

七星瓢虫不同虫态的低温贮藏条件

王小强^{1,2}, 曹馨月³, 周永航¹, 陈四维¹, 牟方生¹, 蒲德强^{2*}

(1. 四川省农业科学院经济作物育种栽培研究所, 成都 610300; 2. 四川省农业科学院植物保护研究所, 成都 610066; 3. 四川省农业科学院茶叶研究所, 成都 610066)

摘要: 为了探究七星瓢虫不同虫态的低温贮藏条件, 本研究在不同恒定低温-时间与变温预处理后恒定低温-时间组合下分别测定了七星瓢虫卵、蛹及成虫的孵化率、羽化率及成虫存活率。结果表明, 无论恒定低温或变温预处理, 卵在常温下 3 d 均可孵化, 恒温和变温的孵化率分别为 72.56% 和 73.93%, 且当保存时间不超过 5 d 时, 卵在 8 °C、10 °C 及 12 °C 时孵化率均在 50% 以上, 保存时间为 10 d 时, 卵在 10 °C 及 12 °C 时孵化率均在 50% 以上。七星瓢虫蛹在恒温和变温预处理条件下, 在 10 °C 保存 3 d 时均可完全羽化, 且羽化率与对照组无显著差异, 但当保存时间达到 50 d, 恒定温度在 2 °C、4 °C、6 °C 和 8 °C 下畸形率达到了 100%, 而其余保存天数下均未出现畸形率, 当变温预处理后, 仅在 2 °C 下保存 20、30 和 50 d 分别出现 100%、50% 和 100% 的畸形率。在 25 °C 保存时, 恒温和低温预处理下的成虫保存 40 d 时, 全部死亡, 但恒温 8 °C 下保存 60 d 和变温预处理 10 °C 下保存 60 d 的成虫存活率分别达到 60.46% 和 63.29%。综合分析表明, 一定时间下的恒定低温和变温预处理保存均能延长七星瓢虫卵、蛹及成虫寿命, 从而为七星瓢虫不同虫态商品化及其货架期的延长提供有效支持。

关键词: 七星瓢虫; 低温贮藏; 不同虫态; 存活率; 货架期

中图分类号: S476.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2020)06-0891-08

Low Temperature Storage of Different Stages of *Coccinella septempunctata*

WANG Xiaoqiang^{1,2}, CAO Xinyue³, ZHOU Yonghang¹, CHEN Siwei¹, MOU Fangsheng¹, PU Deqiang^{2*}

(1. Industrial Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Science, Chengdu 610300, China; 2. Institute of Plant Protection, Sichuan Academy of Agricultural Science, Chengdu 610066, China; 3. Tea Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Science, Chengdu 610066, China)

Abstract: In order to explore the suitable condition of low temperature storage of *Coccinella septempunctata*, the hatching rate of egg, pupal abnormal rate and adult survival rate were measured under the combination of constant temperatures and storage duration and the combination of varying temperatures and storage duration. The results showed that eggs experienced constant low temperature storage or varying temperature hatched in three days, the hatching rate was 72.56% at constant temperature and 73.93% at varying temperature. The egg hatching rate exceeded 50% when the eggs were stored for less than 5 days at 8, 10 and 12 °C or for less than 10 days at 10 and 12 °C. The adult emergence rate did not differ between the pupae stored for 3 d at 10 °C constant temperature and varying temperature and the pupae in the control. The adult abnormal rate was 100% in the pupae stored for 50 days at the constant temperatures of 2, 4, 6 and 8 °C while the adult abnormal rates were 100%, 50% and 100%, respectively, in the pupae stored for 20, 30 and 50 days at the varying temperature of 2 °C. The adult survival rate was 60.46% at the constant temperature 8 °C for 60 d while the survival rate was 63.29% at the constant temperature 10 °C for 60 d. But the adults stored for 40 days all died at constant and varying temperature

收稿日期: 2019-03-08

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0201300); 四川省农业科学院青年基金(2019QNJJ-004); 四川省烟草公司重点科技项目(SCYC201805)

作者简介: 王小强, 硕士, E-mail: jim9112008@163.com; *通信作者, 副研究员, E-mail: pdqpudeqiang@163.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2020.06.011

of 25 °C. Therefore, the lifetimes of egg, pupa and adult stored at the condition of low temperatures can be extended, which provides support to the commercialized production and shelf-life of different stages of *C. septempunctata*.

