

福建省烟粉虱种群消长动态及影响因素分析*

丁雪玲^{1**} 郑宇^{1**} 姚凤奎^{1,2} 卢学松¹ 何玉仙^{1,2***}

(1. 福建省作物有害生物监测与治理重点实验室, 农业部福州作物有害生物科学观测实验站, 福建省农业科学院植物保护研究所, 福州 350013; 2. 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002)

摘要 【目的】为了探究福建省烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 种群消长动态及其影响因素, 提高监测与防控水平。【方法】选择代表福建南北两地的漳州和建瓯蔬菜生产地开展露地和温室大棚烟粉虱种群数量的系统调查, 并在室内测定了不同温度对烟粉虱生长发育及繁殖的影响。【结果】漳州露地烟粉虱周年发生, 种群季节性消长呈现两个高峰, 即 6 月中下旬-7 月上中旬的夏季高峰和 11 月上中旬的秋季高峰; 建瓯大棚内烟粉虱亦周年发生, 且与漳州露地种群消长动态基本同步; 建瓯露地烟粉虱始见期为 3 月下旬, 种群夏季高峰在 7 月中下旬, 秋季高峰期在 10 月中下旬。烟粉虱卵、1 龄若虫、2 龄若虫、3 龄若虫和 4 龄若虫+拟蛹的发育起点温度分别为 13.77、14.98、9.60、7.97、12.56, 有效积温分别为 77.25、29.13、49.62、65.03 和 65.13 日·度, 结合 2015-2017 年气象资料, 推算出烟粉虱在建瓯和漳州年发生代数分别为 11-12 代和 13-14 代。【结论】气温是影响烟粉虱种群消长的关键因子, 21-27 是 B 型烟粉虱发育的适宜温度, 低于 20 和高于 30 均不利于烟粉虱的生长发育和繁殖。当旬平均气温稳定在 20 以上时种群数量快速上升, 当旬平均气温持续保持在 30 以上时种群数量呈回落态势。

关键词 烟粉虱, 种群数量, 消长动态, 温度, 有效积温

Factors affecting the population dynamics of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Fujian province

DING Xue-Ling^{1**} ZHENG Yu^{1**} YAO Feng-Luan^{1,2} LU Xue-Song^{1,2} HE Yu-Xian^{1,2***}

(1. Fuzhou Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests of Ministry of Agriculture, Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian and Taiwan Crops, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract [Objectives] To identify factors affecting the population dynamics of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Fujian province and thereby improve monitoring and control of this pest. [Methods] Systematic surveys of *B. tabaci* populations in open fields and greenhouses were carried out in Zhangzhou and Jian'ou, sites in the northern and southern vegetable growing areas of Fujian, respectively. The effects of temperature on the development and fecundity of *B. tabaci* were evaluated in a laboratory. [Results] *B. tabaci* were detected year-round in open fields in Zhangzhou. There were two population peaks; a summer peak from mid-June to mid-July and an autumn peak in mid-November. At Jian'ou *B. tabaci* were first observed in late March, with the summer population peak occurring in mid and late July, and the autumn peak in mid and late October. The developmental threshold temperature for eggs, 1st instar nymphs, 2nd instar nymphs, 3rd instar nymph and 4th instar nymphs were 13.77, 14.98, 9.60, 7.97 and 12.56, respectively, and the corresponding effective accumulated temperatures were 77.25, 29.13, 49.62, 65.03 and 65.13 degree-days, respectively. The annual number of generations in Jian'ou and Zhangzhou, deduced from weather data from 2015 to 2017, was 11-12 and 13-14, respectively. [Conclusion] Temperature is a key factor affecting the population dynamics of *B. tabaci* and the optimal temperature range for the development of this pest was 21 to

*资助项目 Supported projects: 福建省属公益类科研院所基本科研专项 (2016R1023-4, 2017R1025-1); 福建省科技重大专项 (2017NZ0003-1); 福建省农业科学院创新团队项目 (STIT2017-1-8)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: xue95711@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: yuxianhe_faas@sina.cn

收稿日期 Received: 2018-09-07, 接受日期 Accepted: 2018-11-03

27 °C. Temperatures below 20 °C, and above 30 °C, were not suitable for development and reproduction. The laboratory population increased rapidly with increasing temperature when the 10-day average temperature was above 20 °C. However, when the 10-day average temperature exceeded 30 °C it began to decline.

