

调控东亚飞蝗体温的主要环境因子分析

刘银民^{1,2} 阳积文³ 范春斌³ 尚素琴^{1*} Bryony Taylor⁴ 李红梅^{2,5*}

(1. 甘肃农业大学植物保护学院, 兰州 730070; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 农业部-CABI生物联合实验室, 北京 100193; 3. 天津市滨海新区大港植保植检站, 天津 300270; 4. CABI 英国萨里埃格姆, TW20 9TY; 5. CABI 东亚中心, 北京 100081)

摘要: 为明确东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 体温在常年发生区与环境因子之间的关系, 于 2015—2016 年采用直接抓取和网捕方法在天津市北大港蝗区捕捉东亚飞蝗的秋蝗和夏蝗, 测量其瞬时体温以及周围 4 类 8 个环境指标, 应用因子分析法评价东亚飞蝗体温与环境因子的关系。结果表明, 东亚飞蝗白天体温比夜间高, 平均体温高于 26.5℃; 且体温在白天出现 2 次高峰, 分别是上午 11 点左右的 49.0℃ 和下午 14 点左右的 47.2℃。无论是夏蝗还是秋蝗, 其体温均随着龄期增加呈现上升趋势, 2~5 龄蝗蛹、成虫的平均体温依次为 36.9、37.0、37.6、37.2、38.0℃。因子分析结果表明, 植被冠层温度是影响飞蝗体温的关键因子, 飞蝗所处地面温度对其体温影响最大; 风速和植株高度是影响飞蝗体温的重要分因子; 植株高度与体温成负相关。表明植被冠层温度与东亚飞蝗的体温变化最为密切。

关键词: 东亚飞蝗; 体温; 因子分析; 地面温度; 监测

Research on environmental factors regulating body temperature of oriental migratory locust *Locusta migratoria manilensis*

Liu Yinmin^{1,2} Yang Jiwen³ Fan Chunbin³ Shang Suqin^{1*} Bryony Taylor⁴ Li Hongmei^{2,5*}

(1. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu Province, China; 2. MoA-CABI Joint Laboratory for Bio-safety/Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Plant Protection and Plant Quarantine Station of Binhai New Area of Tianjin, Tianjin 300270, China; 4. CABI, Surrey Egham, TW20 9TY, UK; 5. CABI East Asia, Beijing 100081, China)

Abstract: To elicit the relationship between the body temperature of oriental migratory locust *Locusta migratoria manilensis* and environmental factors in its natural breeding region, the instantaneous body temperature of *L. m. migratoria* and eight ambient factors were investigated and detected using hand- or sweep-net captured second to fifth instars, and adult *L. m. manilensis*. The results showed that body temperatures of *L. m. manilensis* were higher in the daytime than in the evening at all tested stages. The average body temperature of *L. m. manilensis* was above 26.5℃. The two highest peaks of body temperature occurred in the daytime: 49.0℃ at about 11 am, and 47.2℃ at about 2 pm. The body temperatures of nymphs increased with age. The average temperatures of 2nd–5th instars and adult were 36.9, 37.0, 37.6, 37.2, 38.0℃, respectively. Factor analysis indicated that temperatures of plant canopy exert the principal effect on locust body temperature, especially the ground temperature. Wind speed and plant height were the second-most important factors with plant heights showing an inverse relationship with locust body temperature. This study disclosed the strongly relationship between temperatures

基金项目: 英国牛顿农业技术基金(ST/N006712/1), 国家自然科学基金国际合作项目(61661136004)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: h.li@cabi.org, shangsq@gsau.edu.cn

收稿日期: 2017-02-10

of plant canopy and the locust body temperature.

