异色瓢虫人工繁育中滞育成虫的冷藏条件

李 贝 李家旭 刘 文 王小平*

（华中农业大学植物科学技术学院，武汉 430070）

摘要：为延长异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 成虫的货架期，提高规模化生产的灵活度，于室内条件下测定不同温度和光周期对异色瓢虫滞育率的影响、不同温度对异色瓢虫滞育持续时间的影响及不同冷藏温度和冷藏时间对异色瓢虫生物学特性的影响。结果表明，在低温和短光照条件下能诱导异色瓢虫成虫滞育，当温度为20 ℃、光周期为10 L∶14 D时其雌、雄成虫的滞育率均高于95.0%。异色瓢虫的滞育持续时间受滞育诱导温度影响较小，在温度15 ℃、光周期10 L∶14 D和温度20 ℃、光周期10 L∶14 D两种条件下诱导的滞育异色瓢虫在温度25 ℃、光周期14 L∶10 D下均能快速解除滞育，在该条件下饲养10 d时其滞育解除率达90.0%以上。与8 ℃和12 ℃冷藏30 d相比，4 ℃冷藏30 d时异色瓢虫的存活率、总产卵量和捕食量均显著下降；当冷藏温度为12 ℃，冷藏时间显著影响异色瓢虫雌成虫的捕食量、寿命、产卵前期、总产卵量和卵孵化率，但对雄成虫的捕食量无显著影响。异色瓢虫冷藏期间主要以脂类和糖类作为能量物质，其冷藏期间存活率与相对总脂含量、总糖含量正相关。综上，在实际生产中异色瓢虫可在温度20 ℃、光周期10 L∶14 D条件下诱导滞育，在12 ℃冷藏90 d不会降低生物适合度。

关键词：异色瓢虫；人工繁育；冷藏温度；冷藏时间；滞育；诱导

Cold storage for artificial rearing of diapause adults of multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis*

Li Bei Li Jiaxu Liu Wen Wang Xiaoping*

（College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei Province, China）

Abstract: To extend the shelf life of adults and improve the flexibility of large-scale production, the effects of temperature, photoperiod, and cold storage parameters on diapause rate, intensity, and life-history traits of the multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis* were investigated. The results showed that diapause could be induced in beetles by low temperatures and short daylight, with a diapause rate exceeding 95.0% at 20 ℃ and 10 L∶14 D photoperiod. Temperature had minimal effect on diapause duration; however, diapausing *H. axyridis* at 15 ℃ and 20 ℃ under a 10 L∶14 D photoperiod could quickly terminate diapause when subjected to 25 ℃ and 14 L∶10 D, with more than 90.0% of *H. axyridis* terminating diapause within 10 d. Compared to 8 ℃ and 12 ℃, the survival rate, total egg production, and feeding amount of *H. axyridis* significantly decreased at 4 ℃ after 30 d of cold storage. Cold storage duration significantly affected life-history traits of female *H. axyridis* adults, including feeding amount, longevity, pre-reproductive period, total egg production, and hatching rate, while it had no significant effect on feeding amount of male adults. Lipids and sugars were identified as the main energy-consuming substances during cold storage of *H. axyridis*, and survival rate was positively correlated with total lipid and carbohydrate content during cold storage. In summary, in mass production, the

基金项目：湖北省自然科学基金面上项目(2019CFB475)

* 通信作者（Author for correspondence），E-mail：xpwang@mail.hzau.edu.cn

收稿日期：2023-02-15

optimal conditions for diapause induction in *H. axyridis* were found to be 20 ℃, 10 L∶14 D photoperiod. Furthermore, diapausing beetles stored at 12 ℃ for less than 90 d did not reduce their biological fitness.

Key words: *Harmonia axyridis*; artificial rearing; cold storage temperature; cold storage duration; diapause; induction

异色瓢虫*Harmonia axyridis*属鞘翅目瓢甲科，具有寿命长、繁殖力强和抗逆性强等优点，能够取食蚜虫、蓟马和叶蝉等害虫以及多种鳞翅目昆虫的幼虫和蛹，是生物防治领域重要的天敌昆虫（Koch，2003；Brown et al.，2011），而实现异色瓢虫的规模化生产是异色瓢虫田间应用的关键。除饲养条件和人工饲料等（陈洁等，2008；张屾等，2015；孙莉等，2019）影响异色瓢虫的生长发育外，低温冷藏可延长异色瓢虫的货架期，实现与害虫暴发期的同期释放。杨俊成和沈佐锐（2000）研究结果表明，在异色瓢虫卵、幼虫、蛹和成虫中，成虫最适合冷藏保存，但仍存在冷藏时间短等问题，因此迫切需要解决异色瓢虫难以长期储藏的有效方法。

在长期进化中，昆虫进化出一种生活史策略——滞育以抵抗外界不良环境（Danks，1987）。在滞育准备阶段昆虫会积累大量营养物质，并降低自身代谢速率，从而度过漫长的滞育期（王生等，2011；任小云等，2015），因此，利用天敌昆虫自身固有的滞育特性可以解决大规模生产中天敌昆虫难以长期储藏的难题，如日本平腹小蜂*Anastatus japonicus*老熟幼虫滞育后在10 ℃下可保存180 d（Zhao et al.，2021）；滞育的普通草岭*Chrysoperla carnea*成虫在5 ℃、光周期10 L∶14 D条件下可贮存200 d左右（Tauber et al.，1993），但长时间冷藏对天敌昆虫品质有负面影响，如降低天敌昆虫的繁殖力、捕食性能或寄生率，缩短天敌昆虫寿命，甚至延缓子代发育（沈祖乐等，2017；王瑞珍等，2021；汤永玉等，2022）。作为一种重要的天敌昆虫，异色瓢虫以成虫越冬，具有生殖滞育特性（Sakurai et al.，1992；Gao et al.，2019）。温度、光周期和食物影响异色瓢虫的滞育，如在低温、短光照或者食物缺乏时，异色瓢虫会被诱导进入滞育（Reznik & Vaghina，2013；张伟等，2014）。马春森等（1997）和Ruan et al.（2012）研究发现野外越冬异色瓢虫成虫在3~6 ℃下冷藏150 d，其存活率仍高于80%，且冷藏对异色瓢虫的繁殖力、捕食力及子代生长发育无负面影响。但从田间释放应用的角度来看，如何对人工繁育异色瓢虫进行长期储藏仍是限制该天敌昆虫规模化生产与应用的主要原因。已有研究发现室内人工繁育的初羽化成虫在诱导进入滞育后，于8~10 ℃条件下保存120 d后其存活率仍在50%~80%（滕树兵和徐志强，2005；刘震等，2009）；但这些研究多关注冷藏结束时异色瓢虫成虫的存活率，滞育冷藏是否会影响异色瓢虫的繁殖力和捕食力等生物学特性尚不明确。