Key words *Bemisia tabaci*, population level, population dynamics, temperature, thermal constant

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 广泛分布于全球除南极洲以外的各大洲, 是热带、亚热带及相邻温带地区的一种重要害虫 (De Barro *et al.*, 2011)。20 世纪 90 年代以来, 随着 B 型和 Q 型烟粉虱的先后传入并迅速扩散, 成为我国蔬菜等作物上的主要害虫之一, 给农业生产造成严重威胁 (Ren *et al.*, 2001; Chu *et al.*, 2010; Teng *et al.*, 2010; Hu *et al.*, 2011; Pan *et al.*, 2011; Rao *et al.*, 2011; Guo *et al.*, 2012)。在福建, 烟粉虱自 2001 年在漳州龙海蔬菜产区暴发以来发生危害日益严重 (何玉仙等, 2003), 尤其是近年来随着设施农业的发展, 为烟粉虱提供了适宜的越冬场所, 导致该害虫常年发生, 为害严重。目前有关福建省烟粉虱生物型的发生和分布、抗药性发展动态已有研究报道 (何玉仙等, 2007; 郑宇等, 2012; Yao *et al.*, 2017), 但关于福建省烟粉虱田间种群消长动态尚未见系统研究报道。

环境温度是影响昆虫种群动态的关键因素, 明确烟粉虱生长发育和温度的关系对阐明烟粉虱的发生规律具有重要意义。已有研究表明, B 型烟粉虱的生长发育和种群扩繁与环境温度条件密切相关 (Bulter, 1983)。国内关于温度对烟粉虱生长发育和种群繁殖的影响已有一些研究报道, 但研究结果存在一定差异 (Qiu *et al.*, 2003; 林克剑等, 2004; 向玉勇等, 2007; 崔旭红等, 2009), 这可能与烟粉虱地理种群生境适应特征的变异性有关。已有研究报道, 不同地理分布区域的同种昆虫, 生物学特性因其栖息地气候条件的差异发生相应的变化, 如我国偏低纬度茶尺蠖 *Ectropis obliqua* (Prout) 种群卵和幼虫的发育历期显著长于偏高纬度种群 (王晓庆等, 2013), 荔枝平腹小蜂 *Anastatus japonicas* Ashmead 越南种群的单雌产卵量均高于广东、广西和海南种群 (吕欣等, 2009), 我国不同地理

种群的亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* Guenée 在繁殖力上也存在明显差异 (涂小云等, 2012)。福建省地形特征主要以山地丘陵为主, 形成了与地理环境要素密切相关的区域农业生态系统, 各地区之间气候条件、作物品种布局和栽培方式的差异将直接影响烟粉虱种群数量消长。鉴于此, 本文选择代表福建南北两地的漳州和建瓯蔬菜生产地开展露地和温室大棚烟粉虱种群数量的系统调查, 结合室内不同温度条件下的发育历期、存活率和生殖力等生物学特性研究, 以及全年 36 个旬期平均气温的统计分析, 以期明确福建地区烟粉虱田间种群周年性消长动态, 阐明影响种群消长动态的生态学机制, 旨在为烟粉虱预测预报和综合防治提供重要参考。

1 材料与方法

1.1 种群动态调查

于 2016 年 12 月-2017 年 12 月, 选择代表福建省南北两地的漳州龙海市东园镇 (24.37N, 117.86E) 和福建省南平建瓯市小松镇 (27.12N, 118.36E) 的蔬菜大田进行调查。周年调查涉及的蔬菜作物主要有花椰菜、黄瓜、茄子。设施大棚调查采用平行跳跃法, 露地调查采用五点取样法, 每点调查 5 株, 每株调查寄主顶部充分展开的 5 片真叶上的成虫数量, 以头/叶为单位表示种群数量。

1.2 温度对烟粉虱生长发育和种群繁殖的影响

供试烟粉虱采自福州郊区蔬菜田并在室内长期饲养的实验种群, 经线粒体 DNA COI 基因序列鉴定为 B 生物型。供试茄子种子由福州永荣种子有限公司提供, 待茄子苗长到 4-5 片真叶时用于烟粉虱饲养或生物学实验。

实验在室内人工气候箱内进行, 设置 18、21、24、27、30、33、36 °C 共 7 个温度梯度,

相对湿度 60%，光照 L:D=14:10。取混合日龄 B 型烟粉虱雌成虫 20-30 只，用叶片笼固定于长势一致的无虫茄子苗叶片背面，在 27℃ 下产卵 8 h 后，移去叶片笼并剔除叶片上的残留成虫，在解剖镜下观察记录初始卵量，每处理取 30-50 粒卵，多余卵用毛笔剔除。每个温度处理重复 6 次，每天 8:00、20:00 观察并统计卵孵化率和发育历期、若虫期存活率和发育历期、成虫羽化率，待烟粉虱全部发育为成虫后，取各温度处理烟粉虱初羽化成虫的雌雄个体配成 10 对，每天 8:00 观察成虫寿命及产卵量。直到成虫全部死亡。

