

# 冷冻粉蚧饲料对孟氏隐唇瓢虫生长发育及生殖能力的影响

霍立志, 刘志伟, 孙龙华\*

(广州市林业和园林科学研究院/广州市生态园林科技协同创新中心, 广州 510405)

**摘要:** 孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* 是生物防治领域应用最广泛的天敌种类之一。为明确冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫的饲养效果, 为其人工饲料开发提供科学依据, 本研究开展以下试验: 以孟氏隐唇瓢虫群体为研究对象, 分别以新鲜粉蚧 (CK) 和冷冻粉蚧 (T) 饲喂, 测定并比较其群体的化蛹率和羽化率; 以孟氏隐唇瓢虫个体为研究对象, 同样以新鲜粉蚧 (CK) 和冷冻粉蚧 (T) 饲喂, 测定并比较其幼虫和蛹的发育历期以及雌雄成虫的体重; 以上述试验 2 获得的成虫为研究对象, 将以上 2 组成虫组内雌雄配对后再各分为 2 组, 分别饲养新鲜粉蚧和冷冻粉蚧, 即幼虫期和成虫期分别饲喂: 新鲜粉蚧/新鲜粉蚧 (CK)、新鲜粉蚧/冷冻粉蚧 (T1)、冷冻粉蚧/新鲜粉蚧 (T2)、冷冻粉蚧/冷冻粉蚧 (T3), 测定并比较 4 组雌虫的产卵前期和 10 d 产卵量。结果显示, 取食冷冻粉蚧的孟氏隐唇瓢虫, 其群体化蛹率和羽化率 (90.00% 和 87.00%) 与对照组 (92.00% 和 90.00%) 相比无显著性差异; 幼虫和蛹的发育历期 (15.42 d 和 11.48 d) 均显著大于对照组 (13.51 d 和 10.88 d), 雌雄成虫的体重 (10.82 mg 和 9.54 mg) 均显著低于对照组 (11.39 mg 和 9.94 mg); CK 和 T1、T2 和 T3 的产卵前期分别为 7.20 d、8.29 d、7.42 d 和 8.31 d, 孵化率分别为 83.56%、81.50%、83.78% 和 81.91%, 这两方面四者之间均无显著差异, CK 的 10 d 产卵量 (157.73) 与 T2 (140.33) 无显著差异, T1 (57.30) 与 T3 (58.77) 无显著差异, 但 CK 与 T1 和 T3, T2 与 T1 和 T3 之间均表现出极显著性差异。结果表明, 以冷冻粉蚧饲喂孟氏隐唇瓢虫, 对其化蛹率、羽化率、产卵前期和孵化率均无不良影响, 但其幼虫和蛹的发育历期、雌雄成虫的体重、以及产卵量均表现出显著的负面影响。虽然冷冻粉蚧无法直接替代新鲜粉蚧作为孟氏隐唇瓢虫规模化生产的饲料, 但仍显示出较好的应用潜力。未来可以通过对冷冻粉蚧进行剂型加工改良和使用人工产卵介质等措施来提升其生长发育及生殖能力表现。

**关键词:** 孟氏隐唇瓢虫; 冷冻粉蚧; 生长发育; 人工饲料; 规模化扩繁

## The impact of feeding frozen mealybugs on the growth, development, and reproductive capacity of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant

HUO Li-Zhi, LIU Zhi-Wei, SUN Long-Hua\* (Guangzhou Institute of Forestry and Landscape Architecture/Guangzhou collaborative innovation center on science-tech of ecology and landscape, Guangzhou 510405, China)

