

亮腹釉小蜂低温贮藏适宜龄期与温度的优化筛选^{*}

王磊^{1, 3**} 沈祖乐¹ 张利荷¹ 邱宝利^{1, 2, 3***}

(1. 广东省生物农药创制与应用重点实验室, 广州 510642; 2. 生物防治教育部工程研究中心, 广州 510642;
3. 华南农业大学昆虫学系, 广州 510642)

摘 要 【目的】筛选适宜低温贮藏的亮腹釉小蜂 *Tamarixia radiata* Waterston 最佳龄期和温度, 为柑橘木虱 *Diaphrina citri* Kuwayama 生物防治提供充足的天敌产品。【方法】在实验室条件下, 观察了亮腹釉小蜂 1-5 日龄蛹的发育形态以及 2、4、6、8、10 贮藏 10 d 对亮腹釉小蜂羽化率的影响。以亮腹釉小蜂 3 日龄蛹为对象, 研究了其在 10 条件下, 储藏 3、6、9 d 后对羽化成蜂产卵量的影响。【结果】亮腹釉小蜂属于完全变态昆虫, 属于典型的离蛹。随着发育时间的增加, 亮腹釉小蜂蛹的颜色不断加深, 分节明显。在贮藏 10 d 的情况下, 随着日龄的增加其平均羽化率升高, 4 日龄蛹在 8 和 3 日龄蛹在 10 温度处理下贮藏 10 d 后其羽化率 84.17% 和 86.23%, 与对照无显著性差异, 但 4 日龄蛹在 10、5 日龄蛹在 8、10 条件下均未达到期望贮藏的 10 d 期限。在 10 条件下, 贮藏 3 d 的亮腹釉小蜂 3 日龄蛹羽化后, 其前 20 d 的平均单雌产卵量达到 159.9 粒, 贮藏 6 d 和 9 d 的蛹羽化后其前 20 d 单雌产卵量则分别为 159.6 粒和 101.9 粒, 对照组亮腹釉小蜂前 20 d 的平均单雌产卵量为 214.8 粒, 与 3、6、9 d 处理组差异显著。

【结论】亮腹釉小蜂适宜低温贮藏的虫期为 3 日龄蛹, 且以 10 低温贮藏 3-6 d 为最佳方案。

关键词 柑橘木虱, 亮腹釉小蜂, 低温贮藏, 羽化率, 产卵量

Optimal pupal age and storage temperature for storing pupae of the parasitoid *Tamarixia radiata*

WANG Lei^{1, 3**} SHEN Zu-Le¹ ZHANG Li-He¹ QIU Bao-Li^{1, 2, 3***}

(1. Key Laboratory of Bio-Pesticide Creation and Application, Guangdong Province, Guangzhou 510642, China;
2. Engineering Research Center of Biological Control, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China;
3. Department of Entomology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract 【Objectives】To identify the optimal pupal age and storage temperature of pupae of the parasitoid wasp *Tamarixia radiata* in order to improve the biological control of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*. 【Methods】The developmental morphology of 1 to 5 day old *T. radiata* pupae were observed, and the effects of being stored for 10 days at low-temperatures (2, 4, 6, 8 and 10) on eclosion rates under laboratory conditions recorded and compared. The fecundity of wasps developed from 3 day old pupae stored for 3, 6 and 9 d at 10 , was also measured. 【Results】*T. radiata* has typical exarate pupa in which the body color and segments become darker and more distinct as pupae develop. The emergence rate increased with the age of the pupae when stored for 10 d. The emergence rates of 4 d old pupae at 8 and 3 d old pupae at 10 were 84.17% and 86.23%, respectively, similar to that of control pupae. However, since all adults emerged within 10 d, it is impracticable to store 4 d old pupae at 10 and 5 d old pupae at 8 , for 10 d. The average first 20 d fecundity of females that emerged from 3 d old pupae stored at 10 for 3 d was 159.9 eggs, whereas those stored for 6 d and 9 d produced

*资助项目 Supported projects: 国家重点研究计划 (2018YFD0201500); 广州市科技计划项目 (201804020070); 广东现代农业产业技术体系创新团队项目 (2018LM1106)

**第一作者 First author, E-mail: wangleiscou@163.com

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

收稿日期 Received: 2018-07-02, 接受日期 Accepted: 2018-07-23

159.6 and 101.9 eggs; significantly lower than the average fecundity of control females which was 214.8 eggs per female.

