

冷藏对粗脊蚜茧蜂羽化率、成虫存活率、 寿命及雌雄性比的影响*

孙海霞^{1**} 马涛² 张广亮³ 赵阳阳¹ 郝万亮² 何嘉^{1***}

(1. 宁夏农林科学院植物保护研究所, 银川 750002; 2. 百瑞源枸杞股份有限公司, 银川 750200; 3. 宁夏立兰酒庄有限公司, 银川 750021)

摘要 【目的】明确不同冷藏温度和时间对粗脊蚜茧蜂 *Aphidius colemani* 羽化率、成虫存活率、寿命及雌雄性比的影响, 找出粗脊蚜茧蜂最适冷藏条件, 为规模化繁育提供技术支撑。【方法】以粗脊蚜茧蜂(僵蚜)为研究对象, 在 2、3、4、5 和 6 °C 温度下冷藏相同僵化程度的粗脊蚜茧蜂僵蚜 5、10、15、20 和 25 d, 记录羽化数、成活数、寿命及雌雄数量。【结果】(1) 冷藏温度、冷藏时间及其交互作用对僵蚜羽化率差异均不显著 ($P>0.05$); 冷藏温度、冷藏时间对成虫存活率差异极显著 ($P<0.001$), 其交互作用对成虫存活率差异不显著 ($P>0.05$); 冷藏温度及其和冷藏时间的交互作用对僵蚜羽化成蜂寿命差异不显著 ($P>0.05$), 对羽化成蜂雌雄性比差异极显著 ($P<0.001$); 冷藏时间对羽化成蜂寿命差异显著 ($P<0.05$); 对雌雄性比差异不显著 ($P>0.05$)。 (2) 粗脊蚜茧蜂僵蚜羽化率处理与对照无显著差异 ($P>0.05$), 处理组羽化率在 63.81%-89.52% 之间。3 °C 冷藏 15 d 羽化率最高为 89.52%, 4、5 和 6 °C 冷藏 10 d 羽化率在 80.00% 以上, 3 和 4 °C 冷藏 25 d 羽化率仍在 82.86% 以上。 (3) 低温冷藏过程中僵蚜均有羽化现象, 成虫存活率在 2-6 °C 整体随冷藏温度升高而逐步降低, 在 5-25 d 随冷藏时间延长先升高后降低。冷藏处理 10 d 成虫存活率在 43.83%-72.07% 之间, 显著高于其它处理 ($P<0.05$)。 (4) 处理组与对照组羽化率无显著差异 ($P>0.05$)。冷藏 10 d 成蜂寿命最长, 显著高于冷藏 5 d ($P<0.05$), 5 °C 冷藏 10 d 寿命最长为 4.37 d, 2、3、4 和 5 °C 冷藏 10 d 羽化成蜂寿命在 4.02 d 以上, 5 °C 冷藏 15 d 寿命仍在 4.29 d 以上。 (5) 僵蚜分别在 2、4、5 和 6 °C 温度下, 经过不同时间冷藏处理后羽化成蜂的雌雄性比与对照和 3 °C 冷藏时差异显著 ($P<0.05$); 2 和 4 °C 时在不同冷藏时间雌雄性比显著高于 3 和 5 °C ($P<0.05$)。【结论】粗脊蚜茧蜂在低温冷藏过程均有羽化现象, 根据羽化率、成虫存活率、寿命及雌雄性比, 建议其在 4 或 5 °C 下冷藏 10 d 保存。

关键词 粗脊蚜茧蜂; 冷藏; 羽化率; 成虫存活率; 寿命; 雌雄性比

The effects of cold storage on the eclosion rate, survivorship, longevity, and sex ratio of *Aphidius colemani*

SUN Hai-Xia^{1**} MA Tao² ZHANG Guang-Liang³ ZHAO Yang-Yang¹
HAO Wan-Liang² HE Jia^{1***}

(1. Institute of Plant Protection, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China;

2. Bairuiyuan Goji Co., Ltd., Yinchuan 750200, China; 3. Ningxia Lilan Winery Co., Ltd., Yinchuan 750021, China)

Abstract [Aim] The purpose of this study was to examine the effects of different cold storage temperatures and duration on the eclosion rate, survivorship, longevity, and sex ratio of *Aphidius colemani*, and determine the optimal storage conditions for large-scale breeding of *A. colemani*. [Methods] The eclosion rate, survivorship, longevity, and sex ratio of *A. colemani* were measured under different temperatures (2, 3, 4, 5 and 6 °C) using aphid mummies. Subsequently, each temperature treatment group was stored for 5, 10, 15, 20, and 25 d. [Results] The findings indicated that there were no significant effects of cold

*资助项目 Supported project: 自治区农业科技自主创新专项科技创新引导项目 (NKYG-24-18)