1.3 发育起点温度和有效积温的计算

参照（徐蕾等，2011）的方法，采用最小二乘法来计算烟粉虱的发育起点温度和有效积温。首先将不同温度下烟粉虱各虫态的发育历期 N 换算成相应温度下的发育速率 $V=1/N$ 。然后采用下面的公式分别计算各虫态的发育起点温度 C 和有效积温 K ：

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2},$$

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}.$$

1.4 数据统计与分析

烟粉虱世代存活率以供试卵数为基数，将羽化为成虫的数量与其相比较来计算。不同温度条件下烟粉虱发育历期、存活率、成虫寿命及单雌产卵量等数据采用 DPS7.5 版软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 福建烟粉虱田间种群消长动态

由图 1、图 2 可知，漳州龙海露地烟粉虱周年发生，4 月上旬-6 月中旬，随着旬平均气温稳定在 20℃ 以上，种群数量快速上升，6 月中下旬-7 月上中旬种群数量达到第一个高峰，之后由于旬平均气温持续保持在 30℃ 以上，种群数量有所回落；进入 10 月份，随着气温的再次适宜，其种群数量又快速回升，到 11 月上中旬种群数量达到第二个高峰，并对秋季蔬菜产生严重危害，11 月下旬以后随着旬平均气温的明显下降，种群数量锐减。建瓯大棚烟粉虱也是周年发生，并与漳州龙海露地种群消长动态基本同步。建瓯露地烟粉虱始见期为 3 月下旬，4 月份以后随着旬平均气温稳定在 20℃ 以上，种群数量明显上升，7 月中下旬种群数量达到第一个高峰，7-8 月份由于旬平均气温持续保持在 30℃ 以上，种

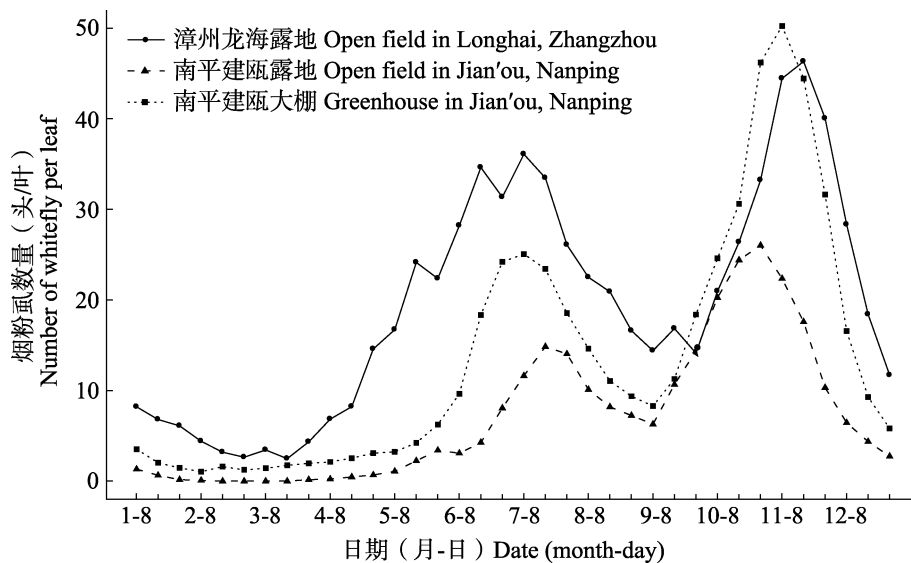


图 1 烟粉虱种群数量消长动态

Fig. 1 Population dynamics of *Bemisia tabaci* in open field and greenhouse in Fujian

