

文章编号:1001-1498(2015)03-0443-04

## 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\*

邱燕<sup>1</sup>, 李保平<sup>1</sup>, 孟玲<sup>1\*\*</sup>, 闫家河<sup>2</sup>, 杨启萌<sup>2</sup>, 刘芹<sup>2</sup>, 徐福元<sup>3</sup>

(1. 南京农业大学植物保护学院/农作物生物灾害综合治理教育部重点实验室, 江苏南京 210095; 2. 山东省济南市商河县森林保护试验站, 山东商河 251600; 3. 江苏省林业科学研究院森林保护研究所, 江苏南京 211153)

关键词: 白蛾周氏啮小蜂; 生活史特征; 存活; 美国白蛾; 生物防治

中图分类号: S763.3、S476.3

文献标识码: A

### Effects of Temperature, Supplementary Food and Body Size on Longevity of *Chouioia cunea* (Hymenoptera: Eulophidae)

QIU Yan<sup>1</sup>, LI Bao-ping<sup>1</sup>, MENG Ling<sup>1</sup>, YAN Jia-he<sup>2</sup>, YANG Qi-meng<sup>2</sup>, LIU Qin<sup>2</sup>, XU Fu-yuan<sup>3</sup>

(1. College of Plant Protection/Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Pests of Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China; 2. Shanghe Forest Protection Service, Shanghe 215600, Shandong, China; 3. Institute of Forest Protection, Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, Jiangsu, China)

**Abstract:** To provide data for effective mass-production of the parasitoid *Chouioia cunea* Yang, an effective biological control agent widely used in the control of the alien invasive caterpillar pest *Hyphantria cunea* (Drury) in China, a factorial combination of wasp body size (2 levels), supplementary food (2 levels) and temperature (3 levels) treatments was manipulated in the laboratory trial to examine the survival of the adult parasitoids. By survival analysis, a significant interactive effect of the three factors on the survivorship of adults was found. The adult survival probability varied among temperature treatments under different treatment combinations of body size and food, decreasing with the increasing temperature. The longevity of adults differed significantly with temperature under different combination treatments of food and body size, being longer at 20°C than at 25°C, and the shortest was at the temperature of 30°C. The results of this study suggest that the interaction of temperature, supplementary food and female body size could affect the longevity of *C. cunea*.

**Key words:** *Chouioia cunea*; life history; survival; *Hyphantria cunea*; biological control

寄生蜂成虫能否找到并寄生足够的寄主,是实现其最大生殖力的重要限制性因素之一<sup>[1]</sup>,该因素与寿命直接相关,故寿命在进化中受到较大的自然选择压力,从而成为寄生蜂重要的适应性特征之一<sup>[2]</sup>;在害虫生物防治实践中,寿命是决定寄生蜂控制寄主害虫能力的重要参数,是常用的评价天敌

昆虫品质的生物学特性之一<sup>[3]</sup>。寄生蜂的寿命长短除了与生活史进化有关外,还受若干生态因素的影响,包括生物和非生物因素<sup>[2]</sup>。这些因素不仅直接、而且可能间接影响寄生蜂的寿命。但以往的研究往往关注单一因素的直接影响,而忽视因素之间互作对寄生蜂寿命的间接影响。

收稿日期: 2014-08-29

基金项目: 江苏省林业三新工程(lysx[2014]17);国家公益性行业(农业)专项(201103002)

