

冷藏时间对褐带卷蛾茧蜂寄生和繁殖的影响*

钟宝珠** 吕朝军*** 李文莲 李朝绪

(中国热带农业科学院椰子研究所, 文昌 571339)

摘要 【目的】明确不同冷藏时间对褐带卷蛾茧蜂 *Bracon adoxophyesi* Minamikawa 存活、寄生和繁殖的影响, 为褐带卷蛾茧蜂的低温保存技术提供理论依据。【方法】在 10 °C 条件下, 测定不同冷藏时间 (30、45、60、75、90 和 105 d) 对褐带卷蛾茧蜂的存活、寄生、产卵和子代发育的影响。【结果】褐带卷蛾茧蜂成蜂冷藏 30 d 和 45 d 时存活率分别为 97.35% 和 82.07%, 且两者之间差异不显著; 随着冷藏时间的延长, 褐带卷蛾茧蜂成蜂的存活率呈降低的趋势, 冷藏 75 d 时, 寄生蜂存活率仅为 46.77%; 褐带卷蛾茧蜂冷藏 30-75 d 后对雌蜂刺死寄主 (大蜡螟) 数量无显著差异, 刺死率平均为 79.00%-92.00%, 与对照 (刺死率 99.00%) 相比差异不显著; 冷藏显著降低褐带卷蛾茧蜂对寄主的寄生率, 冷藏 30 d 后褐带卷蛾茧蜂对寄主的寄生率为 25.00%, 而对照的寄生率为 44.00%; 冷藏可提高寄生蜂的产卵量, 冷藏 30 d 时褐带卷蛾茧蜂的产卵总量最高, 为 78.60 粒, 其次为冷藏 60 d 和 45 d, 产卵量分别为 71.33 和 70.00 粒, 均显著高于对照 (47.80 粒); 褐带卷蛾茧蜂冷藏后对其子代的卵孵化、幼虫化蛹和成虫羽化未产生明显的影响, 但降低子代性比 (♀ : ♂)。【结论】褐带卷蛾茧蜂在冷藏 30-60 d 下对其刺死寄主无影响, 产卵量较对照高, 建议褐带卷蛾茧蜂的冷藏时间在 60 d 以内。

关键词 褐带卷蛾茧蜂; 低温贮藏; 存活率; 寄生效果; 产卵

Effects of cold storage time on parasitism and reproduction of *Bracon adoxophyesi* Minamikawa

ZHONG Bao-Zhu** LÜ Chao-Jun*** LI Wen-Lian LI Chao-Xu

(Coconut Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wenchang 571339, China)

Abstract 【Objectives】To clarify the effects of cold storage time on the survival, parasitism and reproduction of *Bracon adoxophyesi* Minamikawa, and thereby improve the low-temperature storage of this parasitic wasp. 【Methods】The effect of keeping *B. adoxophyesi* at 10 °C for 30, 45, 60, 75, 90 and 105 d on adult survival rate, parasitism, oviposition and offspring development, were measured and compared. 【Results】The survival rates of adults were 97.35% and 82.07% after 30 and 45 d cold storage, respectively. Survival declined with longer periods of cold storage to a minimum of 46.77% after 75 days. There was no significant difference in the number of hosts (*Galleria mellonella* Linnaeus) killed by, or the average mortality rate (79.00%-92.00%) of, female wasps that had been subject to 30-75 d cold storage compared to the control group (99.00%). However, cold storage significantly reduced the parasitism rate which was 25.00% after 30 days cold storage compared to 44.00% for the control. Cold storage increased the oviposition rate; the highest total number of eggs laid (78.60) was recorded after 30 d cold storage, followed by 60 d and 45 d (71.33 and 70.00, respectively), all of which were significantly higher than the control (47.80). Cold storage in did not affect hatching, pupation or adult emergence of progeny, but did decrease the ♀ : ♂ sex ratio of offspring. 【Conclusion】Storing *B. adoxophyesi* at 10 °C for 30-60 d had no effect on the host paralysis rate, and increased the oviposition rate relative to the control. *B. adoxophyesi* should be kept in cold storage for no more than 60 d.

