



陈鹤升, 牛黎明, 符悦冠, 陈俊谕, 朱俊洪, 张方平. 日本食蚧蚜小蜂低温贮藏条件研究 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (3): 718–724.

日本食蚧蚜小蜂低温贮藏条件研究

陈鹤升^{1 2}, 牛黎明^{2 4}, 符悦冠^{2 4}, 陈俊谕^{2 3}, 朱俊洪^{1*}, 张方平^{2 4*}

(1. 海南大学植物保护学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 571101;

3. 农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室, 海口 571101; 4. 海南省热带作物病虫害生物防治工程技术研究中心, 海口 571101)

摘要: 日本食蚧蚜小蜂 *Coccophagus japonicus* Compere 为橡副珠蜡蚧 *Parasaissetia nigra* Nietner 的优势天敌之一。为了探明该蜂的贮藏条件, 本研究将 1 日龄、3 日龄的日本食蚧蚜小蜂蛹在 10℃、12℃、14℃ 条件下分别贮藏 7、9、11、13、15、17、19、21、23、25、27 d, 观察其羽化率及羽化后的成蜂寿命、产卵量、寄生率等。结果表明: 日本食蚧蚜小蜂的羽化率随贮藏温度的升高呈上升趋势; 同一温度贮藏相同时间后 3 日龄蛹羽化率均高于 1 日龄蛹。贮藏时间是日本食蚧蚜小蜂蛹存活的重要影响因子, 3 日龄蛹 10℃ 贮藏 7 d, 羽化率为 96.00%, 贮藏 27 d, 羽化率仅为 44.67%; 12℃ 贮藏 7 d, 羽化率为 96.67%, 27 d 蛹羽化率达 88.00%; 在 14℃ 贮藏 25 d 后在人工气候箱内有小蜂羽化。低温贮藏蛹羽化后的成虫寿命随贮藏温度的降低而缩短; 14℃ 贮藏后, 羽化成蜂寿命随贮藏时间增加而显著缩短, 10℃、12℃ 降低不明显; 10℃ 贮藏 23 d 后寿命仅为 10.11 d。3 日龄蛹 12℃ 贮藏 19、21、23、25、27 d 后羽化成蜂产卵量及寄生率均随贮藏时间的增加而降低, 在贮藏 27 d 时最低, 分别为 34.33%、51.67%。综上所述, 在 12℃ 条件下短期贮藏日本食蚧蚜小蜂 3 日龄蛹 27 d 以内对其存活影响不大, 12℃、3 日龄蛹可作为该蜂的贮藏条件。

关键词: 日本食蚧蚜小蜂; 低温贮藏; 羽化率; 寿命; 寄生率

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 03-0718-07

Study on the low temperature storage conditions of *Coccophagus japonicus* Compere

CHEN He-Sheng^{1 2}, NIU Li-Ming^{2 4}, FU Yue-Guan^{2 4}, CHEN Jun-Yu^{2 3}, ZHU Jun-Hong^{1*}, ZHANG Fang-Ping^{2 4*} (1. College of Plant Protection, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 3. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China, Haikou 571101, China; 4. Hainan Engineering Research Center for Biological Control of Tropical Crops Diseases and Insect Pests, Haikou 571101, China)

Abstract: *Coccophagus japonicus* Compere is one of the predominant natural enemies of *Parasaissetia nigra* Nietner. In order to find out the storage conditions of the wasp, the 1-day-old and 3-day-old pupae of *C. japonicus* were stored at three constant temperatures (10, 12, 14℃) for different storage durations (7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 days), then the emergence rates, adult longevities, parasitism rate and fecundity were observed. The results showed that the emergence rates of *C. japonicus* increased

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0201100); 热科院基本业务费 (1630042017002); 天然橡胶产业技术体系 (CARS-33-GW-BC2)

作者简介: 陈鹤升, 男, 1995 年生, 硕士研究生, 研究方向为有害生物综合治理, E-mail: 405182018@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 朱俊洪, 硕士, 副教授, 研究方向为有害生物综合治理, E-mail: fangpingz97@163; 张方平, 硕士, 副研究员, 研究方向为有害生物综合治理, E-mail: 5477750@qq.com

收稿日期 Received: 2019-10-23; 接受日期 Accepted: 2020-02-21

with the storage temperature, and the emergence rates of 3-day-old pupae were higher than those of 1-day-old pupae at the same storage temperature. Storage duration is an important factor affecting pupae survival of *C. japonicus*. The emergence rates of 3-day-old pupae were 96.00% after 7 days storage, and only 44.67% after 27 days storage at 10°C. And the emergence rates of 3-day-old pupae were 96.67% after 7 days storage and 88.00% after 27 days at 12°C. There were emerged wasps in incubator after 25 days storage at 14°C. The longevities of emerged adults after cold storage decreased significantly with the decrease of temperature. The longevities of emerged adults after storage at 14°C decreased significantly with the increase of storage duration, but those after storage at 10°C and 12°C decreased insignificantly. The longevity of emerged adults after 23 days storage at 10°C was only 10.11 days. After storage 3-day-old pupae at 12°C for 19 days, 21 days, 23 days, 25 days, 27 days, the egg production and parasitism rate of eclosion wasps decreased with the increase of storage time, the lowest was 34.33 and 51.67% at 27 days, respectively. In summary, short-term storage (less than 27 days) of 3-day-old pupae of *C. japonicus* at 12°C had little effects on its survival. The temperature 12°C and the 3-day-old age can be the appropriate storage conditions for pupae of *C. japonicus*.