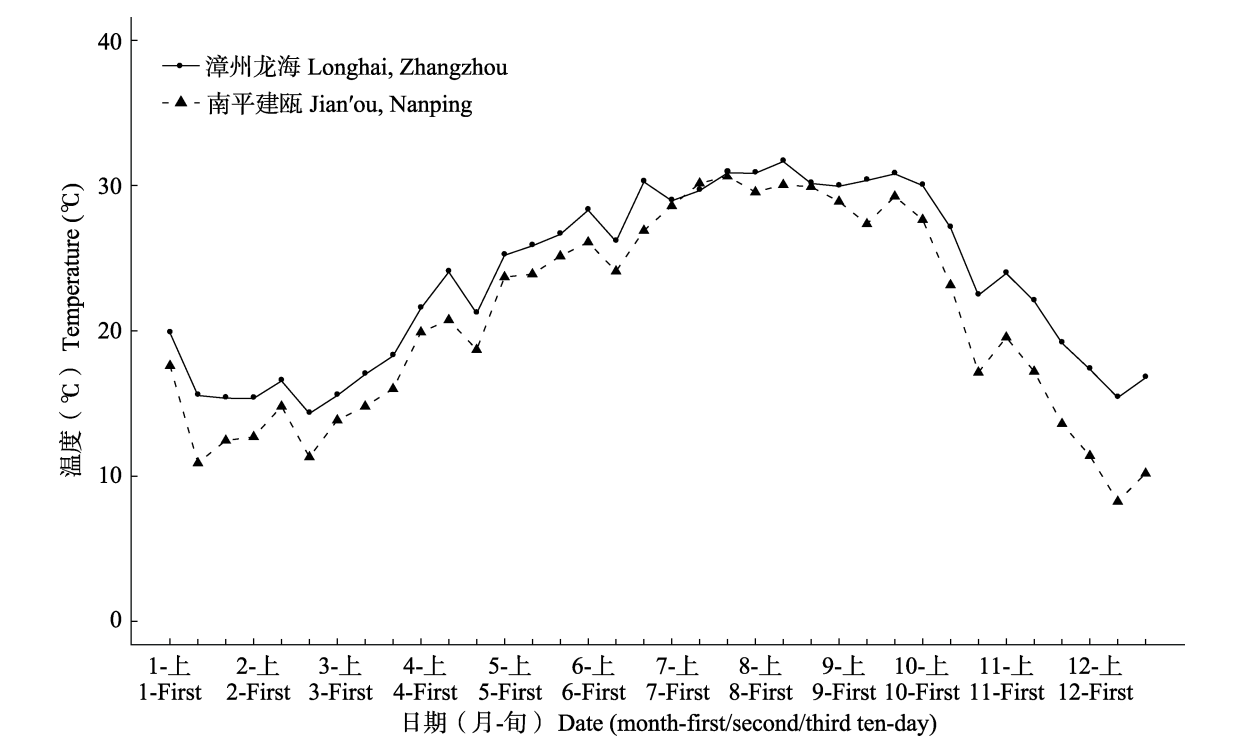


图 2 福建省漳州和南平 2017 年旬平均气温变化曲线
Fig. 2 Change curves of the 10 days' average temperature during 2017 in Fujian
上：上旬。First: First 10 days.

群数量有所回落，9 月中下旬随着气温的适宜，其种群数量迅速上升，10 月中下旬达到高峰，11 月以后随着旬平均气温的明显下降，种群数量锐减。总体上看，不同地区之间，漳州龙海露地种群数量高于建瓯露地；同一地区内，大棚种群数量高于露地；不同季节之间，秋季种群数量高于春季。

2.2 温度对烟粉虱种群增长的影响
2.2.1 温度对烟粉虱发育历期的影响 表 1 结果显示，温度对烟粉虱的生长发育影响显著，在 18-30 范围内，随温度升高发育历期明显缩短，即发育速度与温度呈正相关，18 时烟粉虱卵+若虫发育历期最长，达 46.2 d；33 时发育历期较 30 有所延长，但差异不显著；36

表 1 不同温度下烟粉虱卵和若虫发育历期 (d)		Table 1 Developmental time of egg and nymph of Bemisia tabaci at different temperatures						
虫期 Stage		温度 Temperature ()						
		18	21	24	27	30	33	36
卵期 Egg stage		16.00 ± 0.63a	9.00 ± 0.63b	8.83 ± 0.75b	6.17 ± 0.41c	4.17 ± 0.41e	4.50 ± 0.55e	5.17 ± 0.41d
1 龄 1st instar		8.33 ± 0.52a	4.17 ± 0.41c	3.50 ± 0.55d	2.67 ± 0.52e	1.67 ± 0.52f	1.83 ± 0.41f	4.83 ± 0.41b
若虫期 2 龄 2nd instar		6.67 ± 0.52a	3.33 ± 0.52c	3.17 ± 0.41c	3.33 ± 0.52c	2.33 ± 0.52b	2.33 ± 0.52b	3.33 ± 0.52c
Nymph stage 3 龄 3rd instar		6.50 ± 0.55a	4.50 ± 0.55b	4.17 ± 0.41b	3.50 ± 0.55c	3.17 ± 0.41c	2.50 ± 0.55d	3.17 ± 0.41c
4 龄 4th instar		8.67 ± 0.52b	7.33 ± 0.52c	6.17 ± 0.41d	4.50 ± 0.55e	3.17 ± 0.41f	4.17 ± 0.41e	9.33 ± 0.82a
卵期+若虫期 Egg and nymph stage		46.17 ± 0.98a	28.33 ± 1.03b	25.67 ± 0.52c	20.17 ± 0.75d	14.67 ± 0.82e	15.50 ± 0.55e	25.83 ± 0.75c

