

短时高温胁迫对六点始叶螨繁殖能力和子代适合度的影响

刘 雅^{1,2,3}, 郑丽旧^{1,2,3}, 符悦冠¹, 张方平¹, 陈俊谕^{1*}

1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南海口 571101; 2. 海南大学植物保护学院, 海南海口 570228; 3. 海南大学热带农林生物灾害绿色防控教育部重点实验室, 海南海口 570228

摘 要: 为明确短时高温胁迫对六点始叶螨雌成螨发育繁殖特性和子代适合度的影响, 本研究以 33、36、39、42、45 °C 高温处理六点始叶螨雌成螨 1、2、4 h, 观察并统计各短时高温处理下雌成螨的寿命、产卵量、子代发育历期和性比。结果显示: 经 33~42 °C 高温胁迫 1、2、4 h 及 45 °C 高温胁迫 2、4 h 后六点始叶螨的产卵期延长, 单雌产卵量增加; 其中 39 °C 高温胁迫对六点始叶螨的种群增长最有利, 39 °C 胁迫 1 h 后其产卵期最长, 为 12.67 d, 单雌产卵量最高, 为 32.65 粒, 39 °C 胁迫 1、4 h 后其实验种群内禀增长率最高, 为 0.29, 种群倍增时间较短, 分别为 2.42、2.38 d; 短时高温胁迫对六点始叶螨子代性比无显著影响。45 °C 高温胁迫 1 h 六点始叶螨的存活率降低, 单雌产卵量减少, 寿命延长, 内禀增长率减小, 因此六点始叶螨经 45 °C 高温胁迫 1 h 会抑制其种群发展。

关键词: 六点始叶螨; 短时高温胁迫; 繁殖能力; 子代适合度

中图分类号: S476.2 文献标识码: A

Effects of Short-term Exposure to High Temperature on the Reproductive Capacity and Offspring Fitness of *Eotetranychus sexmaculatus*

LIU Ya^{1,2,3}, ZHENG Lijiu^{1,2,3}, FU Yueguan¹, ZHANG Fangping¹, CHEN Junyu^{1*}

1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 2. College of Plant Protection, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 3. Key Laboratory of Ministry of Education for Green Prevention and Control of Tropical Plant Diseases and Pests, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China

Abstract: To clarify the effects of short-term high temperature stress on the developmental, reproductive characteristics and offspring fitness of *Eotetranychus sexmaculatus* females, the females were exposed to 33 °C, 36 °C, 39 °C, 42 °C, 45 °C for 1 h, 2 h, 4 h, respectively. The longevity, fecundity, offspring developmental period and sex ratio of *E. sexmaculatus* females were observed. The results showed that the oviposition period of *E. sexmaculatus* was prolonged and the fecundity was increased exposed to from 33 °C to 42 °C for 1 h, 2 h, 4 h and 45 °C for 2 h and 4 h. The population growth of *E. sexmaculatus* was the most favorable exposed to 39 °C, the oviposition period was the longest exposed to 39 °C for 1 h, which was 12.67 d, and the fecundity of single female was the highest, which was 32.65. The intrinsic rate of increase (r_m) of *E. sexmaculatus* was the highest exposed to 39 °C for 1 and 4 h, which was 0.29, and the population doubling time was shorter, which was 2.42 d and 2.38 d, respectively. Exposed to short-term high temperature stress, there was no significant effect on the offspring sex ratio of *E. sexmaculatus*. The survival rate of *E. sexmaculatus* was decreased, the fecundity was decreased, the longevity was prolonged, and the r_m value was decreased exposed to 45 °C for 1 h. Therefore, the population development of *E. sexmaculatus* was inhibited at 45 °C high temperature stress for 1 h.

Keywords: *Eotetranychus sexmaculatus*; short-term high temperature exposure; reproductive capacity; offspring fitness

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.02.018

收稿日期 2022-08-03; 修回日期 2022-12-14

基金项目 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (No. 1630042022006); 国家天然橡胶产业技术体系虫害防控岗位项目 (No. CARS-33-BC2)。

作者简介 刘 雅 (1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农业昆虫与害虫防治。*通信作者 (Corresponding author): 陈俊谕 (CHEN Junyu), E-mail: jyhencn@163.com。

六点始叶螨 (*Eotetranychus sexmaculatus*) 属蜱螨目 (Acarina) 叶螨科 (Tetranychidae) 始叶螨属 (*Eotetranychus*), 是橡胶树上的重要害螨^[1-2]。六点始叶螨在我国海南、云南、广东等植胶区常年发生, 为害严重可导致落叶和乳胶产量降低, 造成一定的经济损失^[3]。昆虫和螨类是变温动物, 容易受温度变化的影响^[4]。近年来, 我国热区高温干旱极端气候频繁发生, 六点始叶螨的爆发频率及程度可能进一步加剧, 对橡胶产业的健康发展造成威胁。据调查, 六点始叶螨全年盛发高峰期集中在 4—7 月^[5-6], 此时海南大部分地区的日极端高温达 37℃ 以上, 局部地区的最高温度超过 40℃^[7], 胶园六点始叶螨难免会遭受高温胁迫。

