

# 温湿度对番茄潜叶蛾生长发育及繁殖的影响

张旭艳<sup>1,2</sup>, 贾尊尊<sup>2</sup>, 吐尔逊·阿合买提<sup>2</sup>, 付开赞<sup>2</sup>, 丁新华<sup>2</sup>,

乔小燕<sup>2</sup>, 李亚文<sup>2</sup>, 郭文超<sup>2\*</sup>, 牙森·沙力<sup>1\*</sup>

(1. 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业科学院植物保护研究所/农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室/新疆农业生物安全重点实验室, 乌鲁木齐 830091; )

**摘要:** 番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* Meyrick (鳞翅目 Lepidoptera) 已经成为中国一种重要的农业害虫。了解温湿度对其发育期的影响对预测其种群动态至关重要。本研究采用两性生命表的方法, 在相对湿度 10%、25%、50%和 75%下测定番茄潜叶蛾化蛹率、羽化率及产卵量, 在温度 15°C、20°C、25°C、30°C和 35°C下测定番茄潜叶蛾各虫态发育历期、世代周期、幼虫存活率、成虫存活率、单雌产卵量等。结果表明, 番茄潜叶蛾化蛹率、羽化率及产卵量随着湿度的升高呈现出先升高后下降的趋势, 75%相对湿度为其最适发育湿度; 在不同恒温条件下发育历期随着温度的升高而逐渐缩短, 15°C下发育历期最长为 63.3 d, 30°C恒温下仅为 23.6 d, 35°C下无法完成世代的发育; 雌成虫在 25°C条件下繁殖最快, 产卵量最高, 单雌产卵量为 112 粒; 净增值率、周限增长率随温度的升高先增后减, 说明高温和低温均不适合番茄潜叶蛾种群数量增加, 25°C是最适发育温度。

**关键词:** 番茄潜叶蛾; 相对湿度; 温度; 年龄-龄期两性生命表; 生长发育; 繁殖

中图分类号: Q968.1;

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858(2024)06-0000-00

## Effects of temperature and humidity on the growth, development and reproduction of *Tuta absoluta* Meyrick

ZHANG Xu-Yan<sup>1,2</sup>, JIA Zun-Zun<sup>2</sup>, Tuersun·AHMAT<sup>2</sup>, FU Kai-Yun<sup>2</sup>, DING Xin-Hua<sup>2</sup>, QIAO Xiao-Yan<sup>2</sup>, LI Ya-Wen<sup>2</sup>, GUO Wen-Chao<sup>2\*</sup>, Yasen·SHALI<sup>1\*</sup> (1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Integrated Pest Management for Crops in Northwest desert Oasis, Ministry of Agriculture, Xinjiang Key Laboratory of Agricultural Biosecurity, Urumqi 830091, China)

基金项目: 新疆农业科学院自主培育专项 (xjnkycxzx-2022003), 天山英才-科技创新领军人才

作者简介: 张旭艳, 女, 甘肃人, 硕士研究生, 研究方向为农业虫害综合防治, E-mail: 723391271@qq.com

\*共同通讯作者 Author for correspondence: 郭文超, 男, 研究员, 硕/博士生导师, 研究方向为农业虫害综合防治, E-mail:

gwc1966@163.com; 牙森·沙力, 男, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为农业虫害综合防治, E-mail: 359749356@qq.com

收稿日期 Received: 2024-03-22; 接受日期 Accepted: 2024-11-06

**Abstract:** The tomato leafminer (*Tuta absoluta* Meyrick) (Lepidoptera) has become an important agricultural pest in China. Understanding the effects of temperature and humidity on their developmental period is essential for predicting their population dynamics. In this study, we used the hermaphroditic life table method to determine the pupation rate, feathering rate and oviposition rate of *T. absoluta* at 10%, 25%, 50% and 75% relative humidity, and the development period, generation cycle, larval survival rate, adult survival rate and egg production of single female by each insect state of *T. absoluta* at the temperatures of 15°C, 20°C, 25°C, 30°C and 35°C. The results showed that the pupation rate and oviposition rate of *T. absoluta* showed a trend of increasing and then decreasing with the increase of humidity, and 75% relative humidity was the optimum humidity for its development. The development period gradually shortened with the increase of temperature under different constant temperature conditions, the longest development period was 63.3 d at 15°C, only 23.6 d at 30°C, and the development of generations could not be completed at 35°C. Female adults reproduced fastest and laid the highest number of eggs at 25°C, with a single female laying 112 eggs. The net value-added rate and perimeter growth rate firstly increased and then decreased with the increase of temperature, indicating that both high and low temperature were not suitable for the increase of *T. absoluta* population, and 25°C was the optimum development temperature.

**Key words:** *Tuta absoluta* Meyrick; relative humidity; temperature; age-agesender life table; growth and development; reproduction

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* Meyrick, 鳞翅目麦蛾科 Gelechiidae, 最早于南美洲秘鲁发现 (Desneux *et al.*, 2011), 目前已在全球范围内的 110 多个国家和地区发生为害 (Bion *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2021), 被称为番茄上的“埃博拉病毒”, 对番茄产业的发展造成巨大威胁 (Zhang *et al.*, 2022)。2017 年 8 月该虫入侵我国新疆维吾尔自治区伊犁州, 随后在云南省亦发现该虫入侵 (Zhang *et al.*, 2020), 截至目前已在贵州、四川、重庆、广西、湖南、江西、山东等地相继发现 (Lu *et al.*, 2021), 现番茄潜叶蛾已被列入我国《一类农作物病虫害名录》。番茄潜叶蛾寄主十分广泛, 世代重叠严重, 繁殖和扩散能力强 (Tan, 2023), 据现有报道, 番茄潜叶蛾可在马铃薯、茄子、甜菜、菠菜、龙葵等 11 科 58 种作物上发生为害 (Lu, 2021), 且在寄主作物的各个生长发育期均可产生严重危害。据国际马铃薯中心的观点, 番茄潜叶蛾是全球番茄生产面临的最为严重的害虫之一, 其对番茄经济造成的损失可高达 50%~100% (Zhang, 2019)。

