

短时温度胁迫对蝇蛹俑小蜂 发育历期和寿命的影响*

郑 苑** 李敦松***

(广东省农业科学院植物保护研究所, 农业农村部华南果蔬绿色防控重点实验室, 广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640)

摘 要 【目的】明确短时温度胁迫对蝇蛹俑小蜂 *Splangia endius* 的影响, 探究蝇蛹俑小蜂的低龄期阶段对高温或低温胁迫的耐受性差异。【方法】将被蝇蛹俑小蜂寄生 1、2、4 和 6 d 后的家蝇蛹分别置于 40 °C 或 5 °C 条件下, 处理 4 h 后置于室温 (24 °C) 饲养, 解剖观察蝇蛹俑小蜂各虫态的发育历期及成蜂寿命。【结果】经高温或低温胁迫处理后, 蝇蛹俑小蜂各虫态的发育历期受到明显的影响。寄生后不同时间进行高温胁迫处理, 蛹历期受到的影响较大, 各处理与对照均有显著差异 (高温: $F_{4,145}=21.122$, $P<0.001$; 低温: $F_{4,145}=3.387$, $P<0.05$), 在 2 日龄进行高温胁迫处理后寄生蜂的蛹期较其他处理大大缩短, 仅 4.00 d; 低温胁迫后各日龄处理的寄生蜂的卵期、预蛹期和蛹期均延长, 且长于高温胁迫后的处理, 以预蛹期延长最为显著。温度胁迫对成蜂的寿命影响不大, 但雌雄蜂寿命在温度胁迫后表现出不同的差异。温度胁迫后, 雌雄蜂的后足胫节长度均显著短于对照。【结论】短时高温或低温胁迫均影响蝇蛹俑小蜂的生长发育, 卵对温度胁迫更加敏感。

关键词 高温胁迫; 低温胁迫; 发育历期; 寿命; 后足胫节

Effects of temperature stress on development duration and longevity of *Splangia endius*

ZHENG Yuan** LI Dun-Song***

(Institute of Plant Protection, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Green Prevention and Control on Fruits and Vegetables in South China Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Guangzhou 510640, China)

Abstract [Objectives] The organisms are forced to face the challenge of extreme high temperature or cold weather for growth, development, reproduction and survival. We aimed to explore the effect of short-term temperature stress on *Splangia endius*, to understand the differences in the tolerance on heat or cold stress when they were in low-age stage. **[Methods]** The house fly pupae were placed at 40 °C or 5 °C for 4 hours after parasitized by *Splangia endius* 1 day, 2 days, 4 days, 6 days later, and then raised at 24 °C, dissected and observe development duration and adult longevity of *S. endius*. **[Results]** The results showed that short-term temperature stress had significant effects on the development duration of *S. endius*. Heat stress had the greatest effect on the pupal stages, significant differences were found between each treatment and the control (heat stress: $F_{4,145}=21.122$, $P<0.001$; cold stress: $F_{4,145}=3.387$, $P<0.05$). When the 2-day-old parastitoids were treated by heat stress, the pupal stages were only 4.00 days, greatly shortened than the other treatments. The durations of egg, prepupal and pupal stages of the parastitoids were significantly prolonged after cold stress treatment, which were longer than heat stress treatments. The extension of prepupal stages was the most significantly. The temperature stress had little effect on the longevity of adult, but the longevity of female and male showed different differences. After the temperature stress, the adult hind tibia length of female or male were significantly shorter than that of control. **[Conclusion]** The short-term heat stress or cold stress affects

*资助项目 Supported projects: 国家荔枝龙眼产业技术体系 (CARS-32-13)

**第一作者 First author, E-mail: zhengyuan506@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: dsli@gdpri.cn

收稿日期 Received: 2022-05-06; 接受日期 Accepted: 2023-03-31

the growth and development of *S. endius*, the eggs were more sensitive to the temperature stress.

Key words heat stress; cold stress; development duration; longevity; hind tibia length

蝇蛹小蜂 *Splangia endius* Walker 属膜翅目 Hymenoptera、金小蜂科 Pteromalidae, 是实蝇类害虫的一种重要的蛹期寄生蜂, 可以寄生瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* Coquillett、橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel)、印度线果蝇 *Zaprionus indianus* Gupta 和番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* (Bezzi) 等 (Marchiori and Silva, 2003; Kitthawee *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2014; Tang *et al.*, 2015; 赵海燕等, 2016)。在美国, 蝇蛹小蜂已经商业化生产用于防治家蝇 *Musca domestica* (章玉苹等, 2010)。在 26 °C, RH 70%, L:D=14:10 条件下, 蝇蛹小蜂 24 h 内可寄生 31.6 个橘小实蝇蛹 (章玉苹等, 2010); 在瓜实蝇、南瓜实蝇 *Bactrocera tau* (Walker)、橘小实蝇同时存在的情况下, 蝇蛹小蜂偏好寄生瓜实蝇, 能寄生 8 cm 厚土壤下的瓜实蝇蛹; 3 和 4 日龄的南瓜实蝇蛹为该蜂寄生的最佳时期 (刘欢等, 2016a; 2016b; 李磊等, 2020)。

