

不同食物对烟粉虱三种寄生蜂取食寄生等行为的影响*

党芳** 何瞻 郭长飞 许炜明 任顺祥 邱宝利***

(华南农业大学昆虫学系, 生物防治教育部工程研究中心, 广州 510642)

摘要 【目的】就不同食物对烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 寄生蜂取食、寄生等行为的影响进行分析, 以阐明食物或营养来源对蚜小蜂取食、寄生等生物学行为的影响机制。【方法】以古桥桨角蚜小蜂 *Eretmocerus furuhashii*、丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 和双斑恩蚜小蜂 *Encarsia bimaculata* 为研究对象, 分别以蜂蜜水、2~3 龄烟粉虱若虫及清水进行饲喂, 观察和研究分析 3 种食物来源对 3 种蚜小蜂取食与寄生等行为的影响。【结果】3 种蚜小蜂均以取食 15% 蜂蜜水的蚜小蜂的取食、搜索与寄生等行为频次最高、分配时间最长, 而取食清水的蚜小蜂取食、搜索与寄生等行为频次最低、分配时间最短; 取食不同食物后, 3 种蚜小蜂各种行为的变化趋势一致。【结论】不同食物或营养来源对蚜小蜂的取食及寄生等行为有着显著的影响, 进而可以影响到蚜小蜂对烟粉虱的生物防治效率。

关键词 蚜小蜂, 烟粉虱, 补充营养, 行为, 频次, 时间分配

Effects of different foods on the feeding and parasitic behavior of three parasitoids of the whitefly *Bemisia tabaci*

DANG Fang** HE Zhan GUO Chang-Fei XU Wei-Ming REN Shun-Xiang QIU Bao-Li***

(Department of Entomology, South China Agricultural University, Engineering Research Center of Biological Control, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China)

Abstract 【Objectives】To determine the effects of different foods on the feeding, parasitic and other behaviors of parasitoids of the whitefly *Bemisia tabaci*. 【Methods】Different foods, including 15% honey solution, 2-3 instar *B. tabaci* nymphs, and natural water, were provided to three common species of whitefly parasitoids *Eretmocerus furuhashii*, *Encarsia formosa* and *Encarsia bimaculata* and the effects of these different foods on the feeding, parasitic and other behaviors of the three parasitoids was observed and investigated. 【Results】Food had an obvious effect on parasitoid behavior. The highest frequencies of feeding, searching and parasitic behavior, and the longest periods of time spent engaged in these behaviors, were recorded in the parasitoids fed on honey solution. Those wasps fed on water exhibited the lowest frequencies and spent the shortest time engaged in these behaviors. Overall trends in these behaviors did not change among the different parasitoid species. 【Conclusion】Different foods have significant effects on the feeding, parasitic, and other behaviors, of aphelinid parasitoids, and these effects may also affect their effectiveness as biological control for *B. tabaci*.

Key words aphelinid parasitoid, *Bemisia tabaci*, nutrition supplement, behavior, frequency, time assignment

* 资助项目 Supported projects: 公益性行业(农业)科研专项(201303019); 国家自然科学基金项目(31071732); 番禺区科技计划项目(2010-专-12-5)

** 第一作者 First author, E-mail: dangfanga@126.com

*** 通讯作者 Corresponding author, E-mail: baileyqiu@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-01-09, 接受日期 Accepted: 2015-01-19

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 属于半翅目 Hemiptera 粉虱科 Aleyrodidae, 是一种世界性分布的农业重大害虫。近 20 年来, 由于烟粉虱 B 型 (也称 MEAM1 隐种) 和 Q 型 (也称为 Mediterranean 隐种) 的入侵扩散, 该害虫在我国南方和北方先后暴发成灾 (罗晨等, 2002; 褚栋等, 2005; 任顺祥等, 2011)。化学药剂喷杀一直是烟粉虱的主要防控措施, 但随着人们对农药残留、农产品安全、环境安全等一系列社会问题的关注, 寻求替代化学药剂的绿色环保型新技术与新方法成为烟粉虱防治的重要研究内容, 生物防治技术因此也上升成为烟粉虱可持续治理的核心技术之一。

烟粉虱天敌资源非常丰富, 已经记录到的有 115 种寄生性天敌、191 种捕食性天敌以及 7 种病原真菌 (Gerling *et al.*, 2001; Arnó *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2011; 王继红, 2011)。在广东, 古桥桨角蚜小蜂 *Eretmocerus furuhashii*、丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 和双斑恩蚜小蜂 *Encarsia bimaculata* 为烟粉虱的重要寄生蜂种类 (邱宝利等, 2004), 它们均属于卵育型 (Synovigenic) 寄生蜂, 即雌蜂体内的卵仅有部分在羽化时达到成熟, 大部分需要在羽化后才陆续发育成熟, 因此雌蜂在成虫期需要不断取食补充营养, 才能进行正常的产卵寄生 (Jervis and Kidd, 1986) 寄生蜂对寄主昆虫的控制作用主要体现在取食致死和寄生致死两方面, 而食料的不同以及寄生蜂的营养状况往往对寄生蜂的取食、寄生等行为以及其它生物生态学特性具有较大的影响 (Jervis and Ferns, 2004; Casas *et al.*, 2005; 宋南等, 2006; Jervis *et al.*, 2007; 史树森等, 2009; 王伟等, 2012), 因此有关取食或营养来源对寄生蜂发育及行为影响的研究近年来也成为了昆虫学和生物防治领域的研究热点 (宋南等, 2006; 尚禹, 2014)。然而, 对烟粉虱-蚜小蜂研究系统来讲, 对蚜小蜂在不同的食物或营养来源条件下的生态学特性, 尤其是关于不同食物或营养来源对寄生蜂取食、寄生等行为的影响等方面的研究报道较为少见。在此本文以烟粉虱的 3 种重要寄生蜂——古桥桨角蚜小蜂、丽蚜小蜂和双斑恩蚜小蜂为研究对象, 就不同食物对 3 种寄生蜂取