**第一作者 First author, E-mail: shx971231@163.com,

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hejiayc@126.com

收稿日期 Received: 2023-10-18; 接受日期 Accepted: 2024-06-02

storage temperature, cold storage duration, or the interaction between cold temperature and storage duration on the eclosion rate of aphid mummies ($P>0.05$). However, there was a significant effect of cold storage temperature and cold storage duration on aphid survivorship, but there was significant effect of the interaction between cold storage temperature and cold storage duration ($P<0.001$). Adult longevity was not significantly affected by either storage temperature or the interaction between cold storage temperature and cold storage duration ($P>0.05$). The adult sex ratio was significantly affected by both the storage temperature and the interaction between storage temperature and storage duration ($P<0.001$). Cold storage duration significantly affected the longevity of emerged adults ($P<0.05$), but not the sex ratio ($P>0.05$). There was no significant difference in the eclosion rate of *A. colemani* between the treatment group and the control group, with the eclosion rate ranging from 63.81% to 89.52 % for both groups. The highest eclosion rate was 89.52 % after 15 d of cold storage at 3 °C. All eclosion rates were above 80.00% after 10 d of cold storage at 4, 5 and 6 °C. The eclosion rate remained over 82.86% after 25 d of cold storage at 3 and 4 °C. All *A. colemani* temperature treatment groups survived low temperature storage. Survivorship gradually decreased as the storage temperature increased from 2 to 6 °C. Additionally, survivorship initially increased then decreased as the cold storage duration increased from 5 to 25 d. The survivorship ranged from 43.83% to 72.07% after 10 d of cold storage, representing the highest values observed across all the storage duration treatment groups ($P<0.05$). There was no significant difference in *A. colemani* longevity between the treatment and control groups ($P>0.05$). The longevity of the emerged wasps was highest after 10 d of cold storage and significantly higher than 5 d of cold storage ($P<0.05$). *A. colemani* stored at 5 °C for 10 d had the longest lifespan, reaching 4.37 d. When subjected to a 10 d refrigeration period, the longevity of the wasps exceeded 4.02 d for all temperature treatment groups. After 15 d of cold storage at 5 °C, the wasps survived up to 4.29 d. Following cold storage durations of 5, 10, 15, 20, and 25 d at 2, 4, 5, and 6 °C, there was a significant difference between the sex ratio of the wasps from the 3 °C treatment group and the control group compared to the other groups ($P<0.05$). The sex ratios collected from the 2 and 4 °C treatment groups were significantly higher compared to the 3 and 5 °C treatment groups ($P<0.05$). **[Conclusion]** The findings of this research indicate *A. colemani* is still able to emerge during low temperature storage. *A. colemani* aphid mummies can be effectively stored between 4-5 °C for 10 d with minimal effect on the eclosion rate, survivorship, longevity, or sex ratio.

Key words *Aphidius colemani*; refrigeration; eclosion rate; survivorship; longevity; sex ratio

寄生蜂在生物防治方面有着广泛的应用。粗脊蚜茧蜂 *Aphidius colemani* 属昆虫纲 Insecta 膜翅目 Hymenoptera 蚜茧蜂亚科 Aphidiidae 蚜茧蜂属 *Aphidius* 的一种蚜虫体内寄生性天敌昆虫,是宁夏枸杞蚜虫的优势寄生天敌昆虫(图 1)。目前该蜂的室内繁育技术研究还较少,尤其是蜂种的室内保存方面几乎处于空白。

低温贮藏是生产上最常用也是最有效的寄生蜂保存方法,不同寄生蜂耐低温的能力差异很大,致使无法得出一个可靠的一般性结论(Leopold, 1998)。影响寄生蜂低温冷藏效果的因素很复杂,主要来自于体外环境与虫体本身(Colinet and Boivin, 2011)。其中体外因素主要有:温度强度及冷藏时间。为了延长冷藏期并保持较高的羽化率,寄生蜂一般的冷藏温度范围为 0-15 °C(Leopold, 1998; van Lenteren *et al.*,

2002)。一般情况下,冷藏温度越低,死亡率越高(Lysyk, 2004; Bernardo *et al.*, 2008)。冷藏时间对寄生蜂冷藏的存活率存在明显的影响,以冷藏时间及温度来定义“冷藏强度(Dose of cold exposure)”(Kostal *et al.*, 2004, 2006)。研究表明,大部分的昆虫随着冷藏时间的延长死亡率升高(Chen *et al.*, 2008; Colinet and Boivin, 2011),且不同虫态的冷藏效果差异显著,不同寄生蜂适合冷藏的虫态不同。一般情况下,成虫受低温影响最严重,而蛹相对最适合于冷藏(van Lenteren *et al.*, 2002)。

本试验研究粗脊蚜茧蜂僵蚜在 2、3、4、5 和 6 °C 冷藏温度,5、10、15、20 和 25 d 冷藏时间下的羽化率、成虫存活率、寿命及雌雄性比,以期为实际应用中粗脊蚜茧蜂的室内保种及田间规模化释放提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试寄主植物

西葫芦种子由宁夏农林科学院植物保护研究所自购, 采用漂浮育苗法在宁夏吴忠市红寺堡区百瑞源枸杞产业发展有限公司蚜茧蜂繁育大棚育苗, 室温 25-27 °C, 每天给苗盘淋水保湿, 待株高长至约 12 cm, 1 片真叶时待用。

1.2 供试虫源

蚜虫为枸杞棉蚜 *Aphis gossypii*, 采自于宁夏农林科学院植物保护研究所实验室, 移至红寺堡区百瑞源枸杞产业发展有限公司蚜茧蜂繁育大棚西葫芦苗饲养 2 周后, 用于繁育粗脊蚜茧蜂。

粗脊蚜茧蜂于 2023 年 5 月自云南昆明推动者生物科技有限公司天敌昆虫繁育中心引种, 于

宁夏吴忠市红寺堡区百瑞源枸杞产业发展有限公司蚜茧蜂繁育实验室饲养, 于蚜茧蜂繁育大棚扩繁 3 代后试验使用。

1.3 实验器具

实验用品人工气候箱(上海新苗医疗器械制造有限公司; QHX-250BSH-III), 小型胰岛素冷藏盒(COOLBOX/酷宝, 0.6 L, 12 和 120 V 通用, 深圳凡美科技有限公司), 体式显微镜(Olympus; SZX7), 软毛笔, 指形管(5 mL), 脱脂棉花等。

