

不同营养对亚金跳小蜂寿命和适合度的影响

张娟¹ 唐娅媛¹ 黄俊^{1,2*} 吕要斌^{2*} 李明江¹

(1. 浙江省萧山棉麻研究所/浙江省农业科学院花卉研究开发中心, 杭州 311202;

2. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 杭州 310021)

摘要: 为了解不同营养对寄生性天敌亚金跳小蜂 *Aenasius arizonensis* (Girault) 寿命及适合度的影响, 在室内测定了 10% 蜂蜜水、10% 蜂蜜水+粉蚧蜜露、蒸馏水+粉蚧蜜露、粉蚧蜜露和蒸馏水等不同饲喂条件对亚金跳小蜂寿命、雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例的影响。结果表明, 不同营养处理均能显著延长亚金跳小蜂的平均寿命, 其中以 10% 蜂蜜水+粉蚧蜜露处理的效果最为显著, 其雌、雄蜂平均寿命较对照分别增加 3.87 d 和 1.07 d; 不同营养条件下, 雌蜂的适合度以 10% 蜂蜜水+粉蚧蜜露处理最好, 雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例分别为对照的 12.11、1.84 和 52.35 倍, 雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例在 4~10 d 均维持在较高水平, 其最大值分别达 80.67%、70.72% 和 63.74%。表明各种营养条件, 尤其以 10% 蜂蜜水+粉蚧蜜露为营养时可延长亚金跳小蜂寿命, 同时能提高其适合度。

关键词: 亚金跳小蜂; 营养; 寿命; 适合度

Effects of nutrition on the longevity and fitness of parasitoid *Aenasius arizonensis*

Zhang Juan¹ Tang Yayuan¹ Huang Jun^{1,2*} Lü Yaobin^{2*} Li Mingjiang¹

(1. Xiaoshan Institute of Cotton and Fiber Crops/Research and Development Center of Flowers, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 311202, Zhejiang Province, China; 2. State Key Laboratory of Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, Zhejiang Province, China)

Abstract: To determine the effect of nutrition on the predominant parasitic wasp *Aenasius arizonensis* (Girault), the longevity and fitness of adults fed with 10% honey solution, a mixture of 10% honey solution and *P. solenopsis* honeydew, a mixture of distilled water and *P. solenopsis* honeydew, *P. solenopsis* honeydew and distilled water (CK) were investigated. The results showed that the nutritional treatments had significant effects on adult longevity. The adults feeding on a mixture of 10% honey solution and *P. solenopsis* honeydew had the longest longevity among all treatments, and the mean longevity of females and males were 3.87 and 1.07 days longer than that of CK, respectively. Moreover, the adults fed with a mixture of 10% honey solution and *P. solenopsis* honeydew also had the largest fitness. The average parasitism rate of females, emergence rate and the offspring female ratio were 12.11, 1.84 and 52.35 times that of the CK, respectively. Additionally, the average parasitism rate of females, emergence rate and offspring female ratio of adults fed with this nutrition maintained at a higher level at 4–10 d after emergence, and the highest values were 80.67%, 70.72% and 63.74%, respectively. The results indicated that a mixture of 10% honey solution and *P. solenopsis* honeydew had significant effect on extending longevity, and played a key role in improving fitness of *A. arizonensis*.

Key words: *Aenasius arizonensis*; nutrition; longevity; fitness

基金项目: 国家自然科学基金(31772234, 31801801), 浙江省自然科学基金(LQ16C140004)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: junhuang1981@aliyun.com, luybcn@163.com, Tel: 0571-82717747

收稿日期: 2016-12-19

扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley 隶属于半翅目粉蚧科,是一种严重威胁大田作物、园林观赏植物、果树和蔬菜等经济作物安全生产的入侵性害虫(Hodgson et al., 2008; 陆永跃等, 2008),在全世界 24 个国家中有 55 科 200 多种植物被其取食为害(武三安和张润志, 2009; Fand & Suroshe, 2015)。目前,该害虫在我国 13 个省(市)均有发生(Zhao et al., 2014)。亚金跳小蜂 *Aenasius bambawalei* (Girault) 隶属于膜翅目跳小蜂科(Kumar et al., 2009),是扶桑绵粉蚧的重要伴迁天敌(张娟等, 2014; Ahmed et al., 2015),也是其优势种专性寄生蜂(陈华燕等, 2010; 张娟等, 2014),在野外其寄生率高达 50%~62%(Fand et al., 2011),具有良好的生物防治应用前景。