Key words: *Locusta migratoria manilensis*; body temperature; factor analysis; ground temperature; detection

蝗虫作为一类世界性害虫,其危害面积极广,造成的经济损失巨大,严重影响粮食生产(Brader et al., 2006; 卢芙萍等, 2006; 李钢, 2008)。从2006—2015年,东亚飞蝗在我国天津、山东等中东部省市造成农作物的实际产量损失平均每年达46 610 t(黄冲和刘万才, 2016)。昆虫是一类变温动物,其体温受周围环境因子的影响而发生变化(Roy & Spark, 2000; Allen et al., 2005)。蝗虫的发生与周围环境温度密不可分,其具有一定的自我调节能力。非洲飞蝗 *Locusta migratoria migratorioides* 和东部小翅蝗 *Romalea guttata* 在环境温度高于30℃时,可通过体表蒸发来降低体温而生存(Quinlan & Hadley, 1993);东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 各龄期均具有很强的体温调节能力,在人工气候箱内,当温度为18~30℃时,东亚飞蝗体温随环境温度升高而逐渐升高(涂雄兵等, 2010);当温度为44~50℃时,高龄飞蝗耐高温能力强于低龄飞蝗(岳梅等, 2009)。

外界因素和内在因素均可影响蝗虫的发生。新疆维吾尔自治区察布查尔县农区以意大利星翅蝗 *Calliptamus italicus* 和黑条小车蝗 *Oedaleus decorus* 等为优势种,通过对该农区历年蝗灾数据分析表明,冬季降雪量偏大,土壤湿度适宜,春季4月中下旬至5月初气温较高,有利于蝗卵孵化,这是蝗虫成灾的重要因素(关丽菊和佟淑红, 2016)。内蒙古草原蝗虫2004年暴发成灾的主要原因是冬春高温和夏初干旱少雨,4月份气温较往年同期高出6~8℃,部分地区1—8月份总降雨量减少(刘玲和郭安红, 2004)。在干旱季节容易发生蝗灾,主要是通过影响蝗虫体温而加速其生长发育。此外,太阳辐射是提高狭翅雏蝗 *Chorthippus dubius* 体温最有效的方法,王智翔和陈永林(1989)发现当辐射强度高于90 000 lx时,可以提高狭翅雏蝗体温,且辐射强度越强,体温提高越快;彩万志等(2001)认为蝗虫在代谢过程中所产生的热和吸收的辐射热也能够提高蝗虫自身体温。

温度是影响飞蝗生长发育的关键因子,而绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 等虫生真菌通过在寄主体内生长而产生致病力,寄主温度过高或过低都不利于其发挥作用(Thomas & Blanford, 2003)。因此,

掌握东亚飞蝗体温变化对于绿僵菌的防治效果至关重要。飞蝗体温与环境因子之间的关系一直是国内外学者的热点研究内容,但这些研究大多是在人工气候箱内完成。在自然环境中,调控东亚飞蝗体温的环境因子以及夏秋蝗体温差异等尚未见报道。天津市北大港蝗区是我国历史上的沿海老蝗区,1年发生2代,即夏蝗和秋蝗,也是全国防治蝗虫的重点区域,宜蝗面积4.53万hm²,常年飞蝗发生面积为3.33万hm²次(范春斌等, 2010)。本试验以天津市北大港蝗区自然状态下的东亚飞蝗为试虫,测量飞蝗自身以及其所处环境中的温度、湿度、植被、风速4类共8个环境因子指标,明确在自然生境下环境因子与东亚飞蝗体温的关系,以期揭示在东亚飞蝗周年发生区内,周围环境因子和东亚飞蝗体温之间的关系,为东亚飞蝗的生长发育进度和监测方法提供基础数据,为合理使用生物农药及提高生物农药防治效果提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫:采用直接徒手抓取和网捕2种方法捕捉东亚飞蝗的蝗蝻和成虫作为试虫,其中2015年为秋蝗,2016年为夏蝗。夜间东亚飞蝗体温在天津北大港防蝗站站内地测试。

仪器:HHF81手持式多功能温度仪、Omega热电偶,美国欧米茄仪器仪表有限公司;EL-USB-2-LCD温湿度记录仪,英国莱斯卡尔电子有限公司。

1.2 方法

本试验分别于2015年8月6日到9月9日和2016年6月14日到7月9日在天津北大港蝗区进行自然生境试验,首先选择芦苇长势基本一致的试验小区,面积30 m×30 m,飞蝗密度2头/m²。2015年设置4个小区分别是马圈王1(38.48 N, 117.71 E),测定18~49头/次;马圈王2(38.63 N, 117.50 E),测定16~46头/次;曾福台以东(38.89 N, 117.50 E),测定59~83头/次;小徐家泊(38.86 N, 117.41 E),测定47~114头/次。2016年4个试验小区分别是大湾廉(38.76 N, 117.33 E),测定16~39头/次;大徐家泊(38.75 N, 117.31 E),测定16~63头/次;徐家泊以东(38.76 N, 117.32 E),测定11~83头/次;一道口

