

繁育寄主植物对浅黄恩蚜小蜂生防潜能的影响



赵 悅 钱胤凯 章思腾 张 凯 张俊杰 王 晶*

(吉林农业大学生物防治研究所, 吉林省生物防治技术工程研究中心, 长春 130118)

摘要: 为明确以雪莲果 *Smallanthus sonchifolius* 为寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* 的生防潜能, 测定雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂个体大小以及其对烟粉虱 *Bemisia tabaci* MED 隐种和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 的致死能力, 并解析其寄生 2 种粉虱若虫后的子代发育情况。结果表明, 雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂雌雄蜂体长、头宽及后足胫节长度均显著高于番茄繁育的浅黄恩蚜小蜂。雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱和温室白粉虱的平均致死数量分别为 24.7 头和 25.0 头, 显著高于番茄繁育的 21.4 头和 21.0 头。相对于番茄, 雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂寄生烟粉虱和温室白粉虱若虫后其子代发育时间更短, 平均分别为 13.2 d 和 12.5 d; 而且子代羽化率也显著高于番茄繁育的子代羽化率, 分别为 84.1% 和 86.9%。表明与番茄相比, 雪莲果为寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱和温室白粉虱具有更强的生防潜能。

关键词: 浅黄恩蚜小蜂; 雪莲果; 烟粉虱; 温室白粉虱; 大量繁育; 生防潜能

Effects of breeding host plants on the biocontrol potential of *Encarsia sophia* against whitefly pests

Zhao Yue Qian Yinkai Zhang Siteng Zhang Kai Zhang Junjie Wang Jing*

(Jilin Engineering Research Center of Biological Control, Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin Province, China)

Abstract: To assess the biocontrol potential of parasitoid wasp *Encarsia sophia* reared on yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a host plant, the size measurements, mortality rate, offspring development time, and offspring emergence rate of *E. sophia* reared on yacon against *Bemisia tabaci* (Mediterranean populations) and *Trialeurodes vaporariorum* were evaluated. The results showed that the head width, body length, and hind tibia length of *E. sophia* females and males reared on yacon were significantly larger than those reared on tomato. Additionally, the number of *B. tabaci* and *T. vaporariorum* killed by *E. sophia* reared on yacon (24.7 and 25.0 nymphs, respectively) was significantly higher than those reared on tomato (21.4 and 21.0 nymphs). The developmental time of *E. sophia* reared on yacon and parasitizing *B. tabaci* and *T. vaporariorum* nymphs was significantly shorter (13.2 and 12.5 days, respectively) compared to those reared on tomato. Moreover, the emergence rate of *E. sophia* reared on yacon and parasitizing *B. tabaci* and *T. vaporariorum* nymphs was significantly higher (84.1% and 86.9%, respectively) than those reared on tomato. It indicated that compared to *E. sophia* reared on tomato, *E. sophia* reared on yacon exhibits significantly enhanced biocontrol potential against *B. tabaci* and *T. vaporariorum*, respectively.

Key words: *Encarsia sophia*; yacon; *Bemisia tabaci*; *Trialeurodes vaporariorum*; mass production; bio-control potential

基金项目: 吉林省自然科学基金(20230101201JC), 吉林农业大学本科生科技创新基金项目(S202310193072), 吉林省教育厅科学项目(JJKH20240460KJ)

*通信作者 (Author for correspondence), E-mail: jingwang_90@126.com

收稿日期: 2023-04-04

粉虱属半翅目粉虱科,是一类重要的经济作物害虫,可为害蔬菜、苗木及花卉等多种植物(Inbar & Gerling, 2008)。其中,烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 在农林生产中为害最严重(Schlaeger et al., 2018)。烟粉虱是1个复合隐种,隐种已超过47个(Boykin et al., 2017; Guo et al., 2022)。目前,在我国烟粉虱地中海隐种(Mediterranean cryptic species, MED)的分布范围最广,在32个省份均有发生(Tang et al., 2020; 胡明鑫等,2023)。烟粉虱和温室白粉虱主要通过直接刺吸汁液、分泌蜜露和传播病毒对植物进行为害,每年给生产上造成的经济损失高达数十亿美元(Gilbertson et al., 2015; 胡杰等,2021)。使用化学农药是防治粉虱类害虫的常用手段,但随着粉虱抗药性的不断增强,使用化学农药防治该类害虫愈发困难(Desneux et al., 2007; Pan et al., 2011; Guedes et al., 2016)。近年来,通过生物防治手段释放寄生性天敌丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 以及捕食性天敌东亚小花蝽 *Orius sauteri* 和异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 等对粉虱类害虫的防治取得了较理想的效果(窦文珺等,2020)。

浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* 是一类典型的兼性自复寄生蜂,能够防治烟粉虱、温室白粉虱以及螺旋粉虱 *Aleurodicus disperses* 等多种粉虱害虫,并且具有较好的防控效果(Xu et al., 2018; 张晓明等,2018; Kidane et al., 2020)。除寄生外,浅黄恩蚜小蜂成蜂还可通过直接取食来杀死烟粉虱若虫,数量是丽蚜小蜂取食数量的3倍,被视为是防治烟粉虱的优势寄生蜂(Zang & Liu, 2009; Liu et al., 2015; 王卓等,2018)。相对于其他寄生蜂,浅黄恩蚜小蜂的雄蜂需要通过寄生其他寄生蜂(同属或其他属寄生蜂)的幼虫或蛹(次级寄主)来进行繁育,浅黄恩蚜小蜂可寄生的次级寄主包括恩蚜小蜂属 *Encarsia* 和柒角蚜小蜂属 *Eretmocerus* 等(Hunter & Woolley, 2001)。因此,浅黄恩蚜小蜂的繁育载体主要由初级寄主、次级寄主及繁殖寄主植物构成。多数研究认为丽蚜小蜂老熟幼虫最适宜作为浅黄恩蚜小蜂的产雄次级寄主(Zang et al., 2011b; Dai et al., 2013; Zhao et al., 2022)。Dai et al.(2013)通过筛选浅黄恩蚜小蜂的繁育初级寄主发现,温室白粉虱是繁育浅黄恩蚜小蜂的优势初级寄主。而浅黄恩蚜小蜂最适繁育寄主植物相关研究鲜有报道。

