

短时高温暴露处理对双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* Wainstein 生长发育的影响*

李永涛^{1,2**} 刘 敏^{1,2} 潘云飞^{1,2} 张燕南^{1,2} 张建萍^{1,2***}

(1. 石河子大学农学院, 石河子 832000;

2. 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用自治区普通高校重点实验室, 石河子 832003)

摘 要 【目的】明确新疆本地种捕食螨双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* Wainstein 在遇到短时极端高温胁迫后, 对其生长发育和种群发展的影响。【方法】利用短时极端高温处理试验, 研究双尾新小绥螨卵和成螨分别在 38℃、42℃和 46℃下, 处理 2、4 和 6 h 后的孵化率、存活率以及对其未成熟阶段发育历期和生命参数的影响。【结果】卵经过不同时间高温处理后, 随着处理温度的升高, 处理时间的延长, 卵的孵化率逐渐降低, 46℃处理 2 h 的孵化率仅为 42.02%, 且在 46℃处理超过 4 h, 其卵不能孵化; 其各未成熟阶段发育历期有先缩短后延长的趋势, 当在 38℃处理 2 h 时, 其发育历期最短为 4.82 d。雌成螨经过不同时间高温处理后, 雌成螨的产卵量、产卵期和寿命随着处理温度的升高、处理时间的延长有逐渐下降和缩短的趋势; 42℃, 2 h 处理下每雌产卵量最低为 19.33 粒, 其产卵期也是最短为 10.09 d; 38℃, 6 h 处理下寿命最短为 14.68 d。【结论】短时极端高温处理主要影响双尾新小绥螨卵的孵化率、存活率降低和未成熟阶段的发育历期; 影响其雌成螨的产卵量和寿命。

关键词 双尾新小绥螨, 高温暴露, 生长发育

Effects of brief exposure of *Neoseiulus bicaudus* Wainstein to high temperature

LI Yong-Tao^{1,2**} LIU Min^{1,2} PAN Yun-Fei^{1,2} ZHANG Yan-Nan^{1,2} ZHANG Jian-Ping^{1,2***}

(1. College of Agricultural, Shihezi University, Shihezi 832000, China; 2. Key Laboratory at Universities of Xingjiang Uygur Autonomous Region for Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resource Utilization, Shihezi 832003, China)

Abstract [Objectives] The effect of brief exposure to high temperature on the development and population dynamics of *Neoseiulus bicaudus* Wainstein was studied. [Methods] The hatching rate, egg survival rate and life history parameters of adults were investigated after eggs and adults were exposed to temperatures of 38℃, 42℃ and 46℃, for 2, 4 and 6 h, respectively. [Results] Hatching rates decreased at higher temperatures and with increased duration of exposure to higher temperatures. The lowest hatching rate was observed when eggs were exposed to 46℃ for 2 h. No eggs kept at 46℃ for 4 h or 6 h, hatched. Female developmental duration increased significantly with temperature from 38℃ to 46℃. Female fecundity declined, and oviposition period and longevity shortened, following exposure to higher temperatures and with increased duration of exposure to these. The lowest fecundity and shortest oviposition period were observed in females kept at 42℃ for 2 h. Females exposed to 38℃ for 6 h had the shortest lifespan, which was 14.68 d. [Conclusion] Brief exposure to high temperature has a significant effect on the hatching rate, survivorship, development, fecundity, and longevity, of female *N. bicaudus*.

Key words *Neoseiulus bicaudus*, high temperature exposure, development and reproduction

* 资助项目 Supported projects: 兵团杰出青年基金 (2014CD004); 国家棉花产业技术体系西北棉区病虫害综合防控 (CARS-18)

**第一作者 First author, E-mail: 912194713@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhjp_agr@shzu.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-10-24, 接受日期 Accepted: 2016-01-14

在全球范围内,捕食螨种类丰富,并有多种捕食螨已商业化,用于控制不同作物上的害螨、粉虱、蓟马等害虫(Zhang, 2003; 洪晓月, 2012; 徐学农等, 2013)。我国疆域辽阔,捕食螨物种资源丰富(唐斌等, 2004),新疆地处中亚,面积广阔,有多种捕食螨(鲁素玲和张建萍, 2000)。双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* Wainstein 隶属植绥螨科(Phytoseiidae)新小绥螨属(*Neoseiulus* Hughes),是中国新记录种(Wang *et al.*, 2015),属新疆本地捕食螨。双尾新小绥螨能够取食土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii* (Ugarov *et* Nikolskii),截形叶螨,蓟马及粉虱等小型昆虫(王振辉等, 2015);对果树、棉花、大棚蔬菜等农作物的有害生物综合防治具有重要意义。

螨类是变温动物,温度是影响螨类生长发育及繁殖的重要环境因子(Mesa *et al.*, 1990; Hart *et al.*, 2002; Palyvos and Emmanouel, 2009; Ghazy *et al.*, 2012)。在双尾新小绥螨的适温范围内,随着温度的升高,未成熟阶段的发育历期会随着温度的升高而逐渐缩短,繁殖力会随着温度的升高先升高后降低(Li *et al.*, 2015)。

