

新疆蝗虫及其监控技术研究进展*

于冰洁^{1**} 陈吉军² 季 荣^{1***}

(1. 新疆师范大学生命科学学院, 新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室, 中亚区域跨境有害生物联合控制国际研究中心, 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆维吾尔自治区蝗虫鼠害预测预报防治中心站, 乌鲁木齐 830000)

摘 要 因蝗虫种群种类多、分布范围广, 导致新疆是我国蝗虫灾害发生最突出、最典型的地区, 也是遭受邻国蝗虫跨境危害最严重的地区。本文概述了几十年来新疆蝗虫基础理论研究及监测预警与防控技术进展, 同时总结了中哈边境蝗虫跨境迁飞过程及雷达监测的最新研究结果, 并就中亚迁飞场理论和实证研究、区域迁飞害虫监测网络平台建立和生物防治技术三个方面进行了展望, 以期对监测和治理新疆本地蝗虫及西北边境迁飞害虫提供科学依据和技术支撑。

关键词 蝗虫; 适应机理; 跨境迁飞; 昆虫雷达; 中哈边境

Advances in research on locusts and locust monitoring technology in Xinjiang

YU Bing-Jie^{1**} Chen Ji-Jun² JI Rong^{1***}

(1. College of Life Sciences, Xinjiang Normal University, Key Laboratory of Conservation and Management of Species Diversity in Xinjiang, International Research Center of Cross-border Pest Management in Central Asia, Urumqi 830054, China; 2. Xinjiang Uygur autonomous Region locust Pest Prediction and Control Center, Urumqi 830000, China)

Abstract Because it has both a large number of species and a wide distribution of locusts, and also suffers serious cross-border invasions of locusts from neighboring countries, Xinjiang is the most prominent, and typical, locust plague area in China. This paper summarizes advances in theoretical research on early warning methods for, and integrated management of, locusts in Xinjiang over the past decade, and reviews recent research on cross-border migration and radar monitoring. In addition, theoretical and empirical studies on the insect migration zone in Central Asia, the establishment of regional pest monitoring, construction of a forewarning network platform and biological control technology are discussed in detail. We hope this information provides a scientific basis and technical support for the control of locusts in Xinjiang and for monitoring migratory pests on China's northwestern border.

Key words locust; adaptation mechanism; cross-border migration; insect radar; Sino-Kazakhstan border

新疆是我国蝗虫灾害发生最突出、最典型的地区之一, 也是遭受邻国蝗虫跨境危害最严重的地区之一。新疆草原蝗虫种类多、分布广、数量大、灾害频发, 每年平均发生草原蝗灾约 $2 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 经济损失达 7×10^6 元, 严重影响到新疆畜牧业的可持续健康发展(熊玲, 2002)。据报道, 1986–1991 年新疆蝗虫发生面积 $3.95 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 其中严

重地区面积 $2.71 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 蝗虫发生面积占新疆草原可利用面积的 8.5%(熊玲, 2011)。1992–2001 年期间, 蝗害发生面积为 $7.06 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 严重危害面积为 $4.49 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 其中 1999 年、2000 年新疆蝗虫灾害最为严重, 蝗灾发生面积高达 $2.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 严重发生面积高达 $1.33 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (杨洪升和杨婷, 2006)。

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划资助(2016YFE0203100); 新疆高校科研创新团队项目(XJEDU2017T007)

**第一作者 First author, E-mail: 2417582769@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: jirong@xjnu.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-05-31; 接受日期 Accepted: 2019-06-19

与此同时,邻国哈萨克斯坦境内的蝗虫常跨境迁飞至新疆边境区域危害,突发性的蝗灾给新疆边境区域造成严重的经济、社会和生态损失(黄辉和朱恩林,2001)。1999年由哈萨克斯坦国迁飞入境的亚洲飞蝗 *Locusta migratoria migratoria* 在塔城地区的扩散面积高达 $\times 10^6 \text{ hm}^2$,严重危害面积 $3.56 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中农田 $1.39 \times 10^6 \text{ hm}^2$,草场 $2.17 \times 10^6 \text{ hm}^2$,并导致 $2.01 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 农田绝收,直接经济损失 3.26×10^8 元(范福来,2011;哈玛尔和韩小虎,2014)。鉴于中国与哈萨克斯坦边境(后文简称为“中哈边境”)蝗虫跨境迁飞危害的严重性,2002年两国政府共同签署《中华人民共和国农业部和哈萨克斯坦共和国农业部关于防治蝗虫及其它农作物病虫害合作的协议》。近几十年来,经过几代人的努力,与周边国家加强国际合作,联合攻关,新疆蝗虫基础研究及监控技术取得了长足发展。