温度、湿度是昆虫生长发育的主要影响因素 (Cao, 2020), 其对昆虫的影响贯穿于从卵到成虫的各个生长阶段 (Li *et al.*, 2006), 温度通过干扰昆虫的繁殖适应性降低个体和种群的存活率 (Gao *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2015; Xiang *et al.*, 2017), 湿度通过调节昆虫体内水分平衡加速、减缓或限制昆虫的生长发育 (Chang, 2008)。研究表明, 烟草甲 *Lasioderma serricorne* Fabricius 发育历期和产卵历期随湿度的升高而缩短 (Yang *et al.*, 2019), 荔枝蒂蛀虫 *Conopomorpha sinensis* Bladley 的幼虫与成虫均有“厌湿性” (Li *et al.*, 2009), 二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 卵孵化率、化蛹率、产卵量和成虫寿命均随湿度的升高而增长 (Ma *et al.*, 2014); 多异瓢虫 *Adonia variegata* Goetz 随着温度升高, 发育历期逐渐缩短, 产卵量增加, 其对棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 的捕食能力随着温度的升高增长显著 (Kong, 2019), 25°C 是桃小食心虫 *Carposina niponensis* Walsingham 生长发育与繁殖的最适宜温度 (Gao *et al.*, 2018), 红铃虫甲腹茧蜂 *Chelonu spectinophorae* Cushman 存活率与蛹重随温度的升高呈现先升后降的趋势, 成虫繁殖力随温度的升高而增加 (Cong *et al.*, 2019)。

传统的生命表通过昆虫不同发育阶段的平均发育期来获得存活率、繁殖力和生命表参数 (Tian *et al.*, 2022)。它只考虑了雌虫的生命过程, 以两倍的雌虫数量代表整个种群, 忽略了雌雄昆虫的差异和雄虫对种群增长的贡献 (Li *et al.*, 2020)。与传统的种群生命表相比, 两性生命表是研究昆虫种群数量、评价害虫防治措施、制定害虫预测方案、实施科学害虫防治的重要方法 (Ahn *et al.*, 2022)。它能准确分析和了解外界环境条件对生物生长发育的影响, 有助于获得各种条件下的详细生命参数。

本研究拟通过测定不同相对湿度条件下番茄潜叶蛾化蛹率、羽化率、产卵量及不同温度下其各阶段发育历期、幼虫和成虫存活率及产卵量等, 制定不同温度下年龄-龄期两性生命表, 明确温湿度对番茄潜叶蛾生长与繁殖产生的影响, 为准确预测番茄潜叶蛾的发生与高效防治提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

番茄潜叶蛾幼虫采自新疆维吾尔自治区伊宁市巩留县 (E: 81°34', N: 43°54') 温室大棚中, 新疆农业生物安全创新中心进行人工饲养繁殖。饲养繁殖方法为: 在新鲜番茄苗上接入幼虫, 饲养温度为 25°C±1°C、相对湿度 RH 60%~75%、光周期 L : D=16 : 8。番茄潜叶蛾成虫以 10% 蜂蜜水饲喂, 饲养条件同幼虫。

### 1.2 相对湿度的设置

试验中所有处理均设置 4 个相对湿度梯度, 分别为 10%、25%、50%和 75%。所需湿度条件参考郝光宗等(1999)配置方法, 由变色硅胶, 氯化镁, 碳酸钾, 氯化钠, 硫酸钾饱和盐溶液置于干燥罐中进行控制, 误差为 $\pm 5\%$ 。试验中各处理的温度均为  $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.3 温度的设置

将 5 个 RTOP-400Y 型智能人工气候箱(浙江托普云农科技股份有限公司)别设置为 15、20、25、30 和  $35^{\circ}\text{C}$ (误差为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ )5 个温度梯度, 光周期为  $L:D=16:8$ , 相对湿度为  $60\%\pm 5\%$ 。其中温湿度均为用温湿度计测量稳定后的温湿度, 如相对湿度的设定值和测量值之间存在差异, 以设定值为准。

### 1.4 不同相对湿度下番茄潜叶蛾生长发育历期参数的测定

#### 1.4.1 化蛹率测定

老熟幼虫为采用新鲜番茄叶片饲养获得。每处理从养虫笼中随机选择个体重量基本一致的老熟幼虫 120 头, 4 个重复, 每重复 30 头虫, 放于圆形餐盒(直径 10 cm)中, 用纱布封口, 置于用饱和盐溶液控湿的不同湿度条件的干燥罐中。待其化蛹后, 从第 1 天起至第 14 天, 每天上午 10:00 调查化蛹数, 根据老熟幼虫数和化蛹数计算化蛹率。

#### 1.4.2 羽化率测定

每处理从 1.4.1 试验中随机选择新化的蛹 60 头, 4 个重复, 每重复 15 头蛹, 湿度条件同上。待其羽化后, 调查时间从羽化后第 1 天起至第 14 天止, 每天上午 10:00 时调查羽化数, 根据蛹的数量和羽化的成虫数计算羽化率。

#### 1.4.3 产卵量测定

选择成功羽化 1 d 的成虫按雌雄比 1:1 放在以纱布封口的 50 mL 离心管中配对, 期间提供 10%的蜂蜜水补充营养, 将其置于相应的湿度下进行产卵, 自配对起每天上午 10:00 观察产卵量, 直至成虫不再产卵便停止记录, 最后统计其产卵量。

### 1.5 不同温度下番茄潜叶蛾年龄-龄期两性生命表的建立

试验设定 15、20、25、30、 $35^{\circ}\text{C}$ 共 5 个温度梯度。试验均在恒温培养箱中进行, 温差范围为  $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。将同一天在  $25^{\circ}\text{C}$  环境下孵化的 500 粒番茄潜叶蛾卵, 分为 5 组, 每组 100 粒。将 1 粒卵和新鲜的番茄叶放入 P2(直径 7 cm)午餐盒中, 放入不同温度的培养箱。每天上午 10:00 观察 1 次, 记录卵孵化历期及存活情况。初孵幼虫继续置于 P2 中, 每盒 1 头幼虫, 用新鲜番茄叶片饲喂。每天更换新鲜番茄叶片, 记录各龄期幼虫的发育期和存活情况, 从初孵至化蛹为幼虫发育期, 从化蛹至羽化为蛹期, 羽化当天选取当天羽化的雌雄成虫, 按 1:1 的比例分别放入 50 mL 离心管中, 用纱布封口, 用 10%蜂蜜水补充营养。每天记录产