食、寄生等行为的影响进行了较为深入的研究, 以期阐明食物或营养来源对蚜小蜂取食、寄生等行为的影响, 为利用寄生蜂开展烟粉虱的生物防治提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试虫源 烟粉虱 *Bemisia tabaci*、古桥桨角蚜小蜂 *Eretmocerus furuhashii*、丽蚜小蜂 *Encarsia formosa*、双斑恩蚜小蜂 *Encarsia bimaculata* 均采集于生物防治教育部工程研究中心实验网室中。实验前, 采集内含蚜小蜂蛹的烟粉虱若虫或伪蛹 (连同叶片一起) 置于培养皿中, 待其羽化后供试验使用。

1.1.2 供试植物 供试植物豇豆 *Vigna unguiculata*, 种子购买于广东省农科院蔬菜研究所。钵栽 (高 12 cm, 直径 8 cm) 放置于防虫网中, 做好病虫害防治和肥水管理工作, 待苗长至 6~8 叶时供试验使用。

1.1.3 器材与工具 实验所用器材工具包括微型昆虫行为观察皿 (长 1.5 cm, 直径 3.5 cm)、昆虫针、昆虫体式镜 (Motic K-400L)、显微镜 (BX51 Olympus)、接虫袋 (长 5.5 cm, 宽 3 cm)、微型接虫笼 (长 3 cm, 直径 3.5 cm)、小型指型管 (长 3 cm, 直径 0.5 cm)、电子天平及吸水纸等。

1.2 试验方法

1.2.1 试验条件 试验温度为 $(26 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 相对湿度为 (RH) 60%~80%, L:D=14:10, 光照强度为 3 000 lx 左右。

1.2.2 不同食物对蚜小蜂取食与寄生等行为的影响 分别收集处于产卵高峰期的古桥桨角蚜小蜂、双斑恩蚜小蜂、丽蚜小蜂单头雌性蜂置于指型管中, 将每种蚜小蜂随机分为 3 组, 每组 10 头, 分别提供蜂蜜水、烟粉虱 2~3 龄若虫及清水供其取食, 具体方法为如下。

蜂蜜饲喂组: 用 15% 的蜂蜜水浸湿吸水纸, 再将其晾干至潮湿, 剪成小条 (长 0.6 cm 宽 0.4 cm) 后放入带有单头雌蜂的指型管中进行饲喂, 每次持续 1 h。

烟粉虱若虫取食组: 选取带有 15~20 头 2~3

龄烟粉虱若虫的叶片,放入置有单头雌蜂的指型管中供蚜小蜂取食,每次处理 1 h。

清水饲喂组:用清水饲喂蚜小蜂,方法同蜂蜜饲喂组。

经过不同取食处理的 3 组烟粉虱蚜小蜂,分别单头放入带有 60 头烟粉虱 3 龄若虫叶片的培养皿中,在体式镜下分别观察它们 1 h 内搜索、取食、产卵及休息整理的过程,记录各种行为的发生次数和时间。实验重复 3 次。

1.2.3 数据分析 试验数据初步使用 Excel 软件进行初期统计分析,后期采用专业数据统计软件 SAS(9.0, SAS Institute)进行多重比较分析,计算相应显著水平。

2 结果与分析

2.1 不同食物对 3 种蚜小蜂取食与寄生等行为频次的影响

蜂蜜水、烟粉虱若虫与清水 3 种食物对古桥桨角蚜小蜂、丽蚜小蜂和双斑恩蚜小蜂取食与寄生等行为发生频次的影响见图 1~图 3。由图

1~图 3 可知,不同食物对 3 种寄生蜂的取食与寄生频次的影响大体上一致。

首先,就静止行为而言,古桥桨角蚜小蜂、丽蚜小蜂和双斑恩蚜小蜂在 1 h 内静止次数最多的均发生在取食清水处理组,最少的为取食蜂蜜组,其中古桥桨角蚜小蜂与丽蚜小蜂以 3 种食物为营养来源时,其静止的频次的差异达到显著水平。其次,就搜寻行为的频次而言,3 种寄生蜂搜寻最活跃、频次最高的个体均来自取食蜂蜜处理组,频次最少的是在取食清水组,其中饲喂蜂蜜水后 3 种蚜小蜂的搜寻行为均显著高于取食烟粉虱若虫与清水的处理组。第三,研究发现以蜂蜜水、烟粉虱若虫与清水为食物来源对 3 种蚜小蜂在取食与产卵行为的影响非常一致,3 种寄生蜂的取食与产卵频次均在蜂蜜组最高、取食寄主若虫处理组次之,取食清水饲最低,并且两种行为的发生频次在不同处理之间的差异均达到了显著水平。第四,在蚜小蜂清理行为方面,3 种寄生蜂的清理频次在 3 种食物处理组之间无显著差异。

