**文章编号**:1001-1498(2016)03-0369-08

# 补充营养对白蜡吉丁肿腿蜂寄生效率和发育进程的影响

魏 可, 王小艺, 杨忠岐*

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,国家林业局森林保护学重点实验室,北京 100091)

**摘要**:[**目的**]为了探明补充营养是否对白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂的寄生效率、生殖能力和寿命有显著影响。[**方法**]本文通过在白蜡吉丁肿腿蜂搜寻到寄主前期为其提供寄主血淋巴和蜂蜜补充营养,调查有前期补充营养经历的肿腿蜂对寄主麻天牛的寄生率、母蜂生殖能力和子代蜂发育进程的变化。同时,给予刚羽化的肿腿蜂雌蜂短期的补充营养的过程,调查其寿命长短的变化情况。[**结果**]研究结果表明,寄主血淋巴和糖类物质均可以作为供肿腿蜂补充营养的潜在食物源。寄生前期取食寄主血淋巴和蜂蜜的肿腿蜂寄生率显著高于前期仅补充蒸馏水的个体。补充营养后可促使寄生蜂卵的成熟,可以使肿腿蜂更快的开始产卵进程。前期取食寄主血淋巴的肿腿蜂生殖能力显著高于寄生前期仅补充蒸馏水的个体,取食蜂蜜的肿腿蜂产卵量较前2组均无显著差异。寄生蜂母蜂是否补充营养对其子代的发育过程和性比无显著影响。此外,生存分析结果表明,刚羽化的肿腿蜂补充营养后,其寿命显著延长。取食寄主血淋巴或蜂蜜的寄生蜂寿命均约为羽化后无营养补充经历雌蜂个体的2倍。[**结论**]以上结果表明,白蜡吉丁肿腿蜂在寄生过程开始前期的补充营养过程可以显著的增强其对寄主害虫的控制作用和延长其寿命。取食蜂蜜或寄主血淋巴对肿腿蜂生殖和寿命的增强作用相近。建议在害虫的生物防治中,可以通过在天敌释放区周边配植一定的蜜源植物以此实现对天敌昆虫资源更有效的利用和保护。

**关键词**:天敌昆虫;白蜡吉丁肿腿蜂;补充营养;寄生率;生殖力;寿命

**中图分类号**:S769 **文献标识码**:A

# Effects of Supplementary Nutrition on Parasitism Ability and Developmental Process of a Gregarious Parasitoid, *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethylidae)

*WEI Ke*, *WANG Xiao-yi*, *YANG Zhong-qi*

(Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract**: [**Objective**] To determine whether the parasitic efficiency, fecundity, and longevity of parasitoid, *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethylidae), would be enhanced by the previous experience with feeding on supplementary nutrition. [**Methods**] The effects of previous feeding experience from host hemolymph or honey on host parasitization, parasitoid fecundity, and offspring lifespan of this species were investigated under laboratory conditions. [**Results**] The results indicated that both host insects and sugar-rich foods could be the potential food resources for parasitoid, *S. pupariae*. The parasitoids fed on host hemolymph or honey had significantly higher parasitism rate on the larvae of host, *Thyestilla gebleri* (Coleoptera: Cerambycidae), than those only fed on distilled wa-

收稿日期: 2016-03-03
基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31370654)
作者简介: 魏 可,男,博士研究生,研究方向为害虫生物防治。E-mail:kewei_entomology@163.com
* 通讯作者:博士,教授,研究方向为害虫生物防治。E-mail:yangzhqi@126.com

ter. The pre-oviposition duration decreased significantly in parasitoid that with the experience of previous nutrition feeding. The parasitoids that previously fed on host hemolymph exhibited more fertile than those only fed on distilled water. Fecundity of parasitoids which fed on honey had insignificant difference compare to the others. However, the immature duration and sex ratio of parasitoids showed no significant difference among the treatments. Survival analysis on this species parasitoid showed that the longevity of newly emerged female parasitoid would be prolongated by the short process of nutritional supplements. The lifespan of parasitoid which fed on host hemolymph or honey were two times as long as that of the parasitoid only fed on distilled water. [**Conclusions**] These findings suggested that the process of nutritional supplements of parasitoid before encountering the hosts is vital. The effects of feeding on host hemolymph or honey on the enhancement of parasitoid activity and longevity are equivalent. Thus, the authors proposed that it could achieve higher efficiency for using and protecting the natural enemy resources by furnishing some flowering plants around the parasitoid release sites in pest biological control programs.

**Keywords**: parasitic insect; *Sclerodermus pupariae*; supplementary nutrition; parasitism rate; fecundity; longevity

许多昆虫成虫羽化后均有补充营养的特性[1-2]。一些昆虫成虫阶段的补充营养过程因为对自身卵巢的发育和寿命的长短起着极为关键的作用,进而会影响到其种群动态[3-6]。对寄生蜂而言,自然界中,能为寄生蜂成蜂提供营养的物质大致分为3种类型[7]。第一类是可直接获取的非寄主类营养,如植物花粉和花蜜[8]。第二类为间接获取的非寄主类营养,主要是一些同翅目昆虫吸食植物汁液后所分泌的含有多种糖类和氨基酸的蜜露[9]。第三类主要是寄主的血淋巴和组织营养[10-11]。前两类物质主要为寄生蜂在未成功找到寄主前提供营养补充,而寄主血淋巴或组织则是为已经成功定位和寄生寄主后的寄生蜂成蜂及其子代提供必要的营养。在复杂的生态系统中,成功的定位和寄生寄主是寄生蜂生殖成功的基础,而要实现对寄主的成功寄生需要寄生蜂拥有较强的生命活力和较长的寿命作为基本保证。因此,在寄生蜂成功搜寻到寄主前能实现有效的营养补充,将极为关键地影响其对害虫的控制效果[5]。