作者简介: 邱燕,硕士研究生,主要研究方向:害虫生物防治。E-mail:2012102096@njau.edu.cn

\* 致谢:感谢山东省济南市商河县林业局森保站卢玲玲、王晶、王涛、王文亮在试验中给予的帮助。

\*\* 通讯作者:教授,主要研究方向:主要从事昆虫生态学、害虫和杂草生物防治的研究,E-mail:ml@njau.edu.cn

白蛾周氏啮小蜂 (*Chouioia cunea* Yang) 是我国重要检疫性林业害虫美国白蛾 (*Hyphantria cunea*) 的重要天敌<sup>[4]</sup>, 迄今, 通过室内规模化繁殖和淹没式释放, 已成功用于美国白蛾的生物防治<sup>[5-7]</sup>。在室内繁蜂中, 由于实现潜在生殖力通常是寿命的函数, 故延长成蜂寿命就成为大规模繁蜂的重要目标之一。此前对周氏啮小蜂生物学的研究表明, 补充营养可延长成蜂寿命, 而升高温度可缩短其寿命<sup>[6,8]</sup>。但不清楚两因素之间是否互作而间接影响周氏啮小蜂成虫的寿命, 更不清楚这些因素与雌蜂体型大小是否存在互作而影响其寿命。

本研究采用因子设计, 观察雌蜂大小、补充营养和温度等三因素是否通过互作而间接影响白蛾周氏啮小蜂成虫的寿命。研究结果将为室内大规模高效繁殖白蛾周氏啮小蜂实践提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

柞蚕 (*Antheraea pernyi*) 蛹是繁殖白蛾周氏啮小蜂的优质替代寄主, 近几年广泛应用于大规模量化生产<sup>[9]</sup>, 故本研究以柞蚕蛹为寄主, 该蛹购自吉林省, 在实验室中置于  $-2^{\circ}\text{C}$  的低温冷库中保存, 采用“三刀削茧法”得到健康的柞蚕蛹<sup>[8]</sup>。实验所用蜂来自长期室内繁蜂, 每年用美国白蛾复壮<sup>[10]</sup>。试验研究于 2013 年在山东省济南市商河县森保站进行。

### 1.2 试验方法

采用因子设计方法, 设置雌蜂体型大小 (2 水平)、补充营养 (2 水平) 和温度 (3 水平) 等 3 因素处理组合 (12 个处理)。由于周氏啮小蜂体型大小差异明显, 将雌蜂体型大小分为 2 个处理水平: 大体型雌蜂后足胫节长度为  $0.618 \pm 0.020$  mm (标准差), 小体型雌蜂为  $0.438 \pm 0.022$  mm; 补充营养设 2 个处理水平: 清水和 10% 蜂蜜液 (蜂蜜购自超市); 温度设 3 个处理水平:  $20^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}$  和  $30^{\circ}\text{C}$ , 在人工气候箱中设置。选择体重接近的柞蚕蛹 (变异范围  $\pm 0.05$  g), 将 1 头柞蚕蛹放入试管 (直径  $3.0 \times 18$  cm) 中, 然后接入 24 h 内羽化的雌蜂 20 头, 用棉线蘸取补充营养的蜂蜜液 (补充营养处理) 或清水放在试管中供寄生蜂吸食, 为保证足量提供, 每天上、下午更换棉线。在人工气候箱内设置 14:8 (光照: 黑暗) 的长日照光周期, 不控制湿度 (r. h.  $\approx 60\%$ )。每 24 h 观察 1 次记录寄生蜂

死亡数。每处理重复 15 次。

### 1.3 数据分析

鉴于 Weibull 分布型可较好地拟合生存数据, 采用基于 Weibull 分布型的生存回归模型分析雌蜂体型大小、补充营养和温度等因素对成蜂随时间的存活概率的影响, 用 Kaplan-Meier 生存曲线分别描述在不同因素处理组合下的成蜂存活曲线。当发现三因素之间存在显著互作影响时, 用单因素方差分析和 TukeyHSD 多重比较测验, 探究寿命在不同体型大小与补充营养处理组合下的不同温度处理之间的差异, 分析前寿命数据用对数转换, 以满足正态分布和方差整齐假定要求。数据分析用 R 统计软件<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