土耳其斯坦叶螨隶属真螨目(Acariformes),叶螨科(Tetranychidae),叶螨属 *Tetranychus* (王慧英, 1981),是多种农作物上的重要害螨。土耳其斯坦叶螨在国外主要分布于俄罗斯、哈萨克斯坦、美国和中东等地,在国内分布在新疆,且为害螨优势种群,内地未见报道。该螨可对棉花、玉米、高粱、枸杞、豆类、油菜、花生、啤酒花、苜蓿、蔬菜等作物造成严重危害(王旭疆等, 1999; Guo *et al.*, 2013; 杨帅等, 2013a; Li *et al.*, 2014; 刘敏等, 2015)。

由于新疆地区的特殊气候情况,在新疆南疆和吐鲁番地区夏季短时高温可以达到42~45℃以上,且每日高温持续时间一般为4 h以上(吕昭智等, 2010),这样的短时高温究竟会对双尾新小绥螨的生长发育及繁殖造成怎样的影响?短时高温对土耳其斯坦叶螨的影响已有报道(杨帅等, 2013b),其主要影响土耳其斯坦叶螨的卵的孵化率、存活率和未成熟阶段的发育历期,对成螨的寿命和生殖无显著影响;土耳其斯坦叶螨对

极端高温有一定的适应性。在同样高温条件下,双尾新小绥螨是否取食土耳其斯坦叶螨完成其生长发育?能对土耳其斯坦叶螨有一定控制作用?因此,本研究在实验室条件下采用不同高温处理不同时间试验,研究了双尾新小绥螨在短时极端高温暴露条件下的存活和生殖特性及其差异,旨在揭示短时极端高温暴露对双尾新小绥螨种群产生的影响,掌握双尾新小绥螨对高温的敏感程度及其在高温季节种群的数量变动机制,对双尾新小绥螨在生长季节对叶螨的控制效应及其释放的温度选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试螨源

1.1.1 供试土耳其斯坦叶螨 供试土耳其斯坦叶螨采自石河子大学农学院试验站,采回后在实验室用盆栽豇豆苗在 Eyela FLI-2000H 型号光照培养箱内(饲养条件:温度(28±1)℃,相对湿度60%,光周期16L:8D)饲养20代以上,建立试验种群。

1.1.2 供试双尾新小绥螨 供试新小绥螨采自新疆维吾尔自治区伊犁地区,并在实验室用土耳其斯坦叶螨在 Eyela FLI-2000H 型号光照培养箱内(饲养条件:温度(26±1)℃,相对湿度60%,光周期16L:8D)饲养,建立试验种群。

1.2 实验方法

1.2.1 短时高温处理双尾新小绥螨的卵对卵孵化和未成熟期发育历期的影响 用0号毛笔向每个小室中(Li *et al.*, 2015; 王振辉等, 2015)挑入已受精的双尾新小绥螨雌成虫一头和10头土耳其斯坦叶螨于26℃、RH为60%±5%、光周期为16L:8D的人工气候箱中产卵24 h后,将双尾新小绥螨雌成螨剔除,每小室留双尾新小绥螨卵(长椭圆形)1粒,然后,将其放入38、42、46℃下,每个温度梯度分别处理2、4、6 h后,放入光照培养箱中饲养供观察(饲养条件同1.1.2),以未经过短时高温处理的为对照,每个处理为120粒卵,每12 h观察一次,待孵化出幼螨后,每个小室补够10头土耳其斯坦叶螨以

供其取食,记录各虫态历期发育情况,并根据叶螨的新鲜程度更换叶片。进入成虫后,雌雄配对饲养,直至产卵,记录产卵前期。

1.2.2 短时高温暴露对双尾新小绥螨雌成螨存活和繁殖力的影响 采集刚蜕皮的双尾新小绥螨成螨(饲养条件同 1.1.2),按雌雄分组挑入小室中,然后,将其放入 38、42、46℃下,每个温度梯度分别处理 2、4、6 h 后,放入光照培养箱中 1 h,再记录其存活情况,用小号毛笔轻触螨体,无任何反应者为死亡,统计其存活率。以未经过短时高温暴露处理的为对照,每个处理至少 30 头雌成螨。取上述短时高温暴露处理后存活下来的双尾新小绥螨挑入小室中进行雌雄配对,每小室中每天放 10 头土耳其斯坦叶螨,每 12 h 观察一次,直至产卵,记录产卵前期。以后每天观察一次,记录每日产卵量并根据小室叶片的新鲜程度更换叶片,直至雌螨死亡。

1.2.3 数据统计分析 采用 SPSS17.0 统计软件对所有试验数据进行分析。不同温度和处理时间对双尾新小绥螨卵孵化的影响采用双因素方差分析,其余各试验数据均用单因素方差分析,采用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验($\alpha=0.05$)。图表采用 Origin7.5 和 Excel 软件进行绘制。

