



程雨蒙, 李红梅, 任彬元, 谢秀华, 张西建, 刘银民, 张爱环. 东亚飞蝗选择栖息高度影响因素的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (3): 545–552.

东亚飞蝗选择栖息高度影响因素的研究

程雨蒙¹, 李红梅^{1,2*}, 任彬元³, 谢秀华⁴, 张西建⁴, 刘银民¹, 张爱环⁵

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 农业农村部-CABI生物联合实验室, 北京 100193; 2. CABI东亚中心, 北京 100081;
3. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 4. 山东省东营市植物保护站, 山东东营 257091;
5. 北京农学院生物与资源环境学院, 北京 102206)

摘要: 为明确东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 对植物群落的利用特征, 采用自然生境中罩笼的方法, 观察东亚飞蝗对栖息高度的选择行为, 分析发生代数、种群密度、调查时间以及环境温湿度对东亚飞蝗栖息高度选择的影响。结果表明: 东亚飞蝗夏蝗偏好栖息在 0~20 cm, 秋蝗偏好栖息在 >80 cm。在食物充足的条件下, 当蝗蝻密度 $d \leq 20$ 头/ m^2 时, 东亚飞蝗偏好栖息在植株中上部, 以 >80 cm 的蝗虫数量比最大; 种群密度 $d = 100$ 头/ m^2 , 飞蝗偏好栖息在植株较低位置, 以 0~20 cm 的蝗虫数量比最大。东亚飞蝗在日出之前和日落之后偏好栖息在植株中上部; 在 12:00 和 16:00 这两个时间段偏好选择栖息在植株中下部。选择栖息在 0~20、40~60 和 >80 cm 这 3 个高度的东亚飞蝗数量百分比与环境温度呈负相关, 但是与环境湿度呈显著的正相关 ($P < 0.05$)。这说明随着温度的降低或湿度的增加, 飞蝗偏好栖息在这 3 个位置。

关键词: 东亚飞蝗; 种群密度; 植株高度; 数量百分比; 环境因子

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 03-0545-08

Study on factors influencing the selection of the height of plant inhabited by *Locusta migratoria manilensis*

CHENG Yu-Meng¹, LI Hong-Mei^{1,2*}, REN Bin-Yuan³, XIE Xiu-Hua⁴, ZHANG Xi-Jian⁴, LIU Yin-Min¹, ZHANG Ai-Huan⁵ (1. MARA-CABI Joint Laboratory for Bio-safety, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China; 2. CABI East Asia, Beijing 100081, China; 3. National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 4. Dongying Plant Protection Station of Shandong Province, Dongying 257091, Shandong Province, China; 5. College of Bioscience and Resource Environment, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract: To clarify the space utilization characteristics of *Locusta migratoria manilensis* to plant communities, the plant height selection behavior was observed in natural habitats through cage tests at Kenli District, Dongying City. The differences of plant height selection of *L. m. manilensis* with different generation, population density, survey time, and the relationships between plant height selection of locusts and temperature and humidity factors were determined. The results showed that the preference of the *L. m. manilensis* was 0~20 cm in summer generation and above 80 cm in autumn generation. When population density was not higher than $d = 20$ head/ m^2 with sufficient food sources, the nymphs preferred

基金项目: 英国牛顿农业技术基金 (ST/N006712/1, ST/N006836/1, ST/N006852/1); 国家重点研发计划 (2017YFD0200402)

作者简介: 程雨蒙, 硕士, 主要研究方向为生态遗传, E-mail: chengymcn@foxmail.com

* 通信作者 Author for correspondence: 李红梅, 博士, 研究员, 主要研究方向为有害生物综合治理与昆虫生态, E-mail: h.li@cabi.org

收稿日期 Received: 2019-08-08; 接受日期 Accepted: 2019-09-30

to select the middle to upper part of the plant, and the select proportion of nymphs was the largest at above 80 cm generally. When population density was $d = 100 \text{ head/m}^2$ with sufficient food sources, the nymphs preferred to select the lower part of the plant, and the select proportion of nymphs was the largest at 0 ~ 20 cm generally. The nymphs preferred to select the lower part of the plant before sunrise and after sunset. At 12:00 and 16:00 investigation period, the nymphs tended to the middle to the lower part of the plant. The nymphs at 0 ~ 20, 40 ~ 60 and above 80 cm was negatively correlated with environmental temperature, but significantly positively correlated with environmental humidity ($P < 0.05$). This indicates that locusts prefer to select these three locations with the decrease of temperature or the increase of humidity.