生存回归模型分析表明, 雌蜂体型大小、补充营养和温度之间互作显著影响周氏啮小蜂成虫随时间的存活概率 (表 1)。在不同雌蜂体型大小与补充营养组合处理下, 周氏啮小蜂成虫存活概率随时间的变化趋势受温度的显著影响 (卡方测验,  $P < 0.001$ ), 温度越高, 成虫寿命下降越早; 取食蜂蜜液的成蜂存活概率在羽化 15 d 后开始陡降, 而未取食蜂蜜液的成蜂存活概率在羽化 13 d 后开始陡降 (图 1)。

表 1 拟合生存回归模型的偏差分析表\*

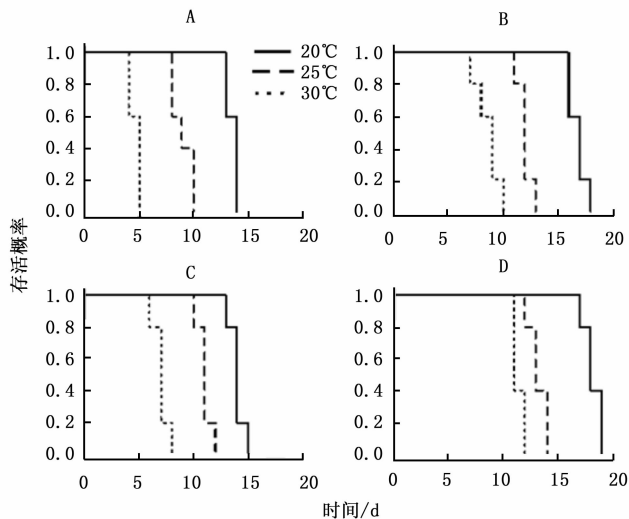
变量	似然比 $\chi^2$	自由度	P
雌蜂体型大小	33.25	1	<0.001
温度	117.06	2	<0.001
补充营养	71.57	1	<0.001
雌蜂体型大小 × 补充营养	4.23	2	0.04
雌蜂体型大小 × 温度	28.70	2	<0.001
补充营养 × 温度	43.71	2	<0.001
雌蜂体型大小 × 补充营养 × 温度	9.15	2	0.01

\* 模型拟合表现: Weibull 分布型; 对数似然值: 模型 =  $-67.8$ ; 仅截距 =  $-165$ ;  $\chi^2 = 194.35$ , 自由度 = 11,  $P < 0.001$ 。

周氏啮小蜂成虫寿命在不同体型与补充营养因素组合处理下的不同温度处理之间均存在显著差异 ( $P < 0.001$ ),  $20^{\circ}\text{C}$  下的成蜂寿命显著大于  $25^{\circ}\text{C}$  处理, 后者显著大于  $30^{\circ}\text{C}$  处理 (图 2)。

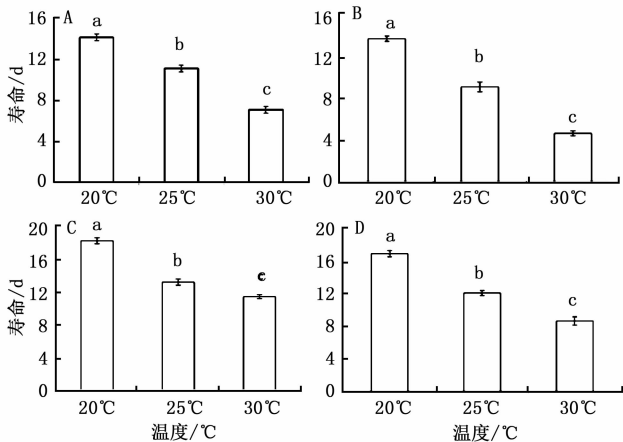
## 3 结论与讨论

本研究表明, 雌蜂大小、补充营养和温度等 3 因素互作显著影响白蛾周氏啮小蜂成虫随时间的存活概率和寿命。研究结果说明, 在影响成虫寿命的三个因素中, 温度和补充营养是影响成蜂寿命的重要因素, 雌蜂体型大小的影响较小。所以, 较低温度和