2 结果与分析

2.1 卵期短时高温暴露处理对双尾新小绥螨卵孵化率的影响

由表 1 可知:双尾新小绥螨的卵经 38、42

和 46℃下处理 2 h,其孵化率由 97.96%下降到 42.02%,并且各处理之间均存在显著性差异($P<0.05$)。经 38℃和 42℃下处理 6 h 与 38℃和 42℃下处理 2 h、4 h 之间存在显著性差异,而 38℃和 42℃下处理 2 h 和 4 h 之间不存在显著性差异。在 46℃处理下,双尾新小绥螨的卵仅处理 2 h 可以孵化,处理 4 h 和 6 h 下均全部不能孵化或者干瘪。

将双尾新小绥螨卵的孵化率数据进行反正弦转化后,运用 SPSS17.0 统计软件进行双因素方差分析,结果表明,温度效应显著($df=2$, $F=142.585$, $P<0.001$),不同处理时间效应显著($df=2$, $F=10.258$, $P=0.001$),温度与时间的交互作用也显著($df=4$, $F=79.653$, $P<0.001$)。

2.2 卵期高温暴露处理对双尾新小绥螨未成熟阶段发育历期的影响

卵期经不同温度、时间处理后,双尾新小绥螨未成熟阶段发育历期如表 2 所示。进行方差分析结果表明,卵期 38℃不同时间处理间及与对照之间均没有显著性差异;幼螨期 38℃不同时间处理间及与对照之间也均没有显著性差异,并且幼螨期各温度下,不同时间处理之间差异不显著;若 I 期在 38℃和 42℃各处理之间及与对照之间存在显著性差异($P<0.05$);若 II 期在 38℃和 42℃各处理之间及与对照之间均不存在显著性差异,但 38℃和 42℃各处理与 46℃处理之间存在显著性差异($P<0.05$);未成熟期在 42℃、46℃各处理之间不存在显著性差异。在 38℃处理 2 h,卵的未成熟期最短为 4.82 d,在 46℃下

表 1 双尾新小绥螨的卵不同时间高温处理后其孵化率比较 (mean±SE, %)
Table 1 Hatching rates of *Neoseiulus bicaudus* eggs after exposure to high temperatures (mean±SE, %)

处理时间 Exposure time (h)	孵化率 Hatching rate		
	38℃	42℃	46℃
2	97.96±4.87 C b	92.35±0.92 B b	42.02±0.29 A
4	94.88±1.86 A ab	93.45±1.05 A b	—
6	91.05±0.72 B a	87.36±1.30 A a	—

同行数据后标有不同大写字母表示同一处理时间不同温度间差异显著,同列数据后标有不同小写字母表示同一温度不同处理时间差异显著 ($P<0.05$)。

Data with different capital letters within the same row indicate significant difference among the same time and different temperatures, while with different lowercase letters within the same column indicate significant difference among the same temperature and different exposure times at 0.05 level.

表 2 短时高温暴露处理卵后双尾新小绥螨的发育历期 (mean±SE, d)

Table 2 Development of *Neoseiulus bicaudus* survived after eggs exposure to high temperatures (mean±SE, d)

处理 Treatment	卵期 Egg period	幼螨期 Larva period	若 I 期 Protonymph	若 II 期 Deutonymph	未成熟期 Total immature	产卵前期 Pre-oviposition	
46℃	2 h	2.06±0.04 c	0.69±0.04 b	1.77±0.11 de	1.90±0.44 b	6.29±0.62 d	1.99±0.21 b
	6 h	1.97±0.08 bc	0.56±0.10 a	1.65±0.14 cd	1.72±0.27 ab	5.71±0.26 c	1.90±0.09 b
42℃	4 h	1.86±0.03 b	0.57±0.05 a	1.53±0.05 bc	1.53±0.14 ab	5.39±0.19 bc	2.00±0.05 b
	2 h	1.62±0.11 a	0.56±0.03 a	1.37±0.18 ab	1.74±0.14 ab	5.29±0.28 abc	1.98±0.09 b
	6 h	1.62±0.01 a	0.58±0.05 ab	1.95±0.16 e	1.44±0.23 a	5.64±0.08 bc	1.71±0.04 a
38℃	4 h	1.53±0.20 a	0.64±0.08 ab	1.50±0.04 bc	1.36±0.19 a	5.10±0.28 ab	2.06±0.05 b
	2 h	1.57±0.15 a	0.59±0.06 ab	1.28±0.06 a	1.39±0.19 a	4.82±0.30 a	2.09±0.15 b
CK		1.64±0.04 a	0.61±0.01 ab	1.75±0.08 de	1.73±0.07 ab	5.63±0.10 bc	2.52±0.44 c

同列数据后标有不同字母表示差异显著 ($P<0.05$) ; 46℃温度下处理 4 h 和 6 h 后, 各样本均全部不能孵化或者干瘪。

Different lowercase letters within the same column indicate significant difference at 0.05 level. All the samples cannot hatch or ran dry under the 46℃, 4 h treatment and the 46℃, 6 h treatment.