Key words: *Coccinella septempunctata*; low temperature store; different stage; survival rate; shelf-life

七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* L. 属鞘翅目瓢虫科, 是多种农林害虫的重要天敌, 尤其对蚜虫有较强的控制能力, 因其寿命长、繁殖能力强、食谱广、食量大、分布范围广而被称为“活的生物农药”, 国内外已广泛应用于害虫的生物防治^[1-3]。侯茂林等^[4]利用七星瓢虫控制烟蚜 *Myzus persicae* 取得较明显效果, 巫鹏翔等^[5]通过人工释放七星瓢虫成虫发现其可有效取食枸杞木虱 *Poratrioza sinica* 初孵若虫, 降低木虱为害, 孔琳等^[6]发现七星瓢虫对 2019 年入侵我国的草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 1 龄幼虫的日取食量可达到 233.1 头, Freier 等^[7]对小麦连续 10 年的调查统计发现七星瓢虫成虫和幼虫在麦蚜种群控制中起到至关重要的作用。另外, 研究还发现七星瓢虫对烟蓟马 *Thrips tabaci* 和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 亦有良好的控制效果^[8]。天敌昆虫作为农作物害虫生物防控的重要因子, 在持续控害、减施农药、提高农产品质量安全等方面有不可替代的作用。因此, 规模化人工繁育及适时投放天敌昆虫产品用于害虫防治屡见报道^[9], 但为了延长天敌昆虫商品的货架期、提高适时大量投放能力及降低生产成本, 利用天敌昆虫滞育特性采用低温储藏手段便成为目前最常用的技术^[10]。李玉艳等^[11]研究发现低温诱导烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 滞育可显著延长其寿命, 李兴鹏等^[12]发现在梯度降温下保存比直接快速低温保存能明显提高蠮螋 *Arma chinensis* 成虫的存活率, 研究还发现异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 经低温保存后对其后代发育历期亦存在不同影响^[13], 但变温保存方法及低温保存对后代的影响在七星瓢虫低温保存研究中尚未见报道。

鉴于七星瓢虫出众的生防能力, 适时释放于田间控制蚜虫种群数量便成为可能, 但蚜虫发生时间早, 危害时间长, 密度随温度升高而增大, 且七星瓢虫对蚜虫趋于高密度跟踪特性, 难以在蚜虫初发阶段就能通过瓢虫达到控制蚜虫数量增长的目的^[14]。因此, 有必要进行人工规模化饲养并低温保存, 便于适时投放于田间。尽管对七星瓢虫的人工饲养及保存已有研究, 且仅限于恒温保存或单一虫态保存研究^[15,16], 但滞育在昆虫卵、幼虫、蛹及成虫期任何阶段均可发生。因此, 本研究对七星瓢虫卵、蛹及成虫在恒定低温及变温预处理条件下的保存做了系统研究, 该结果将为人工大量繁殖七星瓢虫提供理论依据, 为促进害虫生物防治提供技术支持。同时, 有助于丰富七星瓢虫产品的多样性、延长其货架期, 促进七星瓢虫产品“订单模式”的发展。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

七星瓢虫为四川省农业科学院经作所养虫室内定殖种群, 以豆蚜 *Aphis craccivora* 为食物对七星瓢虫试验种群进行扩繁。定殖条件为温度 (25±1) °C, 相对湿度 (70±5) %, 光周期 16L:8D (以下简称常温)。

1.2 试验器材

冰箱 (海尔)、RXZ300C 型培养箱 (宁波江南仪器厂)、温湿度计、培养皿 (9.0 cm)、培养皿 (15.0 cm)、滤纸、报纸、毛笔等。

1.3 恒温保存

1.3.1 卵的保存 将七星瓢虫羽化后第 20~25 d 所产的不少于 50 粒卵的新鲜卵块置于含有保湿滤纸培养皿中, 并将该培养皿分别放置于 4、6、8、10 及 12 °C 冰箱内并保持相对湿度为 70%±5%, 分别依次贮藏 3、5、10、15、20、30 及 50 d。低温贮藏后, 将卵块取出放置于常温下进行观察, 统计不同低温贮藏条件下孵化的幼虫数并计算孵化率。对照组选取与处理组同期的卵块, 放置于常温下与低温保存相同时间在常温中观察。对照组和处理组均进行 3 次重复。

1.3.2 蛹的保存 将七星瓢虫幼虫化蛹后第 2~4 d 的蛹放入含有保湿滤纸培养皿中, 并将该培养皿分别

放置于 2℃、4℃、6℃、8℃、10℃ 冰箱内并保持相对湿度为 70%±5%，分别依次贮藏 3、5、10、15、20、30 及 50 d。低温贮藏后，将蛹取出放置于常温中进行观察，统计不同低温贮藏条件下蛹的羽化率。对照组选取与处理组同期的蛹，放置于常温下与低温保存相同时间后在常温中观察。对照组和处理组均进行 3 次重复，每个重复蛹数不少于 30 头。