在寄主-寄生蜂的种群动态发展过程中,寄生蜂的寿命对其控制害虫种群数量具有至关重要的作用(郑许松等, 2003; 伍和平和李保平, 2007),成虫寿命越长意味着控制害虫的持续时间越长(李会等, 2012; Zhang et al., 2016)。在诸多影响寄生蜂寿命的因子中,食物资源尤为重要(Harvey et al., 2012; Williams et al., 2015)。不同来源及不同浓度配比的营养物质对寄生蜂寿命与适合度的影响差异很大,如蜂蜜、玉米花粉、褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 蜜露和大豆花均能明显延长稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang 的寿命,并且能显著提高对褐飞虱卵的寄生能力,而单一玉米花粉液、褐飞虱蜜露稀释液和纯褐飞虱蜜露均不能延长稻虱缨小蜂寿命(郑许松等, 2003);在取食 1 mol/L 的花粉和花蜜混合物的条件下,劳氏短背茧蜂 *Psytalia lounsburyi* (Silvestri) 的寿命延长最为显著,而在取食 0.5 mol/L 或 2 mol/L 的混合物时则效果不明显(Williams et al., 2015)。

目前,在室内饲养寄生蜂大多以蜂蜜水和葡萄糖水进行饲喂(董胜张等, 2008)。然而,作为寄生蜂的另一类重要食物来源,寄主分泌的蜜露对寄生蜂寿命及适合度影响的研究较少(郑许松等, 2003)。营养对寄生蜂适合度的影响还与其卵子发育类型密切相关(Jervis et al., 2008; Mutitu et al., 2013),取食营养仅对卵育型寄生蜂的卵黄发生(董胜张等, 2008)和卵子成熟(Schmale et al., 2001)产生影响。有关亚金跳小蜂的形态特征(何佳和许在福, 2012)、生物学特性(Pala & Saini, 2011)、寄生特性(黄俊等, 2012)和子代性比(Zhang et al., 2016)等方面已有较多报道。而亚金跳小蜂取食蜂蜜水和粉蚧蜜露

是否会对其寿命和适合度造成影响尚不明确。根据前期解剖结果,初步推断亚金跳小蜂为卵育型寄生蜂(未发表),同时取食营养也会影响该蜂的适合度。

为了验证取食营养对亚金跳小蜂寿命及适合度的影响以及与其卵子发育类型的关系,本试验以扶桑绵粉蚧蜜露、蜂蜜水和蒸馏水的不同组合为食物源,研究不同营养对该蜂寿命、雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例的影响,以期为其室内大量繁育并增强其田间适合度提供重要理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:亚金跳小蜂由浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所提供,在温度 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(70\pm 5)\%$ 、光周期 14 L:10 D 的人工气候室内以扶桑绵粉蚧为寄主维持种群,连续繁殖 10 代以上。扶桑绵粉蚧于 2011 年 8 月采自浙江省杭州市萧山区的大花马齿苋上,室内以盆栽棉花为寄主连续饲养至今。

试剂及仪器:纯紫云英蜂蜜,上海冠生园蜂制品有限公司。饲养装置:在 450 mL 塑料牛奶杯盖上扎 2 个直径 0.8 cm 的小孔,其中一个用于插入用脱脂棉均匀包裹叶柄的棉花叶片,另一个则用于插入营养补充棉条;杯壁上预留 1 个边长 5 cm 的方形孔,并覆以 80 目铜纱网,以保证粉蚧和寄生蜂能透气且无法逃逸(黄俊等, 2012)。实际饲养过程中,在接入扶桑绵粉蚧和亚金跳小蜂之后,将装置倒扣于装满水的塑料杯上方,并使叶柄末端浸没在水面以下,防止叶片脱水。

1.2 方法

1.2.1 不同营养的设置

由于蜂蜜水比蔗糖水更有利于寄生蜂卵黄的发育(董胜张等, 2008),因此在本试验中选择蜂蜜水作为亚金跳小蜂的蜜糖源。在亚金跳小蜂每天 8:00—10:00 和 14:00—16:00 的 2 个取食活跃期,根据其在不同营养源上停留时间差异设置 4 种处理:(1)10% 蜂蜜水:由纯蜂蜜与蒸馏水按体积比 10:100 配制而成,将脱脂棉条末端浸入蜂蜜水中约 30 s 后取出插入饲养装置的营养供给孔内。当营养供给完毕后,用干燥的脱脂棉团取代浸湿的脱脂棉条,以封住补充孔。(2)10% 蜂蜜水+扶桑绵粉蚧蜜露:参照 Yao & Akimoto(2002)方法收集蜜露,采用 0.5 μL 毛细管直接从 1~5 日龄的扶桑绵粉蚧雌成虫的肛门处收集新鲜蜜露,该虫态的蜜露排泄量最大(Zhou et al.,