处理 4 h 和 6 h 全部不能孵化。经同一温度不同的时间处理后, 各处理其产卵前期与对照之间均存在显著性差异 ($P<0.05$), 并显著低于对照。

2.3 短时高温暴露处理双尾新小绥螨雌成螨对其存活及繁殖的影响

刚羽化的双尾新小绥螨雌成螨经 46℃处理后, 全部死亡。经 38℃和 42℃各处理的雌成螨的存活率曲线如图 1, 图 2 所示。由图 1 和图 2 可知: 双尾新小绥螨的雌成螨经 38℃和 42℃暴露处理后前 7 d 的死亡率较小, 各处理前 7 d 的雌成螨存活率与对照大致相同, 7 d 后, 存活率较对照明显下降, 且各处理后期死亡近乎呈直线下降, 死亡速率明显快于对照。38℃和 42℃处理

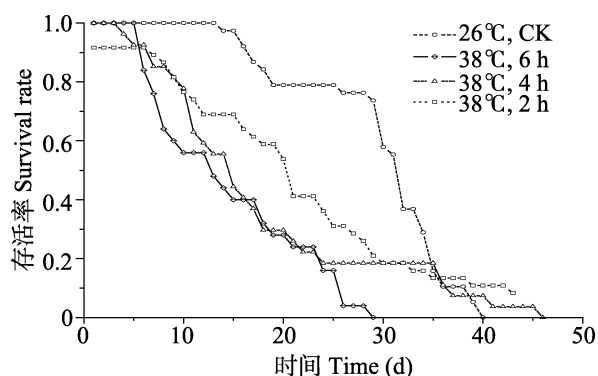


图 1 38℃高温处理下双尾新小绥螨雌成螨的存活率
Fig. 1 Survival rates of female adults of *Neoseiulus bicaudus* after exposure to 38℃

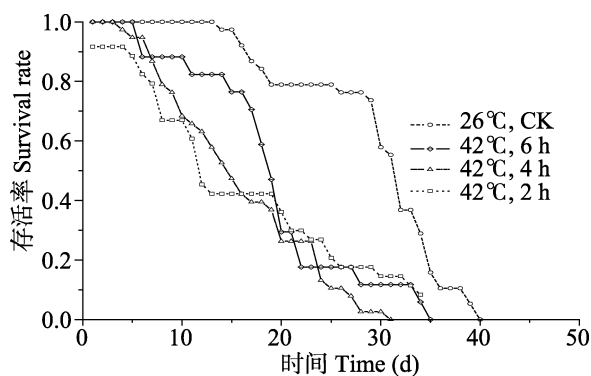


图 2 42℃高温处理下双尾新小绥螨雌成螨的存活率
Fig. 2 Survival rates of female adults of *Neoseiulus bicaudus* after exposure to 42℃

2 h 的死亡速率明显慢于 38℃和 42℃分别处理 4 h 和 6 h 的死亡速率; 42℃处理 2 h 和 4 h 的死亡速率分别快于 38℃处理 2 h 和 4 h 的死亡速率。

雌成螨经 38℃和 42℃各处理的产卵量曲线如图 3, 图 4 所示。由图 3, 图 4 可知: 产卵高峰期大致从雌雄配对后第 3 天开始, 较对照产卵高峰从雌雄配对后第 5 天开始稍有提前, 同时产卵期也提前结束; 各处理的产卵高峰期明显短于对照, 在产卵高峰期内, 各处理每日每雌产卵量均与对照相当, 各处理产卵高峰期的总产卵量低于对照处理。38℃处理 2 h 的总产卵量高于 42℃处理 2 h 的产卵量, 38℃处理 2 h 的总产卵量高于 38℃处理 4 h 和 6 h 时的总产卵量。

双尾新小绥螨雌成螨经短时高温暴露处理

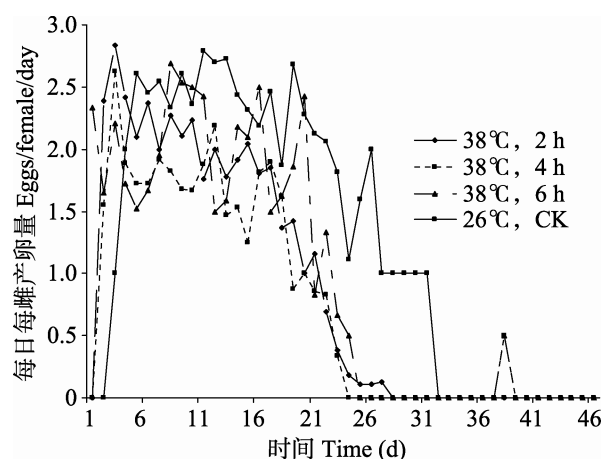


图3 38℃高温处理下雌成螨的产卵量

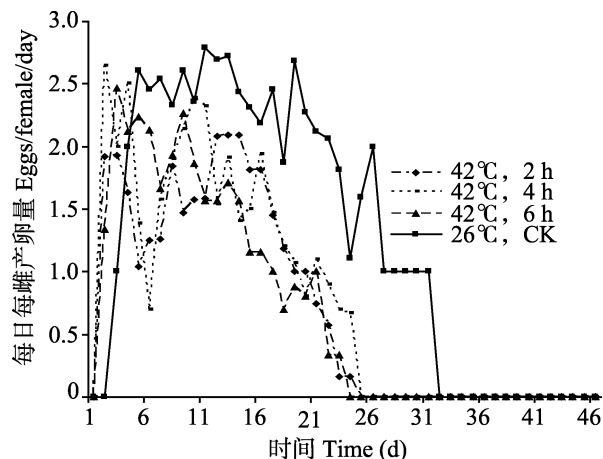
Fig. 3 Eggs per female per day of female adults of *Neoseiulus bicaudus* after exposure to 38℃