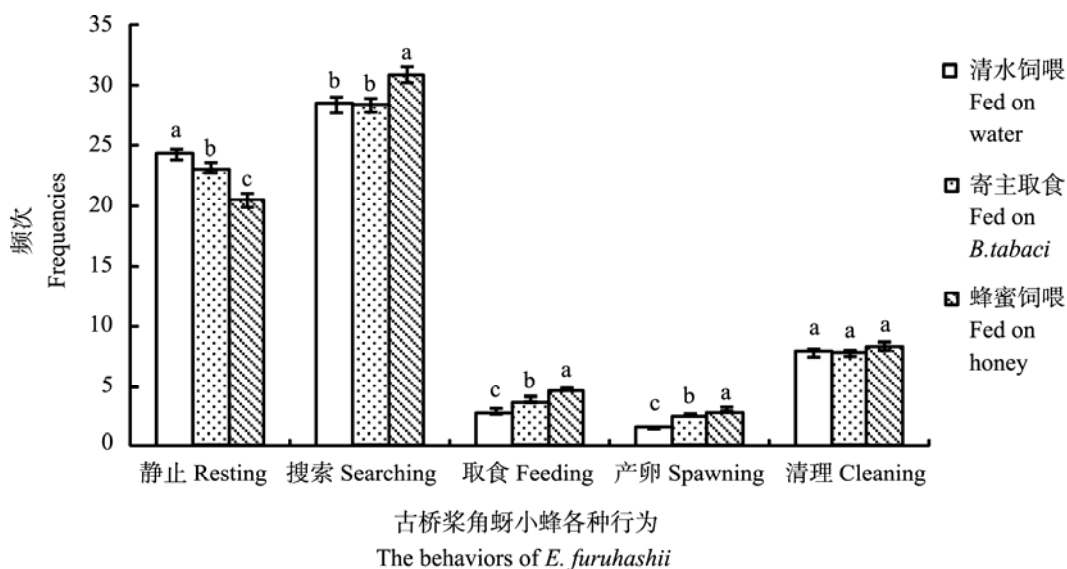


图 1 不同食物对古桥桨角蚜小蜂取食和寄生等行为频次的影响

Fig. 1 Food effects on the frequencies of feeding and parasitizing behaviors of *Eretmocerus furuhashii*

图中柱形图上面的字母为Duncan's多重比较检验结果,凡同一行为柱形图上具有相同字母者表示在0.05水平上差异不显著。下图同。

Same letters above the bars of the same behavior indicate no significance different at 0.05 level with Duncan's multiple range test. The same below.

