



孙莉, 陈达嵩, 陈霞, 郑月琼, 郑晨昕. 温度对以截形叶螨为猎物的 *Typhlodromips montdorensis* (Schicha) 生长发育及捕食能力的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (5): 1278 - 1284.

温度对以截形叶螨为猎物的 *Typhlodromips montdorensis* (Schicha) 生长发育及捕食能力的影响

孙莉¹, 陈达嵩², 陈霞^{1*}, 郑月琼², 郑晨昕¹

(1. 福建省农业科学院植物保护研究所, 福建省农作物害虫天敌资源工程技术研究中心, 福建省作物有害生物绿色防控工程研究中心, 福州 350001; 2. 福建省泉州市农业学校, 福建泉州 362000)

摘要: *Typhlodromips montdorensis* 是烟粉虱 *Bemisia tabaci*、蓟马、叶螨等多种害虫(螨)的优良天敌, 为明确温度因子对 *T. montdorensis* 生长发育及捕食能力的影响。本文通过比较不同温度条件下 *T. montdorensis* 捕食截形叶螨 *Tetranychus truncates* 的存活率、发育历期及捕食能力, 分析其发育速率及功能反应与温度的关系, 探讨温度因子对 *T. montdorensis* 作为天敌生物防治应用的影响。结果显示, 温度对 *T. montdorensis* 各螨态的存活率和发育历期均有显著影响; *T. montdorensis* 以截形叶螨为猎物时, 15℃低温条件下卵孵化只有 20%, 若螨 I 期时全部死亡, 不能正常完成生长发育; 20~30℃存活率都达 90% 以上, 30℃存活率最高为 92.50%; 而在 35℃温度条件下死亡率增高, 存活率仅达 70%; 在 20~35℃温度范围内, 发育历期与温度呈负相关关系, 采用线性日度模型能较好地描述 *T. montdorensis* 各螨态的发育速率在 20~35℃温度范围内随温度升高而加快的现象。*T. montdorensis* 不同发育阶段的发育起点温度和有效积温均不同, 若螨 II 的发育起点温度最低为 11.24℃, 卵的发育起点温度最高为 15.47℃; 而有效积温则以幼螨最低为 14.84 日·度; 未成熟期发育起点温度和有效积温分别为 12.56℃和 88.99 日·度。*T. montdorensis* 对截形叶螨的捕食功能反应符合 Holling II 型圆盘方程, 在 20~30℃范围内, 处理猎物时间随着温度的上升而缩短, 单位时间攻击率、捕食量和控制能力随着温度的上升而增强; 即在 20~30℃范围内, 温度越高 *T. montdorensis* 具有更高的捕食效能。研究结果可为天敌 *T. montdorensis* 的人工繁殖及生产实践中生物防治应用提供理论基础。

关键词: *Typhlodromips montdorensis* (Schicha); 生物防治; 截形叶螨; 温度; 发育历期; 捕食作用

中图分类号: Q965; S89; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 05-1278-07

Effects of temperature on development and predation ability of *Typhlodromips montdorensis* (Schicha) (Acari: Phytoseiidae) prey on *Tetranychus truncates* (Ehara)

SUN Li¹, CHEN Da-Song², CHEN Xia^{1*}, ZHENG Yue-Qiong², ZHENG Chen-Xin¹ (1. Fujina Engineering Research Center for Green Pest Management, Research Center of Engineering and Technology of Natural Enemy Resource of Crop Pest in Fujian, Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350001, China; 2. Quanzhou Agricultural School in Fujian, Quanzhou 362000, Fujian Province, China)

Abstract: The predacious mite *Typhlodromips montdorensis* is an important natural enemy of potential

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1400800); 福建省自然科学基金 (2020J011355); 福建省省属公益类科研专项 (2020R1024001, 2020R1024006); 科技创新团队建设 (CXTD2021016); 5511 项目 (XTXG2021011); 福建省农业科学院农业科技专项 (YDXM2021002, ZYTS2021005)

作者简介: 孙莉, 女, 1986 年生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为生物防治, E-mail: 215860250@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 陈霞, 女, 硕士, 副研究员, 研究方向为生物防治, E-mail: 405593754@qq.com