高温胁迫会影响昆虫 (螨) 的生长发育和繁殖^[8]。有研究表明, 草地贪夜蛾 (*Spodoptera frugiperda*) 经短时高温胁迫后卵孵化率降低^[9], 且草地贪夜蛾经 37℃ 以上高温胁迫 2 h 后会使其雌成虫寿命缩短, 产卵前期延长^[10]; 在 34~42℃ 下处理 12 h 后, 瓜实蝇 (*Bactrocera cucurbitae*) 的单雌产卵量降低, 成虫寿命缩短^[11]; 短时高温胁迫会使绿盲蝽 (*Apolygus lucorum*) 和中黑盲蝽 (*Adelphocoris suturalis*) 成虫寿命缩短, 若虫发育历期延长^[12]; 高温不利于柑橘全爪螨 (*Panonychus citri*) 的存活和繁殖^[13]; 土耳其斯坦叶螨 (*Tetranychus turkestanii*)、截形叶螨 (*T. truncatus*) 和山楂叶螨 (*T. viennensis*) 雌成螨经高温胁迫后其卵孵化率显著降低, 但对其寿命和产卵量无显著影响^[14-15]。高温胁迫还会影响后代的表现^[16], 如短时高温胁迫草地贪夜蛾导致子代卵的孵化率受到抑制^[10]; 瓜实蝇受高温胁迫后代雌性比增大^[11]; 松毛虫赤眼蜂 (*Trichogramma dendrolimi*) 在 42℃ 条件下暴露 0.5 h 和 1 h 后, 其子代寿命缩短、繁殖力下降、畸形率增加和雄性比例增加^[17]。短时高温对昆虫 (螨) 的发育、繁殖能力、寿命和子代适合度等有着重大影响^[16], 从而影响其种群的发展。恒温条件对六点始叶螨种群变动的影响已有报道^[18], 但短时高温胁迫对六点始叶螨发育繁殖的影响尚无报道。

本研究在 33~45℃ 范围设置 5 个不同温度胁迫处理 1、2、4 h, 观察六点始叶螨雌成螨经短时高温胁迫后其存活、繁殖及子代发育的情况, 以揭示短时高温胁迫对六点始叶螨发育和繁殖的影响, 明确短时高温胁迫后其种群发展特性, 为六点始叶螨的监测预警提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

六点始叶螨采自海南省儋州市宝岛新村橡胶园, 在实验室 [温度为 (27±1)℃, 湿度为 75%±5%] 内用橡胶叶 (品种为热研-73397) 进行连续饲养数代后用于试验。

1.2 方法

1.2.1 试验处理 在瓷盘 (长×宽为 23 cm×10 cm) 中放入 1 cm 厚的海绵, 将其润湿, 橡胶叶剪成 2 cm×2 cm 的小叶片, 叶背朝上置于海绵上, 且各小叶间保持一定距离, 定期加水保湿和更换叶片。挑取 27℃ 下初羽化的雌成螨单头置于叶片上, 分别置于 33、36、39、42、45℃ 条件下处理 1、2、4 h, 经不同高温胁迫后转至 27℃ 气候箱中, 2 h 后挑取存活的雌成螨进行试验。本试验均在湿度为 75%±5%、光周期为 12L:12D 的人工气候箱中进行, 以 27℃ 作为对照 (CK)。

1.2.2 短时高温胁迫对雌成螨繁殖能力和逐日存活率的影响 挑取经不同高温胁迫后的六点始叶螨雌成螨与 27℃ 下饲养的雄成螨配对, 置于 27℃ 条件下继续饲养, 每 24 h 观察雌成螨的存活和产卵情况, 直至所有成螨死亡, 统计存活量和产卵量, 计算其存活率、寿命和单雌产卵量, 每处理观察 60 头螨。

1.2.3 短时高温胁迫对子代发育历期、存活率和性比的影响 收集经不同高温胁迫后的雌成螨所产的卵, 于 27℃ 条件下继续观察, 每 24 h 观察卵的孵化情况, 待卵孵化后, 每处理收集 60 头幼螨继续观察, 饲养至成螨, 记录高温胁迫后子代各螨态发育情况, 统计存活量和雌成螨数, 计算幼螨和若螨的存活率及成螨性比。

1.3 数据处理

参照徐汝梅^[19]的方法计算六点始叶螨实验种群生命表参数。计算公式: 净增值率 $R_0 = \sum l_x \times m_x$; 世代平均周期 $T = \frac{\sum l_x \times m_x \times x}{R_0}$; 内禀

增长率 $r_m = \frac{\ln R_0}{T}$; 周限增长率 $\lambda = e^r$; 种群倍增

时间 $D_t = \frac{\ln 2}{r}$ 。式中, x 为存活时间, d ; l_x 为第 x 天的存活率; m_x 为在 x 期间内平均每雌产卵数; e 为自然对数。

利用 SPSS 23.0 软件对数据进行方差分析, 采用 Duncan's 新复极差法对六点始叶螨的发育历

期、产卵量和寿命进行差异显著性分析；对经不同短时高温胁迫后的六点始叶螨子代存活率和性比进行反正旋转换后,进行正态分布和齐性检验,若数据符合假设,进行方差分析；反之,则进行非参数检验。采用 Excel 2010 软件作图。