目前,番茄、辣椒及棉花均为繁育浅黄恩蚜小蜂的寄主植物,但这些寄主植物由于叶片面积小、培育历期长或病害频发等问题导致繁蜂效率低下,限制

了浅黄恩蚜小蜂在生产中的应用(Liu et al., 2015; Xu et al., 2018; 张晓曼等,2023)。因此,筛选优势繁育寄主植物对提高浅黄恩蚜小蜂的繁育效率具有重要意义。雪莲果 *Smallanthus sonchifolius* (英文名 yacon)作为一种重要的经济作物,在德国、意大利、法国、中国以及日本等多个国家被广泛栽培(Dou et al., 2008)。其植株高度超过2 m,单株叶片超过20片,且单叶面积与烟草接近,叶片还富含多种营养物质,雪莲果上温室白粉虱为害严重(Douglas et al., 2007; 涂勇等,2013)。前期研究发现,雪莲果可替代烟草作为大量繁育丽蚜小蜂的理想寄主植物,而且相较于烟草,雪莲果繁育的丽蚜小蜂对温室白粉虱和烟粉虱具有更好的防控效果(赵悦等,2018a; Zhao et al., 2021; 赵悦等,2023)。为明确雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂对粉虱害虫的防控效果,本研究以雪莲果为寄主植物,温室白粉虱和烟粉虱为寄主,丽蚜小蜂为次级寄主来繁育浅黄恩蚜小蜂,测定浅黄恩蚜小蜂个体大小,并分析其寄生能力、取食能力以及寄生粉虱若虫后子代的发育情况,以期为用雪莲果繁育浅黄恩蚜小蜂来防治粉虱类害虫提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试寄主植物:番茄种子,品种瑞奇1号,2022年购自西安群星种业有限公司,番茄种子催芽后育苗,待长至4片叶时移入高度15 cm、直径16 cm的花盆中继续培育,待长出7~8片真叶时备用。雪莲果品种为云南雪莲果,种子于2022年购自云南省曲靖市陆良县农场,种子先进行催芽,然后将发芽的种球栽入高度15 cm、直径16 cm的花盆内培育,长出3对叶片时备用,平均单个叶片面积约为30 cm²。所有寄主植物均在温度20~35 °C、相对湿度40%~60%、自然光周期条件下的设施温室内7—9月培育。

供试虫源:温室白粉虱于2021年采自吉林农业大学设施温室(43°80'86.04" N, 125°41'23.80" E)番茄叶片上,利用番茄或雪莲果饲养5代以上供试。烟粉虱于2022年采自长春莲花山设施温室(43°48'53.39" N, 125°26'10.49" E)番茄叶片上,经鉴定为MED隐种(Xu et al., 2010),利用番茄连续饲养5代以上供试。丽蚜小蜂于2022年采自吉林农业大学设施温室(43°80'86.04" N, 125°41'23.80" E)番茄叶片上,利用番茄或雪莲果饲养5代以上供试。浅黄恩蚜小蜂于2022年采自广东省农业科学院辣椒

田($23^{\circ}15'11.20''$ N, $113^{\circ}35'90.90''$ E)辣椒叶片上,利用番茄或雪莲果饲养5代以上供试。以上供试虫源均在温度(25 ± 1)℃、相对湿度(60 ± 5)%、光周期14 L:10 D的人工气候室内进行繁育。

仪器:Leica M165C体式显微镜,新加坡莱卡显微镜公司;VX-2000超景深显微镜,日本基恩士公司;YCS-20型人工气候室,南京恒裕公司;DW-86L578J-80℃冰箱,海尔中德特种冰箱工厂。

1.2 方法

1.2.1 试验粉虱若虫的获得

选取供试的雪莲果植株,每个叶片叶背夹上1个直径4.0 cm、高3.5 cm的微虫笼,利用吸虫管随机吸取20对雌雄比1:1的温室白粉虱成虫吹入微虫笼内。12 h后去除成虫,并做好标记,待温室白粉虱若虫发育至3龄时,每个叶片保留60头白粉虱若虫作为繁育寄主备用。选取供试的番茄植株,参考上述方法接种温室白粉虱成虫,待其若虫发育至3龄时,每个叶片保留60头温室白粉虱若虫作为繁育寄主备用。参照Zhao et al.(2021)方法进行水培作为供试靶标害虫备用。

番茄繁育烟粉虱MED隐种若虫的方法与上述以番茄为寄主植物繁育温室白粉虱3龄若虫的方法一致,当烟粉虱发育至3龄时,将番茄叶片剪下,每个叶片保留60头烟粉虱若虫,并参照Zhao et al.(2021)方法进行水培作为供试靶标害虫备用。