为延长异色瓢虫成虫的货架期，提高规模化生产的灵活度，室内测定不同温度和光周期对异色瓢虫滞育诱导的影响以及冷藏温度和冷藏时间对滞育异色瓢虫存活率、寿命、总产卵量、产卵率、产量前期和产卵期等生物学特性和营养物质含量的影响，明确人工繁育异色瓢虫成虫的最适滞育诱导条件、冷藏温度及冷藏时间，以期为其应用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源和植物：2020年在湖北省武汉市华中农业大学校内玉米田（30°28′ N，114°21′ E）内采集异色瓢虫成虫200头左右，置于40 cm×40 cm×40 cm养虫笼内繁殖，养虫笼中放置数盆接有豌豆蚜*Acyrthosiphon pisum* 3~4龄若蚜的蚕豆苗供其取食；成虫产卵后，收集蚕豆苗叶片上的卵块，待卵块孵化后将其转移至另一个养虫笼中，直到成虫羽化；繁殖数代后待室内种群稳定后取成虫供试（Gao et al.，2019）。豌豆蚜于2020年在湖北省武汉市华中农业大学校内蚕豆田（30°28′ N，114°21′ E）内采集，室内用蚕豆苗饲喂。供试昆虫均在温度（25±1）℃、相对湿度（60±5）%、光周期10 L∶14 D的养虫室内饲养。蚕豆品种为青海9号，网购种子，经发芽获得蚕豆苗。

试剂及仪器：总蛋白定量测试盒，南京建成生物工程研究所；其他试剂均为国产分析纯。HP250GS智能人工气候箱和DGH80电热恒温鼓风干燥箱，武汉瑞华仪器设备有限公司；MZ101体视显微镜，广州明美光电技术有限公司；xMark酶标仪，美国Bio-Rad公司；养虫盒，自制，高5.5 cm、直径11 cm的圆形塑料保鲜盒上部开口，用纱布封口，供试虫通气。

1.2 方法

1.2.1 滞育判别时间及滞育判别标准

目前国内外常将产卵前期的2倍时间作为成虫是否滞育的判别时间，前期研究发现异色瓢虫在

15、20和25 ℃下的产卵前期分别为24.4、15.4和7.1 d，因此，在15、20和25 ℃下异色瓢虫成虫分别饲养50、30和15 d后进行滞育判别（王伟等，2013）。通常将异色瓢虫卵巢发育分为5级，I级：卵巢小，无色透明，第1卵室未分化，有大量脂肪覆盖；II级：卵巢较小，卵巢管主体透明，卵室基部有卵黄沉积，脂肪较多，覆盖在卵巢上方；III级：多数卵巢管出现卵黄沉积，卵室分级较明显，第1个卵室内卵黄沉积较多，第2个卵室内有少量沉积，有少量脂肪覆盖；IV级：卵巢较膨大，较少脂肪附着在卵巢下方，卵室分级明显，第1、2个卵室内有大量卵黄沉积，卵黄颜色较浅，卵巢管中无成熟卵粒；V级：卵巢膨大整体亮黄色，脂肪很少，第1、2个卵室内卵黄沉积丰满，卵黄颜色较深，在卵巢管基部可见黄色的成熟卵粒。当异色瓢虫雌成虫卵巢发育等级为I、II级时，将其判定为滞育，当异色瓢虫雌成虫卵巢发育等级为III、IV和V级时，将其判定为生殖（张伟等，2014）；当异色瓢虫雄成虫的输精管、射精管和附腺管壁纤细且呈淡透明状时，将其判定为滞育，当异色瓢虫雄成虫的输精管、射精管和附腺管壁较粗且呈乳白色至淡黄色时，将其判定为生殖（Gao et al.，2019）。

1.2.2 *温度和光周期对异色瓢虫滞育诱导的影响*

为明确温度和光周期对异色瓢虫滞育诱导的影响，共设置9种温度和光周期组合的滞育诱导条件，温度分别为15、20和25 ℃，光周期分别为10 L∶14 D、12 L∶12 D和14 L∶10 D。收集24 h内羽化的异色瓢虫成虫至养虫盒，每盒10~15头试虫，将其分别置于9种滞育诱导条件的人工气候箱内，每日08: 00—12: 00更换足量的豌豆蚜，于15、20和25 ℃分别饲养50、30和15 d，于显微镜下解剖其生殖系统，按照1.2.1标准进行滞育判断，计算各处理的滞育率。每个处理重复3次，每个重复雌、雄成虫各10头。

1.2.3 *滞育诱导温度对异色瓢虫滞育持续时间的影响*

为明确滞育诱导温度对异色瓢虫滞育持续时间的影响，收集24 h内羽化的异色瓢虫成虫至养虫盒，将其于温度15 ℃、光周期10 L∶14 D和温度20 ℃、光周期10 L∶14 D两种条件的人工气候箱内诱导滞育，每日08: 00—12: 00更换足量的豌豆蚜，异色瓢虫滞育诱导时间和滞育判断标准同1.2.2，将诱导得到的滞育个体均在温度25 ℃、光周期14 L∶10 D的人工培养箱内培养，分别于培养第10、20和30天解剖其生殖系统，观察生殖系统的发育状况。若异色瓢虫生殖系统开始发育，则确定异色瓢虫已解除滞育，滞育判断标准同1.2.1，计算各处理异色瓢虫的滞育解除率。每个处理重复3次，每个重复雌、雄成虫各10头。