卵量和成活情况，直至全部成虫死亡。

利用年龄一阶段两性种群生命表的原理对原始数据进行分析 (Chi *et al.*, 1985)，记录雄、雌两性种群的发育历期、幼虫存活率、化蛹率、羽化率、产卵量和成虫寿命，根据日产卵量和种群存活率计算某一年龄阶段特征存活率 ( $S_{xj}$ )，即个体由卵发育到年龄  $x$  及龄期  $j$  时的概率；雌虫年龄一阶段特征繁殖力 ( $f_x$ )，即雌成虫在年龄  $x$  时的产卵量；种群年龄一阶段特征存活率 ( $l_x$ )，即从卵发育到年龄  $x$  的存活率；种群年龄一阶段特征繁殖力 ( $m_x$ )，即种群在年龄  $x$  时的平均产卵量；种群年龄一阶段特征繁殖值 ( $l_x m_x$ )，即种群在年龄  $x$  时的净繁殖力。

## 1.6 数据分析

采用 SPSS 26 软件计算试验中所有数据的平均值和标准误，对不同相对湿度和温度下番茄潜叶蛾的发育历期、产卵量、幼虫存活率、化蛹率和卵成虫概率进行方差分析，使用 Tukey's HSD 法进行差异显著性检验。利用 TWOSEX-MSCHART 和 Origin 2021 绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 相对湿度对番茄潜叶蛾化蛹、羽化及产卵的影响

在 10%~75%相对湿度条件下，番茄潜叶蛾化蛹率（老熟幼虫化蛹后成活的比例）为 15%~49.16%。当相对湿度为 75%时其化蛹率最高，为 49.16%；相对湿度为 50%时化蛹率次之，为 45.83%。当湿度为 75%时，其羽化率最高，为 49.33%；50%、25%次之，为 34.66%、21.33%。在 10%~75%相对湿度条件下，番茄潜叶蛾成虫均能正常产卵，其中相对湿度为 75%时的产卵量最高且显著高于相对湿度 10%的产卵量，10%、25%、50%相对湿度的产卵量之间也无显著差异（表 1）。

表 1 不同湿度下番茄潜叶蛾化蛹率、羽化率及产卵量

Table 1 Pupation rate, feathering rate and oviposition rate of *Tuta absoluta* under different humidity

相对湿度 (%)	化蛹率 (%)	羽化率 (%)	产卵量 (粒)
Relative humidity	Pupation rate	Feathering rate	Spawn production (grains)
75	49.16 ± 0.83 a	49.33 ± 4.52 a	129.67 ± 22.60 a
50	45.83 ± 1.86 ab	34.66 ± 2.49 ab	112.00 ± 46.55 ab
25	41.66 ± 2.82 b	21.33 ± 3.26 bc	37.00 ± 8.50 ab
10	17.50 ± 3.06 c	17.50 ± 3.06 c	12.00 ± 8.50 b

注：表中数值为平均值±标准误。同列数据后不同小写英文字母表示在 0.05 水平差异显著。Note: Data in the table were mean ±SE.

Different lowercase letters in the same column indicated significant different at 0.05 level.

## 2.2 温度对番茄潜叶蛾各阶段发育历期的影响

在 15~30°C 范围内番茄潜叶蛾均能正常发育，但 35°C 时番茄潜叶蛾蛹无法羽化为成虫。在 15~30°C 范围内，15°C 时各虫态的发育历期最长，30°C 时最短，可见，从 15°C 到 30°C，随着温度的升高，番茄潜叶蛾的发育历期逐渐缩短。其中卵期发育历期在 15~25°C 下随温度升高显著降低，25、30°C 条件下差异不显著；幼虫期和蛹期发育历期在 15~30°C 下随温度升高显著降低；成虫期在 15、20°C 条件下的发育历期显著高于 25、30°C，但 15°C 和 20°C 的发育历期差异不显著，25°C 和 30°C 的发育历期差异也不显著（表 2）。

表 2 不同温度下番茄潜叶蛾各阶段发育历期

Table 2 Developmental duration of each stage of *Tuta absoluta* at different temperatures

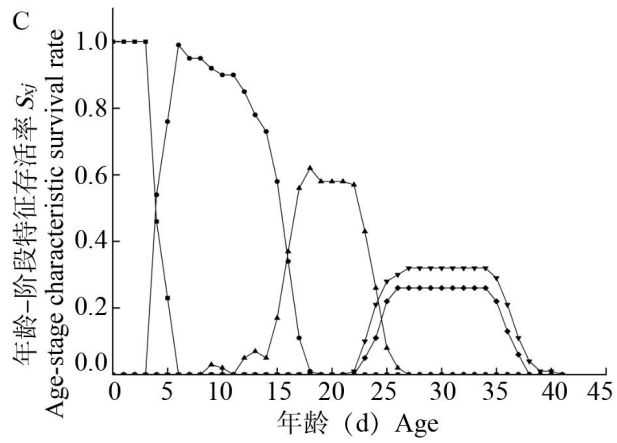
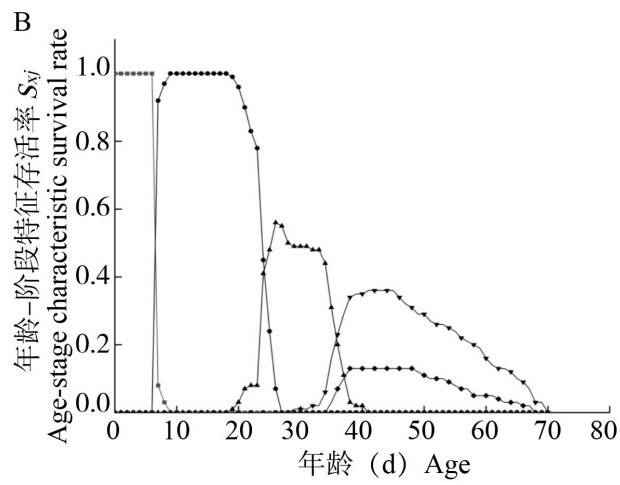
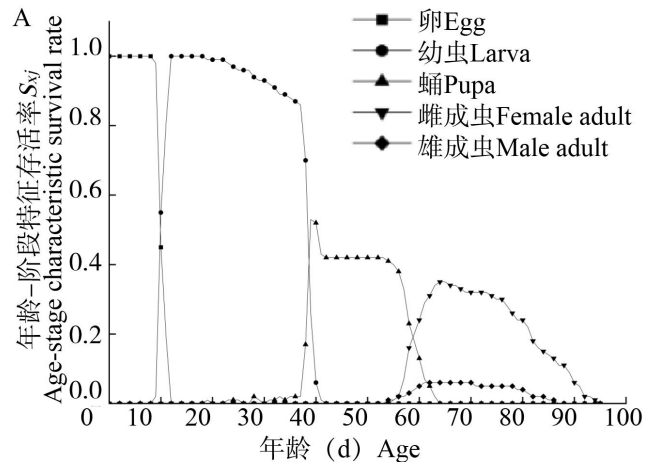
发育阶段 Developmental stage	发育历期 (d) Developmental duration				
	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
卵 Egg	10.80 ± 0.49 a	7.20 ± 0.20 b	4.60 ± 0.24 c	4.20 ± 0.20 c	3.20 ± 0.20 d
幼虫期 Larval stage	27.80 ± 0.37 a	17.00 ± 0.45 b	12.00 ± 0.32 c	7.60 ± 0.24 d	8.60 ± 0.24 e
蛹 Pupa	19.80 ± 1.64 a	12.20 ± 0.84 b	7.60 ± 0.55 c	5.40 ± 0.55 d	-
成虫 Adult	28.00 ± 1.52 a	24.60 ± 1.69 a	12.00 ± 0.32 b	8.60 ± 0.51 b	-