图4 42℃高温处理下雌成螨的产卵量

Fig. 4 Eggs per female per day of female adults of *Neoseiulus bicaudus* after exposure to 42℃

后, 该雌成螨的产卵前期、产卵期、产卵后期、雌成螨寿命和产卵量见表3。由表3可知: 所有处理之间, 每雌产卵量没有差异, 但均显著低于对照 ($P<0.05$); 38℃处理6 h的产卵前期最短为1.61 d, 同一处理时间, 42℃各处理产卵前期均稍长于38℃的处理; 所有处理雌成螨的产卵期

之间及与对照之间没有显著性差异; 对照处理的雌成螨产卵后期11.93 d显著长于各处理后雌成螨的产卵后期 ($P<0.05$), 而各处理之间的产卵后期没有显著性差异。对照试验的雌成螨寿命31.05 d显著长于各处理后的雌成螨寿命 ($P<0.05$), 而各处理之间的雌成螨寿命没有显著性差异。

表3 短时高温暴露处理双尾新小绥螨雌成螨后的繁殖力比较 (mean±SE)

Table 3 Reproduction indices of *Neoseiulus bicaudus* females after exposure to high temperatures (mean±SE)

处理 Treatment	每雌产卵量 (粒) Single female spawning	产卵前期 (d) Pre-oviposition (d)	产卵期 (d) Oviposition (d)	产卵后期 (d) Post-oviposition (d)	雌成螨寿命 (d) Longevity (d)	
38℃	2 h	31.76±3.65 ab	1.88±0.11 ab	13.86±1.26 a	5.18±0.99 a	20.94±1.61 a
	4 h	22.33±3.87 a	2.19±0.09 bc	11.00±1.64 a	5.89±1.24 a	18.07±2.21 a
	6 h	23.32±4.21 a	1.61±0.12 a	10.75±1.47 a	2.32±0.34 a	14.68±1.56 a
42℃	2 h	19.33±3.75 a	1.91±0.08 ab	10.09±1.48 a	3.89±0.75 a	15.89±1.69 a
	4 h	22.03±2.92 a	2.51±0.12 c	10.63±1.21 a	2.84±0.31 a	15.97±1.20 a
	6 h	24.00±3.23 a	2.55±0.14 c	13.15±1.58 a	3.71±1.51 a	19.41±1.92 a
CK	42.40±2.36 b	2.52±0.44 c	16.60±0.77 a	11.93±1.47 b	31.05±1.66 b	

同列数据后标有不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Data with different lowercase letters within the same column indicate significant difference at 0.05 level.

3 讨论

昆虫(螨类)是变温动物, 对温度变化非常敏感, 高温不仅可以使昆虫迅速死亡, 还可以导致其生殖力下降甚至丧失 (Vollmer *et al.*, 2004; Silbermann and Tatar, 2000)。昆虫(螨类)对极端高温的适应性存在差异, 这种差异可能是由于

不同昆虫种类对高温的忍耐力或敏感性差异造成的 (Chen and Kang, 2005); 也可能是昆虫体内的EST、CAT、PPO等酶的活性受到高温胁迫, 影响多种酶促反应的正常进行, 使的昆虫的存活率降低 (卢芙蓉等, 2012)。李鸿筠等 (2009) 对尼氏钝绥螨 *Amblyseius nicholsi* 的研究表明, 35℃高温对尼氏钝绥螨的孵化、生存和繁殖无影

响, 40℃高温条件下, 对尼氏钝绥螨的处理时间越长, 对其生存和发育的影响越大, 且 43℃为尼氏钝绥螨的极限温度, 此温度下雌成螨不能正常产卵, 不能生存, 且产下的卵不能正常孵化。

研究胡瓜新小绥螨 *Neoseiulus cucumeris* 对土耳其斯坦叶螨的捕食发现, 胡瓜新小绥螨在 25℃取食土耳其斯坦叶螨时的净增值率 R_0 为 24.74, 其最适宜捕食和活动的温度范围是 20~30℃ (李佳敏等, 2003; 张艳璇等, 2006)。而双尾新小绥螨在其最适生长发育温度 26℃时, 取食土耳其斯坦叶螨的净增值率 R_0 为 34.60, 且其最适宜捕食和活动的温度是 20~35℃ (Li *et al.*, 2015)。胡瓜新小绥螨在 18~31℃间取食土耳其斯坦叶螨可正常发育, 而在 32℃条件下卵不能孵化, 在 33~34℃的世代存活率仅为 50%。本试验结果显示双尾新小绥螨在 38℃下各处理卵的孵化率均在 90%以上, 表明双尾新小绥螨较胡瓜新小绥螨在适温和高温条件下均更适于对土耳其斯坦叶螨的捕食。

