



肖达, 杜晓艳, 陈旭, 薛丽, 张帆, 王甦. 七星瓢虫卵的低温贮藏条件研究 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (2): 288-293.

七星瓢虫卵的低温贮藏条件研究

肖 达¹, 杜晓艳¹, 陈 旭¹, 薛 丽², 张 帆¹, 王 甦^{*}

(1. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097; 2. 山东省诸城市农业技术推广服务中心, 山东诸城 262200)

摘要: 为了探究七星瓢虫卵的最适低温贮藏条件, 本试验研究了七星瓢虫卵在 5、7、9 和 11℃ 条件下, 分别贮藏 10、20 和 30 d 的孵化情况, 结果表明七星瓢虫卵在 11℃ 贮藏 10 d 条件下孵化率最高, 可以达到 50.67%, 进一步分析最适的低温贮藏条件 11℃ 贮藏 10 d 对七星瓢虫种群适合度的影响。结果显示 11℃ 贮藏 10 d 对七星瓢虫化蛹率无显著影响。以豌豆修尾蚜为猎物, 对其幼虫和成虫的日捕食量进行检测, 结果表明七星瓢虫的卵经 11℃ 贮藏 10 d 后, 各个龄期幼虫和成虫的日捕食量与对照组相比无显著差异。但经 11℃ 贮藏 10 d 后七星瓢虫的发育历期显著缩短, 羽化率、产卵量以及子代孵化率显著降低。上述研究结果对利用低温环境提高七星瓢虫的贮藏效率提供一定的理论基础。

关键词: 七星瓢虫; 卵; 低温贮藏; 种群适合度

中图分类号: Q963; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2019) 02-0288-07

Low temperature store of *Coccinella septempunctata* eggs

XIAO Da¹, DU Xiao-Yan¹, CHEN Xu¹, XUE Li², ZHANG Fan¹, WANG Su^{1*} (1. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. Agricultural technology extension service center of Zhucheng, Zhucheng 262200, Shandong Province, China)

Abstract: To investigate the optimal low temperature store conditions of eggs in *Coccinella septempunctata*, the hatching rate of eggs were tested after stored in 5, 7, 9 and 11°C for 10, 20 and 30 days, respectively. Results from this study showed that the highest hatching rate of eggs in *C. septempunctata* was 50.67% which stored in 11°C for 10 days. Furthermore, the effect of optimal low temperature store conditions on population fitness of *C. septempunctata* was also tested in this study. The optimal low temperature store 11°C for 10 days have no significant difference on pupation rate of *C. septempunctata*. In addition, the daily feeding amount of each instar larvae and adult of *C. septempunctata* to prey *Megoura japonica* was investigated in this study. Results of predation showed that low temperature store 11°C for 10 days have no significant difference on daily feeding amount as compared with control. However, the developmental duration was significantly shortened, the eclosion rate, fecundity and hatching rate of offspring in *C. septempunctata* were significantly decreased after stored in the optimal low temperature as compared with their respective control. The results of this study provided theoretical basis for the increase the store efficiency of *C. septempunctata* utilize low temperature environment.

Key words: *Coccinella septempunctata*; egg; low-temperature store; population fitness

基金项目: 国家重点研究计划 (2017YFD0201006); 北京市科技计划 (D171100001617003); 北京市优秀人才项目 (2017000020060G121); 北京市农林科学院青年基金 (QNJJ201806); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项 (KJCX20170107)

作者简介: 肖达, 女, 1984 年生, 助理研究员, 研究方向为天敌昆虫抗性研究, E-mail: xiaoda@ipepbaafs.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, 王甦, 博士, 副研究员, 研究方向为生物防治, E-mail: anthocoridae@163.com