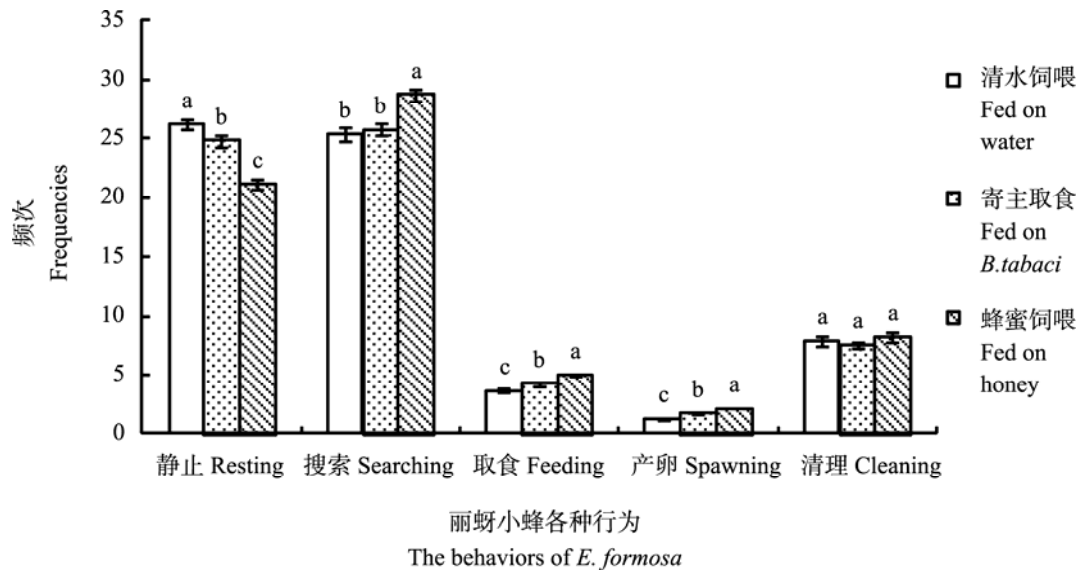


图2 不同食物对丽蚜小蜂取食和寄生等行为频次的影响

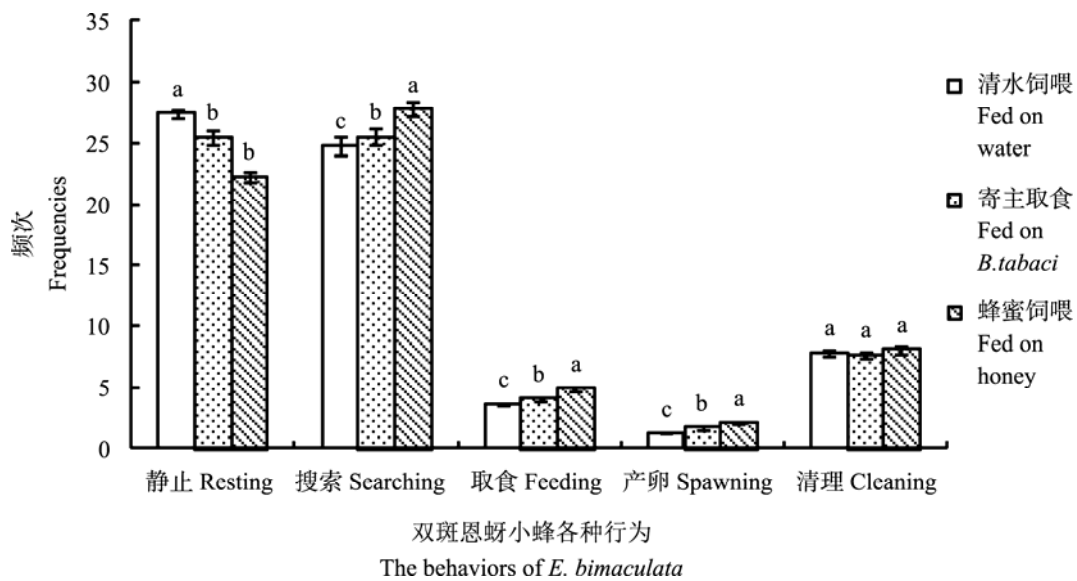
Fig. 2 Food effects on the frequencies of feeding and parasitizing behaviors of *Encarsia formosa*

图3 不同食物对双斑恩蚜小蜂取食和寄生等行为频次的影响

Fig. 3 Food effects on the frequencies of feeding and parasitizing behaviors of *Encarsia bimaculata*

2.2 不同食物对3种蚜小蜂取食与寄生等行为时间分配的影响

不同食物对古桥桢角蚜小蜂、丽蚜小蜂和双斑恩蚜小蜂取食与寄生等行为过程中时间分配的影响分别见图4~图6。由图4~图6可知,与对取食与寄生等行为频次的影响相似,不同食物对3种寄生蜂1h内取食、寄生过程中时间分配

的影响也是趋势一致。

首先,就寄生蜂的静止休息时间而言,取食不同食物的古桥桢角蚜小蜂、丽蚜小蜂和双斑恩蚜小蜂3个处理中以清水处理组3种蚜小蜂用于静止休息的时间最多,蜂蜜水处理组休息的时间最少,而且取食不同食物处理中3种蚜小蜂的休息时间均为古桥桢角蚜小蜂<丽蚜

小蜂<双斑恩蚜小蜂。其次, 就用在搜寻食物或寄主的时间而言, 寄生蜂分配时间最多的是来自取食蜂蜜水处理组, 显著长于分配时间最少的清水饲喂组; 但古桥桢角蚜小蜂与丽蚜小蜂在取食清水饲和寄主若虫处理组的时间分配差异不显著。第三, 在取食和产卵时间分配

方面, 趋势非常一致, 即 3 种蚜小蜂用在取食和产卵上的时间均为取食蜂蜜水处理组>取食烟粉虱若虫处理组>取食清水处理组, 且差异达到显著水平。第四, 在清理行为上, 3 种寄生蜂取食 3 种食物后的清理时间分配方面差异不显著。