1.3.3 成虫的保存 将羽化后第 5~7 d 七星瓢虫置于含有保湿滤纸培养皿中，将该培养皿分别放置于 2℃、4℃、6℃、8℃、10℃ 冰箱内并保持相对湿度为 (70±5)%，分别依次贮藏 3、5、10、15、20、30、40 及 60 d。低温贮藏后，将成虫取出放置于常温下与低温保存相同时间后在常温中进行观察，统计不同低温贮藏条件下成虫的存活率。对照组选取与处理组同期的蛹，放置于常温中观察。对照组和处理组均进行 3 次重复，每个重复成虫数不少于 30 头。

1.4 变温保存

1.4.1 卵的保存 将七星瓢虫羽化后第 20~25 d 所产的不少于 50 粒卵的新鲜卵块置于含有保湿滤纸培养皿后依次进行 20℃ 2 h→15℃ 2 h→10℃ 2 h 处理，然后按照 1.3.1 卵的保存步骤执行。

1.4.2 蛹的保存 将七星瓢虫幼虫化蛹后第 2~4 d 的蛹放入含有保湿滤纸培养皿后依次进行 20℃ 2 h→15℃ 2 h→10℃ 2 h 处理，然后按照 1.3.2 蛹的保存步骤执行

1.4.3 成虫的保存 将羽化后第 5~7 d 七星瓢虫置于含有保湿滤纸培养皿后依次进行 20℃ 2 h→15℃ 2 h→10℃ 2 h 处理，然后按照 1.3.3 成虫的保存步骤执行。孵化率 (%) = 孵化的幼虫数/卵粒数 × 100；羽化率 (%) = 羽化成虫数/保存的蛹数 × 100；畸形率 (%) = 羽化畸形成虫数/羽化成虫数 × 100；存活率 (%) = 保存后存活成虫数/保存成虫数 × 100。

1.5 数据统计与分析

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，方差分析采用 Duncan 氏新复极差法，多重比较采用 SNK 法 (Student-Newman-Keuls)。

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

在不同温度-时间组合下的最大孵化率出现在 10℃-3 d 为 77.25%，且与 12℃-3 d (67.43%) 及对照 25℃-0 d (72.56%) 无显著差异 ($P>0.05$)，但显著高于 3 d 其余温度 ($P<0.05$)。5 d 时 8~12℃ 孵化率均大于 50% 且显著高于 4℃ 的 17.89% 及 6℃ 的 18.83% ($P<0.05$)。4℃ 和 6℃ 下保存 10 d 以上、8℃ 下保存 15 d 以上、10℃ 保存 20 d 以上和 12℃ 保存 25 d 以上，其相应卵孵化率均为 0。因此，8、10 和 12℃ 下保存 3~5 d 时，可保证卵孵化率在 50% 以上；10~12℃，保存 10 d 时，孵化率在 50% 以上，而常温下卵的正常孵化时间为 3 d (表 1)。

表 1 七星瓢虫卵在不同低温和时间组合下的孵化率

Table 1 The hatching rate of *C. septempunctata* eggs at different low temperatures and times

温度 Temperature (°C)	对照 Control	天数 Days (d)						
		3	5	10	15	20	30	50
4	-	44.46±0.05 cd	17.89±0.02 ef	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f
6	-	35.48±0.06 de	18.83±0.05 ef	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f
8	-	50.62±0.03 bcd	52.00±0.09 bcd	17.22±0.06 ef	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f
10	-	77.25±0.10 a	61.64±0.09 abc	53.10±0.11 bcd	14.67±0.05 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f
12	-	67.43±0.12 ab	63.5±0.07 abc	56.26±0.11 bcd	12.98±0.04 f	8.89±0.06 f	2.34±0.01 f	0.00 f
25	72.56±0.02 ab	-	-	-	-	-	-	-

注：表中数据为平均值±标准误，不同小写字母表示全部数据差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Mean±SE, different lowercases indicate significant difference in all ($P<0.05$, LSK).