Key words: *Locusta migratoria manilensis*; population density; plant height; quantity percent; environment factors

我国蝗虫种类繁多, 飞蝗属的东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 和亚洲飞蝗 *L. m. migratoria* 等给农牧业生产造成的威胁最大。其中东亚飞蝗在我国的分布最为广泛, 多达 28 个省市, 北自河北, 南到海南, 西起陕西, 东到渤海湾和辽宁等地 (朱恩林, 1999; 王宏等, 2006; 张龙, 2011)。据统计, 东亚飞蝗每年的危害面积约有 150 万至 300 万 ha (Zhang, 2017)。2018 年东亚飞蝗夏残蝗面积为 625.1 万亩, 其中, 陕西、天津分别比上年增加 4.8 万亩和 4 万亩 (<http://www.haonongzi.com/news/20180716/103759.html>, 2018)。虽然飞蝗近年来未在全国大范围内造成暴发危害, 但局部出现高密度点片的现象时有发生。2017 年 8 月, 陕西韩城东亚飞蝗高密度区虫口达 17 ~ 18 头/ m^2 , 并转移至农田为害玉米; 9 月, 山东潍坊局部出现东亚飞蝗最高密度达 100 头/ m^2 , 均给当地玉米生产带来严重损失 (杨清波等, 2018)。因此, 对于东亚飞蝗的监测和防控是一项长期而艰巨的任务, 掌握蝗虫的活动行为是有效防控的重要手段。

蝗虫与周围环境中的植被存在着密切关系, 植被为蝗虫提供了必要的活动场所和食物来源, 诸多的学者开展了相关研究 (颜忠诚 & 陈永林, 1997; 李鸿昌等, 1983; Jonas & Joern, 2007)。草原蝗虫因种类和性别的不同会选择栖息在植物的不同位置。亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus* 和短星翅蝗 *Calliptamus abbreviatus* 雌成虫选择植物中下部的比例高于雄成虫, 选择植物上部和顶部的比例低于雄成虫; 素色异爪蝗 *Euchorthippus unicolor* 雌成虫选择植物中上部和顶部的比例高于雄成虫, 选择植物下部的比例低于雄成虫 (白鸿

岩等, 2014)。此外, 已经有许多关于昆虫在数量、空间上扩散数量动态的研究报道, 刘丽红等 (2005) 研究南亚实蝇 *Bactrocera tau* 在诱集器离地面 80 cm 的高度, 诱集到的虫口数量较多, 在 150 cm 的高度诱集到的数量明显减少。郑许松等 (2001) 发现距离地面 70 cm 和 100 cm 诱捕到的缨小蜂 *Anagrus* spp. 是 40 cm、130 cm 和 160 cm 的 3 倍。环境温度和湿度对蝗虫选择栖息位置也有重要影响, 沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* 在中午和傍晚选择栖息在植物上, 其他时间在地面上取食或活动 (Ellis & Ashall, 1957; Ellis, 1963; Alcock, 1972)。毛足棒角蝗 *Dasyhippus barbipes* 和宽翅曲背蝗 *Pararecyptera microptera meridionalis* 随着湿度的升高, 倾向于选择在植物上栖息 (颜忠诚 & 陈永林, 1997)。王静婷 (2011) 发现降雨量的减少会极显著的增加素色异爪蝗栖息在植株中上部及顶部的时间。

蝗虫在植物上栖息是为了休息或取食, 研究蝗虫选择植物的栖息高度能够明确蝗虫对植物群落层次的利用特征, 从而更好地了解蝗虫对芦苇和莎草等禾本科植物的危害程度。这也是高效防治蝗虫的重要途径, 对施药方法的确定尤为重要。截止目前, 尚未见到关于东亚飞蝗在自然生境中对植被高度选择的报道。本研究以东亚飞蝗为对象, 采用自然生境中罩笼的方法, 观察不同种群密度东亚飞蝗对栖息高度的选择行为, 比较不同发生代数、不同种群密度和不同调查时间东亚飞蝗对栖息高度选择的影响, 明确东亚飞蝗对栖息高度的选择与环境温湿度的关系, 旨在为东亚飞蝗的监测和绿色防控提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验区域和研究对象

试验区位于山东省东营市垦利区黄河口镇 (37°43'N ~ 37°46'N, 118°57'E ~ 118°59'E), 海拔 -4 ~ 10 m, 气候属于温带季风气候, 年平均温度为 12.8℃, 降水时空分布不均, 年平均降水量约 555.9 mm, 且多集中在夏季, 占全年降水量的 65%。该区域的优势植物为芦苇 *Phragmites australis*, 还有碱蓬 *Suaeda glauca*、莲子草 *Alternanthera sessilis*、狗牙根 *Cynodon dactylon*、钻叶紫菀 *Aster subulatus* 等植物。