Key words *Bracon adoxophyesi* Minamikawa; low-temperature storage; survival rate; parasitic effect; oviposition

*资助项目 Supported projects: 海南省重大科技计划项目 (zdkj201817); 中国热带农业科学院热带木本油料创新团队项目 (1630152017010)

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

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lcj5783@126.com

收稿日期 Received: 2022-05-13; 接受日期 Accepted: 2022-07-04

褐带卷蛾茧蜂 *Bracon adoxophyesi* Minamikawa 是鳞翅目昆虫的一种外寄生蜂, 可寄生棕榈植物害虫红脉穗螟 *Tirathaba rufivena* Walker (吕朝军等, 2020) 和椰子织蛾 *Opisina arenosella* Walker (李洪等, 2015; 林玉英等, 2018) 的中高龄幼虫, 少数也可寄生预蛹, 一般不寄生低龄幼虫。褐带卷蛾茧蜂在产卵时先将寄主幼虫麻痹, 再在被麻痹的寄主中选择合适寄主进行寄生产卵, 被寄生蜂麻痹而未被寄生的寄主最终也会死亡 (何俊华等, 1989; 罗旭初等, 2017)。目前该蜂已成为田间椰子织蛾和红脉穗螟的重要生物防治资源之一 (钟宝珠等, 2021), 但对该蜂的室内繁育技术研究还较少, 尤其是在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 (Leopold *et al.*, 1998), 在适当的低温条件下, 寄生蜂发育缓慢甚至停止, 从而可以延长寄生蜂的保存时间。通过低温处理寄主 (寄主被寄生前和被寄生后) 或低温处理寄生蜂, 然后对寄生蜂的寄生力等进行总体评估的方式获得了多种寄生蜂的最佳保存温度和时间 (时敏等, 2020), 如椰心叶甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae* Ferriere (许春霁等, 2008; Tang *et al.*, 2014)、管氏肿腿蜂 *Scleroderma guani* Xiao *et Wu* (陈倩等, 2008a, 2008b; 胡镇杰等, 2017) 等。研究表明, 通过低温降低寄生蜂成蜂的活动从而延长成蜂寿命的方法可以直接保存丽蝇蛹集金小蜂 *Nasonia vitripennis* Walker (任倩等, 2011) 和麦蛾柔茧蜂 *Habrobracon hebetor* Say (Chen *et al.*, 2011, 2013) 的成虫。本试验在明确低温对褐带卷蛾茧蜂发育的作用下, 研究 10 °C 条件下褐带卷蛾茧蜂成蜂在不同冷藏时间下的存活率, 以及不同冷藏时间对褐带卷蛾茧蜂寄生和繁殖的影响, 以期在实际应用中褐带卷蛾茧蜂的室内保种技术研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

褐带卷蛾茧蜂采集于海南省屯昌县槟榔园中, 在室内以大蜡螟 *Galleria mellonella* Linnaeus

老熟幼虫作为寄主进行继代繁殖 5 代以上。寄主大蜡螟为本实验室自繁自育的实验种群。

1.2 试验方法

1.2.1 寄生蜂冷藏方法 将新羽化的寄生蜂放入玻璃试管 (1.5 cm×10 cm) 中, 管内放置蘸有 10% 蜂蜜水的滤纸条作为营养源, 用脱脂棉球塞住管口后放入冷藏箱 (华美医药冷藏箱 LC-2000D) 中, 温度为 (10±1) °C, 相对湿度为 65%±5%, 光周期为 14L:10D 条件下保存。冷藏时间分别设置为 30、45、60、75、90 和 105 d, 待冷藏时间结束后开展相应的寄生和繁殖试验。