收稿日期 Received: 2021-11-08; 接受日期 Accepted: 2021-11-16

importance in biological control of many pest and spider mites. In order to clarify the influence of temperature factors on the development and predation ability of *T. montdorensis*, the survival rate, development and predation ability of *T. montdorensis* under different temperature conditions were compared with *Tetranychus truncates* as its prey, and the relationship between growth rate, functional reaction and temperature was analyzed respectively. The results showed that temperature significantly affected the developmental period of *T. montdorensis*. The development of *T. montdorensis* was abnormal at constant temperature of 15°C, only 20% of the eggs hatched and all died during nymphs stage at 15°C; survival rate was more than 90% at 20~30°C, the highest survival rate was 92.50% at 30°C, but survival rate was only 70% at 35°C. In the range of 20~35°C, development duration has a negative correlation with temperature, and the linear diurnal model can better describe the phenomenon that development rate of each mite state of *T. montdorensis* accelerates with the increase of temperature. *T. Montdorensis* had different developmental threshold of temperature and effective thermal summation at each developmental stage; deutonymph stage had the lowest developmental threshold of temperature, was 11.24°C, and egg stage had the highest developmental threshold of temperature, was 15.47°C, and the lowest effective thermal summation was 14.84 degree-days for larva, the developmental threshold of temperature of the immature stage was 12.56°C, and the effective thermal summation of immature stage was 88.99 degree-days. The results showed functional responses of *T. montdorensis* to *T. truncates* approximated Holling type II at the temperature of 20~30°C, treatment time of prey decreased with the increase of temperature, and attack rate, predation amount and control ability increased with the increase of temperature; That is, in the range of 20~30°C, with higher the temperature, *T. montdorensis* had higher predation efficiency. These results will help to evaluate the potential of *T. montdorensis* as a biological control agent against pest and spider mites.

Key words: *Typhlodromips montdorensis* (Schicha); biological control; *Tetranychus truncates* (Ehara); temperature; developmental period; predation ability

截形叶螨 *Tetranychus truncatus* Ehara 属蛛形纲 Arachnida 蜱螨亚纲 Acari 螨目 Acariformes 叶螨科 Tetranychidae 的叶螨属 *Tetranychus*, 是我国玉米、棉花等多种作物和茄子、豆类等蔬菜的重要害螨之一(金大勇等, 2002; 庞保平等, 2004), 以活动螨刺吸作物叶片汁液, 导致叶片呈现密集的小退绿点和黄白色斑点, 严重时可以使整个叶片发黄并提早干枯, 造成减产(罗光宏等, 2001; 赵登宽等, 2005; 孟瑞霞等, 2008)。2019年, 作者在我国福建省顺昌县调查发现截形叶螨在草莓叶片上危害严重。

Typhlodromips montdorensis (Schicha) 隶属于植绥螨科 Phytoseiidae 小盲绥螨属 *Typhlodromips*, 最初发现于澳大利亚, 是烟粉虱、蓟马、叶螨等害虫害螨的优良天敌, 具有耐高温特性, 且易人工大量饲养, 是目前国际上常用的捕食螨品种之一(Steiner *et al.*, 2003; Anonymous, 2011; 季洁等, 2017)。在英国 *T. montdorensis* 是温室中蓟马和红蜘蛛 *Tetranychus cinnabarinus* 的优良生防天敌

(Hatherly *et al.*, 2004; 2005)。*T. montdorensis* 的研究报道较少, 温度因子对 *T. montdorensis* 的存活率、生长发育及捕食能力的影响研究未见报道。本文探讨了 *T. montdorensis* 以截形叶螨为猎物时, 探索温度因子对其发育历期、存活率及捕食能力的影响, 以期应用 *T. montdorensis* 进行生物防治提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 供试虫源

T. montdorensis 来自福建省农业科学院植物保护研究所室内繁殖的实验室种群, 截形叶螨采自福建省顺昌县草莓园, 用甘薯叶片进行室内饲养提供试验用。

1.2 试验方法

1.2.1 温度对 *T. montdorensis* 生长发育历期的影响

在直径 5 cm 的培养皿中, 内置厚 2 cm、直径

2.5 cm 的海绵块, 海绵边不与培养皿接触, 海绵上放置一片与海绵相同大小的新鲜干净甘薯叶, 在培养皿中加入适量的水保湿并防止螨逃逸, 用小号毛笔将 1 粒 *T. montdorensis* 4 h 内产的卵挑入叶片上, 待卵孵化。设 $15 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 5 个温度处理, 每处理 40 个重复, 每天观察 2 次, 记录 *T. montdorensis* 的发育情况, 每天更换叶片, 同时饲喂足够数量的截形叶螨卵和幼若螨为食物。放置于 RH 85% \pm 5%, 14 L:10 D 的人工气候箱中进行 (陈霞等, 2011; Chen *et al.*, 2011)。

