



朱琳, 陈永明, 臧连生. 基于年龄-阶段两性生命表的温室白粉虱对三种重要寄主植物的适应性 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (2): 442–450.

基于年龄-阶段两性生命表的温室白粉虱 对三种重要寄主植物的适应性

朱琳¹, 陈永明^{1,2}, 臧连生^{1,2*}

(1. 吉林农业大学生物防治研究所, 长春 130118; 2. 贵州大学绿色农药与农业生物工程教育部重点实验室, 贵阳 550025)

摘要: 温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) 是农业生产中的一种世界性害虫, 可同时在露地和保护地作物造成危害。番茄 *Lycopersicon esculentum* (Miller)、烟草 *Nicotiana tabacum* L. 和雪莲果 *Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) 为温室白粉虱的重要寄主植物, 而烟草和雪莲果都是大量繁育丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 等天敌的优势中间寄主植物。本文基于年龄-阶段两性生命表, 研究温室白粉虱对 3 种寄主植物的适应性。结果表明: 雪莲果上粉虱 2 龄、3 龄若虫和雄成虫前期发育的历期最短, 个体繁殖力最高 (169.50 粒/雌), 净增殖率最高 ($R_0 = 80.71$ 粒); 烟草上粉虱 2 龄、3 龄和雄成虫前期发育历期最长, 个体繁殖力 (126.68 粒/雌) 和净增殖率 ($R_0 = 57.31$ 粒) 最低。内禀增长率和周限增长率在雪莲果 ($r = 0.1434 \text{ d}^{-1}$ 、 $\lambda = 1.1301 \text{ d}^{-1}$) 和番茄 ($r = 0.1452 \text{ d}^{-1}$ 、 $\lambda = 1.1562 \text{ d}^{-1}$) 上无显著差异, 但在烟草上 ($r = 0.1226 \text{ d}^{-1}$ 、 $\lambda = 1.1301 \text{ d}^{-1}$) 显著低于二者。研究结果表明温室白粉虱在 3 种寄主植物上都有很好的适应性, 其中在雪莲果上的生物学特性参数最好, 其次为番茄, 再次为烟草。

关键词: 温室白粉虱; 番茄; 雪莲果; 烟草; 年龄-阶段两性生命表

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 02-0442-09

Adaptability of *Trialeurodes vaporariorum* to three important host plants based on the age-stage two-sex life table

ZHU Lin¹, CHEN Yong-Ming^{1,2}, ZANG Lian-Sheng^{1,2*} (1. Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Key Laboratory of Green Pesticide and Agricultural Bioengineering of Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood), is a worldwide pest of agricultural production that can cause damage to open and protected field crop. Tomato, tobacco and yacon are important host plants of *T. vaporariorum*. Both tobacco and yacon were the dominant intermediate host plants for rearing whitefly parasitoids such as *Encarsia formosa*. Based on the age-stage two-sex life table, we studied the adaptability of *T. vaporariorum* to three host plants. The results showed that the second-instar nymphs, third-instar nymphs and pre-adult of males on yacon had the shortest development duration, the highest fecundity (169.50 eggs/female) and the highest net reproduction rate ($R_0 = 80.71$ eggs/individual). While the second-instar nymphs, third-instar nymphs and pre-adult of males on tobacco had the longest development duration, fecundity (126.68 eggs/female), and net reproduction rate ($R_0 =$

基金项目: 国家重点研发计划-政府间国际科技创新合作重点专项 (2017YFE0104900)

作者简介: 朱琳, 女, 1996 年生, 吉林长春人, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: 2292454170@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 臧连生, 博士, 研究员, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: lsz0415@163.com

收稿日期 Received: 2021-12-26; **接受日期** Accepted: 2022-03-09

57.31 eggs/individual) were lowest. There was no significant difference in intrinsic rate of increase and finite rate of increase between yacon ($r = 0.1434 \text{ d}^{-1}$, $\lambda = 1.1301 \text{ d}^{-1}$) and tomato ($r = 0.1452 \text{ d}^{-1}$, $\lambda = 1.1562 \text{ d}^{-1}$), but significantly higher than those on tobacco ($r = 0.1226 \text{ d}^{-1}$, $\lambda = 1.1301 \text{ d}^{-1}$). The results showed that *T. vaporariorum* had good adaptability on three host plants, and exhibited best biological characteristic parameters on yacon, followed by on tomato and tobacco.

Key words: *Trialeurodes vaporariorum*; tomato; yacon; tobacco; age-stage two-sex life table

温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood), 属半翅目 Hemiptera 粉虱科 Aleyrodidae, 在世界范围内广泛分布, 是众多果蔬、花卉上的重要害虫, 其寄主植物有 112 个科 600 多种 (Jones, 2003)。自 20 世纪 70 年代温室白粉虱传入我国以来, 由于繁殖寄居场所多、取食作物种类广、繁殖力强以及发生代数多等原因使其在我国迅速爆发成灾, 给农业生产造成严重经济损失, 局部地区损失常年可达 20% ~ 30%, 严重时可能造成减产 50% 以上甚至绝收 (常虹和岳学友, 2007)。白粉虱为害方式有 3 种, 分别为直接刺吸植株叶片、分泌蜜露引起煤污病和传播病毒 (Perring *et al.*, 1993)。目前, 温室白粉虱的防治仍以化学防治为主, 但因长期大量使用化学农药, 使温室白粉虱抗药性不断增强, 分布范围持续扩大, 危害程度不断升级, 且造成的环境污染等问题也十分突出并日趋严重 (Gorman *et al.*, 2002; Guedes *et al.*, 2016; Mohammed *et al.*, 2018)。特别是由于粉虱成虫体表附着蜡粉, 一般触杀性农药很难突破此壁垒达到杀虫目的, 致使单纯的化学防治未能发挥良好作用 (Nauen *et al.*, 2008; Longhurst *et al.*, 2013; 李清华等, 2021)。目前利用生物防治技术对设施农业中粉虱类害虫进行防控已取得了与传统化学防治相近的防治效果 (史晋鹏等, 2019; 陈秀琴等, 2021)。此外, 生物防治不仅具有副作用少、污染低和良好的环境保护作用, 降低生产成本, 而且还可增加害虫防治的可持续性 (张礼生和陈红印, 2014; 奚文珺等, 2020)。