Key words: *Coccophagus japonicus* Compere; cold storage; emergence rate; longevity; parasitism rate

寄生蜂的低温贮藏研究早在 20 世纪 30 年代就已经展开 (King, 1934), 相关研究基本是在恒定温度下进行。人们主要通过低温环境对寄生蜂存活、发育和生殖等方面带来的影响评价其对低温环境的适应能力 (Venkatesan *et al.*, 2005)。寄生蜂对低温环境的耐受性通常受温度、湿度、光周期、贮藏时间、贮藏龄期等多种因素调节 (赵静等, 2014)。据报道, 国内外针对丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* (刘建军和田毓起, 1987; 陈倩等, 2004; Luczynski *et al.*, 2007; 何笙等, 2013)、蚜茧蜂 (陈茂华等, 2005; Colinet and Hance, 2009; Ismail *et al.*, 2010) 的低温贮藏条件研究较多, 并对其研究出较为完善的低温贮藏技术。

日本食蚧蚜小蜂 *Coccophagus japonicus* Compere 属膜翅目 Hymenoptera 小蜂总科 Chalcidoidea 蚜小蜂科 Aphelinidae 食蚧蚜小蜂属 *Coccophagus* Westwood (廖定熹等, 1987)。该蜂能寄生佛州龟蜡蚧 *Ceroplastes floridensis* Comstock、红蜡蚧 *Ceroplastes rubens* Maskeel、褐软蚧 *Coccus hesperidum* Linnaeus、日本蜡蚧 *Ceroplastes japonicas* Green、橡副珠蜡蚧 *Parasaissetia nigra* Nietner 等蜡蚧科昆虫 (吴国艳, 2001; 沈顺章等, 2017)。其中, 橡副珠蜡蚧是一种重要的橡胶害虫, 其多以成虫、若虫为害橡胶树, 刺吸橡胶植株叶片、枝条汁液, 导致枝条干枯、产量减少, 严重时甚至整株枯死 (王琦, 2012), 对海南、云南两省的橡胶造成了严重的影响, 已成为影响橡胶产业发展的重要因

子, 因此, 对其采取有效防控措施进行防治尤为重要。本团队的前期研究表明, 日本食蚧蚜小蜂是橡副珠蜡蚧的一种跨期寄生蜂 (沈顺章等, 2017), 尤其对该虫的 3 龄若虫、初期成虫、褐色期成虫的控害能力较强 (吴晓霜等, 2018), 单次寄生的寄生率达到 73.12% (李贤等, 2019)。尽管该蜂对蜡蚧具有良好的控制能力, 但由于蚜小蜂作为一种活体生防产品, 缺乏相应的贮藏技术, 导致其货架期较短, 难以在生产大量需求时供应足够的天敌产品, 限制了该蜂在生产上的推广应用。因此, 本文观察了日本食蚧蚜小蜂蛹在低温条件贮藏后蛹的羽化率、成虫寿命、成虫产卵量及寄生率, 并以这些指标评价了该蜂低温贮藏后的适应能力, 旨在为日本食蚧蚜小蜂规模化应用从贮藏方面提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

橡副珠蜡蚧: 采于云南省热带作物研究所试验场 6 队橡胶树上, 在中国热带农业科学院环境与植物保护研究所内的养虫室 (温度 25 ~ 27°C、湿度 70% ~ 90%) 里, 用南瓜繁殖备用。

日本食蚧蚜小蜂: 最初采集于中国热带农业科学院环植所试验基地内橡胶苗上被寄生的橡副珠蜡蚧, 待羽化后用橡胶上的橡副珠蜡蚧繁殖, 形成数量较大的种群。然后, 将小蜂转接在用南瓜饲养的橡副珠蜡蚧上, 形成以南瓜为植物寄主

的种群以供试验所需。

1.2 低温贮藏蜂蛹对羽化情况的影响

挑选大小相近、形态饱满的日本食蚱蜢小蜂 1 日龄、3 日龄蜂蛹分别装入指形管内, 每管 10 头。将其分别放入 RH 60% $\pm$ 5%、L:D = 12:12、温度为 10℃、12℃、14℃ 的人工气候箱内, 设置贮藏时间分别为 7、9、11、13、15、17、19、21、23、25、27 d。贮藏结束后取出, 放入 27 $\pm$ 1℃、RH 60% $\pm$ 5%、L:D = 12:12 的人工气候箱内, 逐日统计小蜂羽化情况直至不再羽化为止。并以在 27℃ 下贮藏至羽化的 1 日龄蛹为空白对照。每个处理 5 管蜂蛹, 重复 3 次。