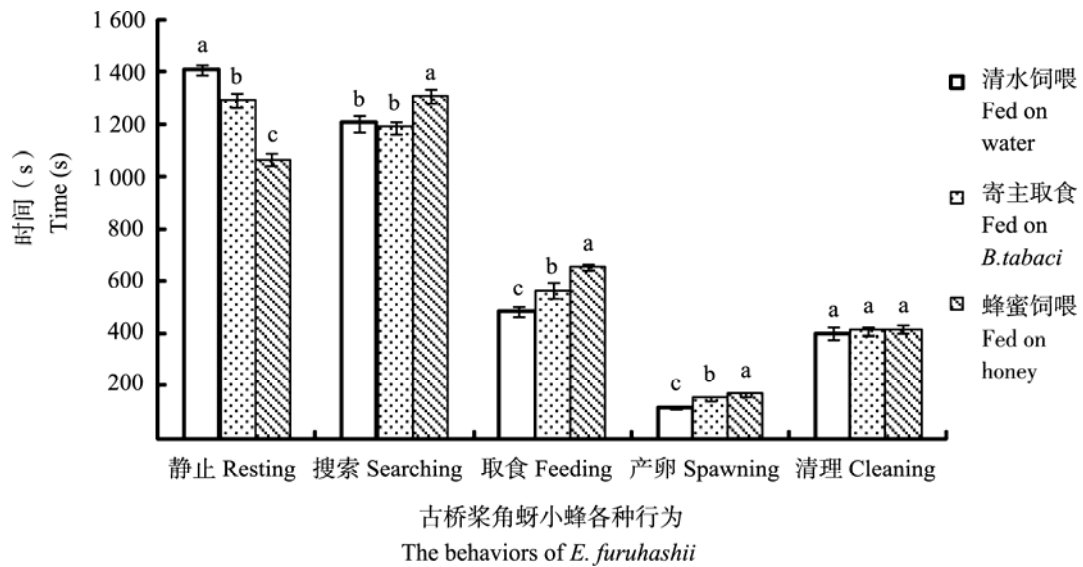


图 4 取食不同食物对古桥桢角蚜小蜂取食与寄生等行为时间分配的影响

Fig. 4 Food effects on the time assignment in different behaviors of *Eretmocerus furuhashii*

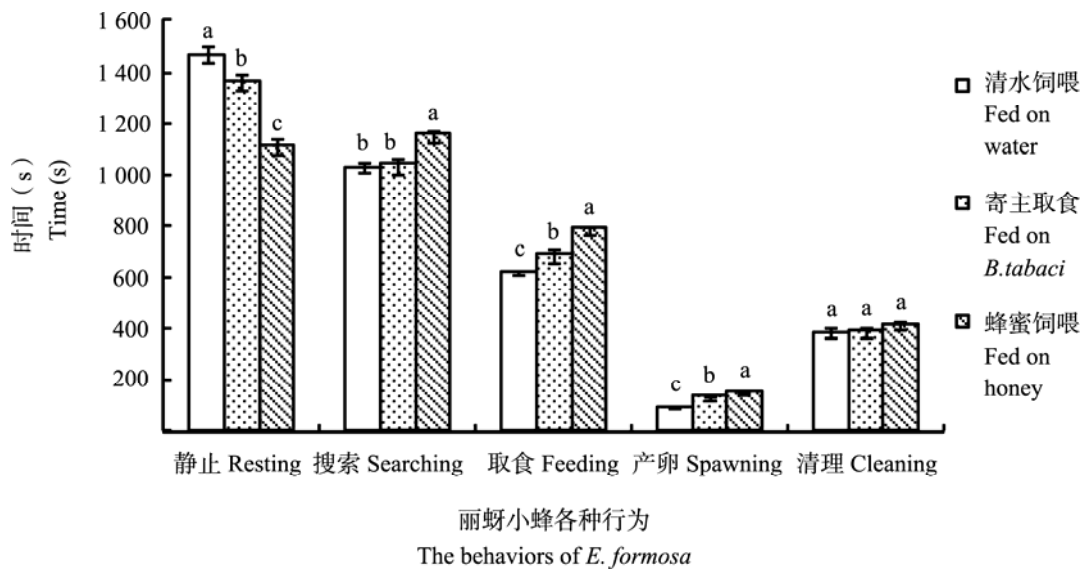


图 5 取食不同食物对丽蚜小蜂取食与寄生等行为时间分配的影响

Fig. 5 Food effects on the time assignment in different behaviors of *Encarsia formosa*

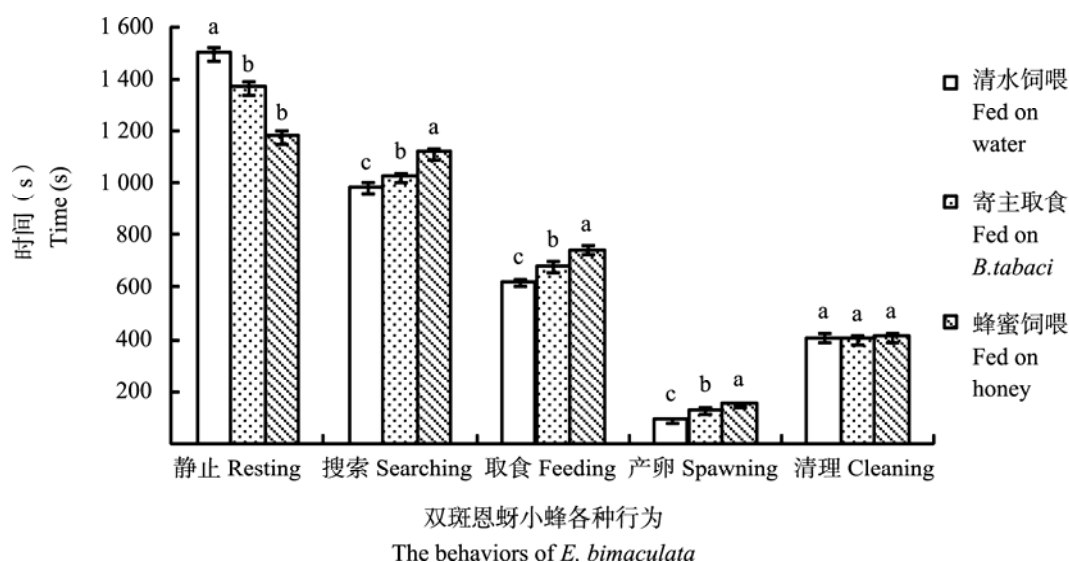


图 6 取食不同食物对双斑恩蚜小蜂取食与寄生等行为时间分配的影响
Fig. 6 Food effects on the time assignment in different behaviors of *Encarsia bimaculata*