烟草 *Nicotiana tabacum* L.、番茄 *Lycopersicon esculentum* (Miller)、雪莲果 *Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) 均为温室白粉虱的嗜好寄主植物。烟草是一种经济价值较高的作物。烟草的主要害虫之一是温室白粉虱, 每年给烟草造成严重的经济损失。番茄作为我国主要的设施蔬菜之一, 深受温室白粉虱的危害, 局部地区重发生时可导致番茄产量损失 50% 以上, 甚至绝收 (彭

昌家等, 2016)。通过释放丽蚜小蜂防治番茄上的白粉虱, 已取得良好防效, 李星星等 (2021) 研究发现, 番茄对丽蚜小蜂的寄生能力有促进作用, 其寄生率最高可达 84%。雪莲果具有极高的营养价值、药用价值、加工价值, 随着种植面积日益扩大, 温室白粉虱造成的危害已日趋严重 (Ojansivu *et al.*, 2011)。由于化学防治效果不佳, 粉虱抗药性增强, 使用生物防治手段特别是利用丽蚜小蜂防治粉虱类害虫已成为一种趋势。但随着丽蚜小蜂的工厂化繁育, 中间寄主植物在繁育过程中暴露出越来越多的问题, 如番茄极易受到各种病虫害和环境条件的不良影响, 烟草容易遭受蚜虫的危害且发育历期较长等 (张帆等, 2007; 刘建勋, 2021), 因此急需寻找一种新型寄主植物, 以提高丽蚜小蜂繁育效率。近年来, 赵悦等 (2018; 2021) 研究发现, 雪莲果是一种潜在的繁育丽蚜小蜂的优良中间寄主植物。为了证明雪莲果是高效繁育丽蚜小蜂的优势中间寄主植物, 有必要进一步进行试验系统评价寄主植物对丽蚜小蜂优势中间繁育寄主温室白粉虱种群特性的影响。

生命表是研究昆虫种群生态学和害虫管理的重要方法, 有助于明确不同环境条件下目标害虫的生长、发育、寿命和繁殖力等种群特性, 从而精准预测害虫种群增长, 为害虫综合治理中各防控策略的时机选择提供帮助 (Huang *et al.*, 2018)。在以往实验中, 研究者大多采用传统雌性生命表 (Female age-specific life table), 但其忽略了昆虫种群的世代重叠及个体间的发育差异, 同时无法正确描述昆虫的变态且忽略雄性个体 (Huang and Chi, 2012)。近年来国内外学者普遍采用年龄-阶段两性生命表 (age-stage, two-sex life table) 对昆虫种群的存活、发育和繁殖等进行研究。与传统雌性特定年龄生命表相比, 年龄-阶段两性生命表除可以精确描述昆虫的龄期分化 (Stage differentiation)、性比对种群增长的影响外, 还可区分总产卵前期 (Total pre-oviposition period, TPOP) 与成虫产卵前期 (Adult pre-oviposition

period, APOP) 的差异及种群的世代重叠 (齐心等, 2019)。目前, 两性生命表已被广泛用于多种昆虫和螨类的研究 (Chi *et al.*, 2019)。

本研究于室内条件下通过构建温室白粉虱在番茄、雪莲果和烟草 3 种寄主植物上年龄-阶段两性生命表的方法, 比较分析在 3 种寄主植物上粉虱各虫态的存活率、发育历期、成虫繁殖力和种群参数, 以期明确温室白粉虱对 3 种寄主植物的寄生适应性, 进而为筛选适合丽蚜小蜂等粉虱寄生蜂大量繁育的优势中间寄主植物提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源和寄主植物

温室白粉虱: 从吉林农业大学温室大棚的番茄植株上收集获得。分别在番茄、烟草和雪莲果上饲养 3 代后供试。

番茄: 品种为瑞奇 1 号, 西安市群兴种业有限公司提供。将番茄种子播种在育苗钵中, 待幼苗长至 4 片叶时移栽到容积为 1.5 L 花盆内 (口径 16.0 cm × 深度 15.0 cm, 下同), 7~8 片真叶时供试。

烟草: 品种为吉烟 9 号, 穴盘育苗后长至第 4 片真叶时移植到 1.5 L 花盆内, 待生长至 6 叶备用, 供试时单个叶片面积大于 200 cm²。

雪莲果: 品种为黄心雪莲果, 云南省曲靖农场提供。播种在 1.5 L 的花盆中, 待生长至 6 叶备用, 供试时底部 4 个叶片面积大于 200 cm²。所有寄主植物均置于温室中育苗并培育至供试大小。

1.2 试验方法

1.2.1 温室白粉虱在番茄、烟草和雪莲果上成虫前期存活及生长发育

利用吸虫器将 10 对供试的温室白粉虱 (在番茄上繁育 3 代以上), 移入夹在番茄叶背的微虫笼中, 让其产卵 12 h 后去除温室白粉虱成虫, 同时在体视显微镜 (LEICA M165C) 下调查粉虱所产的卵粒数及其生长发育情况, 剔出多余卵, 每个微虫笼内保留 1 粒卵并用记号笔标记每粒卵的位置并进行编号 (臧连生等, 2005; 黄俊等, 2010), 共计调查 100 粒卵, 每隔 24 h 观察一次粉虱卵的发育情况并统计孵化卵粒数, 将孵化的温室白粉虱若虫同样每隔 24 h 观察一次其发育情况并记录粉虱各龄若虫发育时间以及死亡数量, 直至成虫羽化, 其龄期划分参照黄耀阁等 (1993)。