卵经过变温处理后,在不同温度-时间组合下的最大孵化率出现在 8 °C-3 d(50.55%)、10 °C-3 d(66.65%) 及 12 °C-3 d(65.56%) 且与对照无显著差异 ($P>0.05$), 且 3 d 时各处理温度间亦无显著差异 ($P>0.05$)。在 4 °C~8 °C 时最长保存时间均为 5 d, 在 10 °C 时最长保存时间为 15 d, 在 12 °C 时最长保存时间为 30 d。8 °C、10 °C 和 12 °C 下保存 5 d, 其孵化率可保持在 50% 以上; 10 °C 和 12 °C 下当保存不超过 10 d 时, 其孵化率均可保持在 50% 以上 (表 2)。

表 2 变温处理后七星瓢虫卵在不同低温和时间组合下的孵化率

Table 2 The hatching rate of *C. septempunctata* eggs treated with variable temperatures at different low temperatures and times

温度 Temperature (°C)	对照 Control	天数 Days (d)						
		3	5	10	15	20	30	50
4	-	46.15±0.10 b	19.93±0.03 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c
6	-	43.96±0.08 b	12.23±0.06 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c
8	-	50.55±0.09 ab	53.46±0.16 ab	0.00 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c
10	-	66.65±0.10 ab	66.33±0.06 ab	55.09±0.15 ab	18.36±0.14 c	0.00 c	0.00 c	0.00 c
12	-	65.56±0.05 ab	60.57±0.05 ab	54.22±0.11 ab	22.09±0.02 c	13.71±0.01 c	8.58±0.04 c	0.00 c
25	73.93±0.01 a	-	-	-	-	-	-	-

注: 表中数据为平均值±标准误, 不同小写字母表示全部数据差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Mean±SE, different lowercases indicate significant difference in all ($P<0.05$, LSK).

2.2 不同低温贮藏条件对七星瓢虫蛹羽化率的影响

七星瓢虫蛹在 10 °C 下保存 3 d 时可完全羽化, 与对照无显著差异 ($P>0.05$), 故蛹的低温长期保存温度不能超过 8 °C。当保存时间为 50 d 时, 在 2 °C、4 °C、6 °C 和 8 °C 下其蛹羽化率均低于 20% 且无显著差异 ($P>0.05$); 当保存时间为 30 d 时, 各温度蛹羽化率均超过 40%; 当保存时间达到 20 d 时, 除 6 °C 外, 其余温度下均超过 50%; 当保存时间达到 15 d 时, 8 °C 下最高, 显著高于 2 °C 的 ($P<0.05$), 但与 4、6 °C 无显著差异 ($P>0.05$) (表 3)。

表 3 七星瓢虫蛹在不同低温和时间组合下的羽化率

Table 3 The emergence percentage of adults at different low temperatures and times

温度 Temperature (°C)	对照 Control	天数 Days (d)						
		3	5	10	15	20	30	50
2	-	85.95±0.05 abc	83.90±0.02 abcd	52.80±0.06 def	55.22±0.12 cdef	56.52±0.06 bedef	45.13±0.05 ef	9.72±0.02 g
4	-	85.42±0.15 abc	86.05±0.06 abc	86.95±0.05 abc	73.24±0.05 abcde	64.49±0.03 abcdef	55.98±0.05 cdef	8.75±0.04 g
6	-	91.46±0.03 a	82.75±0.06 abcd	78.64±0.06 abcd	69.86±0.08 abcdef	46.20±0.02 ef	40.99±0.04 f	13.99±0.01 g
8	-	88.20±0.04 ab	83.48±0.04 abcd	79.79±0.09 abcd	72.83±0.14 abcde	64.42±0.04 abcdef	48.53±0.04 ef	18.12±0.04 g
10	-	93.47±0.04 a	-	-	-	-	-	-
25	93.54±0.03 a	-	-	-	-	-	-	-

注: 表中数据为平均值±标准误, 不同小写字母表示全部数据差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Mean±SE, different lowercases indicate significant difference in all ($P<0.05$, LSK).

蛹经过低温预处理后, 其羽化率在 10 °C-3 d 时即可完全羽化, 其羽化率与对照无显著差异 ($P>0.05$), 故蛹在低温预处理后低温长期保存温度亦不能超过 8 °C。在保存时间达到 15 d 时, 8 °C 的显著高于 2 °C、4 °C 的 ($P<0.05$), 但与 6 °C 的差异不显著 ($P>0.05$); 在保存时间为 20 d 时, 羽化率在各温度下均能达到 50% 以上; 在保存时间为 30 d 时, 其羽化率在各温度下均低于 50%; 与未预处理的蛹相比, 在保存时间为 50 d 时, 蛹羽化率在各温度下均保持在 20% 左右, 在 2 °C 和 4 °C 的羽化率分别为 19.44% 和 18.26%, 明显高于未预处理的蛹在相应温度下的羽化率 9.72% 和 8.75% (表 4)。