白蜡吉丁肿腿蜂 *Sclerodermus pupariae* 是一种卵育型抑性寄生蜂(synovigenic idiobiont),其最早被发现寄生于白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* 幼虫和蛹上[12]。因其高效的寄主搜寻能力,现已被广泛的用于天牛类和吉丁甲类蛀干害虫的生物防治中[13]。卵育型寄生蜂羽化后需要通过补充营养才能完成卵的发育。在实验室繁蜂过程中我们发现,当接入寄主后,肿腿蜂会首先取食寄主血淋巴补充营养,而后才开始产卵的过程。取食寄主血淋巴后的肿腿蜂体型明显变大,活力增强。然而,我们并不清楚在寄生过程开始前为肿腿蜂提供糖类物质是否会对其生殖和发育过程产生相关的影响。本研究通过为白蜡吉丁肿腿蜂在寄生前期提供寄主和蜂蜜两种营养物质,比较前期的补充营养过程是否会对肿腿蜂的寄生效率、生殖能力和寿命有增强作用。评价均作为一种营养补充物,简单的糖类物质是否和寄主血淋巴一样对肿腿蜂的生殖和发育具有同等的作用。同时拟阐明糖类物质可作为肿腿蜂成虫的一种潜在的营养来源和其在利用寄生蜂为主要媒介的害虫生物防治实践中的重要性。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫与食物

白蜡吉丁肿腿蜂 *S. pupariae* 建群蜂于2014年5月采集自天津市大港区官港森林公园内(38°56′N, 117°29′E)绒毛白蜡 *Fraxinus velutina* 林受害树上的白蜡窄吉丁 *A. planipennis* 蛀道内。寄主昆虫麻天牛 *Thyestilla gebleri* 幼虫由中国林科院森环森保所生物防治实验室提供。供试蜂蜜为中国农业科学院蜜蜂研究所生产的洋槐花蜜,纯蜂蜜直接供试。野外采集的白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂在室内用麻天牛幼虫扩繁6代后供试。

### 1.2 研究方法

1.2.1 补充营养对寄生蜂寄生率和子代羽化率的影响 在扩繁至第6代的白蜡吉丁肿腿蜂种群内随机选择虫龄为5 d的雌蜂300头且随机均分为3组。每一组寄生蜂(100头)置于一个直径为10.0 cm,高度为8.0 cm的具盖透明塑料盒内。在其中一个塑料盒内放入麻天牛幼虫5头(约1.0 g),另一塑料盒底部均匀设置5个涂抹蜂蜜的取食点,蜂蜜合计重量为1.0 g。以仅提供蒸馏水(1.0 g)补充的寄生蜂

作为对照。白蜡吉丁肿腿蜂会在 1 d 内集体攻击寄主,取食寄主血淋巴[14]。提供蜂蜜的试验组寄生蜂同样也成群聚集在取食点取食蜂蜜。寄生蜂自由取食 48 h 后在各组内随机选择雌蜂 45 头,合计 135 头供试。选择体重在 250.0 ± 10.0 mg 的麻天牛幼虫 135 头随机均分为 3 组。将一头天牛幼虫和一头寄生蜂雌蜂置于直径 1.0 cm,高度 5.0 cm 的指形管内,用脱脂棉塞紧指形管口。试验分 3 处理,各重复 45 次。所有供试昆虫均置于 25 ± 1℃,55 ~ 60% RH,LD = 10:14 h 的人工气候箱内培育,记录寄生蜂寄生及其子代发育情况。以寄生蜂雌蜂在天牛虫体产卵记为成功寄生。因天牛幼虫自身的抵御行为而引起的寄生蜂死亡或直至天牛脱水死亡时寄生蜂仍未产卵记作未寄生。被寄生的寄主最终成功繁育出寄生蜂子代记作成功羽化。

1.2.2　*补充营养对寄生蜂产卵前期和产卵量的影响*　白蜡吉丁肿腿蜂作为一种卵育型寄生蜂,其会在接入寄主后的短时间内( <24 h)通过向寄主体内注射毒素麻痹寄主,然后取食寄主血淋巴以完成卵的发育[14]。作为一种抑性外寄生蜂(*idiobiont ectoparasitoid*),白蜡吉丁肿腿蜂将卵产于寄主体表,裸眼条件下可清楚识别寄生蜂卵粒。通过分析寄生蜂的产卵前期可以直观的判定在成功搜寻到寄主之前寄生蜂的生理和营养状况。以 1.2.1 试验中,接入寄生蜂至其产下第一粒卵记作寄生蜂产卵前期。每 12 h 观察一次寄生蜂麻痹寄主和产卵情况。寄生蜂开始产卵后,每 24 h 统计一次产卵数量,直至卵的数量不再增加。所有观察均在 Zeiss 体视显微镜(Zeiss,Stemi 2000 - c)下完成。

1.2.3　*补充营养对寄生蜂子代发育的影响*　在 1.2.2 试验中,以寄生蜂母蜂产第一粒卵至羽化出第一头子代成蜂记作寄生蜂幼期发育历期[15-17]。寄生蜂羽化完成后,统计每个重复的子代总量,以雄性个体占子代数量的百分比作为寄生蜂性比。依据所产卵的数量和最终的子代数量计算寄生蜂卵至成虫的死亡率。