**Abstract:** *Cryptolaemus montrouzieri* was one of the most widely used natural enemies in the field of biological control. To clarify the feeding effects of frozen mealybugs on *C. montrouzieri* and provide a scientific basis for the development of artificial feed, the following experiments were carried out: *C. montrouzieri* populations were fed with fresh mealybugs (CK) and frozen mealybugs (T), and their pupation and emergence rates were measured and compared. Individual *C. montrouzieri* were similarly fed with fresh (CK) and frozen mealybugs (T), and the developmental periods of larvae and pupae, as well as the body weights of adult males and females, were measured and compared. Adults obtained from these experiments were paired and divided into four groups, each fed with different combinations of fresh and frozen mealybugs during larval and adult stages: fresh/fresh (CK), fresh/frozen (T1), frozen/fresh (T2), and frozen/frozen (T3). The pre-oviposition periods and 10-day oviposition amounts of female beetles in these groups were then compared. The results showed that the pupation and emergence rates of *C. montrouzieri* fed with frozen mealybugs (90.00% and 87.00%) showed no significant

基金项目: 广州市林业和园林局部门预算科研项目 (穗财编 [2018] 82 号)

作者简介: 霍立志, 男, 1986, 博士, 林业高级工程师, 研究方向为昆虫分类和害虫生物防治, E-mail: huolizhi@163.com

\*通讯作者 Author for correspondence: 孙龙华, 男, 1976, 博士, 林业正高级工程师, 研究方向为林业和园林植物病虫害综合防治, E-mail: 13939636@qq.com

收稿日期 Received: 2024-05-22; 接受日期 Accepted: 2024-09-09

difference compared to the control group (92.00% and 90.00%). However, the developmental periods for larvae and pupae (15.42 d and 11.48 d) were significantly longer than those of the control group (13.51 d and 10.88 d), and the body weights of adult males and females (10.82 mg and 9.54 mg) were also significantly lower than those in the control group (11.39 mg and 9.94 mg). The pre-oviposition periods for CK, T1, T2, and T3 were 7.20 d, 8.29 d, 7.42 d, and 8.31 d, respectively, and the hatching rates were 83.56%, 81.50%, 83.78%, and 81.91%, with no significant differences among the four groups. The 10-day oviposition amounts for CK (157.73) and T2 (140.33) showed no significant difference, while T1 (57.30) and T3 (58.77) showed no significant difference. However, significant differences were observed between CK and T1 and T3, as well as between T2 and T1 and T3. These results indicated that feeding *C. montrouzieri* with frozen mealybugs did not adversely affect their pupation rates, emergence rates, pre-oviposition periods, or hatching rates. However, it significantly negatively impacted the developmental periods of larvae and pupae, the body weights of adult males and females, and the quantity of eggs produced. Although frozen mealybugs could not fully replace fresh mealybugs as feed for large-scale production of *C. montrouzieri*, they still demonstrated good potential for use. Future improvements in formulation processing and the use of artificial oviposition media might enhance their growth, development, and reproductive performance.

**Key words:** *Cryptolaemus montrouzieri*; frozen mealybugs; growth and development; artificial feed; mass propagation

孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant 属于鞘翅目瓢虫科，主要捕食粉蚧，是一种重要的天敌昆虫。孟氏隐唇瓢虫原产于澳大利亚，19 世纪 80 年代首次被引入美国加利福尼亚州用于柑橘粉蚧 *Planococcus citri* Risso 的生物防治，并取得较好防治效果。目前该天敌已被引入到 64 个国家用于各种农林粉蚧类害虫的防治，是生物防治领域应用最广泛的天敌种类之一（Kairo, 2013）。

我国于 20 世纪 50 年代自苏联引入孟氏隐唇瓢虫（蒲蛰龙等，1959），先后在广东、福建等地释放，用于防治石栗粉蚧 *Pseudococcus* sp.、湿地松粉蚧 *Oracella acuta* (Lobdell)、茶椰圆蚧 *Aspidiotus destructor* (Signoret) 和新菠萝灰粉蚧 *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley，并取得较好的防治效果（庞雄飞和李丽英，1979；汤才等，1995；赵士熙等，2001；覃振强等，2008）。此外，孟氏隐唇瓢虫对于防控蔗茎红粉蚧 *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell)、木瓜秀粉蚧 *Paracoccus marginatus* (Williams & Granara de Willink) 和大洋臀纹粉蚧 *Planococcus minor* (Maskell) 等农林害虫也表现出较好的应用前景（Qin *et al.*, 2017；杨书美等，2024）。