1.2.2 不同温度条件下 *T. montdorensis* 捕食截形叶螨的功能反应

试验容器选用长 10 cm、直径 3 cm 的指形管, 用棉花塞紧管口。将截形叶螨雌成螨按 3、5、7、9、11、13、15、17 头密度分别接于洗净的甘薯叶片上, 再放入不同的指形管中, 在每管中接入已饥饿 24 h 的 *T. montdorensis* 雌成螨 1 头 (陈霞等, 2008)。试验设 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 4 个温度, 每处理 10 个重复, 放置于 RH 85% \pm 5%, 14 L:10 D 的人工气候箱中进行。24 h 后观察记录被捕食的截形叶螨数量, 计算不同密度下的平均日捕食量。

1.3 数据统计与分析

1.3.1 *T. montdorensis* 各螨态平均发育速率与温度间的关系模拟模型

T. montdorensis 各螨态平均发育速率与温度间的关系, 采用线性日度模型进行拟合 (丁岩钦, 1980; 1994; 王如松等, 1982)。

线性日度模型: $V(T) = (1/K) \times T - C/K$; 式中, $V(T)$ 表示温度为 $T(^\circ\text{C})$ 时的发育速率; K 为

有效积温 (日·度); C 为发育起点温度 ($^\circ\text{C}$)。

1.3.2 发育起点温度和有效积温

发育起点温度和有效积温的计算应用最小二乘法。计算公式为: $C = (\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT) / (n \sum V^2 - \sum V \sum V)$; $K = (n \sum VT - \sum V \sum T) / (n \sum V^2 - \sum V \sum V)$; $V = 1/N$; 式中, C 为发育起点温度, K 为有效积温, N 为发育历期, T 为温度, n 为样本数, V 为发育速率 (张孝羲, 2002)。

1.3.3 功能反应

用 Holling II 型圆盘方程进行模拟 *T. montdorensis* 捕食截形叶螨的功能反应。

$Na = aTN_0 / (1 + aThN_0)$, 式中 Na 为被捕食的猎物数量, a 为瞬时攻击率, N_0 为猎物密度, T 为捕食时间, Th 为处理时间 (吴千红等, 1991; 吴坤君等, 2004; 钟八莲等, 2012)。

采用 Excel 进行数据整理, 用 SPSS 13.0 软件进行分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 温度对 *T. montdorensis* 存活率的影响

T. montdorensis 各螨态在不同温度下的存活率研究结果表明, 当温度为 15°C 时只有 20% 的卵孵化, 40 粒卵中仅有 8 粒卵孵化, 并且在若螨 I 期时全部死亡, *T. montdorensis* 在 15°C 低温条件下不能正常完成生长发育; $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 时存活率都达 90% 以上, 30°C 温度条件时存活率最高为 92.50%; 而当温度上升到 35°C 时, 死亡增加, 存活率仅 70%, 说明 15°C 低温对 *T. montdorensis* 的存活率有很大影响, 35°C 高温对 *T. montdorensis* 的存活率也有一定影响 (表 1)。

表 1 不同温度条件下 *Typhlodromips montdorensis* 以截形叶螨为猎物的存活率

Table 1 Survivalship of *Typhlodromips montdorensis* at different constant temperatures with *Tetranychus truncatus* as its prey

螨态 Developmental stage	温度 ($^\circ\text{C}$) Temperature				
	15 ± 1	20 ± 1	25 ± 1	30 ± 1	35 ± 1
卵存活率 Egg survivalship(N)	20.00% (40)	97.50% (40)	95.00% (40)	92.50% (40)	92.5% (40)
幼螨存活率 Larva survivalship(N)	50.00% (8)	94.87% (39)	94.74% (38)	100.00% (37)	89.19% (37)
若螨 I 期存活率 Protonymph survivalship(N)	0.00% (4)	97.30% (37)	100.00% (36)	100.00% (37)	90.91% (33)
若螨 II 期存活率 Deutonymph survivalship(N)	-	100.00% (36)	100.00% (36)	100.00% (37)	93.33% (30)
未成熟期存活率 Immature stage survivalship(N)	-	90.00% (40)	90.00% (40)	92.50% (40)	70.00% (40)

注: N = 样品数。Note: N = Number observed.

