

饥饿和饥渴对柑橘大实蝇成虫活动能力的影响*

杜田华^{1**} 李再园¹ 黄 聪¹ 王福莲^{1***} 李传仁¹ 桂连友¹ 张桂芬²

(1. 农林病虫害预警与调控湖北省工程技术研究中心, 长江大学农学院, 荆州 434025;

2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 农业农村部作物有害生物综合治理重点实验室, 北京 100193)

摘 要 【目的】 为探究饥饿和饥渴条件对柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* 成虫活动能力的影响。

【方法】 本文对 1 日龄和 10 日龄柑橘大实蝇在饥饿饥渴下的成虫活跃度和驱上爬行能力进行分析。

【结果】 无水无蜜条件下柑橘大实蝇 1 日龄和 10 日龄雌雄成虫爬行虫比例均最高, 显著高于供水供蜜。其中 1 日龄雌成虫遭受饥饿饥渴胁迫后, 其活动能力受影响更大, 成虫爬行虫比例和单虫上行高度增幅均较 10 日龄雌成虫大。雌雄成虫之间爬行虫比例、单虫上行高度无差异。**【结论】** 饥饿和饥渴下柑橘大实蝇成虫的活动力更强, 尤其是新羽化的成虫。这使得成虫潜在的扩散概率提高, 促进其出园觅食。

关键词 柑橘大实蝇; 饥饿; 饥渴; 活动能力

Influence of starvation on the activity ability of *Bactrocera minax*

DU Tian-Hua^{1**} LI Zai-Yuan¹ HUANG Cong¹ WANG Fu-Lian^{1***}
LI Chuan-Ren¹ GUI Lian-You¹ ZHANG Gui-Fen²

(1. Forewarning and Management of Agricultural and Forestry Pests, Hubei Engineering Technology Center & College of Agriculture,

Yangtze University, Jingzhou 434025, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases & Insect Pests,

Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract [Objectives] To investigate the effects of hunger and thirst on the activity of adult *B. minax*. **[Methods]** The ratio of active to inactive insects, and the height climbed by individual insects on day 1 and day 10 of the experiment, were measured and compared in a group of insects deprived of food and water and a control group provided with food and water.

[Results] The ratio of active to inactive insects was significantly higher in the deprived group than in the control group. Females in the deprived group climbed significantly higher on day 1, and the ratio of active to inactive insects, and height climbed per insect, were higher than control females on day 10. There was no significant difference in the ratio of active to inactive insects and the height climbed per insect between males and females. **[Conclusion]** Starvation and thirst can increase the activity and potential dispersal range of adult *B. minax*.

Key words *Bactrocera minax*; starvation; thirsty; activity ability

自然界中, 昆虫在食物匮乏期和寻找到最佳的食物前常常处于饥饿状态, 导致饥饿成为昆虫在自然界经常面临的一种普遍现象 (Fujikawa *et al.*, 2009)。在饥饿状态下, 昆虫常常通过表现出一定的耐饥饿能力, 使其种群度过食物匮乏期 (Nagata and Nagasawa, 2006; Rion and Kawecki, 2007; Schar, 2016), 在耐饥饿的过

程中昆虫本身将会受到很大的影响。大量研究发现, 饥饿胁迫对昆虫适生性、体内生理物质、行为均会产生一定的影响。昆虫受到饥饿胁迫后发育历期延长, 存活率下降 (李阳等, 2016); 相比于正常取食个体, 受饥饿胁迫的昆虫常表现出所产后代体型较小, 雌虫繁殖力及卵的孵化率较低的现象 (Awmack and Leather, 2002; Xu *et al.*,

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (31572010)

**第一作者 First author, E-mail: dutianhua01@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wangfl_hb@163.com

收稿日期 Received: 2019-04-02; 接受日期 Accepted: 2019-04-26

2012; 张海平等, 2017; 吕楠楠等, 2018)。此外, 昆虫在受到饥饿胁迫后, 其自身生理也发生变化。如通过体内消化酶活性增加(柴艳萍等, 2016), 降低呼吸代谢的生理对策维持其生长发育(刘丹丹等, 2016)。取食是昆虫生活史中最为重要的一种行为, 而饥饿胁迫对于昆虫的取食行为产生较大的影响。饥饿胁迫后昆虫在 24 h 内取食时间主要集中于前几个小时, 而未饥饿胁迫的昆虫取食时间均匀分布于 24 h 内(巫厚长等, 2000; 罗育发和钟八莲, 2012)。昆虫经过饥饿胁迫后, 其对食物的搜索行为发生改变, 拟小食螨瓢虫 *Stethorus parapauperculus* 成虫对猎物的搜索行为受其饥饿状态的影响。饥饿状态下, 取食前为广域型搜索, 取食后一段时间内为地域集中型搜索, 而未饥饿状态下的拟小食螨瓢虫取食前后的搜索行为则无明显规律, 其搜索类型兼有广域和地域集中型搜索特征, 具有一定随机性(陈俊谕等, 2016)。