收稿日期 Received: 2019-01-19; 接受日期 Accepted: 2019-02-23

随着绿色植保的发展要求, 害虫生物防治的应用越来越广泛, 天敌昆虫的需求量也逐步扩大, 天敌昆虫的扩繁和利用成为害虫可持续综合治理 (IPM) 的重要手段之一 (万方浩等, 2000)。在利用天敌昆虫控制农林害虫时, 释放之前首先要一定时间内积累足够的天敌昆虫个体数量, 根据害虫的发生危害时期进行贮藏期调控, 继而实现田间的同步释放 (Venkatesan *et al.*, 2000)。大多数天敌昆虫在 3~15℃ 的条件下生长发育减缓, 所以通过低温贮藏天敌昆虫的适宜虫态来延缓天敌昆虫的生长发育, 从而延长天敌昆虫的储存期是一种简单易行的方法 (徐学农和王恩东, 2008)。但是天敌昆虫长时间暴露在低温环境下也会产生一些不利影响, 导致天敌昆虫滞育后致死或亚致死效应显著增强 (Hance *et al.*, 2017)。因此, 关于天敌昆虫低温贮藏适合度的研究是其规模化生产应用中至关重要的一个环节。

七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus 属鞘翅目瓢虫科, 对半翅目、鞘翅目、鳞翅目、蜚蠊目等重要农林害虫都有很强的捕食能力, 是一种重要的生防天敌, 且其因食量大、分布范围广, 所以有很强的产业应用前景 (程英等, 2006; Xiao *et al.*, 2016; 肖达等, 2017)。目前, 七星瓢虫已实现人工大量繁殖 (周宇航等, 2017)。在七星瓢虫大面积释放之前, 通常要对卵进行数量储备和运输。在正常的繁育条件下 (25℃), 七星瓢虫的卵在 3 d 左右即可孵化成幼虫。短暂的孵化时间严重制约了七星瓢虫卵的贮藏和运输。所以, 随着七星瓢虫工厂化饲养的不断扩大, 如何提高其货架期成为人们关注的热点。通过低温贮藏使储备和长距离运输的七星瓢虫保持在某个发育阶段是有效的方法之一。

目前, 关于七星瓢虫卵低温贮藏的研究还未见报道。本试验对七星瓢虫卵的低温贮藏条件进行了初步筛选并对其种群适合度的影响进行了分析。研究结果将为其商品化生产和应用提供技术参数, 从而提升七星瓢虫在害虫生物防治中的应用价值。

1 材料和方法

1.1 供试虫源

七星瓢虫为北京市农林科学院植物保护环境保护研究所室内定殖种群。以豆蚜 *Aphis craccivora*

和豌豆修尾蚜 *Megoura japonica* 为食物对七星瓢虫试验种群进行扩繁。具体流程如下: 种植蚕豆苗对豆蚜和豌豆修尾蚜进行扩繁, 待蚜虫种群扩繁到适宜的密度时将其放入养虫笼 (50 cm × 50 cm × 50 cm, 尼龙网: 120 目) 中, 随后接入七星瓢虫的初孵幼虫。放置于 25℃ ± 1℃, 相对湿度 70% ± 5%, 光周期 L:D 为 16 h: 8 h 条件下饲养。为减少幼虫自残现象的发生, 每日观察七星瓢虫的捕食情况并及时更换蚕豆苗以提供充足的蚜虫。

1.2 试验器材

冰箱 (青岛海尔, BCD-288 WSL)、温湿度计、透明养虫盒 (13 cm × 13 cm × 8.0 cm)、培养皿 (φ 5.0 cm)、小型养虫盒 (φ 6.0 cm, H 2.5 cm)、棉花、滤纸、纱网、毛笔等。