1.2.4 *冷藏温度对滞育异色瓢虫生物学特性的影响*

冷藏温度对滞育异色瓢虫存活率的影响：前期研究发现温度20 ℃、光周期10 L∶14 D条件下异色瓢虫雌、雄成虫的滞育率分别为100.0%和96.7%，因此为明确冷藏温度对滞育异色瓢虫存活率的影响，将24 h内羽化的异色瓢虫成虫置于温度20 ℃、光周期10 L∶14 D的人工气候箱中诱导30 d，得到滞育的异色瓢虫个体。将滞育个体转至放有纸片的养虫盒中，养虫盒中提前放入一块含10%蜂蜜水的棉球，将其分别置于4、8和12 ℃的恒温冰箱中全黑暗冷藏30 d，检查试虫的死亡情况，观察1 h内异色瓢虫是否有活动现象，将反复触碰无反应的虫体判定为死亡个体，计算存活率。每个处理重复3次，每个重复雌、雄成虫各20头。

冷藏温度对滞育异色瓢虫发育和生殖的影响：为防止急剧升温对异色瓢虫存活产生影响，将上述各处理存活的异色瓢虫先转移至温度15 ℃、全黑暗条件下处理24 h（Ruan et al.，2012），之后再转移至温度25 ℃、光周期14 L∶10 D的人工气候箱中饲养，每日08: 00—12: 00观察异色瓢虫的发育情况，记录每头雌成虫的产卵前期。开始产卵后，每日08: 00—12: 00观察每头雌成虫的日产卵量，并记录总产卵量和产卵期；检查异色瓢虫的存活情况，记录每头试虫的存活天数，直至所有试虫全部死亡。每个处理重复3次，每个重复雌、雄成虫各5头。

冷藏温度对滞育异色瓢虫捕食量的影响：测定转移第10天时各处理异色瓢虫的捕食量。用小毛笔挑取50头大小基本一致的豌豆蚜4龄若蚜置于培养皿中，每个培养皿均接入1头转移至温度25 ℃、光周期14 L∶10 D的人工气候箱中培养第10天的异色瓢虫，以未接入异色瓢虫的培养皿为对照，24 h后统计每个培养皿中存活的蚜虫数量，计算异色瓢虫的日捕食量。每个处理重复15次，每个重复雌、雄成虫各1头。

冷藏温度对滞育异色瓢虫营养物质含量的影响：收集存活率测定中各处理冷藏30 d后的存活试虫，测定相对总脂含量、总糖含量和总蛋白含量。采用减重法测定相对总脂含量（Folch et al.，1957），取玻璃称量瓶洗净后置于80 ℃电热恒温鼓风干燥箱中烘至恒重并称重，将单头试虫放入称量瓶中称重，随后转移至80 ℃干燥箱中烘至恒重后称重；每个称量瓶中加入3 mL氯仿甲醇混合液（氯仿与甲醇体积

比为2∶1)，在通风橱内浸取脂质24 h，移除称量瓶中液相有机溶液，置于通风橱中风干，置于80 ℃干燥箱中烘至恒重并称重，利用烘干后的质量差计算异色瓢虫相对总脂含量，每个处理重复15次，每个重复1头试虫。总糖含量采用硫酸蒽酮法测定(Dubois et al.，1956)，取1头待测试虫，称重，质量与体积按照1∶9加入磷酸缓冲液，置于全自动样品快速研磨仪研磨，离心后取上清液，并将上清液稀释20倍；取400 μL，加入160 μL 10%三氯乙酸溶液，室温静置5 min后于4 ℃、5 000 r/min下离心5 min；取250 μL上清液置于预冷的10 mL玻璃具塞试管中，加入1 000 μL 0.2%硫酸蒽酮试剂；沸水浴显色10 min，冰水冷却20 min，吸取150 μL反应液在酶标仪测定吸光度$A_{628\,nm}$，以葡萄糖建立标准曲线，计算异色瓢虫的总糖含量，每个处理重复3次，每个重复3头试虫。采用BCA法参照总蛋白定量试剂盒说明书测定总蛋白含量，每个处理重复3次，每个重复3头试虫。

1.2.5　冷藏时间对滞育异色瓢虫生物学特性的影响

冷藏时间对滞育异色瓢虫存活率的影响：将24 h内羽化的成虫置于温度20 ℃、光周期10 L∶14 D的人工气候箱内诱导30 d，得到滞育的异色瓢虫个体。将滞育个体转至放有纸片的养虫盒中，养虫盒中提前放入一块含10%蜂蜜水的棉球，将其分别置于12 ℃恒温冰箱中全黑暗冷藏0、15、30、45、60、90和120 d，检查试虫的死亡情况，观察1 h内异色瓢虫是否有活动现象，将反复触碰无反应的虫体判定为死亡个体，计算存活率。每个处理重复5次，每个重复雌、雄成虫各20头。

冷藏时间对滞育异色瓢虫发育和生殖的影响：将上述各处理存活的异色瓢虫转移至温度15 ℃、全黑暗条件下处理24 h，随即转移至温度25 ℃、光周期14 L∶10 D条件下饲养，每天用新鲜豌豆蚜饲喂，观察各处理异色瓢虫的产卵前期、单雌总产卵量、寿命和捕食量，方法同1.2.2，并记录。此外，收集上述各处理存活异色瓢虫产卵期第10天所产卵块50粒，置于培养皿中孵化，从第1粒卵孵化开始，统计5 d内孵化的卵数，计算子代卵孵化率。每个处理重复3次。

冷藏时间对滞育异色瓢虫营养物质含量的影响：取上述各处理的存活试虫，测定其相对总脂含量、总糖含量和总蛋白含量，方法同1.2.4。

对不同冷藏时间下异色瓢虫的存活率、产卵期、单雌总产卵量与异色瓢虫体内相对总脂含量、总糖含量、总蛋白含量进行Pearson相关分析。

1.3　数据分析

采用SPSS 21.0软件进行统计分析，滞育解除率应用独立样本*t*检验法进行差异显著性检验，其他均应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2　结果与分析