2 结果与分析

2.1 短时高温胁迫对六点始叶螨雌成螨繁殖能力和逐日存活率的影响

2.1.1 繁殖能力 短时高温胁迫对六点始叶螨雌成螨寿命和繁殖能力均存在显著影响（表 1）。经短时高温胁迫后,六点始叶螨雌成螨的产卵前期与 CK（27℃）无显著差异,33℃处理 4 h 六点始叶螨的产卵前期最短,仅为 1.55 d,42℃处理 1 h 的产卵前期最长,为 3.32 d。总体而言,随着温度的升高,六点始叶螨的产卵期表现为先延长后缩短的趋势,在 39℃下处理 1、2、4 h 和 42℃下处理 2、4 h 的产卵期和单雌产卵量显著长（高）于 CK,其中 39℃处理 1 h 的产卵期最长,为 12.67 d,是 CK 的 2.53 倍,单雌产卵量最高,为 32.65 粒,是 CK 的 3.90 倍；45℃下处理 1 h 的产卵期最短,仅为 2.73 d,比 CK 缩短了 45.40%,

单雌产卵量最低,仅为 3.80 粒,比 CK 降低了 54.65%。随着温度的升高,六点始叶螨雌成螨寿命表现为先延长后缩短的趋势,39℃和 42℃下分别处理 1、2、4 h 的雌成螨寿命均显著长于 CK,其中 42℃处理 2 h 的寿命最长,为 19.75 d,比 CK 延长了 86.85%,45℃下处理 1 h 的最短,为 7.07 d,比 CK 缩短了 33.11%。

2.1.2 逐日存活率 初羽化的六点始叶螨雌成螨经不同高温胁迫后均能存活（图 1）。六点始叶螨雌成螨经短时高温处理后前 4 d 的死亡率较小,4 d 后的存活率明显下降。经高温处理 1 h 后,39℃和 42℃条件下六点始叶螨的逐日存活率明显高于 CK,45℃条件下的逐日存活率最低,第 8 天时的存活率仅为 23%。经高温处理 2 h 后,39、42、45℃条件下的逐日存活率高于 CK,其中 42℃条件下的存活率最高。经高温处理 4 h 后,36、39、42℃条件下的逐日存活率高于 CK,33℃条件下的存活率最低。

2.1.3 实验种群生命表参数 短时高温胁迫对六点始叶螨实验种群生命表参数存在明显影响（表 2）。39℃处理 1 h 和 4 h 的六点始叶螨种群内禀增长率最高,均为 0.29,比 CK 的 0.20 增加了

表 1 短时高温胁迫对六点始叶螨雌成螨繁殖能力的影响
Tab. 1 Effect of short-term exposure to high temperature on fecundity of *E. sexmaculatus*

时间 Time/h	温度 Temperature/℃	产卵前期 Pre-oviposition period/d	产卵期 Oviposition period/d	单雌产卵量 Fecundity per female	寿命 Longevity/d
1	33	2.13±0.23 ^{bcdefg}	4.93±0.83 ^{ef}	10.72±2.10 ^{de}	8.65±0.89 ^{fg}
	36	1.63±0.24 ^{fg}	6.68±1.08 ^{cde}	11.73±2.08 ^{de}	11.30±1.07 ^{def}
	39	2.68±0.23 ^{abcd}	12.67±1.15 ^a	32.65±4.10 ^a	17.73±1.16 ^{ab}
	42	3.32±0.49 ^a	8.13±1.17 ^{cde}	15.67±2.95 ^{cd}	16.23±1.29 ^{bc}
	45	1.72±0.31 ^{defg}	2.73±0.67 ^f	3.80±0.80 ^e	7.07±0.83 ^g
2	33	1.85±0.23 ^{cdefg}	5.90±1.06 ^{cdef}	15.27±2.92 ^{cd}	9.80±1.14 ^{efg}
	36	1.70±0.21 ^{efg}	5.33±1.00 ^{ef}	8.33±1.91 ^{de}	10.08±1.11 ^{efg}
	39	1.88±0.29 ^{cdefg}	8.78±1.40 ^{bcd}	20.60±3.54 ^{bc}	14.53±1.41 ^{bcd}
	42	2.85±0.33 ^{ab}	11.57±1.28 ^{ab}	24.18±3.70 ^b	19.75±1.18 ^a
	45	1.90±0.24 ^{bcdefg}	6.07±0.91 ^{cdef}	10.80±1.84 ^{de}	12.13±0.89 ^{def}
4	33	1.55±0.22 ^g	5.27±1.00 ^{ef}	12.55±2.30 ^d	8.78±1.01 ^{fg}
	36	2.53±0.29 ^{abcdef}	6.77±0.88 ^{cde}	9.00±1.48 ^{de}	13.25±1.01 ^{cde}
	39	2.75±0.41 ^{abc}	9.15±1.10 ^{bc}	21.52±3.00 ^{bc}	14.03±1.13 ^{cd}
	42	2.63±0.27 ^{abcde}	11.65±1.31 ^{ab}	22.73±3.26 ^{bc}	16.45±1.31 ^{bc}
	45	1.77±0.26 ^{defg}	5.63±0.96 ^{def}	9.42±1.86 ^{de}	10.20±1.10 ^{efg}
CK	27	2.45±0.31 ^{abcdefg}	5.00±0.80 ^{ef}	8.38±1.66 ^{de}	10.57±0.88 ^{efg}