1.3 低温贮藏对成蜂寿命的影响

将上述 1.2 中 3 日龄蛹在 10℃、14℃ 条件贮藏 15、17、19、21、23 d 及 12℃ 贮藏条件 19、21、23、25、27 d (羽化率达 80% 以上) 羽化出的成蜂装进指形管中, 放入 27 $\pm$ 1℃、RH 60% $\pm$ 5%、L:D = 12:12 的人工气候箱中, 每日补充 20% 蔗糖水作为营养, 以在 27℃ 下发育至羽化的小蜂为对照。观察并统计小蜂的存活情况。

1.4 低温贮藏对成蜂产卵量及寄生率的影响

依据上述试验 1.2 及 1.3 的结果, 将 3 日龄蛹 12℃ 贮藏 19、21、23、25、27 d 处理中初羽化的成蜂, 按雄蜂: 雌蜂 = 1:1 的比例配对。交配 24 h 后, 按小蜂: 蚱虫 = 2:60 的比例接蜂, 接蜂在 27 $\pm$ 1℃、RH 60% $\pm$ 5%、L:D = 12:12 的人工气候箱内进行。24 h 后取出并解剖其中蚱虫, 观察蚱虫体内小蜂的产卵情况。以在 27℃ 下发育至羽化的小蜂为对照, 观察并记录产卵量及被寄生的蚱虫数, 重复 3 次。

1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 23.0 for windows 软件进行统计分析, 相同温度及日龄条件下不同贮藏时间处理的羽化率、相同日龄及贮藏时间条件下不同温度处理的羽化率、成虫寿命、产卵量及寄生率均采用单因素分析 (ANOVA), Duncan 法比较差异显著性; 相同贮藏时间及温度条件下不同日龄蛹的羽化率采用成对样本 *t* 检验比较差异显著性。图表制作在 Microsoft Office Excel 2010 版完成。

2 结果与分析

2.1 经低温贮藏日本食蚱蜢小蜂蜂蛹羽化率

日本食蚱蜢小蜂的羽化率随贮藏温度的升高

呈上升趋势; 同一温度贮藏相同时间后 3 日龄蛹羽化率均高于 1 日龄蛹。1 日龄蛹 10℃ 贮藏后羽化率均较低, 贮藏 7 d 时最高也仅为 78%, 且羽化率随贮藏时间的增加显著降低, 贮藏 25 d 时其羽化率仅为 27.33%。3 日龄 10℃ 贮藏后, 相同时间条件下, 羽化率均显著高于 1 日龄蛹; 贮藏不同时间条件下, 羽化率的呈显著差异 ($P < 0.01$), 贮藏 23 d 时仍能达到 82%, 但在贮藏时间超过 23 d 后, 羽化率出现大幅度下降, 27℃ 最低, 为 44.67%, 显著低于其他处理。1 日龄蛹在 12℃ 贮藏 7~27 d 以内, 其羽化率的波动幅度较小, 在 86.67%~81.33% 之间, 各处理间无显著差异, 但都显著低于对照。3 日龄蛹在 12℃ 贮藏 7~27 d 以内, 其羽化率的波动范围在 97.33%~88.00%。处理 9 d 以内的羽化率均在 95.33% 以上, 与对照无显著差异, 但显著高于除处理 11、25 d 以外的其他处理, 27 d 的羽化率最低, 为 88.00%。另外, 3 日龄蛹在贮藏 9、11、13、17、21、25 d 时羽化率显著高于同期的 1 日龄蛹 ($P < 0.05$)。1 日龄蜂蛹在 14℃ 贮藏除 7 d 外其他处理的羽化率均显著低于对照, 27 d 后羽化率最低, 仅为 81.33%。3 日龄蛹在 14℃ 条件下贮藏 25 d 时人工气候箱内已见成蜂羽化, 处理 19 d 以内, 羽化率均 92.00% 以上, 与对照均无显著差异; 处理在 21~27 d 范围内, 羽化率均在 82.00%~87.33% 范围内, 与贮藏时间短于 19 d 的处理差异显著。总体来说, 1 日龄蛹 10℃ 贮藏羽化率均显著低于 12℃、14℃, 12℃、14℃ 间无显著差异; 而 3 日龄蛹贮藏 7~21 d, 3 个温度间羽化率均无显著差异, 10℃ 贮藏 23~27 d 则显著低于 12℃、14℃, 除贮藏 25 d, 12℃ 羽化率显著高于 14℃ 外, 其余时间两温度羽化率无显著差异 (见表 1)。