试验所用东亚飞蝗购买自山东省潍坊市彭家道口二村 (37°2'N, 118°34'E), 采用大棚饲养, 在试验开始前 2 d 选购 3 龄健康蝗蛹备用。

1.2 调查方法

选择地势平坦且无遮挡, 芦苇数量较多且杂草较少, 芦苇密度及高度基本一致的区域建立罩笼 (1.2 m × 1.0 m × 1.0 m)。罩笼 5 个面由透光性且韧性较好的鱼网制成, 罩笼四周埋入土中约 20 cm, 四个角由钢筋固定, 在罩笼的一个侧面从上到下安装拉链, 便于试验操作。

试验前 1 d 检查每个罩笼内是否有蜘蛛、鼠妇、螳螂等蝗虫的天敌, 并将其清除干净。选择活跃的, 大小、体色一致的试虫随机单独放入罩笼, 让其有 12 h 以上的适应时间, 虫口密度为 5 头/m²、10 头/m²、20 头/m²、40 头/m² 和 100 头/m², 对夏蝗和秋蝗的试验各设 3 次重复。每隔 3 d 调查一次, 如遇到不良天气, 终止调查, 于次日继续试验; 共调查 7 次, 试验周期为 22 d。调查开始时间分别为 4:00、7:00、12:00、16:00、19:00、22:00, 晚间用手电筒提供光源, 观察并记录每个罩笼的编号、东亚飞蝗栖息高度和数量以及调查时间。将 EL-USB-2-LCD (英国莱斯卡尔电子有限公司) 温湿度记录仪固定在罩笼的地面、植株中部 (50 cm 左右) 和植株顶部 (1 m 左右), 获取 3 个位置的温湿度。栖息高度以 20 cm 为一个单位进行划分, 共 5 个高度分级。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析。将调查时间进行转换, 只保留小时部分。采用单因素 (One-way ANOVA) 方差分析法、成组 t 测验法进行比较和双因素方差分析; 计算

Pearson 相关系数, 分析地面温度、植株中部温度、植株顶部温度, 地面湿度、植株中部湿度和植株顶部湿度与东亚飞蝗不同栖息高度选择间的关系。数量百分比 (%) = (某个高度东亚飞蝗数量 / 5 个高度东亚飞蝗数量之和) × 100。

2 结果与分析

2.1 东亚飞蝗夏蝗和秋蝗栖息高度的选择

东亚飞蝗夏蝗栖息在 0 ~ 20 cm 的数量百分比显著高于其他 4 个高度 ($P < 0.05$, 图 1), 而栖息在 20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80 和 > 80 cm 的夏蝗数量百分比之间没有发现差异 ($P > 0.05$)。秋蝗栖息在 > 80 cm 的数量百分比显著高于其他 4 个高度 ($P < 0.05$), 而栖息在 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 和 60 ~ 80 cm 的夏蝗数量百分比之间没有发现差异 ($P > 0.05$)。夏蝗和秋蝗在栖息位置的选择上具有高度的相似性, 选择 > 80 cm 的东亚飞蝗秋蝗的数量比例显著高于夏蝗 ($P < 0.05$), 栖息在 0 ~ 20 cm 的东亚飞蝗夏蝗的数量百分比高于秋蝗, 但差异不显著 ($P = 0.059$)。

对栖息在较低和较高位置的东亚飞蝗进一步分析表明, 在调查期间无论是在 0 ~ 20 cm 还是 > 80 cm, 夏蝗的数量百分比随调查天数的变化波动较大, 秋蝗的变化则较为平缓 (图 2)。在较低位置时, 夏蝗出现了两次峰值, 分别是第 4 天和第 10 天; 秋蝗则表现出稳步增加的趋势, 即栖息在高处的蝗虫随调查天数逐渐增多。在栖息在较高位置时, 夏蝗在第 10 天时数量最多, 而秋蝗则表现出持续减少的趋势。

2.2 种群密度和调查时间对东亚飞蝗栖息高度的影响

根据种群密度与调查时间双因素进行方差分析结果表明: 种群密度 $F = 406.90 > F_{0.01}$, 达到 1% 极显著水平, 说明不同种群密度之间存在极显著差异; 不同调查时间之间存在极显著差异 (表 1)。种群密度的偏 Eta 方大于调查时间, 说明种群密度对东亚飞蝗栖息高度选择的数量百分比的影响起到的作用最大。对于种群密度而言, 飞蝗在 40 头/m² 和 100 头/m² 条件下栖息高度差异不显著外 ($P > 0.05$), 但与其他种群密度间均极显著 ($P < 0.01$)。对于不同的调查时间, 4:00、12:00 和 16:00 时间段的蝗虫栖息高度差异不显著 ($P > 0.05$), 但与 7:00、19:00 和 22:00 的差异显著 ($P < 0.05$)。