在成虫羽化后统计雌雄虫个数, 计算性比和成虫前期发育时间。

温室白粉虱在雪莲果和烟草上的试验参照其在番茄上试验方法进行。

1.2.2 温室白粉虱在番茄、烟草和雪莲果上成虫寿命及雌性产卵量

收集 1.2.1 试验中初羽化 (24 h 内) 的温室白粉虱雌、雄虫进行配对, 供试时不少于 15 对, 每对温室白粉虱利用吸虫器吹入夹在番茄叶背的微虫笼中, 让其取食和产卵。每 24 h 更换一次叶片, 同时记录每对温室白粉虱的产卵量及成虫的存活情况; 试验过程中若雄虫出现死亡, 记录其寿命后需要给雌虫配雄, 若雌虫死亡则试验结束。温室白粉虱在烟草和雪莲果上的试验参照在番茄上的试验方法进行。以上试验均在 26 ± 1℃, RH 65% ± 5% 和光周期 14 L: 10 D 条件的人工智能气候室内进行。

1.3 数据处理

试验所得原始数据采用 TWOSEX-MSChart 计算机程序进行处理 (Chi, 2015), 温室白粉虱在 3 种寄主植物上的种群生命表参数的平均值和标准误采用 Bootstrap 方法进行计算, 其中 Bootstrap 的次数设置为 100 000 次 (Efron and Tibshirani, 1993; Chi *et al.*, 2019)。试验图片绘制采用 Sigmaplot 12.5 软件。

新生子代存活到年龄 x 和阶段 j 的概率记做特定年龄-阶段存活率 S_{xj} , 计算公式为:

$$S_{xj} = \frac{n_{xj}}{n_{01}} \quad (1)$$

公式 (1) 中 n_{01} 是生命表研究开始时卵的数量 (本文中为 100), n_{xj} 是存活到年龄 x 和阶段 j 的个体数。计算种群特定年龄存活率 l_x 的公式为:

$$l_x = \sum_{j=1}^{\beta} S_{xj} \quad (2)$$

公式 (2) 中 j 和 β 都是阶段数 (本文粉虱生活史研究共分卵期、4 个若虫龄期和成虫期 6 个阶段)。种群特定年龄繁殖力 m_x 是指整个种群在年龄 x 的平均产卵量:

$$m_x = \frac{\sum_{j=1}^{\beta} S_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^{\beta} S_{xj}} \quad (3)$$

公式 (3) 中 f_{xj} 表示雌成虫在年龄 x 阶段 j 的产卵量。净增殖率 R_0 是指种群内平均每个个体一生所繁殖的子代数:

$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x \tag{4}$$

两性生命表采用迭代二分法分别计算内禀增长率 r 、周限增长率 λ 、平均世代周期 T ：

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1 \tag{5}$$

$$\lambda = e^r \tag{6}$$

$$T = \frac{\ln R_0}{r} \tag{7}$$

期望寿命 e_{xj} 表示年龄 x 阶段 j 的个体能够继续存活的天数：

$$e_{xj} = \sum_{i=x}^{\infty} \sum_{y=j}^{\beta} S'_{iy} \tag{8}$$

公式 (8) 中 s'_{iy} 表示年龄 x 阶段 j 的个体能够存活到年龄 i 阶段 y 的可能性。

繁殖值 v_{xj} 为年龄 x 阶段 j 的个体对未来种群的贡献：

$$v_{xj} = \frac{e^{r(x+1)}}{S_{xj}} \sum_{i=x}^{\infty} e^{-r(i+1)} \sum_{y=j}^{\beta} S'_{iy} f_{iy} \tag{9}$$

2 结果与分析

2.1 番茄、雪莲果和烟草对温室白粉虱各虫态发育历期与繁殖的影响

温室白粉虱在 $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，RH 65% $\pm$ 5% 和光周期 14 L:10 D 条件下，在番茄、雪莲果及烟草上均可顺利完成生活史，但各龄期的发育历期不同。在番茄、雪莲果、烟草发育的温室白粉虱成虫前期存活率和雌雄比均差异不显著；在番茄和雪莲果上卵期、1 龄、4 龄、雌虫成虫前期和 TPOP 无显著差异，在烟草上发育时间最长（分别为 5.73、3.02、7.26、23.05、23.05 d），且与前两者存在显著差异。温室白粉虱 2 龄、3 龄、雄虫成虫前期在番茄、雪莲果和烟草上的发育历期均存在显著差异，在烟草上发育时间最长（分别为 3.19、3.33、22.15 d），雪莲果上用时最短（分别为 2.70、2.50、18.60 d）（表 1）。

表 1 取食不同寄主植物的温室白粉虱发育历期、寿命和产卵天数

Table 1 Developmental periods, longeivities, oviposition days in *Trialeurodes vaporariorum* feeding on different host plants