1.3 不同低温贮藏条件对七星瓢虫卵孵化率的影响

七星瓢虫羽化后大约 1 周开始产卵, 2 周后进入稳定产卵期。本试验所有样本统一为七星瓢虫羽化后第 20 天所产的新鲜卵块。将选取的卵块放入养虫盒中, 盒底铺上滤纸, 每天对滤纸进行加湿处理。同时在养虫盒中放入温湿度计, 每天记录养虫盒内温度和相对湿度, 保证温度稳定在试验设定温度 ± 0.2℃ 范围内, 相对湿度 60%。将装有卵块的养虫盒分别放置于 5、7、9 和 11℃ 冰箱内, 贮藏 10、20 和 30 d。低温贮藏结束后, 将卵块取出放置于七星瓢虫饲养室中进行观察, 统计不同低温贮藏条件下孵化的 1 龄幼虫数并计算孵化率。对照组选取与处理组同期的卵块, 放置于温度 25℃ ± 1℃, 相对湿度 70% ± 5%, 光周期 L:D 为 16 h: 8 h 条件的饲养室中观察。对照组和处理组均进行 3 次重复, 每个重复卵粒数不少于 300 粒。

孵化率 (%) = 孵化的 1 龄幼虫数 / 卵粒数 × 100

1.4 低温贮藏对七星瓢虫种群适合度的影响

1.4.1 发育历期

将对照组和处理组同一时间孵化的幼虫, 单独放置于培养皿中, 每天饲喂充足的蚜虫, 每隔 12 h 观察并记录其蜕皮情况, 以幼虫蜕皮作为龄期判定的标准。对照组和处理组均进行 6 次重复, 每个重复 10 头试虫。

1.4.2 化蛹率和羽化率

将对照组和处理组同一时间孵化的幼虫, 单独放置于培养皿中, 每天饲喂充足的蚜虫, 每隔 12 h 观察并记录其化蛹或羽化情况。对照组和处理组均进行 6 次重复, 每个重复 10 头试虫。

化蛹率(%) = 成功化蛹的个数/存活的4龄幼虫数 × 100

羽化率(%) = 成功羽化的成虫个数/成功化蛹的个数 × 100

1.4.3 日捕食量

从对照组和处理组选取同一时间孵化的幼虫进行各龄期试虫日捕食量的测定。测定前先将试虫单头进行 24 h 的饥饿处理,参考异色瓢虫对豆蚜的捕食功能反应(张文秋等, 2014),按照七星瓢虫的发育历期: 1 龄、2 龄、3 龄、4 龄幼虫、成虫(羽化后 5 d) 分别接入 20、50、150、200 和 250 头豌豆修尾蚜 2 龄若蚜, 24 h 后统计各个处理的捕食量,对照组和处理组均进行 6 次重复,每个重复 3 头试虫。

1.4.4 产卵量

将对照组和处理组新羽化的成虫配对,每对单独饲养在小型养虫盒中,每天饲喂足够的蚜虫,从羽化后第 7 天开始进行产卵量统计,共统计 23 d。对照组和处理组均进行 6 次重复,每个重复 10 对试虫。

1.4.5 F_1 代孵化率

将 1.4.4 中对照组和处理组中七星瓢虫所产的卵块放置于培养皿中,统计孵化的 1 龄幼虫数并计算孵化率。孵化率计算公式同 1.3。

1.5 数据处理与分析

利用 Excel 软件对各试验所得观测值进行统计分析,获得平均值和标准误。差异统计分析采用 t-test 方法(Poly Software International, Pearl River, NY, USA)

2 结果与分析

2.1 不同低温贮藏条件对七星瓢虫卵孵化率的影响

将七星瓢虫卵块进行不同低温贮藏处理后,

其孵化率结果如表 1 所示。贮藏温度及时间对七星瓢虫卵的孵化率影响极其显著。本试验中七星瓢虫同期卵块在正常饲养条件下孵化率为 74.70%。七星瓢虫卵在 5℃ 和 7℃ 分别贮藏 10、20 和 30 d 后均不能正常孵化,卵块颜色由金黄色逐渐变为深褐色且干瘪脱水。七星瓢虫卵在 9℃ 贮藏 10 d 后可以孵化,但孵化率仅为 6.87%,贮藏 20 d 和 30 d 后不能正常孵化。11℃ 贮藏 10 d 后,七星瓢虫卵的孵化率可以提高到 50.67%,贮藏 20 d 和 30 d 后卵同样不能正常孵化。