注：表中数值为平均值±标准误。同列数据后不同小写英文字母表示在 0.05 水平差异显著。Notes: Data in the table were mean ±SE.

Different lowercase letters in the same column indicated significant different at 0.05 level.

## 2.3 温度对番茄潜叶蛾年龄-阶段特征存活率的影响

在 15°C 时，卵期的孵化率（存活率）最高，为 88.5%，其他阶段的孵化率（存活率）无显著差异，20°C、25°C、30°C、35°C 下存活率分别为 79%、78%、81.6% 和 79.6%（图 1-A~E）；在 35°C 条件下，番茄潜叶蛾未能完成整个世代的发育，100% 蛹羽化失败（图 1-E），说明 35°C 及以上温度条件不利于番茄潜叶蛾的生长发育。除卵期外，幼虫在 20°C 存活率最高，为 85.5%；蛹在 30°C 存活率最高，为 43.33%。番茄潜叶蛾的寿命会随着温度的升高而减少，当温度为 15°C 时，从卵到成虫的寿命最长可达 90 d；然而，在 30°C 时，寿命仅为 34 d。



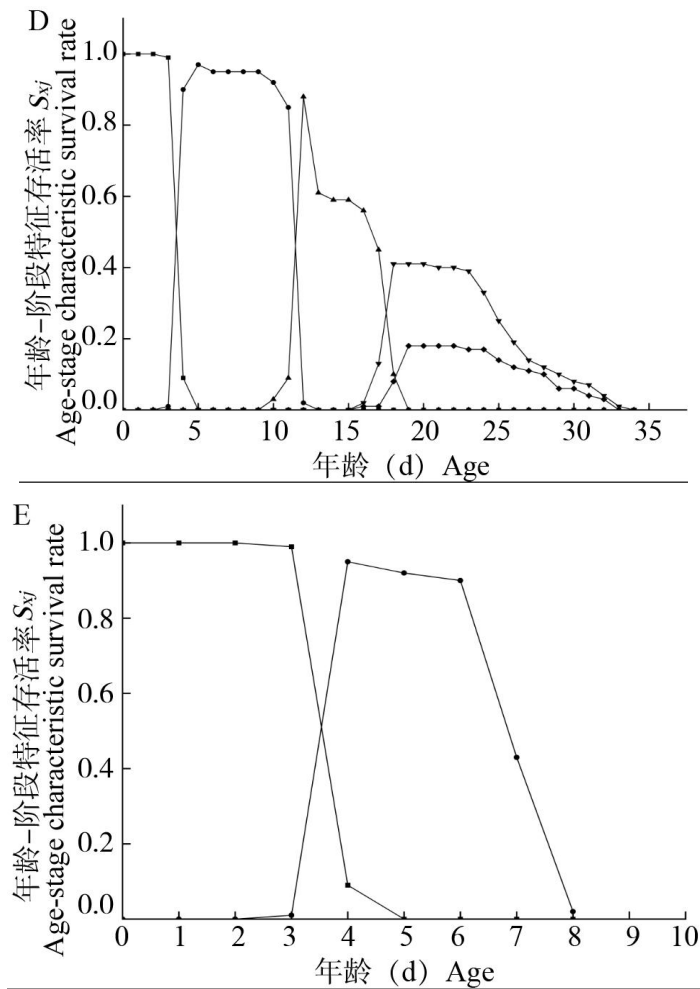


图 1 不同温度下番茄潜叶蛾年龄-阶段特征存活率  $s_{xy}$

Fig.1 Age-stage characteristic survival rate of *Tuta absoluta* at different temperatures

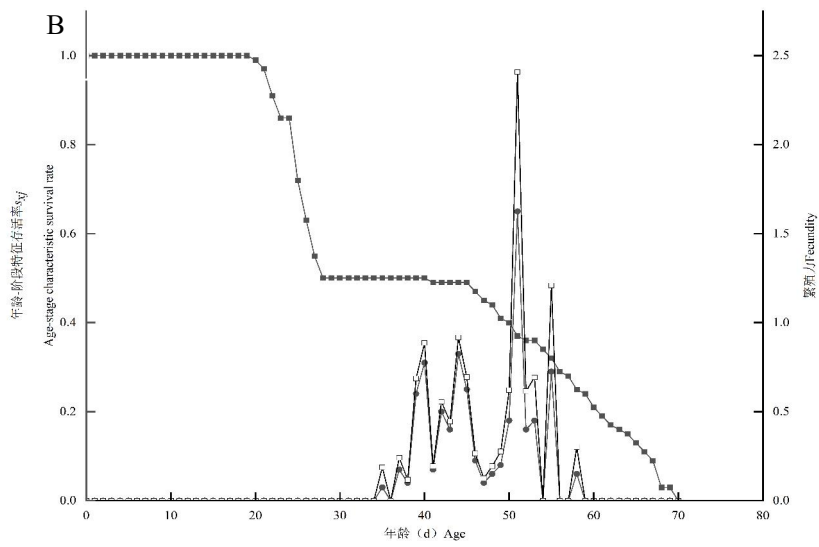
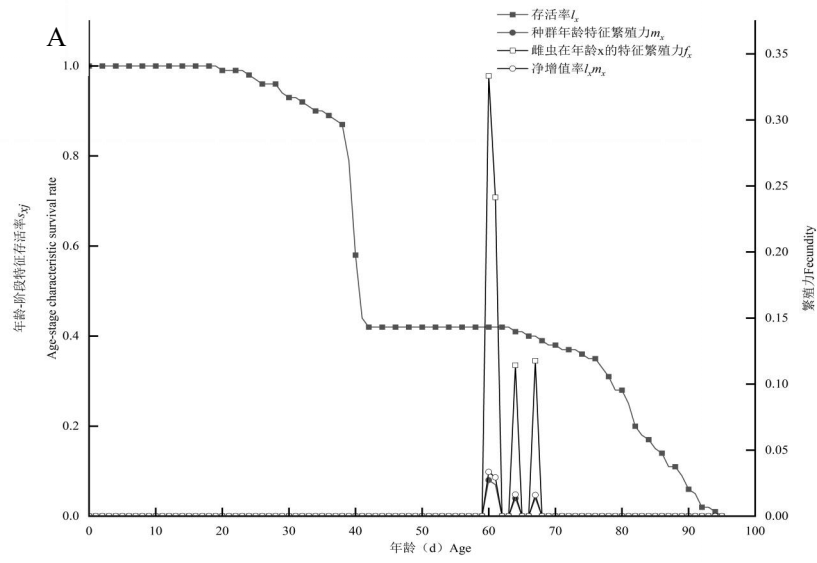
注: A, 15°C; B, 20°C; C, 25°C; D, 30°C; E, 35°C。