2.2 温度对 *T. montdorensis* 发育历期的影响

T. montdorensis 各螨态在不同温度下的发育历期研究结果显示, 在 20 ~ 35℃ 温度范围内, *T. montdorensis* 世代发育历经卵、幼螨、若螨 I、若螨 II 和成螨 5 个螨态, 发育历期与温度呈负相关关系。在 20℃ 时卵期为 5.15 d, 而在 25℃ 时卵期迅速缩短至 1.60 d, 在 35℃ 时卵期仅 1.07 d; 在 35℃ 时各螨态的发育历期都最短。在 20 ~ 35℃ 温度范围内, 随着温度的升高各螨态的发育历期都缩短。经 Duncan's 新复极差法检验, 20℃、25℃、30℃、35℃ 4 个温度的未成熟期的历期差异显著, *T. montdorensis* 取食截形叶螨的生长发育受温度的影响较大 (表 2)。

表 2 不同温度下 *Typhlodromips montdorensis* 以截形叶螨为猎物的发育历期

Table 2 Average developmental periods of *Typhlodromips montdorensis* at different constant temperatures with *Tetranychus truncatus* as its prey

螨态 Developmental stage	温度 (°C) Temperature				
	15 ± 1	20 ± 1	25 ± 1	30 ± 1	35 ± 1
卵 Egg (d)	12.20 ± 2.16 A	5.15 ± 0.21 B	1.60 ± 0.15 C	1.55 ± 0.22 C	1.07 ± 0.16 D
幼螨 Larva (d)	4.63 ± 0.41 A	2.25 ± 0.14 B	0.95 ± 0.11 C	0.90 ± 0.15 C	0.70 ± 0.11 D
若螨 I 期 Protonymph (d)	-	2.65 ± 0.25 A	2.05 ± 0.19 B	1.16 ± 0.18 C	1.16 ± 0.17 D
若螨 II 期 Deutonymph (d)	-	2.71 ± 0.24 A	2.17 ± 0.23 B	1.41 ± 0.15 C	1.12 ± 0.15 D
未成熟期 Immature stage (d)	-	12.76 ± 0.42 A	6.79 ± 0.27 B	5.02 ± 0.41 C	4.05 ± 0.22 D

注: 表中数据为 Mean ± SE (平均数 ± 标准误), 数据后相同大写字母表示差异不显著 ($P < 0.05$) (Duncan's 新复极差法)。
Note: Data in the table mean value ± standard error; same capital letters after the data represented the developmental period no significant difference at 0.05 level by Duncan's analysis.

表 3 *Typhlodromips montdorensis* 不同螨态的发育起点温度和有效积温

Table 3 Developmental threshold temperature and effective thermal summation of *Typhlodromips montdorensis*

螨态 Developmental stage	相关系数 Correlation coefficient	发育起点温度 (°C) Development threshold temperature	有效积温 (日·度) Effective thermal summation
卵 Egg	0.9483	15.47	20.06
幼螨 Larva	0.9454	12.52	14.84
若螨 I 期 Protonymph	0.9365	11.97	23.99
若螨 II 期 Deutonymph	0.9865	11.24	26.74
未成熟期 Immature stage	0.9961	12.56	88.99

2.4 温度与 *T. montdorensis* 各虫态发育速率的关系

由于 *T. montdorensis* 在 15℃ 条件下全部死亡, 温度与 *T. montdorensis* 各虫态发育速率的关系分析只用 20 ~ 35℃ 的数据。采用线性日度模型进行拟

2.3 *T. montdorensis* 的发育起点温度和有效积温

由于 *T. montdorensis* 在 15℃ 条件下全部死亡, 因此发育起点温度和有效积温计算只用 20 ~ 35℃ 的数据。*T. montdorensis* 各螨态的发育起点温度及有效积温运用直线回归法计算出 (表 3)。研究结果表明, 不同发育阶段的发育起点温度和有效积温均不同, 各螨态相比, 若螨 II 的发育起点温度最低, 为 11.24℃; 卵期最高, 为 15.47℃。而有效积温则以幼螨最低, 为 14.84 日·度。*T. montdorensis* 的卵与幼螨、若螨的发育起点温度相差较大, 未成熟期发育起点温度和有效积温分别为 12.56℃ 和 88.99 日·度 (表 3)。