实现天敌的规模化扩繁是开展天敌推广应用的前提条件，而昆虫饲料是开展规模化扩繁的物质基础。目前，孟氏隐唇瓢虫的饲料仍然以活体自然猎物为主，即利用“寄主-粉蚧-瓢虫”的繁育体系进行孟氏隐唇瓢虫的扩繁。其中，寄主植物一般为马铃薯 *Solanum tuberosum* (L.) 或南瓜 *Cucurbita moschata* Duch，粉蚧一般为柑橘粉蚧、木槿曼粉蚧 *Maconellicoccus hirsutus* (Green)、大洋臀纹粉蚧和暗色粉蚧 *Pseudococcus viburni* (Signoret) (Fisher, 1963；黄邦侃, 1963；Kishore *et al.*, 1993；蒋瑞鑫等, 2009；谢佳沁等, 2015；Mani, 2018；Gunawardana and Hemachandra, 2020）。

另外，也有人尝试开发不含粉蚧成分的人工饲料，但结果并不理想。例如，李丽英（1993）和庞虹等（1996）使用蔗糖、蜂王浆、酵母粉等原料配制了多种人工饲料，发现都存在瓢虫发育历期延长、生殖力下降、卵孵化率低等问题。Venkatesan *et al.* (2001) 使用不含昆虫成份的多种材料配制成的冻干人工饲料饲养的孟氏隐唇瓢虫，虽然与取食粉蚧的相比，在发育历期、成虫体重、雌虫羽化、卵的存活率方面没有显著差异，但是产卵前期延长，而且产卵量远远低于取食粉蚧的个体。最近，Maes *et al.* (2014) 通过试验发现使用地中海粉螟卵

*Ephestia kuehniella* (Zeller) 饲喂孟氏隐唇瓢虫, 其前两代的各项指标均表现良好, 认为地中海粉螟卵可作为孟氏隐唇瓢虫繁育的替代饲料。但该研究同时也提出, 由于其昂贵的价格, 地中海粉螟卵尚不适用于规模化繁育, 仍需寻找更便宜的替代饲料。总体来说, 不含粉蚧成分的人工饲料技术目前尚不成熟, 无法满足孟氏隐唇瓢虫大规模繁育和应用的需求。

研发出成本低廉、饲喂方便且饲喂效果好的昆虫饲料, 是生产廉价、高品质天敌产品的关键因素, 对于天敌产品的推广应用意义重大。作者在使用“寄主-粉蚧-瓢虫”的繁育体系进行孟氏隐唇瓢虫繁育时发现, 制约该繁育体系的一个很重要原因在于粉蚧繁育与瓢虫繁育时间上的强关联性。在实际应用过程中, 常发生繁育瓢虫时粉蚧不足或粉蚧过多浪费的情况。因此如何降低或解除两者时间上的关联性, 将粉蚧繁育与瓢虫繁育的整体过程变为两个相对独立的过程, 或许可成为使用自然猎物进行天敌规模化繁育的关键问题。

冷冻保鲜技术在食物保鲜方面被广泛应用。曾有研究提出, 将粉蚧卵囊置于 $-5^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$ 中保存 3 个月以上, 孟氏隐唇瓢虫仍喜取食(李丽英, 1993)。但是, 冷冻粉蚧能否满足孟氏隐唇瓢虫生长发育和生殖繁育的需要, 目前还没有相关研究。针对以上问题, 本研究以新鲜粉蚧为对照, 研究了冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫生长发育及生殖能力的影响, 以期明确冷冻粉蚧作为孟氏隐唇瓢虫饲料的可行性。研究结果将为孟氏隐唇瓢虫饲料的开发提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试昆虫