#### 2.4 温度对番茄潜叶蛾年龄-阶段特征存活率和繁殖力的影响

繁殖力曲线由曲线  $l_x$ 、 $m_x$ 、 $f_{xy}$ 、 $f_x m_x$  共同组成。(1)  $l_x$  是指个体发育到年龄  $x$  的存活率, 番茄潜叶蛾在 15°C、20°C、25°C、30°C、35°C 温度条件下的  $l_x$  曲线具备相同的趋势, 即前期曲线平稳下降, 中期急速下降, 后期趋于平缓, 表明不同温度条件下番茄潜叶蛾种群内个体死亡主要发生于幼虫到蛹期, 使得存活率  $l_x$  在种群发育的中期变化较大, 而后期种群内个体的死亡情况趋于缓和。(2)  $f_{xy}$  表示雌性成虫个体在年龄  $x$ 、发育阶段  $j$  的产卵量。4 种温度 15°C、20°C、25°C、30°C 下番茄潜叶蛾产卵高峰日及高峰日产卵量分别为: 62 d 和 7 粒、37 d 和 35 粒、32 d 和 43 粒、23 d 和 26 粒, 表明极限温度会制约番茄潜叶蛾的产卵量, 低温延长其产卵高峰日。(3) 特定年龄-阶段繁殖力  $m_x$  是指番茄潜叶蛾在年龄  $x$  时的平均产卵量。4 种温度下番茄潜叶蛾的繁殖力峰值分别为 0.08、0.65、3.44、0.79, 成虫在 25°C 条件下繁殖最快, 产卵量最高, 为 112 粒。(4)  $f_x m_x$  表明 4 种温度 (15°C、20°C、25°C、30°C)



下，极限温度影响番茄潜叶蛾的产卵高峰及产卵量，即温度越低，产卵高峰日越晚，产卵最适温度为 25°C（图 2）。



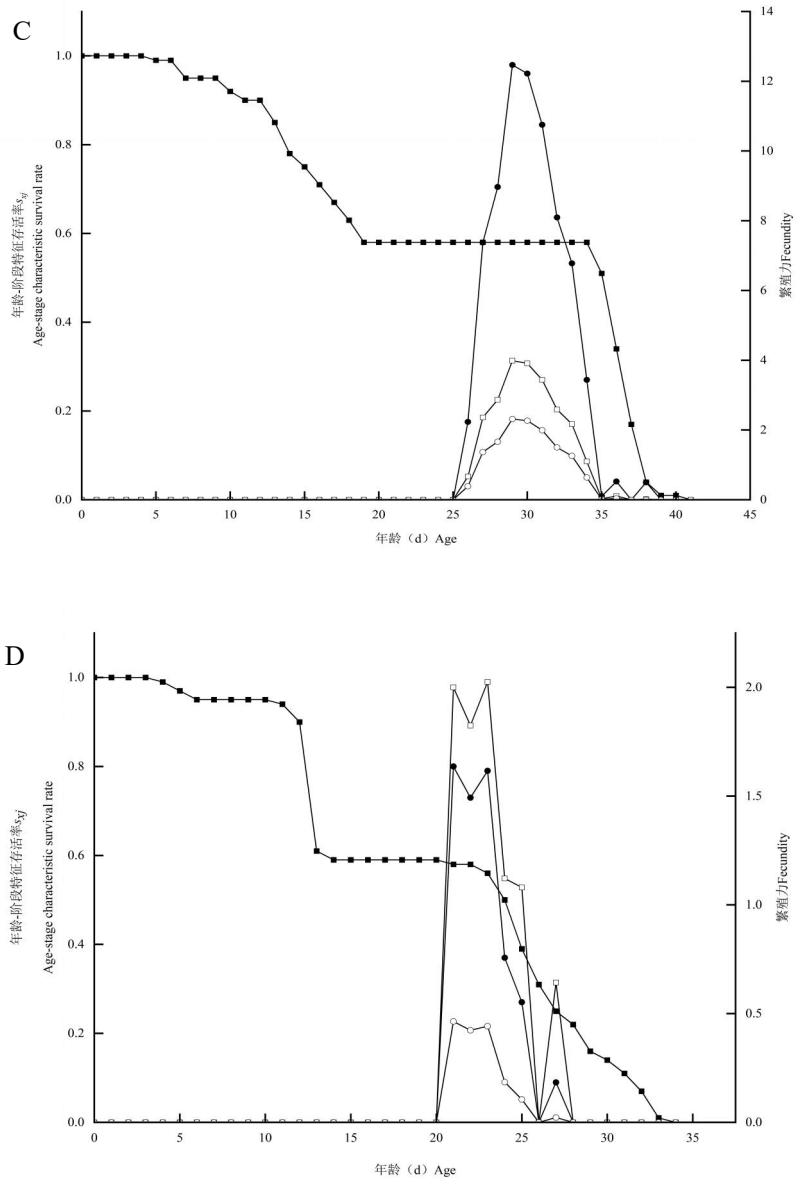


图2 不同温度下番茄潜叶蛾年龄-阶段特征存活率和繁殖力

Fig.2 Age-stage characteristics, survival rate and fecundity of *Tuta absoluta* at different temperatures