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

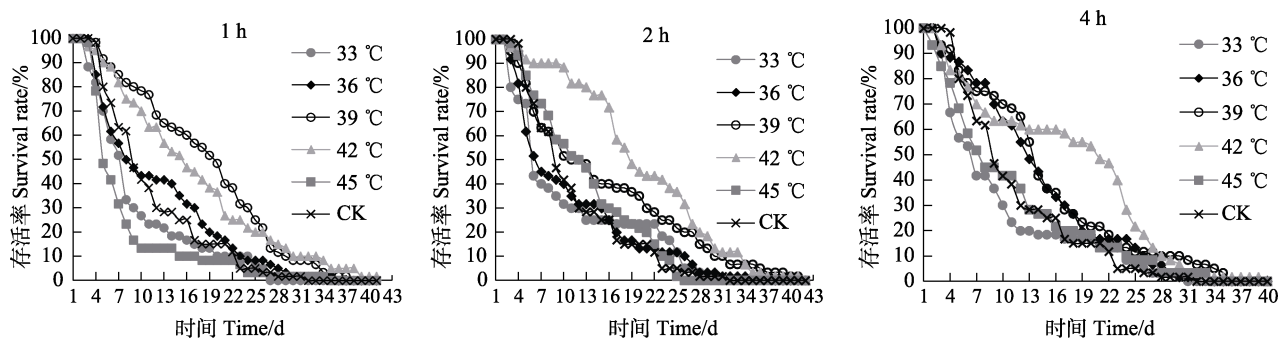


图 1 短时高温胁迫对六点始叶螨逐日存活率的影响

Fig. 1 Effect of short-term exposure to high temperature on survival rate of *E. sexmaculatus*

表 2 短时高温胁迫对六点始叶螨实验种群生命表参数的影响

Tab. 2 Effect of short-term exposure to high temperature on life table parameters of *E. sexmaculatus*

时间 Time/h	温度 Temperature/℃	内禀增长率 r_m	周限增长率 λ	净增值率 R_0	世代平均周期 T/d	种群倍增时间 D_t/d
1	33	0.23	1.26	10.72	10.29	3.01
	36	0.21	1.24	11.73	11.57	3.26
	39	0.29	1.33	32.65	12.17	2.42
	42	0.21	1.23	15.67	13.33	3.36
	45	0.15	1.16	3.80	8.81	4.57
2	33	0.24	1.27	15.27	11.23	2.86
	36	0.17	1.18	16.57	16.88	4.17
	39	0.23	1.26	20.60	12.92	2.96
	42	0.23	1.26	24.18	13.88	3.02
	45	0.25	1.28	10.80	9.65	2.81
4	33	0.25	1.28	12.55	10.19	2.79
	36	0.23	1.26	9.00	9.59	3.03
	39	0.29	1.34	21.52	10.54	2.38
	42	0.24	1.27	22.73	13.25	2.94
	45	0.22	1.24	9.42	10.30	3.19
CK	27	0.20	1.22	8.38	10.72	3.49

45.00%，45℃处理1h的最低，仅为0.15，比CK降低了25.00%；39℃处理4h的周限增长率最高，为1.34，39℃处理1h的次之，为1.33，比CK分别增加了11.67%和10.83%；39℃处理1h的净增值率最高，为32.65，是CK的3.90倍，45℃处理1h的最低，仅为3.80，比CK减少了54.65%；36℃处理2h的世代平均周期最长，为16.88d，比CK的10.72d延长了57.46%，45℃处理1h的最短，为8.81d，比CK缩短了17.82%；45℃处理1h的种群倍增时间最长，为4.57d，比CK延长了30.95%，39℃处理4h最短，为2.38d，39℃处理1h的次之，为2.42d，比CK分别缩短了31.81%和30.66%。综上说明六点始叶螨雌成螨经39℃胁迫1h和4h后对其种群增长最有利。

2.2 短时高温胁迫对六点始叶螨子代发育历期、存活率和性比的影响

2.2.1 子代发育历期 短时高温胁迫对六点始叶螨雌成螨子代的发育历期存在显著影响（表3）。六点始叶螨雌成螨经高温胁迫处理1、2、4h后，39℃处理4h其子代卵期最短，为4.53d，42℃处理1h的最长，为5.30d，且均与CK差异显著；33℃处理1h和2h的幼螨期最短，均为2.40d，42℃处理2h的最长，为2.87d，与CK差异显著；36℃处理1h的前若螨期最短，为1.91d，与CK差异不显著，42℃处理1h最长，为2.35d，显著长于CK；CK的后若螨期最短，为2.02d，说明短时高温胁迫均延长了其子代的后若螨期。

2.2.2 子代存活率 短时高温胁迫对六点始叶螨

表 3 短时高温胁迫对六点始叶螨雌成螨子代发育历期的影响
Tab. 3 Effect of short-term exposure to high temperature on developmental duration of *E. sexmaculatus* offsprings