2.2 经低温贮藏日本食蚱蜢小蜂寿命

由于 10℃ 贮藏日本食蚱蜢小蜂蛹 15、17、19、21、23 d, 12℃ 贮藏 19、21、23、25、27 d, 羽化率达 80% 以上, 14℃ 贮藏后 23 d 出现羽化, 所以成虫的寿命针对 10、14℃ 贮藏 15、17、19、21、23 d, 12℃ 贮藏 19、21、23、25、27 d 进行观察。

日本食蚱蜢小蜂蛹各温度贮藏后成蜂寿命均显著低于常温下羽化的成蜂 (见图 1)。10℃ 贮藏 23 d 后羽化成蜂寿命仅为 10.11 d, 显著低于对照及相同温度贮藏 15、17、19、21 d 等时间处理。12℃ 贮藏后各处理间羽化成蜂寿命差异不显著, 在

表 1 日本食蚱蜢小蜂贮藏后羽化率(%)
Table 1 Emergence rate of *Coccophagus japonicus* after storage

贮藏时间(d) Storage time	10℃			12℃			14℃		
	1 日龄(%) One-day-old	3 日龄(%) Three-day-old	1 日龄(%) One-day-old	1 日龄(%) One-day-old	3 日龄(%) Three-day-old	1 日龄(%) One-day-old	1 日龄(%) One-day-old	3 日龄(%) Three-day-old	3 日龄(%) Three-day-old
0	98.00 ± 1.15 Aa	98.00 ± 1.15 Aa	98.00 ± 1.15 Aa	98.00 ± 1.15 Aa	98.00 ± 1.15 Aa	98.00 ± 1.15 Aa	98.00 ± 1.15 Aa	98.00 ± 1.15 Aa	98.00 ± 1.15 Aa
7	78.00 ± 2.31 Bb	96.00 ± 1.15 Aab**	86.67 ± 2.67 Ab	86.67 ± 2.67 Ab	96.67 ± 0.67 Aab	93.33 ± 2.40 Aab	93.33 ± 2.40 Aab	96.67 ± 0.67 Aa	96.67 ± 0.67 Aa
9	71.33 ± 1.33 Bbc	97.33 ± 0.67 Aa**	84.00 ± 1.15 Ab	84.00 ± 1.15 Ab	95.33 ± 1.76 Aabc*	86.67 ± 0.67 Abc	86.67 ± 0.67 Abc	96.67 ± 1.33 Aa*	96.67 ± 1.33 Aa*
11	66.00 ± 3.06 Bc	91.33 ± 1.33 Abc**	83.33 ± 2.67 Ab	83.33 ± 2.67 Ab	92.00 ± 1.15 Abcd*	88.67 ± 1.76 Aabc	88.67 ± 1.76 Aabc	94.00 ± 3.06 Aab	94.00 ± 3.06 Aab
13	65.33 ± 2.67 Bc	90.67 ± 0.67 Abc**	82.67 ± 1.76 Ab	82.67 ± 1.76 Ab	89.33 ± 2.40 Acd*	88.67 ± 2.40 Aabc	88.67 ± 2.40 Aabc	92.67 ± 1.76 Aab	92.67 ± 1.76 Aab
15	51.33 ± 2.40 Bd	93.33 ± 0.67 Aabc**	83.33 ± 2.40 Ab	83.33 ± 2.40 Ab	88.67 ± 2.91 Ad	88.00 ± 3.06 Abc	88.00 ± 3.06 Abc	94.00 ± 1.15 Aab	94.00 ± 1.15 Aab
17	43.33 ± 2.91 Be	92.00 ± 3.06 Abc**	83.33 ± 1.76 Ab	83.33 ± 1.76 Ab	89.33 ± 1.76 Acd*	89.33 ± 1.76 Aabc	89.33 ± 1.76 Aabc	94.67 ± 1.76 Aab	94.67 ± 1.76 Aab
19	41.33 ± 2.40 Be	90.00 ± 1.15 Ac**	84.67 ± 2.40 Ab	84.67 ± 2.40 Ab	90.00 ± 0 Acd	89.33 ± 2.40 Aabc	89.33 ± 2.40 Aabc	92.00 ± 1.15 Aabc	92.00 ± 1.15 Aabc
21	48.00 ± 2.00 Bde	90.00 ± 2.00 Ac**	82.67 ± 1.76 Ab	82.67 ± 1.76 Ab	89.33 ± 2.40 Acd*	84.00 ± 1.15 Abc	84.00 ± 1.15 Abc	87.33 ± 2.67 Abcd	87.33 ± 2.67 Abcd
23	32.00 ± 3.06 Bf	82.00 ± 2.00 Bd**	81.33 ± 2.91 Ab	81.33 ± 2.91 Ab	90.67 ± 1.76 Acd	84.67 ± 2.91 Abc	84.67 ± 2.91 Abc	86.67 ± 1.76 ABbcd	86.67 ± 1.76 ABbcd
25	27.33 ± 2.67 Bf	65.33 ± 2.40 Ce**	84.67 ± 0.67 Ab	84.67 ± 0.67 Ab	92.00 ± 1.15 Abcd**	82.67 ± 0.67 Ac	82.67 ± 0.67 Ac	84.67 ± 1.33 Bed	84.67 ± 1.33 Bed
27	28.00 ± 3.06 Bf	44.67 ± 1.76 Bf**	81.33 ± 2.40 Ab	81.33 ± 2.40 Ab	88.00 ± 2.31 Ad	81.33 ± 1.76 Ac	81.33 ± 1.76 Ac	82.00 ± 1.15 Ad	82.00 ± 1.15 Ad