(38.77 N, 117.35 E), 测定 14~76 头/次。本次试验共测试东亚飞蝗 1 891 头, 秋季测试了试虫 1 176 头, 夏季测试了 715 头; 其中 1 132 头蝗蛹, 759 头成虫。

将捕捉的东亚飞蝗蝗蛹与成虫立即用多功能温度计测量体温, 并且测定每个小区的东亚飞蝗自身和周围环境因子。测量时, 先用直径 0.25 mm 注射器针头在试虫中胸腹板部右上方扎 1 个小孔, 随后用热电偶插入, 待读数稳定后记录体温数据, 并将飞蝗释放。在捕捉的位置测量周围环境因子, 包括空气温度(高出植株 1 m 左右)、植株冠层顶部温度、植株冠层中部温度、地面温度、空气湿度(高出植株 1 m 左右)、地面湿度、风速、植株高度共 4 类 8 个因子。试验周期是每个小区每周进行 1 次东亚飞蝗的体温测试, 如因天气原因, 就顺延 1 d 开展试验, 或者中途结束。

对东亚飞蝗全天体温进行测定, 白天体温测定时间为当日早上 8 点至下午 18 点, 夜间为当日下午 6 点至次日早上 8 点, 东亚飞蝗全天体温为 2 年试验的平均值。同时, 分别对 2015 年秋蝗和 2016 年夏蝗在整个生长发育阶段的体温进行测定, 包括 2~5 龄蝗蛹与成虫, 测定时间为当日早上 8 点到下午 18 点, 分析东亚飞蝗在不同世代间的体温变化特性。

先用 KMO 和 Bartlett 巴特利球形检验确定是否能用因子分析(王雄军等, 2008; Costa et al., 2013; 黄学平等, 2015), 若可以作因子分析, 首先根据贡献率来确定主成分, 当前 k 个主成分的累积贡献率达到一定值时, 一般在 70% 以上, 则保留前 k 个主成分。首先将原有的因子标准化, 然后计算各因子之间的相关矩阵及该矩阵的特征根和特征向量, 最后将特

征根由大到小排列, 分别计算出其对应的主成分。并依据因子分析结果, 对东亚飞蝗体温与天津市北大港常年发生区域环境因子的关系进行综合评价。

1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析, 同一季节不同龄期间东亚飞蝗平均体温采用单因素方差分析法(Bonferroni 法)进行比较, 不同季节同一龄期间东亚飞蝗平均体温采用成组 t 测验法进行比较。

2 结果与分析

2.1 东亚飞蝗全天的体温情况

分析结果表明, 东亚飞蝗的体温在白天比晚间高, 体温在 1 d 中呈正态分布, 平均体温在 26.5℃ 以上(图 1)。试验中东亚飞蝗的平均最高体温和平均最低体温分别出现在中午 12—13 点和凌晨 3—4 点之间, 体温分别为 39.1℃ 和 26.6℃。该虫体温在白天出现 2 次高峰, 分别是上午 11 点左右的 49.0℃ 和下午 14 点左右的 47.2℃; 此时平均地面温度为 54.0℃ 和 50.0℃, 芦苇冠层顶部温度监测结果为 43.5℃ 和 36.2℃, 地面湿度分别为 17.0% 和 29.2%, 高温干燥。东亚飞蝗个体的最低体温是上午 7—8 点, 为 23.7℃; 此时地面温度在 23.5℃ 左右, 芦苇顶部温度为 24.0℃, 而地面湿度为 84.5%, 芦苇上的露水很多(图 1)。在自然生境中, 东亚飞蝗的体温与地面温度、空气温度的变化趋势基本一致, 随外界植被冠层温度变化而发生变化, 呈现正相关性; 其体温与地面温度更为接近(图 1)。