1 新疆蝗虫种类多样性

陈永林(1980)和陈永林等(1981)及刘举鹏(1995)对新疆蝗虫的形态特征包括成虫的识别、卵块的识别、蝗蛹的识别作了较全面的描述,记载蝗虫种类有62属157种,新疆蝗虫区系分布与植被类型关系进行研究,而且新疆蝗虫群落具有明显的垂直分布格局(黄人鑫和何斌,1984;乔永民等,2001),这些研究结果对新疆蝗虫开展后续研究具有重要参考价值。随着对新疆蝗虫不断深入研究,截至目前报道新疆蝗虫种类有65属177种(龚建宁,2001)。20世纪70年代前,亚洲飞蝗是新疆最主要的致灾类群,20世纪80年代后,新疆草原优势蝗虫群落组成发生了明显的地域性和生态地理分异变化,意大利蝗 *Calliptamus italicus*、黑腿星翅蝗 *C. barbarus*、西伯利亚蝗 *Gomphocerus sibiricus*、宽须蚁蝗 *Myrmeleotettix palpalis*、黑条小车蝗 *Oedaleus decorus*、红胫戟纹蝗 *Dociostaurus kraussi kraussi* 等10余种蝗虫演变为优势种类(龚建宁,2001),新疆草原蝗虫种群由“单优”向“多优”的演替规律,总体呈现出栖息于荒漠草原和山地草原的旱生、中生的蝗虫类群趋于严重发生。以新疆7

种优势蝗虫为例,研究得出不同蝗虫其口器、消化道结构及其消化道内微生物菌群与其取食不同寄主有密切关系(曾献春等,2007;何雪青等,2008;王晗等,2010a,2010b)。

2 温度对蝗虫发生的影响及其适应机理

自20世纪70年代新疆气候变暖趋势明显,据研究报道新疆蝗虫持续严重发生与同期气候变暖有显著相关性。随温度升高,春季蝗卵孵化时间提前,秋季产卵时间延长,有效积温增加,蝗虫危害期延长(任金龙等,2014,2015a)。温度、降水是影响蝗虫生长发育的关键因子(杨洪升等,2007;李焕等,2011;李新燕等,2011),尤其温度对新疆蝗虫的发生具有明显影响(杨洪升等,2008;齐贵英等,2011;王晗等,2014)。通过对新疆典型代表种类意大利蝗和西伯利亚蝗的研究发现,敏感温度和胁迫温度下,意大利蝗通过大量合成热激蛋白HSP70,以提高卵巢耐热性,保证卵子正常发生进程(向敏等,2017a,2017b)。蝗卵具较强的耐寒能力是保证其安全越冬的重要策略之一。越冬过程中,蝗卵的过冷点(Super-cooling point, SCP)和冰点(Freezing point, FP)呈先下降后上升的趋势,体内含水量逐渐增加,且与抗寒能力呈正相关,脂肪、天冬氨酸Asp、谷氨酸Glu等是蝗卵越冬的主要耐寒物质,其中脂肪含量总体呈下降趋势,总游离氨基酸的含量呈先下降后上升趋势,呼吸代谢变化呈上升趋势(葛婧等,2014;何立志等,2017;闫蒙云等,2018a,2018b)。随温度升高,意大利蝗和西伯利亚蝗的成虫均可以通过调节生理生化物质含量、调整呼吸代谢水平、改变呼吸模式和缩短交配时间等提高虫体的耐高温能力(李娟等,2014;王冬梅等,2014,2016a,2016b;李爽等,2015,2016;任金龙等,2015c;钱雪等,2016,2017)。研究得出以意大利蝗为代表的栖息在荒漠半荒漠草原的蝗虫类群具有更强的高温耐受能力,以西伯利亚蝗为代表的栖息在高山亚高山草原蝗虫类群的高温耐受能力则相对较弱。蝗虫对高温耐受差异是长期适应进化的

结果, 在新疆气候持续变暖条件下, 不同生境的蝗虫类群将在空间分布格局上产生较大变化。栖息于荒漠半荒漠草原、高山亚高山草原的蝗虫类群将随温度升高逐渐向高海拔、高纬度区域迁移, 危害范围将进一步扩大。研究结果为地方制定和调整当前区域蝗虫灾害防控策略提供了科学依据。