1.4 实验试剂

25%砂糖水。

1.5 实验条件

低温冷藏试验在小型胰岛素冷藏盒中进行,

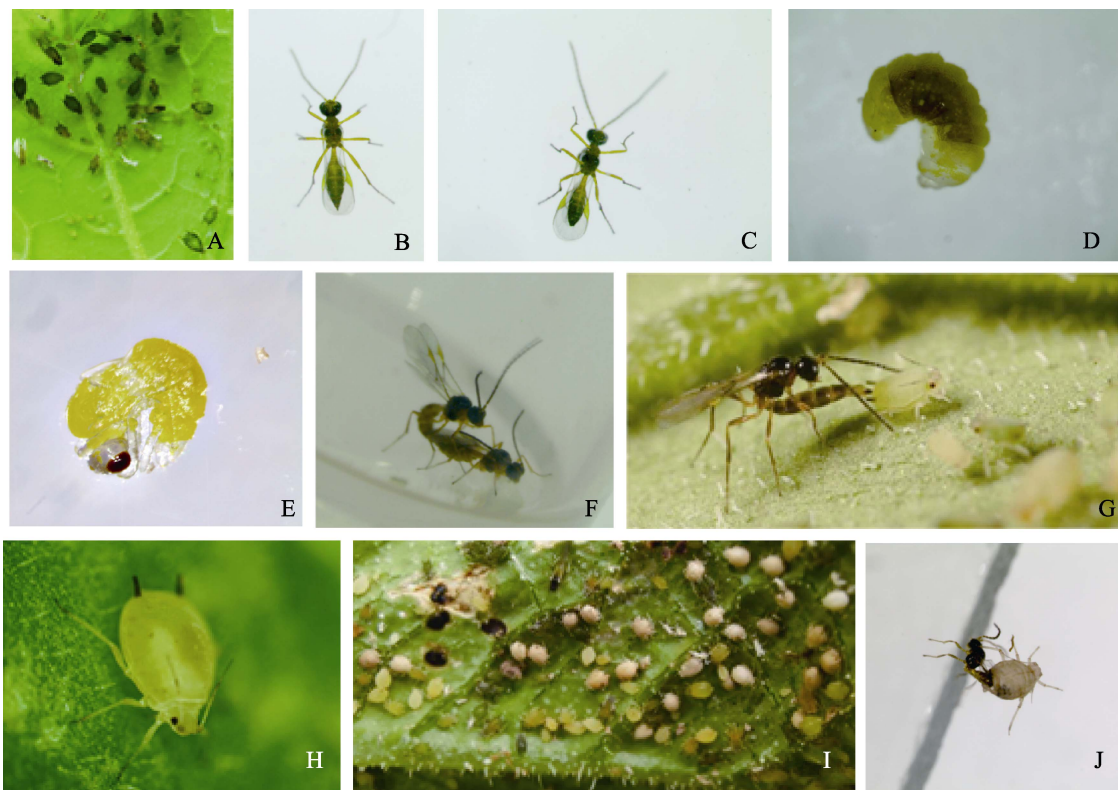


图 1 棉蚜和粗脊蚜茧蜂

Fig. 1 *Aphis gossypii* and *Aphidius colemani*

- A. 棉蚜; B. 粗脊蚜茧蜂雌蜂; C. 粗脊蚜茧蜂雄蜂; D. 粗脊蚜茧蜂幼虫; E. 粗脊蚜茧蜂蛹; F. 粗脊蚜茧蜂交尾; G. 粗脊蚜茧蜂产卵; H. 粗脊蚜茧蜂的幼虫在棉蚜体内生长; I. 粗脊蚜茧蜂僵蚜; J. 僵蚜羽化。
A. *Aphis gossypii*; B. Female of *Aphidius colemani*; C. Male of *Aphidius colemani*; D. Larva of *Aphidius colemani*; E. Pupa of *Aphidius colemani*; F. Mating of *Aphidius colemani*; G. Egg-laying of *Aphidius colemani*; H. Larva of *Aphidius colemani* grow in *Aphis gossypii*; I. Mummified aphid of *Aphidius colemani*; J. Feathering of mummified aphid.

设置 5 个温度梯度, 分别为 (2±0.5)、(3±0.5)、(4±0.5)、(5±0.5) 和 (6±0.5) °C, 光照条件: 24 h 黑暗。对照组试验在温度 25 °C, 相对湿度 60%, 光照强度 6 000 lx, 光周期 14 L : 10 D 条件下人工气候箱中进行。

低温冷藏后, 粗脊蚜茧蜂羽化率及寿命等的观察在人工气候箱内进行, 温度 25 °C, 相对湿度 60%, 光照强度 6 000 lx, 光周期 14 L : 10 D。

1.6 实验方法

种植西葫芦, 待西葫芦长到 1 片真叶时, 开始接种棉蚜, 任其大量繁殖, 待叶片布满棉蚜时 (约 2 周) 开始接种粗脊蚜茧蜂, 接种蜂蚜比为 1 : 50, 将收集的成蜂或僵蚜放入繁蜂大棚内, 任其寻找棉蚜寄生。约 3 d 后开始观察被寄生棉蚜的发育状况, 观察僵蚜发育成熟后开始以下试验。

1.6.1 冷藏粗脊蚜茧蜂的僵蚜 同一时间开始挑体长约 2.4 mm、淡黄棕色僵蚜, 将僵化一致的僵蚜各 35 头于指形管 (d=1.5 cm, L=5 cm), 分别放入 2、3、4、5 和 6 °C 的小型胰岛素冷藏盒中低温冷藏。冷藏天数分别为 5、10、15、20 和 25 d, 以上试验重复 3 次。