3 讨论

研究表明,包括蚜小蜂在内的许多卵育型寄生蜂,雌蜂在羽化后需要不断通过取食寄主和(或)非寄主食物(主要为糖类)补充营养,除了用以维持生命,更是用以提供卵的发育成熟所需的营养及产卵寄生消耗的能量(Jervis and Kidd, 1986; Heimpel and Collier, 1996; Heimpel et al., 1997; Burger et al., 2004)。因此,不同生活史的寄生蜂摄取营养方式的不同和营养物质功能的差异,必然影响其雌蜂的寿命和繁殖力等生物学特性(Jervis and Ferns, 2004; Casas et al., 2005; Jervis et al., 2007)。

3.1 营养物质对寄生蜂取食及搜寻行为的影响

营养物质对寄生蜂的取食与搜寻行为非常重要,因为在这些过程中,寄生蜂要消耗大量的能量。例如,在取食及搜索频次和时间上,本实验中3种寄生蜂均为蜂蜜饲喂组最高(长),清水饲喂组最低(短)。在此之前的研究也发现,营养补充会影响一些寄生蜂对寄主的搜寻行为(Desouhant et al., 2005),而补充糖类可以明显提高寄生蜂的活力及搜索行为(Jervis and Kidd, 1986; Takasu and Lewis, 1995; Giron et al.,

2002, 2004)。在国内王青等(1992)研究发现取食蜂蜜水相对于其他饲喂处理,丽蚜小蜂对温室白粉虱具有更高的取食率及取食致死率。究其原因,可能是由于补充充足的营养增加了寄生蜂的取食与搜寻频次和时间,也就增加了寄生蜂的取食率、取食致死率、寄生率和寄生致死率,最终也增强了寄生蜂对害虫的控制能力和效率(Walkers, 2001)。

3.2 营养物质对寄生蜂产卵寄生行为的影响

营养物质对寄生蜂行为的影响,还与寄生蜂的种类密切相关。在产卵寄生行为方面,部分研究发现仅取食糖类物质的寄生蜂,其繁殖能力显著低于取食寄主血淋巴的寄生蜂个体。例如Leius(1961)报道,姬蜂科寄生蜂 *Scambus buolianae* 不论是否取食过糖类营养物质,没有寄主取食过程的寄生蜂均不产卵;Burger等(2005)发现,与喂食粉虱分泌的蜜露相比,取食粉虱寄主血淋巴的丽蚜小蜂具有更大的繁殖量;Zhang等(2011)发现潜蝇姬小蜂 *Diglyphus isaea* 雌蜂取食寄主幼虫比取食蜂蜜水和葡萄糖能够更快速持续地促进卵子发生。

然而,另外一部分研究则发现,取食蜂蜜水、蔗糖等糖类物质,可以大大增强寄生蜂的产卵寄

生能力。例如王青等(1992)发现,饲喂蜂蜜水可以提高丽蚜小蜂在低温条件下在温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 上的产卵量,而且可以加快其产卵速度;Heimpel 等(1997)通过实验得出结论,虽然取食寄主也会对印巴黄蚜小蜂 *Aphytis melinus* 雌蜂的生殖产生影响,但不让其取食糖类而只允许取食寄主时,雌蜂的生殖力是极低的;Schmale 等(2001)和 Berndt 等(2002)的实验表明,取食糖类能够增加寄生蜂生殖力;康琳等(2011)给中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* 雌蜂分别饲喂 10%蔗糖溶液、其他非糖类食物或者混合食物,发现饲喂 10%蔗糖溶液的中红侧沟茧蜂雌蜂繁殖能力最强,产卵时间最多,子代数量最多,并且可以连续产卵达 15 d,而且在 12 d 内产卵都维持较高水平;而清水饲喂处理的生殖能力最弱。

在本实验中,3 种蚜小蜂的产卵频次与产卵时间均是蜂蜜饲喂组显著高(长)于取食寄主处理组和清水饲喂组,说明蜂蜜饲喂明显提高了这 3 种寄生蜂的产卵寄生能力;而清水饲喂的蚜小蜂产卵频次最低、产卵时间最短,暗示了营养供应不足使得寄生蜂生殖能力大大降低。我们的研究结果与王青等(1992)、Heimpel 等(1997)、Schmale 等(2001)、Berndt 等(2002)以及康琳等(2011)的研究相似。

早期研究表明,花蜜或蜂蜜中含有氨基酸,而氨基酸可以被直接用于卵的形成(Lanteren *et al.*, 1987)。而 Leius (1967)也证明,糖类对雌蜂的生殖有直接或间接影响;对一些寄生蜂,摄入的糖类用于启动脂肪体中可用于产卵所需的储存营养。Heimpel 等(1997)也发现,无糖类摄入使得印巴黄蚜小蜂雌蜂卵的重吸收率大幅度增加。在国内,王伟等(2012)发现,饲喂不同的糖类物质,潜蝇姬小蜂 *Diglyphus isaea* 雌蜂卵巢内Ⅲ级卵子(即成熟卵子)和总卵子数量整体上均呈现先显著上升后逐渐下降的趋势,但行程高峰时期不同;而只饲喂清水的潜蝇姬小蜂雌蜂虽然在羽化后 24 h Ⅲ级卵子有一定程度增加,而到 48 h 则全部被重吸收,间接说明了糖类物质对寄生蜂卵子形成与成熟的重要性。此外,