2.1　温度和光周期对异色瓢虫滞育的影响

温度和光周期共同诱导异色瓢虫滞育。当温度为15 ℃时，光周期10 L∶14 D和12 L∶12 D均能诱导异色瓢虫雌成虫滞育，滞育率均为100.0%，显著高于光周期14 L∶10 D的滞育率($P<0.05$)；当温度为20 ℃时，光周期10 L∶14 D和12 L∶12 D均能诱导异色瓢虫雌成虫滞育，滞育率分别为100.0%和90.0%，显著高于光周期14 L∶10 D的滞育率($P<0.05$)；当温度为25 ℃时，3个光周期下的异色瓢虫雌成虫均不滞育(表1)。当温度为15 ℃时，光周期10 L∶14 D和12 L∶12 D均能诱导异色瓢虫雄成虫滞育，滞育率分别为93.3%和90.0%，显著高于光周期14 L∶10 D的滞育率($P<0.05$)；当温度为20 ℃时，光周期10 L∶14 D和12 L∶12 D均能诱导异色瓢虫雄成虫滞育，滞育率分别为96.7%和93.3%，显著高于光周期14 L∶10 D的滞育率($P<0.05$)；当温度为25 ℃时，光周期14 L∶10 D下异色瓢虫雄成虫不滞育，其他2个光周期下异色瓢虫雌成虫的滞育率也较低，分别为6.7%和10.0%(表1)。

2.2　滞育诱导温度对异色瓢虫滞育持续时间的影响

当温度25 ℃、光周期14 L∶10 D条件下饲养10 d时，均能使温度15 ℃、光周期10 L∶14 D和温度20 ℃、光周期10 L∶14 D条件下滞育的异色瓢虫雌、雄成虫解除滞育，滞育解除率分别为100.0%、100.0%和93.3%、96.7%；饲养20 d时，异色瓢虫雌、雄成虫的滞育解除率均为100.0%(表2)，表明滞育诱导温度对异色瓢虫滞育持续时间影响较小。

2.3　冷藏温度对滞育异色瓢虫生物学特性的影响

2.3.1　对滞育异色瓢虫存活率和繁殖力的影响

随着冷藏温度的降低，滞育异色瓢虫成虫的存活率均下降。4、8和12 ℃冷藏30 d时，雄成虫的存活率分别为56.7%、81.7%和98.3%(图1-A)，雌成虫的存活率分别为56.7%、93.3%和98.3%(图1-B)，且4 ℃下雄、雌成虫的存活率均显著低于其他2个温度($P<0.05$)；4、8和12 ℃冷藏30 d时，滞育异色瓢虫的产卵前期无显著差异(图1-C)，但4 ℃冷藏30 d，滞育异色瓢虫的单雌总产卵量显著低于10 ℃冷藏30 d的($P<0.05$)，但与8 ℃的差异不显著(图1-D)。

表1 不同温度和光周期下异色瓢虫的滞育率

Table 1 Diapause rate of *Harmonia axyridis* under different temperatures and photoperiods %

性别Sex	诱导温度Induction temperature/℃	光周期Photoperiod		
		10 L∶14 D	12 L∶12 D	14 L∶10 D
雌成虫 Female adult	15	100.0±0.0 Aa	100.0±0.0 Aa	10.0±10.0 Ba
	20	100.0±0.0 Aa	90.0±0.0 Ab	0.0±0.0 Bb
	25	0.0±0.0 Ab	0.0±0.0 Ac	0.0±0.0 Ab
雄成虫 Male adult	15	93.3±5.8 Aa	90.0±10.0 Aa	13.3±5.8 Ba
	20	96.7±5.8 Aa	93.3±5.8 Aa	0.0±0.0 Bb
	25	6.7±5.8 Ab	10.0±10.0 Ab	0.0±0.0 Bb

表中数据为平均数±标准差。同行不同大写字母、同列不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著（$P<0.05$）。Data in the table are mean±SD. Different uppercase letters in the same row or different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

表2 在温度25 ℃、光周期14 L∶10 D下不同滞育持续时间的异色瓢虫滞育解除率

Table 2 Diapause termination rate of *Harmonia axyridis* under different diapause durations at 25 ℃ and 14 L∶10 D photoperiod %

滞育诱导条件 Diapause induction condition	10 d		20 d		30 d	
	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult
温度15 ℃、光周期10 L∶14 D Temperature 15 ℃, photoperiod 10 L∶14 D	100.0±0.0 a	93.3±5.8 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a
温度20 ℃、光周期10 L∶14 D Temperature 20 ℃, photoperiod 10 L∶14 D	100.0±0.0 a	96.7±5.8 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a

表中数据为平均数±标准差。同列不同小写字母表示经独立样本*t*检验法检验差异显著（$P<0.05$）。Data are mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by independent-sample *t* test ($P<0.05$).

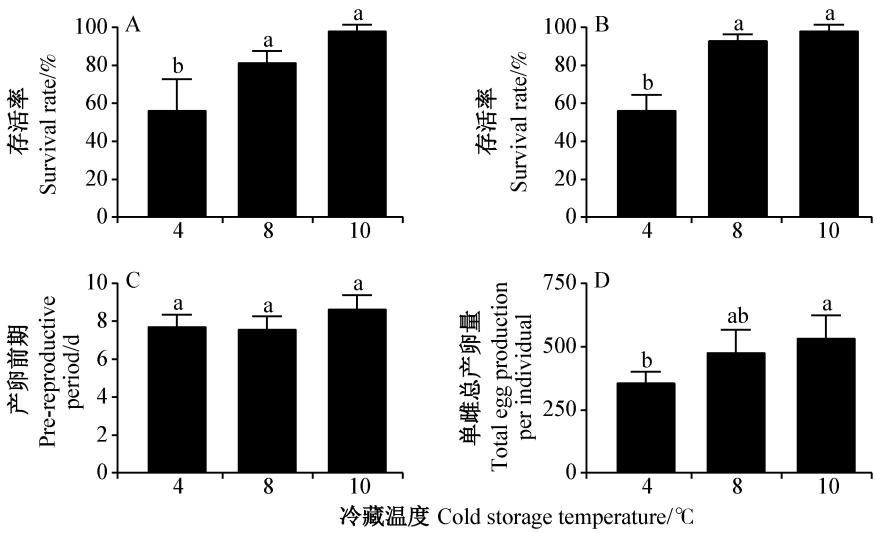

图1 冷藏温度对滞育异色瓢虫雄、雌成虫存活率（A~B）、产卵前期（C）和单雌总产卵量（D）的影响

Fig. 1 Effects of cold storage temperature on the survival rate of male and female adults (A−B), pre-reproduction period (C), total egg production per individual (D) of *Harmonia axyridis*