注: A, 15°C; B, 20°C; C, 25°C; D, 30°C。

## 2.5 温度对番茄潜叶蛾种群参数的影响

4种温度(15°C、20°C、25°C、30°C)下,番茄潜叶蛾平均世代周期随着温度的升高而显著降低;净增值率( $R_0$ )与周增长率( $\lambda$ )在15~25°C下随温度升高呈显著增长趋势,30°C较25°C又显著降低;内禀增长率( $r$ )由高到低的温度依次为25°C、30°C、20°C、15°C,且均差异显著;4种温度(15°C、20°C、25°C、30°C)下,温度升高有利于番茄潜叶蛾生长发育,但当温度达到30°C时种群发育受限且35°C及以上均无法完成整个世代的发育(表3)。

表 3 不同温度下番茄潜叶蛾的种群生命表参数

Table 3 Population life table parameters of *Tuta absoluta* at different temperatures

温度 (°C)	净增值率 $R_0$	内禀增长率 $r/d^{(-1)}$	世代平均周期 $T/d$	周限增长率 $\lambda/d^{(-1)}$
Temperature	Intrinsic rate of increase	Intrinsic growth rate	Generation average Cycle	Weekly growth rate
15	0.23 ± 0.16 c	-0.02 ± 0.01 d	63.30 ± 21.48 a	0.98 ± 0.33 c
20	3.49 ± 1.18 b	0.03 ± 0.01 c	47.33 ± 1.77 b	1.03 ± 0.01 b
25	23.26 ± 3.51 a	0.10 ± 0.01 a	30.82 ± 0.20 c	1.11 ± 0.01 a
30	3.05 ± 1.05 b	0.05 ± 0.02 b	23.60 ± 0.49 d	1.05 ± 0.02 b
35	-	-	-	-

注: 表中数值为平均值±标准误。同列数据后不同小写英文字母表示在 0.05 水平差异显著。Notes: Data in the table were mean ±SE.

Different lowercase letters in the same column indicated significant different at 0.05 level.

### 3 结论与讨论

温度和湿度对昆虫生长和繁殖的影响较为普遍 (Fang *et al.*, 2013)。温度通过影响昆虫的发育、生存和繁殖力来影响昆虫的种群动态 (Jack *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2017), 一些昆虫在极端温度下会不育甚至死亡, 而且不同种类的昆虫对发育的适宜温度范围不同, 同一种类的昆虫在不同发育阶段对温度的要求也不同 (Nguyen *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2019)。不同种类的昆虫受到温度变化的影响, 其卵的孵化、幼虫的发育和蛹化功能也会受到相应影响 (Pan *et al.*, 2014; Jiang *et al.*, 2015)。温度对昆虫发育的影响可能因物种而异, 但较低的温度通常会导致发育速率下降, 各发育阶段的持续时间延长。研究表明, 在 15~30°C 的温度范围内, 番茄潜叶蛾不同阶段的发育时间随着温度的升高而缩短, 该结论与 (Li *et al.*, 2019) 基本一致。然而, 当温度为 35°C 时, 蛹停止发育, 表明高温对番茄潜叶蛾的发育会产生不利影响。在实验室条件下, 15~30°C 的温度范围适合番茄潜叶蛾的发育。事实上, 在昆虫生长发育的适宜温度范围内, 温度与生长发育之间的关系通常在环境不受限制的中间温度范围内呈线性关系, 在昆虫能够生长发育的整个温度范围内则呈曲线关系 (Andrewartha *et al.*, 1954; Arbab *et al.*, 2006)。本研究结果表明番茄潜叶蛾幼虫存活率、雌虫产卵量、净繁殖率、内在生长率和周限生长率均在 25°C 时最高。相对湿度影响昆虫的代谢, 进而影响昆虫的繁殖、生长发育和存活率等 (Li *et al.*, 2016), 切割潜蝇茧蜂 *Psytalia incisi* (Silvestri) 在 35% RH 时, 无法交配产卵 (Liang *et al.*, 2006)。梨小食心虫 *Grapholitha molesta* (Busck) 随着湿度的增加种群数量和蛀果率相应增加, 湿度越高, 害虫

寿命延长, 越利于其产卵、化蛹和羽化 (Yu *et al.*, 2017)。Riordan 等人 (1957) 认为, 高温可能会导致暂时或永久不育, 或使储存在精囊中的精子失活, 从而降低生育能力。本试验表明, 番茄潜叶蛾在 15°C、30°C 时产卵量较少, 这表明低温也会导致不育。因此, 低温和高温都会导致卵巢发育停滞。本研究中相对湿度会影响番茄潜叶蛾化蛹、羽化及产卵量, 最佳昆虫种群繁殖的推荐湿度水平为相对湿度 75%, 而影响不育的机制需要进一步开展研究。

生命表是分析和了解外部因素对昆虫种群的生长、存活、繁殖和增长率的影响的手段 (Bellows *et al.*, 1992)。此外, 两性生命表主要用于了解在实验室条件下研究的成虫种群的年龄动态 (Aysal *et al.*, 2008), 在番茄潜叶蛾的研究较少, 本研究数据表明, 温度会影响番茄潜叶蛾的存活率、寿命和繁殖力, 种群生命表参数能够较好的反应这种影响, 本研究发现 25°C 是番茄潜叶蛾种群生长和发育的最佳温度, 获得该关键温度是在实验室恒温条件下估算的参数, 而在自然条件下是否适用, 还需要更多的关键证据 (Omer *et al.*, 1996; Infante *et al.*, 2000)。不过, 在不同温度下进行的实验室研究可提供有关昆虫发育、存活和繁殖的有用信息 (Wang *et al.*, 1997), 这对制定有效的虫害综合防治计划至关重要。总之, 温度对番茄潜叶蛾的繁殖有较大的影响。番茄潜叶蛾对极端高温敏感, 高温抑制蛹的发育。近年来极端温度在新疆地区发生频繁, 夏季温度高于 39°C, 而番茄潜叶蛾在 6-8 月较少危害露地大田种植的番茄, 这种现象产生的原因与极端高温直接相关。新疆地处温带大陆性气候, 冬季时间长, 气候严寒, 夏季时间短, 气候炎热, 利用温度控制番茄潜叶蛾在新疆各区域的发生, 可成为防控该区域番茄潜叶蛾的有效手段, 如冬季冻棚及夏季高温闷棚等方式, 或者利用番茄潜叶蛾在新疆发生的规律, 利用关键期防控, 同时改变播期以有效控制番茄潜叶蛾的发生。

