiological Entomology, 2009, 48(1): 95–102.
- [25] LOUVEAUX A, JAY M, HADI O T M E, et al. Variability in flavonoid compounds of four *Tribulus* species: Does it play a role in their identification by desert locust *Schistocerca gregaria*? [J]. Journal of Chemical Ecology, 1998, 24(9): 1465–1481.
- [26] WILLIAMS L H. The feeding habits and food preferences of Acrididae and the factor that determine them [J]. Ecological Entomology, 2009, 105(18): 423–454.
- [27] STEEDMAN A. Locust handbook [M]. London: Natural Resources Institute Chatham UK, 1990: 204.
- [28] UVAROV B P S. Grasshoppers and locusts. Behavior, ecology, biogeography population dynamics [M]. London: Centre of Overseas Pest Research, 1977: 1–613.
- [29] BENNETT L V. The development and termination of the 1968 plague of the desert locust [J]. Bulletin of Entomological Research, 1976, 66(3): 511–552.
- [30] SKAF R, POPOV G B, ROFFEY J. The desert locust: an international challenge [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences, 1990, 328(1251): 525–538.
- [31] CONTE B, PIEMONTESE L, TAPSOBA A. Ancient plagues in modern times: The impact of desert locust invasions on child health [R/OL]. Toulouse School of Economics, 2020. http://publications.ut-capitole.fr/33912/1/wp_tse_1069.pdf.
- [32] DEVI S. Locust swarms in east Africa could be “a catastrophe” [J]. The Lancet, 2020, 395(10224): 547.
- [33] SIMPSON S J, McCAFFERY A R, HÄGELE B F, et al. A behavioural analysis of phase change in the desert locust [J]. Biological Reviews, 1999, 74(4): 461–480.
- [34] DESPLAND E, SIMPSON S J. Food choices of solitary and gregarious locusts reflect cryptic and aposematic antipredator strategies [J]. Animal Behaviour, 2005, 69(2): 471–479.
- [35] ENSERINK M. Entomology: An insect’s extreme makeover [J]. Science, 2004, 306(5703): 1881.
- [36] NEVO D. Pests and diseases of agricultural crops and their control in Erez Israel during the Biblical and Mishna Periods [D]. Ramat Gan, Israel: Bar-Ilan University, 1992.
- [37] HUSAIN M A, AHMAD T. Studies on *Schistocerca gregaria* Forsk., II: the biology of the desert locust with special reference to temperature [J]. Indian Journal of Pharmacology, 1936, 6: 188–263.
- [38] SCHMIDT G H, ALBUTZ R. Laboratory studies on pheromones and reproduction in the desert locust *Schistocerca gregaria* (Forsk.) [J]. Journal of Applied Entomology, 1994, 118(1–5): 378–391.
- [39] BRADER L, DJIBO H, FAYE F G, et al. Towards a more effective response to desert locusts and their impacts on food security, livelihoods and poverty [R]. Multilateral evaluation of the 2003–05 desert locust campaign. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2006: 1–85.
- [40] HUQUE H, JALEEL M A. Temperature-induced quiescence in the eggs of the desert locust [J]. Journal of Economic Entomology, 1970, 63(5): 1398–1400.
- [41] HEMMING C F. The locust menace [EB/OL]. Centre for Overseas Pest Research, 1974: 348.
- [42] WEIS-FOGH T. Biology and physics of locust flight. II. Flight performance of the desert locust (*Schistocerca gregaria*) [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences, 1956, 239(667): 459–510.
- [43] ROFFEY J. Observations on gliding in the desert locust [J]. Animal Behaviour, 1963, 11: 359–366.
- [44] STOWER W J, POPV G B, GREATHEAD D J. Oviposition behaviour and egg mortality of the desert locust (*Schistocerca gregaria* Forskål) on the coast of Eritrea [J]. Anti-Locust Bulletin, 1958, 30: 1–33.
- [45] ELLIS P E, ASHALL C. Field studies on diurnal behaviour, movement and aggregation in the desert locust (*Schistocerca gregaria* Forskål) [J]. Anti-Locust Bulletin, 1957, 25: 1–94.
- [46] NISHIDE Y, TANAKA S, SEAKIA S. Egg hatching of two locusts, *Schistocerca gregaria* and *Locusta migratoria*, in response to light and temperature cycles [J]. Journal of Insect Physiology, 2015, 76: 24–29.
- [47] BAUER H C. Effects of photoperiod and temperature on the cholinesterase activity in the ganglia of *Schistocerca gregaria* [J]. Journal of Insect Physiology, 1976, 22(5): 683–688.

- [48] MAENO K, TANAKA S. Artificial miniaturization causes eggs laid by crowd-reared (gregarious) desert locusts to produce green (solitary) offspring in the desert locust, *Schistocerca gregaria* [J]. Journal of Insect Physiology, 2009, 55 (9): 849–854.
- [49] TANAKA S, HARANO K, NISHIDE Y. Re-examination of the roles of environmental factors in the control of body color polyphenism in solitary nymphs of the desert locust *Schistocerca gregaria* with special reference to substrate color and humidity [J]. Journal of Insect Physiology, 2012, 58(1): 89–101.