表 1 不同低温贮藏条件对七星瓢虫卵孵化率的影响

Table 1 Effects of different low temperature store on hatching rate of *Coccinella septempunctata* eggs

温度(°C) Temperature	不同贮藏时间下的孵化率(%) Hatching rate at different store time		
	10 d	20 d	30 d
5	0	0	0
7	0	0	0
9	6.87 ± 1.72	0	0
11	50.67 ± 4.70	0	0

2.2 11℃贮藏 10 d 处理对七星瓢虫卵发育历期的影响

上述研究结果显示七星瓢虫卵的最优低温贮藏条件组合为 11℃ 贮藏 10 d,以此贮藏条件为基础对七星瓢虫的种群适合度进行研究。七星瓢虫卵经过 11℃ 贮藏 10 d 处理后,幼虫发育历期(1 龄、2 龄和 3 龄)与对照组相比无显著差异($F = 0.094$, $P = 0.765$; $F = 0$, $P = 1$; $F = 0$, $P = 1$)。与对照组相比,4 龄幼虫发育历期显著延长($F = 16.200$, $P = 0.002$),而蛹期显著缩短($F = 203.462$, $P = 0$)。

表 2 11℃贮藏 10 d 处理对七星瓢虫卵发育历期的影响

Table 2 Effect of 11°C store eggs for 10 days on the developmental duration of *Coccinella septempunctata*

	1 龄 1 st instar	2 龄 2 nd instar	3 龄 3 rd instar	4 龄 4 th instar	蛹期 Pupal stage	幼虫期 Larval stage
对照 Control	2.42 ± 0.23 a	1.58 ± 0.15 a	1.58 ± 0.08 a	3.58 ± 0.15 a	5.08 ± 0.08 a	14.25 ± 0.36 a
处理(11℃ & 10 d) Treatment	2.50 ± 0.13 a	1.58 ± 0.08 a	1.58 ± 0.08 a	4.33 ± 0.11 b	3.16 ± 0.11 b	13.17 ± 0.21 b

注:表中数据为平均值 ± 标准误。同列数据后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平下差异显著。Note: The data in the table are mean ± SE. Data in the same column with different small letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level.

2.3 11℃贮藏 10 d 处理对七星瓢虫卵化蛹率和羽化率的影响

七星瓢虫卵经过 11℃ 贮藏 10 d 后其化蛹率为 $88.81 \pm 4.22\%$, 与对照组 ($95.97 \pm 0.85\%$) 相

比差异不显著 ($F = 2.758, P = 0.172$) (图 1 A)。与对照组 ($96.97 \pm 0.18\%$) 相比, 七星瓢虫的羽化率 ($87.78 \pm 1.96\%$) 显著降低 ($F = 20.919, P = 0.01$) (图 1B)。

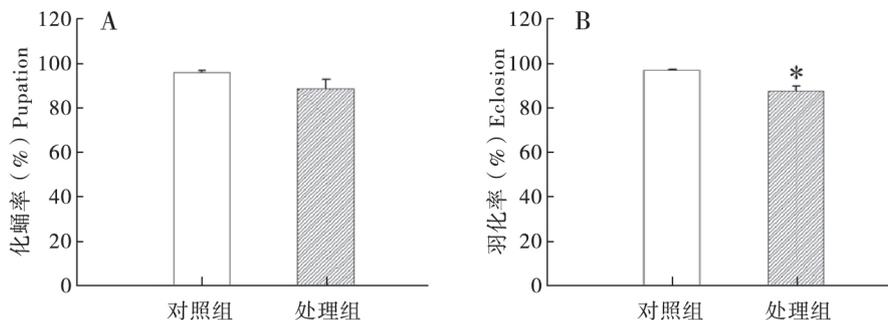


图 1 11℃ 贮藏 10 d 处理对七星瓢虫卵化蛹率和羽化率的影响

Fig. 1 Effect of 11 °C store eggs for 10 days on the pupation and eclosion rate of *Coccinella septempunctata*