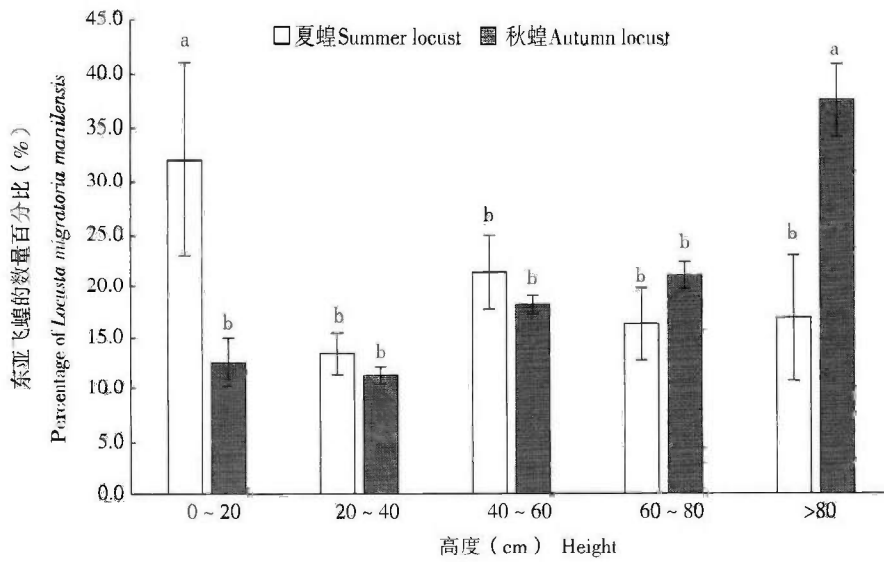


图 1 栖息在不同高度的东亚飞蝗夏蝗和秋蝗数量百分比

Fig. 1 Percentage of summer and autumn locust at different heights above the ground

注: 不同小写字母表示各处理间差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different lowercase meant significant difference among treatments at 0.05 level. 下同。The same below.

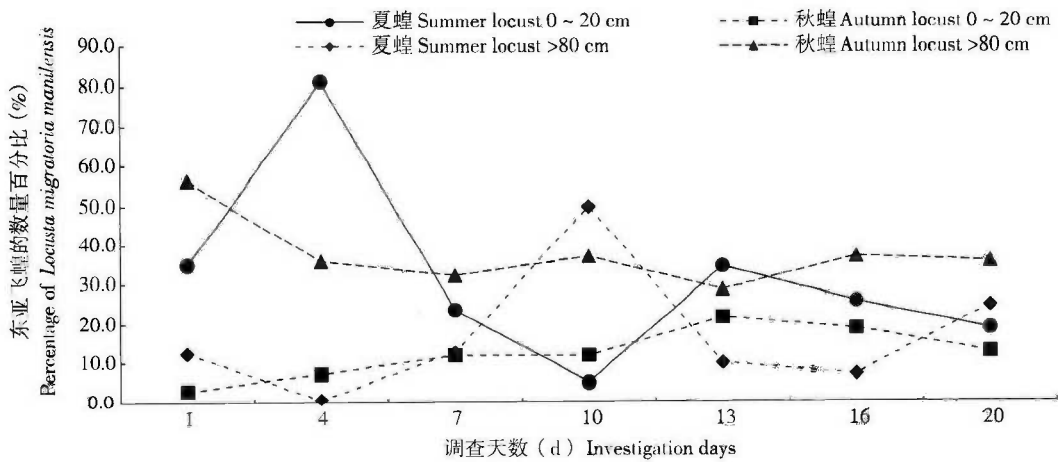


图 2 夏蝗和秋蝗在 0~20 cm 和高于 80 cm 处的数量百分比随调查天数的变化

Fig. 2 Changes between the percentage of summer and autumn locusts at 0~20 cm and above 80 cm with the investigation days

表 1 东亚飞蝗栖息高度选择的单因变量双因素方差分析

Table 1 Bivariate analysis of variance of habitat height on *Locusta migratoria manilensis*

来源 Source	III 型平方和 Type III sum of squares	df	均方 Mean squares	F 值	P 值	偏 Eta 平方 Partial eta squared
校正模型 Corrected model	40.31	9	4.48	185.25	0.00	0.32
截距 Intercept	168.60	1	168.60	6972.90	0.00	0.66
调查时间 Investigation time	0.76	5	0.15	6.25	0.00	0.01
种群密度 Population density	39.35	4	9.84	406.90	0.00	0.31
误差 Error	86.37	3572	0.02			
总计 Total	287.53	3582				
校正的总计 Corrected total	126.68	3581				

东亚飞蝗的种群密度为 5 头/m²、10 头/m²、20 头/m²和 40 头/m²时，栖息在高于 80 cm 的蝗虫数量百分比最大（图 3），分别为 31.5% ± 5.6%、40.3% ± 2.1%、30.9% ± 4.4% 和 24.1% ± 4.2%，栖息在 0~20 cm 或 20~40 cm 蝗虫数量百分比最小（图 3）；当种群密度 $d \leq 20$ 头/m² 时，