寄生蜂在寻找、检查及寄生寄主时需要消耗大量的能量,而取食糖源对大多数寄生蜂补充能量消耗来最为快捷与重要(Jervis and Kidd, 1986),取食过糖类的寄生蜂也往往更具活力并能够更有效地搜寻寄主昆虫(Takasu and Lewis, 1995),增加遇到寄主的机会(Giron *et al.*, 2002, 2004)。

综上所述,本文研究了不同食物对古桥桨角蚜小蜂、丽蚜小蜂和双斑恩蚜小蜂取食与寄生等行为的影响,补充蜂蜜后使得蚜小蜂拥有更强的生命活力与繁殖能力。研究结果对于今后蚜小蜂的规模化繁殖以及烟粉虱种群的可持续控制具有重要的参考价值。

参考文献 (References)

- Arnó J, Gabarra R, Liu TX, Simmons AM, Gerling D, 2010. Natural enemies of *Bemisia tabaci*: Predators and parasitoids // Stansly PA, Naranjo SE (eds). *Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest*. New York: Springer. 385–421.
- Berndt LA, Wratten SD, Hassan PG, 2002. Effects of buckwheat flowers on leafroller parasitoids in a New Zealand vineyard. *Agr. Forest Entomol.*, 4(1): 39–45.
- Burger JMS, Hemerik L, van Lenteren JC, Vet LEM, 2004. Reproduction now or later: Optimal host handling strategies in the whitefly parasitoid *Encarsia formosa*. *Oikos*, 106(1): 117–130.
- Burger JMS, Kormany A, van Lenteren JC, Vet LEM, 2005. Importance of host feeding for parasitoids that attack honeydew-producing hosts. *Entomol. Exp. Appl.*, 117(2): 147–154.
- Casas J, Pincebourde S, Mandon N, Vannier F, Poujol R, Giron D, 2005. Lifetime nutrient dynamics reveal simultaneous capital and income breeding in a parasitoid. *Ecology*, 86(3): 545–554.
- Chu D, Bi YP, Zhang YJ, Lou YP, 2005. Researcher progress on *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotypes. *Acta Ecologica Sinica*, 25(12): 3398–3405. [褚栋, 毕玉华, 张友军, 娄蕴萍, 2005. 烟粉虱生物型研究进展. *生态学报*, 25(12): 3398–3405.]
- Desouhant E, Driessen G, Amat I, Bernstein C, 2005. Host and food searching in a parasitic wasp *Venturia canescens*: a trade-off between current and future reproduction? *Anim. Behav.*, 70(1): 145–152.
- Gerling D, Alomar O, Arno J, 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. *Crop Prot.*, 20(9): 779–799.
- Giron D, Pincebourde S, Casas J, 2004. Lifetime gains of host-feeding in a synovigenic parasitic wasp. *Physiol. Entomol.*, 29(5): 436–442.