1.2.2 冷藏时间对寄生蜂存活率的影响 选取不同冷藏时间的寄生蜂供试。以冷藏时间相同的寄生蜂作为一个处理, 每处理雌雄蜂各 25 头, 每个处理重复 10 次, 在 (27±1) °C 放置 5 h 后统计寄生蜂总存活个体数和雌蜂存活个体数, 计算总存活率 (存活的雌雄蜂总虫数占试验虫数的百分率) 和雌蜂存活率 (雌蜂存活数占试验虫数的百分率)。检查时以寄生蜂能够正常爬行记为存活, 否则记作死亡。

1.2.3 冷藏时间对褐带卷蛾茧蜂寄生能力的影响 选取冷藏后健康活泼的寄生蜂成蜂个体供试。在养虫盒 (20.0 cm×12.0 cm×6.5 cm) 内放入大蜡螟老熟幼虫 20 头, 每盒中接入寄生蜂 2 对, 置于 (27±1) °C 下让其自由寄生, 2 d 后去除寄生蜂, 在显微镜 (凤凰 XTL-165-VT) 下观察各寄主被寄生情况, 记录大蜡螟被寄生和被刺死数量, 统计寄生率和刺死率。每个处理重复 5 次。以出蜂 24 h 内未冷藏的健康寄生蜂为对照。判断标准: 被寄生虫体饱满且体表有卵, 表明寄生成功; 寄主死亡且体表无蜂卵, 表明其被寄生蜂刺死但未寄生。

1.2.4 冷藏对褐带卷蛾茧蜂繁殖力的影响 将冷藏后的寄生蜂配对后放入 60 目网管 (2.0 cm×5.5 cm), 每管中放入大蜡螟老熟幼虫 2 头并引入寄生蜂 2 对, 置于温度为 (27±1) °C、相对湿度为 65%±5%、光周期为 14L:10D 的条件下培养。每个冷藏时间作为一个处理, 重复 5 次。分别于接蜂后 2、4 和 6 d 时取出寄主幼虫并在显微镜下检查并记录寄生蜂的产卵量, 同时每管补

充大蜡螟 2 头。检查后继续培养卵至寄生蜂羽化,观察并记录卵、幼虫、蛹等发育和存活情况及雌雄蜂的出蜂数量,统计子代蜂的卵孵化率、幼虫化蛹率、成虫羽化率和雌雄性比。

1.3 数据分析方法

采用 Excel V2013 和 SPSS V21.0 软件对数据进行分析,多重比较采用 Duncan's 新复极差法 (DMRT 法) 进行。

2 结果与分析

2.1 冷藏时间对寄生蜂存活率的影响

冷藏时间对褐带卷蛾茧蜂成蜂存活率的影响见表 1。冷藏 30 d 和 45 d 时,褐带卷蛾茧蜂的成蜂总存活率分别为 97.35% 和 82.07%,且两者之间差异不显著 ($F=30.14$, $df=5$, $P<0.05$)。随着冷藏时间的延长,褐带卷蛾茧蜂成蜂的总存活率呈现降低的趋势,冷藏时间达到 75 d 时,寄生蜂存活率仅为 46.77%。试验中褐带卷蛾茧蜂雌蜂较雄蜂对低温的耐受力相对较强,在冷藏时间为 30-75 d 时,褐带卷蛾茧蜂雌蜂的存活率为 25.37%-34.68%,且无显著性差异 ($F=5.60$, $df=5$, $P<0.05$)。

表 1 不同冷藏时间处理后褐带卷蛾茧蜂的存活率
Table 1 Survival rate of *Bracon adoxophyesi* after different time of cold storage

冷藏时间 (d) Storage duration (d)	总存活率 (%) Overall survival rate (%)	雌蜂存活比率 (%) Female survival rate (%)
30	97.35±1.23 a	34.68±3.86 a
45	82.07±8.35 ab	25.51±4.16 ab
60	74.44±5.44 b	31.93±5.55 ab
75	46.77±8.84 c	25.37±3.26 ab
90	30.29±5.26 c	20.33±3.04 b
105	11.53±3.19 d	7.48±1.99 c