- [50] HUNTRER J P. Coloration of the desert locust (*Schistocerca gregaria* Forskål) reared in isolation [J]. Entomologist's Monthly Magazine, 1962, 98: 89–92.
- [51] CRESSMAN K, HODSON D. Surveillance, information sharing and early warning systems for transboundary plant pests diseases: the FAO experience [J]. Arab Journal of Plant Protection, 2009, 27: 226–232.
- [52] ELLIOTT C C H. FAO's perspective on migratory pests [C]. Workshop on Research Priorities for Migrant Pests of Agriculture in Southern Africa. 2000, 3(37): 17.
- [53] FRANÇOIS W, MOHAMED A B E, KEITH C, et al. Operational monitoring of the desert locust habitat with earth observation: an assessment [J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2015, 4(4): 2379–2400.
- [54] LECOQ M. Recent progress in desert and migratory locust management in Africa: are preventative actions possible? [J]. Journal of Orthoptera Research 2001, 10: 277–291.
- [55] ROBINSON T P, WINT G W, CONCHEDDA G, et al. Mapping the global distribution of livestock [J]. PLoS ONE, 2014, 9(5): e96084.
- [56] GÓMEZ D, SALVADOR P, SANZ J, et al. Desert locust detection using earth observation satellite data in Mauritania [J]. Journal of Arid Environments, 2019, 164: 29–37.
- [57] UVAROV B P. A revision of the genus *Locusta* L. (= *Pachytylus* Fieb.), with a new theory as to the periodicity and migrations of locusts [J]. Bulletin of Entomological Research, 1921, 12: 135–163.
- [58] LECOQ M, DURANTON J F, RACHADI T. Towards an integrated strategy for the control of the desert locust [M]//KRALL S, PEVELING R, DIALLO D B. New strategies in locust control. Birkhäuser Basel, 1997: 467–473.
- [59] VAN HUIS A. Desert locust plagues [J]. Endeavour, 1995, 19(3): 118–124.
- [60] MATTHEWS G A. Pesticide application methods [M]. Harlow, UK: Longmans, 1992: 405.
- [61] SKAF R. A story of a disaster: why locust plagues are still possible [J]. Disasters, 1988, 12(2): 122–127.
- [62] GUNN D L, RAINEY R C. Systems and management: Strategies, systems, value judgements and dieldrin in control of locust hoppers [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences, 1979, 287(1022): 429–445.
- [63] SHARMA A. Locust control management: moving from traditional to new technologies—an empirical analysis [J/OL]. Entomology, Ornithology, and Herpetology: Current Research, 2014, 4:1. DOI:10.4172/2161–0983.1000141.
- [64] Locust Pesticide Referee Group of FAO. Evaluation of field trial data on the efficacy and selectivity of insecticides on locusts and grasshoppers [C]. Referee Group Meeting, 7th, Rome, Food and Agriculture Organization Rome, Italy, 1998: 24.
- [65] Locust Pesticide Referee Group of FAO. Evaluation of field trials data on the efficacy and selectivity of insecticides on locusts and grasshoppers [C]. The pesticide referee group meeting, 8th, Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1999: 11–14.
- [66] DRIVER F, MILNER R J, TRUEMAN W H. A taxonomic revision of *Metarhizium* based on a phylogenetic analysis of ribosomal DNA sequence data [J]. Mycological Research, 2000, 104: 135–151.
- [67] SHAH P A, EVANS H C. Sorosporella: a cryptic pathogen of grasshoppers and locusts in Africa [J]. Mycologist, 1997, 11: 106–110.
- [68] BASHIR E M, ELSHAFIE H A F. Toxicity, antifeedant, and growth regulating potential of three plant extracts against the desert locust, *Schistocerca gregaria* Forskål (Orthoptera: Acrididae) [J]. American Journal of Experimental Agriculture, 2014, 4(8): 959–970.
- [69] JOHNSON D L. Nosematidae and other Protozoa as agents for control of grasshoppers and locusts: current status and prospects [J]. Memoirs of the Entomological Society of Canada, 1997, 129(S171): 375–389.
- [70] SHOWLER A T, POTTER C S. Synopsis of the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forskål), plague 1986–1989 and the concept of strategic control [J]. American Entomologist, 1991, 37: 106–110.
- [71] RITCHIE J M, DOBSON H. Desert locust control operations and their environmental impacts [M]. UK: Hobbs the Printers Ltd, 1995: 1–42.
- [72] BAKER G L, DYSART R J, PIGOTT R G. Parasitism of grasshopper and locust eggs (Orthoptera: Acrididae) by Scelio species (Hymenoptera: Scelionidae) in southern Australia [J]. Australian Journal of Zoology, 1996, 44(4): 427–433.
- [73] 蔡邦华. 昆虫分类学上册 [M]. 北京: 财政经济出版社, 1956: 212.
- [74] 陈永林. 我国西藏初次发现沙漠蝗 [J]. 昆虫学报, 1982, 25 (1): 69.
- [75] 联合国粮食及农业组织. 沙漠蝗 [EB/OL]. (2020–04–14) [2020–04–15]. <http://www.fao.org/ag/locusts>.