### 参考文献(References)

- Ahn JJ, Choi KS. Population parameters and growth of *Riptortus pedestris* (Fabricius) (Hemiptera: Alydidae) under fluctuating temperature [J]. *Insects*, 2022, 13: 113.
- Andrewartha HG, Birch LC. The Distribution and Abundance of Animals [M]. Chicago: Chicago University Press, 1954.
- Arbab A, Kontodimas CD, Sahragard A. Estimating development of *Aphis pomi* (degeer) (homoptera: aphididae) using linear and nonlinear models [J]. *Environmental Entomology*, 2006, 35 (5): 1208-1215.
- Aysal T, Kivan M. Development and population growth of *Stephanitis pyri* (F.) (Heteroptera: Tingidae) at five temperatures [J]. *Journal of Pest Science*, 2008, 81: 135-141.
- Bellows TS, Jr van Driesche RG, Elkinton JS. Life table construction and analysis in the evaluation of natural enemies [J]. *Annual Review of Entomology*, 1992, 37: 587-614.

- Biondi A, Guedes CNR, Wan F, *et al.* Ecology, worldwide spread, and management of the invasive south american tomato pinworm, *Tuta absoluta*: Past, Present, and Future [J]. *Annual Review of Entomology*, 2018, 63 (1): 239-258.
- Chang XN, Gao HJ, Chen FJ, *et al.* Effects of environmental humidity and rainfall on insects [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 4: 619-625. [常晓娜, 高慧璟, 陈法军, 等. 环境湿度和降雨对昆虫的影响 [J]. 生态学杂志, 2008, 4: 619-625]
- Chao XT. Effects of Environmental Factors on Growth, Development and Reproduction of *Diaphania angustalis* (Snellen) [D]. Nanning: Guangxi University, 2020. [晁雪庭. 环境因子对绿翅绢野螟生长发育和繁殖的影响 [D]. 南宁: 广西大学, 2020]
- Chen LM, Li XW, Zhang JM, *et al.* Comprehensive metabolome and volatilome analyses in eggplant and tomato reveal their differential responses to *Tuta absoluta* in festation [J] *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 757230.
- Chi H, Liu H. Two new methods for the study of insect population Ecology [J]. *Environmental Science*, 1985, 24 (2): 225-240.
- Cong SB, Xu D, Wang JT, *et al.* Effects of temperature on growth, development and reproduction of *Chelonus pectinophorae* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35 (2): 180-184. [丛胜波, 许冬, 王金涛, 等. 温度对红铃虫甲腹茧蜂生长发育与繁殖的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (2): 180-184]
- Desneux N, Luna MG, Guillemau DT, *et al.* The invasive south American Tomato Pinworm, *Tuta absoluta*, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: The new threat to tomato world production [J]. *Journal of Pesticide Science*, 2011, 84 (4): 403-408.
- Fang YS, Liao HJ, Qian Q, *et al.* Combined effect of temperature and humidity on eggs of *Cnaphalocrocis medinalis* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2013, 56 (7): 786-791. [方源松, 廖怀建, 钱秋, 等. 温湿度对稻纵卷叶螟卵的联合作用 [J]. 昆虫学报, 2013, 56 (7): 786-791]
- Gao GZ, Lv ZZ, Xia DP, *et al.* Effects of high temperature stress and its duration on the death and reproduction of *A. gossypi* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (23): 7568-7575. [高桂珍, 吕昭智, 夏德萍, 等. 高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32 (23): 7568-7575]
- Gao P, Xing J, Wang HP. Effects of temperature on growth, development and reproduction of *Carposina niponensis* Walsingham [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46 (7): 88-90. [高萍, 邢俊, 王洪平. 温度对桃小食心虫生长发育与繁殖的影响 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46 (7): 88-90]
- Hao GZ, Xing LY, Liang QW. Humidity fixed point of saturated brine solution(1)—principle and preparation [J]. *Sensor World*, 1999, 11: 1-4. [郝光宗, 邢丽缘, 梁强威. 饱和盐水溶液湿度固定点(1)—原理及制备 [J]. 传感器世界, 1999, 11: 1-4]
- Hao GZ, Xing LY, Liang QW. Humidity fixed point of saturated brine solution(2)—data source and salt solution selection [J]. *Sensor World*, 1999, 12: 10-14. [郝光宗, 邢丽缘, 梁强威. 饱和盐水溶液湿度固定点(2)—数据来源与盐溶液选择 [J]. 传感器世界, 1999, 12: 10-14]
- Infante F. Development and population growth rates of *Prorops nasuta* (Hym, Bethyridae) at constant temperatures [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2000, 124: 343-348.

- Jack F, Gah, Guy W. Growth and development rates have different thermal responses [J]. *The American Naturalist*, 2011, 178 (5): 668-678.
- Jiang FZ, Zheng LY, Guo JX, *et al.* Effect of temperature on insect fecundity and its physiological and biochemical mechanism [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (3): 653-663. [蒋丰泽, 郑灵燕, 郭技星, 等. 温度对昆虫繁殖力的影响及其生理生化机制 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (3): 653-663]
- Kong XX. Study on the Life Table and Aphid Control Effect of *Hippodamia variegata* under Different Temperature Conditions [D]. Shihezi: Shihezi University, 2019. [孔晓霞. 不同温度条件下多异瓢虫的生命表及控蚜作用研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2019]
- Li AH, Sun RH, Zhang Y, *et al.* Effect of temperature and humidity on the fertility of adult *Carposina niponensis* (Walsingham) [J]. *Insect Knowledge*, 2006, 6: 867-869. [李爱华, 孙瑞红, 张勇, 等. 温湿度对桃小食心虫成虫生殖力的影响 [J]. 昆虫知识, 2006, 6: 867-869]
- Li D, Li XW, Ma L, *et al.* Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2019, 62 (12): 1417-1426. [李栋, 李晓维, 马琳, 等. 温度对番茄潜叶蛾生长发育和繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2019, 62 (12): 1417-1426]
- Li GJ, Xu XH, Zhang HL, *et al.* Effect of short-term high temperature exposure on survival and reproductive characteristics of *Nilaparvata lugens* [J]. *Chinese Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 48 (9): 1747-1755. [李干金, 徐显浩, 张海亮, 等. 短时高温暴露对褐飞虱存活和生殖特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (9): 1747-1755]
- Li L, Niu LM, Zhang FP. Effects of habitat and meteorological factors on the population dynamics of male adults of *Paradacus depress* [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2016, 37 (9): 1793-1798. [李磊, 牛黎明, 张方平, 等. 生境及气象因子对南瓜实蝇雄成虫数量动态的影响 [J]. 热带作物学报, 2016, 37 (9): 1793-1798]
- Li WB, Gao Y, Cui J, *et al.* Effects of temperature on the development and fecundity of *Atractomorpha sinensis* (Orthoptera: Pyrgomorphidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2020, 113: 2530-2539.
- Li ZQ, Qiu YP, Xiang X, *et al.* Preliminary study on the effect of humidity on the growth and development of *Conopomorpha sinensis* [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2009, 1: 63-64. [李志强, 邱燕萍, 向旭, 等. 湿度对荔枝蒂蛀虫生长发育的影响初探 [J]. 广东农业科学, 2009, 1: 63-64]
- Liang GH, Chen JH, Huang JC. Effect of humidity on the survival and development of *Bactrocera dorsalis* and parasitic wasps [J]. *East China Entomologica Sinica*, 2006, 3:196-200. [梁光红, 陈家骅, 黄居昌. 湿度对橘小实蝇及寄生蜂存活与发育的影响 [J]. 华东昆虫学报, 2006, 3: 196-200]
- Lu YY. Vigilance against the continuous spread and invasion of *Tuta absoluta* (Meyrick) in China [J]. *Chinese Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (2): 526-528. [陆永跃. 警惕番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick)在我国持续扩散入侵 [J]. 环境昆虫学报,