合, 各螨态发育速率与温度的关系如图 1。研究结果表明, 采用线性日度模型能较好地描述 *T. montdorensis* 各螨态的发育速率在 20 ~ 35℃ 范围内随温度升高而加快的现象。

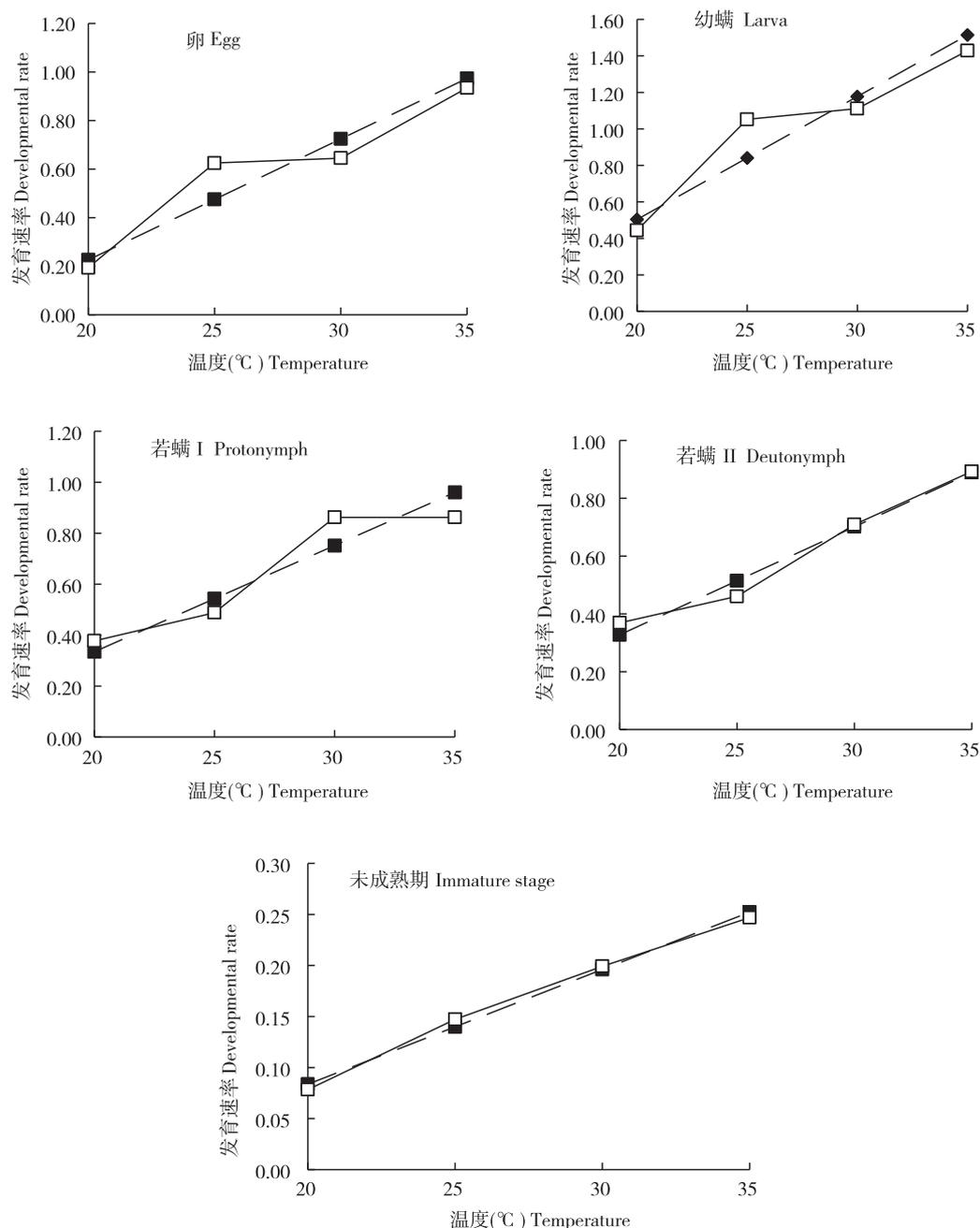


图1 *Typhlodromips montdorensis* 发育速率与温度的关系

Fig. 1 Relationship of the development rate of *Typhlodromips montdorensis* with temperature

注: -□-, 发育速率; - - ■ - -, 线性日度。Note: -□-, developmental rate; - - ■ - -, the linear one.