1.2.4　*补充营养对寄生蜂雌蜂寿命的影响*　随机选择扩繁至第 6 代的虫龄为 5 d 的无前期补充营养过程的白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂 10 头,单头接入装有一头麻天牛幼虫(体重:250.0 ± 10.0 mg)的指形管内。待子代蜂羽化后,随机选择刚羽化的雌蜂(1 日龄)90 头均分为 3 组。按照 1.2.1 所述方法,寄生蜂补充营养(或蒸馏水)48 h 后依试验组转移至指形管内(直径 1.0 cm,高 5.0 cm)。供试昆虫置于 25 ± 1° C,55 ~ 60% RH,LD = 10:14 h 的人工气候箱内,每 24 h 记录一次寄生蜂的死亡情况,直至所有供试寄生蜂死亡。

### 1.3　数据分析

$\chi^2$ 检验评价母蜂是否补充营养对其寄生和子代发育成功率的影响。采用单因素方差分析(One-way analysis of variance,ANOVA)比较处理间产卵前期、产卵量、子代数量、子代性比、卵至成虫死亡率和子代雌蜂寿命的差异。其中产卵前期数据采用取平方根正态化后参与分析,子代性比和卵至成虫死亡率数据经反正弦转换正态化后参与分析。采用 Tukey HSD 法比较两者之间的差异。寄生蜂幼期发育时间采用 Kruskal-Wallis 非参数检验比较处理间差异,采用 Dunn 多重比较评价两者之间的差异。用 Kaplan-Meier 生存曲线描述不同处理下寄生蜂雌蜂存活情况。所有数据使用 Spss 20.0 分析完成。

## 2　结果与分析

### 2.1　补充营养对寄生蜂寄生和子代羽化率的影响

结果表明,在实验室条件下白蜡吉丁肿腿蜂补充营养后可显著提高其寄生效率(表 1)。由于天牛幼虫自身的抵御行为,会有部分寄生蜂被天牛咬死的情况发生。当白蜡吉丁肿腿蜂有预先补充营养的过程时,只有少于 10% 的母蜂个体出现死亡,而仅提供蒸馏水的对照组约有 30% 的母蜂个体因为天牛幼虫抵御行为而死亡($\chi^2$ 检验:$\chi^2 = 7.51$, $df = 2$, $P = 0.023$)(表 1)。在肿腿蜂取食寄主血淋巴或者蜂蜜后,可以明显观察到其腹部变长和变大,而仅取食蒸馏水的对照组母蜂体型无显著的变化。一旦白蜡吉丁肿腿蜂成功寄生天牛幼虫,子代可成功完成发育的比例均超过 95%,处理间无显著差异($\chi^2$ 检验:$\chi^2 = 1.95$, $df = 2$, $P = 0.377$)(表 1)。

### 2.2　补充营养对寄生蜂产卵前期和产卵量的影响

有前期补充营养经历的白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂其产卵前期较无前期补充营养经历的雌蜂显著缩短(ANOVA:$F = 27.53$, $df = 2, 109$, $P < 0.001$)(图 1a)。提供寄主或蜂蜜补充营养的试验组母蜂仅需 5 d 左右便可以完成寄主处理(麻痹寄主)和卵成熟过程进而开始产卵,而仅补充蒸馏水的试验组母蜂完成同一过程需要耗费 8 d 以上。提供寄主或蜂蜜供白蜡吉丁肿腿蜂母蜂取食的试验组寄生蜂产卵前期无显著差异(ANOVA:$F = 0.81$, $df = 1.78$, $P = 0.370$)

**表 1 补充营养对白蜡吉丁肿腿蜂寄生率和羽化率的影响**

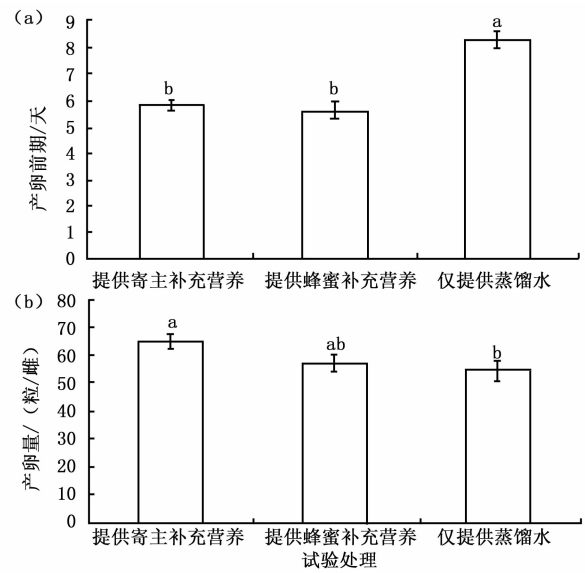
| 试验处理 | 重复数 | 寄主非寄生性死亡数量 | 成功寄生数量 | 寄生率/% | 成功羽化的数量 | 羽化率/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 提供寄主补充营养 | 45 | 0 | 41 | 91.11 a | 41 | 100.00 a |
| 提供蜂蜜补充营养 | 45 | 0 | 41 | 91.11 a | 39 | 95.12 a |
| 仅提供蒸馏水 | 45 | 0 | 33 | 73.33 b | 32 | 96.97 a |
| $\chi^2$ | - | - | - | 7.51 | - | 1.95 |
| $P$ | / | / | / | 0.023 | / | 0.377 |