[Conclusion] Storing 3 d old pupae for 3-6 d at 10 °C is the best regime for low-temperature storage of this parasitoid.

Key words *Diaphorina citri*, *Tamarixia radiata*, low-temperature storage, emergence rate, fecundity

近年来,由韧皮部杆菌(*Candidatus Liberibacter asiaticus*, CLAs)引起的柑橘黄龙病(Huanglongbing, HLB)已成为柑橘生产上最具毁灭性的病害,对中国、美国、巴西等许多国家的柑橘产业造成了严重的威胁,而柑橘木虱*Diaphorina citri* Kuwayama则是传播柑橘黄龙病的重要自然虫媒。柑橘木虱为刺吸式口器昆虫,以若虫和成虫群集嫩梢、新芽和幼叶上吸食为害,春、夏、秋梢为害较为严重(谢佩华等, 1989)。受害柑橘新梢嫩芽凋萎、幼叶卷曲、叶片扭曲黄化,且若虫取食韧皮部汁液的同时,其分泌的“蜜露”往往引发寄主植物枝叶上的煤污病,严重影响植物的光合作用(兰景华, 2007; 李伟明, 2009)。然而,与柑橘木虱直接取食为害相比,其最大的危害是传播黄龙病病原菌(CLAs),感病柑橘树果实品质和数量遭受严重影响,受害果园可减产30%-100%,最终则丧失结果能力,染病植株表现出矮化、黄化和斑驳等症状,后期树势严重衰退,最后整株干枯死亡(Bové, 2006)。因此,柑橘木虱及其传播的黄龙病危害严重影响和制约了世界柑橘产业的可持续发展,如何控制媒介昆虫柑橘木虱,成为切断和控制柑橘黄龙病传播、蔓延的最关键环节,也是目前柑橘产业中亟待解决的重要农业问题。

化学防治因其收效快、使用方便等优点,目前仍然是柑橘木虱防治中的主要措施,但随着人们对农产品安全、环境与生态保护意识的增强,开展以生物防治为主的柑橘木虱综合防治已逐渐成为人们关注与研究的热点。在柑橘木虱的天敌种类中,亮腹釉小蜂*Tamarixia radiata* Waterston是柑橘木虱的专性、优势寄生蜂,它不仅能寄生柑橘木虱的3-5龄若虫,雌成虫还可以取食低龄的柑橘木虱若虫(Skelley and Hoy, 2004; Qureshi *et al.*, 2009)。据报道,1头亮腹釉小蜂雌虫通过取食和寄生,一生可以杀死500多头柑橘木虱若虫(Étienne *et al.*, 2001)。目前

已有美国、巴西、留尼汪岛多个国家和地区成功引进亮腹釉小蜂防治柑橘木虱,并取得了良好的效果。

在自然界中,天敌种群的数量往往跟随害虫种群数量的变化而增减,在害虫发生盛期天敌种群数量较低时,就需要人工释放进行增殖。因此,利用低温贮藏天敌产品,科学调整天敌种群的释放期是天敌产品规模化生产与应用的关键环节。低温贮藏不仅可以使天敌昆虫应用前产品数量得到储备,还可以延长其货架期,灵活掌控天敌昆虫与田间害虫爆发期同步释放。Jalali和Singh(1992)及Nakama和Foerster(2001)的研究表明,蛹期比卵期、幼虫期和成虫期更具备良好的抗寒性。此外,昆虫的蛹期不食不动,易操作,更适宜低温贮藏(Bowler and Terblanche, 2008),因此,昆虫的蛹期通常被认为是低温贮藏的最佳时期,但Foerster等(2004)研究发现,低龄蛹期完成其生长发育需要更多的能量,低温贮藏该时期会对其羽化率和寿命产生消极影响。当前,研究者们对天敌昆虫蛹期阶段的耐寒能力了解还有一定的限度,不同天敌昆虫的抗寒能力也存在差异性,因此,明确不同天敌昆虫适合低温贮藏的虫态或虫期对其生防产品贮藏尤为重要。