2013)。30头雌成虫1 h分泌的蜜露为1个样品,并保存于 -20°C 冰箱中;先将蜜露样品提前30 min于常温下融化,并与10%蜂蜜水以体积比1:1混合,将二者混合物均匀滴至直径为10 cm的干净圆形铝箔纸上,然后将铝箔纸固定于饲养装置盖的内侧,供亚金跳小蜂取食,待营养供给完毕之后,通过镊子将铝箔纸连同蜜露快速取出。(3)蒸馏水+扶桑绵粉蚧蜜露:蜜露获取及混配方法同上,其中10%蜂蜜水替换成蒸馏水。(4)扶桑绵粉蚧蜜露:蜜露获取方式同上,提供方式同10%蜂蜜水+扶桑绵粉蚧蜜露。以蒸馏水作为对照(CK)。

以上处理营养液及对照的体积相同,均为0.1 mL。寄生蜂羽化后即补充不同食物,除对照需持续提供之外,其余处理均只在每天2个取食活跃期提供新鲜的营养。

1.2.2 不同营养对亚金跳小蜂成虫寿命的影响

不同处理选取刚羽化的亚金跳小蜂雌、雄成虫各30头吹入亚金跳小蜂饲养装置中,置于温度 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(70\pm 5)\%$ 、光周期14 L:10 D的人工气候箱中,每天提供不同营养进行群体饲养,然后观察并记录每头寄生蜂的存活情况,根据其死亡时间来确定其寿命 $t_i(i=1,2,3,\dots,30)$,直至所有寄生蜂全部死亡。寄生蜂的平均寿命 $= (t_1+t_2+t_3+\dots+t_{30})/30$,得出各处理下亚金跳小蜂雌、雄蜂的平均寿命。根据各营养处理下亚金跳小蜂的日存活率动态,采用线性方程就不同营养对存活率动态的影响进行拟合,选取拟合程度最高的方程种类。其中以多项式方程 $y=ax^2+bx+c$ 的拟合程度最高,式中 x 表示观察日期, y 表示相应的存活率, a 、 b 和 c 均为参数。

1.2.3 不同营养对亚金跳小蜂成虫适合度的影响

每处理选取2对刚羽化并交配1~2 d的亚金跳小蜂雌、雄蜂,在雌蜂存活期间,每天提供50头扶桑绵粉蚧雌成虫供其寄生,24 h后将寄主移走,然后补充不同营养。每处理重复5次。统计不同营养处理下扶桑绵粉蚧僵蚧、羽化孔和子代雌蜂和雄蜂数量,计算雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例,雌蜂平均寄生率 $=$ 僵蚧数目 $/50\times 100\%$;羽化率 $=$ 羽化孔数量 $/$ 僵蚧总数 $\times 100\%$;子代雌性比例 $=$ 子代雌蜂数量 $/$ (子代雄蜂数量+子代雌性数量) $\times 100\%$ 。得出各处理下雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例。选取对于延长亚金跳小蜂寿命和增加其适合度最为明显的营养处理,比较其日寄生率、羽化率和子代雌性比例动态,以反映不同营养对亚金跳小蜂成虫适合度的影响。

1.3 数据分析

试验数据采用Excel 2003和Statistica 6.0软件进行统计分析,通过卡方检验测定模型方程的拟合性,用Fisher LSD法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同营养对亚金跳小蜂寿命的影响

不同营养均可显著延长亚金跳小蜂成虫的平均寿命,其中以10%蜂蜜水+扶桑绵粉蚧蜜露为营养时的雌、雄蜂平均寿命最长(雌蜂: $F_{4,145}=62.31$, $P<0.05$;雄蜂: $F_{4,145}=57.57$, $P<0.05$),分别达9.23 d和4.57 d,比对照分别增加3.87 d和1.07 d。在同一营养条件下,雌蜂平均寿命显著长于雄蜂($F_{1,290}=424.78$, $P<0.05$)(图1)。