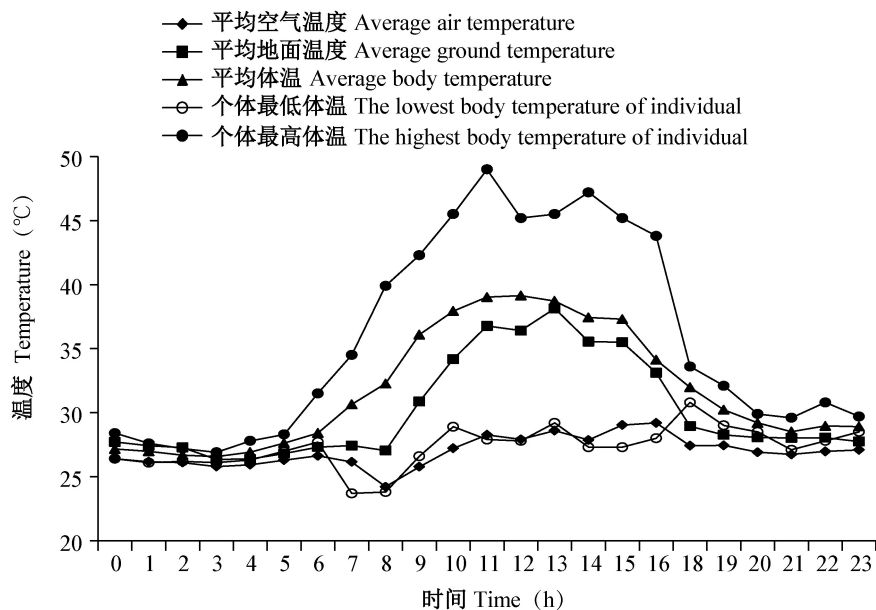


图 1 东亚飞蝗在自然环境中的体温和周围环境温度

Fig. 1 The body temperature of *Locusta migratoria manilensis* and ambient temperatures in breeding region

2.2 东亚飞蝗在不同世代间的体温变化特性

无论是夏蝗(2016年)还是秋蝗(2015年),其体温均随着龄期增加呈现上升趋势;2、3龄蝗蛹体温较低,而成虫的体温较高(图2),在东亚飞蝗的整个生长发育阶段,2~5龄蝗蛹、成虫的平均体温依次为36.9、37.0、37.6、37.2、38.0℃。夏蝗成虫体温显著高于各龄期蝗蛹的体温;但各龄蝗蛹的体温间未发现显著差异。对于秋蝗,4龄蝗蛹体温最高,且显著高于成虫的体温,但与其它龄期蝗蛹体温相比无显著差异;除4龄蝗蛹外,成虫体温与其它龄期蝗蛹体温无显著差异。

统计分析表明,在整个蝗蛹发育过程中,2、4、5龄秋蝗体温与同期夏蝗无显著差异,而3龄秋蝗体温显著高于同期夏蝗;秋蝗成虫体温显著低于夏蝗成虫体温(图2)。

2.3 环境因子对飞蝗体温影响的评价

KMO 检验结果表明:本试验结果 KMO 值为 0.825,高于 0.6 的标准,适合进行因子分析。Bartlett 球形度检验值为 8 631.062,相应的概率 $P<0.001$,各变量间有一定的相关性,可以进行因子分析。

分析结果表明,植株冠层顶部温度、植株冠层中部温度以及地面温度作为第1类主要因子与东亚飞蝗体温密切相关,且植株冠层温度对飞蝗体温的方

差贡献率为 48.19%。第2类因子包括风速、植株高度,它们对飞蝗体温的差贡献率为 14.47%。第3类因子包括测定时间,对飞蝗体温的方差贡献率为 11.67%(表1)。

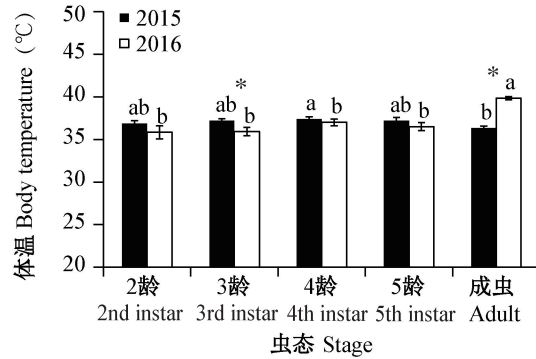


图2 不同世代间东亚飞蝗各虫态体温的比较
Fig. 2 Comparison the body temperature of *Locusta migratoria manilensis* between summer and autumn generations

图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示同年份不同虫态间经 Bonferroni 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著,*表示不同年份同龄期间经 t 测验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the figure are mean±SE. Different letters indicate significant difference among different instars in the same year by Bonferroni test. Asterisk indicate significant difference in different years at $P<0.05$ level by t test.