饥饿胁迫下昆虫的活动能力大小在一定程度上反映了其行为习性及其潜在的为害扩散期。苹果绵蚜若蚜在饥饿状态下逃逸现象均较为严重, 若蚜的活动能力较强, 其被认为在恶劣的环境条件下具有传播扩散的潜在危险(陈建建等, 2013)。柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* (Enderlein) 属于双翅目(Diptera)实蝇科(Trypetidae)(陈世骧和谢蕴贞, 1955), 是柑橘生产上重要的害虫之一(Xia *et al.*, 2018)。成虫初羽化后到性成熟之前有较长时间的补充营养阶段(Wang *et al.*, 2018), 且成虫存在羽化后飞离橘园多在橘园外活动的现象(吴志清, 1958; Wang *et al.*, 2016), 较长距离的飞行导致其在食物的搜索过程中常处于饥饿状态。而饥饿胁迫对柑橘大实蝇活动行为的影响尚无相关研究。故进行饥饿和饥渴胁迫对柑橘大实蝇不同日龄成虫活跃度和活动能力的影响研究, 以期对柑橘大实蝇成虫田间潜在扩散能力和田间防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 虫源

2016 年 10 月 25 日, 在湖北松滋市王家桥

镇收集柑橘大实蝇幼虫, 并将老熟幼虫带回到长江大学昆虫饲养室, 后置于含水量为 15%左右的细沙之中自然化蛹。柑橘大实蝇蛹被保存在自然室温下直至翌年 5 月成虫羽化。初羽化成虫放于养虫笼内(30 cm×35 cm×35 cm)在温室内饲养, 室内温度为(25±1)℃, 相对湿度 80%左右, 光照 L:D=12:1。

1.2 饥饿和饥渴对柑橘大实蝇成虫活动能力的影响

取 10%的金银花蜂蜜水饲养 0 d(1 日龄)和 10 d(10 日龄)的柑橘大实蝇成虫于养虫瓶(h=17 cm, d=8 cm)内, 养虫瓶上部使用纱网(36 目)封口。后分别进行连续 5 d 的喂食(供水供蜜)、饥饿(无蜜)、饥渴(无水)、饥饿饥渴(无水无蜜)处理。根据柑橘大实蝇成虫在室外起飞日节律活动高峰(罗杰等, 2015), 每天上午 09:00-10:00 和下午 15:00-16:00 观察计数正在爬行的虫数, 爬行虫数计数后将成虫振落于瓶底, 测量计数 1 min 内爬行虫的爬行高度(黄聪等, 2013; 方梅等, 2017; 刘增才等, 2018)。每个处理连续处理 5 d, 其中, 供蜜的方式为在脱脂棉上滴上 10%的金银花蜂蜜水, 供水的方式为浸湿脱脂棉但无明水。每个处理重复 5 次, 每个重复雌雄各 10 只。

1.3 数据处理

柑橘大实蝇成虫活动能力使用成虫活跃度和驱上爬行能力来衡量。成虫活跃度以每处理连续 5 d 内爬行虫比例进行平均表示, 柑橘大实蝇成虫驱上爬行能力以每处理连续 5 d 内记录的单虫上行高度进行平均表示。爬行虫比例(%)=(爬行的虫量/瓶内总虫量)×100。单虫上行高度(cm)=(振落瓶底后 1 min 内活动虫的上行总距离/活动虫量)(黄聪等, 2013)。爬行虫比例增幅=不同饥饿饥渴处理下相应的爬行虫比例-供水供蜜下爬行虫比例, 单虫上行高度增幅=不同饥饿饥渴处理下相应的单虫上行高度-供水供蜜下单虫上行高度。

数据均采用 SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 数据处理系统进行分析。柑橘大实蝇

成虫雌雄间爬行虫比例和单虫上行高度的差异进行独立样本 t -检验, 柑橘大实蝇不同日龄成虫之间的爬行虫比例和单虫上行高度的增幅差异进行独立样本 t -检验, 不同处理间柑橘大实蝇成虫爬行虫比例和单虫上行高度的差异性进行单因子方差分析, 平均数差异均采用 LSD 法多重比较, 百分数均经反正弦平方根转换。