二者间差异显著；当种群密度 $d = 40$ 头/m² 时，各个位置的蝗虫数量百分比间差异不显著。当种群密度 $d = 100$ 头/m²，栖息在 0~20 cm 的蝗虫数量百分比最大，为 50.1% ± 8.1%，显著高于栖息在其他高度的蝗虫数量百分比；栖息在 >80 cm 蝗虫数量比最小，为 5.6% ± 1.5%。

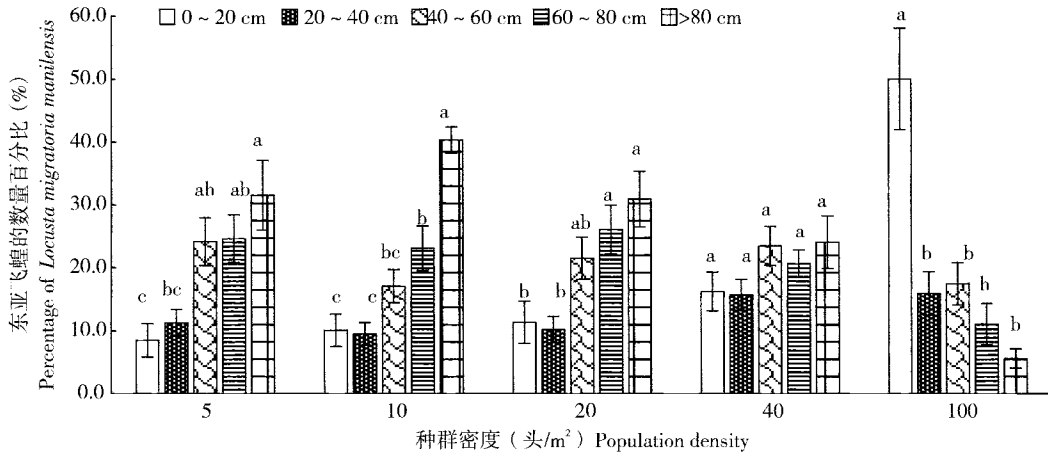


图 3 不同种群密度东亚飞蝗栖息高度的选择

Fig. 3 Selection of habitat height of *Locusta migratoria manilensis* with different population density

在整个调查期间对每天每个时间段蝗虫的数量进行统计分析表明，栖息在 0~20 cm 和 20~40 cm 的东亚飞蝗的数量在 1 d 内不同时间段呈正态分布（图 4），东亚飞蝗在 12:00 和 16:00 这两个时间段偏好选择栖息在 40 cm 以下的位置，分别

占该时间段蝗虫总数的 58.0% 和 48.7%；栖息在 40~60 cm 的东亚飞蝗数量在一天内没有较大变化；东亚飞蝗偏好在日出之前和日落之后栖息在 >60 cm 的位置，分别占该时间段蝗虫总数的 65.2%，49.9% 和 65.5%。

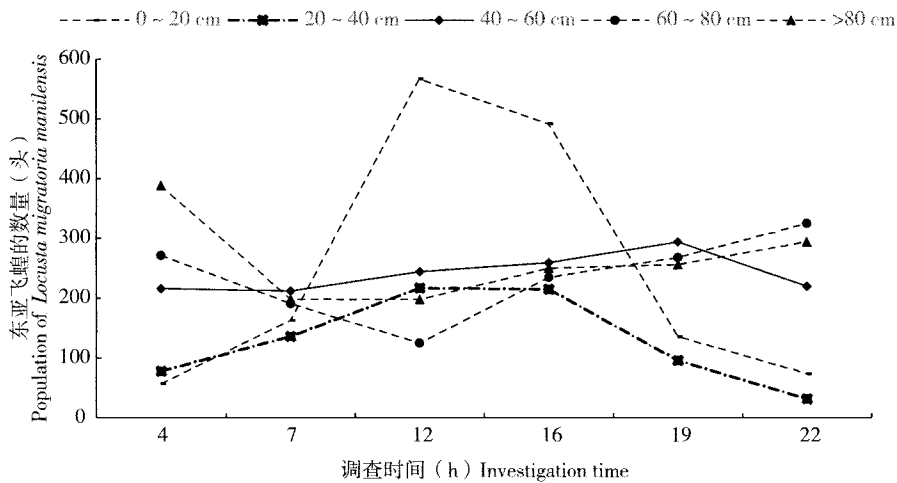


图 4 东亚飞蝗对栖息高度的选择随调查时间的变化

Fig. 4 Selection of habitat height of *Locusta migratoria manilensis* changed with the investigation time