同一列数据不同字母表示差异显著($\chi^2$ 检验,$P<0.05$)

(图 1a)。在一次产卵过程中,前期有取食寄主血淋巴的白蜡吉丁肿腿蜂产卵量显著高于无前期补充营养经历的雌蜂个体,而前期取食蜂蜜的肿腿蜂雌蜂产卵量较之其余 2 组均差异不显著(ANOVA:$F=3.22$,$df=2,109$,$P=0.044$)(图 1b)。

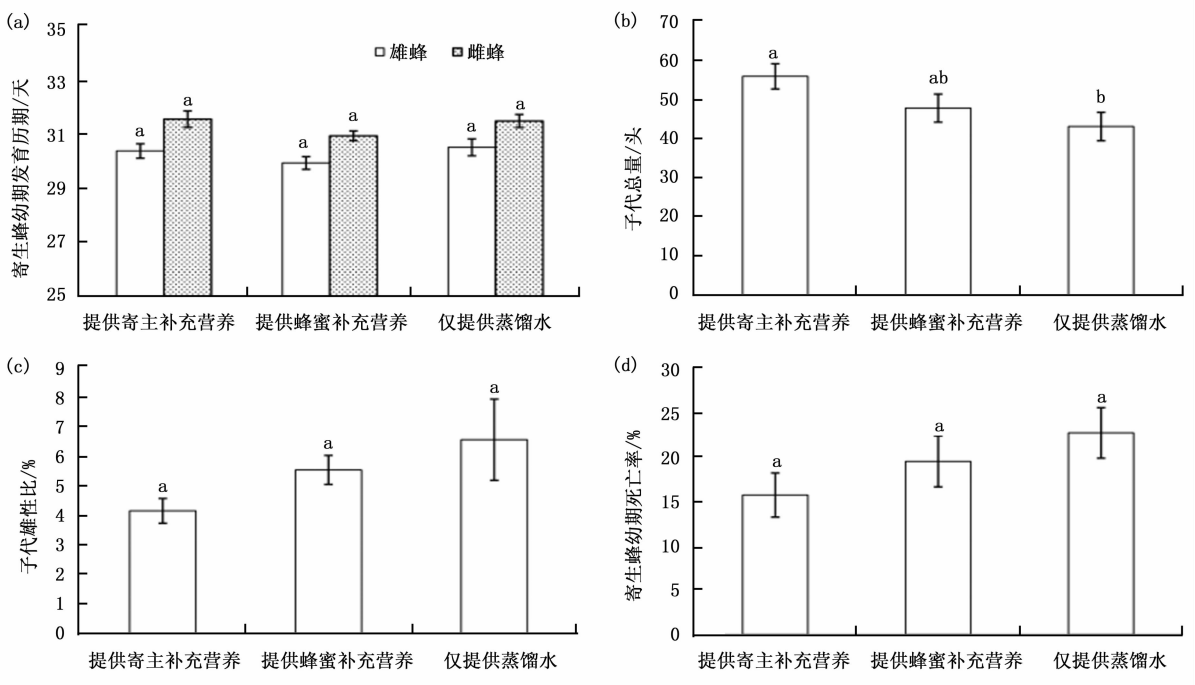
### 2.3 补充营养对寄生蜂子代发育的影响

无论白蜡吉丁肿腿蜂母蜂有无前期补充营养经历其子代发育进度基本一致,处理间无显著差异(Kruskal-Wallis 检验:$H=2.68$,$df=2$,$P=0.262$,雄蜂;$H=2.90$,$df=2$,$P=0.234$,雌蜂)。所有试验组子代雌蜂发育进度较雄蜂均有 1 d 左右的延迟(图 2a)。处理间肿腿蜂子代数量差异跟产卵量差异结果一致,以前期取食寄主血淋巴的母蜂子代数量最高(ANOVA:$F=3.44$,$df=2,109$,$P=0.036$),取食蜂蜜的母蜂子代数量较其余 2 组差异均不显著(图 2b)。白蜡吉丁肿腿蜂子代个体中以雌性占绝对的主导地位(extremely female-biased),每一窝后代仅有




图中数据为平均值 ± 标准误,处理间柱顶的不同字母表示差异显著(Tukey HSD 检验,$P<0.05$)。

图 1 白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂前期补充营养经历对其产卵前期(a)和产卵量(b)的影响




(a)肿腿蜂幼期发育时间;(b)子代数量;(c)子代性比;(d)肿腿蜂幼期死亡率。图中数据为平均值 ± 标准误;(a)处理间同一颜色柱顶相同字母表示差异不显著(Dunn 检验,$P>0.05$);(b,c,d)处理间柱顶的不同字母表示差异显著(Tukey HSD 检验,$P<0.05$)。

图 2 白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂前期补充营养经历对其子代发育的影响

极少数的雄性个体被产出(提供寄主组:2.12 ± 0.19 头;提供蜂蜜组:2.23 ± 0.16 头;提供蒸馏水组:1.94 ± 0.23 头)。前期的补充营养经历对白蜡吉丁肿腿蜂子代雄性比例无显著影响(ANOVA:$F$ = 2.49,$df$ = 2,109,$P$ = 0.087)(图 2c)。此外,前期的补充营养经历对白蜡吉丁肿腿蜂子代幼期死亡率同样也无显著的影响(ANOVA:$F$ = 2.61,$df$ = 2,109,$P$ = 0.078)(图 2d)。