实蝇类昆虫种类繁多, 分布广泛, 多发生于温带、亚热带和热带地区 (王翔韩等, 2012; 毛红彦等, 2019), 适生地区温度跨度大, 在我国华南地区都可安全越冬, 包括海南、广东、江西、湖南、福建等省 (自治区、直辖市), 这些地区在冬季受南下冷空气影响, 会有接近 0 °C 的短时极端低温天气 (詹开瑞等, 2006; 吕宝乾等, 2014; 吴淇铭, 2014; 王雁楠等, 2020)。而我国华北和华南地区 7-8 月的日最高气温经常攀升到 38 °C 以上, 野外空气温度通常比周围环境条件高 3 °C 或 3.8 °C, 且可能会持续几小时 (Zhang *et al.*, 2013; Zhou *et al.*, 2018), 这些短时高温或低温对于天敌的生存、贮存、运输及对害虫的防治等环节都极具挑战。

温度是影响昆虫生长发育的重要因子, 作为小型变温动物, 昆虫对温度变化十分敏感, 温度胁迫反应是其抵御极端环境的最保守的机制之一 (王晓迪等, 2021)。温度胁迫是指生物对正常生存温度之外的温度反应, 包括高温胁迫和低温胁迫 (Kang *et al.*, 2009)。

高温胁迫会影响昆虫的发育历期、成虫寿命、产卵量等参数, 进而影响种群的发展 (Klockmann *et al.*, 2017a; 2017b)。如高温胁迫延长了斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis* (Wesmael) 子代蜂幼虫的发育历期 (孟倩等, 2017), 而副珠蜡蚧阔柄跳小蜂 *Metaphycus parasaissetiae* Zhang & Huang 的寿命则随着高温处理时间的延长而缩短, 羽化率也随之降低 (王倩等, 2017); 同样, 低温胁迫也影响着昆虫的生存与发展。随着温度的降低和冷藏时间的增加, 细点扁股小蜂 *Elasmus punctulatus* Verma & Hayat 的羽化率和产卵量均逐渐降低 (周亚奎等, 2011)。为了明确短时温度胁迫对蝇蛹小蜂的影响, 本文以家蝇作为寄主饲养蝇蛹小蜂, 在蝇蛹小蜂寄生家蝇后的不同时期, 分别进行高温或低温胁迫处理, 研究蝇蛹小蜂的发育历期、成蜂寿命和后足胫节长度, 明确蝇蛹小蜂的低龄期阶段对高温或低温胁迫的耐受性差异, 以期最大限度提高蝇蛹小蜂防控实蝇类害虫的效果, 为蝇蛹小蜂的田间应用技术提供相应的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试寄生蜂蝇蛹小蜂采自广东省境内, 通过收集田间杨桃或番石榴落果中的橘小实蝇蛹得到, 在室内以家蝇蛹作为替代寄主饲养, 饲喂 10% 的蜂蜜水作为补充营养。

供试寄主家蝇为本实验室饲养的种群。成虫用奶粉和白糖的混合饲料 (奶粉: 白糖=1:1) 饲养, 幼虫用湿麦麸饲养, 化蛹后收集 1-2 日龄家蝇蛹供寄生蜂寄生。饲养条件均为温度 (24±2) °C、相对湿度 60%-80%、光周期 14L:10D。

1.2 实验方法

参照孟倩等 (2017) 的方法, 将刚羽化的蝇

蛹桶小蜂分别放入直径 3 cm, 长 10 cm 玻璃管中, 同时分别放入 1-2 日龄的家蝇蛹至玻璃管中, 在管壁上用棉花蘸 10% 蜂蜜水作为寄生蜂的补充营养, 以蝇蛹桶小蜂与家蝇蛹比为 1:30 接蜂, 玻璃管口用橡皮筋扎上报纸封口, 将暴露给蝇蛹桶小蜂寄生 1、2、4、6 d 后的家蝇蛹进行高/低温 (40 °C/5 °C) 胁迫处理 4 h (12:00-16:00), 一直进行常温处理的家蝇蛹作为对照。接蜂 24 h 后开始解剖家蝇蛹, 每 8 h 解剖一次, 第 3 天开始每天解剖家蝇蛹, 在体视显微镜下观察和记录蝇蛹桶小蜂各虫态 (卵期、幼虫期、预蛹期、蛹期) 发育经历的时间, 直至其羽化, 每次解剖获得各虫态蝇蛹桶小蜂各 30 头。

将羽化后的成蜂置于带刻度尺的体视显微镜下观察, 测量成蜂后足胫节长度, 每处理分别测定 30 对成蜂。将羽化后的成蜂分别置于透明塑料方盒 (15 cm × 15 cm × 15 cm) 中, 并放入充足的家蝇蛹供寄生, 用棉花蘸 10% 的蜂蜜水作为补充营养, 将塑料方盒置于恒温箱内 [(24±2) °C、RH60%-80%] 培养。每个处理的雌雄蜂分别测定 30 头以上, 每日观察成蜂的存活情况, 并记录寄生蜂每天的死亡数。

1.3 数据分析

所有数据用 Excel 2010 进行数据统计和处理, 采用软件 SAS V9.0 在计算机上进行统计检验, 不同日龄之间的显著差异确定为单因素分析和 Tukey 试验 ($P=0.05$), 高温和低温胁迫处理

后的成蜂寿命的比较采用 t 测验 ($P=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 温度处理对寄生蜂各虫态发育历期的影响