2.5 *T. montdorensis* 对截形叶螨的捕食作用

由于在 35°C 条件下的试验结果数据异常, 其中 10 个重复中有 3 个日捕食量分别为 14 头、16 头和 17 头, 有 2 个处理日捕食为 2 头, 而有 5 个重复中的 *T. montdorensis* 死亡。因此数据分析处理时排除了 35°C 的数据。结果发现, 在 20 ~ 30°C 条件下, *T. montdorensis* 雌成螨捕食截形叶螨雌成螨处理猎物时间随着温度的升高而缩短、单

位时间攻击率增强, 日最大捕食量从 20°C 的 1.8164 头, 到 25°C 时迅速增加到 12.7642 头; 在 20°C 时控制能力 a/Th 值仅为 0.1742, 而当温度升高到 30°C 时 a/Th 值快速增强到 11.2866; 即在 20 ~ 30°C 温度范围内, *T. montdorensis* 雌成螨对截形叶螨雌成螨的控制能力随着温度的升高而明显增强, 30°C 时达到最大值。*T. montdorensis* 雌成螨对截形叶螨雌成螨的功能反应符合 Holling II 型圆盘方程。

表 4 不同温度下 *Typhlodromips montdorensis* 雌成螨对截形叶螨雌成螨的功能反应
 Table 4 Functional responses of females *Typhlodromips montdorensis* to females *Tetranychus truncates*

参数 Parameters	温度 (°C) Temperature		
	20 ± 1	25 ± 1	30 ± 1
日最大捕食量 (头/d) The maximum predation rate	1. 8164	12. 7642	13. 2806
处理猎物时间 (Th) The prey handling time	0. 5505	0. 0783	0. 0753
单位时间攻击率 (a) The successful attack rate	0. 0959	0. 7475	0. 8499
控制能力 (a/Th) Control ability	0. 1742	9. 5412	11. 2866
功能反应模型方程 (Na)	$\frac{1. 918 N_0}{1 + 0. 0258 N_0}$	$\frac{18. 687 N_0}{1 + 0. 0585 N_0}$	$\frac{25. 497 N_0}{1 + 0. 0640 N_0}$
Number of prey consumed			

3 结论与讨论

昆虫与螨类的发育速率与温度的关系对于害虫(螨)的预测预报与天敌的利用都有很大的价值,是昆虫与螨类生物学研究的重要内容之一,本文研究了 15~35°C 范围内温度对 *T. montdorensis* 以截形叶螨为猎物时存活率、生长发育和捕食能力的影响,结果表明,15°C 时 *T. montdorensis* 以截形叶螨为猎物时不能正常完成生长发育,卵的孵化率只有 20%,而若螨的存活率为 0;在 20~30°C 温度范围内,存活率随温度的上升而增高,30°C 存活率最高 92.50%;而在 35°C 温度条件下死亡率增加,存活率仅 70%;在 20~35°C 温度范围内,发育历期与温度呈负相关关系,采用线性日度模型能较好地描述 *T. montdorensis* 各螨态的发育速率在 20~35°C 温度范围内随温度升高而加快的现象;温度对 *T. montdorensis* 各螨态的存活率和发育历期有显著影响,温度是影响 *T. montdorensis* 生长发育的重要因素之一。

在 20~35°C 温度范围内, *T. montdorensis* 世代发育历经卵、幼螨、若螨 I、若螨 II 和成螨 5 个不同发育阶段,各发育阶段的历期整体上随温度的升高而缩短,发育历期与温度呈负相关关系,经 Duncan's 新复极差法检验,不同温度的发育历期有显著差异。在 35°C 时各螨态的发育历期均最短,与胡瓜钝绥螨 *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) 的发育历期 28°C 时发育历期最短相比(张艳璇等, 2011),说明 *T. montdorensis* 比胡瓜钝绥螨更适应高温环境。在 25°C 时以截形叶螨为猎物的 *T. montdorensis* 从卵发育至成螨的发育历期为 6.79 d,与在 25°C 温度下 *T. montdorensis* 以香蒲花粉为食的约 7 d 内完成生活史相近(Steiner *et al.*, 2003),