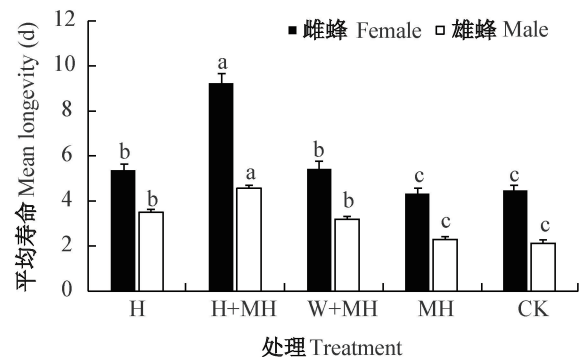


图1 不同营养处理对亚金跳小蜂平均寿命的影响

Fig. 1 The mean longevity of *Aenasius arizonensis* under different nutritional treatments

图中数据为平均数 $\pm$ 标准误。同色柱上不同字母表示经Fisher LSD法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。H、H+MH、W+MH、MH和CK分别表示10%蜂蜜水、10%蜂蜜水+粉蚧蜜露、蒸馏水+粉蚧蜜露、粉蚧蜜露和对照。Data are mean $\pm$ SD. Different letters on the same color bars indicate significant difference at $P<0.05$ level by Fisher LSD test. H, H+MH, W+MH, MH and CK represent 10% honey solution, a mixture of 10% honey solution and *Phenacoccus solenopsis* honeydew, a mixture of distilled water and *P. solenopsis* honeydew, *P. solenopsis* honeydew and CK (distilled water), respectively.

亚金跳小蜂的存活率随观察时间的延长而不断降低,不同营养处理下亚金跳小蜂雌蜂的日存活率,除10%蜂蜜水+粉蚧蜜露处理显著高于对照外($F_{1,30}=7.24$, $P<0.05$),其它处理与对照无显著差异($F_{3,60}=0.39$; $P=0.76$)。10%蜂蜜水+粉蚧蜜露条件下雌蜂平均存活率在1~6 d时为94.00%~100.00%,7~9 d时降低,其存活率为48.00%~80.00%(图2)。对其日存活率动态进行线性拟合,以多项式的拟合程度最高。

10% 蜂蜜水、10% 蜂蜜水+粉蚧蜜露、蒸馏水+粉蚧蜜露、粉蚧蜜露和蒸馏水对照条件下的拟合方程分别为 $y=0.01x^2-0.33x+2.77(R^2=0.89)$ 、 $y=-0.01x^2+0.10x+$

$1.86(R^2=0.99)$ 、 $y=0.01x^2-0.34x+2.77(R^2=0.90)$ 、 $y=0.01x^2-0.28x+2.62(R^2=0.88)$ 和 $y=0.02x^2-0.49x+2.73(R^2=0.91)$ 。

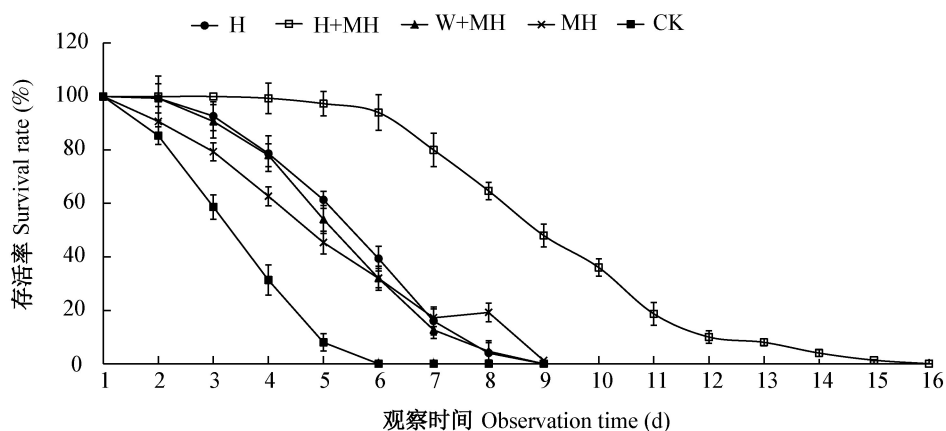


图2 不同营养处理下亚金跳小蜂日存活率规律

Fig. 2 The daily survival rate of *Aenasius arizonensis* female adults under different nutritional treatments

图中数据为平均数±标准误。H、H+MH、W+MH、MH和CK分别表示10%蜂蜜水、10%蜂蜜水+粉蚧蜜露、蒸馏水+粉蚧蜜露、粉蚧蜜露和对照。Data are mean±SD. H, H+MH, W+MH, MH and CK represent 10% honey solution, a mixture of 10% honey solution and *Phenacoccus solenopsis* honeydew, a mixture of distilled water and *P. solenopsis* honeydew, *P. solenopsis* honeydew and CK (distilled water), respectively.