3 蝗虫迁飞及新疆蝗虫发生与周边相邻国际区域间的关系

3.1 中哈边境蝗虫遗传多样性及基因流研究

中哈边境区域都处在中亚干旱区, 地理位置相距较近, 海拔高度和小气候相似, 年均气温、降水量无显著差异(刘琼等, 2017), 在区域盛行西北气流的作用下, 中哈边境区域蝗虫常因种群密度、食物或生理因素等发生迁飞扩散。以中哈边境区域不同地理种群意大利蝗、黑腿星翅蝗为研究对象, 利用线粒体 COI 、 $COII$ 、 $Cytb$ 等作为分子标记, 结果表明中哈边境不同地理种群间、种群内的蝗虫遗传分化水平低, 种群间和种群内基因交流频繁(麦季玮等, 2019; 徐叶等, 2019; Xu et al., 2019)。

3.2 蝗虫迁飞生理及蝗虫跨境迁飞轨迹与境外虫源地研究

研究表明, 蝗虫卵巢处于 Ⅲ 级发育程度, 其迁飞能力最强(任金龙等, 2015b), 且雌虫的飞行能力强于雄虫(刘琼, 2017), 蝗虫迁飞时可以通过改变自身的飞行肌结构以适应飞行(窦洁等, 2017)。昆虫迁飞是一个耗能过程, 意大利蝗飞行中同时利用糖类与脂类, 起飞与短距离飞行时, 糖类快速产生能量, 长距离飞行主要依靠消耗甘油酯提供能量。蝗虫迁飞过程中其体内能源物质积累、飞行能力均先上升后下降, 糖原积累量与飞行速度显著相关, 甘油三酯积累量与飞行能力显著相关(窦洁等, 2017)。基于历史数据和资料, 利用 HYSPLIT 和 ArcGIS 分析中哈边境亚洲飞蝗的迁飞轨迹与境外虫源地分布, 得出亚洲飞蝗境外虫源地主要分布在哈萨克斯坦境内的斋桑泊、巴尔喀什湖、阿拉湖、阿亚古兹

河和哈萨克斯坦境内的额尔齐斯河等周围, 并通过不同路径迁飞至中国新疆的塔城、阿勒泰等边境区域(Yu et al., 2019, 已接受), 亚洲飞蝗跨境迁飞时的风向与亚洲飞蝗迁飞方向基本相同, 飞行高度介于 300-500 m(Yu et al., 2019, 已接受)。研究结果为掌握蝗虫迁飞关键过程及迁飞规律奠定了基础, 同时为建立中哈边境害虫迁飞雷达监测技术平台提供决策依据。

4 新疆蝗虫预警研究及中哈边境害虫迁飞雷达监测技术平台建立与应用

新疆蝗虫发生面积与大气环流 74 项特征值的相关性分析, 建立新疆蝗虫发生的长期预测模型, 以提高蝗虫发生预测预报的准确性和时效性(杨洪升等, 2008; 傅玮东等, 2009)。利用多年新疆蝗区遥感 MODIS-NDVI 数据, 建立蝗灾遥感监测模型, 确定了蝗虫发生面积与区域 NDVI 呈显著负相关(杨洪升, 2007; 于非, 2008; 杨洪升等, 2013)。基于历史数据, 利用 GIS 技术结合多准则分析法和马尔可夫链方法, 拟合新疆蝗虫发生情况, 结果表明, 蝗虫危害面积拟合的准确率较高, 但异常年份拟合的效果则欠佳(郑淑丹, 2015)。利用 MaxEm 模型预测西伯利亚蝗虫在新疆的潜在分布区, 预测结果与实际拟合度较好(杨会枫等, 2016)。

鉴于中哈边境害虫跨境迁飞危害的严重性和持续性, 新疆科研工作者与虫源国专家联合攻关, 解决区域间实际生态问题为导向, 加强合作交流, 联防联控, 降低损失, 减少国际争端。2016 年“新疆师范大学中亚区域跨境有害生物联合控制国际研究中心野外监测实验站”(后文简称为“实验站”)建立。该站位于中哈边境新疆塔城境内的库鲁斯台草原南部, 距离中哈边境边界线约 3 km($46^{\circ}38'N$, $82^{\circ}52'E$), 海拔 443 m, 占地面积约 20 000 m^2 。实验站内有昆虫雷达、吸虫塔、高空和地面昆虫诱捕装置及小型气象站等, 试验站完全可以满足野外监测和开展相关实验的研究工作。