表 4 变温处理后七星瓢虫蛹在不同低温和时间组合下的羽化率

Table 4 The emergence percentage of adults treated with variable temperatures at different low temperatures and times

温度 Temperature (°C)	对照 Control	天数 Days (d)						
		3	5	10	15	20	30	50
2	-	82.68±0.03 abcde	81.67±0.01 abcde	83.79±0.02 abcde	52.69±0.05 fgh	64.49±0.01 efg	42.03±0.03 h	17.22±0.02 i
4	-	91.47±0.06 abc	89.34±0.03 abc	89.21±0.03 abc	48.56±0.05 gh	52.62±0.02 fgh	36.65±0.03 h	18.26±0.01 i
6	-	82.85±0.03 abcde	83.75±0.04 abcde	74.18±0.01 bcde	78.52±0.04 abcde	70.12±0.07 cde	49.80±0.13 gh	20.44±0.01 i
8	-	83.90±0.02 abcde	81.81±0.04 abcde	80.84±0.06 abcde	87.02±0.04 abcd	67.58±0.06 def	44.02±0.09 h	19.44±0.02 i
10	-	97.85±0.01 a	-	-	-	-	-	-
25	92.57±0.05 ab	-	-	-	-	-	-	-

注：表中数据为平均值±标准误，不同小写字母表示全部数据差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Mean±SE, different lowercases indicate significant difference in all ($P<0.05$, LSK).

2.3 不同低温贮藏条件下七星瓢虫蛹羽化的畸形率

蛹在长期低温保存后，其部分蛹羽化后成虫存在一定的畸形现象，此类成虫无法正常繁衍下一代。当蛹未预处理保存 50 d，温度在 2 °C、4 °C、6 °C 和 8 °C 下畸形率达到了 100%，而其余保存天数下均未出现畸形。当蛹预处理后，仅在 2 °C 下保存 20、30 和 50 d 分别出现 100%、50% 和 100% 的畸形率，其余温度和保存时间组合下均无畸形成虫出现。

2.4 变温和恒温处理后蛹的羽化能力

恒温 and 变温预处理保存后，温度在 2 °C、4 °C、6 °C 和 8 °C 时蛹的保存时间均达到 50 d，且对照组在恒温 and 变温预处理间无显著差异 ($P>0.05$)，除 2 °C-5 d 变温预处理与对照无显著差异外 ($P>0.05$)，对照组均显著大于其他保存时间 ($P<0.05$)。恒温保存后平均羽化时间在 2 °C-20 d 组合下最长为 11.33 d，且显著大于其余各组合 ($P<0.05$)，在保存 50 d 时，除 4 °C 外，其余温度下的平均羽化时间与对照无显著差异 ($P>0.05$) (表 5)；变温预处理保存后平均羽化时间在 2 °C-30 d 及 2 °C-50 d 组合下最长，均为 9 d，且显著大于其余各组合 ($P<0.05$)，对照组平均羽化时间均短于各组合，但并不均有显著的统计学差异 (表 6)。

2.5 不同低温贮藏条件对七星瓢虫成虫存活率的影响

成虫在 25 °C 下保存 3~15 d 时存活率均在 80% 以上，且与 20 d 的 77.62% 无显著差异 ($P>0.05$)，当保存时间达到 30 d 时，存活率仍旧保持在 60.38% 且显著小于 3~20 d ($P<0.05$)，但保存 40 d 时，成虫全部死亡。在 2 °C、4 °C、6 °C、8 °C、10 °C 与 3、5、10、15、20、30、40 d 组合下，除 2 °C-40 d 存活率显著低于其余组合外 ($P<0.05$)，其他组合间均无显著差异且存活率最低保持在 83.32% 以上 ($P>0.05$)。但保存 60 d 时，成虫存活率均显著低于同一温度下的不同天数 ($P<0.05$) (表 7)。

表 5 七星瓢虫蛹在不同低温和时间组合下的平均羽化时间

Table 5 The mean eclosion time of pupae at different low temperatures and times

天数 Days (d)	对照 Control	温度 Temperature			
		2 °C	4 °C	6 °C	8 °C
3	4.00±0.00 e	7.33±0.33 c	6.00±0.00 cd	8.67±0.33 b	5.00±0.00 de
5	-	6.00±0.00 cd	4.67±0.33 de	5.00±0.00 de	5.00±0.00 de
10	-	6.00±0.00 cd	7.00±0.00 c	5.00±0.00 de	6.33±0.33 cd
15	-	6.00±0.58 cd	6.00±0.00 cd	6.00±0.00 cd	7.00±0.00 c
20	-	11.33±0.33 a	5.00±0.00 de	6.00±0.00 cd	5.00±0.00 de
30	-	5.33±0.33 de	6.00±0.00 cd	6.00±0.00 cd	4.67±0.33 de
50	-	4.00±0.58 e	6.33±1.20 cd	4.00±0.58 e	4.00±0.58 e

注：表中数据为平均值±标准误，不同小写字母表示全部数据差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Mean±SE, different lowercases indicate significant difference in all ($P<0.05$, LSK).