孟氏隐唇瓢虫及其猎物柑橘粉蚧均来自广州市林业和园林科学研究院实验室长期保育的种群。两者均采自广州市华南农业大学校园, 并在室内用“南瓜-粉蚧-瓢虫”的繁育体系继代繁育 5 代以上。南瓜为蜜本南瓜 *Cucurbita moschata* Duch. 试验前, 随机从室内种群中挑取 50 对孟氏隐唇瓢虫成虫(前足黑色为雌性, 黄色为雄性)。每 5 对放入 1 个培养皿(直径 90 mm), 共 10 皿, 各放入 2 g 新鲜柑橘粉蚧(文中粉蚧均指若虫、成虫和卵囊的混合体), 置于温度  $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ , 湿度  $75\%\pm 5\%$ , 光照 14 L: 10 D 条件下进行饲养和产卵, 4 d 后取出成虫, 每天在显微镜下使用镊子检查粉蚧堆里孟氏隐唇瓢虫卵的孵化情况, 以获取供试 1 龄幼虫。本试验所用冷冻粉蚧的获得方法为将新鲜粉蚧放在到培养皿并使用保鲜膜密封, 置于 $-20^{\circ}\text{C}$ 低温冰箱冷冻 30 d 以上。

### 1.2 冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫化蛹率和羽化率的影响

试验选取 20 头一龄幼虫放入单个培养皿中进行饲养, 设立两个试验组: 对照组(CK)和处理组(T)。对照组幼虫饲喂新鲜粉蚧, 处理组幼虫饲喂冷冻粉蚧。每组试验重复 5 次。每 2 d 更换 1 次粉蚧, 每次饲喂约 1 g, 直至全部羽化。期间, 记录各处理获得蛹和成虫的数量。所有试验均在温度  $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ , 湿度  $75\%\pm 5\%$ , 光照 14 L: 10 D 的人工气候箱进行。

### 1.3 冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫生长发育的影响

取同日孵化 1 龄幼虫 200 头, 每头使用培养皿单独饲养, 其中 100 头饲喂新鲜粉蚧作为对照组(CK), 100 头饲喂冷冻粉蚧作为处理组(T), 冷冻粉蚧需提前半小时从冰箱拿出放至室温, 每 2 d 更换 1 次粉蚧, 每次每皿饲喂粉蚧约 50 mg, 直至化蛹, 记录幼虫存活数量, 化蛹日期。化蛹后不再提供饲料, 每日观察蛹的羽化情况, 记录羽化日期, 在体视镜下观察记录雌雄, 并使用电子天平称其成虫重量, 结果精确至 0.01 mg。所有试验均在温度  $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ , 湿度  $75\%\pm 5\%$ , 光照 14 L: 10 D 的人工气候箱进行。

### 1.4 冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫生殖能力的影响

分别在上述试验的对照组和处理组中取成虫各 30 对(同日羽化, 1♂1♀), 每对使用培养皿单独饲养。上述试验对照组中的 15 对饲喂新鲜粉蚧作为本试验对照组 CK, 15 对饲喂冷冻粉蚧作为本试验处理组 T1; 上述试验处理组中的 15 对饲喂新鲜粉蚧作为本试验处理组

T2, 15 对饲喂冷冻粉蚧作为本试验处理组 T3。每日检查粉蚧卵囊堆里瓢虫产卵情况并更换新的粉蚧。通过记录首次产卵日确定产卵前期, 连续记录 10 d 瓢虫的产卵量及其孵化率。所有试验均在温度 25°C±1°C, 湿度 75%±5%, 光照 14 L: 10 D 的人工气候箱进行。

### 1.5 数据处理和分析

本研究中, 化蛹率和羽化率分别为化蛹数量和成虫数量占试验虫数的比例。对于化蛹率、羽化率、幼虫和蛹的发育历期以及雌雄成虫的体重数据, 首先作正态性检验, 若两组数据均服从正态分布, 则进一步进行方差齐性检验。对于满足正态分布且方差齐的组数据, 采用独立样本 T 检验进行比较; 对于满足正态分布但方差不齐的组数据, 采用 Welch's T 检验进行比较。若数据不服从正态分布, 则采用非参数检验法 (Mann-Whitney U 检验) 进行比较分析。产卵前期、10 d 产卵量和孵化率等参数, 则采用单因素方差分析的 Tukey 检验法进行分析。试验数据录入采用 Microsoft Excel 2010 软件, 统计分析通过 IBM SPSS Statistics 22 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫化蛹率和羽化率的影响