1.2.2 次级寄主丽蚜小蜂的获得

繁育次级寄主丽蚜小蜂时,将直径5 cm、高4 cm的微虫笼夹在载有3龄温室白粉虱若虫的雪莲果叶背(按照原有标记),吸取20头初羽化48 h的丽蚜小蜂成虫吹入微虫笼内,寄生6 h后去除成蜂。待丽蚜小蜂幼虫发育至老熟幼虫备用。采用上述同样方法获得以番茄为寄主植物繁育的丽蚜小蜂老熟幼虫。

1.2.3 浅黄恩蚜小蜂雌雄蜂的获得

将直径5 cm、高4 cm的微虫笼再次夹在载有3龄温室白粉虱若虫的雪莲果植株叶背(按照原有温室白粉虱寄主所在标记),每个微虫笼吹入20头完成1次交配的浅黄恩蚜小蜂雌蜂,让其寄生粉虱若虫产卵。寄生12 h后去除成蜂,将被寄生的粉虱若虫在气候室内继续发育,待13 d左右雌蜂破蛹而出,获取初羽化的浅黄恩蚜小蜂雌蜂。采用上述同样方法获得以番茄作为寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂雌蜂。

将直径5 cm、高4 cm的微虫笼再次夹在载有丽蚜小蜂老熟幼虫的雪莲果植株叶背(按照原有标记),每个微虫笼吹入20头未交配的浅黄恩蚜小蜂

雌蜂,让其寄生丽蚜小蜂老熟幼虫产卵。寄生12 h后去除成蜂,将被寄生后的丽蚜小蜂老熟幼虫在气候室内继续发育,待11 d左右雄蜂破蛹而出,获取初羽化的浅黄恩蚜小蜂雄蜂。采用上述同样方法获得以番茄作为寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂雄蜂。

1.2.4 繁育寄主植物对浅黄恩蚜小蜂个体大小的影响

随机吸取雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂雌雄蜂(初羽化1 h),吹入0.5 mL离心管中,放入-80℃冰箱内冷冻15 min,将冷冻后的雌雄蜂在体式显微镜下通过解剖获得头和后足,参照Dai et al.(2013)方法在超景深显微镜下测量雌雄蜂的头宽、体长及后足胫节长度。以番茄为寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂为对照。每种寄主植物繁育的雌雄蜂分别测量30头。试验均在温度(25 ± 1)℃、相对湿度(60 ± 5)%、光周期14 L:10 D的人工气候室内进行。

1.2.5 浅黄恩蚜小蜂对粉虱生防潜能测定

将用雪莲果繁育的1头初羽化6 h且完成1次交配的浅黄恩蚜小蜂雌蜂移入装有60头烟粉虱或温室白粉虱3龄若虫的直径9 cm、高度14 cm的透明接虫杯内,待浅黄恩蚜小蜂雌蜂寄生和取食48 h后去除雌蜂,然后参照Zang et al.(2011a)方法立即统计雌蜂对粉虱若虫的取食数量,7~8 d后调查寄生的黑蛹蜂数量,同时记录所有被寄生的黑蛹中浅黄恩蚜小蜂的羽化情况。在寄生的黑蛹中随机抽取30头,每24 h观察1次浅黄恩蚜小蜂子代发育时期。以番茄为寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂为对照。每个处理20个重复。若虫致死数量=寄生若虫数量+取食若虫数量;子代羽化率=出蜂黑蛹数/黑蛹数量×100%。试验均在温度(25 ± 1)℃、相对湿度(60 ± 5)%、光周期14 L:10 D条件下进行。

1.3 数据分析

试验数据利用Office Excel 2021和DPS 13.5软件进行统计分析,所有数据进行正态检验和方差齐性检验,2种寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂个体大小数据采用Student's t测验法进行差异显著性检验。寄主植物种类与粉虱种类对浅黄恩蚜小蜂雌蜂寄生、取食、杀死粉虱若虫数量、子代发育时期以及子代羽化率的影响利用一般线性模型进行多因素方差分析,所有均值利用Tukey's HSD检验法进行差异显著性检验。利用GraphPad 8.0.2软件制图。

2 结果与分析

2.1 繁育寄主植物对浅黄恩蚜小蜂个体大小的影响

雪莲果为寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂雌蜂的

头宽、体长以及后足胫节长度均显著长于以番茄为寄主植物繁育的浅黃恩蚜小蜂雌蜂, 分别为256.8、533.5和191.4 μm。而且以雪莲果为寄主植物繁育

的浅黃恩蚜小蜂雄蜂的头宽、体长以及后足胫节长度分别为241.0、484.9和151.1 μm, 也显著高于以番茄为寄主植物繁育的浅黃恩蚜小蜂雄蜂(表1)。

表1 不同寄主植物繁育的浅黃恩蚜小蜂个体大小比较

Table 1 Comparison of size measurements between adult female and male *Encarsia sophia* reared from different host plants

性别 Sex	指标 Index	中间寄主植物 Host plant	
		雪莲果 Yacon	番茄 Tomato
雌性 Female	头宽 Head width/μm	256.8±0.6 a	249.3±0.6 b
	体长 Body length/μm	533.5±2.3 a	516.6±1.4 b
	后足胫节 Hind tibia length/μm	191.4±0.4 a	183.6±0.7 b
雄性 Male	头宽 Head width/μm	241.0±0.4 a	233.4±0.7 b
	体长 Body length/μm	484.9±1.2 a	471.8±1.3 b
	后足胫节 Hind tibia length/μm	151.1±0.5 a	143.1±0.6 b