2 结果与分析

2.1 饥饿和饥渴对柑橘大实蝇成虫活跃度的影响

2.1.1 饥饿和饥渴下柑橘大实蝇 1 日龄成虫的爬行虫比例 饥饿和饥渴显著影响柑橘大实蝇 1 日龄雌成虫爬行虫比例 ($P < 0.000$; 表 1)。雌成虫在无水无蜜的条件下, 其爬行虫比例最高 (72.23%), 显著高于无蜜 ($P = 0.000$)、无水 ($P = 0.000$) 和供水供蜜 ($P = 0.000$) 处理。在供水供蜜条件下, 雌成虫的爬行虫比例最低, 为 15.47%。

表 1 饥饿和饥渴对柑橘大实蝇 1 日龄成虫爬行虫比例的影响

Table 1 Effects of starvation on the active insect ratio of *Bactrocera minax* adult at 1 day

处理 Treatment	雌虫 Female	雄虫 Male
供水供蜜 Water and honey	15.47±3.21 c A	20.79±5.33 c A
无蜜 No honey	38.90±5.04 b A	42.82±4.63 b A
无水 No water	42.90±6.44 b A	34.57±6.90 bc A
无水无蜜 Nothing	72.23±3.43 a A	77.56±3.48 a A

同列数据后标有不同小写字母表示同一性别、不同处理之间在 0.05 水平上差异显著。同行数据后标有不同大写字母表示同一处理、不同性别之间在 0.05 水平上差异显著。下表同。

Data with different lowercase letters in same column indicate significant difference ($P < 0.05$) between different treatments in the same sex, while with different uppercase letters in same line indicate significant difference ($P < 0.05$) between different sexes in same treatment. The same below.

饥饿和饥渴显著影响柑橘大实蝇 1 日龄雄成虫爬行虫比例 ($P < 0.000$; 表 1)。雄成虫在无水无蜜的条件下, 其爬行虫比例也表现出最高 (77.56%), 显著高于其它处理 ($P < 0.000$) 在

供水供蜜条件下, 雄成虫的爬行虫比例最低, 为 20.97%。

饥饿和饥渴不同处理下, 柑橘大实蝇 1 日龄雌雄成虫之间爬行虫比例无明显差异 ($P > 0.270$; 表 1)。

2.1.2 饥饿和饥渴下柑橘大实蝇 10 日龄成虫的爬行虫比例 饥饿和饥渴明显影响柑橘大实蝇 10 日龄雌成虫爬行虫比例 ($P < 0.001$; 表 2)。其中, 无水无蜜和无水条件下, 雌成虫表现出较高的爬行虫比例, 分别为 78.55% 和 71.10%, 显著高于供水供蜜处理 ($P = 0.000$; $P = 0.008$)。供水供蜜条件下, 雌成虫爬行虫比例较低, 为 48.80%。

无蜜条件下, 雄成虫爬行虫比例 (59.68%) 明显高于供水供蜜 (46.83%) ($P = 0.015$; 表 2)。

饥饿和饥渴不同处理下, 柑橘大实蝇 10 日龄雌雄成虫之间爬行虫比例无明显差异 ($P > 0.485$; 表 2)。

表 2 饥饿和饥渴对柑橘大实蝇 10 日龄成虫爬行虫比例的影响

Table 2 Effects of starvation on the active insect ratio of *Bactrocera minax* adult at 10 days

处理 Treatment	雌虫 Female	雄虫 Male
供水供蜜 Water and honey	48.80±4.65 c A	46.83±4.11 b A
无蜜 No honey	62.60±3.76 bc A	59.68±3.27 a A
无水 No water	71.10±6.30 ab A	—
无水无蜜 Nothing	78.55±3.48 a A	—

— 表示未做此处理。下表同。

— means no treatment. The same below.