表中数据为平均值±标准差，同一行数据后标有不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)。
The data in the table are presented as mean ± SD, and followed by different letters in the same row are significantly different at 0.05 level.

时发育历期较 30 ℃ 时明显延长, 达到 25.8 d。

2.2.2 发育起点温度和有效积温 表 2 结果显示, 烟粉虱卵、1 龄若虫、2 龄若虫、3 龄若虫和 4 龄若虫的发育起点温度分别为 13.77、14.98、

9.60、7.97、13.56 ℃, 有效积温分别为 77.25、29.13、49.62、65.03、65.13 日·度。整个幼期的发育起点温度为 11.69 ℃, 有效积温为 296.51 日·度。

表 2 烟粉虱各虫态的发育起点温度和有效积温

Table 2 Developmental thresholds and thermal constants for different stages of *Bemisia tabaci*

虫期 Stage	发育起点温度 Development threshold ()	有效积温 (日·度) Thermal constant (day-degree)	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient (r)
卵期 Egg stage	13.77	77.25	$N = 77.25 (T - 13.78)$	0.91
若虫期 Nymph stage	1 龄 1st instar	14.98	$N = 29.13 (T - 14.98)$	0.91
	2 龄 2nd instar	9.60	$N = 49.62 (T - 9.60)$	0.83
	3 龄 3rd instar	7.97	$N = 65.03 (T - 7.97)$	0.96
	4 龄 4th instar	12.56	$N = 65.13 (T - 12.56)$	0.76
整个幼期 (卵期+若虫期) Egg and nymph stage	11.69	296.51	$N = 296.51 (T - 11.69)$	0.93

2.2.3 温度对烟粉虱存活率的影响 图 3 结果显示, 不同温度下烟粉虱各虫态的存活率差异显著, 在 18-27 ℃ 范围内, 随着温度的升高, 烟粉虱各虫态存活率逐渐增大, 27 ℃ 时各虫态的存活率达到最高, 在 27-36 ℃ 范围内, 随着温度的升高, 烟粉虱各虫态存活率逐渐下降, 36 ℃ 时存活率最低, 世代存活率仅为 26.8%。

2.2.4 温度对烟粉虱生殖力的影响 表 3 结果显示, 不同温度下烟粉虱的成虫寿命和生殖力差异显著。在 18-36 ℃ 温度范围内, 随着温度的升高, 烟粉虱雌成虫的寿命逐渐缩短, 18 ℃ 时雌寿命最长达 34.5 d, 36 ℃ 时寿命最短仅为 9.1 d; 21、24、27 ℃ 下的烟粉虱平均单雌产卵量分别为 203.13 粒、187.54 粒和 165.32 粒, 三者之间