2.4 11℃贮藏 10 d 处理对七星瓢虫卵后期幼虫和成虫日捕食量的影响

七星瓢虫卵经过低温贮藏后对其日捕食量测定结果如表 3 所示。对照组 1 至 4 龄幼虫和成虫 (雌、雄) 的日捕食量为 13.67、32.67、92.33、140.83、211.00 和 207.17 头, 处理组 1-4 龄幼

虫和成虫 (雌、雄) 的日捕食量为 14.17、35.50、93.50、155.50、202.33 和 212.67 头。统计分析结果显示, 七星瓢虫的各个发育阶段日捕食量均无显著性差异, 说明七星瓢虫卵经过 11℃ 贮藏 10 d 处理后, 对后期幼虫和成虫的日捕食量无显著影响。

表 3 11℃ 贮藏 10 d 处理对七星瓢虫卵后期幼虫和成虫日捕食量的影响

Table 3 Effect of 11°C store eggs for 10 days on daily feeding amount of *Coccinella septempunctata*

虫态 Insect state	蚜虫数量 (头) Amount of aphid	平均捕食量 (头/天) Average amount of predation	
		对照组 Control	处理组 Treatment
1 龄幼虫 1 st instar larvae	20	13.67 ± 0.84 a	14.17 ± 0.70 a
2 龄幼虫 2 nd instar larvae	50	32.67 ± 1.54 a	35.50 ± 1.41 a
3 龄幼虫 3 rd instar larvae	150	92.33 ± 6.10 a	93.50 ± 4.16 a
4 龄幼虫 4 th instar larvae	200	140.83 ± 4.58 a	155.50 ± 13.79 a
成虫 (♀) Adult (♀)	250	211.00 ± 7.23 a	202.33 ± 6.27 a
成虫 (♂) Adult (♂)	250	207.17 ± 5.88 a	212.67 ± 6.95 a

注: 表中数据为平均值 ± 标准误。同行数据后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平下差异显著。Note: The data in the table are mean ± SE. Data in the same row with different small letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level.

2.5 11℃贮藏 10 d 处理对七星瓢虫卵后期产卵量和子代孵化率的影响

七星瓢虫卵经过 11℃ 贮藏 10 d 处理后, 其成虫在 23 d 内的累积产卵量为 834.33 ± 45.85 粒, 与对照组 1055.33 ± 38.83 粒相比显著降低 ($F = 13.53, P = 0.02$) (图 2A)。与对照组 ($69.32 \pm 3.76\%$) 相比, 经过 11℃ 低温贮藏处理后子代卵的孵化率 ($35.67 \pm 0.93\%$) 也显著降低 ($F = 75.64, P = 0.001$) (图 2B)。

3 结论与讨论

释放天敌昆虫是生物防治的重要技术之一, 在大量释放之前往往要对天敌昆虫进行数量的储备和运输。低温贮藏能有效维持天敌种群数量并延长其存活时间。低温贮藏也是天敌昆虫商品化生产、运输和释放应用的重要环节。自 20 世纪 30 年代起, 关于天敌昆虫低温贮藏的研究就陆续