### 2.4　补充营养对寄生蜂雌蜂寿命的影响

生存分析结果表明,白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂羽化后是否补充营养对其生存情况有显著影响($\chi^2$ 检验:$\chi^2$ = 106.18,$df$ = 2,$P$ < 0.001)。提供寄主或蜂蜜供白蜡吉丁肿腿蜂取食后,雌蜂个体在羽化 60 d 后存活率出现急剧下降。而无补充营养经历的雌蜂个体在其羽化 30 d 后存活率便出现急剧的下降(图 3)。对 3 组雌蜂寿命统计表明,刚羽化的雌蜂补充一定的营养物质可以显著的延长其寿命(ANOVA:$F$ = 89.86,$df$ = 2,87,$P$ < 0.001)。取食寄主或蜂蜜的寄生蜂雌蜂寿命约为无补充营养经历雌蜂个体的 2 倍(图 4)。

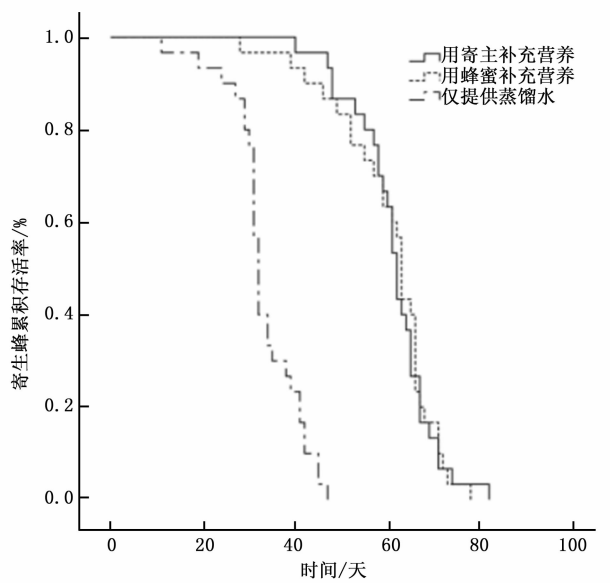
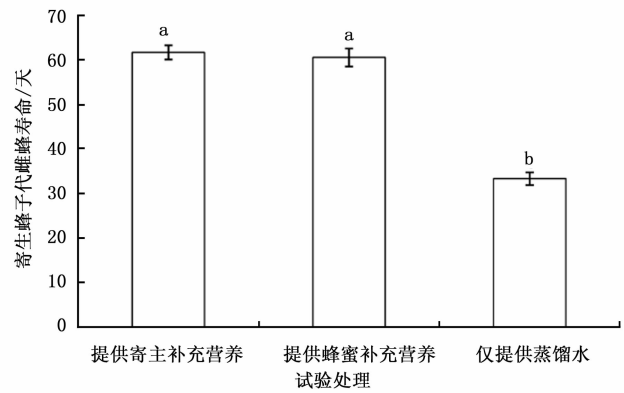



图 3　补充营养对白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂生存影响的 Kaplan-Meier 生存曲线

## 3　讨论

寄生蜂的生理状况是影响生物防治效果最直接的因子之一[18-19]。通常,一次成功的寄生过程包括寄主栖境定位、寄主定位、寄主接受、寄主适应和寄主调节 5 个阶段[20-22]。在异质环境中,寄主栖境和




图中数据为平均值 ± 标准误,处理间柱顶的不同字母表示差异显著(Tukey HSD 检验,$P$ < 0.05)

图 4　补充营养对白蜡吉丁肿腿蜂寿命的影响

寄主的成功定位往往需要寄生蜂飞行(或爬行)更远的距离进而消耗掉较多的能量[23]。对抑性寄生蜂而言,在产卵前需要向寄主体内注射毒素麻痹寄主,制服寄主的过程寄生蜂会由于寄主的抵御行为面临极高的死亡率;此外,寄生蜂毒素本身也是依靠机体能量合成的[17]。因此,寄生蜂在成功寄生寄主前将会面临巨大的能量消耗,适当的提供营养物质补充将会提高寄生蜂对寄主害虫的寄生作用。本研究表明,在接入寄主前期有补充营养经历的白蜡吉丁肿腿蜂对寄主麻天牛的寄生率显著高于无前期补充营养经历的寄生蜂个体。并且,仅提供蜂蜜供白蜡吉丁肿腿蜂取食也同样可以增加寄生蜂个体的活力,进而表现在对寄主有更强的寄生能力。在实验室繁殖寄生蜂过程中,对寄生蜂而言寄主均是可直接获得,由于寄生蜂自身能量消耗过大且得不到及时补充而引起的寄生效率降低发生的概率较低。但对于林间环境来说,在成功搜寻到寄主前有效的营养补充对于寄生蜂成功寄生寄主害虫而言是十分必要的。我们以前认为对白蜡吉丁肿腿蜂这类需要通过取食寄主血淋巴来补充营养的寄生蜂而言,简单的碳水化合物不能为其提供营养补充。但试验结果表明,取食寄主血淋巴和取食蜂蜜的肿腿蜂在对寄主害虫的寄生效率上无显著差异,表明了即便是诸如花蜜一类的物质仍然可以为其发育提供必需的营养。已有大量的研究证明,寄生蜂取食“非寄主类食物”后可以获得营养补充而增加其活力[24-27]。在林间,潜在的可供寄生蜂取食的“非寄主类食物”主要包括花蜜、花粉和一些同翅目昆虫分泌的蜜露[9,25,28-29]。其中花蜜和昆虫蜜露主要提供机体发育所需的碳水化合物[30],而花粉确可以确保寄生