从表 1-表 4 可以看出, 对不同日龄的蝇蛹桶小蜂进行高温胁迫处理, 受影响较大的为蛹期, 均显著缩短 ($F_{4,145}=21.122$, $P<0.001$), 特别是 2 日龄处理的寄生蜂蛹期最短, 仅 4.00 d。其次受到影响较大的是幼虫期 ($F_{4,145}=57.863$, $P<0.001$), 6 日龄处理的寄生蜂进行高温胁迫处理后, 幼虫期较其他处理大大缩短, 仅 8.67 d。和对照相比, 卵历期受影响最小, 各处理与对照均无显著差异 (卵期: $F_{4,145}=1.305$, $P=0.271>0.05$), 其次受影响较小的是预蛹期 (预蛹期: $F_{4,145}=6.121$, $P<0.001$), 仅 4 日龄和 6 日龄处理的寄生蜂的预蛹历期显著延长。

不同日龄蝇蛹桶小蜂经低温胁迫处理后, 发育历期均有所延长 (表 1-表 4)。1 日龄处理的寄生蜂的卵历期明显长于其他处理的 ($F_{4,145}=2.718$, $P=0.032<0.05$); 2 日龄和 4 日龄处理的寄生蜂的幼虫历期显著短于对照 ($F_{4,145}=22.366$, $P<0.001$); 预蛹期则以 1 日龄处理的寄生蜂的最长, 为 7.00 d, 与其他处理和对照均有显著差异 ($F_{4,145}=102.654$, $P<0.001$); 和对照相比, 不同日龄处理的寄生蜂蛹的历期均缩短, 以 2 日龄和 6 日龄处理的寄生蜂的蛹期缩短最为显著 ($F_{4,145}=3.387$, $P=0.011<0.05$)。

表 1 温度胁迫对蝇蛹桶小蜂卵历期的影响
Table 1 Effects of temperature stress on duration of *Splangia endius* egg

胁迫时日龄 (d) Parasitoid age at the time of temperature stress (d)	卵历期 (d) Egg duration (d)		t	df	P
	高温 Heat stress	低温 Cold stress			
1	1.18±0.09 a	1.45±0.08 b*	2.220	58.000	0.030
2	1.00±0.08 a	1.33±0.07 a*	4.072	58.000	0.000
4	1.00±0.08 a	1.23±0.05 a*	2.500	58.000	0.015
6	1.20±0.10 a	1.24±0.08 a	0.288	58.000	0.774
对照 Control	1.12±0.08 a	1.12±0.08 a			

数据为平均值±标准误, 同列数字后标有不同字母表示差异显著 ($P<0.05$, Tukey 检验); *表示同行数据差异显著 (t 检验, $P<0.05$)。下表同。

Data are mean ± SE, and followed by the different letters in the same column indicate significantly different ($P<0.05$, Tukey's test). Data within a row followed by "*" are significantly different by t -test ($P<0.05$). The same below.

表 2 温度胁迫对蝇蛹甬小蜂幼虫期的影响
Table 2 Effects of temperature stress on duration of *Splangia endius* larvae

胁迫时日龄 (d) Parasitoid age at the time of temperature stress (d)	幼虫期 (d) Larvae duration (d)		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
	高温 Heat stress	低温 Cold stress			
1	14.20±0.36 d	12.17±0.26 b*	4.560	58.000	0.000
2	9.90±0.21 b	9.93±0.17 a	0.124	58.000	0.902
4	12.30±0.41 c	10.23±0.22 a*	4.403	44.625	0.000
6	8.67±0.19 a	12.27±0.32 b*	9.753	47.045	0.000
对照 Control	11.55±0.13 bc	11.55±0.13 bc			

表 3 温度胁迫对蝇蛹甬小蜂预蛹期的影响
Table 3 Effects of temperature stress on duration of *Splangia endius* prepupae

胁迫时日龄 (d) Parasitoid age at the time of temperature stress (d)	预蛹期 (d) Prepupae duration (d)		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
	高温 Heat stress	低温 Cold stress			
1	2.60±0.18 a	7.00±0.16 c*	18.502	58.000	0.000
2	2.77±0.16 a	6.30±0.13 b*	17.451	58.000	0.000
4	3.60±0.25 bc	6.43±0.11 b*	10.400	40.851	0.000
6	3.73±0.24 c	6.10±0.18 b*	7.875	54.075	0.000
对照 Control	3.07±0.17 ab	3.07±0.17 a			

表 4 温度胁迫对蝇蛹甬小蜂蛹期的影响
Table 4 Effects of temperature stress on duration of *Splangia endius* pupae

胁迫时日龄 (d) Parasitoid age at the time of temperature stress (d)	蛹期 (d) Pupae duration (d)		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
	高温 Heat stress	低温 Cold stress			
1	5.00±0.16 b	6.77±0.41 ab*	4.004	37.470	0.000
2	4.00±0.15 a	6.23±0.20 a*	9.017	58.000	0.000
4	6.67±0.37 c	6.73±0.38 ab	0.126	58.000	0.900
6	5.20±0.25 b	5.80±0.34 a	1.419	53.338	0.162
对照 Control	7.67±0.50 d	7.67±0.50 b			

经高温或低温胁迫处理后, 蝇蛹甬小蜂各虫态的发育历期受到明显的影响, 低温胁迫后各日龄处理的寄生蜂预蛹期明显延长, 且长于高温胁迫后的处理; 幼虫期以高温处理后的历期跨度较大, 介于 8.67-14.20 d, 相差 5.53 d; 低温处理后的幼虫历期介于 9.93-12.27 d, 相差 2.34 d; 从表 5

表 5 温度胁迫对蝇蛹甬小蜂成虫前期的影响
Table 5 Effects of temperature stress on duration of *Splangia endius* preadult