但与以 25°C 时玉米花粉为食物 4.8 d 及以二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 为猎物 4.7 d 的发育历期相比,发育历期明显偏长(Hatherly *et al.*, 2004)。不同发育阶段的发育起点温度和有效积温均不同,各螨态相比,若螨 II 的发育起点温度最低,为 11.24°C;卵期发育起点温度最高,为 15.47°C;而有效积温则以幼螨最低,为 14.84 日·度;*T. montdorensis* 未成熟期的发育起点温度为 12.56°C,比截形叶螨的发育起点温度 12.6~14.86°C 低(孟瑞霞等, 2001;金大勇等, 2002)。本研究是在室内恒温条件下进行的,与自然界变温的情况有一定差异,但对估算 *T. montdorensis* 在各地的年发生代数仍有一定的理论参考价值。

昆虫的功能反应是指每头捕食者在一定时间内的捕食量对猎物密度变化的反应。通常用 Holling 圆盘方程描述。Holling 提出功能反应的圆盘方程(disk equation)后,天敌对猎物的功能反应国内外研究很多,绝大多数用 Holling II 型功能反应圆盘方程拟合(丁岩钦, 1980;丁岩钦, 1994)。Holling II 型功能反应是捕食者对其猎物捕食功能反应最普遍的形式(吴千红, 1991)。本研究结果显示温度对 *T. montdorensis* 的捕食作用影响很大。在 20~30°C 温度范围内, *T. montdorensis* 对截形叶螨的功能反应符合 Holling II 型圆盘方程;*T. montdorensis* 雌成螨捕食截形叶螨雌成螨时处理猎物时间随着温度的升高而缩短,单位时间攻击率随着温度的升高增大;日最大捕食量从 20°C 的 1.8164 头,到 25°C 时迅速增加到 12.7642 头;在 20°C 时控制能力 a/Th 值仅为 0.1742,而当温度升高到 30°C 时 a/Th 值快速增强到 11.2866;在 20~30°C 温度范围内, *T. montdorensis* 雌成螨对截形叶螨雌成螨的控制能力随着温度的升高而明显增强,与 20°C 的较低温度相比,在 30°C 时, *T.*

montdorensis 具有较高的捕食效能。可能由于温度较低时该螨活动能力降低, 温度升高, 该螨活动能力增强, 本研究 35℃ 的试验结果数据异常, 有待进一步试验研究。本研究中捕食功能反应模型是在室内限定范围内测定, 与自然生态条件下的捕食情况会有一定差异, 但仍可对推测及评价 *T. montdorensis* 对截形叶螨的控制作用提供理论参考。

本研究主要探讨温度因子对 *T. montdorensis* 生长发育及捕食能力等的影响, 而影响生长发育和捕食的因素很多, 湿度、光照及不同食物等条件组织对 *T. montdorensis* 生长发育的影响有待于进一步研究, 以更好的为 *T. montdorensis* 的大量饲养及生物防治应用提供理论依据。

参考文献 (References)