目前,国内外关于亮腹釉小蜂低温贮藏、实现田间同步释放方面的研究还无人报道,在此本文对亮腹釉小蜂的低温贮藏条件进行了初步筛选,以期确定其最适宜低温贮藏的虫态和温度,为亮腹釉小蜂的大规模工厂化生产及田间释放提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试植物及虫源

供试植物为九里香*Murraya paniculata* Jacks,九里香嫩苗均购自增城,购买后对九里香苗进行修剪,保持植物健康不受病虫害危害,盆

栽于生物防治教育部工程研究中心(华南农业大学)的网室内,保证网室内阳光充足、定期浇水施肥,实验前(株高 40-60 cm)将其移入人工气候箱内(温度为 22-28℃, RH 60%-75%, 光照 L:D=14:10)。

供试柑橘木虱 *Diaphorina citri*, 种群 2015 年最早采自于华南农业大学九里香绿化带上,种群继代保存于自生物防治教育部工程研究中心网室内。

供试亮腹釉小蜂 *Tamarixia radiata*, 亮腹釉小蜂初始采集于华南农业大学九里香绿化带,并接入生物防治教育部工程研究中心网室内的九里香上繁殖后代。

1.2 柑橘木虱及亮腹釉小蜂繁殖

利用接虫袋接种柑橘木虱成虫,让其在九里香嫩芽上产卵,24 h 后将袋中的柑橘木虱成虫用吸虫管吸出,转移至新的嫩芽上继续产卵;产有柑橘木虱卵的九里香植株移入人工气候箱内,逐日发育成 1-5 龄若虫。

用吸虫管吸取亮腹釉小蜂成蜂于小型指形管中,每个指形管中放雌雄蜂各一头;选择有柑橘木虱 4-5 龄若虫的九里香枝条并套接虫袋,然后每个袋中放入一支装有雌雄蜂的指形管,雌雄蜂经交配后在枝条上寻找木虱若虫寄主,产卵寄生繁殖种群。

1.3 亮腹釉小蜂不同日龄蛹虫体的形态特征

在(26±1)℃、RH=80%、L:D=14:10 的人工气候箱中饲养亮腹釉小蜂。每天上午 9:00 不同日龄的寄生蜂与九里香枝条一同剪下,用昆虫解剖针去除柑橘木虱外壳后在体视镜下解剖,观察发育至不同日龄的亮腹釉小蜂蛹及复眼的颜色变化,头、胸、腹三部分及附肢的分化程度。不同日龄蛹进行 20 个重复,观察该时期虫体发育的形态特征并记录。

1.4 低温贮藏 10 d 对不同日龄亮腹釉小蜂蛹羽化率的影响

根据前期研究,亮腹釉小蜂寄生第 8 天后,其后代已发育至 1 日龄蛹期,而同期未被寄生的

柑橘木虱已羽化。分别将载有发育至 1、2、3、4、5 日龄的亮腹釉小蜂蛹(在柑橘木虱体内)的九里香枝条剪下,放在玻璃培养皿中(枝条剪口端包棉花保湿)后放入医用冷藏箱中进行贮藏试验,贮藏条件为 2、4、6、8、10 条件下贮藏 10 d,累计共 25 个处理,每个处理 10 个重复。以未作低温贮藏的亮腹釉小蜂作为各处理的对照。贮藏期结束后将蛹取出后置于温度(26±1)℃、RH=80%、L:D=14:10 的人工气候箱中,每天观察记录亮腹釉小蜂的羽化情况,直至羽化结束。