借助实验站野外监测及室内研究得出, 中哈边境塔城区域昆虫迁飞时段集中在 22:00-03:00,

迁飞高度介于 200-600 m, 有的迁飞昆虫种类飞行高度达到 1 500 m, 并发现宽胫夜蛾 *Protoschinia scutosa*、甘薯天蛾 *Agrius convolvuli*、旋歧夜蛾 *Anarta trifolii* 和谷婪步甲 *Ophonus calceatus* 数量具有明显的突增突减现象, 诱虫数量与近地面温度密切相关。

5 展望

新疆蝗虫研究和防控取得了突出成绩, 但关于蝗虫发生规律、迁移扩散机制及境外蝗虫迁飞关键过程等领域的研究仍比较薄弱。利用现代昆虫雷达技术及软件开发、中亚区域迁飞害虫监测网建立等与国内外尚有较大差距。新疆蝗虫防治方法主要包括化学防治、生物防治和物理防治等, 其中以化学防治为主, 生物防治为辅。随着对草原生态环境保护的不断加强, 生物防治日趋得到重视, 目前新疆常用的生物制剂包括蝗虫微孢子虫 *Nosema locustae* Canning、茛菪素、绿僵菌等, 另外, 多年来人工招引粉红椋鸟进行草原蝗虫防治在新疆得到推广应用, 因此适应新疆蝗区干旱环境条件的生物制剂选择和推广应用仍需加强。依据昆虫迁飞场的基本条件及中亚区域昆虫迁飞数据和资料, 提出中亚迁飞场 (Insect migration zone in Central Asia), 其理论和实证需进一步研究。因此, 多层次、多角度、跨学科研究解析新疆蝗虫种群消长与灾变规律及其机制, 使新疆蝗虫得到持续有效控制, 以实现新疆畜牧业的可持续健康发展。

参考文献 (References)

- Chen YL, 1981. Locust study autonomous region: locust distribution in Urumqi, Xinjiang. *Acta Entomologica Sinica*, 24(2): 17-27. [陈永林, 1981. 新疆维吾尔自治区的蝗虫研究: 蝗虫的分布. 昆虫学报, 24(2): 17-27.]
- Chen YL, Liu JP, Huang CM, Sun LB, 1980. Control of Grasshoppers in Xinjiang. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House. 23-34. [陈永林, 刘举鹏, 黄春梅, 孙立帮, 1980. 新疆蝗虫及其防治. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社. 23-34.]
- Dou J, Zhang RY, Liu M, Qian X, Xiao HW, Roman J, Ji R, 2017. Comparison of flight muscle and energy consumption of pre- and post-flight in *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). *Pratacultural Science*, 34(8): 1721-1726. [窦洁, 张若燕, 刘敏, 钱雪, 肖宏伟, Roman Jashenko, 季荣, 2017. 飞行前后意大利蝗飞行肌及能源消耗比较. 草业科学, 34(8): 1721-1726.]
- Fan FL, 2011. The Locusts Disaster Management in Xinjiang. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Publishing House. [范福来, 2011. 新疆蝗虫灾害治理. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社. 97-99.]
- Fu WD, Yao YL, Li XJ, Liu J, 2009. Study on the model between the area of grasshopper occurrence and indexes of atmospheric circulation. *Pratacultural Science*, 26(12): 124-130. [傅玮东, 姚艳丽, 李新建, 刘静, 2009. 新疆草原蝗虫发生面积与大气环流特征量指数模型的研究. 草业科学, 26(12): 124-130.]
- Ge J, Ren JL, Zhao L, 2014. Preliminary investigation changes in the free amino acids overwintering egg of *Calliptamus italicus* (L.) (Orthoptera: Catantopidae). *Xinjiang Agricultural Sciences*, 51(10): 1840-1844. [葛婧, 任金龙, 赵莉, 2014. 意大利蝗越冬卵游离氨基酸变化研究. 新疆农业科学, 51(10): 1840-1844.]
- Gong JN, 2001. Grasshoppers and pest rat hazard in grassland of Xinjiang and their controlling strategy. *Journal of Catastrophology*, 16(2): 65-69. [龚建宁, 2001. 新疆草原蝗、鼠灾害与控制策略. 灾害学, 16(2): 65-69.]
- Ha ME, Han XH, 2014. The current situation of the grassland locusts and the strategies for prevention and treatment in the border area of Tacheng region, Xinjiang. *Journal of Agriculture*, 4(3): 7-10. [哈玛尔, 韩小虎, 2014. 新疆塔城地区边境草原蝗虫发生现状及防治对策. 农学学报, 4(3): 7-10.]
- He LZ, Liu YP, Yan MY, Liu Q, Li ZW, Ji R, Ye XF, 2017. The respiratory metabolism of overwintering *Gomphocerus sibiricus* (Orthoptera: Acrididae) eggs. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(1): 92-99. [何立志, 刘余平, 闫蒙云, 刘琼, 李占武, 季荣, 叶小芳, 2017. 西伯利亚蝗越冬卵的呼吸代谢规律研究. 应用昆虫学报, 54(1): 92-99.]
- He XQ, Ji R, Yang ZJ, Li SZ, 2008. A comparative study between intestines structure of *Gomphocerus sibiricus* and *Calliptamus italicus*. *Journal of Xinjiang Normal University*, 27(1): 100-102. [何雪青, 季荣, 杨志江, 李淑珍, 2008. 西伯利亚蝗和意大利蝗肠道结构比较. 新疆师范大学学报, 27(1): 100-102.]
- Huang H, Zhu EL, 2001. Serious occurrence of locust in Kazakhstan. *World Agriculture*, (6): 46-47. [黄辉, 朱恩林, 2001. 哈萨克斯坦蝗灾严重发生. 世界农业, (6): 46-47.]
- Huang RX, He B, 1984. Vertical distribution of locusts in Guozigou mountain area, western Tianshan, Xinjiang. *Chinese Journal of*