2.2 饥饿和饥渴对柑橘大实蝇驱上爬行能力的影响

2.2.1 饥饿和饥渴下柑橘大实蝇 1 日龄成虫的驱上爬行高度 饥饿和饥渴条件下, 柑橘大实蝇 1 日龄雌成虫单虫上行高度存在显著差异 ($P < 0.000$; 表 3)。无水无蜜条件下, 1 日龄雌成虫单虫上行高度最大, 为 11.87 cm, 显著高于无水 (8.39 cm) ($P = 0.000$)、无蜜 (8.24 cm) ($P = 0.000$)、供水供蜜处理 (7.83 cm) ($P = 0.000$)。

饥饿和饥渴条件下, 柑橘大实蝇 1 日龄雄成

虫单虫上行高度也表现出明显差异 ($P < 0.000$; 表 3)。其中无水无蜜处理, 1 日龄雄成虫单虫上行高度 (11.66 cm) 高于其它处理 ($P < 0.028$)。无水、无蜜、供水供蜜处理的 1 日龄雄成虫, 单虫上行高度无差异 ($P > 0.81$)。

饥饿和饥渴不同处理下, 柑橘大实蝇 1 日龄雌雄成虫之间单虫上行高度无明显差异 ($P > 0.270$; 表 3)。

表 3 饥饿和饥渴对柑橘大实蝇 1 日龄成虫单虫上行高度的影响

Table 3 Effects of starvation on the climbing high per insect of *Bactrocera minax* adult at 1 day

处理 Treatment	雌虫 Female	雄虫 Male
供水供蜜 Water and honey	7.83±0.75 b A	8.65±1.03 b A
无蜜 No honey	8.24±0.53 b A	7.68±0.58 b A
无水 No water	8.39±0.94 b A	9.45±0.91 b A
无水无蜜 Nothing	11.87±0.48 a A	11.66±0.51 a A

2.2.2 饥饿和饥渴下柑橘大实蝇 10 日龄成虫的驱上爬行高度 柑橘大实蝇 10 日龄雌雄成虫在饥饿和饥渴不同处理下, 单虫上行高度均无明显差异 ($P > 0.0570$; $P > 0.149$; 表 4)。无水无蜜、无蜜、无水、供水供蜜条件下, 10 日龄雌成虫单虫上行高度分别为 9.18、8.58、9.42、8.68 cm。

无蜜、供水供蜜条件下, 10 日龄雄成虫单虫上行高度分别为 9.70 cm、8.44 cm。

表 4 饥饿和饥渴对柑橘大实蝇 10 日龄成虫单虫上行高度的影响

Table 4 Effects of starvation on the climbing high per insect of *Bactrocera minax* adult at 10 days

处理 Treatment	雌虫 Female	雄虫 Male
供水供蜜 Water and honey	8.68±0.53 a A	8.44±0.67 a A
无蜜 No honey	9.42±0.47 a A	9.70±0.54 a A
无水 No water	8.58±0.46 a	—
无水无蜜 Nothing	9.18±0.49 a	—

饥饿和饥渴不同处理下, 柑橘大实蝇 10 日龄雌雄成虫之间单虫上行高度无差异 ($P > 0.485$; 表 4)。

2.3 饥饿和饥渴对柑橘大实蝇不同日龄成虫活动能力的影响差异

2.3.1 不同日龄柑橘大实蝇成虫饥饿饥渴下的爬行虫比例差异 无水无蜜条件下, 柑橘大实蝇 1 日龄雌成虫爬行虫比例增幅显著高于 10 日龄 (图 1: A, $P < 0.000$), 其爬行虫比例增幅分别为 56.76%、29.74%。无蜜、无水条件下, 1 日龄雌成虫爬行虫比例增幅与 10 日龄之间无明显差异 ($P > 0.132$)。

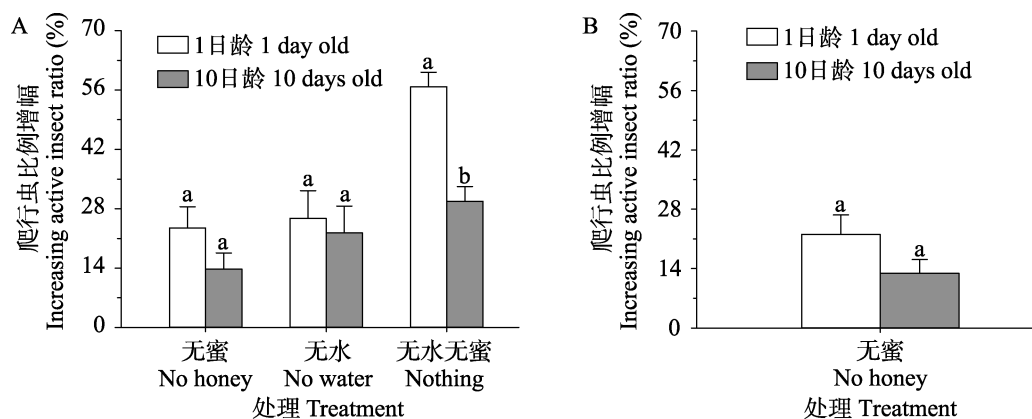


图 1 不同日龄柑橘大实蝇成虫饥饿饥渴下爬行虫比例的差异性

Fig. 1 The difference of active insect ratio under starvation of *Bactrocera minax* adult at different age