1.5 10 条件下贮藏对亮腹釉小蜂产卵量的影响

随机挑选 3 日龄的亮腹釉小蜂蛹若干头,在 10 条件下贮藏 3、6、9 和 12 d,然后置于(26±1)℃、RH80%的条件让其羽化,然后随机挑选雌、雄蜂各 20 对,将每对雌、雄蜂分别收集在培养皿中,让其交配 24 h,然后将交配过的亮腹釉小蜂雌蜂利用接虫袋释放到寄生有大量柑橘木虱 3-4 龄若虫的九里香枝条上,5 d 后将该雌蜂转移到新的有大量柑橘木虱若虫的枝条上,如此每 5 d 更换新枝条,直到该寄生蜂死亡。在解剖镜下检查每个枝条上被寄生的柑橘木虱若虫数量,计算单头寄生蜂的产卵量。以未作低温贮藏的亮腹釉小蜂雌蜂的产卵量作为对照。整个试验过程均在(26±1)℃、RH80%、L:D=14:10 的人工气候箱中进行。

1.6 数据处理与分析

试验结果用 Excel 软件进行计算,后期采用专业数据统计软件 SPSS19.0 进行方差分析,并计算相应的显著水平。

2 结果与分析

2.1 亮腹釉小蜂不同日龄蛹虫体的形态特征

对亮腹釉小蜂卵至蛹期的形态观察发现,亮腹釉小蜂属于完全变态昆虫,蛹期附肢和翅都可以活动,腹部各节也都能扭动,属于典型的离蛹。解剖被寄生的柑橘木虱若虫发现,亮腹釉小蜂背

面在上,与木虱若虫腹面相对,辨别不同日龄的亮腹釉小蜂蛹主要依据其头、胸、腹及附肢的分化程度和身体及复眼颜色变化。1 日蛹身体为黄白色,头、胸、腹分化不明显,但可分清各部分轮廓,各附肢紧贴虫体,腹部无分节现象(图 1:A);2 日蛹身体颜色略有加深,头、胸、腹三部分分化明显,复眼红色,各部分轮廓清晰,足叠合在身体内侧,腹部开始充实饱满,且有分节现

象(图 1:B);3 日蛹单眼和复眼均呈红色,且能够明显区分,腹部末端分节清晰可见,颜色加深,灰白色(图 1:C);4 日蛹头、胸、腹有明显的分界线,头部前缘呈浅褐色且身体出现光泽,胸、腹部颜色加深,虫体与寄主外壳容易分离(图 1:D);5 日蛹虫体颜色与成虫无显著差异,呈暗褐色,复眼黯黑色,各附肢与虫体分离,其上颚发达,羽化时咬破寄主外壳飞出(图 1:E,F)。



图 1 亮腹釉小蜂不同日龄蛹的形态发育(d)

Fig. 1 The morphology of *Tamarixia radiata* pupae at different age (d)

A. 1 日蛹; B. 2 日蛹; C. 3 日蛹; D. 4 日蛹; E. 5 日蛹; F. 5 日蛹末期。

A. 1 day old pupae; B. 2 day old pupae; C. 3 day old pupae; D. 4 day old pupae;

E. 5 day old pupae; F. The end of 5 day old pupae

2.2 低温贮藏 10 d 对不同日龄亮腹釉小蜂蛹羽化率的影响

实验结果表明,在同一温度下贮藏相同的时间,随着贮藏起始虫龄的增加,亮腹釉小蜂的羽化率不断提高;相同日龄的亮腹釉小蜂随着贮藏温度的升高,其羽化率也随之提高,甚至未达到贮藏时间已提前出蜂(图 2-图 6)。

低温对蛹前期的亮腹釉小蜂发育影响极大,1 日龄、2 日龄和 3 日龄蛹在 2 条件下贮藏 10 d

全部死亡,4 日龄和 5 日龄蛹贮藏后羽化率分别为 17.80%和 24.39%(图 2)。不同日龄的亮腹釉小蜂蛹在同一贮藏温度下羽化率差异显著,在 6、8、10 贮藏温度下,2 日龄以上蛹羽化率均在 50%以上,随着日龄的增加,羽化率均有所提高(图 4-图 6)。此外,4 日龄蛹在 8 和 3 日龄蛹在 10 温度下贮藏 10 d 后其羽化率分别为 84.17%和 86.23%,与对照已无显著性差异,但 4 日龄蛹在 10、5 日龄在 8 和 10 条件下