蜂所需的一些蛋白质、矿物质和维生素得以供应[31]。因此,在害虫的生物防治实践中,我们认为在寄生蜂被释放于林间前提供一定的糖类物质对防治效率可起到一定的促进作用。

寄生蜂的生殖能力往往由其成虫阶段可获得的营养物质条件(质量和数量)决定[32-33]。对卵育型寄生蜂而言,刚羽化的寄生蜂需要通过补充营养而完成卵的发育和成熟[34]。充足的营养补充可以确保寄生蜂卵的发育进度。此外,有研究表明在食物短缺的条件下寄生蜂可能会通过自吸收卵巢内已经成熟的卵,以此来确保自身的存活和随之的寄主搜索过程的成功,而这种情况势必会降低寄生蜂的生殖适应性[35]。试验中,白蜡吉丁肿腿蜂补充营养后其产卵前期明显缩短,表明前期的补充营养过程为其卵的发育提供了充足的保障。在更短的时间内完成产卵,对寄生蜂而言便意味着可以在有限的生命周期内实现对寄主的多轮搜索和寄生。在接入寄主前有前期补充营养的白蜡吉丁肿腿蜂生殖力(产卵量和子代数量)均较无前期补充营养经历的个体高。我们认为,对3组肿腿蜂在它们产卵前都通过麻痹寄主而取食了寄主血淋巴,即意味着它们均获得了充足的营养补充,但是有前期补充营养过程的肿腿蜂在接入寄主时活力更强,这就意味着在麻痹寄主过程中能量消耗的相对值较低。无前期营养补充的肿腿蜂接入寄主后,在麻痹寄主的过程中付出能量消耗相对更多,因此造成了其产卵量有一定程度的降低。

白蜡吉丁肿腿蜂幼期发育历期与母蜂是否有前期补充营养过程无关。在环境条件一致的前提下,寄生蜂子代的发育时间往往是由子代可获得的净营养水平决定的。当营养不足时,子代蜂选择尽快的完成发育而拥有对未来食物资源的优先利用权利。而当供发育的营养充足时,子代蜂往往选择较为缓慢的发育进度以此来获得更大的个体质量从而提升自身生理和生态适合度[16]。试验中,所提供的麻天牛幼虫可以提供足够的供白蜡吉丁肿腿蜂子代发育所需的营养,因此其子代发育历期在处理间差异不显著。白蜡吉丁肿腿蜂子代性比在试验组间也无显著差异。前期研究结果表明,当一头肿腿蜂寄生一头寄主时,所获得的子代雄蜂数量均很少;而只有当多头肿腿蜂雌蜂同时寄生一头寄主时,此时子代间存在营养竞争,母蜂选择较多的生产所需营养更少的雄蜂和其余母蜂所生产的雌性个体交配以此提升生殖适合度[17]。白蜡吉丁肿腿蜂母蜂是否补充营养对肿腿蜂幼期死亡率无显著影响,表明一旦肿腿蜂成功寄生寄主后其所生产的卵的质量基本一致。

寄生蜂的寿命长短是其能在复杂的环境中搜索定位到寄主的一个关键因子。林间环境越复杂,就需要寄生蜂拥有更长的生命周期以此才能完成寄生和生殖过程。补充营养物质可显著延长寄生蜂的寿命的研究屡见于美国白蛾 *Hyphantria cunea* 寄生性天敌昆虫白蛾周氏啮小蜂 *Chouioia cunea*[36] 和农业生产中多种寄生蜂,如欧洲玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma nubilale*[37]、斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis*[7] 和切割潜蝇茧蜂 *Psyttalia incisi*[38]。在实验室繁殖肿腿蜂过程中,刚羽化的肿腿蜂若不需要立即用于林业生产通常是置于10℃人工气候箱内保存,雌蜂可存活约100 d左右。但是,当肿腿蜂释放于林间后,其在自然环境中的寿命长短便是生物防治效率的关键因子。对白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂生存分析结果表明,刚羽化的肿腿蜂补充营养后其寿命是无补充营养经历的个体的2倍,取食蜂蜜的雌蜂个体寿命和取食寄主血淋巴的雌蜂个体无显著差异。表明了白蜡吉丁肿腿蜂补充营养对延长其寿命的决定作用。

白蜡吉丁肿腿蜂因其较强的寄主搜索能力[39-42]和耐低温能力[43]已经被广泛的应用于我国天牛类和吉丁甲类蛀干害虫的生物防治中[13,44]。本研究结果认为,肿腿蜂寄生前期补充营养的过程可显著提升其对寄主害虫的控制作用。同时补充营养后的肿腿蜂寿命也显著延长。在生产中,用寄主昆虫作为寄生蜂前期补充营养的食物源较难操作。首先,寄主幼虫需从林间采集,增加了生产成本;其次,若直接提供寄主供肿腿蜂取食,肿腿蜂取食寄主4 d左右同样会在供取食的寄主上产卵,这样造成了在释放天敌过程中新生产的子代蜂还未完成发育便被置于林间,造成资源浪费。寄生过程完成前期取食蜂蜜的肿腿蜂在寄生效率、生殖能力和寿命上较取食寄主血淋巴的寄生蜂个体无显著差异,表明了取食糖类物质同样对肿腿蜂的生殖和发育有利。在实际生产中,我们可以通过在释放天敌区域周边配植适量的蜜源植物供寄生蜂在成功搜寻到寄主前补充营养,以此来提升其在林间的存活时间和对寄主的寄生能力。事实上,在生物防治实践中,通过在防治区域配植蜜源植物以增强寄生蜂对害虫的控制效果的报道屡见不鲜,并且已经成为了天敌资源利用