参数 Parameters	<i>n</i>	番茄 Tomato	<i>n</i>	雪莲果 Yacon	<i>n</i>	烟草 Tobacco
成虫前期存活率 Pre-adult survival rate	100	0.83 $\pm$ 0.04 a	100	0.84 $\pm$ 0.04 a	100	0.81 $\pm$ 0.04 a
雌雄比例 Proportion of female to male	100	1.51 $\pm$ 0.37 a	100	1.62 $\pm$ 0.39 a	100	1.31 $\pm$ 0.31 a
卵期 Egg duration	42	5.14 $\pm$ 0.05 b	42	5.21 $\pm$ 0.06 b	42	5.73 $\pm$ 0.10 a
1 龄 1 st duration	41	2.46 $\pm$ 0.08 b	42	2.64 $\pm$ 0.07 b	42	3.02 $\pm$ 0.05 a
2 龄 2 nd duration	41	3.00 $\pm$ 0.00 b	41	2.70 $\pm$ 0.07 c	41	3.19 $\pm$ 0.06 a
3 龄 3 rd duration	40	2.82 $\pm$ 0.07 b	40	2.50 $\pm$ 0.08 c	39	3.33 $\pm$ 0.09 a
4 龄 4 th duration	40	6.00 $\pm$ 0.08 b	40	6.20 $\pm$ 0.10 b	38	7.26 $\pm$ 0.14 a
雌成虫前期 (d) Female pre-adult	20	19.75 $\pm$ 0.12 b	20	19.95 $\pm$ 0.15 b	19	23.05 $\pm$ 0.09 a
雌成虫期 (d) Female adult	20	28.80 $\pm$ 0.37 b	20	31.40 $\pm$ 0.77 a	19	28.26 $\pm$ 0.43 b
雌虫总寿命 (d) Female total longevity	20	48.55 $\pm$ 0.38 b	20	51.35 $\pm$ 0.80 a	19	51.31 $\pm$ 0.44 a
雄成虫前期 (d) Male pre-adult	20	19.05 $\pm$ 0.05 b	20	18.60 $\pm$ 0.11 c	19	22.15 $\pm$ 0.11 a
雄成虫期 (d) Male adult	20	21.00 $\pm$ 0.41 b	20	23.95 $\pm$ 0.36 a	19	21.73 $\pm$ 0.31 b
雄虫总寿命 (d) Male total longevity	20	40.05 $\pm$ 0.42 c	20	42.55 $\pm$ 0.35 b	19	43.89 $\pm$ 0.31 a
总产卵前期 (d) TPOP	20	19.75 $\pm$ 0.12 b	20	19.95 $\pm$ 0.15 b	19	23.05 $\pm$ 0.09 a
产卵天数 (d) Oviposition days (O_d)	20	27.20 $\pm$ 0.49 b	20	29.55 $\pm$ 0.74 a	19	24.63 $\pm$ 0.45 c
产卵量 (Eggs/female) Fecundity	20	150.15 $\pm$ 4.11 b	20	169.50 $\pm$ 2.92 a	19	126.68 $\pm$ 1.83 c

注：表中数据为平均值 $\pm$ 标准误，同一行不同字母表示经 paired bootstrap test 比较差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Data in the table were mean $\pm$ SE. Means in the same row followed by different letters were significantly different by paired bootstrap test ($P < 0.05$).

雌、雄虫成虫期在雪莲果上的存活时间最长 (31.40 d、23.95 d)，在番茄和烟草上无显著差异。雌虫总寿命在番茄上最短 (48.55 d)，在雪莲果和烟草上无显著差异。雄虫总寿命在番茄、雪莲果和烟草上存在显著差异，烟草上发育时间最长 (43.89 d)，番茄上最短 (40.05 d)。

在产卵天数和产卵量方面，三者间存在显著差异，其中雪莲果上白粉虱的产卵天数最长 (29.55 d)、产卵量最大 (169.50 粒)，而烟草上产卵天数最短 (24.63 d)、产卵量最小 (126.68 粒)。

2.2 不同寄主植物对温室白粉虱存活率的影响

温室白粉虱在 3 种寄主植物上的特定年龄阶段存活率存在明显差异 (图 1)。因为个体间的发育速率差异，从图 1 可见温室白粉虱在不同龄期的存活曲线发生部分重叠。3 种寄主植物繁育的温室白粉虱雌性成虫与雄性成虫存活率无显著差异。不管温室白粉虱取食同种寄主或异种寄主植物，其雄成虫羽化均早于雌成虫，但雄成虫寿命却短

于雌成虫。在 3 种寄主植物上繁育的温室白粉虱雌虫存活时间为雪莲果最长 (57 d)，烟草次之 (54 d)，番茄最短 (51 d)。

2.3 不同寄主植物对温室白粉虱繁殖力的影响

在番茄、雪莲果和烟草上温室白粉虱的特定年龄存活率 (l_x) 曲线总的变化趋势相近，均表现为成虫前期逐渐下降，成虫期初始阶段趋于平稳，后期迅速下降 (图 2)。其中在番茄上第 36 天存活率迅速下降，第 42 天存活率降低至 0.5，第 51 天存活率降为 0；在雪莲果上第 40 天存活率迅速下降，第 44 天存活率降低至 0.5，第 57 天存活率降为 0；在烟草上第 42 天存活率迅速下降，第 45 天存活率降低至 0.5，第 54 天存活率降为 0。温室白粉虱种群繁殖力 m_x 和种群净增值力 $l_x m_x$ 在 3 种寄主植物上总体呈先上升后下降的趋势，取食雪莲果的温室白粉虱雌成虫 m_x 和 $l_x m_x$ 最大值均高于其在番茄与烟草上，表明相比于番茄和烟草，雪莲果更利于温室白粉虱的生长发育和繁殖。