均未达到期望贮藏的 10 d 期限,提前羽化(图 5, 图 6)。因此可得,3 日龄蛹能够满足低温贮藏期限且羽化率最高,所以,亮腹釉小蜂适宜低温贮藏的虫期为 3 日龄蛹。

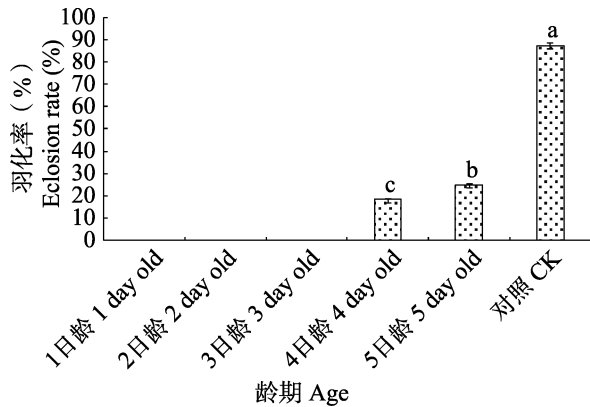


图 2 2 低温贮藏 10 d 对不同日龄亮腹釉小蜂蛹羽化率的影响

Fig. 2 Effect of 10-day low temperature storage at 2 on the eclosion rate of *Tamarixia radiata* different age pupae

柱上标有不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 (LSD 法)。下图同。

Histograms with the different letters indicate significant difference to different pupae stage at 0.05 level by LSD test. The same below.

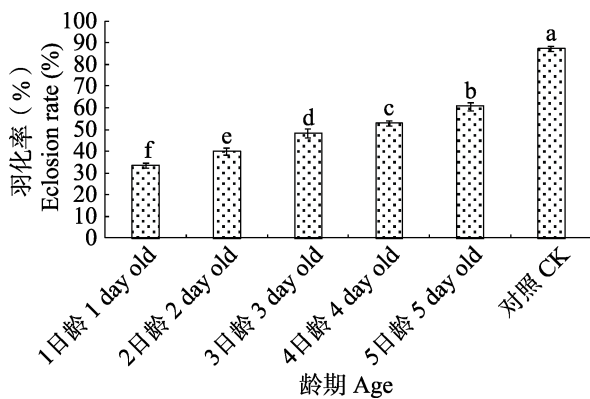


图 3 4 低温贮藏 10 d 对不同日龄亮腹釉小蜂蛹羽化率的影响

Fig. 3 Effect of 10-day low temperature storage at 4 on the eclosion rate of *Tamarixia radiata* different age pupae

2.3 10 条件下贮藏时间对亮腹釉小蜂产卵量的影响

研究结果表明,在 10 条件下贮藏,随着

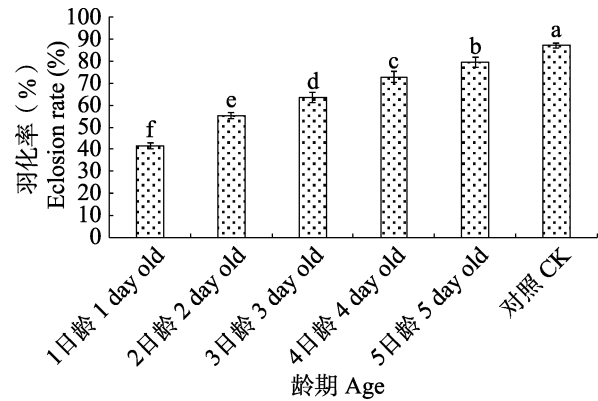


图 4 6 低温贮藏 10 d 对不同日龄亮腹釉小蜂蛹羽化率的影响

Fig. 4 Effect of 10-day low temperature storage at 6 on the eclosion rate of *Tamarixia radiata* different age pupae