时间 Time/h	温度 Temperature/℃	卵期 Egg duration/d	幼螨期 Larvae duration/d	前若螨期 Protonymph duration/d	后若螨期 Deutonymph duration/d
1	33	5.00±0.00 ^b	2.40±0.09 ^d	2.12±0.07 ^{bcd}	2.30±0.07 ^{cde}
	36	5.00±0.00 ^b	2.43±0.08 ^d	1.91±0.07 ^d	2.33±0.08 ^{bcd}
	39	4.92±0.04 ^b	2.85±0.06 ^a	1.98±0.06 ^{cd}	2.14±0.06 ^{def}
	42	5.30±0.06 ^a	2.83±0.08 ^a	2.35±0.09 ^a	2.53±0.07 ^{abc}
	45	5.00±0.00 ^b	2.50±0.08 ^{cd}	2.10±0.06 ^{bcd}	2.20±0.09 ^{def}
2	33	5.00±0.00 ^b	2.40±0.09 ^d	2.12±0.07 ^{bcd}	2.30±0.07 ^{cde}
	36	4.73±0.06 ^c	2.78±0.08 ^{ab}	2.09±0.08 ^{bcd}	2.69±0.13 ^a
	39	4.75±0.06 ^c	2.67±0.06 ^{abc}	2.28±0.09 ^{ab}	2.59±0.10 ^{ab}
	42	4.70±0.06 ^{cd}	2.87±0.05 ^a	2.02±0.02 ^{cd}	2.10±0.04 ^{ef}
	45	5.00±0.00 ^b	2.43±0.08 ^d	2.15±0.06 ^{abc}	2.47±0.08 ^{abc}
4	33	4.65±0.07 ^{cde}	2.75±0.07 ^{ab}	2.30±0.10 ^{ab}	2.39±0.11 ^{bcd}
	36	5.00±0.00 ^b	2.86±0.08 ^a	2.25±0.07 ^{ab}	2.50±0.10 ^{abc}
	39	4.53±0.07 ^e	2.81±0.06 ^{ab}	2.00±0.05 ^{cd}	2.27±0.07 ^{cdef}
	42	5.00±0.00 ^b	2.72±0.06 ^{abc}	2.14±0.05 ^{abc}	2.16±0.05 ^{def}
	45	4.60±0.06 ^{de}	2.58±0.09 ^{bcd}	2.30±0.06 ^{ab}	2.35±0.07 ^{bcd}
CK	27	5.00±0.00 ^b	2.43±0.07 ^d	2.00±0.06 ^{cd}	2.02±0.08 ^f

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

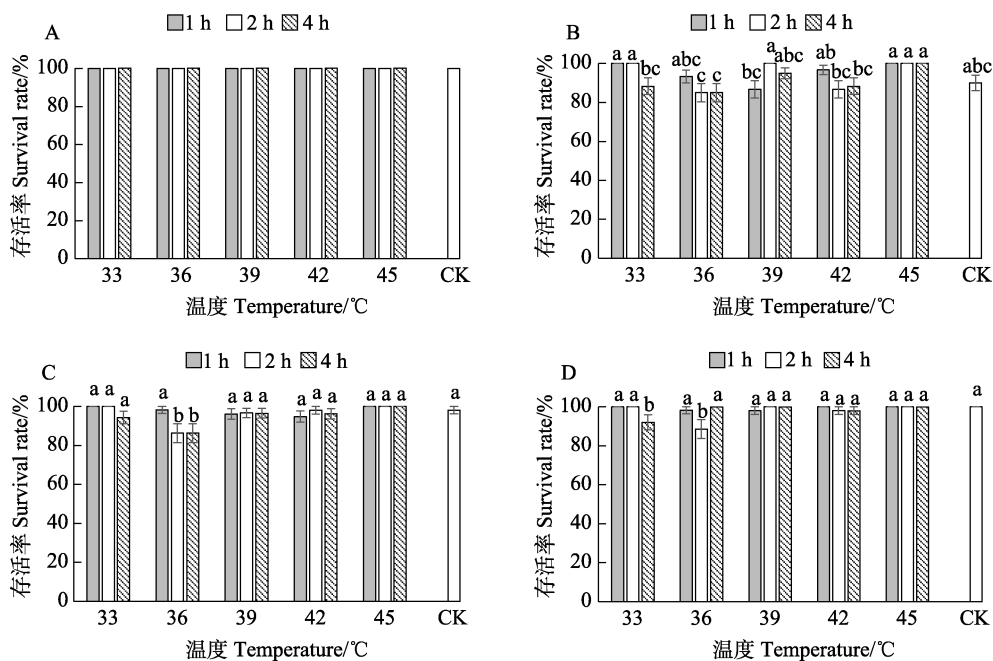
雌成螨子代存活率的影响如图 2。六点始叶螨雌成螨经高温胁迫处理 1、2、4 h 后的子代卵均能孵化，其孵化率均为 100%（图 2A）；雌成螨经各高温处理后的子代幼螨存活率与 CK 间差异不显著，其中 36℃处理 2 h 和 4 h 后的子代幼螨存活率最低，均为 85.00%（图 2B）；36℃处理 2 h 和 4 h 后的子代前若螨的存活率最低，均为 86.27%，与其他处理间差异显著（图 2C）；33℃处理 4 h 和 36℃处理 2 h 后的子代后若螨的存活率显著低于其他处理，分别为 92.00%和 88.64%（图 2D）；六点始叶螨经 45℃处理 1、2、4 h 后对其子代各螨态存活率均无影响，各螨态存活率均为 100%。说明六点始叶螨雌成螨经 36℃胁迫 2 h 和 4 h 会导致其子代的存活率降低。

2.2.3 子代雌性比 六点始叶螨雌成螨受高温胁迫后，其子代性比与 CK 间差异不显著（图 3）。六点始叶螨雌成螨经高温胁迫处理 1 h 后，42℃条件下其子代雌性比最高，为 80.00%，39℃条件下最低，为 61.22%，各处理间无显著差异；高温胁迫处理 2 h 后，42℃条件下子代雌性比最高，为 82.00%，36℃条件下最低，为 58.97%，二者