结果显示, 多数孟氏隐唇瓢虫幼虫可取食冷冻粉蚧并完成发育, 其化蛹率和羽化率分别为 90.00% 和 87.00%, 均与饲喂新鲜粉蚧的效果 92.00% 和 90.00% 无显著差异 (表 1)。

表 1 冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫化蛹率和羽化率的影响

饲料 Foods	样本量 (N)	化蛹率 (%) Pupation rates	羽化率 (%) Emergence rates
新鲜粉蚧 Fresh mealybug	5	92.00 ± 5.70 a	90.00 ± 3.54 a
冷冻粉蚧 Frozen mealybug	5	90.00 ± 6.12 a	87.00 ± 7.58 a
<i>t</i> , <i>df</i> , <i>P</i>		0.865, 8, 0.608	0.152, 8, 0.446

注: 数据为平均值±标准差, 经独立样本 T 检验, 不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著。Note: Data were presented as mean±SD. Groups with different letters were significantly different at the 0.05 level, as determined by an Independent Samples T-Test.

### 2.2 冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫生长发育的影响

结果显示, 处理组与对照组相比, 其幼虫和蛹的发育历期以及雌雄成虫体重均出现显著的负面影响。其中, 处理组幼虫的发育历期为 15.42 d, 显著大于对照组的 13.51 d; 处理组蛹的发育历期为 11.48 d, 显著大于对照组的 10.88 d; 处理组雄成虫体重 9.54 mg, 显著低于对照组 9.94 mg; 雌成虫的体重 10.82 mg, 亦显著低于对照组 11.39 mg (表 2)。

表 2 冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫生长发育的影响

饲料 Foods	幼虫发育历期 (d) Developmental time of the larva	蛹发育历期 (d) Developmental time of the pupa	雄虫体重 (mg) Male weight	雌虫体重 (mg) Female weight
新鲜粉蚧 Fresh mealybug (N)	13.51 ± 0.68 a (87)	10.88 ± 0.63 a (85)	9.94 ± 0.89 a (43)	11.39 ± 0.70 a (42)
冷冻粉蚧 Frozen mealybug (N)	15.42 ± 1.26 b (90)	11.48 ± 0.83 b (88)	9.54 ± 0.68 b (43)	10.82 ± 0.96 b (45)
差异性分析 Differential Analysis	<i>U</i> =557, <i>P</i> =0.000	<i>U</i> =2171, <i>P</i> =0.000	<i>t</i> =2.351, <i>df</i> =78.804,	<i>t</i> =3.144, <i>df</i> =85.000,

注：数据为平均值±标准差，经独立样本 T 检验或 Mann-Whitney U 检验，不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著。Note: Data were presented as mean±SD. Groups with different letters are significantly different at the 0.05 level, as determined by an Independent Samples T-Test or Mann-Whitney U-Test.

### 2.3 冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫生殖能力的影响

结果显示，在幼虫期和/或成虫期饲喂冷冻粉蚧，对其产卵前期和卵的孵化率均无显著影响，但成虫期饲喂冷冻粉蚧其产卵量显著降低（表 3）。其中，对照组 CK 和处理组 T1、T2 和 T3 的产卵前期分别为 7.20、8.29、7.42 和 8.31 d，四者之间均无显著差异；CK 的 10 d 产卵量与 T2 的 10 d 产卵量无显著差异，T1 与 T3 无显著差异，但 CK 与 T1 和 T3，T2 与 T1 和 T3 之间均差异显著；对照组 CK 和处理组 T1、T2 和 T3 的卵的孵化率分别为 83.56%、81.50%、83.78%和 81.91%，四者之间均无显著差异。