表 6 变温处理后七星瓢虫蛹在不同低温和时间组合下的平均羽化时间

Table 6 The mean eclosion time of *Coccinella septempunctata* pupae treated with variable temperatures at different low temperatures and times

天数 Days (d)	对照 Control	温度 Temperature			
		2 °C	4 °C	6 °C	8 °C
3	4.00±0.00 e	5.00±0.00 efg	6.00±0.00 bcdef	6.00±0.00 bcdef	6.00±0.00 bcdef
5	-	5.33±0.33 def	6.00±0.00 bcdef	4.67±0.33 fg	6.00±0.00 bcdef
10	-	7.00±0.58 bcd	6.00±0.00 bcdef	6.00±0.00 bcdef	5.00±0.00 efg
15	-	6.33±0.33 bcde	7.00±0.00 bcd	6.67±0.33 bcd	6.67±0.33 bcd
20	-	6.00±0.00 bcdef	7.33±0.88 bc	6.00±0.00 bcdef	6.00±0.00 bcdef
30	-	9.00±0.58 a	7.00±0.00 bcd	7.00±0.00 bcd	6.00±0.00 bcdef
50	-	9.00±0.33 a	6.00±0.00 bcdef	7.67±0.33 b	5.67±0.33 cdef

注：表中数据为平均值±标准误，不同小写字母表示全部数据差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Mean±SE, different lowercases indicate significant difference in all ($P<0.05$, LSK).

表 7 七星瓢虫成虫在不同低温和时间组合下的存活率

Table 7 The survival rate of *Coccinella septempunctata* adults at different low temperatures and times

温度 Temperature	天数 Days (d)							
	3	5	10	15	20	30	40	60
2 °C	98.74±0.01 ab	98.68±0.01 ab	98.04±0.01 ab	95.92±0.04 ab	94.57±0.05 ab	83.32±0.06 ab	75.50±0.06 b	33.98±0.09 d
4 °C	100.00±0.00 a	98.00±0.01 ab	97.40±0.02 ab	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	94.46±0.02 ab	91.11±0.09 ab	45.98±0.02 cd
6 °C	99.36±0.01 a	100.00±0.00 a	96.07±0.01 ab	99.32±0.01 a	97.93±0.01 ab	94.41±0.02 ab	97.78±0.02 ab	58.44±0.16 c
8 °C	100.00±0.00 a	98.05±0.01 ab	98.67±0.01 ab	97.36±0.01 ab	93.75±0.04 ab	92.07±0.03 ab	91.16±0.02 ab	60.46±0.03 c
10 °C	98.67±0.01 ab	98.08±0.02 ab	94.57±0.03 ab	94.56±0.05 ab	91.07±0.05 ab	90.32±0.04 ab	92.20±0.01 ab	40.69±0.10 d
25 °C	98.08±0.91 ab	83.53±0.04 ab	80.93±0.02 ab	92.30±0.03 ab	77.62±0.06 ab	60.38±0.05 c	0.00 e	0.00 e

注：表中数据为平均值±标准误，不同小写字母表示全部数据差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Mean±SE, different lowercases indicate significant difference in all ($P<0.05$, LSK).

成虫在 25 °C 下保存 3~15 d 时存活率均在 80% 以上，当保存时间达到 30 d 时，存活率仍旧保持在 60.38% 且显著的小于 3~20 d ($P<0.05$)，保存 40 d 时，成虫全部死亡。在 2 °C、4 °C、6 °C、8 °C、10 °C 与 3、5、10、15、20、30、40 d 组合下，组间均无显著差异且存活率最低保持在 85.96% 以上 ($P>0.05$)。但保存 60 d 时，成虫存活率均显著低于同一温度下的不同天数 ($P<0.05$)，且 10 °C-60 d 为 63.29%，显著的高于 60 d 其余温度 ($P<0.05$) (表 8)。

表 8 变温处理后七星瓢虫成虫在不同低温和时间组合下的存活率

Table 8 The survival rate of *Coccinella septempunctata* adults treated with variable temperatures at different low temperatures and times