表中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示不同寄主植物间经 Student's *t*测验法检验差异显著($P<0.01$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant differences between different host plants by Student's *t* test ($P<0.01$)。

2.2 不同寄主植物繁育的浅黃恩蚜小蜂控害能力比较

寄主植物种类与粉虱种类均能显著影响浅黃恩蚜小蜂寄生与取食粉虱若虫的数量。寄主植物种类也能显著影响浅黃恩蚜小蜂对粉虱若虫的致

死数量, 但粉虱种类对该蜂致死粉虱若虫数量无显著影响。寄主植物种类×粉虱种类对浅黃恩蚜小蜂寄生、取食及杀死粉虱若虫数量无显著影响(表2)。

表2 寄主植物种类、粉虱种类及两者交互作用对浅黃恩蚜小蜂生防潜能的影响

Table 2 Effects of host plant species, whitefly species and their interaction on the biocontrol potential of *Encarsia sophia*

因变量 Response variable	自变量 Variable	df	误差 Error	F	P
寄生数量	寄主植物种类 Host plant species	1	76	37.87	<0.01
	粉虱种类 Whitefly species	1	76	16.61	0.01
	寄主植物种类×粉虱种类	1	76	0.15	0.69
取食数量	Host plant species×whitefly species				
	寄主植物种类 Host plant species	1	76	40.88	<0.01
	粉虱种类 Whitefly species	1	76	22.33	<0.01
致死数量	寄主植物种类×粉虱种类	1	76	0.70	0.41
	Host plant species×whitefly species				
	寄主植物种类 Host plant species	1	76	68.62	<0.01
Mortality	粉虱种类 Whitefly species	1	76	0.00	1.00
	寄主植物种类×粉虱种类	1	76	0.63	0.43
	Host plant species×whitefly species				

雪莲果和番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂对烟粉虱的寄生数量分别为12.7头和10.9头, 两者间差异显著($P<0.01$)(图1-A); 雪莲果繁育的浅黃恩蚜小蜂取食数量显著高于番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂取食数量($P<0.01$)(图1-B); 雪莲果和番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂对烟粉虱的致死数量分别为24.7头和21.4头, 两者间差异显著($P<0.01$)(图1-C)。

雪莲果和番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂对温室白粉虱的寄生数量分别为14.1头和12.5头, 两者间差异显著($P<0.01$)(图1-A); 雪莲果繁育的浅黃恩蚜小蜂取食

温室白粉虱数量显著高于番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂取食数量($P<0.01$)(图1-B)。雪莲果和番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂对温室白粉虱的致死数量分别为25.0头和21.0头, 两者存在显著差异($P<0.01$)(图1-C)。

雪莲果和番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂对温室白粉虱的寄生数量均显著高于对烟粉虱的寄生数量(雪莲果: $P<0.01$, 番茄: $P=0.02$); 而对温室白粉虱的取食数量均显著低于对烟粉虱的取食数量(雪莲果: $P<0.01$; 番茄: $P<0.01$); 对2种粉虱的致死数量无显著差异(图1)。

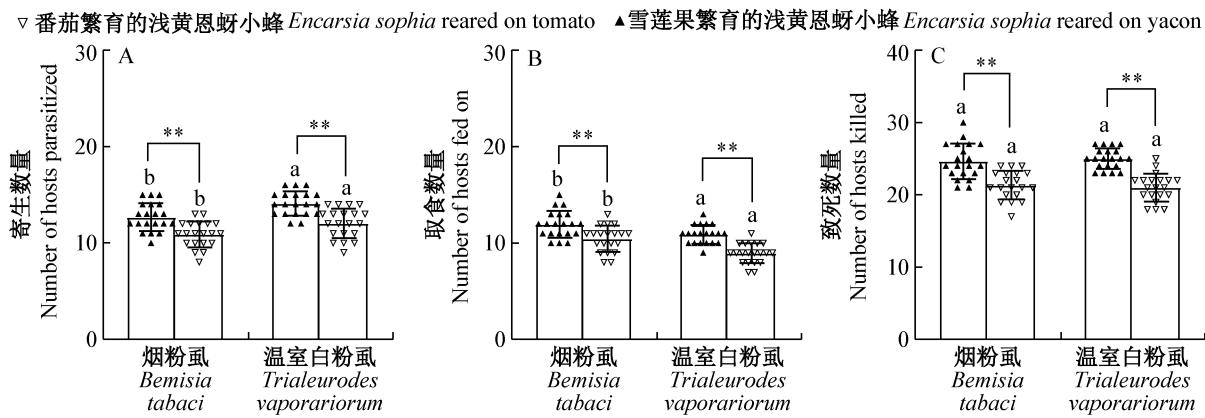


图1 雪莲果和番茄繁育的浅黄恩蚜小蜂寄生、取食及致死粉虱的数量

Fig. 1 The number of whiteflies parasitized, feed, or killed by *Encarsia sophia* reared on yacon or tomato as host plant

图中数据为平均数±标准误。不同小写字母和**分别表示同寄主植物不同粉虱种类间和同种寄主不同寄主植物间经Tukey's HSD检验法检验差异显著($P<0.01$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters or ** indicate significant difference between different whitefly species on the same host plant or between different host plants of the same whitefly species by Tukey's HSD test ($P<0.01$)。