表 3 冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫生殖能力的影响

Table 3 Fecundity of *Cryptolaemus montrouzieri* fed on the frozen mealybugs

幼虫期/成虫期饲料 Larva/Adult foods	样本量 (N)	产卵前期 (d) Pre-oviposition duration	单雌 10 d 产卵量 10-day egg production per female	孵化率 (%) Egg hatch rate
新鲜/新鲜粉蚧 Fresh/Fresh mealybug	15	7.20 ± 0.22 a	157.73 ± 6.44 a	83.56 ± 1.01 a
新鲜/冷冻粉蚧 Fresh/Frozen mealybug	15	8.13 ± 0.31 a	57.33 ± 7.08 b	81.50 ± 1.33 a
冷冻/新鲜粉蚧 Frozen/Fresh mealybug	15	7.73 ± 0.18 a	139.93 ± 8.25 a	83.78 ± 1.42 a
冷冻/冷冻粉蚧 Frozen/Frozen mealybug	15	8.00 ± 0.29 a	59.40 ± 7.71 b	81.91 ± 0.73 a
F; df; P		2.599; 3, 56; 0.061	50.809; 3, 56; 0.000	2.683; 3, 56; 0.055

注：数据为平均值±标准误，经 Tukey 检验，不同字母表示 0.05 水平上差异显著。Note: Data were mean±SE, different letters within a column indicated significant difference at 0.05 level according to Tukey's test.

## 3 结论与讨论

通过本研究，我们观察到冷冻粉蚧对化蛹率、羽化率、产卵前期和孵化率影响较小，但是对幼虫和蛹的发育历期、雌雄成虫的体重、以及产卵量则产生了显著的负面影响。

本研究发现孟氏隐唇瓢虫幼虫可取食冷冻粉蚧并完成整个发育历期，而且其群体的化蛹率 90.00%和羽化率 87.00%仍保持了较高水平，与饲喂新鲜粉蚧效果无显著差异。而且其羽化率高于 Xie *et al.* (2017) 使用基于花粉的人工饲料饲养的 73%，显示出冷冻粉蚧作为人工饲料潜在的开发和应用价值。

此外，本研究发现饲喂冷冻粉蚧对瓢虫的个体生长发育产生了不利影响。这主要体现在发育历期（包括幼虫期和蛹期）的延长以及雌雄个体体重的减少。我们分析这些现象的原因可能与冷冻粉蚧容易失水而变干燥有关，这使得幼虫难以正常取食，从而导致取食量减少，最终影响了个体的生长发育。

在探讨冷冻粉蚧对孟氏隐唇瓢虫生殖能力的影响的试验中，我们观察到无论是单一阶段（幼虫期或成虫期）还是连续两个阶段使用冷冻粉蚧饲喂，其产卵前期和卵的孵化率与全程使用新鲜粉蚧的对照组相比并无显著差异。其中，取食冷冻粉蚧的瓢虫的产卵前期约 8 d，明显短于 Maes *et al.* (2014) 用地中海粉螟卵和花粉饲养的 14.80~15.30 d，同样也短于 Xie *et al.* (2017) 用基于花粉的人工饲料饲养的 9.40~15.10 d，说明冷冻粉蚧相比地中海粉螟卵和

花粉，可能更有利于孟氏隐唇瓢虫雌虫的生殖发育。

然而，冷冻粉蚧对成虫的10日产卵量产生了显著影响，特别是在仅在成虫期饲喂冷冻粉蚧的处理组中，产卵量显著降低至对照组的约三分之一。我们分析其原因可能有两点：一是可能由于产卵介质不合适。Merlin *et al.* (1996)的研究指出，孟氏隐唇瓢虫的产卵过程需要猎物分泌的蜡丝诱导，并且它们通常会在有猎物蜡丝的位置产卵。如果找不到适宜的产卵场所，瓢虫可能会将卵暂存于生殖腔内。蒋瑞鑫等(2011)指出猎物蜡丝可满足孟氏隐唇瓢虫产卵的化学需求和物理需求，具有缝隙结构的丝状基质对于雌虫产卵是尤为必要的。在本试验中，所使用的冷冻粉蚧在冷冻过程中蜡丝容易结团并失去其蓬松结构，我们推测这可能是导致瓢虫产卵量显著减少的原因之一。二是，可能由于雌虫在产卵前期因营养不足而导致生殖发育不良。Ferraz *et al.* (2023)的研究表明，食物营养是卵巢发育启动的关键因子，产卵前期摄入食物的营养会影响成虫羽化后卵巢的成熟。因此，也不排除本研究中产卵量的显著降低是由于成虫对于冷冻粉蚧取食性较差或营养成分发生变化等因素。以上假设还需要通过进一步研究来验证。