表1 东亚飞蝗体温与环境因子的旋转成分矩阵

Table 1 Component matrix about the *Locusta migratoria manilensis* body tempertaure with environment factors

因子 Factor	主成分 Principal component		
	1	2	3
空气温度 Air temperature	0.689	0.158	0.235
植株冠层顶部温度 Temperature of the top of plant canopy	0.906	-0.130	-0.167
植株冠层中部温度 Temperature of the middle of plant canopy	0.920	-0.055	-0.041
地面温度 Ground temperature	0.927	-0.012	-0.052
空气湿度 Air RH	-0.748	0.461	-0.028
地面湿度 Ground RH	-0.792	0.099	-0.021
风速 Wind speed	0.289	0.638	0.393
植株高度 Plant height	-0.320	-0.729	0.295
东亚飞蝗体温 Body temperature of locust	0.833	0.107	-0.160
测定时间 Time	0.175	-0.075	0.869

提取方法: 主成分, 提取了3个因子。Extraction method: principal component analysis, three components extracted.

3 讨论

本试验对自然生境中的东亚飞蝗体温进行了测试,分析东亚飞蝗在自然生境中全天内体温变化趋势、不同世代和不同龄期飞蝗体温的变化,并分析了

周围8个环境因子对飞蝗体温的影响。东亚飞蝗体温随全天时间的变化结果显示,东亚飞蝗在白天的体温比晚间高,体温在1 d中呈正态分布,且平均体温在 26.5℃以上;东亚飞蝗的体温与地面温度更接近,因此,地面温度对飞蝗体温影响最大,地面温度

与太阳辐射密切相关,这与Lactin & Johnson(1997)研究太阳辐射对迁飞黑蝗 *Melanoplus sanguinipes* 体温影响的结论类似。在凌晨0—3点之间,地面温度略高于飞蝗的平均体温;而其它时间飞蝗的体温均高于地面的平均温度。这可能与东亚飞蝗的夜间行为活动有关,飞蝗多数聚集在一起而非零散分布在芦苇地。

本研究测定的东亚飞蝗在不同世代间的体温变化表明,飞蝗体温基本随着龄期增加呈上升趋势;2、3龄的夏蝗和秋蝗体温最低。这与Woods(2013)研究蛾类随着其身体尺寸的增大使其体温升高的结论类似。不同世代间3龄蝗蛹和成虫体温存在显著差异,这可能与6—9月的天气有直接关系。3龄夏蝗发生在6月上中旬,3龄秋蝗发生在8月中旬,对比这2个时期的环境温度发现8月中旬的较6月上中旬高;同样,夏蝗成虫在7月发生,而秋蝗成虫发生在8月底9月初,对比成虫2个发生期的环境温度发现8月底9月初温度较7月份温度低。这与姚君明(2007)和岳梅等(2009)室内测定的东亚飞蝗体温随着环境温度的变化而发生变化的结论一致。

因子分析结果显示自然环境中温度与田间飞蝗体温正相关程度高,这与室内研究环境温度显著影响飞蝗体温的结论基本一致(涂雄兵等,2010;任金龙等,2015)。岳梅等(2009)室内试验发现,飞蝗体温在高辐射热条件下,大部分试虫选择较高温度的笼底和笼顶,这与本研究结果一致,说明在一定温度范围内,飞蝗更趋向于温度较高的环境温度。本试验还发现风速也是影响东亚飞蝗体温的一个重要环境因子,岳梅等(2009)在室内研究东亚飞蝗的耐高温能力和体温调节行为试验中也发现风速对东亚飞蝗体温有一定影响。这与Lactin & Johnson(1998)报道的田间蝗虫可以通过利用风速降低蝗虫体温的结果一致。本研究发现植株高度与飞蝗体温呈明显负相关。可能植株高度遮住了一部分光照对飞蝗体温的作用,使太阳光的辐射热不能完全被飞蝗吸收,至于植株的高度是如何影响飞蝗体温,可能是通过其它环境因子间接来影响蝗虫体温,如食物、温度、湿度等,这有待于进一步研究。此次试验中湿度与飞蝗体温关系并不密切,但湿度对蝗虫早期发生有明显影响,如蝗卵的孵化期(Liu et al., 2008;李振国和田方文,2010),仍有待进一步深入研究。