- Anonymous. Predatory mite developed for protection against thrip and whitefly infestations [J]. *Horticulture Week*, 2011, 8: 13.
- Chen X, Zhang YX, Ji J, *et al.* Study on the predacious function of *Bdella tropica* Atyeo to *Tetranychus urticae* Koch [J]. *Journal of Fujian Agriculture and University (Natural Science Edition)*, 2008, 34 (4): 341–343. [陈霞, 张艳璇, 季洁, 等. 热带吸螨对二斑叶螨的捕食作用 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2008, 37 (4): 341–343]
- Chen X, Zhang YX, Ji J, *et al.* Influence of temperature on development of *Amblyseius swirskii* (Athias – Henriot) with *Tetranychus truncatus* (Ehara) as its prey [J]. *Acta Arachnologica Sinica*, 2011, 20 (1): 52–56. [陈霞, 张艳璇, 季洁, 等. 温度对斯氏钝绥生长发育的影响 [J]. 蛛形学报, 2011, 20 (1): 52–56]
- Chen X, Zhang YX, Zhang YP, *et al.* Influence of temperature on development of *Bdella tropica* Atyeo (Acari: Bdellidae) with *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) as its prey [J]. *International Journal of Acarology*, 2011, 37 (1): 34–39.
- Ding YQ. *Mathematical Ecology of Insects* [M]. Beijing: Science Press, 1994: 318–326. [丁岩钦. 昆虫数学生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 318–326]
- Ding YQ. *Principles and Applications of Mathematical Ecology of Insect Populations* [M]. Beijing: Science Press, 1980: 214–223. [丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 214–223]
- Hatherly IS, Bale JS, Walters KFA, *et al.* Thermal biology of *Typhlodromips montdorensis*: Implications for its introduction as a glasshouse biological control agent in the UK [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2004, 111 (2): 97–109.
- Hatherly IS, Bale JS, Walters KFA. UK winter egg survival in the field and laboratory diapause of *Typhlodromips montdore* [J]. *Physiological Entomology*, 2005, 30 (1): 87–91.
- Jin DY, Lu LS, Piao J, *et al.* Developmental threshold temperature and drug – effect test of eggs of *Tetranychus truncatus* and *Tetranychus urticae* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2002, 24 (6): 30–33. [金大勇, 吕龙石, 朴锦, 等. 截形叶螨与二斑叶螨卵的发育起点温度及杀卵剂的药效实验 [J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24 (6): 30–33]
- Ji J, Yu DY, Xie SY, *et al.* The evaluation of different predatory mites on the pest of strawberry [J]. *Acta Arachnologica Sinica*, 2017, 26 (2): 119–126. [季洁, 余德亿, 谢世勇, 等. 捕食螨在草莓上的应用评价 [J]. 蛛形学报, 2017, 26 (2): 119–126]
- Luo GH. Occurrence and control of spider mite of corn in Zhangye Region [J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2001, 12: 36–37. [罗光宏. 张掖地区玉米害螨的发生与防治对策 [J]. 甘肃农业科技, 2001, 12: 36–37]
- Meng RX, Liu JX, Huang JX, *et al.* Effect of temperature on fecundity of experimental population of *Tetranychus truncatus* Ehara on corn (Acarina, Tetranychidae) [J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2008, 29 (1): 32–35. [孟瑞霞, 刘家骧, 黄俊霞, 等. 温度对玉米截形叶螨实验种群繁殖的影响 [J]. 内蒙古农业大学学报, 2008, 29 (1): 32–35]
- Pang BP, Zhou XR, Shi L, *et al.* Performance of *Tetranychus truncatus* Ehara (Acarina: Tetranychidae) reared with different host plants [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2004, 47 (1): 55–58. [庞保平, 周晓榕, 史丽, 等. 不同寄主植物对截形叶螨生长发育及繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2004, 47 (1): 55–58]
- Steiner MY, Goodwin S, Wellham TM, *et al.* Biological studies of the Australian predatory mite *Typhlodromips montdorensis* (Schicha) (Acari: Phytoseiidae), a potential biocontrol agent for western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) [J]. *Australian Journal of Entomology*, 2003, 42 (2): 124–130.
- Wu QH, Shao ZX, Su DM. *Insect Ecology Experiment* [M]. Shanghai: Fudan University Press, 1991: 168–171. [吴千红, 邵则信, 苏德明. 昆虫生态实验 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 1991: 168–171]
- Wu KJ, Sheng CF, Gong PY. Equations of predator functional response and estimation of predatory insects [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2004, 41 (3): 267–269. [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜. 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算 [J]. 昆虫知识, 2004, 41 (3): 267–269]
- Zhang XX. *Insect Ecology and Forecasting (3rd edition)* [M]. Beijing: China Agricultural Sciences Press, 2002: 241–245. [张孝羲. 昆虫生态及预测预报 (第3版) [M]. 北京: 中国农业科学出版社, 2002: 241–245]
- Zhao DK, Liu YQ. Occurrence and control of the spider mites in maize [J]. *Rural Science and Technology*, 2005, 5: 18–19. [赵登宽, 刘艳琼. 玉米叶螨的发生与防治 [J]. 农村科技, 2005, 5: 18–19]
- Zhang YX, Zhang GQ, Ji J, *et al.* Application of the predatory mite *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) to control *Bemisia tabaci* (Gennadius) on eggplant in plastic greenhouses [J]. *Journal of Biosafety*, 2011, 20 (2): 132–140. [张艳璇, 张公前, 季洁, 等. 胡瓜钝绥螨对日光大棚茄子上烟粉虱的控制作用 [J]. 生物安全学报, 2011, 20 (2): 132–140]
- Zhong BL, Min XL, Min SF, *et al.* Comparing of the predatory behaviors of Phytoseiid predator on different host with hierarchical structure functional response model [J]. *Journal of Biomathematics*, 2012, 27 (2): 322–332. [钟八莲, 闵晓莲, 闵嗣璐, 等. 应用多层次结构的功能反应模型比较捕食螨对不同猎物的捕食行为 [J]. 生物数学学报, 2012, 27 (2): 322–332]