胁迫时日龄 (d) Parasitoid age at the time of temperature stress (d)	成虫前期 (d) Preadult duration (d)		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
	高温 Heat stress	低温 Cold stress			
1	22.98±0.54 a	27.38±0.67 b*	5.140	58.000	0.000
2	17.67±0.39 b	23.93±0.30 ac*	12.806	54.379	0.000
4	23.56±0.62 a	24.63±0.58 ac	1.259	58.000	0.213
6	18.80±0.51 b	25.41±0.50 c*	9.263	58.000	0.000
对照 Control	23.41±0.65 a	23.41±0.65 a			

可以看出,高温处理后,仅4日龄处理的成虫前期与低温处理的无显著差异,其他日龄高低温处理的结果均存在显著差异(1日龄: $t=5.140$, $df=58$, $P<0.05$; 2日龄: $t=12.806$, $df=54.379$, $P<0.05$; 6日龄: $t=9.263$, $df=58$, $P<0.05$)。从表5可以看出,高温或低温胁迫对蝇蛹蛹小蜂成虫前期的总历期均有显著影响(高温: $F_{4,145}=26.381$, $P<0.05$; 低温: $F_{4,145}=7.892$, $P<0.05$)。高温胁迫处理后,2日龄和6日龄处理的蝇蛹蛹小蜂成虫前期显著短于对照;低温胁迫处理后,蝇蛹蛹小蜂的成虫前期均有所延长。

2.2 温度处理对成蜂寿命的影响

不同日龄寄生蜂经高低温胁迫处理后,雌雄蜂的寿命见表6-表7。不同日龄寄生蜂经高温胁迫处理后,仅6日龄处理的雌蜂寿命短于对照,但差异不显著,其他日龄处理的雌蜂寿命均长于对照($F_{4,145}=5.423$, $P<0.05$);仅4日龄处理的雌蜂寿命与同一日龄经低温胁迫处理后的雌蜂寿命存在显著差异,其余处理的均无显著差异(4日龄: $t=2.209$, $df=43.819$, $P=0.032<0.05$)。从表6的结果可以看出,低温胁迫后雌蜂寿命均长于对

照,但该处理对雌蜂寿命无显著影响($F_{4,145}=1.542$, $P=0.193>0.05$)。

经高温胁迫处理后,不同日龄处理的雄蜂寿命与同一日龄经低温胁迫处理后的雄蜂寿命均无显著差异($F_{4,145}=1.323$, $P=0.264>0.05$) (表7)。经低温胁迫处理后,仅6日龄处理的雄蜂的寿命长于对照,各处理的雄蜂寿命与对照均无显著差异($F_{4,145}=0.454$, $P=0.769>0.05$)。结果表明,温度胁迫对蝇蛹蛹小蜂成蜂的寿命影响不大,但雌雄蜂寿命在温度胁迫后表现出不同的差异。高温胁迫处理后,1-4日龄的雌蜂寿命显著长于雄蜂寿命,仅6日龄雌雄蜂寿命无显著差异[t检验: 1日龄($t=13.359$, $df=29$, $P<0.05$), 2日龄($t=6.815$, $df=29$, $P<0.05$), 4日龄($t=13.904$, $df=29$, $P<0.05$), 6日龄($t=1.865$, $df=29$, $P=0.072>0.05$)]];低温胁迫处理后,仅1日龄雌蜂寿命显著长于雄蜂寿命,其他日龄处理的雌雄蜂寿命之间无显著差异[t检验: 1日龄($t=8.893$, $df=29$, $P<0.05$), 2日龄($t=1.859$, $df=29$, $P=0.073>0.05$), 4日龄($t=0.423$, $df=29$, $P=0.675>0.05$), 6日龄($t=0.089$, $df=29$, $P=0.930>0.05$)]。

表6 温度处理对蝇蛹蛹小蜂雌蜂寿命的影响

Table 6 Effects of the temperature stress on longevity of female receiving the treatments at different ages

胁迫时日龄(d) Parasitoid age at the time of temperature stress (d)	雌蜂寿命(d) The longevity of female (d)		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
	高温 Heat stress	低温 Cold stress			
1	17.47±0.99 b	17.90±1.41 b	0.251	58.000	0.803
2	15.20±0.84 ab	17.03±1.16 ab	1.277	58.000	0.207
4	17.63±0.62 bc	14.67±1.19 ab*	2.209	43.819	0.032
6	13.13±0.99 a	16.37±1.45 ab	1.839	51.163	0.072
对照 Control	14.43±0.66 a	14.43±0.66 a			

表7 温度处理对蝇蛹蛹小蜂雄蜂寿命的影响

Table 7 Effects of the temperature stress on longevity of male receiving the treatments at different ages

胁迫时日龄(d) Parasitoid age at the time of temperature stress (d)	雄蜂寿命(d) The longevity of male (d)		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
	高温 Heat stress	低温 Cold stress			
1	13.47±1.03 a	13.87±1.47 a	0.223	58.000	0.824
2	11.93±0.92 a	14.90±1.18 a	1.979	58.000	0.053
4	13.63±0.55 a	14.13±1.43 a	0.327	37.363	0.745
6	14.93±1.35 ab	16.17±1.65 a	0.578	58.000	0.566
对照 Control	14.37±0.90 a	14.37±0.90 a			