2.3 环境因子与东亚飞蝗栖息高度选择的关系

环境温度和湿度对栖息位置的选择多数情况下呈相对立的相关性，栖息在 0~20、40~60 和

>80 cm 这 3 个高度的东亚飞蝗数量百分比与地面温度 ($P < 0.05$)、植株中部温度和植株顶部温度呈显著的负相关，但是与地面湿度、植株中部湿

度和植株顶部湿度均呈显著的正相关 ($P < 0.05$, 表 2)。这说明随着温度的降低或湿度的增加, 飞

蝗栖息在这 3 个位置的数量增多。栖息在 60 ~ 80 cm 东亚飞蝗的数量与环境温度和湿度均呈正相关。

表 2 东亚飞蝗对栖息高度的选择与环境因子的相关性分析

Table 2 Correlation of habitat heights selection of *Locusta migratoria manilensis* and environment factors

环境因子 Environment factors	高度 (cm) Height				
	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	> 80
地面温度 Ground temperature	-0.150**	0.045	-0.028	0.031	-0.019
植株冠层中部温度 Temperature of the middle of plant canopy	-0.156**	0.063	-0.021	0.059	-0.015
植株冠层顶部温度 Temperature of the top of plant canopy	-0.118*	0.075	-0.007	0.034	-0.001
地面湿度 Ground RH	0.136**	-0.014	0.076*	0.012	0.071*
植株中部湿度 Middle canopy RH	0.153**	-0.011	0.078*	0.021	0.085**
植株冠层顶部湿度 Top canopy RH	0.092*	-0.017	0.090*	0.026	0.115**

注: * 表示相关显著 ($P < 0.05$), ** 表示相关极显著 ($P < 0.01$)。Note: * indicates significant different ($P < 0.05$), ** indicates highly significant different ($P < 0.01$)

3 结论与讨论

本文就东亚飞蝗夏蝗和秋蝗对 5 个栖息高度的数量动态观察进行了田间观测研究。结果表明, 夏蝗偏好栖息植物的较低位置 (< 20 cm), 而秋蝗则偏好栖息植物的较高位置 (> 80 cm)。这是蝗虫对取食新鲜叶片的行为表现, 夏蝗倾向于危害植物的较低部位叶片和茎; 而秋蝗则倾向于危害植物的较高部位。孙文广等 (2015) 研究发现黄河口地区 6-7 月芦苇较 8 月份低矮、幼嫩。东亚飞蝗的栖息位置随着植物的生长而向较高位置迁移, 与植物的生长发育期密切相关。颜忠诚等 (1997) 研究也发现草原蝗虫的早期种毛足棒角蝗偏好选择栖息植物的中下部 (< 20 cm); 中期种亚洲小车蝗偏好选择植物中上部 (> 20 cm)。对于草原蝗虫而言, 其危害亦与植物的生长期有关, 偏好取食新鲜的植物部位。

东亚飞蝗的种群密度和调查时间均可影响栖息高度, 且种群密度的影响作用最大。大量研究发现群居型和散居型蝗虫在体型大小、发育、体色、生理特征、生活习性和行为等方面差异明显 (Dirsh, 1953; Boua *et al.*, 1996; Hoste *et al.*, 2006)。本试验发现, 在食物充足的情况下, 东亚飞蝗种群密度 $d \leq 20$ 头/ m^2 时, 偏好栖息在植株的中上部 (> 60 cm), 且显著多于栖息于较低位置的东亚飞蝗。当种群密度 $d \geq 20$ 头/ m^2 时, 东亚飞

蝗可以利用所有的空间; 随着种群密度的增大, 东亚飞蝗倾向于转移至植株较低部位, 例如当种群密度 $d = 100$ 头/ m^2 , 该虫偏好栖息植株底部 (< 20 cm), 种群密度对东亚飞蝗空间利用和栖息行为的影响很大, 这与散居型和群居型飞蝗的行为也密切相关。杜新勋 (2001) 在自然条件下, 将刚孵化出土的蝗蛹设置为不同密度进行饲养, 当密度 $d = 10$ 头/ m^2 全部为散居型蝗虫, 20 头/ m^2 的有 8% 为群居型蝗虫, 50 头/ m^2 的有 35% 为群居型, 100 头/ m^2 的全为群居型。因此, 本试验自然条件下, 当种群密度 $d \leq 20$ 头/ m^2 时, 东亚飞蝗基本为散居型, 当种群密度 $d = 100$ 头/ m^2 时, 蝗虫全为群居型。王静婷 (2011) 观察素色异爪蝗的行为时发现, 当种群密度为 1 头时, 该虫大多数时间栖息在植株的中上部 (> 20 cm) 与本试验结果相类似。大量研究表明群居型蝗虫比散居型蝗虫更活跃 (Pener, 1991; Uvarov, 1966; 郭志永等, 2004)。因此当种群密度 $d = 100$ 头/ m^2 时, 东亚飞蝗更容易跳到距离地面较低处栖息。