2.2 不同营养对亚金跳小蜂成虫适合度的影响

不同营养均可以显著提高雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例(雌蜂平均寄生率: $F_{4,395}=22.04, P<0.05$;羽化率: $F_{4,395}=5.29, P<0.05$;子代雌性比例: $F_{4,395}=20.56, P<0.05$)。10%蜂蜜水+粉蚧蜜露

条件下雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例均最高,分别达35.72%、45.65%和32.98%,为对照的12.11、1.84和52.35倍,对照组的雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例分别仅为2.95%、24.81%和0.63%(表1)。

表1 不同营养处理对雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例的影响

Table 1 Effects of nutritional treatments on the mean parasitism rate, eclosion rate and offspring sex ratio of *Aenasius arizonensis* %

营养处理 Nutritional treatment	雌蜂平均寄生率 Parasitism rate	羽化率 Eclosion rate	子代雌性比例 Offspring female ratio
10% 蜂蜜水 10% honey solution	14.13±2.24 b	23.98±4.04 b	17.28±2.98 b
10% 蜂蜜水+粉蚧蜜露 The mixture of 10% honey solution and <i>P. solenopsis</i> honeydew	35.72±3.33 a	45.65±4.11 a	32.98±3.05 a
蒸馏水+粉蚧蜜露 The mixture of distilled water and <i>P. solenopsis</i> honeydew	20.20±3.10 b	25.51±4.22 b	16.61±2.72 b
粉蚧蜜露 <i>P. solenopsis</i> honeydew	14.78±2.44 b	23.79±4.08 b	14.10±2.49 b
对照 CK	2.95±0.83 c	24.81±4.14 b	0.63±0.63 c

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经 Fisher LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Fisher LSD test.

在10%蜂蜜水+粉蚧蜜露条件下,其雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例均最高,试验比较在此营养条件下雌蜂的日平均寄生率、羽化率和子代雌性比例。结果显示,不同观察日期之间,雌蜂平均寄生率($F_{15,64}=140.34, P<0.05$)和子代雌性比例

($F_{15,64}=19.03, P<0.05$)间均存在显著差异,而羽化率差异不显著($F_{15,64}=2.23, P=0.14$)。在4~10 d,雌蜂日平均寄生率、羽化率和子代雌雄性比均维持在较高水平。其中,雌蜂平均寄生率、羽化率和子代的最大值分别达80.67%、70.72%和63.74%(表2)。

表2 10%蜂蜜水+粉蚧蜜露条件下雌蜂日平均寄生率、羽化率和子代雌性比动态

Table 2 Dynamics of daily parasitism rate, emergence rate and offspring female ratio of *Aenasius arizonensis* on the mixture of 10% honey solution and *Phenacoccus solenopsis* honeydew %

观察日期 Observation time (d)	雌蜂平均寄生率 Parasitism rate	羽化率 Emergence rate	子代雌性比例 Offspring female ratio
1	5.40±0.98 f	20.00±2.00 bc	—
2	24.00±2.62 d	26.00±8.12 abc	31.33±8.41 d
3	5.40±0.98 f	20.00±2.00 bc	—
4	72.80±2.44 b	68.80±3.94 a	52.48±2.08 c
5	79.33±2.87 ab	70.72±5.50 a	56.96±3.11 abc
6	80.67±2.87 a	60.53±6.02 ab	54.55±2.80 bc
7	74.67±3.43 ab	62.47±7.68 ab	60.54±3.66 abc
8	62.00±2.49 c	59.64±6.27 ab	61.53±2.42 abc
9	57.33±4.14 c	42.68±7.68 ab	63.74±5.40 a
10	29.33±1.25 d	69.94±5.92 a	58.00±7.86 ab
11	29.33±1.25 d	73.61±9.11 a	24.50±7.18 de
12	21.33±3.09 de	50.00±3.16 ab	36.67±9.72 cd
13	18.67±2.26 de	39.29±6.59 ab	10.67±6.86 de
14	7.33±3.71 f	43.33±9.43 ab	10.67±6.67 de
15	2.67±1.94 f	13.33±3.30 c	10.00±10.00 de
16	1.33±1.33 f	10.00±1.00 c	—

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经 Fisher LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Fisher LSD test.