与保护的重要手段之一[5, 9, 45-46]。蜜源植物不仅可以为林间现存的寄生蜂提供营养补充,同时也可以起到招引寄生蜂的作用。在一些集约化程度较高的园林苗圃和平原人工林,配植蜜源植物相对简单。因此,可以利用寄生蜂的这一生理学特性,通过合理的搭配植物来提升寄生蜂在害虫生物防治中的效率。

## 4　结论

(1)白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂在寄生过程开始前期的补充营养经历可显著提高其对寄主害虫的控制效率。

(2)有补充营养经历的白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂可以更早的开始产卵,并且单次产卵数量较前期无营养补充经历的雌蜂更高,且最终繁殖得到的子代成蜂数量也更多。

(3)新羽化的白蜡吉丁肿腿蜂雌蜂即使只获得短期的补充营养经历,也可以显著延长其寿命。获得营养补充的寄生蜂个体平均寿命是无营养补充经历个体的两倍。

(4)寄主血淋巴组织和普通糖类物质均作为一种可供白蜡吉丁肿腿蜂成蜂取食的营养物质,后者对寄生蜂的生殖促进和寿命延长作用较前者并无显著差异。因此建议可通过在开展生物防治的地区适当配置蜜源植物为寄生蜂非寄生状态下提供营养补充,以此实现天敌资源更佳的保护与利用。

**参考文献:**


[1] House H L. Nutrition. [M]//M. Rockstein. The Physiology of Insecta, Vol. V Academic Press, New York, 1974, 1-62

[2] Chapman R F. The Insects: Structure and Function [M]. Cambridge University Press, Cambridge, 1988.

[3] Murphy D D, Launer A E, Ehrlich P R. The role of adult feeding in egg production and population dynamics of the checkerspot butterfly *Euphydryas editha* [J]. Oecologia, 1983, 56(2): 257-263.

[4] 林长春, 陆　高, 周成枚, 等. 补充营养材料对松褐天牛成虫存活期的影响 [J]. 林业科学研究, 2003, 16(1): 69-74.

[5] Lu Z X, Zhu P Y, Gurr G M, *et al.* Mechanisms for flowering plants to benefit arthropod natural enemies of insect pests: Prospects for enhanced use in agriculture [J]. Insect Science, 2014, 21(1): 1-12.

[6] 郑雅楠, 唐艳龙, 杨忠岐, 等. 栗山天牛成虫补充营养方式及所取食的寄主树液中的主要化学成分 [J]. 林业科学, 2014, 50(12): 156-160.

[7] 伍和平, 李保平. 补充营养对斑痣悬茧蜂寿命和取食行为的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2007, 23(2), 184-187.

[8] Wäckers F L. Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food sources: flower attractiveness and nectar accessibility [J]. Biological Control, 2004, 29(3): 307-314.

[9] Wäckers F L, Van Rijn P C, Heimpel G. E. Honeydew as a food source for natural enemies: making the best of a bad meal? [J]. Biological Control, 2008, 45(2): 176-184.

[10] Kidd N A C, Jervis M A. Host-feeding and oviposition strategies of parasitoids in relation to host stage [J]. Researches on Population Ecology, 1991, 33(1): 13-28.

[11] Kidd N A C, Jervis M A. Host-feeding and oviposition by parasitoids in relation to host stage: consequences for parasitoid-host population dynamics [J]. Researches on Population Ecology, 1991, 33(1): 87-99.

[12] Yang Z Q, Wang X Y, Yao Y X, *et al.* A new species of *Sclerodermus* (Hymenoptera: Bethylidae) parasitizing *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) from China, with a key to Chinese species in the genus [J]. Annals of Entomological Society of America, 2012, 105(5): 619-627.

[13] Yang Z Q, Wang X Y, Zhang Y N. Recent advances in biological control of important native and invasive forest pests in China [J]. Biological Control, 2014, 68: 117-128.

[14] Gao S K, Wei K, Tang Y L, *et al.* Effect of parasitoid density on the timing of parasitism and development duration of progeny in *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethylidae) [J]. Biological Control, 2016, 97(6): 57-62.

[15] Harvey J A, Bezemer T M, Elzinga J A, *et al.* Development of the solitary endoparasitoid *Microplitis demolitor*: host quality does not increase with host age and size [J]. Ecological Entomology, 2004, 29(1): 35-43.

[16] Barrette M, Wu G M, Brodeur J, *et al.* Testing competing measures of profitability for mobile resources [J]. Oecologia, 2009, 158(4): 757-764.

[17] Wei K, Tang Y L, Wang X Y, *et al.* The developmental strategies and related profitability of an idiobiont ectoparasitoid *Sclerodermus pupariae* vary with host size [J]. Ecological Entomology, 2014, 39(1): 101-108.

[18] Chambers D L. Quality control in mass rearing [J]. Annual Review of Entomology, 1977, 22, 289-308.

[19] Godfray H C J. Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1994.

[20] Vinson S B. Host seclection by insect parasitoids. Annual Review of Entomology, 1976, 21, 109-133.

[21] Vinson S B. The Behavior of Parasitoids[M]//G. A. Kerkut and L. I. Gilbert. Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Physiology. Pergamon Press, New York, 1985, 417-469.

[22] Quicke D L J. Parasitic Wasps[M]. Chapman & Hall, London, 1997, 256-266.