1.6.2 冷藏对粗脊蚜茧蜂僵蚜羽化率及成虫存活率的影响 按照冷藏时间, 将不同冷藏温度下冷藏僵蚜依次取出, 移至 25 °C 人工气候箱中继

续发育, 每 8 h 观察记录羽化数, 暗期在人工气候箱外观察, 直至不再羽化, 统计羽化数及羽化活虫数。设 25 °C 不冷藏为对照。以上实验重复 3 次。

羽化率=羽化成蜂数/僵蚜数×100%;

成虫存活率=羽化活蜂数/羽化成蜂数×100%。

1.6.3 冷藏对粗脊蚜茧蜂成蜂寿命的影响 将 1.4.2 节中 8 h 内羽化成蜂, 单头分装于指形管中, 管底部放置沾有 25% 砂糖水的棉花球, 用脱脂棉花塞口以防逃逸, 25% 砂糖水的棉花球每天更换 1 次, 每 8 h 观察一次, 直至成蜂全部死亡, 记录成虫寿命, 以上实验重复 3 次。

1.6.4 冷藏对粗脊蚜茧蜂雌雄性比的影响 将 1.4.2 和 1.4.3 节中羽化成蜂, 在体式显微镜下分别鉴定雌雄, 记录不同条件下成蜂雌雄数量, 统计雌雄性比 (♀ : ♂), 以上实验重复 3 次。

1.7 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件进行分析, 并计算标准误差, 用 Duncan 新复极差法做多重比较; 确定差异显著水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 冷藏对粗脊蚜茧蜂僵蚜羽化率的影响

从表 1, 表 2 可知, 处理组粗脊蚜茧蜂僵蚜

表 1 冷藏温度和冷藏时间对粗脊蚜茧蜂羽化率的影响

Table 1 Effects of cold storage temperature and cold storage duration on eclosion rate of *Aphidius colemani*

温度 (°C) Temperature (°C)	羽化率 (%) Emergence rate (%)				
	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d
2	63.81±13.50 a(a)	69.52±4.36 a(a)	76.19±9.18 a(a)	72.38±24.63 a(a)	70.48±12.88 a(a)
3	66.67±11.55 a(a)	64.76±10.03 a(a)	89.52±15.74 a(a)	62.86±2.86 a(a)	84.76±3.30 a(a)
4	69.52±11.55 a(a)	80.00±17.38 a(a)	71.43±9.90 a(a)	79.05±16.74 a(a)	82.86±14.85 a(a)
5	67.62±8.25 a(a)	84.76±11.90 a(a)	64.76±8.73 a(a)	73.33±3.30 a(a)	68.57±7.56 a(a)
6	80.95±11.55 a(a)	84.76±4.36 a(a)	76.19±10.03 a(a))	71.43±15.12 a(a)	78.10±4.36 a(a)
25 (CK)	78.89±16.15 a(a)				

表中数值为平均值±标准误; 无括号的字母表示同列数据间的比较, 括号内的字母表示同行数据间的比较, 小写字母相同表示在 0.05 水平上差异不显著 (Duncan's 检验法)。表 3、表 5 和表 7 同。

The data in the table are mean±SE; The letters without brackets represent the comparison between the same column data, the letters in the brackets represent the comparison between the same row data, and the same lowercase letters indicate that the difference is not significant at the 0.05 level by Duncan's test. The same for Table 3, Table 5 and Table 7.

表 2 冷藏温度和冷藏时间对粗脊蚜茧蜂羽化率影响的方差分析
Table 2 Variance analysis of the effects of cold storage temperature and cold storage duration on eclosion rate of *Aphidius colemani*

源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
温度 Temperature	631.946	4	157.986	1.060	0.385
冷藏时间 Duration	629.769	4	157.442	1.056	0.387
温度×时间 Temperature×duration	2 919.619	16	182.476	1.224	0.280
误差 Error	8 198.942	55	149.072		
总变异 Total variation	462 326.077	81			

的羽化率与对照无显著差异 ($P>0.05$), 可能与温度梯度设置差异小或与其本身的遗传特性有关。3℃冷藏 15 d 羽化率最高, 为 89.52%, 3℃冷藏 20 d 羽化率最低, 为 62.86%。4、5 和 6℃冷藏 10 d 羽化率在 80.00%以上; 3 和 4℃冷藏 25 d 羽化率仍在 82.86%以上。因此, 4、5 和 6℃冷藏 10 d 或 3 和 4℃冷藏 25 d 是可以接受的冷藏方法。

2.2 冷藏对粗脊蚜茧蜂成虫存活率的影响

从表 3, 表 4 可知, 冷藏过程中粗脊蚜茧蜂

僵蚜均有羽化现象, 成虫存活率在 2-6℃随冷藏温度升高而逐步降低, 在 5-25 d 随冷藏时间延长先升高后降低。处理组僵蚜的成虫存活率显著低于对照 ($P<0.05$)。分别在 2、3、4、5 和 6℃下冷藏 10 d, 成虫存活率分别为 72.07%、71.91%、69.06%、62.03%和 43.83%, 均显著高于其它冷藏时间下成虫存活率 ($P<0.05$)。在 5、10、15、20 和 25 d 冷藏时间下, 分别在 2、3、4、5 和 6℃冷藏, 僵蚜成虫存活率无显著差异 ($P>0.05$)。结果表明在 2、3、4、5 和 6℃冷藏 10 d 僵蚜成虫存活率最高, 冷藏过程羽化数量最少。另外