总体而言，虽然冷冻粉蚧无法直接替代新鲜粉蚧作为孟氏隐唇瓢虫规模化生产的饲料，但在化蛹率、羽化率、产卵前期和孵化率等多个方面，使用冷冻粉蚧饲养的瓢虫表现出与活体猎物相当的效果，显示出较好的应用潜力。尽管在个体生长发育和产卵量方面表现不佳，但未来可以通过对冷冻粉蚧进行剂型加工改良和使用人工产卵介质等措施来提升幼虫的适食性及其生长发育表现和成虫的产卵量。这些措施可能成为未来孟氏隐唇瓢虫人工饲料开发的重要研究方向。

### 参考文献 (References)

- Ferraz Dos Santos ML, Rodrigues-Pedrosa J, Teles Pontes WJ. The pre-oviposition period is associated with ovary maturation in *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, 1850 (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Invertebrate Reproduction & Development*, 2023, 67 (3-4): 129-134.
- Fisher TW. Mass culture of *Cryptolaemus* and *Leptomastix*, natural enemies of citrus mealybug: California [J]. *Agriculture Experiment Station Bulletin*, 1963, 797: 1-39.
- Gunawardana DUM, Hemachandra KS. Mass rearing of mealybug predator, *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) on two mealybug species, *Planococcus minor* and *Pseudococcus viburni* [J]. *Tropical Agricultural Research*, 2020, 31 (1): 31-41.
- Huang BK. The *Cryptolaemus montrouzieri* of breeding and using after the introduction of Fujian [J]. *Entomological Knowledge*, 1963, 7 (3): 124-126. [黄邦侃. 孟氏隐唇瓢虫引进福建后的繁殖和利用 [J]. 昆虫知识, 1963, 7 (3): 124-126]
- Jiang RX, Li S, Guo ZP, *et al.* Research status of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant and establishing its description criteria [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2009, 31 (3): 238-247. [蒋瑞鑫, 李姝, 郭泽平, 等. 孟氏隐唇瓢虫研究现状及其种质资源描述规范的建立 [J]. 环境昆虫学报, 2009, 31 (3): 238-247]
- Jiang RX, Zhang YH, Wu HS, *et al.* The color preference of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) on substrates [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33 (2): 213-218. [蒋瑞鑫, 张宇宏, 吴红胜, 等. 孟氏隐唇瓢虫对产卵基质的颜色选择行为研究 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33 (2): 213-218]
- Kairo M. *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) (Coccinellidae: Scymininae): A review of biology, ecology, and use in biological control with particular reference to potential impact on non-target organisms [J]. *CAB Rev.*, 2013, 8: 5.
- Kishore R, Manjunath D, Kumar P, *et al.* Mass production of Australian lady bird beetle, *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coccinellidae: Coleoptera) [J]. *Indian Journal of Sericulture*, 1993, 32: 184-188.
- Li LY. The research application prospects of *Cryptolaemus montrouzieri* in China [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1993, 15 (3): 142-150. [李丽英. 我国孟氏隐唇瓢虫 (*Cryptolaemus montrouzieri*) 研究及应用展望 [J]. 昆虫天敌, 1993, 15 (3): 142-150]
- Maes S, Antoons T, Grégoire JC, *et al.* A semi-artificial rearing system for the specialist predatory ladybird *Cryptolaemus montrouzieri* [J]. *BioControl*, 2014, 59: 557-564.
- Mani M. Hundred and sixty years of Australian lady bird beetle *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant - a global view [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2018, 28 (10): 938-952.
- Merlin J, Lemaitre O, Grégoire JC. Oviposition in *Cryptolaemus montrouzieri* stimulated by wax filaments of its prey [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1996, 79: 141-146.
- Pang H, Tang C, Li LY. The technology for preservation of *Cryptolaemus montrouzieri* adult with the artificial diets [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1996, 18 (2): 64-66. [庞虹, 汤才, 李丽英. 孟氏隐唇瓢虫成虫的人工饲料保虫技术 [J]. 昆虫天敌, 1996, 18 (2): 64-66]
- Pang XF, Li LY. Studies on the *Cryptolaemus montrouzieri* settling control of mealybug harm in Guangzhou and other place [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1979, 1 (3): 50. [庞雄飞, 李丽英. 孟氏隐唇瓢虫在广州等地定居, 控制石栗粉蚧的危害 [J]. 昆虫天敌, 1979, 1 (3): 50]
- Pu ZL, He DP, Deng DA. The reproduction and application of *Rodolia cardinalis* and *Cryptolaemus montrouzieri* [J]. *Journal of Sun*