图中数据为平均数±标准差。不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著（$P<0.05$）。Data are mean±SD. Different lowercase letters indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

2.3.2 对滞育异色瓢虫寿命和日捕食量的影响

4 ℃冷藏30 d时，滞育异色瓢虫雌成虫的寿命和日捕食量均显著低于12 ℃的（$P<0.05$），而与8 ℃的差异不显著（表3），3个温度冷藏30 d时，滞育异色瓢虫雄成虫的捕食量之间和寿命之间均无显著差异（表3）。

表3 冷藏温度对滞育异色瓢虫成虫的寿命、捕食量和营养物质含量的影响

Table 3 Effects of cold storage temperature on longevity, feeding amount and nutrient content of adult *Harmonia axyridis*

生物学特征 Biological characteristic	性别 Sex	4 ℃	8 ℃	12 ℃
寿命 Longevity/d	雌 Female	42.1±4.6 b	49.7±5.7 ab	55.9±7.7 a
	雄 Male	46.3±7.0 a	55.4±8.7 a	44.5±9.9 a
日捕食量 Feeding amount per day	雌 Female	14.2±2.2 b	15.8±3.1 ab	16.9±3.7 a
	雄 Male	11.4±3.6 a	12.3±2.9 a	12.5±2.8 a
相对总脂含量 Total lipid content/%	雌 Female	21.0±7.6 b	20.4±7.8 b	42.0±6.5 a
	雄 Male	24.5±5.2 b	29.7±7.0 b	40.8±12.0 a
总糖含量 Carbohydrate content/(μg/mg)	雌 Female	32.9±9.9 a	30.4±7.1 a	21.8±1.7 a
	雄 Male	23.4±6.6 a	28.8±1.3 a	8.9±3.7 b
总蛋白含量 Total protein content/(μg/mg)	雌 Female	81.3±7.1 a	73.7±9.6 a	74.4±6.5 a
	雄 Male	77.3±10.7 a	66.0±6.6 a	80.2±3.8 a

表中数据为平均数±标准差。同行不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著(P<0.05)。Data are mean±SD. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference by Duncan's new multiple range test (P<0.05).

2.3.3 对滞育异色瓢虫营养物质含量的影响

4 ℃和8 ℃冷藏30 d时，滞育异色瓢虫雄成虫的总糖含量显著高于12 ℃冷藏30 d的(P<0.05)，而相对总脂含量却显著低于12 ℃冷藏30 d的(P<0.05)；不同冷藏温度下滞育异色瓢虫雄成虫的总蛋白含量之间差异不显著(表3)。4 ℃和8 ℃冷藏30 d时，滞育异色瓢虫雌成虫的相对总脂含量显著低于12 ℃冷藏30 d的(P<0.05)；在不同温度下滞育异色瓢虫雌成虫的总糖含量之间和总蛋白含量之间差异不显著(表3)，说明不同冷藏温度下异色瓢虫的营养物质消耗方式存在差异。

2.4 冷藏时间对滞育异色瓢虫生物学特性的影响

2.4.1 对滞育异色瓢虫发育和生殖的影响

当冷藏温度为12 ℃，随着冷藏时间延长，异色瓢虫雌、雄成虫的存活率逐渐下降(表4)。当冷藏30 d时，异色瓢虫雌、雄成虫的存活率仍高于90.0%，与冷藏0 d和15 d的存活率无显著差异，但显著高于冷藏60、90和120 d的存活率(P<0.05)；当冷藏90 d时，异色瓢虫雌、雄成虫的存活率分别为84.0%和64.0%，显著高于冷藏120 d的存活率(P<0.05)，但显著低于冷藏0、15、30和45 d的存活率(P<0.05)；当冷藏120 d时，异色瓢虫雌、雄成虫的存活率显著最低(P<0.05)，分别为50.0%和35.0%(表4)。

当冷藏温度为12 ℃，冷藏时间显著影响异色瓢虫雌成虫的日捕食量、寿命、产率率、产卵前期、产卵期、单雌总产卵量和卵孵化率及雄成虫寿命(P<0.05)，但对异色瓢虫雄成虫的日捕食量无显著影响(表4)。当冷藏温度为12 ℃，随着冷藏时间延长，异色瓢虫的产卵率逐渐下降，冷藏120 d时异色瓢虫的产卵率为83.3%，显著低于冷藏0、15、30和45 d的(P<0.05)；产卵前期也随着冷藏时间的延长逐渐缩短，冷藏15 d时产卵前期最长，为9.3 d，冷藏120 d时产卵前期最短，为6.4 d，显著低于其他处理(P<0.05)；随着冷藏时间延长，除冷藏90 d与冷藏0 d的产卵期无显著差异外，其他冷藏时间的产卵期均较冷藏0 d的显著缩短(P<0.05)；随着冷藏时间的延长，除冷藏120 d时单雌总产卵量、卵孵化率和雌成虫寿命显著下降外(P<0.05)，其他处理的单雌总产卵量、卵孵化率和雌成虫寿命之间无显著差异；随着冷藏时间的延长，雄成虫寿命均较冷藏0 d的显著降低(P<0.05，表4)。综上，在不影响异色瓢虫存活率及冷藏后繁殖力、捕食力和寿命前提下，实际生产中异色瓢虫在12 ℃的冷藏期不宜超过90 d。

2.4.2 对滞育异色瓢虫营养物质含量的影响

当冷藏温度为12 ℃时，随着冷藏时间延长，异色瓢虫雌、雄成虫体内相对总脂含量和总糖含量均显著下降(P<0.05)，冷藏120 d时，异色瓢虫雌、雄成虫体内的相对总脂含量较冷藏开始时显著下降了50%左右(P<0.05，图2-A和图2-D)，雌、雄成虫体内的总糖含量几乎消耗殆尽(图2-B和图2-E)。当冷藏温度为12 ℃时，随着冷藏时间的延长，异色瓢虫体内的总蛋白含量呈先下降后上升的趋势，但不同冷藏时间之间无显著差异(图2-C和图2-F)。