表 3 冷藏温度和冷藏时间对粗脊蚜茧蜂成虫存活率的影响

Table 3 Effects of cold storage temperature and cold storage duration on survival rate of *Aphidius colemani*

温度 (℃)	成虫存活率 (%) Survival rate (%)				
Temperature (℃)	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d
2	56.36±21.90 b(c)	72.07±21.21 bc(b)	54.39±14.95 bc(c)	32.93±7.52 bc(d)	12.90±6.82 bc(d)
3	66.67±4.76 b(c)	71.91±17.33 b(b)	52.23±20.42 b(c)	30.57±24.19 b(d)	11.42±8.78 b(d)
4	44.19±9.29 d(c)	69.06±9.63 d(b)	42.86±16.50 d(c)	3.19±3.13 d(d)	14.13±4.21 d(d)
5	49.38±4.67 c(c)	62.03±11.84 cd(b)	27.55±12.31 cd(c)	8.00±10.58 cd(d)	31.15±11.84 cd(d)
6	41.80±9.63 d(c)	43.83±6.28 d(b)	39.68±15.90 d(c)	6.91±7.15 d (d)	9.84±10.73 d(d)
25 (CK)			100.00±0.00 a(a)		

表 4 冷藏温度和冷藏时间对粗脊蚜茧蜂成虫存活率影响的方差分析
Table 4 Variance analysis of the effects of cold storage temperature and cold storage duration on survivorship of *Aphidius colemani*

源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
温度 Temperature	3 620.752	4	905.188	5.851**	0.001
冷藏时间 Duration	27 585.289	4	6 896.322	44.580**	0.000
温度×时间 Temperature×duration	4 010.864	16	250.679	1.620	0.094
误差 Error	8 508.216	55	154.695		
总变异 Total variation	213 179.800	81			

*表示 F 值达显著水平, **表示 F 值达极显著水平。表 6 和表 8 同。

* indicates that the F -value reaches significant level, and ** indicate that the F -value reaches extremely significant level. The same for Fig. 6 and Fig. 8.

4、5 和 6 °C 冷藏 20 d、6 °C 冷藏 25 d 成虫存活率最低，都小于 10%。综上粗脊蚜茧蜂僵蚜可以在 2-4 °C 冷藏 10 d 保存，其成虫存活率在 69.06%-72.07%之间。

2.3 冷藏对粗脊蚜茧蜂羽化成蜂寿命的影响

从表 5，表 6 可知，处理组粗脊蚜茧蜂僵蚜的羽化成蜂寿命与对照无显著差异 ($P>0.05$)。冷藏 10 d 处理的寿命最长，冷藏时间为 10 和 15 d 时，经过 2、3、4、5 和 6 °C 冷藏，两者之间羽化成蜂寿命无显著差异 ($P>0.05$)，但显著高于冷藏 5 d 羽化成蜂寿命 ($P<0.05$)，且与冷藏 20 和 25 d 及对照组成蜂寿命间不存在显著差异 ($P>0.05$)。其中 5 °C 冷藏 10 d 寿命最长为 4.37 d。2、3、4 和 5 °C 冷藏 10 d，羽化成蜂寿命在 4.02 d 以上；5 °C 冷藏 15 d 寿命仍在 4.29 d 以上。综上粗脊蚜茧蜂僵蚜可以在 2、3、4 和 5 °C 冷藏 10 d 保存或 5 °C 冷藏 15 d 保存，羽化成蜂寿命在 4.02-4.37 d 之间。

2.4 冷藏对粗脊蚜茧蜂羽化成蜂雌雄性比的影响

从表 7，表 8 可知，粗脊蚜茧蜂僵蚜分别在 2、4、5 和 6 °C 温度下，经过 5、10、15、20 和 25 d 冷藏后，在 25 °C 羽化成蜂的雌雄性比与对照 (25 °C 未冷藏) 和 3 °C 冷藏差异显著 ($P<0.05$)；各温度在不同冷藏时间雌雄性比间无显著差异 ($P>0.05$)，2 和 4 °C 时在不同冷藏时间雌雄性比显著高于 3 和 5 °C ($P<0.05$)；经过 5、10、15、20 和 25 d 在各温度冷藏后雌雄性比间无显著差异 ($P>0.05$)，但与对照差异显著 ($P<0.05$)。4 °C 冷藏 5 d 羽化成蜂雌雄性比最大为 3.13，其次分别是 2 °C 冷藏 5 d 雌雄性比为 2.96，4 °C 冷藏 15 d 性比为 2.78，6 °C 冷藏 10 d 性比为 2.71，5 °C 冷藏 20 d 性比为 2.68。综上，粗脊蚜茧蜂僵蚜可以选择在 6 °C 冷藏 10 d、4 °C 冷藏 15 d 或者 5 °C 冷藏 20 d 保存，其雌雄性比均在 2.68 以上。

表 5 冷藏温度和冷藏时间对粗脊蚜茧蜂寿命的影响
Table 5 Effects of cold storage temperature and cold storage duration on the longevity of *Aphidius colemani*