说明：同一列不同小写字母表示不同贮藏时间处理间存在显著差异($P < 0.05$)；同一行不同大写字母表示不同贮藏温度处理间存在显著差异($P < 0.05$)；同一行*表示相同温度、不同贮藏龄期处理间存在显著差异($P < 0.05$)；同一行**表示不同贮藏龄期间存在极显著差异($P < 0.01$)。下表同。Note：Different lowercase letters in the same column indicate significant differences in storage time ($P < 0.05$)；Different capital letters in the same line indicate that there is significant difference between different storage temperatures ($P < 0.05$)；The same line* indicated that there were significant differences in same temperatures and different storage times ($P < 0.05$)；The same row** indicates that there are very significant differences among same temperatures and different storage times ($P < 0.01$)。The following table is the same.

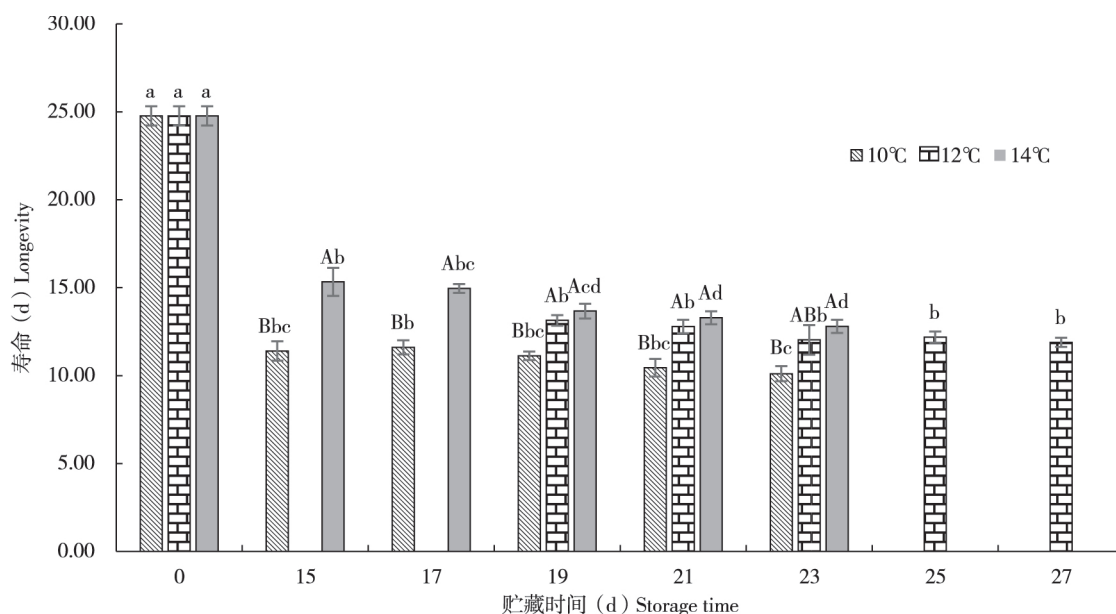


图1 日本食蚜蝇小蜂蛹经不同温度贮藏后的羽化成蜂寿命

Fig. 1 Longevity of the of *Coccophagus japonicus* after storage its pupae at different temperatures

说明: 小写字母表示同一贮藏温度不同贮藏时间处理间存在显著差异 ($P < 0.05$); 大写字母表示同一贮藏时间不同贮藏温度处理间存在显著差异 ($P < 0.05$)。Note: Lowercase letters indicate significant difference in the same storage temperature and different storage time ($P < 0.05$); Capital letters indicate significant differences among different storage temperature treatments with the same storage time ($P < 0.05$).