参 考 文 献 (References)

- Allen AP, Gillooly JF, Brown JH. 2005. Linking the global carbon cycle to individual metabolism. *Functional Ecology*, 19: 202–213
- Brader L, Djibo H, Faye FG, Ghaout S, Lazar M, Luzietoso PN, Ould Babah MN. 2006. Towards a more effective response to desert locusts and their impacts on food insecurity, livelihoods and poverty: multilateral evaluation of the 2003–2005 desert locust campaign. Rome: FAO
- Cai WZ, Pang XF, Hua BZ, Liang GW, Song DL. 2001. General entomology. Beijing: China Agricultural University Publishing House, pp. 391–400 (in Chinese) [彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 梁广文, 宋敦伦. 2001. 普通昆虫学. 北京: 中国农业大学出版社, pp. 391–400]
- Costa H, Medeiros V, Azevedo EB, Silva L. 2013. Evaluating ecological-niche factor analysis as a modelling tool for environmental weed management in island systems. *Weed Research*, 53(3): 221–230
- Fan CB, Dou CC, Tian CJ, Zheng YQ, Wu HL, Gao XY, Dou Y, Liu SF, Yao QF, Wu FH. 2010. Control of biological pesticide technology research and application of the *Locusta migratoria manilensis* on Dagang district. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 16(4): 97 (in Chinese) [范春斌, 窦崇财, 田翠杰, 郑艳芹, 吴华丽, 高相艳, 窦艳, 刘树发, 姚庆峰, 吴福海. 2010. 大港区东亚飞蝗生物农药防治技术研究及示范应用. 安徽农学通报, 16(4): 97]
- Guan LJ, Tong SH. 2016. The occurrence and integrated control of locusts in the Qapqal County. *China Agricultural Information*, (3): 156 (in Chinese) [关丽菊, 涂淑红. 2016. 察布查尔县蝗虫的发生与综合防治. 中国农业信息, (3): 156]
- Huang C, Liu WC. 2016. Locusts occurrence characteristics analysis and monitoring for nearly 10 years in China. *China Plant Protection*, 36(12): 49–54 (in Chinese) [黄冲, 刘万才. 2016. 近10年我国飞蝗发生特点分析与监控建议. 中国植保导刊, 36(12): 49–54]
- Huang XP, Li W, Wan JB, Ke Y, Hong T, Xie YL, Chen XT. 2015. The comprehensive evaluation about algal growth adaptability in swine wastewater based on factor analysis of SPSS software. *Journal of Jiangxi Normal University (Natural Science)*, 39(1): 94–100 (in Chinese) [黄学平, 李薇, 万金保, 柯颖, 洪涛, 谢友林, 陈孝挺. 2015. 基于SPSS因子分析的养猪废水中藻类生长适应性综合评价. 江西师范大学学报(自然版), 39(1): 94–100]
- Lactin DJ, Johnson DL. 1997. Response of body temperature to solar radiation in restrained nymphal migratory grasshoppers (Orthoptera: Acrididae): influences of orientation and body size. *Physiological Entomology*, 22(2): 131–139
- Lactin DJ, Johnson DL. 1998. Convective heat loss and change in body temperature of grasshopper and locust nymphs: relative importance of wind speed, insect size and insect orientation. *Journal of Thermal Biology*, 23(1): 5–13
- Li G. 2008. An integrated study on record characteristics and environmental significance of locust plagues in China during the historical period. Ph. D Thesis. Lanzhou: Lanzhou University. (in Chinese) [李钢. 2008. 历史时期中国蝗灾记录特征及其环境意义集成研究. 博士学位论文. 兰州: 兰州大学]
- Li ZG, Tian FW. 2010. Analysis the influence of rainfall on *Locust mi-*