表中数据为平均值±SE,同列数据后字母相同表示在 0.05 水平上差异不显著。下表同。

Data are mean±SE, and followed by the same lowercase letters in the same column indicate no significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 冷藏时间对寄生蜂寄生能力的影响

从表 2 可知,褐带卷蛾茧蜂冷藏 30-90 d 后,雌蜂麻痹刺死寄主数量无显著差异 ($F=2.76$, $df=6$, $P<0.05$),对寄主的刺死率平均为 79.00%-92.00%,与对照刺死率 (99.00%) 差异不显著;当冷藏时间超过 90 d 时寄生蜂的刺死率显著降低;冷藏后寄生蜂的寄生作用会随着冷藏时间的延长而减低,如冷藏 30 d 后褐带卷蛾茧蜂对寄主的寄生率为 25.00%,与对照 (44.00%) 相比降低了 19.00%,冷藏时间延长至 105 d 时褐带卷蛾茧蜂对寄主无寄生 ($F=30.01$, $df=6$, $P<0.01$)。

表 2 不同冷藏时间对褐带卷蛾茧蜂寄生寄主的影响
Table 2 Effects of cold storage time on host parasitism of *Bracon adoxophyesi*

冷藏时间 (d) Storage duration (d)	刺死率 (%) Mortality rate (%)	寄生率 (%) Parasitic rate (%)
30	88.00±4.90 a	25.00±5.00 b
45	92.00±2.00 a	15.00±2.74 c
60	83.00±7.68 ab	10.00±2.74 cd
75	91.00±4.00 a	7.00±2.55 cd
90	79.00±11.55 ab	4.00±1.87 d
105	64.00±9.41 b	0.00±0.00 e
CK	99.00±1.00 a	44.00±1.87 a

2.3 冷藏时间对寄生蜂繁殖力的影响

冷藏时间对褐带卷蛾茧蜂产卵量的影响如表 3。冷藏 30-105 d 后寄生蜂的产卵量均会受到不同程度的影响,从试验结果来看,冷藏时间为 30 d 时褐带卷蛾茧蜂的产卵总量最高,为 78.60 粒,其次为冷藏 60 d 和 45 d,产卵量分别为 71.33 粒和 70.00 粒,这三者之间差异不显著,但均显著高于对照 (产卵量为 47.80 粒);同时从表 3 中也可以看出,随着冷藏时间的延长,寄生蜂的首次产卵时间向后推迟,经冷藏后寄生蜂雌蜂的产卵高峰期一般在第 4 至第 6 天,产卵量占总产卵量的 50% 以上。

褐带卷蛾茧蜂冷藏后对其子代发育的影响如表 4。由表 4 可知,冷藏对寄生蜂子代卵和幼虫存活的影响相对较小,只有冷藏时间为 105 d

的寄生蜂所产卵的孵化率显著降低外，其他冷藏处理组对褐带卷蛾茧蜂子代的卵孵化率、幼虫化蛹率、成虫羽化率与对照组相比均无显著性差异。

褐带卷蛾茧蜂经过冷藏后所繁殖的子代出蜂总量无显著性差异（表 5），但褐带卷蛾茧蜂母代成蜂经过冷藏后会使得子代蜂的雌蜂数量明显降低，未经冷藏处理的寄生蜂子代性比（♀：♂）为 1.15，而经过冷藏后，子代寄生蜂的性比（♀：♂）会随着冷藏时间的延长而降低，当冷

表 3 不同冷藏时间对褐带卷蛾茧蜂产卵量的影响
Table 3 Effects of cold storage time on oviposition of *Bracon adoxophyesi*