11.89 ~ 13.14 d 之间, 但与对照差异显著。14°C 贮藏 15 d 羽化成蜂寿命显著高于除 17 d 外的其他处理, 在贮藏 23 d 时羽化成蜂寿命最低, 为 12.80 d。对比同一贮藏时间各温度间羽化成蜂寿命可知, 羽化成蜂寿命随温度升高而升高。14°C 各处理均显著高于 10°C, 而 12°C 与 14°C 间差异不显著。

2.3 经低温贮藏日本食蚜蝇小蜂产卵量及寄生率

3 日龄蛹 12°C 贮藏 19、21、23、25、27 d 后产卵量及寄生率均随着贮藏时间的增加而降低。各处理小蜂产卵量均显著低于对照, 贮藏 27 d 后产卵量仅为 34.33 粒, 显著低于除贮藏时间为 25 d 的其他处理。贮藏时间为 19 d 及 21 d 时, 小蜂寄生率较对照下降不明显, 分别为 67.22%、64.44%, 但显著高于其他处理, 贮藏 27 d 后寄生率最低, 为 51.67%, 显著低于其他处理 (表 2)。

3 结论与讨论

由于贮藏期间蜂蛹仍在缓慢发育并消耗能量, 若在此期间能量消耗过大, 会导致其不能正常完成发育并羽化, 因此, 低温贮藏后羽化率一般会随贮藏时间的延长而降低 (Colinet and Hance, 2010; 沈祖乐等, 2017)。据报道, 白蛾黑基啮小

表2 日本食蚜蝇小蜂 3 日龄蛹经 12°C 贮藏后产卵量及寄生率情况

Table 2 Fecundity and parasitism of 3-days old pupae of *Coccophagus japonicus* after storage at 12°C

贮藏时间 (d)	产卵量	寄生率 (%)
Storage time	Egg number	Parasitism rate
0	53.33 ± 1.20 a	69.44 ± 2.22 a
19	46.33 ± 2.33 bc	67.22 ± 2.00 a
21	43.67 ± 0.88 cd	64.44 ± 1.47 ab
23	39.33 ± 1.20 de	59.44 ± 1.47 b
25	37.00 ± 1.53 ef	59.44 ± 1.11 b
27	34.33 ± 1.20 f	51.67 ± 2.55 c

说明: 同一列不同小写字母表示不同贮藏时间处理间存在显著差异 ($P < 0.05$)。Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences in storage time ($P < 0.05$).

蜂 *Tetrastichus nigricoxae* 的羽化率随冷藏时间的延长呈下降趋势 (王虎诚等, 2011); 在 4°C 贮藏 21 d 后的浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* 不能羽化 (Kidane et al., 2015); 蚜小蜂 *Eretmocerus corni* 的蛹置于 4.5°C 及 11.5°C 下贮藏 7 d 时, 蛹存活率均

未降低,但当贮藏时间较长时,蛹存活率显著降低 (Silvia and Botto, 2005); 班氏跳小蜂 *Aenasius bambawalei* 贮藏后羽化率研究表明该蜂在 10℃ 贮藏 15 d 内均具有较好羽化率,而随后羽化率大幅下降 (冯东东等, 2013),与本研究 3 日龄蛹 10℃ 贮藏后羽化率情况相似。本研究中,日本食蚧蚜小蜂蜂蛹在 12℃、14℃ 下羽化率虽会随贮藏时间的增加而下降,但均较高 (> 80%),这也表明该蜂具备短期贮藏的潜力,能在合适温度及龄期条件下贮藏 1 月左右。大量研究表明寄生蜂的羽化率会随贮藏温度的下降而下降 (刘建军和田毓起, 1987; 黄山春等, 2008; 周亚奎等, 2011; 何笙等, 2013),而过高的温度则会导致贮藏期就有大量成蜂羽化。本研究中 12℃、14℃ 贮藏后,蜂蛹羽化率明显高于 10℃,但 3 日龄蛹 14℃ 下贮藏 25 d 时已见较多成蜂羽化,失去贮藏意义,因此,12℃ 是该蜂较为理想的贮藏温度。

对同一昆虫来说,不同龄期低温耐受性存在明显不同。一般情况下,成虫期及幼虫期不适合低温贮藏,蛹期则被认为是最适合短期贮藏的龄期 (Van and Tommasini, 1999),但不同蛹期之间低温耐受性往往也存在差异,例如,丽蚜小蜂、浆角蚜小蜂 *Eretmocerus eremicus* 等小蜂不同时期的蛹对低温的耐受性存在明显差异 (陈倩等, 2004; Luczynski *et al.*, 2007)。而本研究中,对 3 日龄蜂蛹进行各种处理贮藏后,羽化率均显著高于 1 日龄蛹,说明日本食蚧蚜小蜂蜂蛹各阶段对低温的耐受性同样存在差异,3 日龄蛹为更适宜贮藏的阶段。

寄生蜂成虫不能合成脂肪 (Visser *et al.*, 2010),而贮藏期间脂肪的消耗将显著影响其存活及生殖间的能量分配,从而导致羽化成蜂寿命显著缩短。丽蚜小蜂蜂蛹贮藏后寿命随贮藏时间的增加而降低 (陈倩等, 2004)。浅黄恩蚜小蜂随贮藏时间的延长寿命明显降低 (Kidane *et al.*, 2015)。赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* 在 10℃ 下随着贮藏时间的增加寿命由 6.3 d 降至 3.0 d (Nadeem *et al.*, 2010)。本研究中贮藏后羽化成蜂的寿命较常温下羽化成蜂寿命显著降低,且贮藏寿命随贮藏温度的降低及贮藏时间的增加而降低。