- gratoria manilensis* plague. Agricultural Technical Services, 27(3): 379–380 (in Chinese) [李振国, 田方文. 2010. 降雨对东亚飞蝗发生的影响探析. 农技服务, 27(3): 379–380]
- Liu L, Guo AH. 2004. Analysis of meteorological and ecological conditions of grasshopper infestation in Inner Mongolia in 2004. Acta Meteorologica Sinica, 30(11): 55–57 (in Chinese) [刘玲, 郭安红. 2004. 2004年内蒙古草原蝗虫大发生的气象生态条件分析. 气象学报, 30(11): 55–57]
- Liu ZB, Shi XZ, Warner E, Ge YJ, Yu DS, Ni SX, Wang HJ. 2008. Relationship between oriental migratory locust plague and soil moisture extracted from MODIS data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10(1): 84–91
- Lu FP, Zhao DX, Ma EB. 2006. Grasshopper research in Hainan Island: status and perspectives. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 26(1): 53–59 (in Chinese) [卢芙蓉, 赵冬香, 马恩波. 2006. 海南岛蝗虫研究现状与展望. 热带农业科学, 26(1): 53–59]
- Quinlan MC, Hadley NF. 1993. Gas exchange, ventilatory patterns and water loss in two lubber grasshoppers: quantifying cuticular and respiratory transpiration. Physiological Zoology, 66: 628–642
- Ren JL, Zhao L, Zhao Y, Ge J. 2015. A preliminary study on temperature tolerance ability of *Calliptamus italicus*. Pratacultural Science, 32(2): 274–280 (in Chinese) [任金龙, 赵莉, 赵炎, 葛婧. 2015. 意大利蝗对温度耐受力的初探. 草业科学, 32(2): 274–280]
- Roy DB, Sparks TH. 2000. Phenology of British butterflies and climate change. Global Change Biology, 6: 407–416
- Thomas MB, Blanford S. 2003 Thermal biology in insect-parasite interactions [Review]. Trends in Ecology & Evolution, 18(7): 344–350
- Tu XB, Gao S, Yasen · Shali, Nong XQ, Wang GJ, Zhang ZH. 2010. Effects on eating and food utilization efficiency of *Locusta migratoria manilensis* at different temperatures. Chinese Bulletin of Entomology, 47(4): 690–693 (in Chinese) [涂雄兵, 高松, 牙森·沙力, 农向群, 王广君, 张泽华. 2010. 温度对东亚飞蝗取食影响及其食物利用效率研究. 昆虫知识, 47(4): 690–693]
- Wang XJ, Lai JQ, Lu YH, Li DS, Zhou JH, Wang JW. 2008. Main source of soil heavy metal pollution based on factor analysis in Taiyuan. Ecology and Environment, 17(2): 671–676 (in Chinese) [王雄军, 赖健清, 鲁艳红, 李德胜, 周继华, 王建武. 2008. 基于因子分析法研究太原市土壤重金属污染的主要来源. 生态环境, 17(2): 671–676]
- Wang ZX, Chen YL. 1989. The influence of environmental temperature and humidity on the body temperature and water content of *Chorthippus dubius* (ZUB). Acta Ecologica Sinica, 32(3): 278–285 (in Chinese) [王智翔, 陈永林. 1989. 环境温湿度对狭翅雏蝗体温与含水量的影响. 昆虫学报, 32(3): 278–285]
- Woods HA. 2013. Ontogenetic changes in the body temperature of an insect herbivore. Functional Ecology, 27(6): 1322–1331
- Yao JM. 2007. Thermoregulation ability of *Locusta migratoria manilensis* and its effect on pathogenesis of *M. anisopliae*. Master Thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forest University (in Chinese) [姚君明. 2007. 东亚飞蝗体温调节特性及其对绿僵菌致病性影响的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学]
- Yue M, Lei ZR, Zhu BZ, Yao JM. 2009. High temperature tolerance and thermoregulation behavior of the oriental migratory locust, *Locust migratoria manilensis* (Orthoptera: Acrididae). Acta Entomologica Sinica, 52(10): 1103–1109 (in Chinese) [岳梅, 雷仲仁, 朱彬洲, 姚君明. 2009. 东亚飞蝗耐高温能力及其体温调节行为. 昆虫学报, 52(10): 1103–1109]

(责任编辑: 王 璇)