温度 Temperature	天数 Days (d)							
	3	5	10	15	20	30	40	60
2 °C	98.05±0.01 a	96.01±0.01 a	99.32±0.01 a	97.22±0.03 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	96.45±0.01 a	43.52±0.08 ef
4 °C	99.33±0.01 a	98.04±0.02 a	99.36±0.01 a	91.23±0.01 ab	97.74±0.01 a	100.00±0.00 a	97.04±0.01 a	48.41±0.04 ef
6 °C	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	93.45±0.24 a	97.26±0.02 a	97.90±0.01 a	86.73±0.01 abc	51.30±0.04 e
8 °C	98.03±0.01 a	100.00±0.00 a	98.69±0.13 a	96.66±0.01 a	100.00±0.00 a	85.96±0.04 abc	98.45±0.01 a	38.92±0.05 f
10 °C	100.00±0.00 a	98.03±0.01 a	95.36±0.01 a	95.24±0.05 a	95.24±0.05 a	88.49±0.03 ab	93.68±0.04 a	63.29±0.07 d
25 °C	94.12±0.00 a	84.36±0.04 abc	80.00±0.00 bc	90.90±0.04 ab	75.95±0.06 c	60.38±0.05 d	0.00 g	0.00 g

注：表中数据为平均值±标准误，不同小写字母表示全部数据差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Mean±SE, different lowercases indicate significant difference in all ($P<0.05$, LSK).

3 讨论

中国早在公元前304年便开展利用黄猄蚁 *Oecophylla smaragdina* 人工生物防治柑橘园害虫^[17], 20世纪以来, 中国从国外陆续引进赤眼蜂、澳洲瓢虫 *Rodolia cardinalis* 及丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 等天敌昆虫控制农业害虫并取得显著效果^[18,19]。国外目前已有150多种天敌被商业化开发用于农业害虫生物防治^[20]。我国对赤眼蜂、平腹小蜂 *Anastatus* sp.、草蛉、七星瓢虫等已可完全进行人工大量饲养^[21], 其中赤眼蜂已被成功的商业化开发用于玉米螟 *Pyrausta nubilalis* 的防治^[22]。同时, 针对天敌昆虫商业化应用中遇到的产品货架期短、多样性低等问题, 研究人员已通过低温保存的方式开展了相关研究^[16]。十一星瓢虫 *Coccinella undecimpunctata* 卵在6℃下保存7d时孵化率为65%, 但超过15d时孵化率为零^[23]。滕树兵等^[24]发现, 异色瓢虫卵的最适保存温度是10℃, 且保存15d时孵化率平均在60%以上, 肖达等^[15]研究表明, 七星瓢虫卵保存在11℃-10d条件下孵化为50.67%, 并明显高于5℃、7℃及9℃。本研究表明卵在常温下3d均可孵化, 孵化率为73.93%, 保存时间为10d时, 卵在10及12℃时孵化率均在50%以上, 以上结果进一步说明七星瓢虫卵的最佳保存条件为10℃~12℃-10d。赤眼蜂蛹在4℃下保存超过50d时羽化率显著降低^[25], 十一星瓢虫蛹在6℃下保存7~30d后, 其羽化率由85%下降至25%^[23]。本研究表明, 七星瓢虫蛹在10℃-3d时均可完全羽化, 故蛹长期低温保存不应超过8℃, 在15~20d以内时, 羽化率大部分保持在60%以上, 该结果与Jethva等^[26]发现七星瓢虫蛹在6~7.5℃的冰箱中保存时间不能超过15d相似。但当保存时间达到50d, 羽化的成虫出现明显畸形现象。Berkvens等^[27]对欧洲异色瓢虫耐低温能力测定发现, 野外种群在0℃~5℃的致死时间为126~168d, 而实验室种群为84~154d, Jethva等^[26]发现七星瓢虫成虫在6℃~7.5℃的冰箱中保存时间可达150d, 且仍可正常繁殖, 本研究表明七星瓢虫成虫在25℃下最长耐饥饿时间不超过40d, 在2℃~10℃保存60d时最低存活率为33.98%, 且在变温下10℃-60d时存活率能达到63.29%, 说明在保证存活率的前提下七星瓢虫和异色瓢虫成虫均能长时间保存, 但存在的差异一方面可能于2种瓢虫发育起点温度不同有关, 另一方面保存介质与设备也可能产生影响。