本试验发现东亚飞蝗在不同的时间段其位置不一样, 日落后到次日日出前, 东亚飞蝗偏好栖息在 > 60 cm 处。这与 Chapman (1959) 研究发现红翅蝗 *Nomadacris septemfasciata* 整个晚上栖息在植物较高处相一致。在早晚时段, 东亚飞蝗均栖息在植物较高处, 可能是与光照强度的增加以及环境温度的降低有关 (Chapman, 1959)。7:00 到 12:00 的调查时段, 东亚飞蝗栖息在 0 ~ 20 cm 数

量逐渐增加, 在中午时数量达到最大值, 可能是气温的升高引起东亚飞蝗活动性能增加, 跳跃次增加, 从而跳到地面的数量增加, 导致栖息位置降低 (Chapman, 1955; Alcock, 1972)。

环境温湿度作为主要的环境因子不仅影响蝗虫的生长发育和分布, 还能影响蝗虫对栖息高度的选择 (Isely, 1937; Phipps, 1996; 白鸿岩, 2014)。本试验发现随着温度的升高, 栖息在 0 ~ 20 cm 的东亚飞蝗数量减少, 随着湿度的升高, 栖息在该范围内的东亚飞蝗数量增加。白鸿岩 (2014) 研究发现选择栖息在 < 10 cm 处的亚洲小车蝗数量随环境温度的升高而减少。这可能是由于环境温度升高, 地表温度高于气温, 东亚飞蝗选择栖息在较高、通风条件较好的植株上部。颜忠诚 (1997) 研究 3 种草原蝗虫栖息在 < 10 cm 处的数量随环境温度的升高而减少, 随环境湿度的升高而升高。素色异爪蝗在降雨量少时停留在植株中上部和顶部的时间会延长, 这些均与本试验结果相类似 (王静婷, 2011)。

参考文献 (References)

- Alcock J. Observations on the behaviour of the grasshopper *Taeniopoda eques* (Burmeister), Orthoptera, Acrididae [J]. *Animal Behaviour*, 1972, 20 (2): 237-242.
- Bai HY, Yao YL, Sun W, et al. Selection of plant height of three dominant grasshoppers in hilly meadow steppe of Horqin [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2014, 45 (4): 478-481. [白鸿岩, 姚亚林, 孙巍, 等. 科尔沁丘陵草甸草原 3 种蝗虫对植物高度的选择 [J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45 (4): 478-481]
- Boua CA, Simpson SJ, Roessingh P. The influence of environmental microstructure on the behavioural phase state and distribution of the desert locust *Schistocerca gregaria* [J]. *Physiological Entomology*, 1996, 21 (4): 247-256.
- Chapman KF. A Laboratory Study of Roosting Behaviour in Hoppers of the African Migratory Locust (*Locusta migratoria migratorioides* R. & F.) [M]. London: Anti-Locust Bull Press, 1955.
- Chapman RF. Field Observations of the Behaviour of Hoppers of the Red Locust (*Nomadacris septemfasciata* Serville) [D]. Ghana: University College of Ghana, 1959.
- Dirsh VM. Morphometrical studies on phase of the desert locust (*Schistocerca gregaria*) [J]. *Anti-Locust Bull.*, 1953, 16: 1-34.
- Du XX. Analysis on the occurrence of social type *Locusta migratoria manilensis* [J]. *Plant Protection Technology and Extension*, 2001, 21 (4): 15-16. [杜新勋. 东亚飞蝗群居型蝗群发生原因探讨 [J]. 中国植保导刊, 2001, 21 (4): 15-16]
- Ellis PE, Ashall C. Field Studies on Diurnal Behaviour, Movement and Aggregation in the Desert Locust (*Schistocerca gregaria* Forskal) [M]. London: Anti-Locust Bull Press, 1957.
- Ellis PE. An Experimental study of feeding, basking, marching and pottering in locust nymphs [J]. *Behaviour*, 1963, 20 (3-4): 282-310.
- Guo ZY, Shi WP, Zhang L, et al. Behavioral and morphological indices for phase transformation of oriental migratory locust *Locusta migratoria manilensis* [J]. *Chinesse Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (5): 859-862. [郭志永, 石旺鹏, 张龙, 等. 东亚飞蝗行为和形态型变的判定指标 [J]. 应用生态学报, 2004, 15 (5): 859-862]
- Hoste B, Sas F, Vandersmissen T, et al. A miniaturized assay to quantitate effects of chemicals or physical stimuli upon locust activity [J]. *Insect Science*, 2006, 13 (5): 401-407.
- Isely FB. Seasonal succession, soil relations, numbers, and regional distribution of north-eastern Texas Acridians [J]. *Ecological Monographs*, 1937, 7 (3): 317-344.
- Jonas JL, Joern A. Grasshopper (Orthoptera: Acrididae) communities respond to fire, bison grazing and weather in north American tallgrass prairie: A long-term study [J]. *Oecologia*, 2007, 153 (3): 699-711.
- Li HC, Xi RH, Chen YL. Studies on the feeding behaviour of acridoids in the typical steppe subzone of the Inner Mongolia I. characteristics of food selection within the artificial cages [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1983, 3 (3): 32-46. [李鸿昌, 席瑞华, 陈永林. 内蒙古典型草原蝗虫食性的研究 1. 罩笼供食下的取食特性 [J]. 生态学报, 1983, 3 (3): 32-46]
- Liu LH, Liu YH, Zhou B, et al. Studies on damage and quantity dynamics of *Bactrocera tau* Walker (Trypetidae: Bactrocera) in different host fields [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2005, 27 (2): 176-179. [刘丽红, 刘映红, 周波, 等. 南亚实蝇在不同寄主上数量动态及危害研究 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2005, 27 (2): 176-179]
- National Agro-Tech Extension and Service Center. Analysis and prediction of locust occurrence trend nationwide in autumn 2018 [EB/OL]. <http://www.haonongzi.com/news/20180716/103759.html> 2018-07-16/2019-07-26. [全国农业技术推广服务中心病虫害测报处. 2018 年全国秋季蝗虫发生趋势分析预测 [EB/OL]. <http://www.haonongzi.com/news/20180716/103759.html> 2018-07-16/2019-07-26]
- Pener MP. Locust phase polymorphism and its endocrine relations [J]. *Advances in Insect Physiology*, 1991, 23: 1-79.
- Phipps J. The habitat and seasonal distribution of some east African grasshoppers (Orthoptera: Acridoidea) [J]. *Physiological Entomology*, 1966, 41 (1-3): 25-36.
- Sun WC, Sun ZC, Sun JK, et al. Ecological traits of *Phragmites australis* community indifferent restoration phases of the Yellow River estuary [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35 (17): 5804-5812. [孙文广, 孙志高, 孙景宽, 等. 黄河口芦苇湿地不同恢复阶段种群生态特征研究 [J]. 生态学报, 2015, 35 (17): 5804-5812]
- Uvarov, BP. Grasshoppers and Locusts [M]. Cambridge: University of Cambridge Press, 1966, 332-386.