- Applied Entomology*, 48(1): 1–6. [黄人鑫, 何斌, 1984. 新疆天山西部果子沟山区蝗虫垂直分布. 应用昆虫学报, 48(1): 1–6.]
- Li H, Zhu HT, Tong Z, Bai SZ, 2011. Analysis of the features on locust outbreak in the west of Aletai in Xinjiang. *Desert and Oasis Meteorology*, 5(4): 58–62. [李焕, 朱海棠, 童忠, 白松竹, 2011. 新疆阿勒泰地区西部蝗虫发生特征分析. 沙漠与绿洲气象, 5(4): 58–62.]
- Li J, Li S, Wang DM, Ji R, 2014. Changes in the contents of stress resistant substances in *Gomphocerus sibiricus* (Orthoptera: Acrididae) under high temperature stress. *Acta Entomologica Sinica*, 57(10): 1155–1161. [李娟, 李爽, 王冬梅, 季荣, 2014. 高温胁迫下西伯利亚蝗体内抗逆物质含量变化. 昆虫学报, 57(10): 1155–1161.]
- Li S, Cai MT, Ma WY, Ji R, 2016. Difference in heat tolerance and enzyme activity between *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae) and *Gomphocerus sibiricus* (Orthoptera: Acrididae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(5): 1077–1083. [李爽, 蔡梦婷, 马婉颖, 季荣, 2016. 意大利蝗和西伯利亚蝗高温耐受能力及酶活性比较研究. 应用昆虫学报, 53(5): 1077–1083.]
- Li S, Wang DM, Li J, Hu HX, Ji R, 2015. Differences in heat tolerance and physio-biochemical mechanisms between adult female and male *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(4): 960–967. [李爽, 王冬梅, 李娟, 扈鸿霞, 季荣, 2015. 雌雄意大利蝗耐高温差异及其生理生化响应对策. 应用昆虫学报, 52(4): 960–967.]
- Li XY, Feng JP, Liu HH, 2011. Analysis on climatic characteristics of grasshopper disaster in Changji prefecture. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, (15): 180–181. [李新燕, 冯俊平, 刘海红, 2011. 昌吉州蝗虫灾害的气候特征分析. 现代农业科技, (15): 180–181.]
- Li JP, 1995. Studies on the fauna of Acridoidea in Xinjiang, China. *Entomotaxonomia*, (S1): 117–127. [刘举鹏, 1995. 新疆蝗总科区系研究. 昆虫分类学报, (S1): 117–127.]
- Liu Q, 2017. Study on the difference of ecological characteristics and the flying ability of *Calliptamus italicus* in China-Kazakhstan. Master thesis. Urumqi: Xinjiang Normal University. [刘琼, 2017. 中哈边境毗邻蝗区生态特征差异及意大利蝗飞行能力研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆师范大学.]
- Liu Q, He LZ, Zhang YJ, Roman J, Ji R, 2017. Ecological characteristics of locust's breeding place and locality in China-Kazakhstan border. *Journal of Environmental Entomology*, 39(2): 365–371. [刘琼, 何立志, 张永军, Roman Jashenko, 季荣, 2017. 中哈边境蝗区蝗虫孳生和发生地的重要生态学特征. 环境昆虫学报, 39(2): 365–371.]
- Mai JW, Xu Y, Shi Y, Wang TX, Roman J, Zhao W, Wang H, 2019. Genetic diversity and genetic differentiation of *Calliptamus barbarus* in Sino-Kazakh border areas. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(2): 263–272. [麦季玮, 徐叶, 施赓, 王添歆, Roman Jashenko, 赵伟, 王晗, 2019. 中哈边境区域黑腿星翅蝗遗传多样性与遗传分化研究. 应用昆虫学报, 56(2): 263–272.]
- Qi GY, Bai SF, Pan XM, 2011. Study on the model between the occurrence area of locust and the characteristic quantity indexes of atmospheric circulation in western Aletai. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 39(6): 3386–3389. [齐贵英, 白松符, 潘雪梅, 2011. 新疆阿勒泰地区西部蝗虫发生面积与大气环流特征量指数模型研究. 安徽农业科学, 39(6): 3386–3389.]
- Qian X, Dou J, Wang DM, Li S, Roman J, Ji R, 2016. Stigma structure and response of respiratory metabolism of *Gomphocerus sibiricus* to high temperature stress. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(4): 837–842. [钱雪, 窦洁, 王冬梅, 李爽, Roman Jashenko, 季荣, 2016. 西伯利亚蝗气门结构及呼吸代谢对高温胁迫的响应. 应用昆虫学报, 53(4): 837–842.]
- Qian X, Wang YY, Xie HH, Dou J, Li ZW, Roman J, Ji R, 2017. Effects of temperature on the activities of key enzymes related to respiratory metabolism in adults of *Gomphocerus sibiricus* (Orthoptera: Acrididae). *Acta Entomologica Sinica*, 60(5): 499–504. [钱雪, 王月莹, 谢欢欢, 窦洁, 李占武, Roman Jashenko, 季荣, 2017. 温度对西伯利亚蝗呼吸代谢关键酶活性的影响. 昆虫学报, 60(5): 499–504.]
- Qiao YM, Lian ZM, Hu YQ, 2001. Vertical distribution of grasshoppers in Balikun of Xinjiang. *Journal of Shanxi Normal University*, 29(1): 71–74. [乔永民, 廉振民, 胡玉琴, 2001. 新疆巴里坤南山蝗虫垂直格局研究. 陕西师范大学学报, 29(1): 71–74.]
- Ren JL, Zhao L, Ge J, 2014. Ovarian development in *Calliptamus italicus* (L.) (Orthoptera: Catantopidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1280–1288. [任金龙, 赵莉, 葛婧, 2014. 意大利蝗 *Calliptamus italicus* (L.) 卵巢发育的研究. 应用昆虫学报, 51(5): 1280–1288.]
- Ren JL, Zhao L, Gong A, 2015a. Effects of the temperature and soil moisture on post diapause development and survival of *Calliptamus italicus* L. eggs. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 38(5): 365–371.