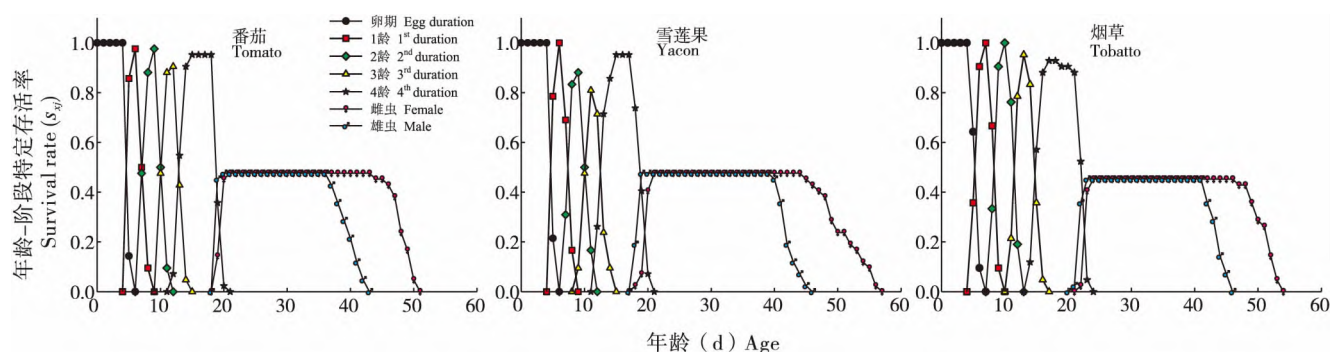


图 1 温室白粉虱在番茄、雪莲果、烟草上特定年龄-阶段存活率

Fig. 1 Age-stage survival rate (s_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum* reared on different host plants

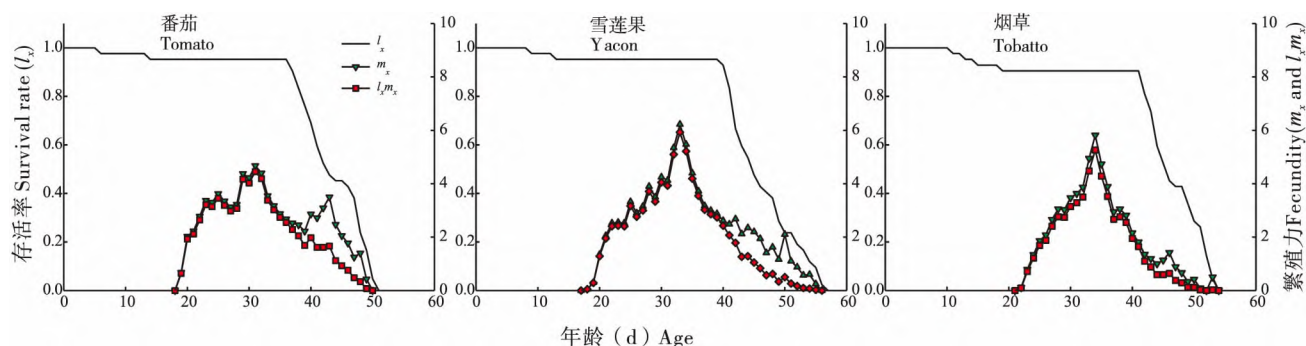


图 2 温室白粉虱在番茄、雪莲果、烟草上特定年龄-阶段存活率和繁殖力

Fig. 2 Age-specific survival rate (l_x), age-specific fecundity (m_x), and age-specific population maternity ($l_x m_x$) of *Trialeurodes vaporariorum* reared on different host plants

2.4 不同寄主植物对温室白粉虱期望寿命的影响

初始卵的期望寿命就是温室白粉虱在该种寄

主植物上的最高期望寿命，在雪莲果上的最高期望寿命 (45.24 d) 明显大于在烟草 (44.45 d) 和

番茄 (42.67 d) 上的。随着时间的增加, 温室白粉虱在 3 种寄主植物上的期望寿命均逐渐降低, 且雌成虫的期望寿命均高于雄成虫 (图 3)。

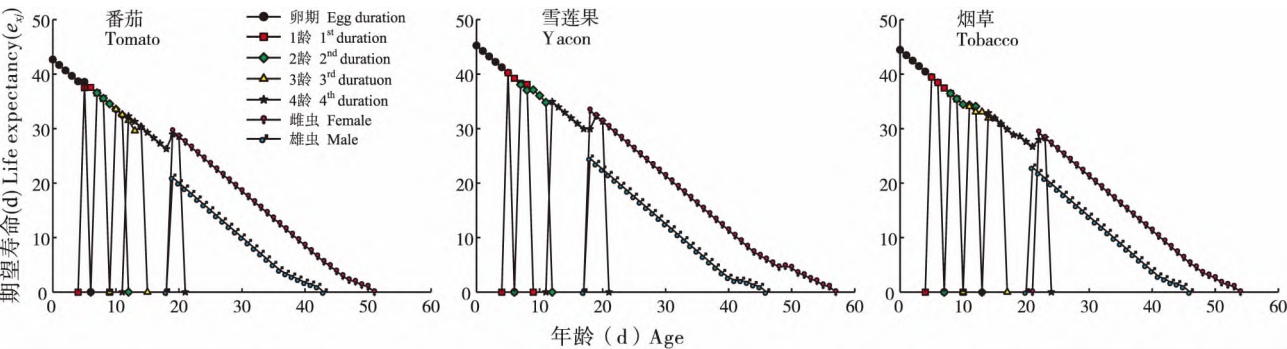


图 3 温室白粉虱在番茄、雪莲果、烟草上的期望寿命

Fig. 3 Life expectancy of each insect stage of *Trialeurodes vaporariorum* reared on different host plants

2.5 不同寄主植物对温室白粉虱繁殖值的影响

在番茄、雪莲果和烟草上繁育的温室白粉虱初始卵繁殖值分别为 1.16d^{-1} 、 1.15d^{-1} 和 1.13d^{-1} , 随着其生长和发育, 繁殖值逐渐升高。在雌成虫产卵时期, 取食番茄的温室白粉虱第 25 天繁殖值达到最大值, 为 47.93d^{-1} ; 取食雪莲果和烟草的温室白粉虱分别于第 28 天 (55.57d^{-1}) 和第 30 天 (52.95d^{-1}) 达到最大繁殖值。尽管取食番茄的温室白粉虱繁殖值达到最大值的时间比取食雪莲果和烟草的达到最大值的时间要早, 但