2.3 不同寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂子代发育情况

寄主植物种类与粉虱种类均能显著影响浅黄恩蚜小蜂子代的发育历期和羽化率,但寄主植物种类

与粉虱种类互作对浅黄恩蚜小蜂子代发育历期与羽化率均无显著影响(表3)。

表3 寄主植物种类、粉虱种类及两者交互作用对浅黄恩蚜小蜂发育参数的影响

Table 3 Effects of host plant species, whitefly species and their interaction on the developmental parameters of *Encarsia sophia*

因变量 Response variable	自变量 Variable	df	误差 Error	F	P
发育时间	寄主植物种类 Host plant species	1	116	34.65	<0.01
Developmental time	粉虱种类 Whitefly species	1	116	31.35	<0.01
	寄主植物种类×粉虱种类	1	116	0.52	0.47
	Host plant species×whitefly species				
羽化率	寄主植物种类 Host plant species	1	116	29.65	<0.01
Emergence rate	粉虱种类 Whitefly species	1	116	5.05	0.03
	寄主植物种类×粉虱种类	1	116	0.78	0.38
	Host plant species×whitefly species				

雪莲果和番茄繁育的浅黄恩蚜小蜂寄生烟粉虱后其子代的发育时间为13.2 d和13.8 d,两者间差异显著($P<0.01$)(图2-A)。雪莲果和番茄繁育的浅黄恩蚜小蜂寄生烟粉虱后其子代羽化率分别为84.1%和80.0%,两者间差异显著($P=0.01$)(图2-B)。

雪莲果和番茄繁育的浅黄恩蚜小蜂寄生温室白粉虱后其子代的发育时间为12.5 d和13.3 d,两者间差异显著($P<0.01$)(图2-A)。雪莲果和番茄繁育的浅黄恩蚜小蜂寄生温室白粉虱后其子代羽化率分别为86.9%和81.3%,两者间差异显著($P<0.01$)(图2-B)。

雪莲果和番茄繁育的浅黄恩蚜小蜂寄生温室白粉虱后其子代发育时间均显著短于寄生烟粉虱后的

子代发育时间(雪莲果: $P<0.01$;番茄: $P<0.01$)(图2-A)。番茄繁育的浅黄恩蚜小蜂寄生温室白粉虱和烟粉虱后的子代羽化率无显著差异,但雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂寄生温室白粉虱后其子代羽化率显著高于寄生烟粉虱后的子代羽化率(雪莲果: $P=0.01$)。

3 讨论

多数研究认为寄生蜂的个体大小会受到繁育寄主的影响(段敏等,2016; Asim et al., 2021)。Dai et al.(2013)研究发现,利用温室白粉虱作为初级寄主繁育的浅黄恩蚜小蜂个体大小显著大于烟粉虱繁育的浅黄恩蚜小蜂。而目前关于寄主植物对浅黄恩蚜小蜂个体大小的影响研究报道较少,本研究发现以

雪莲果为寄主植物繁育的浅黃恩蚜小蜂雌雄蜂的头宽、体长及后足胫节长度均显著大于以番茄为寄主植物繁育的浅黃恩蚜小蜂。可能是由于雪莲果繁育

的温室白粉虱若虫个体更大,进而为浅黃恩蚜小蜂繁育提供了更多营养物质所致(赵悦等,2018b)。

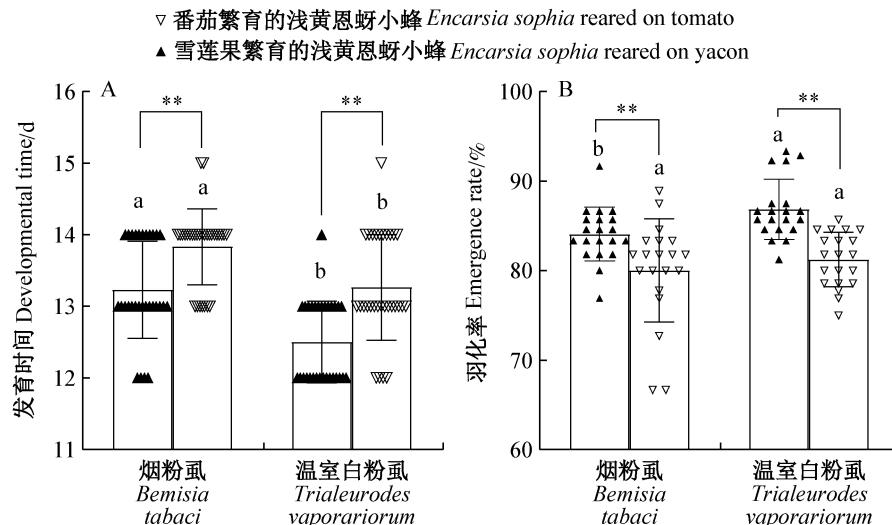


图2 浅黃恩蚜小蜂寄生粉虱若虫后其子代发育历期和羽化率

Fig. 2 The developmental time and emergence rate of *Encarsia sophia* reared on whitefly nymphs

图中数据为平均数±标准误。不同小写字母和**分别表示同寄主植物不同粉虱种类间和同种寄主不同寄主植物间经Tukey's HSD检验法检验差异显著($P<0.01$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters or ** indicate significant difference between different whitefly species on the same host plant or between different host plants of the same whitefly species by Tukey's HSD test ($P<0.01$)。