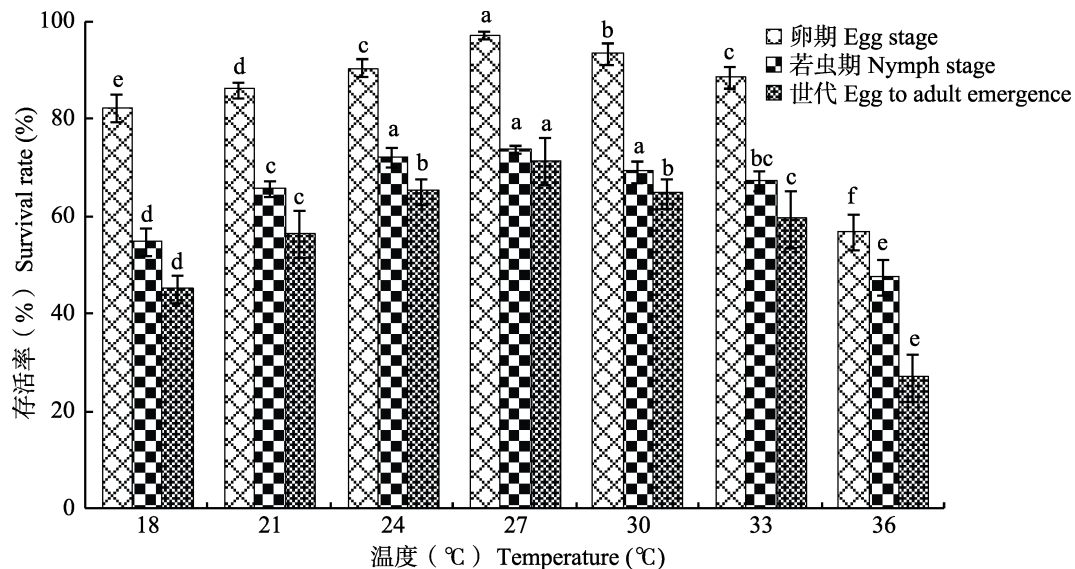


图 3 不同温度下烟粉虱各发育阶段的存活率

Fig. 3 The survival rates of *Bemisia tabaci* in different development stages at different temperatures

柱上标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Histograms with different letters indicate significantly different at 0.05 level.

表 3 烟粉虱成虫在不同温度下的寿命及产卵量
Table 3 Longevity and fecundity of *Bemisia tabaci* adults at different temperatures

温度 Temperature ()	成虫寿命 Longevity of female (d)	平均单雌产卵量 (粒) Fecundity (total no. eggs/female)
18	34.50 ± 1.62a	123.90 ± 21.64b
21	31.15 ± 2.58b	203.13 ± 24.72a
24	27.32 ± 1.90c	187.54 ± 24.59a
27	22.42 ± 1.61d	165.32 ± 25.43a
30	18.69 ± 1.29c	108.85 ± 29.576b
33	13.77 ± 2.07f	32.66 ± 15.56c
36	9.19 ± 2.33g	3.15 ± 2.41d

表中数据为平均值 ± 标准差, 同一列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

The data in the table are presented as mean ± SD, and followed by different letters in the same column are significantly different at 0.05 level.

的差异不显著, 均显著高于其他温度下的平均单雌产卵量; 30 以上随着温度升高产卵量显著降低, 36 高温条件下烟粉虱平均单雌产卵量仅为 3.15 粒, 几乎停止产卵活动。

综合上述结果表明, B 型烟粉虱生长发育和种群繁殖的最适宜温度为 21-27 , 低于 20 或 30 以上高温均不利于烟粉虱各虫态存活和种群繁殖。

3 讨论

环境温度是影响昆虫种群动态的关键因素。以漳州露地种群消长动态为例, 根据全年 36 个旬期的统计分析, 1-3 月份, 当旬平均气温在 20 以下时烟粉虱种群数量处在较低状态; 进入 4 月份, 当旬平均气温稳定在 20 以上时烟粉虱种群数量快速上升, 6 月中下旬-7 月上中旬种群数量达到第一个高峰, 7 中下旬-9 月份, 当旬平均气温持续维持在 30 以上时, 受高温条件的不利影响, 种群数量有所回落并出现低谷期, 10 月以后, 当旬平均气温在 30 以下时随着气温的适宜, 其种群数量又迅速回升, 11 月上中旬种群数量达到第二个高峰, 11 月下旬以后, 随着旬平均气温下降到 20 以下时, 种群数量锐减。生物型鉴定发现, 漳州种群为 B 生物型,

建瓯种群为 B/Q 型混合种群, B 型占优势(另文发表)。室内生物学研究发现, 21-27 是 B 型烟粉虱生长发育和种群繁殖的最适宜温度, 低于 20 和 30 以上高温均明显不利于 B 型烟粉虱各虫态存活和种群繁殖。综合上述研究结果表明, 烟粉虱田间种群数量消长与环境温度密切相关。