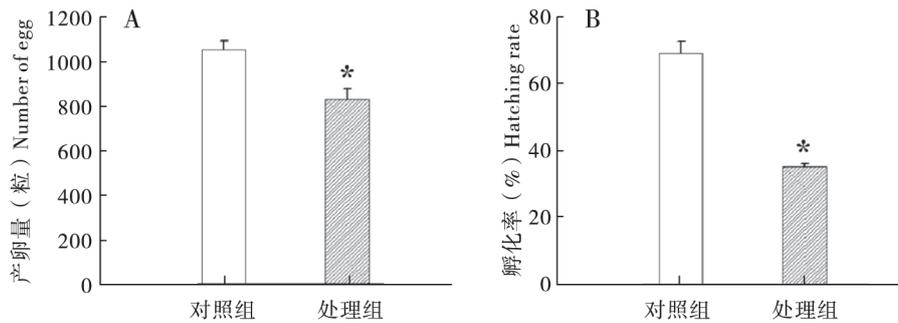


图2 11℃贮藏10 d处理对产卵量和子代孵化率的影响

Fig. 2 Effect of 11°C store eggs for 10 days on the number of egg and hatching rate of F₁ generation

展开,至今仍是研究热点(沈祖乐等,2017)。研究人员希望通过低温贮藏延长天敌昆虫产品的货架期,同时又会面临经过低温贮藏后天敌昆虫大量死亡的潜在风险,因此研究天敌昆虫最适的低温贮藏条件势在必行,且对天敌昆虫人工扩繁具有现实的指导意义。

七星瓢虫卵的体积较小且易积累足够数量,所以本试验选用七星瓢虫卵为适宜虫态进行低温贮藏条件的研究。在正常饲养条件下,七星瓢虫所产的卵中大约有15%的卵是营养卵且不具备孵化能力,因此孵化率在80%左右。对天敌进行低温贮藏时,其温度范围一般为零度至发育起点温度(Morewood, 1992; Lysyk, 2004; Ghazy *et al.*, 2012)。如果接近或者高于发育起点温度,卵的孵化率会相应提高,但是也会出现在贮藏期间孵化的现象,这样不利于实际生产应用。前期研究结果显示七星瓢虫卵至蛹的发育起点温度约为12.7℃(朱景致,1987)。因此本试验以七星瓢虫卵的发育起点温度为基础,设定5℃、7℃、9℃和11℃为贮藏温度,以孵化率为指标来评价温度和贮藏时间对七星瓢虫卵低温贮藏的影响。研究结果显示在5℃、7℃和9℃贮藏温度下,七星瓢虫的卵基本上不会孵化。将温度提高到11℃,贮藏10 d后七星瓢虫卵的孵化率随之提高,可以达到50.67%。但随着贮藏时间延长至20 d和30 d后,所有卵均不能孵化,因此可以得出贮藏时间和温度对七星瓢虫卵的孵化率有较大的影响。滕树兵和徐志强(2005)在对异色瓢虫卵的低温贮藏研究中也发现,低温对异色瓢虫卵的孵化率影响较大,在5℃和8℃低温冷藏处理下的卵块,随着贮藏时间延长孵化率逐渐降低,贮藏10 d孵化率接

近0,这与本试验结果类似。推断其原因可能因为瓢虫的卵不是越冬虫态,因此不含或含有很少的抗低温物质,所以在低温状态下容易受到低温伤害(滕树兵和徐志强,2005)。宗良炳等(1987)和麦麦提·亚生等(2014)分别在对中华草蛉 *Chrysoperla sinica* 和普通草蛉 *Chrysoperla carnea* 卵的低温贮藏研究中同样发现,在贮藏天数相同的情况下,孵化率随贮藏温度的降低而降低;同一贮藏温度下,贮藏时间延长孵化率也随之降低。