取食雪莲果和烟草的温室白粉虱最大繁殖值却均高于取食番茄的温室白粉虱繁殖值 (图 4)。

2.6 不同寄主植物对温室白粉虱种群参数的影响

温室白粉虱在 3 种寄主植物上种群内禀增长率均大于 0, 周限增长率均大于 1, 表明温室白粉虱种群能够在这 3 种作物上生长发育并增殖。取食番茄的温室白粉虱内禀增长率 (0.1452d^{-1}) 和周限增长率 (1.1562d^{-1}) 均高于取食雪莲果 (0.1434d^{-1} 、 1.1542d^{-1}) 和烟草 (0.1226d^{-1} 、 1.1301d^{-1}) (表 2)。但取食番茄的温室白粉虱的

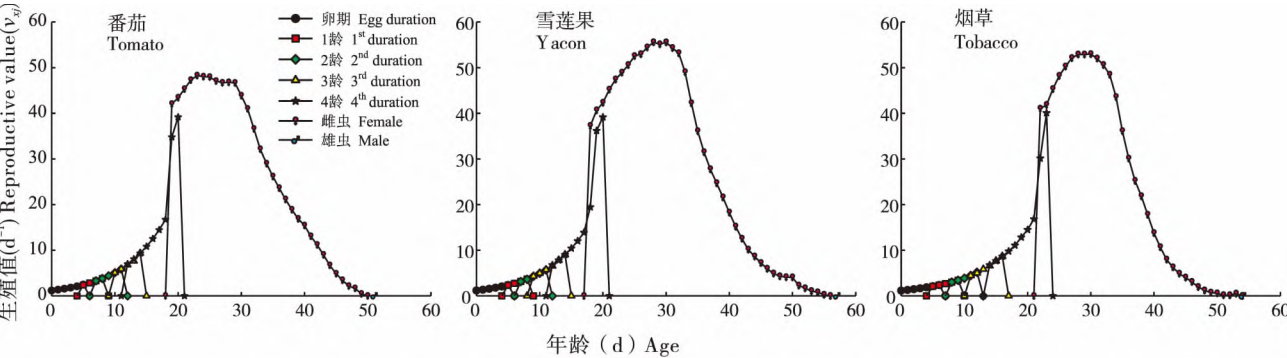


图 4 温室白粉虱在番茄、雪莲果、烟草上的繁殖值

Fig. 4 Reproductive values of each insect stage of *Trialeurodes vaporariorum* reared on different host plants

表 2 取食不同寄主植物的温室白粉虱的种群参数

Table 2 Population parameters of *Trialeurodes vaporariorum* feeding on different host plants

参数 Parameter	番茄 Tomato	雪莲果 Yacon	烟草 Tobacco
净生殖率 (R_0) Net reproduction rate	$71.50 \pm 11.72\text{ b}$	$80.71 \pm 13.14\text{ a}$	$57.31 \pm 9.74\text{ c}$
内禀增长率 (r) Intrinsic rate of increase	$0.1452 \pm 0.0064\text{ a}$	$0.1434 \pm 0.0061\text{ a}$	$0.1226 \pm 0.0056\text{ b}$
周限增长率 (λ) Finite rate of increase	$1.1562 \pm 0.0073\text{ a}$	$1.1542 \pm 0.0070\text{ a}$	$1.1301 \pm 0.0063\text{ b}$
平均世代周期 (T) Mean generation time	$29.32 \pm 0.27\text{ c}$	$30.61 \pm 0.29\text{ b}$	$33.03 \pm 0.21\text{ a}$

注: 表中数据为平均值 $\pm$ 标准误, 同行不同字母表示经 paired bootstrap test 比较差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Data in the table were mean $\pm$ SE. Means in the same row followed by different letters were significantly different by paired bootstrap test ($P < 0.05$).

平均世代周期最短 (29.32 d), 烟草上最长 (33.03 d)。温室白粉虱在雪莲果上净增殖率 (80.71 粒) 显著高于番茄 (71.50 粒) 和烟草 (57.31 粒)。

3 结论与讨论

在一般情况下, 对一种害虫的最佳防治期应为害虫生长和发育的敏感阶段, 年龄-阶段两性生命表是确定害虫最佳防治期的有效方法 (张同强等, 2020)。生命表可用于获取靶标害虫的生存、发育时间和繁殖力等实用信息。本研究基于年龄-阶段两性生命表的方法, 以番茄、烟草、雪莲果作为寄主植物研究白粉虱在 3 种寄主植物上的适应性。通过研究发现, 温室白粉虱在这 3 种寄主植物上均可顺利完成生活史, 但寄主植物雪莲果是 3 种寄主植物中最适合繁育白粉虱的。

本研究发现取食雪莲果的温室白粉虱最高期望寿命、个体繁殖力和净增殖率等参数显著高于取食烟草和番茄的白粉虱。雪莲果和烟草繁育的温室白粉虱雌、雄成虫平均寿命和雌虫平均产卵量等生物学参数存在显著差异, 这与赵悦等研究结果基本一致 (赵悦等, 2018)。雪莲果上的温室白粉虱若虫发育历期、存活率、产卵量和雌雄成虫发育时间皆优于其他两种寄主植物, 从而为繁育寄生蜂提供优势寄主昆虫。

已有研究表明, 叶片绒毛影响着温室白粉虱对寄主植物的选择性偏好, 并与温室白粉虱成虫发生数量及产卵量呈正相关, 即叶片绒毛越多温室白粉虱发生量越多 (Avery *et al.*, 2015)。比较 3 种寄主植物生物学形态发现, 雪莲果叶片绒毛量要多于番茄和烟草, 其叶片内的糖、粗蛋白、矿物质等和次生代谢酚类为粉虱的继续侵害、发育繁殖提供了丰富营养和能量 (刘坚等, 2009; Fernández *et al.*, 2013)。推测温室白粉虱的发育与繁殖可能受寄主植物性状与所含营养物质影响, 使得温室白粉虱在雪莲果上种群数量较多。