2.5 异色瓢虫发育和生殖与营养物质的相关性

当冷藏温度为12 ℃时，冷藏期间异色瓢虫雌、雄成虫的存活率均与相对总脂含量(雌成虫：r=0.875，P=0.010；雄成虫：r=0.897，P=0.006)、总糖含量(雌成虫：r=0.902，P=0.005；雄成虫：r=0.852，P=0.015)呈正相关，而与总蛋白含量无相关性。单雌

总产卵量、寿命与相对总脂含量、总糖含量和总蛋白含量之间均无显著相关性，表明异色瓢虫冷藏期间主要以脂类和糖类作为能量物质。

表4 不同冷藏时间对滞育异色瓢虫生长发育的影响

Table 4 Effects of different cold storage durations on development and reproduction of *Harmonia axyridis*

参数 Parameter		0 d	15 d	30 d	45 d	60 d	90 d	120 d
存活率 Survival rate/%	雌 Female	100.0±0.0 a	99.0±2.2 a	94.0±5.5 ab	93.0±7.6 ab	89.0±8.2 bc	84.0±6.5 c	50.0±9.4 d
	雄 Male	100.0±0.0 a	98.0±2.7 a	95.0±5.0 a	80.0±3.5 b	70.0±17.3 bc	64.0±6.5 c	35.0±6.1 d
日捕食量 Feeding amount per day	雌 Female	16.0±3.4 a	15.7±4.7 a	16.0±3.6 a	15.2±2.1 a	14.8±2.8 ab	14.4±4.9 ab	12.2±3.0 b
	雄 Male	13.4±3.6 a	13.7±4.4 a	13.9±2.9 a	13.2±2.2 a	13.2±2.0 a	12.1±3.9 a	11.2±3.4 a
寿命 Longevity/d	雌 Female	58.0±12.4 a	48.8±8.6 ab	42.1±8.3 ab	50.1±5.8 ab	43.3±5.0 ab	51.3±15.5 ab	36.7±2.9 b
	雄 Male	93.4±3.6 a	67.3±4.1 b	62.4±5.0 b	70.8±18.2 b	67.9±6.3 b	68.7±15.0 b	62.7±6.2 b
产卵率 Oviposition rate/%		100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	93.3±11.5 ab	93.3±11.5 ab	83.3±14.4 b
产卵前期 Pre-reproductive period/d		7.7±0.6 b	9.3±0.5 a	8.4±0.7 ab	8.2±0.2 b	7.8±0.4 b	7.5±0.9 b	6.4±0.3 c
产卵期 Reproductive period/d		50.5±8.7 a	35.3±6.5 bc	33.9±6.6 c	33.3±2.9 c	34.9±8.4 bc	47.9±10.7 ab	25.3±5.5 c
单雌总产卵量 Total egg production per female		457.3±60.7 b	433.1±17.7 b	532.6±71.5 b	447.9±72.7 b	484.8±71.8 b	643.1±107.4 a	300.3±19.6 c
卵孵化率 Hatching rate of offspring/%		85.3±4.2 a	83.3±3.1 a	81.3±2.3 a	79.3±1.2 a	78.0±6.0 a	78.0±3.5 a	68.0±7.2 b

表中数据为平均数±标准差。同行不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著（$P<0.05$）。Data are mean±SD. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference used by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

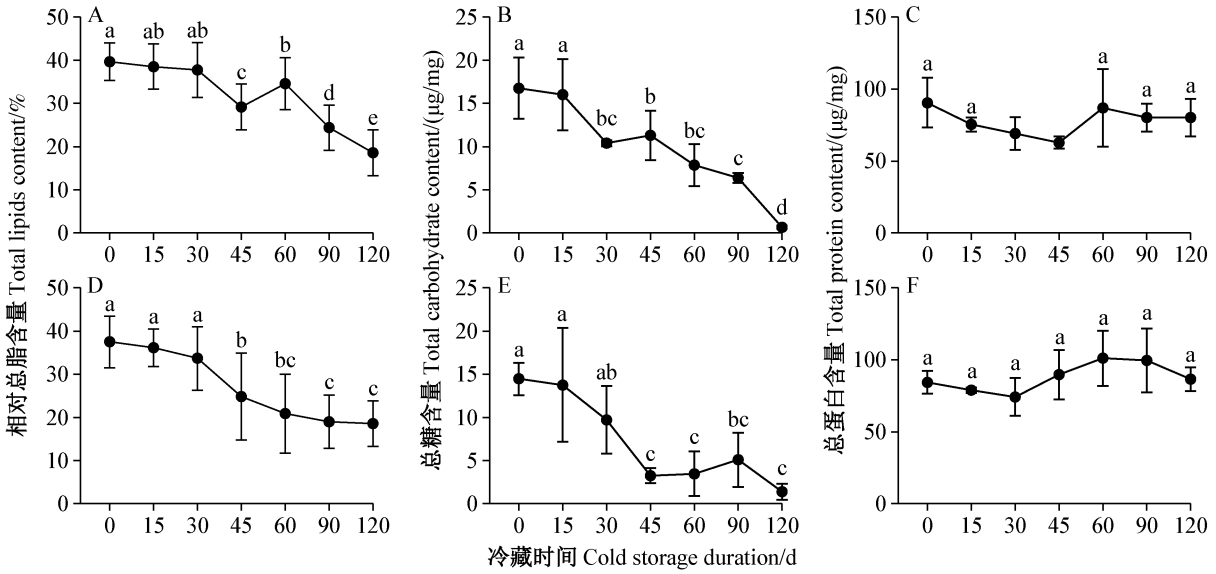

图2 冷藏时间对异色瓢虫雌成虫（A~C）和雄成虫（D~F）营养物质含量的影响

Fig. 2 Effects of cold storage duration on nutrient contents of female (A−C) and male (D−F) *Harmonia axyridis*