A. 柑橘大实蝇雌成虫在不同饥饿饥渴处理下爬行虫比例增幅; B. 柑橘大实蝇雄成虫在饥饿处理下爬行虫比例增幅。柱上不同小写字母表示不同日龄间在 0.05 水平上差异显著。下图同。

A. The increase of active insect ratio under different starvation treatment for *B. minax* female; B. The increase of active insect ratio under different starvation treatment for *B. minax* male. Histograms with different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$) between different aged adults. The same below.

1 日龄和 10 日龄雄成虫在无蜜条件下, 其成虫爬行虫增幅无差异 (图 1:B, $P = 0.113$), 分别为 22.03%、12.85%。

2.3.2 不同日龄柑橘大实蝇成虫饥饿饥渴下的驱上爬行高度差异 无水无蜜条件下, 柑橘大实蝇 1 日龄雌成虫单虫上行高度增幅较 10 日龄大 (图 2:A, $P < 0.000$), 其单虫上行高度增幅分

别为 4.04 cm、0.50 cm。在无蜜、无水条件下, 1 日龄雌成虫单虫上行高度增幅与 10 日龄之间无差异 ($P > 0.513$)。

10 日龄雄成虫在无蜜条件下, 其成虫单虫上行高度增幅显著高于 1 日龄 (图 2:B, $P = 0.008$), 单虫上行高度增幅分别为 -0.96 cm、1.26 cm。

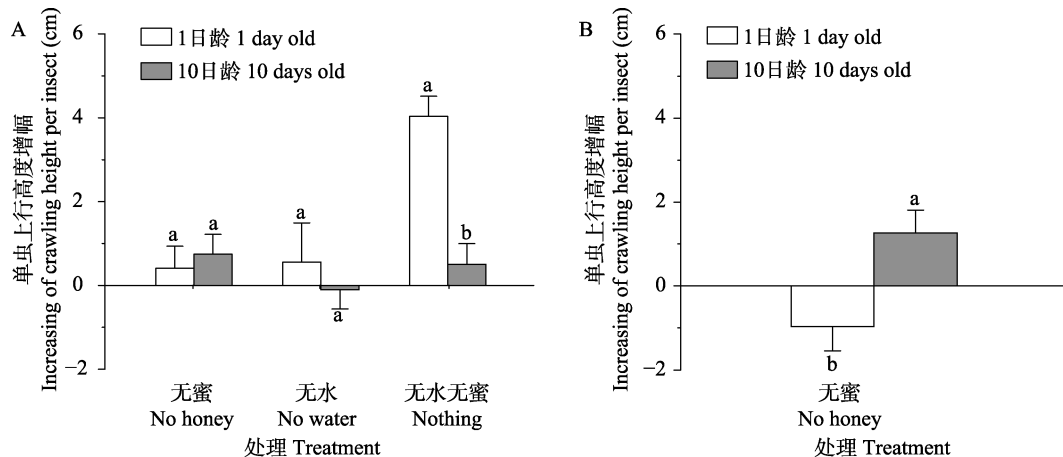


图 2 不同日龄柑橘大实蝇成虫饥饿饥渴下单虫上行高度的差异性

Fig. 2 The difference of climbing high per insect under starvation of *Bactrocera minax* adult at different age

A. 柑橘大实蝇雌成虫在不同饥饿饥渴处理下单虫上行高度增幅;

B. 柑橘大实蝇雄成虫在饥饿处理下单虫上行高度增幅。

A. The increase of climbing height per insect under different starvation treatment for *B. minax* female;

B. The increase of climbing height per insect under different starvation treatment for *B. minax* male.

3 结论与讨论

本文研究发现, 柑橘大实蝇 1 日龄和 10 日龄成虫在饥饿饥渴胁迫下活跃度较高, 驱上爬行能力较强, 成虫表现出较强的活动能力。

柑橘大实蝇 1 日龄成虫在饥饿饥渴并存的状态 (无水无蜜) 下, 雌雄成虫爬行虫比例最高, 单虫上行高度最大。而在供水供蜜条件下, 雌雄虫爬行虫比例较低, 单虫上行高度较小。