繁育寄主植物与繁育寄主均会影响粉虱寄生蜂对寄主的寄生能力(Zang et al., 2011a; Liu et al., 2015)。Dai et al.(2013)研究表明以温室白粉虱为初级寄主和丽蚜小蜂老熟幼虫作为次级寄主繁育的浅黃恩蚜小蜂具有更高的寄生能力。Zhao et al. (2021)研究发现雪莲果为寄主植物繁育的丽蚜小蜂寄生温室白粉虱和烟粉虱MED隐种若虫数量要显著高于烟草繁育的丽蚜小蜂。本研究以温室白粉虱为初级寄主、丽蚜小蜂为次级寄主也有类似发现,即雪莲果繁育的浅黃恩蚜小蜂对温室白粉虱和烟粉虱MED隐种的寄生数量要显著高于番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂。这可能是由于雪莲果繁育的浅黃恩蚜小蜂雌雄蜂个体更大,发育过程中获得了更多的营养物质,所载总卵子数和成熟卵更多(Dai et al., 2013; Zhao et al., 2021)。Dai et al.(2013)研究还发现浅黃恩蚜小蜂对温室白粉虱的寄生数量要显著高于烟粉虱,这与本研究中雪莲果和番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂寄生温室白粉虱数量均显著高于寄生烟粉虱数量的结论一致。

不同于其他寄生蜂,浅黃恩蚜小蜂还可以通过取食寄主对粉虱类害虫实现有效控制(Zang & Liu, 2009; Yang et al., 2014; 张超然等,2016)。本研究也

发现浅黃恩蚜小蜂通过取食杀死2种粉虱害虫的数量与寄生数量相当;同时,相对于番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂,雪莲果繁育的浅黃恩蚜小蜂对2种粉虱害虫的取食数量更高。取食数量存在差异的主要原因可能是雪莲果繁育的浅黃恩蚜小蜂寄生数量更多,寄生蜂个体更大,进而需要取食更多的粉虱害虫来维持寄生和生命活动所需的营养。Zhao et al. (2021)研究也发现雪莲果繁育的丽蚜小蜂对粉虱若虫的取食数量显著高于对照组。本研究结果显示,2种寄主植物繁育的浅黃恩蚜小蜂对烟粉虱的取食数量均显著高于对温室白粉虱的取食数量,这与Dai et al.(2013)发现浅黃恩蚜小蜂对烟粉虱的取食数量显著高于对温室白粉虱的取食数量的研究结果一致。寄生蜂寄生和取食粉虱若虫均会造成其死亡,通过比较若虫致死数量可以更加直观准确地评价粉虱寄生蜂(Inbar & Gerling, 2008; Xu et al., 2018; Zhao et al., 2022)。Zhao et al.(2021)研究认为寄主植物会显著影响粉虱寄生蜂对粉虱害虫的致死能力。本研究发现雪莲果繁育的浅黃恩蚜小蜂对温室白粉虱和烟粉虱MED隐种的致死能力显著高于番茄繁育的浅黃恩蚜小蜂。而粉虱害虫种类对2种寄主植物繁育的浅黃恩蚜小蜂致死若虫数量均无显著

差异,这可能是由于2种寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱的寄生数量低于对温室白粉虱的寄生数量,而对烟粉虱的取食数量高于对温室白粉虱的取食数量所致。综合比较发现,利用雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂对2种重要粉虱害虫的寄生、取食以及致死能力均显著高于番茄繁育的浅黄恩蚜小蜂。

较短的发育时间有利于粉虱寄生蜂在有限时间内实现最大的种群数量增长,进而提升对粉虱害虫的生防效果(Xu et al., 2018)。Zhao et al.(2021)认为雪莲果繁育丽蚜小蜂会显著缩短其子代发育时间,释放子代发育历期更短的丽蚜小蜂可以在短期内获得更多的寄生蜂数量,进而杀死更多的粉虱害虫。本研究也发现雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂子代发育历期更短,这有利于雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂在田间短时间内杀死更多的粉虱害虫,进而对粉虱害虫实现有效控制。此外,本研究发现粉虱种类也可以显著影响浅黄恩蚜小蜂的发育时间。这可能是由于温室白粉虱个体比烟粉虱更大,提供的营养物质更充足所致。本研究结果表明寄主植物能够显著影响浅黄恩蚜小蜂羽化率,且雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂的羽化率更高。而本课题组前期研究发现繁育寄主植物对丽蚜小蜂的子代羽化率无显著影响,这一差异可能与寄生蜂种类有关(Zhao et al., 2021;赵悦等,2023)。

综上,雪莲果繁育的浅黄恩蚜小蜂对2种粉虱害虫的控害能力要显著高于番茄繁育的浅黄恩蚜小蜂。这为今后利用雪莲果为寄主植物繁育的浅黄恩蚜小蜂防治粉虱类害虫提供了理论依据,也为进一步提升自复寄生蜂控害能力提供了新思路。

参 考 文 献 (References)