温度 (°C) Temperature (°C)	寿命 (d) Longevity(d)				
	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d
2	2.12±0.53 a(b)	4.15±0.64 a(a)	3.83±0.40 a(a)	3.31±0.42 a(ab)	2.50±0.50 a(ab)
3	2.43±0.83 a(b)	4.02±0.53 a(a)	3.46±0.88 a(a)	3.74±0.25 a(ab)	4.33±0.88 a(ab)
4	2.56±1.12 a(b)	4.16±0.35 a(a)	3.72±0.47 a(a)	3.5±3.50 a(ab)	2.46±1.00 a(ab)
5	3.12±0.77 a(b)	4.37±0.33 a(a)	4.29±0.59 a(a)	2.40±2.16 a(ab)	3.52±1.56 a(ab)
6	2.74±0.30 a(b)	3.82±0.89 a(a)	3.73±1.12 a(a)	2.06±1.83 a(ab)	2.50±1.50 a(ab)
25 (CK)			3.74±0.07 a(ab)		

表 6 冷藏温度和冷藏时间对粗脊蚜茧蜂寿命的影响
Table 6 Variance analysis of the effects of cold storage temperature and cold storage duration on the longevity of *Aphidius colemani*

源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
温度 Temperature	4.046	4	1.011	0.760	0.556
冷藏时间 Duration	23.184	4	5.796	4.355*	0.004
温度×时间 Temperature×duration	14.113	16	0.882	0.663	0.816
误差 Error	69.200	52	1.331		
总变异 Total variation	975.857	78			

表 7 冷藏温度和冷藏时间对粗脊蚜茧蜂雌雄性比的影响

Table 7 Effects of cold storage temperature and cold storage duration on sex ratio of *Aphidius colemani*

温度 (°C)	雌雄性比 Sex ratio				
Temperature (°C)	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d
2	2.96±0.39 a(a)	1.92±0.08 a(a)	1.30±0.29 a(a)	2.17±0.17 a(a)	1.88±0.11 a(a)
3	0.71±0.04 c(a)	1.50±0.06 c(a)	1.82±0.05 c(a)	1.51±0.08 c(a)	1.36±0.05 c(a)
4	3.13±0.81 a(a)	1.35±0.02 a(a)	2.78±0.19 a(a)	1.55±0.05 a(a)	1.28±0.07 a(a)
5	0.78±0.19 b(a)	1.95±0.06 b(a)	1.87±0.15 b(a)	2.68±0.62 b(a)	1.51±0.17 b(a)
6	1.30±0.05 ab(a)	2.71±0.55 ab(a)	1.52±0.14 ab(a)	1.38±0.02 ab(a)	2.41±0.09 ab(a)
25 (CK)	3.74±0.07 a(ab)				

表 8 冷藏温度和冷藏时间对粗脊蚜茧蜂雌雄性比影响的方差分析

Table 8 Variance analysis of the effects of cold storage temperature and cold storage duration on the sex ratio of *Aphidius colemani*

源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
温度 Temperature	4.339	4	1.085	15.806**	0.000
冷藏时间 Duration	0.398	4	0.099	1.448	0.231
温度×时间 Temperature×duration	25.889	16	1.618	23.576**	0.000
误差 Error	3.569	52	0.069		
总变异 Total variation	285.534	78			

3 结论与讨论

天敌昆虫是害虫生物防治中的重要组成部分,低温贮藏是实现天敌规模化生产和应用的重要环节。低温贮藏不但可以减缓天敌昆虫的生长发育,降低新陈代谢速率 (Hance *et al.*, 2007),同时随着贮藏温度的降低和时间的延长还会引起天敌的存活率、羽化率和生殖力下降,导致其寿命缩短等 (Coline and Boivin, 2011; Forouzan *et al.*, 2018),长期的恒定低温贮藏对寄生蜂的生存不利 (Hofsvang and Hagvar, 1977; Jarry and Tremblay, 1989; Langer and Hance, 2000; Levie *et al.*, 2005; Colinet *et al.*, 2006)。研究表明,布氏潜蝇茧蜂 *Fopius vandenboschi* 的羽化率随着温度的降低和贮藏时间的延长而降低,且均显著低于对照组 (25 °C) (林嘉等, 2022); 异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 同批羽化成虫在 10 °C 条件下冷藏保存 30 d 时存活率能达到 80%,继续保存至 40 d 时存活率则降至 50% 以下,但当冷藏温度降低到 0 °C 保存 20 d 时成虫存活率低于

50% (刘震等, 2009); 对浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* 的蛹进行冷藏后,随着贮藏时间的延长,羽化成虫的寿命下降至 66%-72% (Kidane *et al.*, 2015); 烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 随着低温贮藏的持续,低温对其存活率的影响明显增加 (唐文颖等, 2011)。冷藏后能保持较高的生命力和产卵能力,是评价天敌昆虫长时间冷藏效果的重要指标,也是天敌昆虫低温冷藏的最终目标 (徐学农和王恩东, 2008; Onagbola *et al.*, 2009)。冷藏后烟蚜茧蜂寿命在 5.20-6.23 d,低温冷藏对其寿命无明显影响 (陈茂华等, 2005); 低温冷藏对烟蚜茧蜂寿命无显著影响 (陈文龙和闫玉芳, 2012)。对 *Lysiphlebus testaceipes* (Archer *et al.*, 1973)、*Aphelinus asychis* (Archer *et al.*, 1973) 和 *Ephedrus cerasicola* (Hofsvang and Hagvar, 1977) 研究发现,雌性比雄性更能经受住低温伤害。可能原因在于烟蚜茧蜂雌、雄个体间生殖系统和体长/重量参数等有明显差异,雌性个体可能会储存更多的能量,在低温下能维持较低水平的新陈代谢,所以体内储存的能量至关