加州新小绥螨对土耳其斯坦叶螨在不同温度下的捕食结果表明, 加州新小绥螨在 28℃时, 对土耳其斯坦叶螨的捕食能力最强, 对土耳其斯坦叶螨若螨和卵的最大捕食量分别为 28.49 头和 40.82 粒 (汪小东等, 2014), 而双尾新小绥螨在 26℃时, 对土耳其斯坦叶螨若螨和卵的最大捕食量分别为 45.00 头和 64.40 粒 (王振辉等, 2015), 表明双尾新小绥螨较加州新小绥螨在适温条件下, 更适于对土耳其斯坦叶螨的防治。研究短时高温对加州新小绥螨生长发育的影响, 结果显示, 其卵在 45℃处理 2 h 及以上均不能孵化, 只有 45℃处理 1 h 时能够孵化 76.9%, 说明加州新小绥螨的极限温度大约为 45℃ (袁秀萍等, 2015), 而双尾新小绥螨卵经 38℃和 42℃处理后, 虽然其孵化率随着处理时间的延长而下降, 但仍高于 90%, 且能够正常完成生长发育, 同时, 双尾新小绥螨的卵在 46℃高温下处理 2 h, 其孵化率为 42.02%, 说明双尾新小绥螨的极限温度在 46℃附近, 从而表明双尾新小绥螨在耐高温方面更优于加州新小绥螨。

研究智利新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕

食功能发现, 智利新小绥螨对土耳其斯坦叶螨成螨的最大日捕食量为 16.13 头 (王银方等, 2013), 高于双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨成螨的最大日捕食量 5.60 头 (王振辉等, 2015), 但智利新小绥螨在 40℃高温处理 2 h, 卵的孵化率为 75%, 幼螨存活率为 42.2%, 在 40℃下处理 4 h 时, 卵的孵化率仅为 11.7%, 而幼螨全部死亡, 说明智利新小绥螨不耐 40℃高温 (郭玉杰, 1987)。而双尾新小绥螨在 42℃处理 4 h 的孵化率仍高于 90%, 表明双尾新小绥螨较智利新小绥螨更适于在高温条件下防治土耳其斯坦叶螨。

有研究短时高温暴露对土耳其斯坦叶螨和截形叶螨的影响表明 (杨帅等, 2013b), 短时极端高温暴露处理主要影响叶螨的卵的孵化率、存活率及未成熟阶段的发育历期, 对叶螨的寿命和生殖没有显著影响, 如 46℃高温处理 2 h 时, 土耳其斯坦叶螨卵孵化率和截形叶螨的孵化率均在 90%左右, 但 46℃处理 6 h 时, 土耳其斯坦叶螨卵仍有 45.3%的孵化率, 而截形叶螨只有 23.7%的孵化率。相比之下, 双尾新小绥螨在 46℃处理 4 h、6 h 时均不能孵化, 表明不同螨种类对短时极端高温的适应性能力有差异, 且新疆本地优势种害螨土耳其斯坦叶螨对短时极端高温的适应性要好于截形叶螨, 同时截形叶螨对短时极端高温的适应性要好于双尾新小绥螨。说明在极端高温情况下, 温度对双尾新小绥螨的影响大于土耳其斯坦叶螨和截形叶螨。

短时极端高温会降低双尾新小绥螨的孵化率、存活率, 可能也是由于短时高温使机体内的某些酶丧失活性, 无法进行各种酶促反应, 其具体是影响哪些酶促反应、作用机制如何, 还有待进一步研究。而对于其后续发育历期延长, 可能是由于各种蛋白质的耐热性不同, 部分蛋白质耐热性不好的会失活, 而其他蛋白发挥作用后又能继续使机体正常代谢, 但具体是哪些蛋白质也需要进一步研究。

本试验显示双尾新小绥螨卵期高温处理, 会导致孵化率降低, 死亡率升高甚至发育受阻; 双尾新小绥螨雌成螨经高温处理, 会导致雌成螨寿命缩短, 种群净增值率降低, 从而引起种群波动。

因此,在制定生物防治策略时,应注重考虑释放双尾新小绥螨时的气候状况,以尽量避免和降低短时高温对其种群的影响。

参考文献 (References)