饥饿饥渴并存导致柑橘大实蝇活跃度和驱上爬行能力提高的原因可能与其成虫存在补充营养的习性有关。柑橘大实蝇成虫需通过补充营养才能达到性成熟满足种群繁衍 (Dong *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2018), 较高的食物需求度, 使得成虫在饥饿饥渴 (无水无蜜) 状态下, 表现较高的活跃度。因此, 饥饿饥渴可提高柑橘

大实蝇成虫的活跃度和驱上爬行能力。有研究表明昆虫饥饿饥渴胁迫下觅食轨迹增大 (陈俊瑜等, 2016), 因此推测, 柑橘大实蝇在饥饿饥渴并存下活动轨迹变大, 利于其出园觅食。

本研究发现, 单独饥饿或饥渴下, 柑橘大实蝇的活跃度和驱上爬行能力受到影响, 但不及饥饿饥渴同时作用的效应明显。Wang 等 (2018) 研究发现, 不同食物饲喂柑橘大实蝇成虫至 5 d 时, 仅使用水分饲喂的成虫与补充营养的成虫的死亡率无差异。可能是柑橘大实蝇对水蜜存在双重需求, 水和蜜的存在对其饥饿或饥渴的胁迫效应具有抑制作用, 具体效应待于研究。

10 日龄成虫在无水无蜜条件下爬行虫比例仍较高, 但雌虫驱上爬行能力提高不明显。相对 1 日龄成虫来说, 其活动能力受饥饿饥渴的影响有所减缓。一方面, 10 日龄成虫对食物和水分

仍有较大需求, 黄聪 (2015) 研究发现, 10% 蜂蜜饲喂柑橘大实蝇成虫时, 饲喂至 10 日龄时, 交配现象出现, 而昆虫交配是一个能量大量消耗的过程 (Service, 1989; Avila *et al.*, 2011)。因此, 10 日龄雌雄成虫需要大量取食食物和水分以弥补交配对能量的大量消耗。另一方面, 因为 10 日龄虫前期有水蜜摄取, 已然有一定的能量积累对抗饥饿饥渴胁迫。Dong 等 (2014) 研究也发现, 柑橘大实蝇 10 日龄成虫在饥饿 (无蜜) 下, 具有较强的爬行能力, 能够成功寻找雌成虫并进行交配。

柑橘大实蝇成虫存在初羽化成虫有飞离橘园在橘园外活动取食的现象 (吴志清, 1958; Wang *et al.*, 2016), 在成虫获取到最佳食物前, 常处于饥饿状态。饥饿饥渴并存可明显提高柑橘大实蝇成虫的活跃度和趋上爬行能力, 尤其是 1 日龄成虫更为明显。较高的成虫活跃度和趋上爬行能力为成虫较长距离飞行寻找食物提供一定的保障。昆虫进行扩散的主要方式为爬行和飞行活动 (田俊策等, 2017), 因此, 饥饿胁迫可提高柑橘大实蝇成虫觅食扩散的概率。

饥饿胁迫在昆虫的生活史中普遍存在, 昆虫经过长期适应自然产生一定的耐饥饿特性, 其耐饥饿能力大小也在一定程度上反映了其行为习性及潜在的为害扩散期。本文探究了饥饿和饥渴条件下不同日龄成虫的活动能力, 而不同日龄成虫的耐饥饿能力有待进一步研究。

参考文献 (References)