- 398–401. [任金龙, 赵莉, 宫安, 2015a. 温度和土壤含水量对意大利蝗卵滞育后期发育和存活的影响. 新疆农业大学学报, 38(5): 398–401.]
- Ren JL, Zhao L, Zhao XF, Zhao Y, 2015b. Study of the flight ability of *Calliptamus italicus* (L.). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(5): 1272–1276. [任金龙, 赵莉, 赵雄飞, 赵炎, 2015b. 意大利蝗 *Calliptamus italicus* (L.) 飞行能力的研究. 应用昆虫学报, 52(5): 1272–1276.]
- Ren JL, Zhao L, Zhao Y, Ge J, 2015c. A preliminary study on temperature tolerance ability of *Calliptamus italicus*. *Pratacultural Science*, 32(2): 274–280. [任金龙, 赵莉, 赵炎, 葛婧, 2015c. 意大利蝗对温度耐受力的初探. 草业科学, 32(2): 274–280.]
- Wang DM, Li J, Li S, Hu HX, Ji R, 2014. Effects of temperature on the respiratory metabolism of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(3): 373–378. [王冬梅, 李娟, 李爽, 扈鸿霞, 季荣, 2014. 温度对意大利蝗呼吸代谢的影响. 昆虫学报, 57(3): 373–378.]
- Wang DM, Li S, Zhang YJ, Roman J, Ji R, 2016a. Response of the discontinuous gas exchange cycle (DGC) duration in *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae) to high temperature stress. *Acta Entomologica Sinica*, 59(5): 516–522. [王冬梅, 李爽, 张永军, Roman Jashenko, 季荣, 2016a. 意大利蝗不连续气体交换循环 (DGC) 呼吸周期历时对高温胁迫的响应. 昆虫学报, 59(5): 516–522.]
- Wang DM, Yu BJ, Nie F, Xu L, Fan TS, Roman J, Ji R, 2016b. Observation on mating behaviors of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). *Journal of Environmental Entomology*, 38(5): 918–923. [王冬梅, 于冰洁, 聂方, 许雷, 樊泰山, Roman Jashenko, 季荣, 2016b. 意大利蝗交配行为观察. 环境昆虫学报, 38(5): 918–923.]
- Wang H, He XQ, Ji R, 2010a. Selection mechanisms of *Calliptamus italicus* on four different host plants. *Chinese Journal of Ecology*, 29(12): 2401–2407. [王晗, 何雪青, 季荣, 2010a. 意大利蝗对四种寄主植物的选择机制. 生态学杂志, 29(12): 2401–2407.]
- Wang H, Yu F, Chen RH, Wang ZY, Ji R, 2010b. Mandible difference of seven dominant grasshopper species in Xinjiang grasslands. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 47(4): 759–762. [王晗, 于非, 陈荣洪, 王志勇, 季荣, 2010b. 新疆草原七种蝗虫口器结构差异研究. 应用昆虫学报, 47(4): 759–762.]
- Wang H, Yu F, Hu HX, Ji R, 2014. Climatic changes in suitable distribution areas of *Calliptamus italicus* L. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 35(6): 611–621. [王晗, 于非, 扈鸿霞, 季荣, 2014. 新疆意大利蝗适生区的气候变化特征分析. 中国农业气象, 35(6): 611–621.]