间差异显著；高温胁迫处理 4 h 后，39℃条件下子代雌性比最高，为 81.82%，42℃条件下最低，为 60.00%，二者间差异显著。

3 讨论

近年来，全球气候变化导致高温事件发生的频率增加，高温胁迫会影响害螨（虫）的存活、发育和繁殖等，从而影响其生活史特征。本研究中，短时高温胁迫对六点始叶螨雌成螨存活无影响，但对其发育和繁殖有显著影响。有研究表明，高温胁迫对梨小食心虫（*Grapholitha molesta*）和小菜蛾（*Plutella xylostella*）的存活无影响而对其繁殖能力的影响较大^[20-21]，这与本研究结果类似。本研究结果表明，经短时高温胁迫后六点始叶螨的产卵期和寿命随温度的升高呈先延长后缩短的趋势，经 39℃胁迫 1 h 后对六点始叶螨的发育和繁殖最有利，其产卵期最长，单雌产卵量最高；而短时高温胁迫对土耳其斯坦叶螨（*T. turkestan*）和截型叶螨（*T. truncatus*）的影响研究中，经 38~46℃下处理 2~6 h 后 2 种叶螨的雌成螨存活率、产卵期和产卵量均不受影响^[15]，这与本研究

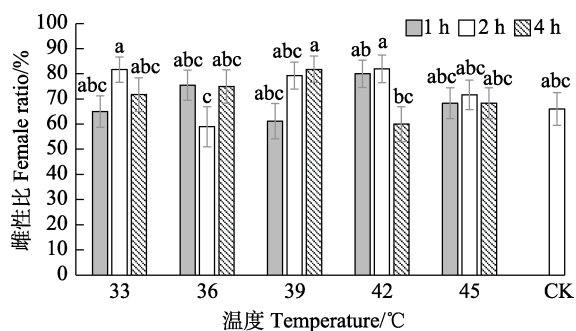


A: 卵; B: 幼螨; C: 前若螨; D: 后若螨。不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

A: Egg; B: Larvae; C: Protonymph; D: Deutonymph. Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 2 短时高温胁迫对六点始叶螨子代存活率的影响

Fig. 2 Effect of short-term exposure to high temperature on survival rates of offspring of *E. sexmaculatus*



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 3 短时高温胁迫对六点始叶螨雌成螨子代雌性比的影响

Fig. 3 Effect of short-term exposure to high temperature on female ratio of offspring of *E. sexmaculatus*

结果有一定差异,这可能是由于叶螨种类不同,导致其对高温的适应能力和敏感性不同。本研究发现 45 °C 处理 1 h 的产卵期和寿命缩短,单雌产卵量和存活率显著降低,仅为 3.80 粒,不利于其发育和繁殖;赵鑫等^[22]在短时高温胁迫对莲草直胸跳甲 (*Agasicles hygrophila*) 生殖特性的研究中发现,雌成虫在 45 °C 条件下暴露 1 h 后,其繁殖能力显著降低,这与本研究结果类似,这可能与超过害螨(虫)生理耐受极限的高温而导致其生殖性能和适应性降低有关^[16]。内禀增长率是用来评价种群适合度和衡量种群发展趋势的重要指

标^[23-24]。本研究中,39 °C 胁迫 1 h 和 2 h 后六点始叶螨的内禀增长率最高,说明经此短时高温胁迫后六点始叶螨种群的适合度最高,对其种群增长最有利,而 45 °C 条件下胁迫 1 h 对其种群增长有抑制作用。

短时高温胁迫除了影响亲代的发育和繁殖外,还可以通过母代传递的方式对后代害螨(虫)产生影响,即“母代效应”^[8],通过母代效应的跨代反应影响子代的适合度^[16]。本研究中,总体上六点始叶螨雌成螨经短时高温胁迫后不利于其后代的发育,对子代雌性比无显著影响,36 °C 处理 2 h 和 4 h 后子代的存活率降低;在短时高温暴露对褐飞虱 (*Nilaparvata lugens*) 生殖特性的影响研究中也发现高温暴露对褐飞虱后代性比无显著影响^[25],35~39 °C 暴露 2 h 对菊方翅网蝽 (*Corythucha marmorata*) 后代性比无影响^[26],松毛虫赤眼蜂 (*Trichogramma dendrolimi*) 在 42 °C 条件下暴露后,其子代适合度降低,从而导致种群数量降低^[17],这与本研究结果类似。因此,短时高温胁迫对害螨(虫)的影响可通过母代效应影响后代的适合度,从而影响其种群发展^[20];此外,昆虫受高温胁迫后会产生不同的即时或后续的生态学效应,本研究中发现六点始叶螨经 45 °C 高温胁迫后,对子代的存活无影响,六点始叶螨经此

条件胁迫后可能产生了即时效应,导致一部分个体死亡,而存活下来的个体对后代适合度无影响^[8]。

短时高温胁迫还会对天敌的发育繁殖和对猎物的捕食能力产生影响,捕食螨 *Euseiuss tipulatus* 和加州新小绥螨 (*Neoseiulus californicus*) 经高温胁迫后导致捕食螨对猎物的控害效能降低,生殖能力减弱^[27], 40 °C 胁迫 2 h 对巴氏新小绥螨 (*N. barkeri*) 的寿命和繁殖能力及其对二斑叶螨 (*T. urticae*) 的捕食作用有制约效应^[28], 这也可能是高温季节六点始叶螨暴发成灾的重要因素之一。害螨(虫)的各发育阶段均可能遭受短时高温胁迫,不同的发育阶段或龄期的害螨(虫)对高温的敏感性往往不同,如在接近成虫阶段的小菜蛾受高温胁迫对其繁殖力的影响大于较早阶段的^[29], 六点始叶螨不同螨态受短时高温胁迫后对后续发育和繁殖的影响研究有待进一步完善。