冷藏时间（d） Storage duration (d)	产卵量（粒）Eggs laid per female (grains)			
	2 d	4 d	6 d	合计 Total number
30	9.20±3.88 ab	50.00±10.05 a	19.40±2.99 bc	78.60±8.90 a
45	6.00±1.52 b	43.00±7.09 a	21.00±3.91 bc	70.00±5.99 ab
60	0.33±0.22 b	30.33±9.40 ab	40.67±1.86 a	71.33±10.72 ab
75	0.00±0.00 b	27.40±7.41 ab	17.60±2.06 c	45.00±7.50 bc
90	1.00±0.77 b	18.20±5.15 bc	36.60±6.45 a	55.80±10.29 abc
105	0.00±0.00 b	2.80±1.50 c	30.20±3.04 a	33.00±3.49 c
CK	15.20±5.98 a	32.60±8.08 ab	0.00±0.00 d	47.80±8.73 bc

表 4 不同冷藏时间对褐带卷蛾茧蜂子代蜂幼虫存活和化蛹的影响
Table 4 Effects of different cold storage time on larval survival and pupation of *Bracon adoxophyesi* progenies

冷藏时间（d） Storage duration (d)	卵孵化率（%） Egg hatchability (%)	幼虫化蛹率（%） Larvae pupation rate (%)	成虫羽化率（%） Adult emergence rate (%)
30	91.04±1.40 ab	75.11±7.33 a	85.77±3.66 a
45	88.49±2.72 ab	78.05±5.74 a	87.71±2.48 a
60	94.30±1.32 a	90.08±3.06 a	88.77±2.33 a
75	89.74±4.60 ab	81.93±2.02 a	79.52±4.69 a
90	88.49±3.09 ab	74.87±6.28 a	89.53±3.06 a
105	83.39±3.89 b	73.19±8.52 a	87.45±7.35 a
CK	87.92±2.42 ab	87.12±4.24 a	89.87±3.16 a

表 5 冷藏时间对褐带卷蛾茧蜂子代性比的影响
Table 5 Effects of cold storage time on progeny sex ratio of *Bracon adoxophyesi*

冷藏时间（d） Storage duration (d)	出蜂总数（头） Total number of adult (ind.)	雌蜂数量（头） Number of female (ind.)	雄蜂数量（头） Number of male (ind.)	性比（♀：♂） Sex ratio
30	51.80±11.16 a	10.40±4.99 ab	41.40±12.42 a	0.25
45	51.00±5.45 a	12.20±5.81ab	38.80±4.79 a	0.31
60	37.80±15.90 ab	7.80±4.75 ab	30.00±14.20 a	0.26
75	28.00±7.83 ab	3.00±1.90 b	25.00±9.08 a	0.12
90	14.00±2.51 b	0.40±0.24 b	13.60±2.42 a	0.03
105	29.00±5.02 ab	0.00±0.00 b	29.00±5.02 a	-
CK	42.20±12.16 ab	22.60±9.16 a	19.60±6.02 a	1.15

藏时间达到 105 d 时, 子代寄生蜂全部为雄性个体。

3 讨论与结论

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)。林嘉等 (2022) 研究表明, 布氏潜蝇茧蜂 *Fopius vandenboschi* (Fullaway) 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); 异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Palla 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 时存活率则会降至 50% 以下; 但当冷藏温度降低到 0 °C 保存 20 d 时成虫存活率就已低于 50% (刘震等, 2009); Kidane 等 (2015) 对浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* (Girault & Dodd) 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%。在本研究中, 褐带卷蛾茧蜂冷藏 30 d 和 45 d 后成蜂的存活率分别为 97.35% 和 82.07%, 两者之间差异不显著; 当冷藏时间延长到 60 d 时成蜂的存活率为 74.44%, 继续冷藏至 75 d 时寄生蜂的存活率明显降低, 存活率仅为 46.77%; 同时研究发现, 褐带卷蛾茧蜂雌蜂较雄蜂对低温的抵御能力更强, 这对后代繁殖更有利。

寄生蜂的寄生率一般会随着低温贮藏时间的延长而降低 (Nadeem *et al.*, 2010)。管氏肿腿蜂低温 (-4 °C) 贮藏 20 d 以内时, 其寄生率随贮藏天数的增加而增加, 20 d 之后则随贮藏天数的增加而降低 (陈倩等, 2006); 刘伟等 (2020) 研究表明, 烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead 的寄生率会随着冷藏时间的延长逐渐减低, 冷藏时间在 20 d 之内其寄生率在 80% 以上, 当冷藏天数达到 40 d 时寄生率显著下降。褐带卷蛾茧蜂冷藏 30-90 d 后对雌蜂麻痹刺死寄主数量无显