- Yatsen University*, 1959, 2: 1-8. [蒲蛭龙, 何等平, 邓德嵩. 孟氏隐唇瓢虫和澳洲瓢虫的繁殖和利用 [J]. 中山大学学报, 1959, 2: 1-8]
- Qin ZQ, Ren SX, Wu JH, *et al.* The control effect of *Cryptolaemus montrouzieri* on the pineapple mealybug, *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley, on *Agave sisalana*. In: Abstracts of the Second National Conference on Biological Invasion [C]. Guangzhou: The Biological Invasion Branch of the Chinese Society of Plant Protection, 2008: 222. [覃振强, 任顺祥, 吴建辉, 等. 隐唇瓢虫对剑麻新菠萝灰粉蚧的控制作用. 见: 第二届全国生物入侵学术研讨会论文摘要集 [C]. 广州: 中国植物保护学会生物入侵分会, 2008: 222]
- Qin ZQ, Wei JJ, Song XP, *et al.* Efficacy of the ladybird beetle *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant for control of *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell) [J]. *Sugar. Tech.*, 2017, 19: 599-603.
- Tang C, Pang H, Ren SX, *et al.* Studies on the *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant feeding on loblolly pine mealybug *Oracella acuta* (Lobdell) [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1995, 17 (1): 9-12. [汤才, 庞虹, 任顺祥, 等. 孟氏隐唇瓢虫捕食湿地松粉蚧的研究 [J]. 昆虫天敌, 1995, 17 (1): 9-12]
- Venkatesan T, Singh SP, Jalali SK. Development of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of mealybugs on freeze-dried artificial diet [J]. *Journal of Biological Control*, 2001, 15: 139-142.
- Xie J, Wu H, Pang H, *et al.* An artificial diet containing plant pollen for the mealybug predator *Cryptolaemus montrouzieri* [J]. *Pest Management Science*, 2017, 73 (3): 541-545.
- Xie JQ, Jiang RX, Zhang YH, *et al.* A way of artificial breeding, storage and reproduction of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant: CN201410482952.1 [P]. 2015-03-04. [谢佳沁, 蒋瑞鑫, 张宇宏, 等. 一种孟氏隐唇瓢虫人工饲养, 保种和繁殖生产方法: CN201410482952.1 [P]. 2015-03-04]
- Yang SM, Wang CY, Zhang YQ, *et al.* Predation research of *Cryptolaemus montrouzieri* on four species of mealybugs [J/OL]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2024, 1-10. [杨书美, 王春燕, 张月青, 等. 孟氏隐唇瓢虫对四种粉蚧的捕食作用研究 [J/OL]. 热带作物学报, 2024, 1-10.
- Zhao SX, Zeng ZH, Wu GY. Predation of *Cryptolaemus montrouzieri* and *Pharoscymnus taoi* to *Aspidiotus destructor* [J]. *Entomologica Journal of East China*, 2001, 10 (1): 72-76. [赵士熙, 曾兆华, 吴光远. 孟氏隐唇瓢虫和台毛艳瓢虫对茶椰圆蚧的捕食作用 [J]. 华东昆虫学报, 2001, 10 (1): 72-76]