天敌昆虫经过低温贮藏会对其种群适合度产生影响。因此我们研究了最优低温贮藏条件11℃贮藏10 d对七星瓢虫亲代发育历期、化蛹率、羽化率、捕食能力以及子代孵化率的影响。结果发现:1)七星瓢虫卵经过11℃贮藏10 d后,幼虫的整体发育历期显著缩短,其中1龄、2龄和3龄期与对照相比没有显著差异,但4龄幼虫发育历期显著延长,蛹期显著缩短。李水泉等(2011)在对玛草蛉 *Mallada* sp. 卵低温冷藏的研究中也同样有发育历期极显著缩短的现象;2)七星瓢虫卵经过11℃贮藏10 d后,其化蛹率和羽化率均有下降。周亚奎等(2011)研究发现,随着温度的降低和冷藏时间的延长,细点扁股小蜂 *Elasmus punctulatus* 的羽化率也逐渐降低。阿克旦·吾外士(2006)在对麦蛾柔茧蜂 *Habrobracon hebetor* Say 的冷藏试验中同样发现,麦蛾柔茧蜂在12℃下贮藏7 d,其羽化率与对照相比下降了一半。Colinet和Hance研究报道可能是因为低温贮藏结束后昆虫生长发育恢复正常,贮藏期间大量的能量消耗不能使其继续完成发育或者羽化,因此其化蛹率、羽化率会随着贮藏时间的延长而降低(Colinet and Hance, 2010)。因此,低温贮藏的能量消耗可能

是天敌昆虫化蛹率或羽化率降低的重要因素; 3) 幼虫和成虫的捕食能力与对照组无显著差异, 说明七星瓢虫卵经低温贮藏后对其捕食能力没有影响。实际应用中释放这种卵经过低温贮藏后的幼虫不会影响防控效果。但是, 本研究发现七星瓢虫卵经过低温贮藏后, 其产卵量和子代孵化率均显著降低。有研究表明有时低温贮藏的胁迫效应不会立即出现, 可能会传递到下一代发育阶段或者后代, 对存活和发育等产生不利影响 (Barbehenn, 2005)。生殖力降低和产卵时间的缩短都是天敌昆虫低温贮藏后生殖代价的表现。

综上所述, 本研究以七星瓢虫卵的孵化率为评价指标系统地对不同低温贮藏条件组合进行探究, 最终筛选出 11℃ 贮藏 10 d 为七星瓢虫卵的适宜低温贮藏条件。该贮藏条件的应用可以使七星瓢虫卵的贮藏期增加近 2 倍的时间, 有效提高了卵的运输时间和距离, 进而提高七星瓢虫在生物防治中的应用价值。

参考文献 (References)