著差异, 对寄主的刺死率平均为 79.00%-92.00%, 与对照刺死率 99.00% 相比差异不显著; 但冷藏会明显降低褐带卷蛾茧蜂对寄主的寄生率, 如冷藏 30 d 后褐带卷蛾茧蜂对寄主的寄生率仅为 25.00%, 与对照 (44.00%) 相比降低了 19.00%。

低温贮藏还会影响寄生蜂的产卵量, 一般情况下寄生蜂的生殖力会随着贮藏温度的降低和时间的延长而下降 (Hanna, 1935; Debach, 1943; 沈祖乐等, 2017)。但本研究发现褐带卷蛾茧蜂冷藏 30-60 d 后雌蜂的产卵量较对照组多, 推测适当冷藏可能对褐带卷蛾茧蜂雌蜂产卵有促进作用。类似的结果在其他天敌中也有报道, 如异色瓢虫冷藏 90 d 后的产卵量明显高于冷藏 60 d 个体的产卵量 (杜文梅等, 2016); 广聚萤叶甲 *Ophraella communa* Lesage 成虫经过 4-8 °C 的低温驯化后会使其成虫的寿命明显延长, 繁殖力也相应增强 (李敏, 2010)。关于低温贮藏对天敌昆虫产卵的促进作用报道相对较少, 具体的作用机制有待更深入的研究。

天敌昆虫的滞育类型较复杂, 由于大多数天敌昆虫自身不能合成脂肪, 经过低温贮藏后的冷伤害效应不会立刻出现, 可能会影响到后一个发育阶段和后代 (Visser *et al.*, 2010)。本研究结果表明, 褐带卷蛾茧蜂冷藏后对其子代的卵孵化、幼虫化蛹和成虫羽化未产生明显的影响, 但经过不同时间冷藏后, 褐带卷蛾茧蜂子代性比 (♀: ♂) 降低, 雌性后代减少, 而雄性后代显著增加, 从这方面来说冷藏不利于寄生蜂繁殖后代。寄生蜂性比的影响因素较多, 对于本研究中冷藏所导致其性比降低的问题还有待进一步研究。

参考文献 (References)

- Chen H, Opit GP, Sheng P, Zhang H, 2011. Maternal and progeny quality of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) after cold storage. *Biological Control*, 58(3): 255-261.
- Chen H, Zhang H, Zhu KY, Throne J, 2013. Performance of diapausing parasitoid wasps, *Habrobracon hebetor*, after cold storage. *Biological Control*, 64(3): 186-194.
- Chen Q, Liang HZ, Gao LW, Shen ZR, 2008a. Influence of storage time of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) pupa at low temperature on parasitoid or reproduction of maternal and offspring of *Scleroderma guani* (Hymenoptera: Bethyilidae).