另据调查发现, 不同地区之间漳州龙海露地烟粉虱种群数量远高于建瓯露地, 同一地区内大棚种群数量高于露地; 不同季节之间秋季种群数量高于春季, 究其原因也均与环境温度密切相关。首先, 本研究发现, 烟粉虱一龄若虫的发育起点温度为 14.99 , 烟粉虱在 ≤ 15 条件下无法完成世代发育; 根据 2017 年全年 36 个旬期的统计分析, 漳州龙海周年旬平均气温基本上保持在 15 以上, 而建瓯 11 月下旬-翌年 3 月中旬的旬平均气温通常低于 15 (图 2), 这也导致烟粉虱在漳州露地可周年发生, 而在建瓯露地冬季烟粉虱较少发生。越冬虫源是翌年春季烟粉虱发生的重要虫源, 也是田间烟粉虱发生繁衍的重要基础, 因此, 由环境气温差异造成的冬季越冬虫源基数的差异是导致漳州和建瓯露地烟粉虱种群数量差异的重要原因。其次, 尽管 7-9 月份持续维持 30 以上旬平均气温不利于烟粉虱生长发育和种群繁衍, 种群数量也有所回落并出现低谷期, 但其种群基数仍然远高于冬春季, 因此, 种群基数的差异是秋季烟粉虱发生危害重于春季的重要原因。第三, 大棚尤其是全封闭温室大棚, 因其冬季具有较高的温度, 是烟粉虱的主要越冬场所, 大棚内烟粉虱可周年发生, 尤其冬春季虫口基数明显高于露地, 尽管 7-9 月份受高温天气影响大部分大棚处于休耕状态, 但由于没有及时清园, 棚内前茬作物残株和阔叶杂草上仍然维持较高的种群基数, 从而导致同一地区大棚种群数量高于露地。

发育起点温度和有效积温是昆虫个体和种群的基本生物学参数, 是衡量昆虫对环境温度适应性的重要指标。林克剑等 (2004) 报道了北京 B 型烟粉虱卵、1 龄、2 龄、3 龄、4 龄的发育起点温度分别为 8.75、11.03、6.16、9.37、10.37 , 有效积温分别为 110.22、38.48、57.19、73.85、68.34 日·度。本研究发现, 福建 B 型烟粉虱卵、

1 龄若虫、2 龄若虫、3 龄若虫和 4 龄若虫+拟蛹的发育起点温度分别为 13.77、14.98、9.60、7.97、13.56, 有效积温分别为 77.25、29.13、49.62、65.03、65.13 日·度, 这与林克剑等 (2004) 的研究结果存在一定差异。由于我国地域辽阔, 不同地理环境之间气候条件千变万化, 寄主植物种类也复杂多变, 烟粉虱不同地理种群发育起点温度和有效积温的差异可能与虫源经过世代的变异与环境的变化而形成对环境温度的适应性有关。结合福建省漳州和建瓯两地近 3 年的气象资料, 推算出 B 型烟粉虱在建瓯和漳州露地年发生代数分别为 11-12 代和 13-14 代。根据本研究结果, 可以预测该害虫发生时期, 以确定最佳防治时间, 为有效防治提供重要依据。

参考文献 (References)