2.3 温度处理对成蜂后足胫节的影响

温度处理对成蜂后足胫节长度影响较大。经高温或低温胁迫后, 不同日龄处理的雌雄蜂后足胫节长度均显著短于对照 (高温: 雌蜂 ($F_{4,145}=64.548, P=0.000$), 雄蜂 ($F_{4,145}=35.311, P=0.000$); 低温: 雌蜂 ($F_{4,145}=51.714, P=0.000$), 雄蜂 ($F_{4,145}=17.193, P=0.000$))。高温胁迫

后, 仅 6 日龄处理的雌蜂的后足胫节长度与同一日龄低温胁迫的长度无显著差异 (t 检验: $t=0.595, df=29, P=0.556>0.05$) (表 8); 低温胁迫后, 2 日龄和 4 日龄处理的雄蜂后足胫节长度均与同一日龄低温处理后的长度有显著差异 [t 检验: 2 日龄 ($t=3.129, df=29, P=0.004<0.05$); 4 日龄 ($t=5.772, df=29, P<0.05$)] (表 9)。

表 8 温度处理对蝇蛹蛹小蜂雌蜂后足胫节长度的影响
Table 8 Effects of the temperature stress on adult hind tibia length of female receiving the treatments at different ages

胁迫时日龄 (d) Parasitoid age at the time of temperature stress (d)	后足胫节长度 (mm) Hind tibia length (mm)		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
	高温 Heat stress	低温 Cold stress			
1	0.429±0.004 b	0.412±0.007 b*	2.214	29	0.035
2	0.432±0.004 b	0.410±0.003 b*	4.318	29	0.000
4	0.387±0.006 c	0.412±0.005 b*	3.965	29	0.000
6	0.437±0.003 b	0.433±0.005 c	0.595	29	0.556
对照 Control	0.515±0.009 a	0.515±0.009 a			

表 9 温度处理对蝇蛹蛹小蜂雄蜂后足胫节长度的影响
Table 9 Effects of the temperature stress on adult hind tibia length of male receiving the treatments at different ages

胁迫时日龄 (d) Parasitoid age at the time of temperature stress (d)	后足胫节长度 (mm) Hind tibia length (mm)		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
	高温 Heat stress	低温 Cold stress			
1	0.373±0.005 b	0.368±0.010 b	0.375	29	0.711
2	0.399±0.005 c	0.375±0.004 b*	3.129	29	0.004
4	0.348±0.009 d	0.400±0.004 c*	5.772	29	0.000
6	0.393±0.003 c	0.394±0.006 c	0.205	29	0.839
对照 Control	0.435±0.005 a	0.435±0.005 a			

3 讨论

在过去的几十年里, 我国大部分地区都经历了复合热浪, 北方地区复合热浪出现的强度增加, 南方地区则大多表现为复合热浪的持续时间延长 (Li *et al.*, 2017), 当前全球气候变暖, 天气变化异常, 极端寒冷天气常易被忽略 (孔锋, 2020)。生物体的存活与发展要被迫面对极端高温或寒冷天气的挑战, 昆虫亦是如此, 如适宜的高温胁迫有助于提高暗黑赤眼蜂 *Trichogramma pintoi* Voegelé 的寄生量, 但随着温度的升高和

处理时间的延长, 寄生量受到明显的抑制 (吴静等, 2008); 在相同的冷藏温度条件下, 白蛾黑基啮小蜂 *Tetrastichus nigricoxae* Yang 的羽化率随冷藏时间的延长呈下降趋势 (王虎诚等, 2011), 由此展现的生物学特性变化体现了寄生蜂对温度的适应性。昆虫对温度胁迫的耐受性也是昆虫对温度适应性的一种表现, 适应性的高低对种群的生存和发展具有重要意义 (王艳敏等, 2010)。寄生蜂对温度的适应性是影响生物防治效果的重要因素, 实蝇类害虫危害的严重性与其强大的环境适应能力紧密相关, 需要具有相当的

环境适应能力的寄生蜂才能够控制。

蝇蛹俑小蜂经不同温度胁迫处理后,各虫态发育历期受到的影响不同。低温胁迫处理后,预蛹期显著延长;高温胁迫处理后,各处理寄生蜂的蛹期与对照均有显著差异。蝇蛹俑小蜂的卵期为 1-2 d,日龄为 1 d 的寄生蜂大多数处于卵期,此时进行高温或低温胁迫处理,后续虫态发育历期与在幼虫期受到胁迫处理的结果有不同程度的差异(表 1,表 2),同时,解剖检查发现高温胁迫处理后不少寄生蜂的卵不能孵化,和幼虫期相比,蝇蛹俑小蜂的卵期对温度胁迫的感受更加敏感,耐热性更低(Angilletta, 2009)。昆虫的不同生长阶段对温度胁迫的耐受性不同,通常以非活动阶段虫态(卵和蛹)的耐受性更高,如南瓜实蝇以卵期耐受性较高(黄禹禹等, 2021)、黑点切叶野螟蛾 *Herpetogramma basalis* (Walker) 以蛹期耐受性较高(褚世海等, 2019)。对于寄生蜂而言,其未成熟期均在寄主昆虫体内发育,这种说法可能并不适用,如螟黄赤眼蜂(吴静, 2008)、斑痣悬茧蜂(孟倩等, 2017)的卵期均对高温胁迫更为敏感,和本文的研究结果相同。此外,蝇蛹俑小蜂的卵在低温条件下(10℃)不能孵化,无法正常发育至成蜂(另文报道),表明该蜂的卵期对低温同样敏感。