重要 (Renault *et al.*, 2002)。另外, 寄生蜂性别比例主要由外界因素决定, 如寄主龄期或营养状况等 (King, 1987)。

本研究中, 冷藏温度、冷藏时间及其交互作用对粗脊蚜茧蜂僵蚜羽化率的影响均不显著。处理组粗脊蚜茧蜂僵蚜的羽化率 (63.81%-89.52%) 与对照 (78.89%) 无显著差异。与布氏潜蝇茧蜂 (林嘉等, 2022) 研究结果不一致, 可能与粗脊蚜茧蜂的自身特性或是北方地区宁夏枸杞上优势种或试验条件不同有关。冷藏温度、冷藏时间对粗脊蚜茧蜂成虫存活率影响极显著, 冷藏温度和冷藏时间的交互作用对粗脊蚜茧蜂成虫存活率差异不显著。冷藏过程中粗脊蚜茧蜂僵蚜均有羽化现象, 成虫存活率在 2-6 °C 整体随冷藏温度升高而逐步降低, 与 Coline 和 Boivin (2011)、Forouzan 等 (2018) 研究结果不一致, 这可能与试验所用的粗脊蚜茧蜂地理种群不一致有关; 成虫存活率在冷藏时间 5-25 d 随时间延长先升高后降低, 与刘震等 (2009)、Coline 和 Boivin (2011)、Forouzan 等 (2018) 研究结果一致。僵蚜冷藏 10 d 成虫存活率在 43.83%-72.07% 之间, 显著高于其它冷藏时间下成虫存活率, 表明低温冷藏 10 d 僵蚜成虫存活率最高, 冷藏过程羽化数量最少。另外 4、5 和 6 °C 冷藏 20 d、6 °C 冷藏 25 d 成虫存活率都小于 10%, 表明低温冷藏时间越长成虫存活率越低。冷藏温度及其和冷藏时间的交互作用对粗脊蚜茧蜂僵蚜羽化成蜂寿命影响不显著, 冷藏时间对羽化成蜂寿命影响显著, 冷藏 10 和 15 d 时, 成蜂寿命显著高于冷藏 5 d, 冷藏 10 d 寿命最长在 3.82-4.37 d 之间。冷藏温度及其和冷藏时间的交互作用对粗脊蚜茧蜂羽化成虫雌雄性比影响极显著, 冷藏时间对雌雄性比影响不显著, 低温冷藏 10 d 雌雄性比在 1.35-2.71 之间, 低温冷藏 15 d 雌雄性比在 1.30-2.78 之间, 低温冷藏 20 d 雌雄性比在 1.38-2.68 之间。4 °C 冷藏 5 d 羽化成蜂雌雄性比最大为 3.13, 其次分别是 2 °C 冷藏 5 d, 雌雄性比为 2.96、4 °C 冷藏 15 d 性比为 2.78、6 °C 冷藏 10 d 性比为 2.71、5 °C 冷藏 20 d 性比为 2.68, 表明低温条件下贮藏粗脊蚜茧蜂僵蚜雌性更能

经受住低温伤害, 与 Archer 等 (1973)、Archer 和 Eikenbary (1973) 及 Hofsvang 和 Hagvar (1977) 研究结果一致。

粗脊蚜茧蜂僵蚜在低温冷藏过程均有羽化现象, 考虑僵蚜羽化率、成虫存活率、寿命及雌雄性比, 建议在 4 或 5 °C 下冷藏 10 d 保存, 其羽化率为 80.00%-84.76%, 成虫存活率为 62.03%-69.06%, 寿命 4.16-4.37 d, 雌雄性比 1.35-1.95, 可为其田间大规模定期释放提供重要的虫源保障。本试验仅从不同冷藏温度及冷藏时间对粗脊蚜茧蜂僵蚜羽化率、成虫存活率、寿命及雌雄性比方面影响进行研究, 但低温冷藏处理后羽化成虫的寄生能力、羽化成虫的冷藏保存、变温处理对粗脊蚜茧蜂的生殖影响等方面均需要进一步深入系统的研究。

参考文献 (References)

- Archer TL, Murray CL, Eikenbary RD, Starks KJ, Morrison RD, 1973. Cold storage of *Lysiphlebus testaceipes* mummies. *Environmental Entomology*, 2(6): 1104-1108.
- Archer TL, Eikenbary RD, 1973. Cold storage of *Aphelinus asychis*, a parasitoid of the greenbug. *Environmental Entomology*, 2(3): 489-490.
- Bernardo U, Iodice L, Sasso R, Pedata PA, 2008. Effects of cold storage on *Thripobius javae* (= *T. Semiluteus*) (Hymenoptera: Eulophidae). *Biocontrol Science and Technology*, 18(9): 921-933.
- Chen W, Leopold R, Harris M, 2008. Cold storage effects on maternal and progeny quality of *Gonatocerus ashmeadi* Girault (Hymenoptera: Mymaridae). *Biological Control*, 46(2): 122-132.
- Colinet H, Boivin G, 2011. Insect parasitoids cold storage: A comprehensive review of factors of variability and consequences. *Biological Control*, 58(2): 83-95.
- Colinet H, Renault D, Hance T, Vernon P, 2006. The impact of fluctuating thermal regimes on the survival of a cold-exposed parasitic wasp, *Aphidius colemani*. *Physiological Entomology*, 31(3): 234-240.
- Chen MH, Han CJ, Wang R, 2005. A preliminary study on the effects of cold storage on the pupae of *Aphidius gifuensis* Ashmead. *Plant Protection*, 31(2): 41-43. [陈茂华, 韩召军, 王瑞, 2005. 烟蚜茧蜂蛹期耐冷藏性研究. 植物保护, 31(2): 41-43.]