- Bulter GD, Henneberry TJ, Clayton TE, 1983. *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae): development, oviposition and longevity in relation to temperature. *Annals Entomological Society of America*, 76 (2): 310–313.
- Chu D, Zhang YJ, Wan FH, 2010. Cryptic invasion of the exotic *Bemisia tabaci* biotype Q occurred widespread in Shandong Province of China. *Florida Entomologist*, 93 (2): 203–207.
- Cui XH, Zheng D, Pu GL, Liu WX, 2009. Effects of temperature on development, survival and fecundity of B and Q biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Acta Phytopylacica Sinica*, 36 (6): 571–572. [崔旭红, 郑丹, 蒲桂林, 刘万学, 2009. 温度对 B 型、Q 型烟粉虱生长发育、存活和繁殖的影响. 植物保护学报, 36 (6): 571–572.]
- De Barro PJ, Liu SS, Boykin LM, Dinsdale AB, 2011. *Bemisia tabaci*: a statement of species status. *Annual Review of Entomology*, 56: 1–19.
- Guo XJ, Rao Q, Zhang F, Luo C, Zhang HY, Gao XW, 2012. Diversity and genetic differentiation of the whitefly *Bemisia tabaci* species complex in China based on mtCOI and cDNA-AFLP analysis. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(2): 206–214.
- He YX, Weng QY, Huang J, Liang ZS, Lin GJ, Wu DD, 2007. Insecticide resistance of *Bemisia tabaci* field populations. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(7): 1578–1582. [何玉仙, 翁启勇, 黄建, 梁智生, 林桂君, 吴咚咚, 2007. 烟粉虱田间种群的抗药性. 应用生态学报, 18(7): 1578–1582.]
- He YX, Yang XJ, Weng QY, 2003. Investigations of host plants of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in agricultural field. *Entomological Journal of East China*, 12(2): 16–20. [何玉仙, 杨秀娟, 翁启勇, 2003. 农田烟粉虱寄主植物调查初报. 华东昆虫学报, 12(2): 16–20.]
- Hu J, De Barro P, Zhao H, Wang J, Nardi F, Liu SS, 2011. An extensive field survey combined with a phylogenetic analysis reveals rapid and widespread invasion of two alien whiteflies in China. *PLoS ONE*, 6(1): 1–9.
- Lin KJ, Wu KM, Wei HY, Guo YY, 2004. Effects of temperature and humidity on the development, survival and reproduction of B biotype of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) from Beijing. *Acta Phytopylacica Sinica*, 31(2): 166–172. [林克剑, 吴孔明, 魏洪义, 郭予元, 2004. 温度和湿度对 B 型烟粉虱发育、存活和生殖的影响. 植物保护学报, 31(2): 166–172.]
- Lü X, Han SC, Dai JQ, Cao X, 2009. Rearing quality of different geographic populations of *Anastatus japonicus* Ashmead. *Natural Enemies of Insects*, 31(4): 340–347. [吕欣, 韩诗晴, 戴建青, 曹欣, 2009. 不同地理种群荔枝平腹小蜂的繁殖品质比较. 环境昆虫学报, 31(4): 340–347.]
- Pan HP, Chu D, Ge DQ, Wang SL, Wu QJ, Xie W, Jiao XG, Liu BM, Yang X, Yang NN, Su Q, Xu BY, Zhang YJ, 2011. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China. *Journal of Economic Entomology*, 104(3): 978–985.
- Qiu BL, Ren SX, Mandour NS, Lin L, 2003. Effect of temperature on the development and reproduction of *Bemisia tabaci* B biotype (Homoptera: Aleyrodidae). *Entomologia Sinica*, 10(1): 43–49.
- Rao Q, Luo C, Zhang H, Guo X, Devine G, 2011. Distribution and dynamics of *Bemisia tabaci* invasive biotypes in central China. *Bulletin of Entomological Research*, 101(1): 81–88.
- Ren SX, Wang ZZ, Qiu BL, Xiao Y, 2001. The pest status of *Bemisia tabaci* in China and non-chemical control strategies. *Insect Science*, 8(3): 279–288.
- Teng X, Wan FH, Chu D, 2010. *Bemisia tabaci* biotype Q dominates other biotypes across China. *Florida Entomologist*, 93(3): 363–368.
- Tu XY, Chen YS, Xia QW, Chen C, Kuang XJ, Xue FS, 2012. Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* Guenée (Lepidoptera: Crambidae). *Acta Ecologica Sinica*, 32(13): 4160–4165. [涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 陈超, 匡先钜, 薛芳森, 2012. 亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异. 生态学报, 32(13): 4160–4165.]
- Wang XQ, Sheng ZL, Peng P, Guo X, Hu X, Lin Q, 2013. Difference in the fitness of the geographic populations of *Ectopis obliqua*. *Plant Protection*, 39(2): 63–66. [王晓庆, 盛忠雷, 彭萍, 郭萧, 胡翔, 林强, 2013. 不同地理种群茶尺蠖适合度差异研究. 植物保护, 39(2): 63–66.]
- Xiang YY, Guo XJ, Zhang F, Li ZZ, Luo C, 2007. Effects of temperature and humidity on the development and reproduction of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) Biotype B. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 22(5): 152–156. [向玉勇, 郭晓军, 张帆, 李子忠, 罗晨, 2007. 温度和湿度对北京地区 B 型烟粉虱个体发育和种群繁殖的影响. 华北农学报, 22(5): 152–156.]
- Xu L, Xu GQ, Liu PB, Chen Y, Wang XY, Zhao TH, 2011. Effects of temperature on development and reproduction of *Aphis glycyines* Matsumura. *Chinese Journal of Oil Crop Science*, 33(2): 189–192. [徐蕾, 许国庆, 刘培斌, 陈彦, 王兴亚, 赵彤华, 2011. 温度对大豆蚜生长发育和繁殖的影响. 中国油料作物学报, 33(2): 189–192.]
- Yao FL, Zheng Y, Huang XY, Ding XL, Desneux N, He YX, Weng QY, 2017. Dynamics of *Bemisia tabaci* biotypes and insecticide resistance in Fujian province in China during 2005–2014. *Scientific Reports*, 7: 40803. doi: 10.1038/srep40803.
- Zheng Y, Zhao JW, He YX, Huang J, Weng QY, 2012. Development of insecticide resistance and its effect factors in field population of *Bemisia tabaci* in Fujian Province, East China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(1): 271–277. [郑宇, 赵建伟, 何玉仙, 黄建, 翁启勇, 2012. 福建省烟粉虱田间种群抗药性发展及其影响因素. 应用生态学报, 23(1): 271–277.]