- Chen B, Kang L, 2005. Insect population differentiation in response to environmental thermal stress. *Progress in Natural Science*, 15(4): 289–296.
- Ghazy NA, Suzuki T, Amano H, Ohyama K, 2012. Effects of air temperature and water vapor pressure deficit on storage of the predatory mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 58(2): 111–120.
- Guo YJ, Dong HF, 1987. Effects of variational temperature and variational humidity on development and reproduction of *Phytoseiulus persimilis* (Phytoseiidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 3(1): 19–22. [郭玉杰, 董慧芳, 1987. 变温变湿对智利小植绥螨发育和存活的影响. 生物防治通报, 3(1): 19–22].
- Guo YL, Jiao XD, Xu JJ, Yang S, Duan XK, Zhang JP, 2013. Growth and reproduction of *Tetranychus turkestani* and *Tetranychus truncatus* (Acari: Tetranychidae) on cotton and corn. *Systematic and Applied Acarology*, 18(1): 89–98.
- Hart AJ, Bale JS, Tullett AG, Worland MR, Walters KFA, 2002. Effects of temperature on the establishment potential of the predatory mite *Amblyseius californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae) in the UK. *Journal of Insect Physiology*, 48(6): 593–599.
- Hong XY, 2012. Agricultural Acarology. Beijing: Chinese Agricultural Press. 239–245. [洪晓月, 2012. 农业螨类学. 北京: 中国农业出版社. 239–245]
- Li GY, Li JJ, Xia W, Qu HL, Yang S, Zhang JP, 2014. Effects of Bt+CpTI transgenic cotton on the performance of *Tetranychus turkestani* (Acari: Tetranychidae). *Systematic and Applied Acarology*, 19(2): 236–247.
- Li HJ, Liu YH, Liu HQ, Yao YS, Lei HD, 2009. Effect of high point temperature on the development of *Amblyseius nicholsi*. *Chinese Journal of Biological Control*, 25(S1): 1–5. [李鸿筠, 刘映红, 刘浩强, 姚廷山, 雷慧德, 2009. 高温对尼氏钝绥螨的影响. 中国生物防治, 25(S1): 1–5.]
- Li JM, Lu JL, Qu YF, Yang YY, Wu QH, 2003. Effect of temperature on developmental duration of *Amblyseius cucumeris*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(12): 2255–2257. [李佳敏, 吕佳乐, 屈云芳, 杨琰云, 吴千红, 2003. 温度对黄瓜钝绥螨发育历期的影响. 应用生态学报, 14(12): 2255–2257.]
- Li YT, Jiang YQ, Huang YQ, Wang ZH, Zhang JP, 2015. Effects of temperature on development and reproduction of *Neoseiulus bicaudus* (Phytoseiidae) feeding on *Tetranychus turkestani* (Tetranychidae). *Systematic and Applied Acarology*, 20(5): 478–490.
- Liu M, Li YT, Li T, Su J, Duan XK, Wang ZH, Zhang JP, 2015. Effects of sub-lethal concentrations of Azocyclotin on the movement rates of *Tetranychus turkestani* (Ugarov et Nikolskii). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(3): 593–599. [刘敏, 李永涛, 李婷, 苏杰, 段祥坤, 王振辉, 张建萍, 2015. 三唑锡亚致死浓度对土耳其斯坦叶螨运动速率的影响. 应用昆虫学报, 52(3): 593–599.]
- Lu FP, Fu YG, Guo RQ, Cai Y, Jing FL, Xu XL, Lu H, Chen Q, 2012. Effect of extreme high temperature on the enzymes of cassava green mite *Mononychellus tanajioa* (Acari: Tetranychidae). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 28(18): 223–230. [卢芙萍, 符悦冠, 郭容琦, 蔡源, 经福林, 徐雪莲, 卢辉, 陈青, 2012. 极端高温对木薯单爪螨保护酶活性的影响研究. 中国农学通报, 28(18): 223–230.]
- Lu SL, Zhang JP, 2000. The preliminary report of species of Phytoseiid mites in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 38(S1): 127–128. [鲁素玲, 张建萍, 2000. 新疆植绥螨科种类调查初报. 新疆农业科学, 38(S1): 127–128.]
- Lü ZZ, Zhang JG, Luo L, Gao GZ, Lu GL, 2010. Effect of high temperature on survival of the cotton aphid, *Aphis gossypii*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(4): 685–689. [吕昭智, 张江国, 罗亮, 高桂珍, 陆国良, 2010. 短时间高温处理对棉蚜存活的影响. 昆虫知识, 47(4): 685–689.]
- Mesa NC, Braun AR, Belotti AC, 1990. Comparison of *Mononychellus progresivus* and *Tetranychus urticae* as prey for five species of phytoseiid mites. *Experimental and Applied Acarology*, 9(3/4): 159–168.
- Palyvos NE, Emmanouel NG, 2009. Temperature-dependent development of the predatory mite *Cheyletus malaccensis* (Acari: Cheyletidae). *Experimental and Applied Acarology*, 47(2): 147–158.
- Silbermann R, Tatar M, 2001. Reproductive costs of heat shock protein in transgenic *Drosophila melanogaster*. *Evolution*, 54(6): 2038–2045.
- Tang B, Zhang F, Tao SX, Xiong JW, 2004. The recent advances on resources and biology of phytoseiid mites. *Entomological Knowledge*, 41(6): 527–531. [唐斌, 张帆, 陶淑霞, 熊继文, 2004. 中国植绥螨资源及其生物学研究进展. 昆虫知识, 41(6): 527–531.]
- Vollmer JH, Sarup P, Kaersgaard CW, Dahlgaard J, Loeschke V, 2004. Heat and cold-induced male sterility in *Drosophila buzzatii*: genetic variation among populations for the duration of sterility.