综合上述, 低温保存已成为天敌昆虫商业化进程中的重要辅助手段, 对以七星瓢虫等为主的天敌昆虫商品的多样性及货架期的延长起到了决定性作用。七星瓢虫卵、蛹及成虫均可在一定时间与低温组合下保存, 有利于根据害虫发生规律投放不同虫态产品从而形成稳定循环的防控闭环, 进而提高七星瓢虫应用价值, 促进其商品化进程。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 曾凡荣, 陈红印. 天敌昆虫饲养系统工程[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [3] Hodek I, Michaud J P. Why is *Coccinella septempunctata* so successful?(A point-of-view)[J]. European Journal of Entomology, 2013, 105(1): 1-12.
- [4] 侯茂林, 万方浩. 七星瓢虫成虫对烟蚜的捕食作用[J]. 应用昆虫学报, 2004, 41(4): 347-350.
- [5] 巫鹏翔, 欧阳浩永, 徐婧, 等. 七星瓢虫成虫对枸杞木虱的捕食作用[J]. 应用生态学报, 2016, 27(11): 3712-3718.
- [6] 孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 等. 七星瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 715-720.
- [7] Freier B, Triltsch H, Möwes M, et al. The potential of predators in natural control of aphids in wheat: Results of a ten-year field study in two German landscapes[J]. BioControl, 2007, 52(6): 775-788.
- [8] Deligeorgidis P N, Ipsilandis C G, Vaiopoulou M, et al. Predatory effect of *Coccinella septempunctata* on *Thrips tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*[J]. Journal of Applied Entomology, 2005, 129(5): 246-249.
- [9] 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.
- [10] Kostal V. Eco-physiological phases of insect diapause[J]. Journal of Insect Physiology, 2006, 52(2): 113-127.
- [11] 李玉艳, 张礼生, 陈红印, 等. 烟蚜茧蜂滞育诱导的温光周期反应[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(3): 718-726.
- [12] 李兴鹏, 宋丽文, 张宏浩, 等. 蠊蟀抗寒性对快速冷驯化的响应及其生理机制[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 791-797.
- [13] 赵静, 陈珍珠, 郑方强, 等. 冷驯化对异色瓢虫后代生长发育及适合度的影响[J]. 昆虫学报, 2012, 55(7): 810-815.
- [14] Rana J S. Response of *Coccinella septempunctata* and *Menochilus sexmaculatus* (Coleoptera: Coccinellidae) to their aphid prey, *Lipaphis erysimi*

- (Hemiptera: Aphididae) in rapeseed-mustard[J]. *European Journal of Entomology*, 2006, 103(1): 81-88.
- [15] 肖达, 杜晓艳, 陈旭, 等. 七星瓢虫卵的低温贮藏条件研究[J]. *环境昆虫学报*, 41(2): 288-294.
- [16] 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, 38(2): 191-197.
- [17] 包建中, 古德祥. 中国生物防治[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1998.
- [18] 张帆, 李姝, 肖达, 等. 中国设施蔬菜害虫天敌昆虫应用研究进展[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(17): 3463-3476.
- [19] 程洪坤, 田毓起, 魏炳传. 丽蚜小蜂商品化生产技术[J]. *生物防治通报*, 1989, 5(4): 178-181.
- [20] 徐学农, 王恩东. 国外昆虫天敌商品化现状及分析[J]. *中国生物防治学报*, 2007, 23(4): 373-382.
- [21] 朴永范, 林晔. 我国农作物病虫害生防工作新进展[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [22] 万方浩, 王韧, 叶正楚. 我国天敌昆虫产品产业化的前景分析[J]. *中国生物防治*, 1999, 15(3): 135-138.
- [23] Abdel-Salam A H, Abdel-Baky N F. Possible storage of *Coccinella undecimpunctata* (Col., Coccinellidae) under low temperature and its effect on some biological characteristics[J]. *Journal of Applied Entomology*, 2000, 124(3-4): 169-176.
- [24] 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): 72-75.
- [25] Tezze A A, Botto E N. Effect of cold storage on the quality of *Trichogramma nerudai* (Hymenoptera: Trichogrammatidae)[J]. *Biological Control*, 2004, 30(1): 11-16.
- [26] Jethva D M, Raghvani K L, Chandravadiya T K, *et al.* Effect of storage of predatory lady bird beetle, *Coccinella Septempunctata* (Linnaeus) under refrigerator condition[J]. *Journal of Agroecology and Natural Resource Management*, 2016, 3(1): 41-42.
- [27] Berkvens N, Bale J S, Berkvens D, *et al.* Cold tolerance of the harlequin ladybird *Harmonia axyridis* in Europe[J]. *Journal of Insect Physiology*, 2010, 56(4): 438-444.