在低温环境下,寄生蜂的卵巢等生殖系统容易受到损害,因此,寄生蜂的生殖能力通常会随着贮藏时间的延长而下降 (Tememi and Ashfaq, 2005)。丽蚜小蜂褐蛹低温贮藏 10、20、30 d 后羽

化成蜂产卵量随贮藏时间的延长显著降低 (陈倩等, 2004); 烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmea 的产卵量、寄生率均随冷藏时间的增加而显著下降 (陈珍珍, 2014); Foerste 等人的研究表明,赤眼蜂 *Telmomus podisi* 的产卵能力随冷藏时间的延长而减弱 (Foerste *et al.*, 2004)。以上研究结果均与本研究 3 日龄蜂蛹 12℃ 贮藏不同时间后的产卵量及寄生率变化情况相似。

综上所述,本研究依据羽化率、成虫寿命作为评价指标,明确了 3 日龄蛹、温度为 12℃ 是日本食蚧蚜小蜂理想的贮藏虫态及温度,且该条件贮藏后羽化成蜂的产卵量及寄生率则随贮藏时间的延长而降低。由于低温环境可能会对寄生蜂的飞行能力造成影响进而影响寄生蜂的田间寄生效果,因此,低温贮藏日本食蚧蚜小蜂是否会对其对蜡蚧的田间防效等造成影响尚需进一步研究。

参考文献 (References)

- Al - Tememi NK, Ashfaq M. Effect of low temperature storage on the fecundity and parasitizing efficacy of *Bracon hebetor* (Say) [J]. *Journal of Agricultural Research*, 2005, 43: 155 - 160.
- Chen MH, Han ZJ, Wang R. A preliminary study on the effects of cold storage on the pupae of *Aphidius gifuensis* Ashmead [J]. *Plant Protection*, 2005, 31 (2): 41 - 43. [陈茂华, 韩召军, 王瑞. 烟蚜茧蜂蛹期耐冷藏性研究 [J]. 植物保护, 2005, 31 (2): 41 - 43]
- Chen Q, Xiao LF, Zhu GR, *et al.* Effect of cold storage on the quality of *Encarsia formosa* Gahan [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2004, 20 (2): 107 - 109. [陈倩, 肖利锋, 朱国仁, 等. 低温贮存被寄生的烟粉虱伪蛹对丽蚜小蜂种群品质的影响 [J]. 中国生物防治, 2004, 20 (2): 107 - 109]
- Chen ZZ. Cold Adaption and Post Cold - storage Adult Biology of *Aphidius gifuensis* Ashmead (Hymenoptera: Braconidae) [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014. [陈珍珍. 烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead 的低温适应及冷藏后成蜂生物学研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2014]
- Colinet H, Hance T. Interspecific variation in the response to low temperature storage in different aphid parasitoids [J]. *Annals of Applied Biology*, 2010, 156 (1): 147 - 156.
- Colinet H, Hance T. Male reproductive potential of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidinae) exposed to constant or fluctuating thermal regimens [J]. *Environmental Entomology*, 2009, 38 (1): 242 - 249.
- Feng DD, Liu L, Xu ZF. Influences of cold storage on parasitism and propagation of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2013, 34 (3): 543 - 546. [冯东东, 刘柳, 许再福. 低温贮藏对班氏跳小蜂寄生率及繁殖力的影响 [J]. 热带作物学报, 2013, 34 (3): 543 - 546]