[23] Roland J, Taylor P D. Insect parasitoid species respond to forest structure at different spatial scales [J]. Nature, 1997, 386(6626): 710-713.

[24] Ouyang Y, Grafton-Cardwell E E, Bugg R L. Effects of various pollens on development, survivorship, and reproduction of *Euseius*

tularensis (Acari: Phytoseiidae) [J]. Environmental Entomology, 1992, 21(6): 1371 - 1376.

[25] Jervis M A, Kidd N A C, Fitton M G, *et al.* Flower-visiting by hymenopteran parasitoids [J]. Journal of Natural History, 1993, 27(1): 67 - 105.

[26] Patt J M, Wainright S C, Hamilton G C, *et al.* Assimilation of carbon and nitrogen from pollen and nectar by a predaceous larva and its effects on growth and development [J]. Ecological Entomology, 2003, 28(6): 717 - 728.

[27] Röse U S R, Lewis J, Tumlinson J H. Extrafloral nectar from cotton (*Gossypium hirsutum*) as a food source for parasitic wasps [J]. Functional Ecology, 2006, 20(1): 67 - 74.

[28] Rogers C E. Extrafloral nectar: entomological implications [J]. Bulletin of the Entomological Society of America, 1985, 31(3): 15 - 20.

[29] Hagen K S. Ecosystem analysis: plant cultivars (HPR), entomophagous species and food supplements[M]//D. J. Boethel and R. D. Eikenbary. Interactions of Plant Resistance and Parasitoids and Predator of Insects. Ellis Horwood Limited Press, West Sussex, 1986, 151 - 197.

[30] Jonsson M, Wratten S D, Robinson K A, *et al.* The impact of floral resources and omnivory on a four trophic level food web [J]. Bulletin of Entomological Research, 2009, 99(3): 275 - 285.

[31] Mitsunaga T, Shimoda T, Yano E. Influence of food supply on longevity and parasitization ability of a larval endoparasitoid, *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 2004, 39(4): 691 - 697.

[32] Jervis M A, Lee J C, Heimpel G E. Use of behavioural and life-history studies to understand the effects of habitat manipulation [M]//G. M. Gurr, S. D. Wratten and M. A. Altieri. Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods . CSRIO Publishing, Melbourne, 2004, pp 65 - 100.

[33] Mitsunaga T, Mukawa S, Shimoda T, *et al.* The influence of food supply on the parasitoid against *Plutella xylostella L.* (Lepidoptera: Yponomeutidae) on the longevity and fecundity of the pea leafminer, *Chromatomyia horticola* (Goureau) (Diptera: Agromyzidae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 2006, 41(2): 277 - 285.

[34] Flanders S E. Regulation of ovulation and egg disposal in the parasitic Hymenoptera [J]. The Canadian Entomologist, 1950, 82(6): 134 - 140.

[35] Rivero A, Casas J. Incorporating physiology into parasitoid behavioral ecology: the allocation of nutritional resources [J]. Researches on Population Ecology, 1999, 41(1):39 - 45.

[36] 邱 燕, 李保平, 孟 玲, 等. 温度, 补充营养和体型大小对白蛾周氏啮小蜂成虫寿命的影响 [J]. 林业科学研究, 2015, 28(3): 443 - 446.

[37] Olson D M, Andow D A. Larval crowding and adult nutrition effects on longevity and fecundity of female *Trichogramma nubilale* Ertle & Davis (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. Environmental Entomology, 1998, 27(2): 508 - 514.

[38] 梁光红, 陈家骅, 黄居昌. 补充营养对切割潜蝇茧蜂的生长发育与繁殖的影响 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2007, 36(1): 12 - 15.

[39] 武 辉, 王小艺, 李孟楼, 等. 白蜡吉丁肿腿蜂的生物学和生态学特性及繁殖技术研究 [J]. 昆虫学报, 2008, 51(1): 46 - 54.

[40] 王小艺, 杨忠岐, 唐艳龙, 等. 白蜡吉丁肿腿蜂对栗山天牛低龄幼虫的寄生作用 [J]. 昆虫学报, 2010, 53(6): 675 - 682.

[41] 王晓红, 杨忠岐, 唐艳龙, 等. 两种肿腿蜂对锈色粒肩天牛虫粪及其寄主植物气味的学习行为 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33(3): 357 - 363.

[42] Wei K, Tang Y L, Wang X Y, *et al.* Effects of learning experience on behaviour of the generalist parasitoid *Sclerodermus pupariae* to novel hosts [J]. Journal of Applied Entomology, 2013, 137(6): 469 - 475.

[43] 唐艳龙, 王小艺, 杨忠岐, 等. 白蜡吉丁肿腿蜂过冷却点和其防治栗山天牛幼龄幼虫研究 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(3): 293 - 299.

[44] 陈晶晶, 岳朝阳, 张新平, 等. 两种肿腿蜂对杨十斑吉丁幼虫寄生能力的研究 [J]. 新疆农业科学, 2013, 50(8): 1494 - 1500.

[45] Winkler K, Wäckers F, Bukovinszkine-Kiss G, *et al.* Sugar resources are vital for *Diadegma semiclausum* fecundity under field conditions [J]. Basic and Applied Ecology, 2006, 7(2): 133 - 140.

[46] Gurr G M, Liu J, Read D M, *et al.* Parasitoids of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering [J]. Annals of Applied Biology, 2011, 158(2): 149 - 176.

(责任编辑:崔 贝)