本研究表明,六点始叶螨雌成螨经适当高温胁迫后有利于其发育和繁殖,当温度超过 45 °C 则对六点始叶螨的种群增长有抑制作用;短时高温胁迫对后代性比无显著影响。本研究明确了短时高温胁迫下六点始叶螨的生物学特性,为六点始叶螨发生的监测预警提供理论依据。

参考文献

- [1] 王慧英. 中国经济昆虫志(第二十三: 叶螨总科)[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 95-96.
WANG H F. Economic insect fauna of China (23rd: Tetranychidae)[M]. Beijing: Science Press, 1981: 95-96. (in Chinese)
- [2] LIANG X, CHEN Q, WU C L. Reference gene validation in *Eotetranychus sexmaculatus* (Acari: Tetranychidae) feeding on mite-susceptible and mite-resistant rubber tree germplasms[J]. Experimental and Applied Acarology, 2020, 82(2): 211-228.
- [3] 张方平, 朱俊洪, 李磊, 韩冬银, 牛黎明, 陈俊谕, 符悦冠. 不同生长期橡胶叶对六点始叶螨选择性及种群增长影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(1): 153-157.
ZHANG F P, ZHU J H, LI L, HAN D Y, NIU L M, CHEN J Y, FU Y G. Effect of rubber leaves on the selectivity and growth stages of *Eotetranychus sexmaculatus* at different growing period[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(1): 153-157. (in Chinese)
- [4] 陈瑜, 马春森. 气候变暖对昆虫影响研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(8): 2159-2172.
CHEN Y, MA C S. Effect of global warming on insect: a literature review[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(8): 2159-2172. (in Chinese)
- [5] 杨建发. 西双版纳州橡胶树重要害虫的发生及防治[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(3): 177, 181.
YANG J F. Occurrence and control of important pests of rubber in Xishuangbanna of Yunnan province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(3): 177, 181. (in Chinese)
- [6] 李图宝. 橡胶林常见病虫害防控策略[J]. 南方农业, 2018, 12(29): 8-9.
LI B T. Control strategy of common diseases and pests in rubber forest[J]. South China Agriculture, 2018, 12(29): 8-9. (in Chinese)
- [7] 海南省气象局. 海南气候[EB/OL]. [2022-06-21]. http://hi.cma.gov.cn/xwzx/gzdt/202105/t20210525_3351555.html.
Hainan Meteorological Service. Hainan climate[EB/OL]. [2022-06-21]. http://hi.cma.gov.cn/xwzx/gzdt/202105/t20210525_3351555.html. (in Chinese)
- [8] 马罡, 马春森. 气候变化下极端高温对昆虫种群影响的研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2016, 46(5): 556-564.
MA G, MA C S. Research progress on the effects of extreme high temperature on insect population under climate change[J]. Scientia Sinica (Vita), 2016, 46(5): 556-564. (in Chinese)
- [9] 李祥瑞, 陈智勇, 巴吐西, 殷新田, 朱勋, 张云慧. 短时高温暴露对草地贪夜蛾存活及生殖的影响[J]. 植物保护, 2022, 48(1): 90-96.
LI X R, CHEN Z Y, BA T X, YIN X T, ZHU X, ZHANG Y H. Effects of short-term heat stress on the survival and fecundity of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Plant Protection, 2022, 48(1): 90-96. (in Chinese)
- [10] 任麒麟. 短时高温胁迫对草地贪夜蛾存活和繁殖的影响[D]. 贵阳: 贵州大学, 2021.
REN Q L. Effects of short-term high temperature stress on survival and reproduction of *Spodoptera frugiperda*[D]. Guiyang: Guizhou University, 2021. (in Chinese)
- [11] 顾祥鹏, 黄禹禹, 张金永, 张晓明, 陈国华. 短时高温胁迫对瓜实蝇生长发育及繁殖的影响[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(2): 391-399.
GU X P, HUANG Y Y, ZHANG J Y, ZHANG X M, CHEN G H. Effects of short-term high-temperature stress on growth, development and reproduction of melon fly[J]. Journal of Environmental Entomology, 2020, 42(2): 391-399. (in Chinese)
- [12] 李国平, 封洪强, 黄博, 钟景, 田彩红, 邱峰, 黄建荣. 短时高温暴露对绿盲蝽和中黑盲蝽存活及生殖的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(11): 3939-3945.
LI G P, FENG H Q, HUANG B, ZHONG J, TIAN C H, QIU F, HUANG J R. Effects of short-term heat stress on survival and fecundity of two plant bugs: *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) and *Adelphocoris suturalis* Jakovlev (Hemiptera: Miridae)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(11): 3939-3945. (in Chinese)