综合来看, 雪莲果上繁育的温室白粉虱其繁殖发育速率和适应性均优于番茄和烟草, 雪莲果是 3 种寄主植物中最适合繁育白粉虱的。同时, 本研究进一步证明雪莲果是大量繁育以温室白粉虱为寄主生产寄生蜂的优势中间寄主植物。研究结果为后续应用和释放雪莲果替代烟草和番茄为中间寄主植物大量繁育寄生蜂以预防和治理白粉

虱提供了理论依据。

了解害虫的寄主适应性有利于更好的掌握其发生动态, 以便在适当时间及时采取防范措施。昆虫的种群动态及生长发育不仅受寄主植物的影响, 还受到其他生物和非生物的影响, 如天敌、环境因子等。本研究仅是在室内条件下对白粉虱进行研究, 摸清了温室白粉虱生态潜能, 获得稳定可靠的生命表资料, 但自然条件下白粉虱的生长发育和繁殖参数受到众多因素的影响如温度、湿度、杀虫剂等, 会与室内试验结果有所差异, 因此需要进一步研究并确定在田间的具体防治效果。

参考文献 (References)

- Alon M, Alon F, Nauen R, *et al.* Organophosphates' resistance in the B-biotype of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) is associated with a point mutation in an *ace1*-type acetylcholinesterase and overexpression of carboxylesterase [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2008, 38 (10): 940-949.
- Avery PB, Kumar V, Simmonds MSJ, *et al.* Influence of leaf trichome type and density on the host plant selection by the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2015, 50 (1): 79-87.
- Byrne DN, Bellows TS. Whitefly biology [J]. *Annual Review of Entomology*, 1991, 36 (1): 431-457.
- Chang H, Yue XY. The research of greenhouse whitefly regularity in the east of Henan Province [J]. *Shangqiu Polytechnic*, 2007, 5: 83-85. 隋虹, 岳学友. 豫东地区温室白粉虱发生规律的研究 [J]. 商丘职业技术学院学报, 2007, 5: 83-85
- Chen XQ, Liu QQ, Tian XH, *et al.* Progress in biological control of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 36 (8): 981-988. 陈秀琴, 刘其全, 田新湖, 等. 草地贪夜蛾生物防治研究进展 [J]. 福建农业学报, 2021, 36 (8): 981-988
- Chi H. TWOSEX-MSChart: A Computer Program for the Age-stage, Two-sex Life Table Analysis [J]. Taichung: National Chung Hsing University, 2015.
- Chi H, You M, Atlihan R, *et al.* Age-stage, two-sex life table: An introduction to theory, data analysis and application [J]. *Entomologia Generalis*, 2019, 40 (2): 102-123.
- Dou WJ, Yang SW, Li Q, *et al.* Progress in the control of predatory and parasitic natural enemies of *Bemisia tabaci* in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (2): 342-354. 陶文珺, 羊绍武, 柳青, 等. 我国烟粉虱主要捕食和寄生性天敌控制能力研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (2): 342-354
- Efron B, Tibshirani RJ. An introduction to the bootstrap [J]. *CRC Press*, 1993.
- Fernández EC, Rajchl A, Lachman J, *et al.* Impact of yacon landraces cultivated in the Czech Republic and their ploidy on the short-and long-chain fructooligosaccharides content in tuberous roots [J].