- Asim I, Chen YM, Hou YY, Ruan CC, Desneux N, Muhammad QK, Zang LS. 2021. Rearing *Trichogramma ostriniae* on the factitious host *Antheraea pernyi* via multiparasitism with *Trichogramma chilonis* facilitates enhanced biocontrol potential against *Ostrinia furnacalis*. *Biological Control*, 156: 104567
- Boykin LM, Savill A, De Barro P. 2017. Updated mtCOI reference dataset for the *Bemisia tabaci* species complex. F1000Research, 6: 1835
- Dai P, Liu LZ, Ruan CC, Zang LS, Wan FH. 2013. Effect of the primary host for production of both sexes on the mating interaction in an autoparasitoid species. *BioControl*, 58(3): 331-339
- Desneux N, Decourtey A, Delpuech JM. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52: 81-106
- Dou DQ, Tian F, Qiu YK, Kang TG, Dong F. 2008. Structure elucidation and complete NMR spectral assignments of four new diterpenoids from *Smallanthus sonchifolius*. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 46(8): 775-779
- Dou WJ, Yang SW, Liu Q, Chen GH, Zhang XM. 2020. Progress in the control of predatory and parasitic natural enemies of *Bemisia tabaci* in China. *Journal of Environment Entomology*, 42(2): 342-354 (in Chinese) [窦文珺, 羊绍武, 柳青, 陈国华, 张晓明. 2020. 我国烟粉虱主要捕食和寄生性天敌控制能力研究进展. *环境昆虫学报*, 42(2): 342-354]
- Douglas JA, Follett JM, Douglas MH, Deo B, Scheffer JJC, Littler RA, Manley-Harris M. 2007. Effect of environment and time of planting on the production and quality of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) storage roots. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 35(1): 107-116
- Duan M, Yang NW, Wan FH. 2016. Influence of high developmental temperatures on body size and egg load of female adults of *Eretmocerus hayati* (Zolnerowich & Rose) and *Encarsia sophia* (Girault & Dodd). *Chinese Journal of Biological Control*, 32(1): 13-18 (in Chinese) [段敏, 杨念婉, 万方浩. 2016. 发育高温对烟粉虱寄生蜂雌蜂个体大小及抱卵量的影响. *中国生物防治学报*, 32(1): 13-18]
- Gilbertson RL, Batuman O, Webster CG, Adkins S. 2015. Role of the insect supervectors *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the emergence and global spread of plant viruses. *Annual Review of Virology*, 2: 67-93
- Guedes RNC, Smagghe G, Stark JD, Desneux N. 2016. Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annual Review of Entomology*, 61: 43-62
- Guo CL, Jeong IH, Chu D, Zhu YZ. 2022. First report of the invasion of Q2 subclade of *Bemisia tabaci* MED in South Korea as revealed by extensive field investigation. *Phytoparasitica*, 50(1): 91-100
- Hu J, Lu JT, Fu PY, Peng Y, Jiao XG, Zhang YJ. 2021. Differences in the transcriptomes of *Brassica oleracea* leaves infested by MEAM1 and MED cryptic species of tobacco whitefly *Bemisia tabaci*. *Journal of Plant Protection*, 48(6): 1380-1386 (in Chinese) [胡杰, 卢靖天, 付培艺, 彭宇, 焦晓国, 张友军. 2021. MEAM1 和 MED 两个烟粉虱隐种取食对甘蓝转录组影响的差异. *植物保护学报*, 48(6): 1380-1386]
- Hu MX, Yang ZZ, Li Y, Zhang N, Wang F, Bai YC, Jiao XG, Zhang LX, Liu BM. 2023. Cryptic *Bemisia tabaci* species harboring tomato yellow leaf curl virus and endosymbionts and insecticide resistance monitoring in Tianjin. *Journal of Plant Protection*, 50(1): 101-110 (in Chinese) [胡明鑫, 杨泽众, 李妍, 张楠, 王芳, 白义川, 焦晓国, 张李香, 刘佰明. 2023. 天津市烟粉虱隐种鉴定及其携带TYLCV、内共生菌情况和抗药性监测. *植物保护学报*, 50(1): 101-110]
- Hunter MS, Woolley JB. 2001. Evolution and behavioral ecology of heteronomous aphelinid parasitoids. *Annual Review of Entomology*, 46: 251-290
- Inbar M, Gerling D. 2008. Plant-mediated interactions between whiteflies, herbivores, and natural enemies. *Annual Review of Entomology*,