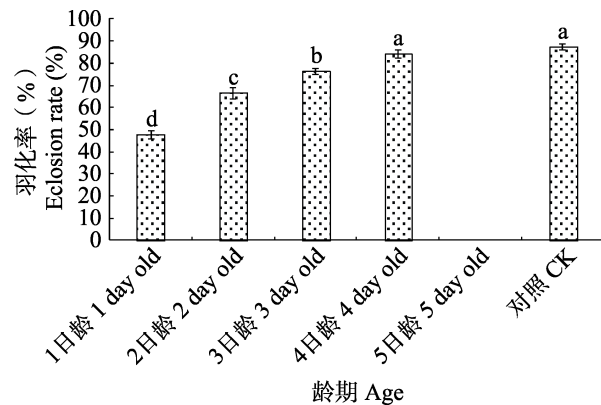


图 5 8 低温贮藏 10 d 对不同日龄亮腹釉小蜂蛹羽化率的影响

Fig. 5 Effect of 10-day low temperature storage at 8 on the eclosion rate of *Tamarixia radiata* different age pupae

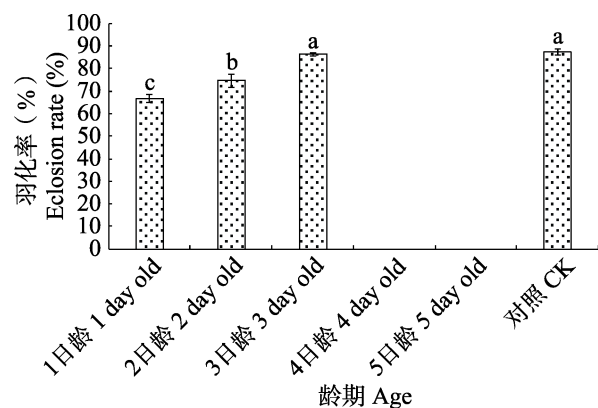


图 6 10 温贮藏 10 d 对不同日龄亮腹釉小蜂蛹羽化率的影响

Fig. 6 Effect of 10-day low temperature storage at 10 on the eclosion rate of *Tamarixia radiata* different age pupae

贮藏时间的延长,亮腹釉小蜂的累计产卵量显著下降。在 10℃ 条件下,贮藏 3 d 的亮腹釉小蜂羽化后,其前 20 d 的平均单雌产卵量达到 159.9 粒,贮藏 6 d 和 9 d 的蛹羽化后其前 20 d 单雌产卵量则分别为 159.6 粒和 101.9 粒,对照组亮腹釉小蜂前 20 d 的平均单雌产卵量为 214.8 粒,与 3、6、9 d 处理组差异显著(图 7)。结果说明,低温会影响亮腹釉小蜂的产卵量,会对其生殖能力造成一定的负面影响。综合上述实验结果,亮腹釉小蜂产品的贮藏以 3 日龄蛹 10℃ 贮藏 3-6 d 最佳。

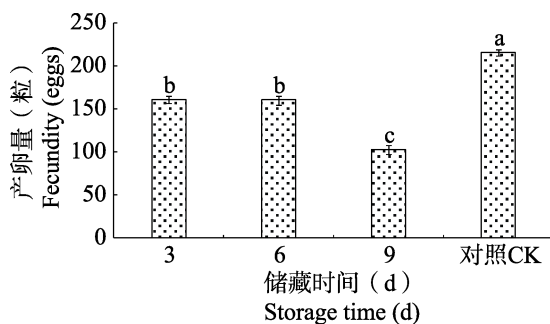


图 7 10℃ 条件下贮藏时间对亮腹釉小蜂产卵量的影响

Fig. 7 Effects of storage time at 10℃ on the fecundity of *Tamarixia radiata* females

3 讨论

天敌产品的低温贮藏,其目的是科学调整天敌昆虫羽化时间,最大程度地满足害虫发生期对天敌昆虫的需求。低温贮藏会消耗天敌昆虫体内的脂肪等物质,影响天敌昆虫后期的发育或羽化,因此其羽化率一般会随着贮藏时间的延长而降低。