- Chen WL, Yan YF, 2012. Effects of cold storage on emergence ratio and life of *Aphidius gifuensis*. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 34(8): 1–5. [陈文龙, 闫玉芳. 冷藏处理对烟蚜茧蜂羽化率及寿命的影响. 西南大学学报(自然科学版), 34(8): 1–5.]
- Forouzan F, Jalali MA, Ziaaddini M, Hashemi Rad H, 2018. Effect of cold storage on biological traits of *Psix saccharicola* (Hymenoptera: Platygasteridae), an egg parasitoid of *Acrosternum arabicum* (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(3): 1144–1150.
- Hance T, Van Baaren J, Vernon P, Boivin G, 2007. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology*, 52: 107–126.
- Hofsvang T, Hagvar EB, 1977. Cold storage tolerance and supercooling points of mummies of *Ephedrus cerasicola* Stary and *Aphidius colemani* Viereck (Hym: Aphelinidae). *Norwegian Journal of Entomology*, 24(1): 1–6.
- Jarry I, Tremblay E, 1989. Cold storage of *Lysiphlebus fabarum* (Marsh.) mummies (Hymenoptera: Braconidae). *Bollettino Del Laboratorio Di Entomologia Agraria Filippo Silvestri*, 46: 199–206.
- King BH, 1987. Offspring sex ratios in parasitoid wasps. *Quarterly Review of Biology*, 62(4): 367–396.
- Kidane D, Yang NW, Wan FH, 2015. Effect of cold storage on the biological fitness of *Encarsia Sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae), a parasitoid of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *European Journal of Entomology*, 112(3): 460–469.
- Kostal V, Vambera J, Bastl J, 2004. On the nature of pre-freeze mortality in insects: Water balance, ion homeostasis and energy charge in the adults of *Pyrrhocoris apterus*. *Journal of Experimental Biology*, 207(Pt 9): 1509–1521.
- Kostal V, Yanagimoto M, Bastl J, 2006. Chilling-injury and disturbance of ion homeostasis in the coxal muscle of the tropical cockroach (*Nauphoeta cinerea*). *Comparative Biochemistry and Physiology A: Molecular and Integrative Physiology*, 143(2): 171–179.
- Leopold RA, 1998. Cold storage of insects for integrated pest management// Hallman GJ, Denlinger DL (eds.). *Temperature Sensitivity in Insects and Application in Integrated Pest Management*. Boulder: Westview Press. 235–267.
- Langer A, Hance T, 2000. Overwintering strategies and cold hardiness of two aphid parasitoid species (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). *Journal of Insect Physiology*, 46(5): 671–676.
- Lysyk TJ, 2004. Effects of cold storage on development and survival of three species of parasitoids (Hymenoptera: Pteromalidae) of house fly, *Musca domestica* L. *Environmental Entomology*, 33: 823–831.
- Levie A, Vernon P, Hance T, 2005. Consequences of acclimation on survival and reproductive capacities of cold-stored mummies of *Aphidius rhopalosiphii* (Hymenoptera: Aphidiinae). *Journal of Economic Entomology*, 98(3): 704–708.
- Lin J, Yang DQ, Hao XX, Jia PF, Cai PM, Liu CM, Ji QE, 2022. Effect of cold storage on the biological characteristics of *Fopius vandenboschi* (Fullaway). *Chinese Journal of Biological Control*, 38(2): 292–299. [林嘉, 杨德庆, 郝旭兴, 贾平凡, 蔡普默, 刘长明, 季清娥, 2022. 低温贮藏对布氏潜蝇茧蜂生物学特性的影响. 中国生物防治学报, 38(2): 292–299.]
- Liu Z, Xu HF, Kong FH, Sun ZB, Zhu BZ, 2009. Study on optimum cold storage conditions for adults of *Harmonia axyridis* Pallas. *Shandong Agricultural Sciences*, 41(6): 64–67. [刘震, 徐洪富, 孔繁华, 孙竹波, 朱彬洲, 2009. 异色瓢虫成虫最适冷藏条件的研究. 山东农业科学, 41(6): 64–67.]
- Onagbola EO, Boina DR, Hermann SL, Stelinski LL, 2009. Antennal sensilla of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 102(3): 523–531.
- Renault D, Salin C, Vannier G, Vernon P, 2002. Survival at low temperatures in insects: What is the ecological significance of the supercooling point. *Cryo Letters*, 23(4): 217–228.
- Tang WY, Zhang Y, Zheng FQ, Mo TL, Liu TX, Xu YY, 2011. Effects of fluctuating thermal regimes on the survival of cold-exposed parasitoid wasps *Aphidius gifuensis* ashmead. *Scientia Agricultura Sinica*, 44(3): 493–499. [唐文颖, 张燕, 郑方强, 墨铁路, 刘同先, 许永玉, 2011. 变温对烟蚜茧蜂低温贮藏存活特性的影响. 中国农业科学, 44(3): 493–499.]
- van Lenteren JC, Tommasini M, 2002. Mass production, storage, shipment and quality control of natural enemies// Albajes R, Gullino ML, van Lenteren JC, Elad Y (eds.). *Mass Production, Storage, Shipment and Quality Control of Natural Enemies, Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops*. Netherlands: Springer. 276–294.
- Xu XN, Wang ED, 2008. Techniques for production and application of natural enemies in abroad. *Chinses Journal of Biological Control*, 24(1): 75–79. [徐学农, 王恩东, 2008. 国外昆虫天敌商品化生产技术应用. 中国生物防治学报, 24(1): 75–79.]