- Xiang M, Fan TS, Hu HX, Ji R, Wang H, 2017a. Effects of short-term exposure to high temperature on the survival and fecundity of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(3): 426–433. [向敏, 樊泰山, 扈鸿霞, 季荣, 王晗, 2017a. 短时高温对意大利蝗存活和生殖的影响. 应用昆虫学报, 54(3): 426–433.]
- Xiang M, Hu HX, Yu F, Ji R, Wang H, 2017b. Effects of brief exposure to high temperatures on HSP70 expression in oogenesis of *Calliptamus italicus*. *Pratacultural Science*, 34(6): 1299–1305. [向敏, 扈鸿霞, 于非, 季荣, 王晗, 2017b. 短时高温处理对意大利蝗卵子发生期 HSP70 蛋白表达的影响. 草业科学, 34(6): 1299–1305.]
- Xiong L, 2002. Present situation of locust occurrence and control measures of locust plague in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, (4): 40–44. [熊玲, 2002. 新疆蝗虫发生现状与蝗灾控制对策. 新疆农业科技, (4): 40–44.]
- Xiong L, 2011. Application of integrated locust control technology based on biological control in Xinjiang grassland. *Xinjiang Xumuye*, (3): 59–63. [熊玲, 2011. 新疆草原以生物防治为主的蝗虫综合防治技术应用. 新疆畜牧业, (3): 59–63.]
- Xu Y, Mai JW, Li RX, Xu LF, Yu BJ, Yuan L, Roman J, Ji R, 2019. Analysis of genetic variation among geographic populations of *Calliptamus italicus* in Xinjiang based on mitochondrial *Cytb* gene sequences. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 508–516. [徐叶, 麦季玮, 李瑞雪, 徐礼锋, 于冰洁, 袁亮, Roman Jashenko, 季荣, 2019. 基于线粒体 *Cytb* 基因的意大利蝗遗传多样性分析. 应用昆虫学报, 56(3): 508–516.]
- Xu Y, Mai JW, Yu BJ, Hu HX, Yuan L, Roman J, Ji R, 2019. Study on the genetic differentiation of geographic populations of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae) in Sino-Kazakh border areas based on mitochondrial *COI* and *COII* genes. *Journal of Economic Entomology*, <https://doi.org/10.1093/jee/toz112>.
- Yan MY, He LZ, Wang H, Yu F, He L, Yuan L, Liao CM, Liu YP, Li ZW, Ji R, Ye XF, 2018a. Developmental characteristics of overwintering eggs and embryos of *Gomphoceris sibiricus*. *Pratacultural Science*, 35(8): 1985–1993. [闫蒙云, 何立志, 王晗, 于非, 何岚, 袁亮, 廖成敏, 刘余平, 李占武, 季荣, 叶小芳, 2018a. 西伯利亚蝗越冬卵的发育特征及胚胎发育规律. 草业科学, 35(8): 1985–1993.]
- Yan MY, Xu Y, Wang XX, Wang H, Ji R, Ye XF, 2018b. The response of respiratory metabolism overwintering eggs of Italian locust *Callitamus italicus* (Orthoptera: Acrididae) to seasonal