3 讨论

本试验结果表明,各营养条件下,亚金跳小蜂的雌、雄蜂平均寿命均在 10% 蜂蜜水+粉蚧蜜露条件下最长,10% 蜂蜜水、蒸馏水+粉蚧蜜露次之,可能与蜂蜜内含有的非糖类物质有关(Harvey et al., 2012),也可能由于粉蚧蜜露能增强蜂蜜水的营养效果(Yao & Akimoto, 2002),与郑许松等(2003)的结论类似,验证了适当的营养液浓度对于延长寄生蜂寿命的重要性(Williams et al., 2015)。郑许松等(2003)和 Huang et al. (2014)均认为水对昆虫的存活和寿命起着非常重要的作用。本研究为了模拟亚金跳小蜂野外生存的状态,并未设置无水处理,因此无法断定取食水是否会对该蜂的寿命产生影响。但是,本试验中取食蒸馏水条件下亚金跳小蜂寿命并未延长,与黄玲等(2011)研究结果相同,推测亚金跳小蜂单纯取食水并不能延长其寿命。本试验还发现,在取食营养条件下,雌蜂寿命显著长于雄蜂寿命,这可能与寄生蜂雄蜂寿命较短有关(Mutitu et al., 2013)。

对亚金跳小蜂日存活率动态进行拟合,结果表明不同营养处理下雌蜂的日存活率均符合线性规

律,即随着观察日期的延长存活率逐渐降低,在 Mutitu et al. (2013)的研究中也存在类似现象。另外,除 10% 蜂蜜水+粉蚧蜜露外,其它营养条件对其日存活率的影响不显著,再次验证营养种类对于寄生蜂存活的重要性(郑许松等, 2003)。

不同营养除了可延长亚金跳小蜂的寿命,还对其适合度产生较大影响。在 10% 蜂蜜水+粉蚧蜜露条件下雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例均最高,分别达 35.72%、45.65% 和 32.98%;其它 3 种营养处理的适合度均高于对照,说明取食蜂蜜水、粉蚧蜜露和水不同配比的营养,对于提高亚金跳小蜂适合度具有显著效果。董胜张等(2008)认为卵育型寄生蜂需要在成虫期持续供给营养才能完成卵黄发生和卵子成熟;但对于某些卵熟型寄生蜂而言,成虫期取食糖类和碳水化合物,对于卵的成熟(Schmale et al., 2001; Jervis et al., 2008)以及后代数量(Mutitu et al., 2013)并无影响。本试验选取对适合度影响最大的 10% 蜂蜜水+粉蚧蜜露,发现在该条件下羽化后 4~10 d 雌蜂平均寄生率、羽化率和子代雌性比例均维持在较高水平。结合前期对亚金跳小蜂卵巢的解剖结果,发现该蜂在羽化后几乎无成熟卵子,在提供营养条件下卵黄数量增加,卵子逐渐成熟,3~5 d 达

到性成熟;无营养供给条件下卵黄则被吸收,成熟卵子数量显著降低(未发表),证实了亚金跳小蜂为卵育型寄生蜂。同时,蜂蜜水除了含有碳水化合物之外,还含有大量的可溶性蛋白质和一些激素因子,成虫时期获得的蛋白质对于寄生蜂卵黄发生具有明显的促进作用(董胜张等,2008)。由此推测,粉蚧分泌的蜜露可能也含有蛋白质成分,而其对亚金跳小蜂控害能力的增效作用机理将是今后的研究重点。

本研究发现,在10%蜂蜜水+粉蚧蜜露条件下亚金跳小蜂的最高雌蜂平均寄生率远高于其野外寄生水平(约50%~62%)(Fand et al., 2011),这可能与该营养条件促进了蜂卵的发育及成熟有关(Schmale et al., 2001);子代羽化率最高可达70.72%,与郑许松等(2003)和董胜张等(2008)研究结果相似,说明该时期补充适宜的营养对于增强子代适合度具有重要意义。同时,亚金跳小蜂作为一种营单倍-双倍体生殖的昆虫(Heimpel & de Boer, 2008),卵子成熟程度、精子活力和精子受精机会多少是决定其后代雌性比例的重要因素。10%蜂蜜水+粉蚧蜜露可显著延长亚金跳小蜂雌、雄成虫寿命,促进卵子和精子的发育及成熟,大大增加交配与产生受精卵的机会。因此,该营养条件下子代雌性比例远高于其它营养条件,其最大值可达63.74%,再次验证了亚金跳小蜂为卵育型寄生蜂(Mutitu et al., 2013)。