低温胁迫后各日龄处理的寄生蜂的卵和预蛹历期均延长,且长于高温胁迫后的处理,说明低温胁迫处理能抑制寄生蜂的生长发育速度,但对成蜂的寿命影响不大。可能是因为短期(如小于 2 d)内的低温胁迫造成的损伤是可逆的(Lavy and Verhoef, 1998)。寄生蜂的大小常以后足胫节为衡量指标(张晓岚等, 2009)。经高温或低温胁迫后,蝇蛹俑小蜂雌雄蜂的后足胫节长度均显著短于对照,说明该蜂的个体大小受短时温度胁迫影响较大,而雌蜂卵巢中成熟卵量与寄生蜂的个体大小呈正比(Heimpel and Rosenheim, 1995),由此推测温度胁迫可能影响该蜂的繁殖能力。体型大的寄生蜂个体有更广的寄主范围,能更好地应对寄主的反抗(Henry et al., 2009; 吴珂珂等, 2022),因此在蝇蛹俑小蜂的田间释放应用时,应重点考虑短时高温或低温对该蜂繁殖能力和防效的影响。

有报道称在低龄阶段受到的温度胁迫对昆虫的后续生长发育没有影响,在老龄阶段受到温度胁迫则对昆虫的生殖造成的影响更大(Berger et al., 2008; Zhang et al., 2015),如麦无网长管蚜 *Metopolophium dirhodum* (Walker) 在成虫存活期能够修复和补偿其在发育早期受到的高温胁迫的影响(Ma et al., 2004);沙葱萤叶甲 *Galeruca daurica* Joannis 的 1 龄幼虫经低温胁迫后发育至 3 龄及蛹时,其死亡率与未经低温胁迫的对照相比无显著差异(李浩等, 2015)。本试验仅测定了温度胁迫对蝇蛹俑小蜂的生长发育、寿命和后足胫节长度的影响,对该蜂生殖能力的影响有待于进一步研究。

参考文献 (References)

- Angilletta Jr MJ, 2009. Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis. Oxford: Oxford University Press. 35–87.
- Berger D, Walters R, Gotthard K, 2008. What limits insect fecundity? Body size- and temperature-dependent egg maturation and oviposition in a butterfly. *Functional Ecology*, 22(3): 523–529.
- Chu SH, Cong SB, Li RH, Huang QC, Hou YM, 2019. Effects of short-term high-temperature exposure on growth, development and reproduction of *Herpetogramma basalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 34(11): 1288–1293. [褚世海, 丛胜波, 李儒海, 黄启超, 侯有明, 2019. 短时高温处理对黑点切叶野螟生长发育和繁殖的影响. 福建农业学报, 34(11): 1288–1293.]
- Heimpel GE, Rosenheim JA, 1995. Dynamic host feeding by the parasitoid *Aphytis melinus*: The balance between current and future reproduction. *Animal Ecology*, 64(2): 153–167.
- Henry LM, Ma BO, Roitberg BD, 2009. Size-mediated adaptive foraging: A host-selection strategy for insect parasitoids. *Oecologia*, 161(2): 433–445.
- Huang YY, Gu XP, Peng XQ, Chen GH, Qi GJ, Zhang XM, Tao M, 2021. Effects of short-term high and low temperature on the development and reproduction of *Bactrocera tau* (Walker). *Plant Protection*, 47(1): 135–142. [黄禹禹, 顾祥鹏, 彭孝琴, 陈国华, 齐国君, 张晓明, 陶玫, 2021. 短时高低温胁迫对南亚实蝇生长发育及繁殖的影响. 植物保护, 47(1): 135–142.]
- Kang L, Chen B, Wei JN, Liu TX, 2009. Roles of thermal adaptation and chemical ecology in *Liriomyza* distribution and control. *Annual Review of Entomology*, 54: 127–145.
- Kitthawee S, Sriplang K, Brockelman WY, Baimai V, 2004. Laboratory evaluation of density relationships of the parasitoid,

- Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae), with two species of tephritid fruit fly pupal hosts in Thailand. *Science Asia*, 30: 391–397.
- Klockmann M, Günter F, Fischer K, 2017a. Heat resistance throughout ontogeny: Body size constrains thermal tolerance. *Global Change Biology*, 23(2): 686–696.
- Klockmann M, Kleinschmidt F, Fischer K, 2017b. Carried over: Heat stress in the egg stage reduces subsequent performance in a butterfly. *PLoS ONE*, 12(7): e180968.
- Kong F, 2020. Spatial distribution characteristics of cold weather days with different grades in China from 1961 to 2017. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*. [孔锋, 2020. 1961-2017年中国不同等级寒冷天气日数时空演变特征. 长江流域资源与环境, 29(1): 150–163.]
- Lavy D, Verhoef HA, 1998. Modelling the time-temperature relationship in cold injury and effect of high-temperature interruptions on survival in a chill-sensitive collembolan. *Functional Ecology*, 12(5): 816–824.
- Li H, Zhou XR, Pang BP, Zhang ZR, Chang J, Shan YM, 2015. Effects of low temperature stress on the supercooling capacity and development of *Galeruca daurica* Joannis larvae (Coleoptera: Chrysomelidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(2): 434–439. [李浩, 周晓榕, 庞保平, 张卓然, 常静, 单艳敏, 2015. 低温胁迫对沙葱萤叶甲幼虫过冷却能力及生长发育的影响. 应用昆虫学报, 52(2): 434–439.]
- Li L, Han DY, Zhang FP, Chen JY, Wang JY, Fu YG, 2020. Biocontrol potential of two pupal parasitoids to *Zeugodacus cucurbitae*. *Journal of Biosafety*, 29(3): 191–194. [李磊, 韩冬银, 张方平, 陈俊谕, 王建赟, 符悦冠, 2020. 瓜实蝇 2 种蛹寄生蜂生防潜能比较. 生物安全学报, 29(3): 191–194.]
- Li Y, Ding YH, Li WJ, 2017. Observed trends in various aspects of compound heat waves across China from 1961 to 2015. *Journal of Meteorological Research*, 31(3): 455–467.
- Liu H, Li L, Niu LM, Zhang FP, Han DY, Fu YG, 2016a. Impact of host species on the development and parasitic efficiency of *Spalangia endius*. *Journal of Biosafety*, 25(3): 194–198. [刘欢, 李磊, 牛黎明, 张方平, 韩冬银, 符悦冠, 2016. 寄主对蝇蛹小蜂发育及寄生效能的影响. 生物安全学报, 25(3): 194–198.]
- Liu H, Li L, Zhang FP, Han DY, Gong Z, Niu LM, Fu YG, 2016b. Selection, development, and longevity of *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae) in pupae of different ages of *Bactrocera tau* (Walker) (Diptera: Tephritidae). *Journal of Environmental Entomology*, 38(2): 431–436. [刘欢, 李磊, 张方平, 韩冬银, 龚治, 牛黎明, 符悦冠, 2016. 不同日龄南瓜实蝇蛹对蝇蛹小蜂寄生选择、发育及寿命的影响. 环境昆虫学报, 38(2): 431–436.]
- Lv BQ, Wan J, Li YQ, Jin QA, Peng ZQ, Wen HB, 2014. Construction and preliminary analysis of forward and reverse subtracted cDNA libraries from *Tetrastichus brontispae* Ferriere under low temperature. *Journal of Biosafety*, 23(3): 210–216. [吕宝乾, 万婕, 李艺琼, 金启安, 彭正强, 温海波, 2014. 低温胁迫下椰心叶甲啮小蜂正反向消减 cDNA 文库的构建及其序列分析. 生物安全学报, 23(3): 210–216.]
- Ma CS, Hau B, Poehling HM, 2004. Effects of pattern and timing of high temperature exposure on reproduction of the rose grain aphid, *Metopolophium dirhodum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 110: 65–71.
- Mao HY, Zhao Y, Ding HF, Jiao YJ, Sun GQ, Lu CX, Han SP, 2019. Monitoring on the population dynamics of major fruit flies in Henan province. *China Plant Protection*, 39(11): 77–83. [毛红彦, 赵岩, 丁华锋, 焦永吉, 孙国强, 陆春显, 韩世平, 2019. 河南省重要实蝇的种群动态监测. 中国植保导刊, 39(11): 77–83.]
- Marchiori CH, Silva CG, 2003. First occurrence of parasitoid *Spalangia endius* (Walker) (Hymenoptera: Pteromalidae) in pupae of *Zaprionus indianus* Gupta (Diptera: Drosophilidae) in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 63: 361–362.
- Meng Q, Meng L, Li BP, 2017. Effects of short-term heat stress on developmental parameters of *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae). *Acta Ecologica Sinica*, 37(8): 2838–2843. [孟倩, 孟玲, 李保平, 2017. 短时高温胁迫对斑痣悬茧蜂发育指标的影响. 生态学报, 37(8): 2838–2843.]
- Tang LD, Ji XC, Han Y, Fu BL, Liu K, 2015. Parasitism, emergence, and development of *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae) in pupae of different ages of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Insect Science*, 15: 1–5.
- Wang HC, Guo TB, Song MH, Guo JZ, Du W, 2011. Effects of cold storage on eclosion and emergence of *Tetrastichus nigricoxae* Yang. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 38(1): 7–11. [王虎诚, 郭同斌, 宋明辉, 郭加忠, 杜伟, 2011. 低温贮藏对白蛾黑基啮小蜂羽化及出蜂的影响. 江苏林业科技, 38(1): 7–11.]
- Wang Q, Fu YG, Li L, Han DY, Chen JY, Niu LM, Zhang FP, 2017. Effect of high temperature on the survival of *Parasaissetia nigra* and *Metaphycus parasaissetiae*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 38(11): 2160–2164. [王倩, 符悦冠, 李磊, 韩冬银, 陈俊谕, 牛黎明, 张方平, 2017. 高温对橡副珠蜡蚧和副珠蜡蚧阔柄跳小蜂存活的影响. 热带作物学报, 38(11): 2160–2164.]
- Wang XD, Ji SX, Shen XN, Liu WX, Wan FH, Lv ZC, 2021. Research advance of epigenetic mechanism in temperature stress. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(3): 598–608. [王晓迪,