- changes. *Journal of Plant Protection*, 45(6): 1302–1307. [闫蒙云, 徐叶, 王香香, 王晗, 季荣, 叶小芳, 2018b. 意大利蝗卵越冬期呼吸代谢对季节变化的响应. *植物保护学报*, 45(6): 1302–1307.]
- Yang HF, Zheng JH, Wu XL, Mu C, Lin Y, Xu ZL, 2016. Prediction of potential distribution area of *Gomphocerus sibiric* in Xinjiang based on the MaxEnt model. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 53(1): 43–50. [杨会枫, 郑江华, 吴秀兰, 穆晨, 林俊, 许仲林, 2016. 基于 MaxEnt 模型的西伯利亚蝗虫在新疆潜在分布预测研究. *新疆农业科学*, 53(1): 43–50.]
- Yang HS, 2007. Vegetation dynamics and climatic background of locust occurrence in typical its regions of Xinjiang based on MODIS-NDVI. Master thesis. Urumqi: Xinjiang Normal University. [杨洪升, 2007. 基于 MODIS-NDVI 的新疆典型蝗区植被动态及蝗虫发生的气候背景研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆师范大学.]
- Yang HS, Ji R, Wang T, 2008. Atmospheric circulation background and long-term prediction of grasshopper occurrence in Xinjiang. *Chinese Journal of Ecology*, 27(2): 218–222. [杨洪升, 季荣, 王婷, 2008. 新疆蝗虫发生的大气环流背景及长期预测. *生态学杂志*, 27(2): 218–222.]
- Yang HS, Ji R, Xiong L, Yuan H, 2007. Effect of meteorological factors on locust occurrence in the North of Mt. Tiaushan in Xinjiang. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 44(4): 517–520. [杨洪升, 季荣, 熊玲, 原惠, 2007. 气象因子对北疆地区蝗虫发生的影响. *应用昆虫学报*, 44(4): 517–520.]
- Yang HS, Wang CB, Yu F, Ji R, 2013. Vegetation dynamics of Jiminy locust region based on MODIS-NDVI. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 41(5): 354–356. [杨洪升, 王长宝, 于非, 季荣, 2013. 基于 MODIS-NDVI 的吉木乃蝗区植被动态. *江苏农业科学*, 41(5): 354–356.]
- Yang HS, Wang T, 2007. Grassland grasshopper infestation in Xinjiang and their prevention and cure. *Journal of Xinjiang Normal University*, 25(3): 93–96. [杨洪升, 王婷, 2006. 新疆草原蝗害与治理. *新疆师范大学学报*, 25(3): 93–96.]
- Yu BJ, Mai JW, Chen X, Xu CY, Chen Y, Cao KL, Xu Y, Roman J, Ji R, 2019. Source areas migratory trajectories of *Locusta migratoria migratoria* (Orthoptera: Acrididea) in the region of Tacheng, Xinjiang, China and adjacent regions. *Journal of Entomological Science* (Accepted).
- Yu F, 2008. Vegetation growth and relationship between vegetation and locust in Aletai locusts region based on MODIS data. Master thesis. Urumqi: Xinjiang Normal University. [于非, 2008. 基于 MODIS 数据的阿勒泰蝗区植被长势及植被与蝗虫的关系研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆师范大学.]
- Zeng XC, Ji R, Mou GP, 2007. Screen of high-yield cellulase strain from intestinal of *Gomphocerus sibiricus*. *Food Science*, 28(9): 388–392. [曾献春, 季荣, 牟贵平, 2007. 巴里坤草原西伯利亚蝗虫肠道内高产纤维素酶菌株筛选. *食品科学*, 28(9): 388–392.]
- Zheng SD, 2015. Study on spatial-temporal distribution prediction model of grasshopper disaster in Xinjiang based on MCA and Marko chain. Master thesis. Urumqi: Xinjiang University. [郑淑丹, 2015. 基于 MCA 和马尔可夫链新疆的草地蝗虫灾害时空分布预测模型研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆大学.]