图中数据为平均数±标准差。不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著（$P<0.05$）。Data are mean±SD. Different lowercase letters indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

3 讨论

温度和光周期是诱导昆虫滞育的主要环境因素。一般而言，低温促进短光照诱导的滞育，如苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 的滞育主要由短光照诱导，当光周期12 L∶12 D时，在20、25和30 ℃条件下苹果

蠹蛾的滞育率分别为100.00%、81.21%和76.70%（刘月英等，2015）；七星瓢虫*Coccinella septempunctata*成虫在温度18 ℃、光周期10 L∶14 D条件下滞育率为95.0%，随着温度升高，滞育率逐渐下降，在30 ℃下所有个体全部生殖发育（王伟等，2013）；小黑瓢虫*Delphastus catalinae*成虫在温度11 ℃、光周期8 L∶16 D条件下滞育率为95.4%，当温度升高或光周期延长时，滞育率逐渐下降（孟佳和黄建，2021）。本研究结果显示，低温和短光照是诱导异色瓢虫滞育的关键因素，属于短日照滞育类型，在温度20 ℃、光周期10 L∶14 D下其滞育率高于95.0%，当温度为25 ℃或者光周期为14 L∶10 D时，其成虫滞育率低，与张伟等（2014）研究结果相一致。

温度和光周期也是昆虫滞育解除的主要环境因素，对于大部分冬滞育昆虫而言，高温和长日照是影响昆虫滞育解除的主要因素，而对夏滞育昆虫来说，低温和短日照是影响滞育解除的重要因子（Wang et al.，2021；Yang et al.，2023）。但某些昆虫的滞育解除条件十分严格，如5种常室茧蜂属*Peristenus*茧蜂在滞育解除前需要经过2.5~3.5个月的低温处理才能解除滞育（Bilewicz-Pawińska & Varis，1990）；也有昆虫在滞育解除阶段对水有特殊要求，如玉米茎蛀褐夜蛾*Busseola fusca*幼虫必须与水接触才能顺利完成夏滞育解除（Okuda，1990）。本研究发现在温度15 ℃、光周期10 L∶14 D和温度20 ℃、光周期10 L∶14 D两种条件下诱导滞育的异色瓢虫成虫均能在温度25 ℃、光周期14 L∶10 D下快速解除滞育，更低的滞育诱导温度对其滞育持续时间无显著影响。小黑瓢虫滞育成虫在温度21 ℃、光周期14 L∶10 D下滞育持续时间为8.9 d，随着温度降低或者光照时间缩短，其滞育持续时间逐渐延长，在温度11 ℃、光周期8 L∶16 D下滞育持续时间延长至91.2 d（孟佳和黄建，2021），与本研究结果完全不同，可能是不同昆虫在滞育解除中对光周期和温度的敏感性不同。因此，在进行天敌昆虫滞育冷藏研究时，确定适宜的滞育解除条件对天敌昆虫滞育冷藏技术至关重要。

冷藏温度会影响冷藏后昆虫的生物学特性，大多数昆虫冷藏的适宜温度为0~15 ℃。如室内饲养的茶翅蝽*Halyomorpha halys*滞育个体在6 ℃和9 ℃冷藏的存活率显著高于3 ℃冷藏的存活率（Taylor et al.，2017）；日本刀角瓢虫*Serangium japonicum*成虫最适冷藏温度为16 ℃，在7 ℃冷藏10 d时，无个体存活，在10 ℃冷藏10 d时，其存活率、总产卵量受到显著影响，在13 ℃冷藏10 d时，其总产卵量受到显著影响（曹惠怡等，2023）。本研究结果显示，当冷藏温度为4 ℃时，滞育异色瓢虫的雌、雄成虫存活率、单雌总产卵量和雌成虫日捕食量显著低于8 ℃和12 ℃的，表明滞育异色瓢虫适合在较高温度下冷藏，这可以解释越冬期间异色瓢虫为什么会寻找山洞、墙壁缝隙等庇护所，并会聚集在一起越冬，这有利于异色瓢虫减少热量散失，体内保持较高的温度，进而降低越冬期间的死亡率。双尾新小绥螨*Neoseiulus bicaudus*最适冷藏温度为12 ℃，在此温度下可冷藏0~35 d（唐思琼等，2021）；进入滞育的管侧沟茧蜂*Microplitis tuberculifer*在0 ℃和5 ℃下至少保存240 d（路子云等，2014）。因此，在天敌昆虫低温冷藏研究中，应权衡低温下昆虫的低代谢速率和冷害影响来选择适应的冷藏温度。

冷藏时间也会影响冷藏后昆虫的生物学特性，一般随着冷藏时间延长，昆虫的存活率、繁殖力和捕食力逐渐下降（王瑞珍等，2021；汤永玉等，2022）。如在5 ℃冷藏240 d，管侧沟茧蜂滞育个体羽化率仍高于80%，随着冷藏时间的延长，羽化率逐渐下降，当冷藏时间达到320 d时，羽化率下降至30%（路子云等，2014）；伞裙追寄蝇*Exorista civilis*的羽化率也随着冷藏时间的延长而逐渐下降（韩海斌等，2018）。本研究结果表明，12 ℃冷藏90 d时异色瓢虫单雌总产卵量最高，日捕食量和寿命也较冷藏0、15、30、45和60 d未出现显著下降，而冷藏120 d时异色瓢虫寿命、单雌总产卵量、日捕食量和子代卵孵化率均显著下降，因此，滞育异色瓢虫成虫在12 ℃下的冷藏时间不宜超过90 d。但Ruan et al.（2012）报道在3~5 ℃冷藏150 d时越冬代异色瓢虫存活率仍高于85%，与本研究结果不同，推测其原因可能是Ruan et al.（2012）在野外进行滞育诱导试验，野外滞育诱导条件是多变化的，这可能使越冬代异色瓢虫具有更强的抗逆性；Ruan et al.（2012）研究所用试虫种群来自吉林省长春市，而本研究试虫种群来自湖北省武汉市，地理种群的差异也可能会影响试验结果；此外，本研究所用试虫已在室内繁殖数代，可能长时间的人工繁育导致种群退化，进而导致了异色瓢虫抗逆性下降。