- 冀顺霞, 申晓娜, 刘万学, 万方浩, 吕志创, 2021. 温度胁迫下昆虫表观遗传机制的研究进展. *中国生物防治学报*, 37(3): 598–608.]
- Wang XH, Wu WJ, Li MH, Fu YG, 2012. The orthogonal optimization of artificial diet for larvae of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett). *Journal of Environmental Entomology*, 34(1): 115–119. [王翔韩, 吴伟坚, 李梅辉, 符悦冠, 2012. 瓜实蝇幼虫人工饲料设计及其优化. *环境昆虫学报*, 34(1): 115–119.]
- Wang YM, Wu JX, Wan FH, 2010. Response of insects to extreme high and low temperature stresses. *Journal of Environmental Entomology*, 32(2): 250–255. [王艳敏, 仵均祥, 万方浩, 2010. 昆虫对极端高低温胁迫的响应研究. *环境昆虫学报*, 32(2): 250–255.]
- Wang YN, Zhang Y, Zhao ZH, 2020. Forecasted distribution and natural overwintering north boundary of six alien invasive insects in China. *Journal of Plant Protection*, 47(5): 1155–1156. [王雁楠, 张玉, 赵紫华, 2020. 六种外来入侵昆虫在我国分布范围及自然越冬北界的预测. *植物保护学报*, 47(5): 1155–1156.]
- Wu J, 2008. Effects of heat stress on the growth and parasitic behavior of *Trichogramma chilonis* Ishii. Master dissertation. Shihezi: Shihezi University. [吴静. 高温胁迫对螟黄赤眼蜂生长发育及寄生行为的影响. 硕士学位论文, 石河子: 石河子大学.]
- Wu J, Guo WC, Tuerxun, He J, Xu JJ, 2008. Effects of heat stress on the functional response of *Trichogramma pintoi*. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 45(S2): 122–126. [吴静, 郭文超, 吐尔逊, 何江, 许建军, 2008. 高温胁迫对暗黑赤眼蜂寄生功能反应的影响. *新疆农业科学*, 45(S2): 122–126.]
- Wu KK, Gu G, Lai RQ, Zhou T, Han M, 2022. Effects of photoperiod, temperature and humidity on the parasitic ability and reproduction of *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Braconidae). *Acta Entomologica Sinica*, 65(11): 1488–1497. [吴珂珂, 顾刚, 赖荣泉, 周挺, 韩梦. 光周期和温湿度对烟蚜茧蜂寄生能力和繁殖的影响. *昆虫学报*, 65(11): 1488–1497.]
- Wu QM, 2014. Prediction of suitable distribution area and risk analysis of six important fruit flies. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [吴淇铭, 2014. 6种重要果实蝇的适生区预测和风险分析. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Zhan KR, Zhao SX, Zhu SF, Zhou WC, Wang NW, 2006. Study on viability of *Bactrocera dorsalis* in China. *Journal of South China Agricultural University*, 27(4): 21–25. [詹开瑞, 赵士熙, 朱水芳, 周卫川, 王念武, 2006. 桔小实蝇在中国的适生性研究. *华南农业大学学报*, 27(4): 21–25.]
- Zhang W, Chang XQ, Hoffmann AA, Zhang S, Ma CS, 2015. Impact of hot events at different developmental stages of a moth: The closer to adult stage, the less reproductive output. *Scientific Reports*, 5: 10436.
- Zhang W, Zhao F, Homann AA, Ma CS, 2013. A single hot event that does not affect survival but decreases reproduction in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *PLoS ONE*, 8(10): e75923.
- Zhang XL, Meng L, Li BP, 2009. Effects of *Pieris rapae* pupa mass on offspring number, sex ratio, and body size of gregarious parasitoid *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Chinese Journal of Ecology*, 28(4): 677–680. [张晓岚, 孟玲, 李保平, 2009. 菜粉蝶蛹体型大小对蝶蛹金小蜂后代数量、性比及体型大小的影响. *生态学杂志*, 28(4): 677–680.]
- Zhang YP, Li DS, Zhang BX, Chen MY, Zhong J, Song Y, 2010. Functional response of *Spalangia endius* Walker to pupae of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) and influence of temperature and relative humidity on longevity of adult *S. endius*. *Chinese Journal of Biological Control*, 26(4): 385–390. [章玉苹, 李敦松, 张宝鑫, 陈明洋, 钟娟, 宋月, 2010. 蝇蛹蛹小蜂对桔小实蝇蛹的功能反应及温湿度对蜂成虫寿命的影响. *中国生物防治*, 26(4): 385–390.]
- Zhang YP, Zheng Y, Li DS, Fan YL, 2014. Transcriptomics and identification of the chemoreceptor superfamily of the pupal parasitoid of the oriental fruit fly, *Spalangia endius* Walker (Hymenoptera: Pteromalidae). *PLoS ONE*, 9: e87800.
- Zhao HY, Liang YP, Lin ZF, Lu YY, Liang GW, 2016. Behavioural response of the parasitoid *Spalangia endius* (Walker) to host and fruit volatiles. *Journal of Biosafety*, 25(2): 137–142. [赵海燕, 梁延坡, 林珠凤, 陆永跃, 梁广文, 2016. 蝇蛹蛹小蜂对寄主及果实的趋性反应. *生物安全学报*, 25(2): 137–142.]
- Zhou JC, Liu QQ, Han YQ, Dong H, 2018. High temperature tolerance and thermal-adaptability plasticity of Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis* Guenée) after a single extreme heat wave at the egg stage. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(3): 1040–1047.
- Zhou YK, Gan BC, Yang XQ, Huang LM, Liu LF, He MJ, 2011. Influence of cold storage on emergence and oviposition of *Elasmus punctulatus*. *Chinese Journal of Biological Control*, 27(4): 453–457. [周亚奎, 甘炳春, 杨新全, 黄良明, 刘丽凤, 何明军, 2011. 低温贮藏对细点扁股小蜂羽化率及产卵量的影响. *中国生物防治学报*, 27(4): 453–457.]