- Scientia Silvae Sinicae*, 44(5): 65–69. [陈倩, 梁洪柱, 高灵旺, 沈佐锐, 2008a. 黄粉甲蛹低温贮存时间对管氏硬皮肿腿蜂母代和子代寄生与繁育的影响. 林业科学, 44(5): 65–69.]
- Chen Q, Liang HZ, Gao LW, Shen ZR, Tian HP, 2008b. Influence of host storage temperature and duration on the reproduction of *Scleroderma guani*. *Chinese Journal of Biological Control*, 24(1): 7–11. [陈倩, 梁洪柱, 高灵旺, 沈佐锐, 田会鹏, 2008b. 中间寄主贮存温度和时间对管氏肿腿蜂繁殖的影响. 中国生物防治, 24(1): 7–11.]
- Chen Q, Liang HZ, Zhang QS, 2006. Effect of cold storage of *tenebrio molitor* pupae on the breeding of *Scleroderma guani*. *Chinese Journal of Biological Control*, 22(1): 30–32. [陈倩, 梁洪柱, 张秋双, 2006. 低温贮存黄粉虫蛹对管氏硬皮肿腿蜂繁育的影响. 中国生物防治, 22(1): 30–32.]
- Coline TH, Boivin G, 2011. Insect parasitoids cold storage: A comprehensive review of factors of variability and consequences. *Biological Control*, 58(2): 83–95.
- Debach P, 1943. The effect of low storage temperature on reproduction in certain parasitic Hymenoptera. *Pan-Pacific Entomologist*, 19(3): 112–119.
- Du WM, Sun GZ, Zang LS, Wang XM, Ruan CC, Liu XJ, 2016. Effect of long-term cold storage on fecundity of pre-wintering *Harmonia axyridis* (Pallas) and the fitness of its progeny. *Journal of Environmental Entomology*, 38(2): 286–292. [杜文梅, 孙光芝, 臧连生, 王秀梅, 阮长春, 刘显娇, 2016. 长期冷藏对越冬代异色瓢虫繁殖及子代生长发育和捕食能力的影响. 环境昆虫学报, 38(2): 286–292.]
- Forouzan F, Jalali M, Ziaaddini M, Hashemi RH, 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.
- Hanna AD, 1935. Fertility and tolerance of low temperature in *Euchalcidia carybori* Hanna (Hymenoptera: Chalcididae). *Bulletin of Entomological Research*, 26(3): 315–322.
- He JH, Chen XX, Ma Y, 1989. The Braconid (Hymenoptera) parasites of *Adoxophyes orana* Fischer von Rosterstamm (Lepidoptera: Tortricidae) from China. *Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis*, 15(4): 437–439. [何俊华, 陈学新, 马云, 1989. 中国棉褐带卷蛾的茧蜂. 浙江农业大学学报, 15(4): 437–439.]
- Hu ZJ, Yang HB, Lin XM, Zhang QW, Dong JF, 2017. Effects of low temperature storage of substituted host on the reproduction of *Scleroderma guani*. *Chinese Journal of Biological Control*, 33(2): 165–170. [胡镇杰, 杨海博, 林晓民, 张青文, 董钧锋, 2017. 低温处理替代寄主对管氏肿腿蜂繁殖的影响. 中国生物防治学报, 33(2): 165–170.]
- 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.
- Leopold RA, Rojas RR, Atkinson PW, 1998. Post pupariation cold storage of three species of flies: Increasing chilling tolerance by acclimation and recurrent recovery periods. *Cryobiology*, 36(3): 213–224.
- Li H, Liu L, Yan W, 2015. Occurrence and control of the coconut black-headed caterpillar, *Opisina arenosella* (Walker), a new invasive pest. *Forest Pest and Disease*, 34(4): 10–13. [李洪, 刘丽, 阎伟, 2015. 新入侵害虫椰子织蛾的发生及防治. 中国森林病虫, 34(4): 10–13.]
- Li M, 2010. Study on adaptability of *Ophraella communa* Lesage (Coleoptera: Chrysomelidae) to low temperature. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [李敏, 2010. 广聚萤叶甲低温适应性研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- 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.]
- Lin YY, Jin T, Jin QA, Wen HB, Peng ZQ, 2018. Life table of the experimental population of *Bracon adoxophyesi* Minamikawa at different temperatures. *Plant Protection*, 44(1): 105–109. [林玉英, 金涛, 金启安, 温海波, 彭正强, 2018. 不同温度下褐带卷蛾茧蜂实验种群生命表. 植物保护, 44(1): 105–109.]
- Liu W, Yu L, Guo X, Wei HY, 2020. Effect of the activities of *Aphidius gifuensis* on low temperature storage. *Insect Research of Central China*, 16: 185–192. [刘伟, 余玲, 郭欣, 魏洪义, 2020. 低温储藏对烟蚜茧蜂活力的影响. 华中昆虫研究, 16: 185–192.]
- Liu Z, Xu HF, Kong FH, Sun ZB, Zhu BZ, 2009. Study on optimum cold storage conditions for adults of *Harmonia axyridis* Palla. *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.]
- Luo XC, Liu L, Huang SC, Yan W, Ma ZL, 2017. Observation on