本研究测定了不同营养对亚金跳小蜂寿命和适合度的影响,结果表明10%蜂蜜水+粉蚧蜜露是最适合该蜂的营养条件。而亚金跳小蜂羽化后不同时期取食营养对其适合度的影响不同,则说明寄生蜂野外释放的时间及其营养条件均对其控害效果具有较大影响,这对实际工作具有重要指导意义。

致谢:荷兰瓦赫宁根大学与研究中心 Pannebakker 博士对本论文提出了许多宝贵意见,特此致谢!

参 考 文 献 (References)

- Ahmed MZ, Ma J, Qiu BL, He RR, Wu MT, Liang F, Zhao JP, Lin L, Hu XN, Lv LH, et al. 2015. Genetic record for a recent invasion of *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Asia. *Environmental Entomology*, 44(3): 907-918
- Chen HY, Cao RX, Xu ZF. 2010. First record of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) from China. *Journal of Environmental Entomology*, 32(2): 280-282 (in Chinese) [陈华燕, 曹润欣, 许再福. 2010. 扶桑绵粉蚧寄生蜂优势种 *Aenasius bambawalei* Hayat 记述. 环境昆虫学报, 32(2): 280-282]
- Dong SZ, Guo JY, Ye GY, Hu C. 2008. Effect of adult nutrition and mating on ovarian development and vitellogenesis in the endoparasitoid, *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of Plant Protection*, 35(3): 193-198 (in Chinese) [董胜张, 郭建洋, 叶恭银, 胡萃. 2008. 成虫营养和交配对蝶蛹金小蜂卵巢发育与卵黄发生的影响. 植物保护学报, 35(3): 193-198]
- Fand BB, Gautam RD, Suroshe SS. 2011. Suitability of various stages of mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Homoptera: Pseudococcidae) for development and survival of the solitary endoparasitoid, *Aenasius bambawalei* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Biocontrol Science and Technology*, 21(1): 51-55
- Fand BB, Suroshe SS. 2015. The invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, a threat to tropical and subtropical agricultural and horticultural production systems—a review. *Crop Protection*, 69: 34-43
- Harvey JA, Cloutier J, Visser B, Ellers J, Wäckers FL, Gols R. 2012. The effect of different dietary sugars and honey on longevity and fecundity in two hyperparasitoid wasps. *Journal of Insect Physiology*, 58(6): 816-823
- He J, Xu ZF. 2012. Study on ontogeny of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae). *Journal of Environmental Entomology*, 34(4): 478-482 (in Chinese) [何佳, 许再福. 2012. 班氏跳小蜂个体发育研究. 环境昆虫学报, 34(4): 478-482]
- Heimpel GE, de Boer JG. 2008. Sex determination in the Hymenoptera. *Annual Review of Entomology*, 53: 209-230
- Hodgson CJ, Abbas G, Arif MJ, Karar H. 2008. *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Sternorrhyncha: Coccoidea: Pseudococcidae), an invasive mealybug attacking cotton in Pakistan and India, with a discussion on seasonal morphological variation. *Zootaxa*, 1913: 1-35
- Huang F, Wang FF, Lu YB, Zhang PJ, Zhang JM, Zhang ZJ, Li WD, Lin WC, Bei YW. 2014. Effect of honey solution and water acquisition on survival of starved *solenopsis* mealybug, *Phenacoccus solenopsis*. *Journal of Insect Science*, 14: 1
- Huang J, Lü YB, Zhang J, Huang F, Bei YW. 2012. Paratitic functional response of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) to *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(12): 1418-1423 (in Chinese) [黄俊, 吕要斌, 张娟, 黄芳, 贝亚维. 2012. 班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧的寄生功能反应. 昆虫学报, 55(12): 1418-1423]
- Huang L, Liu H, Xiao TG, Zhou SW. 2011. Biology of *Aenasius bambawalei*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1734-1737 (in Chinese) [黄玲, 刘慧, 肖铁光, 周社文. 2011. 扶桑绵粉蚧寄生性天敌班氏跳小蜂生物学研究. 应用昆虫学报, 48(6): 1734-1737]
- Jervis MA, Ellers J, Harvey JA. 2008. Resource acquisition, allocation, and utilization in parasitoid reproductive strategies. *Annual Review of Entomology*, 53: 361-385
- Kumar R, Kranthi K, Haldhar SM. 2009. Natural parasitization of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton by *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae). *Journal of Biological Control*, 23 (4): 457-460