- Wang H, Zhang SP, Jin W. Occurrence law of *Locusta migratoria manilensis* and management strategy [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2006, 35 (6): 69–70. [王宏, 张士平, 金伟. 东亚飞蝗发生规律及治理策略 [J]. 河南农业科学, 2006, 35 (6): 69–70]
- Wang JT. The Preliminary Research on Effects of Altered Precipitation on Grasshopper Behaviour in Songnen Grassland [D]. Jilin: Northeast Normal University Master Thesis, 2011. [王静婷. 松嫩草地降雨变化对蝗虫行为影响的初步研究 [D]. 吉林: 东北师范大学硕士学位论文, 2011]
- Yan ZC, Chen YL. Observation of plant height selection in 3 species of grasshoppers in grasslands of the Xilin Gol river basin, Inner Mongolia [J]. *Entomological Knowledge*, 1997, 34 (4): 228–230. [颜忠诚, 陈永林. 内蒙古锡林河流域三种草原蝗虫对植物高度选择的观察 [J]. *Entomological Knowledge*, 1997, 34 (4): 228–230]
- Yang QP, Liu WC, Huang C, et al. Occurring analysis on high-density spot of *Locusta migratoria* and suggestions on its monitoring and controlling in China in 2017 [J]. *China Plant Protection*, 2018, 38 (3): 37–47. [杨清坡, 刘万才, 黄冲, 等. 2017 年我国飞蝗高密度点片发生分析及监控建议 [J]. 中国植保导刊, 2018, 38 (3): 37–47]
- Zhang L. Advances and prospects of strategies and tactics of locust and grasshopper management [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (4): 804–810. [张龙. 国内外蝗害治理技术现状与展望 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (4): 804–810]
- Zhang L, Hunter D. Management of locusts and grasshoppers in China [J]. *Journal of Orthoptera Research*, 2017; 26 (2): 155–159.
- Zheng XS, Xu HX, Yu XP, et al. Selection of color and application of sticking technique of *Anagrus* spp. [J]. *Journal of Biosafety*, 2001, 2: 96–100. [郑许松, 徐红星, 俞晓平, 等. 缨小蜂对颜色的选择性和粘卡技术的应用研究 [J]. 生物安全学报, 2001, 2: 96–100]
- Zhu EL. Occurrence and Management of *Locusta migratoria manilensis* in China [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 5–6. [朱恩林. 中国东亚飞蝗发生与治理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 5–6]