对于贮藏的最佳虫态,前期大量研究表明,昆虫的蛹期比其他发育阶段更具良好的抗寒性;此外,昆虫蛹期不食不动,易操作,更适宜开展各种操作而保护天敌不受机械损伤,因此昆虫的蛹期通常被认为是低温贮藏的最佳时期。但较低日龄蛹期受低温影响较大,龙秀珍等(2014)对前裂长管茧蜂 *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) 的适宜冷藏虫期进行了探讨,发现 12 日龄(蛹中期)是较适宜低温贮藏的虫态;

张南南(2009)的研究也表明寄生蜂的羽化率随着冷藏日龄的增大而升高,王华玲(2011)对于阿里山潜蝇茧蜂 *Fopius arisanus* 低温贮藏的研究结果也有类似规律。我们的前期研究发现,(26±1)℃、RH80%、L:D=14:10 是亮腹釉小蜂的最佳生长发育条件(周雅婷,2016),此环境条件下,亮腹釉小蜂蛹期发育为 5 d。解剖不同发育时期的亮腹釉小蜂蛹,其体态特征和颜色变化显著,随着发育时间的增加,头、胸、腹分化明显,颜色逐日加深,5 日龄后,在柑橘木虱若虫前胸背板处咬一 0.5 mm 的羽化孔飞出。所以,亮腹釉小蜂高日龄蛹不适合用作低温贮藏,而 3 日龄蛹期能够满足贮藏期需要且其平均羽化率最高,因此,3 日龄蛹是最适合低温贮藏的虫期。同时,我们的研究结果也与上述其它天敌昆虫低温贮藏的虫期结果相似,即低龄虫态的天敌昆虫需要更多的能量维持自身代谢,不适宜在低温下度过自身生理生化代谢活跃时期,而中期蛹最适合低温贮藏。

通过本研究我们发现,在 10℃ 条件下,3 日龄蛹随着贮藏时间的延长,羽化后其单雌产卵量逐步下降,推测这与温度影响其卵巢的发育进程及精巢的大小有关。Foerster 等(2004)研究发现,长期的低温暴露也会使寄生蜂卵母细胞成熟率下降,导致卵巢管畸形,从而致使雌蜂产卵量下降甚至不育。温度还会影响昆虫雄性附腺的生理活动,高温使腺体细胞质中的粗面内质网和线粒体受到破坏,进而阻碍了附腺分泌物中的蛋白质合成路径,从而降低雄性生殖力。另一方面,长时间的低温暴露也会影响寄生蜂的能量代谢平衡,从而使其投入到生殖方面的能量大大减少(欧阳永文和吴维光,1993)。例如,中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* (Haliday) 蛹长期贮藏后,成虫产卵时间缩短,同时产卵量也会大幅度下降(Lacoume *et al.*, 2007)。

总之,亮腹釉小蜂是柑橘木虱的优势寄生蜂,自 20 世纪 60 年代,世界各地的柑橘产区先后引进亮腹釉小蜂进行柑橘木虱的防控,并取得了良好效果。前人研究表明,单头亮腹釉小蜂雌蜂一生经过取食和寄生可杀死 500 多头柑橘木

虱若虫,其中寄生杀死数量超过 300 头 (Étienne *et al.*, 2001),但不同生长发育温度下亮腹釉小蜂的单雌产卵量存在显著差异,例如 Chien 等 (1993) 研究了 15、20、25 和 30 °C 下亮腹釉小蜂的产卵量分别为 16、25、245 和 196 粒,说明过低或过高温度下均不适宜其产卵寄生。通过本研究,我们推荐 3 日龄蛹是亮腹釉小蜂的最佳低温贮藏龄期,尽管低温贮藏后代雌蜂的产卵寄生能力与对照相比,有一定程度上的降低,但要满足寄生蜂产品低温贮藏,科学调整产品的货架期与释放期,10 °C 贮藏 3-6 d 后是比较理想的贮藏条件,而低温贮藏造成亮腹釉小蜂产卵能力下降的具体原因还需进一步深入研究。

参考文献 (References)