2021, 43 (2): 526-528]

- Ma JF, Li LT, Gan YJ, *et al.* Effect of humidity on the growth, development and reproduction of *Spodoptera exigua* [J]. *China Plant Protection Guide*, 2014, 34 (7): 46-50. [马继芳, 李立涛, 甘耀进, 等. 湿度对二点委夜蛾生长发育及繁殖的影响 [J]. 中国植保导刊, 2014, 34 (7): 46-50]
- Nguyen MT, Bressac C, Chevrier C. Heat stress affects male reproduction in a parasitoid wasp [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2013, 59 (3): 248-254.
- Omer AM, Johnson MW, Tabashnik BE. Demography of the leafminer parasitoid *Ganaspidium unilis* (Beardsley) (Hymenoptera: Eucolidae) at different temperatures [J]. *Biological Control*, 1996, 6: 29-34.
- Pan F, Chen MC, Xiao TB, *et al.* Research progress on the effects of temperature change on insect growth, development and reproduction [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (2): 240-246. [潘飞, 陈绵才, 肖彤斌, 等. 变温对昆虫生长发育和繁殖影响的研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (2): 240-246]
- Riordan DF. Effects of high temperature on the fertility of *Dahlbominus fuscipennis* (Zett.) (Hymenoptera: Chalcidoidea) [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1957, 35: 603-608.
- Tan YX. Study on the Occurrence and Dispersal Law and Monitoring Technology of *Tuta absoluta* (Meyrick) in Xinjiang [D]. Alal: Tarim University, 2023. [谈钺汐. 新疆番茄潜叶蛾发生、扩散规律及监测技术研究 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2023]
- Tian XY, Gao Y, Ali MY, *et al.* Impact of temperature on age-stage, two-sex life Table analysis of a Chinese population of Bean Bug, *Riptortus Pedestris* (Hemiptera: Alydidae) [J]. *Agriculture*, 2022, 12: 1505.
- Wang K, Tsai JH, Harrison NA. Influence of temperature on development, survivorship, and reproduction of *Buckthorn Aphid* (Homoptera: Aphididae) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1997, 90: 62-68.
- Xiang M, Fan TS, Hu HX, *et al.* Effect of short-term high temperature on survival and reproduction of *Calliptamusitalicus* [J]. *Acta Applicónica Entomologica Applied*, 2017, 54 (3): 426-433. [向敏, 樊泰山, 扈鸿霞, 等. 短时高温对意大利蝗存活和生殖的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 54 (3): 426-433]
- Yang JQ, Qiu YL, Lei Z, *et al.* Effects of temperatures on the development and reproduction of the armyworm, *Mythimna roseilinea*: Analysis using an age-stage, two-sex life table [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 17 (7): 1506-1515.
- Yang SJ, Qiu WW, Shi MZ, *et al.* Construction of hermaphroditic life tables in experimental populations of *Lasioderma serricorne* under different humidity [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33 (2): 177-185. [杨绍佳, 邱雯雯, 史梦竹, 等. 不同湿度下烟草甲实验种群两性生命表的构建 [J]. 福建农业学报, 2018, 33 (2): 177-185]
- Yu Q, Feng YT, Guo XJ, *et al.* Effect of humidity on the survival and reproduction of *Grapholitha molesta* Busck [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2017, 60 (6): 659-665. [庾琴, 封云涛, 郭晓君, 等. 湿度对梨小食心虫存活和繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2017, 60 (6): 659-665]

- Zhang C, An SB, Hou YY, *et al.* Study on the starting temperature and effective accumulated temperature of *Trichogramma leucaniae* with *Antheraea pernyi* eggs as breeding hosts [J]. *Acta Entomologica Sinica Environmental Entomology*, 2019, 41 (2): 283-287. [张晨, 安仕博, 侯洋阳, 等. 柞蚕卵为繁育寄主的黏虫赤眼蜂发育起点温度和有效积温研究 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (2): 283-287]
- Zhang GF, Xian XQ, Zhang YB, *et al.* Beware of the spread of *Tuta absoluta* (Meyrick) in China [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (2): 281-286. [张桂芬, 洗晓青, 张毅波, 等. 警惕南美番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick)在中国扩散 [J]. 植物保护, 2020, 46 (2): 281-286]
- Zhang GF, Zhang YB, Xian XQ, *et al.* Occurrence and prevention and control measures of *Tuta absoluta*, an emerging major agricultural insect [J]. *Plant Protection*, 2022, 48 (4): 51-58. [张桂芬, 张毅波, 洗晓青, 等. 新发重大农业入侵害虫番茄潜叶蛾的发生为害与防控对策 [J]. 植物保护, 2022, 48 (4): 51-58]
- Zhang RZ. Hazards of *Tuta absoluta* (Povolny) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (5): 996. [张润志. 番茄潜麦蛾 *Tuta absoluta* (Povolny)危害状(果实) [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (5): 996]