- [13] 杨丽红, 黄海, 王进军. 高温胁迫对柑橘全爪螨存活及生殖的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(4): 693-701.
YANG L H, HUANG H, WANG J J. Effect of exposure to heat stress on survival and fecundity of *Panonychus citri*[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(4): 693-701. (in Chinese)
- [14] 李定旭, 张晓宁, 杨玉玲, 朱华伟. 高温冲击对山楂叶螨的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4437-4444.
LI D X, ZHANG X N, YANG Y L, ZHU H W. Effects of high temperature shocks on hawthorn spider mite, *Tetranychus viennensis* Zacher[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16): 4437-4444. (in Chinese)
- [15] 杨帅, 赵冰梅, 李广云, 胡素丽, 郭艳兰, 张建萍. 短时高温暴露对土耳其斯坦叶螨和截形叶螨的影响[J]. 昆虫学报, 2013, 56(3): 276-285.
YANG S, ZHAO B M, LI G Y, HU S L, GUO Y L, ZHANG J P. Effects of brief exposure to high temperature on *Tetranychus turkestanii* and *T. runcatus* (Acari: Tetranychidae)[J]. Acta Entomologica Sinica, 2013, 56(3): 276-285. (in Chinese)
- [16] MA C S, MA G, PINCEBOURDE S. Survive a warming climate: insect responses to extreme high temperatures[J]. Annual Review of Entomology, 2020, 66(1): 163-184.
- [17] 刘诗萌, 周金成, 何玥, 许竟文, 董辉. 短时极端高温对松毛虫赤眼蜂成虫致死作用及子代适合度的影响[J]. 环境昆虫学报, 2021, 43(1): 199-205.
LIU S M, ZHOU J C, HE Y, XU J W, DONG H. Effects of short-term extreme heat on adult mortality and offspring fitness of *Trichogramma dendrolimi* Matsumura (Hymenoptera: Trichogrammatidae)[J]. Journal of Environmental Entomology, 2021, 43(1): 199-205. (in Chinese)
- [18] 杨光融, 林廷谋. 温度对橡胶六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus* (Riley) 种群变动的影响[J]. 热带作物学报, 1987, 4(1): 103-107.
YANG G R, LIN T M. Effects of temperature on population dynamics of *Eotetranychus sexmaculatus* (Riley)[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 1987, 4(1): 103-107. (in Chinese)
- [19] 徐汝梅. 昆虫种群生态学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 97-99.
XU R M. Insect population ecology[M]. Beijing: Beijing Normal University Publishing House, 1987: 97-99. (in Chinese)
- [20] LIANG L N, ZHANG W, MA G, HOFFMANN A A, MA C S, CARVALHO G. A single hot event stimulates adult performance but reduces egg survival in the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta*[J]. PLoS One, 2014, 9(12): e116339.
- [21] ZHANG W, ZHAO F, HOFFMANN A A, MA C S, SRYGLEY R B. A single hot event that does not affect survival but decreases reproduction in the diamondback moth, *Plutella xylostella*[J]. PLoS One, 2013, 8(10): e75923.
- [22] 赵鑫, 傅建伟, 万方浩, 郭建英, 王进军. 短时高温暴露对莲草直胸跳甲生殖特性的影响[J]. 昆虫学报, 2009, 52(10): 1110-1114.
ZHAO X, FU J W, WAN F H, GUO J Y, WANG J J. Effects of brief high temperature exposure on reproductive characteristics of *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae)[J]. Acta Entomologica Sinica, 2009, 52(10): 1110-1114. (in Chinese)
- [23] 周晓榕, 卜庆国, 庞保平. 温度对桃蚜和马铃薯长管蚜实验种群生命表参数的影响[J]. 昆虫学报, 2014, 57(7): 837-843.
ZHOU X R, BU Q G, PANG B P. Effects of temperature on life table parameters of the laboratory populations of *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae)[J]. Acta Entomologica Sinica, 2014, 57(7): 837-843. (in Chinese)
- [24] 郝强, 黄倩, 梁炜博, 贡常委, 王学贵. 不同温度下斜纹夜蛾的两性生命表[J]. 昆虫学报, 2016, 59(6): 654-662.
HAO Q, HUANG Q, LIANG W B, GONG C W, WANG X G. Age-stage two-sex life tables of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) at different temperatures[J]. Acta Entomologica Sinica, 2016, 59(6): 654-662. (in Chinese)
- [25] 李干金, 徐显浩, 张海亮, 朱敏, 崔旭红. 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 G J, XU X H, ZHANG H L, ZHU M, CUI X H. Effects of short-term exposure to high temperature on the survival and fecundity of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens*)[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(9): 1747-1755. (in Chinese)
- [26] 蔡冲, 潘颖佳, 姚露晨, 李若南, 崔旭红. 短时高温暴露对菊方翅网蝽成虫存活和生殖特性的影响[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(4): 952-958.
CAI C, PAN Y J, YAO L C, LI R L, CUI X H. Effects of short-term exposure to high temperature on the survival and fecundity of *Corythucha marmorata* Uhler[J]. Journal of Environmental Entomology, 2020, 42(4): 952-958. (in Chinese)
- [27] MONTSERRAT M, GUZMAN C, SAHUN R M, BELDA J E, HORMAZA J I. Pollen supply promotes, but high temperatures demote, predatory mite abundance in avocado orchards[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2013, 164: 155-161.
- [28] 李维真. 短时高温胁迫下巴氏新小绥螨的生物学特性及保护酶活性的变化研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2021.
LI W Z. Changes of biological characteristics and protective enzyme activities of *Neoseiulus barkeri* under short-term heat stress[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2021. (in Chinese)
- [29] WEI Z, CHANG X Q, HOFFMANN A, SHU Z, MA C S. Impact of hot events at different developmental stages of a moth: the closer to adult stage, the less reproductive output[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 10436.