- eclosion, mating and oviposition behaviors of *Bracon adoxophyesi*. *Journal of Environmental Entomology*, 39(2): 382–389. [罗旭初, 刘丽, 黄山春, 阎伟, 马子龙, 2017. 褐带卷蛾茧蜂羽化、交配及产卵行为观察. 环境昆虫学报, 39(2): 382–389.]
- Lv CJ, Zhong BZ, Qin WQ, Li CX, Yan W, Han MG, 2020. Breeding effectiveness comparison of different breeding equipment on *Bracon adoxophyesi* Mimanikawa. *Journal of Environmental Entomology*, 42(3): 766–769. [吕朝军, 钟宝珠, 覃伟权, 李朝绪, 阎伟, 韩民光, 2020. 不同繁育器材对褐带卷蛾茧蜂繁育效果比较. 环境昆虫学报, 42(3): 766–769.]
- Nadeem S, Ashfaq M, Hamed M, Ahmed S, 2010. Optimization of short and long term storage duration for *Trichogramma chilonis* (Ishii) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) at low temperatures. *Pakistan Journal of Zoology*, 42(1): 63–67.
- Ren Q, Wang RS, Shen C, Yu AL, Shi WF, Wan WJ, Li XX, Zhang Z, 2011. Effect of adult cold storage on the longevity and reproductive capacity of female *Nasonia vitripennis*. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 22(1): 16–18. [任倩, 王瑞松, 沈忱, 于爱莲, 史卫峰, 万文菊, 李晓霞, 张忠, 2011. 成虫期冷藏对丽蝇蛹集金小蜂雌蜂寿命和繁殖的影响. 中国媒介生物学及控制杂志, 22(1): 16–18.]
- Shen ZL, Li YH, Zhou YT, Xu WM, Qiu BL, 2017. Review on the cold storage research of insect natural enemies. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 38(2): 374–380. [沈祖乐, 李翌菡, 周雅婷, 许炜明, 邱宝利, 2017. 天敌昆虫低温贮藏研究进展. 热带作物学报, 38(2): 374–380.]
- Shi M, Tang P, Wang ZZ, Huang JH, Chen XX, 2020. Review of research on parasitoids and their use in biological control in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(3): 491–548. [时敏, 唐璞, 王知知, 黄健华, 陈学新, 2020. 中国寄生蜂研究及其在害虫生物防治中的应用. 应用昆虫学报, 57(3): 491–548.]
- Tang B, Xu L, Hou Y, 2014. Effects of rearing conditions on the parasitism of *Tetrastichus brontispae* on its pupal host *Octodonta nipae*. *Biocontrol*, 59(6): 647–657.
- Visser B, Le Lann C, Den Blanken FJ, 2010. Loss of lipid synthesis as an evolutionary consequence of a parasitic lifestyle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(19): 8677–8682.
- Xu CA, Yin C, Peng ZQ, Wen HB, Fu YG, Wan FH, 2008. Effect of cold storage on the population quality of *Tetrastichus brontispae*. *Entomological Knowledge*, 45(1): 112–116. [许春霄, 银蝉, 彭正强, 温海波, 符悦冠, 万方浩, 2008. 低温贮存对椰心叶甲啮小蜂品质的影响. 昆虫知识, 45(1): 112–116.]
- Zhong BZ, Lv CJ, Qin WQ, Li CX, 2021. Technical regulations for controlling of *Tirathaba rufivena* in areca plantations with parasitoids. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 41(4): 79–81. [钟宝珠, 吕朝军, 覃伟权, 李朝绪, 2021. 应用寄生蜂防治槟榔园红脉穗螟技术规程. 热带农业科学, 41(4): 79–81.]