- Avila FW, Sirot LK, Laflamme BA, Rubinstein CD, Wolfner MF, 2011. Insect seminal fluid proteins: Identification and function. *Annual Review of Entomology*, 56: 21–40.
- Awmack CS, Leather SR, 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47: 817–844.
- Chen JJ, Li X, Xue ZG, 2013. Starvation endurance ability of *Eriosoma lanigerum*. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 41(11): 80–86, 92. [陈建建, 李鑫, 薛振国, 2013. 苹果绵蚜耐饥饿能力研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 41(11): 80–86, 92.]
- Chen JY, Ma HB, Zhang FP, Han DY, Fu YG, 2016. Changes in the movement patterns of adult *Stethorus parapauperculus* in response to starvation. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 140–147. [陈俊瑜, 马华博, 张方平, 韩冬银, 符悦冠, 2016. 不同饥饿程度的拟小食螨瓢虫成虫摄食朱砂叶螨前后的运动格局变化. 应用昆虫学报, 53(1): 140–147.]
- Chen SX, Xie YZ, 1955. Taxonomic notes on the chinese citrus fly, *Tetradacus citri* (Chen). *Acta Entomologica Sinica*, 5(1): 123–126. [陈世骧, 谢蕴贞, 1955. 关于桔大实蝇的学名及其种征. 昆虫学报, 5(1): 123–126.]
- Chai YP, Zhang JY, Wang YX, Jia D, Ma RY, Guo YQ, 2016. Effects of starvation and different plant feedings on the digestive enzyme activities in the adults of alligator weed flea beetle *Agasicles hygrophila*. *Journal of Plant Protection*, 43(5): 738–744. [柴艳萍, 张建宇, 王苑馨, 贾栋, 马瑞燕, 郭艳琼, 2016. 饥饿程度及取食不同植物对莲草直胸跳甲消化酶的影响. 植物保护学报, 43(5): 738–744.]
- Dong YC, Wan L, Pereira R, Desneux N, Niu CY, 2014. Feeding and mating behaviour of Chinese citrus fly *Bactrocera minax* (Diptera, Tephritidae) in the field. *Journal of Pest Science*, 87(4): 647–657.
- Fang M, Dai ZY, Shuai YL, Liang LY, Zhang CQ, Xie JK, Tu XY, 2017. Effects of varying temporal exposure to light on the feeding and walking behavior of adult *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(5): 813–823. [方梅, 戴志颖, 帅艳玲, 梁龙阳, 张超群, 谢建坤, 涂小云, 2017. 光期位点对茄二十八星瓢虫成虫取食和爬行行为节律的影响. 应用昆虫学报, 54(5): 813–823.]
- Fujikawa K, Takahashi A, Nishimura A, Itoh M, Takano-Shimizu T, Ozaki M, 2009. Characteristics of genes up-regulated and down-regulated after 24 h starvation in the head of *Drosophila*. *Gene*, 446(1): 11–17.
- Huang C, 2015. Effect of temperature and food stress on survival, development and reproduction of *Bactrocera minax* (Enderlein). Masteral dissertation. Jingzhou: Yangtze University. [黄聪, 2015. 温度和食物胁迫对柑橘大实蝇生存、发育和繁殖的影响. 硕士学位论文. 荆州: 长江大学.]
- Huang C, Wang FL, Li CR, Zhang GF, 2013. Effects of ^{60}Co gamma radiation with sterile dose on activity of adult *Bactrocera minax* (Enderlein). *South China Fruits*, 42(5): 68–69, 74. [黄聪, 王福莲, 李传仁, 张桂芬, 2013. 不育剂量 ^{60}Co - γ 射线辐射对柑桔大实蝇成虫活动能力的影响. 中国南方果树, 42(5): 68–69, 74.]
- Li Y, Meng L, Li BP, 2016. Effects of starvation stress on larval developmental performances of *Harmonia axyridis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 32(2): 149–154. [李阳, 孟玲, 李