- Foerster LA, Doetzer AK, Castro LCF. Emergence, longevity and fecundity of *Trissolcus basalidis* and *Telenomus podisi* after cold storage in the pupal stage [J]. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 2004, 39 (9): 841–845.
- He S, Chen H, Han ZQ, et al. Effects of temperature and the number of storage days in low temperature on emergence rate of *Encarsia formosa* adult [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 41 (9): 3905–3906. [何笙, 陈卉, 韩振芹, 等. 温度及低温贮存天数对丽蚜小蜂成虫羽化率的影响 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (9): 3905–3906]
- Huang SC, Qin WQ, Li CX, et al. Influence of low temperature storage on eclosion and emerged number of *Tetrastichus brontispae* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2008 (1): 94–96. [黄山春, 覃伟权, 李朝绪, 等. 低温贮藏对椰心叶甲啮小蜂羽化率及出蜂量的影响 [J]. 中国生物防治, 2008 (1): 94–96]
- Ismail M, Vernon P, Hance T, et al. Physiological costs of cold exposure on the parasitoid *Aphidius ervi*, without selection pressure and under constant or fluctuating temperatures [J]. *BioControl* (Dordrecht), 2010, 55 (6): 729–740.
- Kidane D, Yang NW, Wan FH. Effect of cold storage on the biological fitness of *Encarsias ophia* (Hymenoptera: Aphelinidae), a parasitoid of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *European Journal of Entomology*, 2015, 112 (3): 460.
- King CBR. Cold storage effect on *Trichogramma* and on eggs of *Ephestia kuehniella* [J]. *Tea Quarterly*, 1934, 1: 19–27.
- Liao DX, Li XL, Pang XF, et al. Economic Insect Fauna of China: Fasc. 34 Hymenoptera: Chalcidoidea (1) [M]. Beijing: Science Press, 1987, 146. [廖定熹, 李学骝, 庞雄飞, 等. 中国经济昆虫志: 第34册膜翅目小蜂总科 (一) [M]. 北京: 科学出版社, 1987, 146]
- Liu JJ, Tian YQ. Low temperature storage of *Encarsia formosa* Gahan [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1987, 3 (1): 4–6. [刘建军, 田毓起. 丽蚜小蜂的低温贮存 [J]. 中国生物防治学报, 1987, 3 (1): 4–6]
- Li X, Fu YG, Zhu JH, et al. Parasitic behavior of *Coccophagus japonicus* Compere [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2019, 40 (3): 535–540. [李贤, 符悦冠, 朱俊洪, 等. 日本食蚜蚜小蜂的寄生行为观察 [J]. 热带作物学报, 2019, 40 (3): 535–540]
- Luczynski A, Nyrop JP, Shi A. Influence of cold storage on pupal development and mortality during storage and on post-storage performance of *Encarsia formosa* and *Eretmocerus eremicus* (Hymenoptera: Aphelinidae) [J]. *Biological Control*, 2007, 40 (1): 110–117.
- Nadeem S, Ashfaq M, Hamed M, et al. Optimization of short and long term storage duration for *Trichogramma chilonis* (Ishii) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) at low temperatures [J]. *Pakistan Journal of Zoology*, 2010, 42 (1): 63–67.
- Shen SZ, Zhang FP, Fu YG, et al. Factors affecting mating in *Coccophagus japonicus* Compere [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017 (5): 162–168. [沈顺章, 张方平, 符悦冠, 等. 日本食蚜蚜小蜂的交配影响因子研究 [J]. 环境昆虫学报, 2017 (5): 162–168]
- Shen ZL, Li YH, Zhou YT, et al. Review on the cold storage research of insect natural enemies [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017, 2: 191–197. [沈祖乐, 李翌菡, 周雅婷, 等. 天敌昆虫低温贮藏研究进展 [J]. 热带作物学报, 2017, 2: 191–197]
- Silvia NL, Botto E. Effect of cold storage on some biological parameters of *Eretmocerus corni* and *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) [J]. *Biological Control*, 2005, 33 (2): 123–130.
- Van Lenteren JC, Tommasini MG. Mass Production, Storage, Shipment and Quality Control of Natural Enemies [M]. Integrated pest and disease management in greenhouse crops. Springer, Dordrecht, 1999: 276–294.
- Venkatesan T, Singh SP, Jalali SK. Effect of cold storage on cocoons of *Goniozus nephantidis* Muesebeck (Hymenoptera: Bethyridae) stored for varying periods at different temperature regimes [J]. *Journal of Agricultural Research*, 2005, 43: 155–160.
- Visser B, Le LC, Den Blanken FJ, et al. Loss of lipid synthesis as an evolutionary consequence of a parasitic lifestyle [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107 (19): 8677–8682.
- Wang HC, Guo TB, Song MH, et al. Effects of cold storage on eclosion and emergence of *Tetrastichus nigricoxae* Yang [J]. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 2011, 1: 7–11. [王虎诚, 郭同斌, 宋明辉, 等. 低温贮藏对白蛾黑基啮小蜂羽化及出蜂的影响 [J]. 江苏林业科技, 2011, 1: 7–11]
- Wang Q. Survey of Population Dynamics for *Parasaissetia nigra* Nietner [D]. Haikou: Hainan University, 2012. [王琦. 橡副珠蜡蚧田间种群影响因子的调查研究 [D]. 海口: 海南大学, 2012.]
- Wu GY. Systematic and Faunistic Study on the Parasitic Waps of Scale Insect in North China [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2002. [吴国艳. 中国北方介壳虫寄生蜂分类区系研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2002]
- Wu XS, Zhang FP, Fu YG, et al. Host instar preference of *Coccophagus japonicus* Compere [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (6): 178–182. [吴晓霜, 张方平, 符悦冠, 等. 日本食蚜蚜小蜂对寄主的龄期选择性 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (6): 178–182]
- Zhao J, Wang S, Guo XJ, et al. Progress in research of cold storage of insect parasitoids [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 3: 482–494. [赵静, 王甦, 郭晓军, 等. 寄生蜂低温贮藏研究进展 [J]. 中国农业科学, 2014, 3: 482–494]
- Zhou YK, Gan BC, Yang XQ. Influence of cold storage on emergence and oviposition of *Elasmus punctulatus* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2011, 27 (4): 453–457. [周亚奎, 甘炳春, 杨新全. 低温贮藏对细点扁股小蜂羽化率及产卵量的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2011, 27 (4): 453–457]