- Akeda • Wuwaishi. Research on Application Techniques of *Habrobracon hebetor* Say for Controlling *Helicoverpa armigera* and *Ostrinia furnacalis* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2006. [阿克旦 • 吾外士. 麦蛾柔茧蜂防治棉铃虫和玉米螟的应用技术研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2006]
- Barbehenn R. Insect physiological ecology: Mechanisms and patterns [J]. *Quarterly Review of Biology*, 2005, 80 (2): 248 - 249.
- Cheng Y, Li ZY, Li FL. Research progress of *Coccinella septempunctata* [J]. *GuiZhou Agricultural Sciences*, 2006, 34 (5): 117 - 119. [程英, 李忠英, 李凤良. 七星瓢虫的研究进展 [J]. 贵州农业科学, 2006, 34 (5): 117 - 119]
- 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.
- Hance T, van Baaren J, Vernon P, et al. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective [J]. *Annual Review of Entomology*, 2007, 52: 107 - 126.
- Ghazy NA, Suzuki T, Shah M, et al. Using high relative humidity and low air temperature as a long term storage strategy for the predatory mite *Neoseiulus californicus* (Gamasida: Phytoseiidae) [J]. *Biological Control*, 2012, 60 (3): 241 - 246.
- Li SQ, Huang SS, Han SC, et al. Impact of low - temperature refrigeration on the eggs and pupae development of *Mallada* sp. [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33 (4): 478 - 481. [李水泉, 黄寿山, 韩诗畴, 等. 低温冷藏对玛草蛉卵与蛹发育的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33 (4): 478 - 481]
- Lysyk TJ. Effects of cold storage on development and survival of three species of parasitoids (Hymenoptera: Pteromalidae) of house fly, *Musca domestica* L. [J]. *Environmental Entomology*, 2004, 33 (4): 823 - 831.
- Mamat • YS, Akedan • Wuwaishi, Ding RF, et al. Study on the effects of cryopreservation eggs on the growth and development of *Chrysoperla carnea* Stephens [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2014, 51 (2): 264 - 268. [麦麦提 • 亚生, 阿克旦 • 吾外士, 丁瑞丰, 等. 低温储存普通草蛉卵对其生命力的影响 [J]. 新疆农业科学, 2014, 51 (2): 264 - 268]
- Morewood WD. Cold storage of *Phytoseiulus persimilis* (Phytoseiidae) [J]. *Experimental & Applied Acarology*, 1992, 13 (3): 231 - 236.
- Teng SB, Xu ZQ. The cold storage conditions of *Harmonia axyridis* eggs and adults in mass - rearing [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (2): 180 - 183. [滕树兵, 徐志强. 人工扩繁代异色瓢虫卵和成虫最适冷藏条件的探讨 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (2): 180 - 183]
- 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]
- Venkatesan T, Singh SP, Jalali SK. Effect of cold storage on cocoons of *Goniozus nephantidis* Muesebeck (Hymenoptera: Bethylinidae) stored for varying periods at different temperature regimes [J]. *Journal of Entomological Research*, 2000, 24 (1): 43 - 47.
- Visser B, Le Lann C, 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 of the United States of America*, 2010, 107 (19): 8677 - 8682.
- Wan FH, Ye ZY, Guo JY, et al. Progress and prospect of biological control in China [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2000, 37 (2): 65 - 74. [万方浩, 叶正楚, 郭建英, 等. 我国生物防治研究的进展及展望 [J]. 昆虫知识, 2000, 37 (2): 65 - 74]
- Xiao D, Guo X, Zhang F, et al. The effect of environmental color on fecundity of seven spot ladybird beetle *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33 (1): 44 - 48. [肖达, 郭晓军, 张帆, 等. 环境颜色对七星瓢虫产卵的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33 (1): 44 - 48]
- Xiao D, Zhao J, Guo X, et al. Sublethal effects of imidacloprid on the predatory seven - spot ladybird beetle *Coccinella septempunctata* [J]. *Ecotoxicology*, 2016, 25: 1782 - 1793.
- Xu XN, Wang ED. Techniques for production and application of natural enemies in abroad [J]. *China Journal of Biological Control*, 2008, 24 (1): 75 - 79. [徐学农, 王恩东. 国外昆虫天敌商品化生产技术及应用 [J]. 中国生物防治学报, 2008, 24 (1): 75 - 79]
- Zhang WQ, Guo XH, Hou ZR, et al. The predation functional response

- of *Harmonia axyridis* Pallas to *Aphis craccivora* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (6): 965–970. [张文秋, 郭喜红, 侯峥嵘, 等. 异色瓢虫对豆蚜的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (6): 965–970]
- Zhou YH, Cheng Y, Jin JX, et al. Large scale production and release application of *Coccinella septempunctata* [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30 (3): 602–605. [周宇航, 程英, 金剑雪, 等. 七星瓢虫规模化生产与释放的应用效果 [J]. 西南农业学报, 2017, 30 (3): 602–605]
- Zhou YK, Gan BC, Yang XQ, et al. 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, 等. 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]
- Zhu JZ. Determination and application of starting temperature and effective accumulated temperature of *Coccinella septempunctata* Linnaeus [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1987, 25 (4): 288–290. [朱景治. 七星瓢虫发育起点温度和有效积温的测定及其应用 [J]. 昆虫知识, 1987, 24 (5): 288–290]
- Zong LB, Zhong CZ, Lei CL, et al. Low-temperature refrigeration on the eggs of *Orius similis* Zheng [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1987, 3 (1): 19. [宗良炳, 钟昌珍, 雷朝亮, 等. 南方小花蝽卵的低温保藏试验 [J]. 中国生物防治, 1987, 3 (1): 19]