- Bové JM, 2006. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*, 88(1): 7–37.
- Bowler K, Terblanche JS, 2008. Insect thermal tolerance: what is the role of ontogeny, ageing and senescence? *Biological Reviews*, 83(3): 339–355.
- Chien CC, Chu YI, Ku SC, 1993. Influence of temperature on the population increase, host-killing capability and storage of *Tamarixia radiata*. *Journal of Economic Entomology*, 13(1): 111–123.
- Étienne J, Quilici S, Marival D, Franck A, 2001. Biological control of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Guadeloupe by imported *Tamarixia radiata* (hymenoptera: Eulophidae). *Fruits*, 56(5): 307–315.
- Foerster LA, Doetzer AK, Castro LCF, 2004. Emergence, longevity and fecundity of *Trissolcus basalis* and *Telenomus podisi* after cold storage in the pupal stage. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 39(9): 841–845.
- Jalali, SK, Singh SP, 1992. Biology and feeding potential of *Curinus coeruleus* (Mulsant) and *Chrysoperla carnea* (Stephens) on subadult psyllid, *Heteropsylla cubana* Crawford. *Journal of Insect Science*, 5(1): 89–90.
- Lacoume S, Bressac C, Chevrier C, 2007. Sperm production and mating potential of males after a cold shock on pupae of the parasitoid wasp *Dinarmus basalis* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of Insect Physiology*, 53(10): 1008–1015.
- Lan JH, 2007. Prevention and control of main pests in citrus leaves. *Science and Technology of Sichuan Agriculture*, (3): 47–49. [兰景华, 2007. 柑橘叶片主要害虫的防治. 四川农业科技, (3): 47–49.]
- Li WM, 2009. Hazards and control measures of citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama, on citrus. *Rural Practical Technology*, (10): 45. [李伟明, 2009. 柑橘木虱发生危害及防治措施. 农村实用技术, (10): 45.]
- Long XZ, Chen KW, Xian JD, Lu YY, Zeng L, 2014. Cold storage technique of *Diachasmimorpha longicaudata*. *Journal of Environmental Entomology*, 36(1): 115–121. [龙秀珍, 陈科伟, 洗继东, 陆永跃, 曾玲, 2014. 前裂长管茧蜂低温储存技术的研究. 环境昆虫学报, 36(1): 115–121.]
- Nakama, PA, Foerster LA, 2001. Effect of alternating temperatures on the development and emergence of *Trissolcus basalis* (Wollaston) and *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Scelionidae). *Neotropical Entomology*, 30(2): 269–275.
- Ouyang YW, Wu WG, 1993. Effects of high temperature on male silkworm moth accessory gland development and sterility. *Journal of South China Agricultural University*, 14(2): 1–9. [欧阳永文, 吴维光, 1993. 高温对桑蚕雄蛾副腺发育及不育性的影响. 华南农业大学学报, 14(2): 1–9.]
- Qureshi JA, Rogers ME, Hall DG, Stansly PA, 2009. Incidence of invasive *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) and its introduced parasitoid *Tamarixia radiata*. *Journal of Economic Entomology*, 102(1): 247–256.
- Skelley LH, Hoy MA, 2004. A synchronous rearing method for the Asian citrus psyllid and its parasitoids in quarantine. *Biological Control*, 29(1): 14–23.
- Wang HL, 2011. Effects of spinosad and temperature and humidity on the parasitoid *Fopius arisanus*. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [王华玲, 2011. 多杀菌素和温湿度对阿里山潜蝇茧蜂的影响. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Xie PH, Su CA, Lin ZG, 1989. Studies on the biology of the citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae). *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 15(2): 198–202. [谢佩华, 苏朝安, 林自国, 1989. 柑桔木虱生物学研究. 浙江农业大学学报, 15(2): 198–202.]
- Zhang NN, 2009. Studies on the factors influencing the growth and development in *Diachasmimorpha longicaudata*. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [张南南, 2009. 长尾潜蝇茧蜂生长发育影响因子的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Zhou YT, 2016. Biological basic research on the bright belly glaze of the citrus parasitoid natural enemies. Master dissertation. Guangzhou: South China Agricultural University. [周雅婷, 2016. 柑橘木虱寄生性天敌亮腹釉小蜂的生物学基础研究. 硕士学位论文. 广州: 华南农业大学.]