- ogy, 53: 431–448
- Kidane D, Ferrante M, Man XM, Liu WX, Wan FH, Yang NW. 2020. Cold storage effects on fitness of the whitefly parasitoids *Encarsia sophia* and *Eretmocerus hayati*. *Insects*, 11(7): 428
- Liu TX, Stansly PA, Gerling D. 2015. Whitefly parasitoids: distribution, life history, bionomics, and utilization. *Annual Review of Entomology*, 60: 273–292
- Pan HP, Chu D, Ge DQ, Wang SL, Wu QJ, Xie W, Jiao XG, Liu BM, Yang X, Yang NN, et al. 2011. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China. *Journal of Economic Entomology*, 104(3): 978–985
- Schlaeger S, Pickett JA, Birkett MA. 2018. Prospects for management of whitefly using plant semiochemicals, compared with related pests. *Pest Management Science*, 74(11): 2405–2411
- Tang XT, Cai L, Shen Y, Xu LL, Du YZ. 2020. Competitive displacement between *Bemisia tabaci* MEAM1 and MED and evidence for multiple invasions of MED. *Insects*, 11(1): 35
- Tu Y, Yao X, Li L, Ye Q, Ren JP, Xiao N, Cao D, Li J, Liu J. 2013. The survey of main pests on *Smallanthus sanchifalius* in Xichang. *Chinese Horticulture Abstracts*, 29(10): 54, 73 (in Chinese) [涂勇, 姚昕, 李林, 叶青, 任江平, 肖娜, 曹丹, 李江, 刘佳. 2013. 四川西昌地区雪莲果主要害虫种类调查. 中国园艺文摘, 29(10): 54, 73]
- Wang Z, Liu LZ, Zang LS, Dai P, Liu XJ, Ruan CC. 2018. Effects of moderate food deprivation on parasitism and host feeding of parasitoid *Encarsia sophia* on whiteflies *Bemisia tabaci* Q and *Trialeurodes vaporariorum*. *Journal of Plant Protection*, 45(4): 745–750 (in Chinese) [王卓, 刘林州, 臧连生, 戴鹏, 刘显娇, 阮长春. 2018. 适度饥饿浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱和温室白粉虱的寄生和取食选择. 植物保护学报, 45(4): 745–750]
- Xu HY, Yang NW, Chi H, Ren GD, Wan FH. 2018. Comparison of demographic fitness and biocontrol effectiveness of two parasitoids, *Encarsia sophia* and *Eretmocerus hayati* (Hymenoptera: Aphelinidae), against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science*, 74(9): 2116–2124
- Xu J, De Barro PJ, Liu SS. 2010. Reproductive incompatibility among genetic groups of *Bemisia tabaci* supports the proposition that the whitefly is a cryptic species complex. *Bulletin of Entomological Research*, 100(3): 359–366
- Yang NW, Zang LS, Wang S, Guo JY, Xu HX, Zhang F, Wan FH. 2014. Biological pest management by predators and parasitoids in the greenhouse vegetables in China. *Biological Control*, 68: 92–102
- Zang LS, Liu TX. 2009. Food-deprived host-feeding parasitoids kill more pest insects. *Biocontrol Science and Technology*, 19(6): 573–583
- Zang LS, Liu TX, Wan FH. 2011a. Reevaluation of the value of auto-parasitoids in biological control. *PLoS ONE*, 6(5): e20324
- Zang LS, Liu TX, Zhang F, Shi SS, Wan FH. 2011b. Mating and host density affect host feeding and parasitism in two species of whitefly parasitoids. *Insect Science*, 18(1): 78–83
- Zhang CR, Lü B, Wang Z, Zang LS, Ruan CC. 2016. Analyses of parasitism potential of parasitoid wasps *Encarsia sophia* and *Encarsia formosa* on the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum*. *Journal of Plant Protection*, 43(1): 129–134 (in Chinese) [张超然, 吕兵, 王卓, 臧连生, 阮长春. 2016. 浅黄恩蚜小蜂和丽蚜小蜂对温室白粉虱的寄生潜能分析. 植物保护学报, 43(1): 129–134]
- Zhang XM, Xu HY, Yang NW, Wan FH. 2018. Field cage evaluation of the biocontrol effect of two aphelinid parasitoids on *Bemisia tabaci* Mediterranean (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Plant Protection*, 45(6): 1281–1288 (in Chinese) [张晓明, 徐海云, 杨念婉, 万方浩. 2018. 两种蚜小蜂对烟粉虱MED隐种的田间笼罩控效评价. 植物保护学报, 45(6): 1281–1288]
- Zhang XM, Yang LW, Wang S, Zhang F. 2023. Zhang F. Embryo and ontogeny of female and male *Encarsia sophia*. *Journal of Hebei Normal University (Natural Science)*, 47(3): 294–300 (in Chinese) [张晓曼, 杨丽文, 王甦, 张帆. 2023. 浅黄恩蚜小蜂雌雄蜂胚胎及个体发育. 河北师范大学学报(自然科学版), 47(3): 294–300]
- Zhao Y, Dai P, Zang LS, Ruan CC. 2018a. Adaptability of *Encarsia formosa* parasitizing *Trialeurodes vaporariorum* reared on yacon and tobacco. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(2): 198–203 (in Chinese) [赵悦, 戴鹏, 臧连生, 阮长春. 2018a. 丽蚜小蜂对雪莲果和烟草繁育温室白粉虱的适应性. 中国生物防治学报, 34(2): 198–203]
- Zhao Y, Dai P, Zang LS, Zhang JJ, Ruan CC. 2018b. Comparison of biological characteristics of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) on yacon and tobacco. *Journal of Environmental Entomology*, 40(6): 1299–1305 (in Chinese) [赵悦, 戴鹏, 臧连生, 张俊杰, 阮长春. 2018b. 温室白粉虱在雪莲果和烟草上的生物学特性比较. 环境昆虫学报, 40(6): 1299–1305]
- Zhao Y, Zang LS, Dong ZQ, Zhang JJ, Wang J, Liu GQ. 2023. Biocontrol potential of *Encarsia formosa* Gahan reproduced by yacon as an alternative host plant to against *Bemisia tabaci* MED. *Journal of Environmental Entomology*, 2023, 45 (3): 740–747 (in Chinese) [赵悦, 臧连生, 董泽祺, 张俊杰, 王晶, 柳冠群. 2023. 雪莲果为替代寄主植物繁育的丽蚜小蜂对MED烟粉虱生防潜能. 环境昆虫学报, 45(3): 740–747]
- Zhao Y, Zhao CL, Yang XB, Chi H, Dai P, Desneux N, Benelli G, Zang LS. 2021. Yacon as an alternative host plant for *Encarsia formosa* mass-rearing: validating a multinomial theorem for bootstrap technique in life table research. *Pest Management Science*, 77(5): 2324–2336
- Zhao Y, Zhu L, Ramirez-Romero R, Dai P, Yang XB, Ruan CC, Desneux N, Zang LS. 2022. Mating status of an autoparasitoid and sex of the secondary host impact the outcome of heteronomous hyperparasitism. *Entomologia Generalis*, 42(1): 87–99

(责任编辑:王璇)