- Heredity*, 92(3): 257–262.
- Wang BM, Wang ZH, Jiang XH, Zhang JP, Xu XN, 2015. Re-description of *Neoseiulus bicaudus* (Acari: Phytoseiidae) newly recorded from Xinjiang, China. *Systematic & Applied Acarology*, 20(4): 455–461.
- Wang HF, 1981. Economic Insect Fauna of China, Fasc. 23. Acari: Tetranychidae. Beijing: Science Press. 118, 125–126. [王慧英, 1981. 中国经济昆虫志, 第 23 册. 螨目, 叶螨总科. 北京: 科学出版社. 118, 125–126.]
- Wang XD, Liu F, Zhang JH, Yuan XP, Zhao YY, 2014. Predation of predatory mite *Neoseiulus californicus* on strawberry spider mite *Tetranychus truncatus*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 41(1): 19–24. [汪小东, 刘峰, 张建华, 袁秀萍, 赵伊英, 2014. 加州新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食作用. 植物保护学报, 41(1): 19–24.]
- Wang XJ, Yuan LP, Wang YW, Wang LJ, 1999. Biology and integrated control of *Tetranychus Turkestani*. *Acta Arachnologica Sinica*, 8(1): 16–19. [王旭疆, 袁丽萍, 王永卫, 王丽菁, 1999. 土耳其斯坦叶螨的生物学特性及其综合防治. 蛛形学报, 8(1): 16–19.]
- Wang YF, Tu EX, Guo WC, He J, 2013. Functional response of *Phytoseiulus persimilis* to predation of *Tetranychus turkestani*, *Tetranychus truncatus* and *Tetranychus cinnabarinus*. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 50(5): 839–844. [王银方, 吐尔逊, 郭文超, 何江, 2013. 智利小植绥螨对土耳其斯坦叶螨、截形叶螨、朱砂叶螨的捕食作用. 新疆农业科学, 50(5): 839–844.]
- Wang ZH, Li YT, Li T, Lu YH, Zhang JP, Xu XN, 2015. The morphology and predatory behavior of the mite *Neoseiulus bicaudus*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(3): 580–586. [王振辉, 李永涛, 李婷, 陆宴辉, 张建平, 徐学农, 2015. 双尾新小绥螨的形态特征及捕食性功能. 应用昆虫学报, 52(3): 580–586.]
- Xu XN, Lü JL, Wang ED, 2013. Hot spots in international predatory mite studies and lessons to us. *Chinese Journal of Biological Control*, 29(2): 163–174. [徐学农, 吕佳乐, 王恩东, 2013. 国际捕食螨研发与应用的热点问题及启示. 中国生物防治学报, 29(2): 163–174.]
- Yang S, He YF, He H, Li T, Wei QY, Feng P, Zhang JP, 2013a. Comparison of the Predation of *Stethorus punctillum* on *Tetranychus Turkestani* and *T. truncatus*. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 31(1): 10–13. [杨帅, 贺亚峰, 何欢, 李婷, 卫秋阳, 冯盼, 张建平, 2013a. 深点食螨瓢虫对土耳其斯坦叶螨和截形叶螨捕食作用的比较. 石河子大学学报 (自然科学版), 31(1): 10–13.]
- Yang S, Zhao BM, Li GY, Hu SL, Guo YL, Zhang JP, 2013b. Effects of brief exposure to high temperature on *Tetranychus Turkestani* and *T. truncatus* (Acari: Tetranychidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(3): 276–285. [杨帅, 赵冰梅, 李广云, 胡素丽, 郭艳兰, 张建平, 2013b. 短时高温暴露对土耳其斯坦叶螨和截形叶螨的影响. 昆虫学报, 56(3): 276–285.]
- Yuan XP, Wang XD, Wang JW, Zhao YY, 2015. Effects of brief exposure to high temperature on *Neoseiulus californicus*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 26(3): 853–858. [袁秀萍, 汪小东, 王佳武, 赵伊英, 2015. 短时高温对加州新小绥螨发育的影响. 应用生态学报, 26(3): 853–858.]
- Zhang YX, Wang FT, Ji J, Chen F, Yi ZB, Weng XM, Chen X, 2006. Evaluation of *Amblyseius cucumeris* oudemans for control of pest mites of koerle pear and strategy for its practical application. *Scientia Agricultura Sinica*, 39(3): 518–524. [张艳璇, 王福堂, 季洁, 陈芳, 易正炳, 翁晓梅, 陈霞, 2006. 胡瓜钝绥螨对香梨害螨控制作用的评价及其应用策略. 中国农业科学, 39(3): 518–524.]
- Zhang ZQ, 2003. Mites of Greenhouses: Identification, Biology and Control. CABI Publishing, Wallingford, UK, xii + 244 .