- 保平, 2016. 饥饿胁迫对异色瓢虫幼虫发育的影响. 中国生物防治学报, 32(2): 149–154.]
- Liu DD, Chen AR, Li KB, Yin J, Zhang S, Cao YZ, 2016. Effects of starvation stress on the physiological characteristics of *Melanotus caudex* (Coleoptera: Elateridae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(5): 509–515. [刘丹丹, 陈爱端, 李克斌, 尹姣, 张帅, 曹雅忠, 2016. 饥饿胁迫对褐纹金针虫生理特征的影响. 昆虫学报, 59(5): 509–515.]
- Liu ZC, Lai X, Cao HL, Chi DF, 2018. Natural diurnal rhythm of *Ambrostoma quadrimpressum* (Coleoptera: Chrysomelidae) adults. *Forestry Science & Technology*, 43(2): 42–46. [刘增才, 赖鑫, 曹慧丽, 迟德富. 自然条件下榆紫叶甲成虫日活动节律的研究. 林业科技, 43(2): 42–46.]
- Luo J, Gui LY, Wang FL, 2015. Daily rhythm of flight takeoff by early emerged adult Chinese citrus fly and their landing locations. *Journal of Environmental Entomology*, 37(1): 36–43. [罗杰, 桂连友, 王福莲, 2015. 初羽化的柑橘大实蝇成虫起飞日节律和降落位置. 环境昆虫学报, 37(1): 36–43.]
- Luo YF, Zhong BL, 2012. Starvation tolerance of *Neoseiulus barkeri* and *Euseius nicholsi* and the influence of starvation on predation function of their female adults. *South China Fruits*, 41(1): 1–6. [罗育发, 钟八莲, 2012. 巴氏新小绥螨和尼氏真绥螨的耐饥能力及饥饿对其雌成螨捕食作用的影响. 中国南方果树, 41(1): 1–6.]
- Lv NN, Shi Q, Wu JX, Xu XL, 2018. Effects of maternal starvation on the development and reproduction of the offspring of alate adults of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 61(10): 1177–1183. [吕楠楠, 石棋, 仵均祥, 许向利, 2018. 麦长管蚜有翅成蚜母代饥饿对其后代发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 61(10): 1177–1183.]
- Nagata S, Nagasawa H, 2006. Effects of diet-deprivation and physical stimulation on the feeding behaviour of the larvae of the silkworm, *Bombyx mori*. *Journal of Insect Physiology*, 52(8): 807–815.
- Rion S, Kawecki TJ, 2007. Evolutionary biology of starvation resistance: What we have learned from *Drosophila*. *Journal of Evolutionary Biology*, 20(5): 1655–1664.
- Scharf I, 2016. The multifaceted effects of starvation on arthropod behavior. *Animal Behaviour*, 119: 37–48.
- Service PM, 1989. The effect of mating status on lifespan, egg laying, and starvation resistance in *Drosophila melanogaster* in relation to selection on longevity. *Journal of Insect Physiology*, 35(5): 447–452.
- Tian JC, Wang ZC, Wang GR, Zheng XS, Zang LS, Lv ZX, 2017. Assessment of the flight ability of four *Trichogramma* species and the dispersal of *T. japonicum* in rice field. *Chinese Journal of Biological Control*, 33(1): 26–31. [田俊策, 王子辰, 王国荣, 郑许松, 臧连生, 吕仲贤, 2017. 四种赤眼蜂的飞行能力和稻螟赤眼蜂的田间扩散能力评价. 中国生物防治学报, 33(1): 26–31.]
- Wang FL, Chambi C, Li ZY, Huang C, Ma YK, Li CR, Tian XH, Sangjia F, Ntambo MS, Kankonda OM, Hafeez S, Anwar T, Sharif R, 2018. Influence of supplemental protein on the life expectancy and reproduction of the chinese citrus fruit fly, *Bactrocera minax* (Enderlein) (*Tetracus minax*) (Diptera: Tephritidae). *Journal of Insect Science*, 18(2): 1–8.
- Wang SQ, Zhang HY, Li ZL, 2016. Small-scale spatio-temporal distribution of *Bactrocera minax* (Enderlein) (Diptera: Tephritidae) using probability kriging. *Neotropical Entomology*, 45(5): 453–462.
- Wu HC, Cheng XN, Zou YD, 2000. Predation on *Myzus persicae* by *Propylaea japonica* adults with different extents of starvation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 11(5): 749–752. [巫厚长, 程遐年, 邹运鼎, 2000. 不同饥饿程度的龟纹瓢虫成虫对烟蚜的捕食作用. 应用生态学报, 11(5): 749–752.]
- Wu ZQ, 1958. Preliminary report on observation of living habits of *Bactrocera minax*. *Entomological Knowledge*, 3(5): 216–217. [吴志清, 1958. 桔大实蝇的生活习性观察初报. 昆虫知识, 3(5): 216–217.]
- Xia YL, Ma XL, Hou BH, Ouyang GC, 2018. A review of *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) in China for the purpose of safeguarding. *Advances in Entomology*, 6: 35–61.
- Xu XL, He SQ, Wu JX, 2012. The effect of starvation and subsequent feeding on the reproductive potential of the grain aphid, *Sitobion avenae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 144(3): 294–300.
- Zhang HP, Pan MZ, Yi ZJ, Zhang CH, Guo Y, Liu CX, Zhang LS, Wang MQ, Jia FZ, Yang ZY, Chen HY, 2017. Effects of short term starvation on longevity, fecundity and predation of *Arma chinensis* (Hemiptera: Pentatomidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 33(2): 159–164. [张海平, 潘明真, 易忠经, 张长华, 郭义, 刘晨曦, 张礼生, 王孟卿, 贾芳墨, 杨在友, 陈红印, 2017. 短期饥饿处理对蝽蟊寿命、繁殖力及捕食量的影响. 中国生物防治学报, 33(2): 159–164.]