A:雌蜂体型小 + 清水;B:雌蜂体型小 + 10%蜂蜜液; C:雌蜂体型大 + 清水;D:雌蜂体型大 + 10%蜂蜜液

图1 雌蜂体型大小、温度和补充营养对白蛾周氏啮小蜂成虫存活影响的 Kaplan-Meier 生存曲线



A:清水 + 雌蜂体型大;B:清水 + 雌蜂体型小;C:10%蜂蜜液 + 雌蜂体型大;D:10%蜂蜜液 + 雌蜂体型小. 图柱上的短柄代表标准误. 不同小写字母表示差异显著 (TukeyHSD 测验,  $P < 0.05$ )

图2 补充营养、温度和雌蜂体型大小对白蛾周氏啮小蜂成虫寿命的影响

表2 补充营养、温度和雌蜂体型大小对白蛾周氏啮小蜂成虫寿命的影响

营养	体型	20℃		25℃		30℃	
		均值	标准误	均值	标准误	均值	标准误
CK	体型大	14	0.32	11	0.32	7	0.32
	体型小	13.6	0.25	9	0.45	4.6	0.25
Honey	体型大	18.2	0.37	13.2	0.37	11.4	0.25
	体型小	16.8	0.37	12	0.32	8.6	0.51

补充糖类营养可延长周氏啮小蜂的寿命。

此前采用单因素试验研究表明,周氏啮小蜂寿

命受许多因素的影响。首先,温度可显著影响周氏啮小蜂的发育历期,发育历期随温度升高而缩短,继而影响有效积温<sup>[12-13]</sup>;成蜂寿命亦受温度的影响,随温度升高而缩短,24℃下的寿命(4 d)仅为18℃下的一半<sup>[14]</sup>。类似现象也存在于其他寄生蜂中<sup>[15-17]</sup>。补充糖类营养可明显延长周氏啮小蜂的寿命<sup>[17-18]</sup>,例如,喂食10%果糖的成蜂寿命是对照的1.57倍<sup>[18]</sup>。成虫补充糖类营养的习性广泛存在于寄生蜂中<sup>[3]</sup>,寄生蜂成虫补充糖类碳水化合物营养仅用于维持自身体能之需,以延长寿命,而与卵成熟无关<sup>[19]</sup>。在生物防治实践中,改变环境为寄生蜂提供糖类营养以增强其控害效果,已成为天敌保护与利用的成功措施之一<sup>[20-21]</sup>。雌蜂体型大小通常与寄生蜂生殖力成正比<sup>[2]</sup>,例如,白蛾周氏啮小蜂怀卵量与其后足胫节长度存在直线正相关性<sup>[22]</sup>。但寄生蜂体型大小与其寿命的关系却不一定,例如,补充糖类营养可明显延长周氏啮小蜂成虫的寿命<sup>[18]</sup>;但在棱角肿腿蜂(*Goniozus nephantidis*)中,寄生蜂体型大小对其寿命的影响取决于是否取食寄主,在有寄主的情况下小体型蜂的寿命仅略大于大体型蜂<sup>[23]</sup>。进一步的生理学研究发现,体型大小的影响与寄生蜂体内脂肪存储水平有关,当脂肪储量少时表现出体型大小的影响;当脂肪储量多时不受体型大小的影响<sup>[24]</sup>。这些研究说明,体型大小的影响与体内能量储存之间互作影响寄生蜂的寿命。

本研究进一步说明,温度、补充营养和体型大小等因素不仅单独、而且可能互作影响寄生蜂的寿命。该结果可为优化大规模繁殖寄生蜂的环境条件、提高繁蜂效率提供依据,也可为评价寄生蜂控害效应提供参考。

参考文献:

[1] Rosenheim J A, Alon U, Shinar G. Evolutionary balancing of fitness-limiting factors [J]. American Naturalist, 2010, 175: 662-674.

[2] Godfray H C J. Parasitoids, Behavioral and Evolutionary Ecology [M]. Princeton: Princeton University Press, 1994.