- LWT-Food Science and Technology, 2013, 54 (1): 80-86.
- Gorman K, Hewitt F, Denholm I, *et al.* New developments in insecticide resistance in the glasshouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) and the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) in the UK [J]. *Pest Management Science*, 2002, 58 (2): 123-130.
- Guedes RNC, Smagghe G, Stark JD, *et al.* Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs [J]. *Annual Review of Entomology*, 2016, 61: 43-62.
- Huang HW, Chi H, Smith CL. Linking demography and consumption of *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Solanum photeinocarpum* (Solanales: Solanaceae): With a new method to project the uncertainty of population growth and consumption [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2018, 111 (1): 1-9.
- Huang YB, Chi H. Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations [J]. *Insect Science*, 2012, 19 (2): 263-273.
- Huang J, Wei MT, Chen CL, *et al.* The improvement and production of a clip-cage for whitefly experimental studies [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32 (4): 549-551. 黄俊, 韦茂兔, 陈常理, 等. 一种适合烟粉虱实验观察的微虫笼的改进及其制作 [J]. *环境昆虫学报*, 2010, 32 (4): 549-551
- Huang YG, Yan SQ, Shi SS, *et al.* Biology of *Trialeurodes vaporariorum* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1993, 2: 14-18, 30. 黄耀阁, 鄢淑琴, 史树森, 等. 温室白粉虱的生物学研究 [J]. *吉林农业大学学报*, 1993, 2: 14-18, 30
- Jones DR. Plant viruses transmitted by whiteflies [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2003, 109 (3): 195-219.
- Kassis G, Michelakis S. The effectiveness of biological control of the glasshouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hom., Aleyrodidae) by *Encarsia formosa* Gahan (Hym., Aphelinidae) [J]. *Journal of Applied Entomology*, 1993, 116 (3): 298-302.
- Li QH, Zhang QZ, Yu ML, *et al.* Correlation between the accumulation amount of clothianidin in cucumber leaves and the control efficacy on greenhouse whitefly and the dynamics of residue dissipation [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2021, 23 (5): 938-946. 李清华, 张奇珍, 余曼丽, 等. 噻虫胺在黄瓜叶片中积累量与对温室白粉虱防治效果的相关性及残留消解动态 [J]. *农药学报*, 2021, 23 (5): 938-946
- Li XX, Yang SW, Li MJ, *et al.* Population dynamics and temporal niches of *Bemisia tabaci* and its dominant natural enemies on cucumber and tomato cultivated under greenhouse planting [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52 (2): 518-526. 李星星, 羊绍武, 李明江, 等. 设施黄瓜和番茄田间烟粉虱及其优势天敌消长动态和时间生态位分析 [J]. *南方农业学报*, 2021, 52 (2): 518-526
- Liu JX. The design and development of diagnosis and treatment expert system in tomato diseases and pests [J]. *World Tropical Agriculture Information*, 2021, 1: 44-45. 刘建勋. 番茄病虫害诊治专家系统的设计与研发 [J]. *世界热带农业信息*, 2021, 1: 44-45
- Liu J, Li JW, Lan H, *et al.* Analysis of the nutritional composition in different plant parts of yacon [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18 (4): 236-240. 刘坚, 李静威, 兰海, 等. 雪莲果不同部位的营养成分分析 [J]. *草业学报*, 2009, 18 (4): 236-240
- Longhurst C, Babcock JM, Denholm I, *et al.* Cross-resistance relationships of the sulfoximine insecticide sulfoxaflor with neonicotinoids and other insecticides in the whiteflies *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* [J]. *Pest Management Science*, 2013, 69 (7): 809-813.
- Mohammed AAAH, Desneux N, Fan Y, *et al.* Impact of imidacloprid and natural enemies on cereal aphids: Integration or ecosystem service disruption? [J]. *Entomologia Generalis*, 2018, 37 (1): 47-61.
- Nauen R, Bielza P, Denholm I, *et al.* Age-specific expression of resistance to a neonicotinoid insecticide in the whitefly *Bemisia tabaci* [J]. *Pest Management Science*, 2008, 64 (11): 1106-1110.
- Ojansivu I, Ferreira CL, Salminen S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2011, 22 (1): 40-46.
- Peng CJ, Bai TK, Ding P, *et al.* Prevention and treatment effect of biopesticide and biochemical compounded preparation on autumn tomato greenhouse whitefly [J]. *Journal of Agriculture*, 2016, 6 (5): 23-27. 彭昌家, 白体坤, 丁攀, 等. 生物农药和生化复配制剂防治设施秋番茄温室白粉虱效果研究 [J]. *农学报*, 2016, 6 (5): 23-27
- Perring TM, Cooper AD, Rodriguez RJ, *et al.* Identification of a whitefly species by genomic and behavioral studies [J]. *Science*, 1993, 259 (5091): 74-77.
- Qi X, Fu JW, You MS. Age-stage, two-sex life table and its application in population ecology and integrated pest management [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2019, 62 (2): 255-262. 齐心, 傅建伟, 尤民生. 年龄-龄期两性生命表及其在种群生态学与害虫综合治理中的应用 [J]. *昆虫学报*, 2019, 62 (2): 255-262
- Shi JP, Guo LJ, Gao JT. Principle and application of biological control of greenhouse whitefly [J]. *Agricultural Science-technology and Information*, 2019, 15: 34-35. 史晋鹏, 郭玲娟, 高俊涛. 温室白粉虱生物防治原理及应用 [J]. *农业科技与信息*, 2019, 15: 34-35
- Zeng XJ, Zhang C, He YQ, *et al.* Analysis of world tomato production based on FAO data from 1980 to 2019 [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2021, 11: 104-108. 曾晓娟, 张驰, 何艳清, 等. 基于1980-2019年FAO数据的世界番茄生产状况分析 [J]. *湖南农业科学*, 2021, 11: 104-108
- Zang LS, Liu YQ, Liu SS. A new clip-cage for whitefly experimental studies [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 3: 329-331. 臧连生, 刘银泉, 刘树生. 一种适合粉虱实验观察的新型微虫笼 [J]. *昆虫知识*, 2005, 3: 329-331
- Zhang LS, Chen HY. Advances in research and application of biological control agents in China [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30 (5): 581-586. 张礼生, 陈红印. 生物防治作物

研发与应用的进展 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30 (5): 581 – 586]

Zhang F, Luo C, Zhang JM. Parasitic preference of *Encarsia formosa* on *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* [J]. *Acta Agriculturae Boreali – Sinica*, 2007, 6: 179 – 182. [张帆, 罗晨, 张君明. 丽蚜小蜂对烟粉虱和温室粉虱的寄生选择 [J]. 华北农学报, 2007, 6: 179 – 182]

Zhang TQ, Cheng YX, Zhang L, *et al.* Population dynamics of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Crambidae) on different host plants by using age – stage two – sex life table [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (1): 101 – 107. [张同强, 程云霞, 张蕾, 等. 用年龄阶段两性种群生命表研究不同寄主上草地螟种群动态的差异 [J]. 植物保护, 2020, 46 (1): 101 – 107]

Zhao Y, Dai P, Zang LS, *et al.* Comparison of biological characteristics

of *Trialeurodes vaporariorum* on yacon and tobacco [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (6): 1299 – 1305. [赵悦, 戴鹏, 臧连生, 等. 温室白粉虱在雪莲果和烟草上的生物学特性比较 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (6): 1299 – 1305]

Zhao Y, Dai P, Zang LS, *et al.* Adaptability of *Encarsia formosa* to *Trialeurodes vaporariorum* reared on yacon and tobacco [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34 (2): 198 – 203. [赵悦, 戴鹏, 臧连生, 等. 丽蚜小蜂对雪莲果和烟草繁育温室白粉虱的适应性 [J]. 中国生物防治学报, 2018, 34 (2): 198 – 203]

Zhao Y, Zhao CL, Yang X, *et al.* Yacon as an alternative host plant for *Encarsia formosa* mass – rearing: Validating a multinomial theorem for bootstrap technique in life table research [J]. *Pest Management Science*, 2021, 77 (5): 2324 – 2336.