- Li H, Li Y, Yin SY, Sun XG. 2012. Effect of different nutrition on the main biological characteristics of *Chouioia cunea*. Chinese Bulletin of Entomology, 49(4): 976–979 (in Chinese) [李会, 李杨, 尹淑艳, 孙绪良. 2012. 不同营养源对白蛾周氏啮小蜂主要生物学特性的影响. 应用昆虫学报, 49(4): 976–979]
- Lu YY, Zeng L, Wang L, Xu YJ, Chen KW. 2008. Precaution of solenopsis mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. Journal of Environmental Entomology, 30(4): 386–387 (in Chinese) [陆永跃, 曾玲, 王琳, 许益镬, 陈科伟. 2008. 警惕一种危险性绵粉蚧入侵我国. 环境昆虫学报, 30(4): 386–387]
- Mutitu EK, Garnas JR, Hurley BP, Wingfield MJ, Harney M, Bush SJ, Slippers B. 2013. Biology and rearing of *Cleruchoides noackae* (Hymenoptera: Mymaridae), an egg parasitoid for the biological control of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae). Journal of Economic Entomology, 106 (5): 1979–1985
- Pala VR, Saini RK. 2011. Biology of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae). Journal of Insect Science, 24: 99–101
- Schmale I, Wäckers 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. Biological Control, 21(1): 134–139
- Williams III L, Deschodt P, Pointurier O, Wyckhuys KAG. 2015. Sugar concentration and timing of feeding affect characteristics and survival of a parasitic wasp. Journal of Insect Physiology, 79: 10–18
- Wu HP, Li BP. 2007. Influence of supplementary food on longevity and feeding behavior of *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae). Chinese Journal of Biological Control, 23(2): 184–187 (in Chinese) [伍和平, 李保平. 2007. 补充营养对斑痣悬茧蜂寿命和取食行为的影响. 中国生物防治, 23(2): 184–187]
- Wu SA, Zhang RZ. 2009. A new invasive pest, *Phenacoccus solenopsis*, threatening seriously to cotton production. Chinese Bulletin of Entomology, 46(1): 159–162 (in Chinese) [武三安, 张润志. 2009. 威胁棉花生产的外类入侵新害虫—扶桑绵粉蚧. 昆虫知识, 46(1): 159–162]
- Yao I, Akimoto S. 2002. Flexibility in the composition and concentration of amino acids in honeydew of the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*. Ecological Entomology, 27(6): 745–752
- Zhang J, Huang J, Lü YB. 2014. Effects of host stage of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley on the fitness of the offspring of *Aenasius bambawalei* Hayat. Chinese Journal of Applied Ecology, 25(4): 1151–1155 (in Chinese) [张娟, 黄俊, 吕要斌. 2014. 扶桑绵粉蚧虫态对班氏跳小蜂寄生适合性的影响. 应用生态学报, 25(4): 1151–1155]
- Zhang J, Huang J, Lu YB, Xia TF. 2016. Effects of temperature and host stage on the parasitization rate and offspring sex ratio of *Aenasius bambawalei* Hayat in *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. PeerJ, 4: e1586
- Zhao J, Watson GW, Sun Y, Tan Y, Xiao L, Bai L. 2014. Phenotypic variation and identification of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) in China. Zootaxa, 3802: 109–121
- Zheng XS, Yu XP, Lü ZX, Chen JM, Xu HX. 2003. Effects of different nutritional resources on the longevity and parasitic ability of egg parasitoid *Anagrus nilaparvatae*. Chinese Journal of Applied Ecology, 14(10): 1751–1755 (in Chinese) [郑许松, 俞晓平, 吕仲贤, 陈建明, 徐红星. 2003. 不同营养源对稻虱缨小蜂寿命及寄生能力的影响. 应用生态学报, 14(10): 1751–1755]
- Zhou AM, Lu YY, Zeng L, Xu YJ, Liang GW. 2013. Effect of host plants on honeydew production of an invasive mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). Journal of Insect Behavior, 26: 191–199

(责任编辑:王 璇)