[3] Jervis M A, Heimpel G E. Phytophagy [A] // In: Jervis M A (ed.) Insects as Natural Enemies, A Practical Perspective. London: Springer, 2005, 525-550.

[4] 杨忠岐. 美国白蛾的有效天敌—白蛾周氏啮小蜂[J]. 森林病虫害通讯,1990, 2:17.

[5] 杨忠岐, 张永安. 重大外来入侵害虫—美国白蛾生物防治技术研究[J]. 昆虫知识,2007,44(4): 465-472.

[6] 郑雅楠, 祁金玉, 孙守慧, 等. 白蛾周氏啮小蜂 *Chouioia cunea*

- Yang 的研究和生物防治应用进展[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(2): 275-281.
- [7] 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: 117-218.
- [8] 杨忠岐, 谢恩魁. 白蛾周氏啮小蜂的行为学[J]. 中国生物防治, 1998, 14(2): 49-52.
- [9] 魏建荣, 苏智, 王传珍, 等. 大规模繁殖白蛾周氏啮小蜂接蜂比例选择[J]. 林业科学研究, 2006, 19(1): 66-69.
- [10] 刘芹, 闫家河, 王文亮, 等. 白蛾周氏啮小蜂大规模人工繁育技术应用研究[J]. 山东林业科技, 2011, (2): 77-83.
- [11] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing[EB/OL]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>, 2014.
- [12] 杨忠岐. 白蛾周氏啮小蜂的有效积温及发育起点温度研究[J]. 林业科学, 2000, 36(6): 119-122.
- [13] 高军, 顾宇书, 邹立亚, 等. 美国白蛾周氏啮小蜂有效积温及发育起点温度试验[J]. 防护林科技, 2008, 83(2): 22-24.
- [14] 孙守慧, 赵利伟, 祁金玉, 等. 白蛾周氏啮小蜂成虫补充营养及低温贮藏虫期的研究[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(4): 976-979.
- [15] Tran T V, Takasu K. Life history of the pupal parasitoid *Diadromus subtilicornis* (Gravenhorst) (Hymenoptera: Ichneumonidae) as influenced by temperature, photoperiod, and availability of food and hosts[J]. Entomological Science, 2000, 3: 255-64.
- [16] Liu Y H, Tsai J H. Effect of temperature on development, survivorship, and fecundity of *Lysiphlebia mirzai* (Hymenoptera: Aphididae), a parasitoid of *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae) [J]. Environmental Entomology, 2002, 31: 418-24.
- [17] Seal D R, Stansly P A, Schuster D J. Influence of temperature and host on life history parameters of *Catolaccus hunteri* (Hymenoptera: Pteromalidae) [J]. Environmental Entomology, 2002, 31: 354-60.
- [18] 李会, 李杨, 尹淑艳, 等. 不同营养源对白蛾周氏啮小蜂主要生物学特性的影响[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(4): 976-979.
- [19] Jervis M A, Ellers J, Harvey J A. Resource acquisition, allocation, and utilization in parasitoid reproductive strategies[J]. Ann. Rev. Entomol. 2008, 53: 361-385.
- [20] Jonsson M, Wratten S D, Landis D A, et al. Recent advances in conservation biological control of arthropods by arthropods[J]. Biological Control, 2008, 45: 172-175.
- [21] 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: 1-12.
- [22] 孙海燕, 丛斌, 张海燕, 等. 白蛾周氏啮小蜂雌蜂繁殖力与发育期及个体大小的关系[J]. 中国生物防治, 2010, 26(1): 24-29.
- [23] Hardy I C W, Griffiths N T, Godfray H C J. Clutch size in a parasitoid wasp: a manipulation experiment[J]. Journal of Animal Ecology, 1992, 61: 121-129.
- [24] Rivero A, West S A. The physiological costs of being small in a parasitic wasp[J]. Evolutionary Ecology Research, 2002, 4: 407-420.