- Giron D, Rivero A, Mandon N, Darrouzet E, Casas J, 2002. The physiology of host-feeding in parasitic wasps: implications for survival. *Funct. Ecol.*, 16(6): 750–757.
- Heimpel GE, Collier TR, 1996. The evolution of host feeding behaviour in insect parasitoids. *Biol. Rev.*, 71(3): 11–22.
- Heimpel GE, Rosenheim JA, Kattari D, 1997. Adult feeding and lifetime reproductive success in the parasitoid *Aphytis melinus*. *Entomol. Exp. Appl.*, 83(3): 305–315.
- Jervis MA, Boggs CL, Ferns PN, 2007. Egg maturation strategy and survival trade-offs in holometabolous insects: a comparative approach. *Biol. J. Linn. Soc.*, 90 (2): 293–302 .
- Jervis MA, Ferns PN, 2004. The timing of egg maturation in insects: ovigeny index and initial egg load as measures of fitness and of resource allocation. *Oikos*, 107 (3): 449–460 .
- Jervis MA, Kidd NAC, 1986. Host-feeding strategies in hymenopteran parasitoids. *Biol. Rev.*, 61(4): 395–434.
- Kang L, Zhang YJ, Wen LZ, 2011. The effect of different nutrition on adult longevity and fecundity of *Microplitis mediator* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae). The Annual Conference of Entomology 2011 for Hubei, Hunan and Henan provinces. Xinxiang, Henan, China. 69–75. [康琳, 张永军, 文礼章, 2011. 补充不同营养物质对中红侧沟茧蜂生长发育的影响. 华中三省(湖北、湖南、河南)昆虫学会 2011 年学术年会. 中国河南新乡. 69–75.]
- Lanteren JC, Vianen A, Gast HF, Kortenhoff A, 1987. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae) XVI. Food effects on oogenesis, oviposition, life-span and fecundity of *Encarsia formosa* and other hymenopterous parasites. *J. Appl. Entomol.*, 103(1/5): 69–84.
- Leius K, 1961. Influence of food on fecundity and longevity of adults of *Itopectis conquisitor* (Say) (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Can. Entomol.*, 93(09): 771–780.
- Leius K, 1967. Influence of wild flowers on parasitism of tent caterpillar and codling moth. *Can. Entomol.*, 99(04): 444–446.
- Li SJ, Xue X, Ahmed MZ, Ren SX, Du YZ, Wu JH, Cuthbertson AGS, Qiu BL, 2011. Host plants and nature enemies of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in China. *Insect Science*, 18(1): 101–120.
- Luo C, Yao Y, Wang RJ, Yan FM, Hu DX, Zhang ZL, 2002. The use of mitochondrial cytochrome oxidase I (mt CO I) gene sequences for the identification of biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 45(6): 759–763. [罗晨, 姚远, 王戎疆, 阎凤鸣, 胡敦孝, 张芝利, 2002. 利用 mtDNA CO 基因序列鉴定我国粉虱的生物型. 昆虫学报, 45(6): 759–763.]
- Qiu BL, Ren SX, Lin L, Wang XM, 2004. Species and dynamics of aphelinid parasitoids of *Bemisia tabaci* in Guangdong. *Entomological Knowledge*, 41(4): 333–335. [邱宝利, 任顺祥, 林莉, 王兴民, 2004. 广东省烟粉虱蚜小蜂种类及种群动态调查初报. 昆虫知识, 41(4): 333–335.]
- Ren XX, Qiu BL, Ge F, Zhang YJ, Du YZ, Chen XX, Guo JY, Lin KJ, Peng ZQ, Yao SL, Hu YH, Wang LD, Zhang WQ, 2011. Research progress of monitoring, forecast and sustainable management of whitefly pests in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(1): 7–15. [任顺祥, 邱宝利, 戈峰, 张友军, 杜予州, 陈学新, 郭建英, 林克剑, 彭正强, 姚松林, 胡雅辉, 王联德, 张文庆, 2011. 粉虱类害虫的监测预警与可持续治理技术透视. 应用昆虫学报, 48(1): 7–15.]
- Schmale I, Wackers FL, Cardona C, Dorn S, 2001. Control potential of three hymenopteran parasitoid species against the bean weevil in stored beans: the effect of adult parasitoid nutrition on longevity and progeny production. *Biol. Control*, 21(2): 134–139.
- Shang Y, 2014. Review on the effects of compensatory nutrition on the longevity, fecundity and searching behaviors of parasitoids. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 1: 30–31. [尚禹, 2014. 补充营养对寄生蜂寿命、生殖力及搜寻行为的影响综述. 上海农业科技, 1: 30–31.]
- Takasu K, Lewis WJ, 1995. Importance of adult food sources to host searching of the larval parasitoid *Microplitis croceipes*. *Biol. Control*, 5(1): 25–30.
- Shi SS, Zang LS, Liu TX, Ruan CC, Sun GZ, 2009. Host-feeding behaviors of parasitoids on hosts and implications for biological control. *Acta Entomologica Sinica*, 52(4): 424–433. [史树森, 臧连生, 刘同先, 阮长春, 孙光芝, 2009. 寄生蜂取食寄主特性及其在害虫生物防治中的作用. 昆虫学报, 52(4): 424–433.]
- Song N, Luo MH, Yuan GH, 2006. The effects of feeding on parasitoids. *Natural Enemies of Insects*, 28(3): 132–138. [宋南, 罗梅浩, 原国辉, 2006. 取食对寄生蜂的影响. 昆虫天敌, 28(3): 132–138.]
- Wackers FL, 2001. A comparison of nectar and honeydew sugars with respect to their utilization by the hymenopteran parasitoid *Cotesia glomerata*. *J. Insect Physiol.*, 47(9): 1077–1084.
- Wang JH, Zhang F, Li YX, 2011. Diversity of species and reproductive mode of *Bemisia tabaci* parasitoids. *Chinese Journal of Biological Control*, 27(1): 115–123. [王继红, 张帆, 李元喜, 2011. 烟粉虱寄生蜂种类及繁殖方式多样性. 中国生物防治学报, (01): 115–123.]

- Wang Q, Wang LP, Yan YH, 1992. Enhancing host parasitization of *Encarsia formosa* (Hym: Aphelinidae) by feeding the adults with honey solution. *Chinese Journal of Biological Control*, 8(2): 64–67. [王青, 王丽平, 严毓骅, 1992. 喂饲蜂蜜水对丽蚜小蜂成蜂产卵寄生能力的影响. 生物防治学报, 8(2): 64–67.]
- Wang W, Liu WX, Cheng LS, Wan FH, 2012. Effects of feeding different sugars on longevity and oogenesis in female adults of the synovigenic parasitoid *Diglyphus isaea* (Hymenoptera: Eulophidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(8): 964–970. [王伟, 刘万学, 程立生, 万方浩, 2012. 取食不同糖分对卵育型寄生蜂潜蝇姬小蜂雌蜂寿命和卵子发生的影响. 昆虫学报, 55(8): 964–970.]
- Zhang YB, Liu WX, Wang W, Wan FH, Li Q, 2011. Lifetime gains and patterns of accumulation and mobilization of nutrients in females of the synovigenic parasitoid, *Diglyphus isaea*, as a function of diet. *J. Insect Physiol.*, 57(7): 1045–1052.