在冷藏期间大多数天敌昆虫不食不动，在进行必要生命活动时主要依靠冷藏前虫体的能量储备，因此明确天敌昆虫在冷藏期间营养物质的消耗转化方式，对开展天敌昆虫低温冷藏技术是十分重要的（王瑞珍等，2021）。本研究结果显示在冷藏期间异色瓢虫脂类和糖类物质含量大幅下降，而蛋白质含

量无显著变化，与杜文梅等(2014)报道越冬代异色瓢虫在冷藏期间的营养物质含量变化相一致。本研究通过相关性分析也发现冷藏期间异色瓢虫的存活率与相对总脂含量、总糖含量呈正相关性，但相对总脂含量、总糖含量、总蛋白含量均与冷藏后总产卵量、寿命之间无相关性，推测可能是冷藏结束后异色瓢虫取食即通过补偿机制使冷藏期间消耗的营养物质恢复至正常发育水平。

本研究首次明确了冷藏温度和冷藏时间对人工繁育异色瓢虫存活率、繁殖力和捕食能力的影响，在实际生产中，可在20 ℃、光周期10 L∶14 D条件下诱导人工繁育异色瓢虫成虫进入滞育，滞育的异色瓢虫成虫在12 ℃保存90 d内不会对生物适合度产生显著影响。本研究只在实验室内对异色瓢虫冷藏后的繁殖力和捕食能力等进行测定，而冷藏后异色瓢虫在田间表现有待进一步研究。另外，本研究采用的滞育诱导条件都是恒定的，但昆虫在野外所感受的外界环境都是动态变化的，后续可采用动态的滞育诱导条件诱导异色瓢虫进入滞育，也可针对异色瓢虫冷藏前营养源及冷藏期间营养补充进行研究，通过提高异色瓢虫虫体内脂类和糖类物质的含量以延长异色瓢虫的冷藏时间。

参 考 文 献（References）

Bilewicz-Pawińska T, Varis AL. 1990. Response of parasitoids of the genus *Peristenus* Förster (Hymenoptera, Braconidae) to temperature changes during the diapause. Entomologica Fennica, 1(3): 189−190

Brown MW. 2011. Importance of early arrival of adult *Harmonia axyridis* for control of *Aphis spiraecola* on apple. BioControl, 56(1): 65−69

Cao HY, Luo XL, Wei XY, Liang JF, Xie YH, Wang XM. 2023. Effects of cold-storage temperature on the survival and growth and development of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae). Acta Entomologica Sinica, 66(2): 226−234 (in Chinese) [曹惠怡, 罗小龙, 韦雪媛, 梁建锋, 谢永辉, 王兴民. 2023. 冷藏温度对日本刀角瓢虫存活及生长发育的影响. 昆虫学报, 66(2): 226−234]

Chen J, Qin QJ, Sun WY, He YZ. 2008. Influence of temperature on experimental populations of *Harmonia axyridis* (Pallas). Journal of Plant Protection, 35(5): 405−409 (in Chinese) [陈洁, 秦秋菊, 孙文琰, 何运转. 2008. 温度对异色瓢虫实验种群的影响. 植物保护学报, 35(5): 405−409]

Danks HV. 1987. Insect dormancy: an ecological perspective. Ottawa: Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthropods)

DuBois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, 28(3): 350−356

Du WM, Zhang JJ, Sun GZ, Zang LS, Ruan CC. 2014. Effects of cold storage on physiological and biochemical indexes of overwintering *Harmonia axyridis* (Pall). Journal of Jilin Agricultural University, 36(5): 536−539 (in Chinese) [杜文梅, 张俊杰, 孙光芝, 臧连生, 阮长春. 2014. 低温冷藏对越冬代异色瓢虫生理生化指标的影响. 吉林农业大学学报, 36(5): 536−539]

Folch J, Lees M, Sloane Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. Journal of Biological Chemistry, 226(1): 497−509

Gao Q, Wei BX, Liu W, Wang JL, Zhou XM, Wang XP. 2019. Differences in the development of internal reproductive organs, feeding amount and nutrient storage between pre-diapause and pre-reproductive *Harmonia axyridis* adults. Insects, 10(8): 243

Han HB, Jiang S, Wang JM, Liu AP, Huang HG, Xu LB. 2018. Diapause induction and cold storage of *Exorista civilis* Rondani (Diptera, Tachinidae). Chinese Journal of Biological Control, 34(3): 342−347 (in Chinese) [韩海斌, 姜珊, 王建梅, 刘爱萍, 黄海广, 徐林波. 2018. 伞裙追寄蝇滞育诱导的温光周期条件和低温贮藏. 中国生物防治学报, 34(3): 342−347]

Koch RL. 2003. The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: a review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. Journal of Insect Science, 3(1): 32

Liu YY, Luo JC, Zhou ZX, Zhang DW, Wei YH. 2015. Effects of photoperiod and temperature on diapause induction in the codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Olethreutidae). Journal of Plant Protection, 42(1): 39−44 (in Chinese) [刘月英, 罗进仓, 周昭旭, 张大为, 魏玉红. 2015. 光周期和温度对苹果蠹蛾滞育诱导的影响. 植物保护学报, 42(1): 39−44]

Liu Z, Xu HF, Kong FH, Sun ZB, Zhu BZ. 2009. Study on optimum cold storage conditions for adults of *Harmonia axyridis* Pallas. Shandong Agricultural Sciences, 41(6): 64−67 (in Chinese) [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]

Lu ZY, Ran HF, Liu WX, Qu ZG, Liu XX, Li JC, Zhang QW. 2014. Effects of photoperiod and temperature on diapause induction in *Microplitis tuberculifer* (Hymenoptera: Braconidae) and the cold storage of its diapause pupae. Acta Entomologica Sinica, 57(10): 1206−1212 (in Chinese) [路子云, 冉红凡, 刘文旭, 屈振刚, 刘小侠, 李建成, 张青文. 2014. 温度和光周期对管侧沟茧蜂滞育诱导及滞育茧的低温冷藏. 昆虫学报, 57(10): 1206−1212]

Ma CS, He YR, Zhang GH, Chen YW. 1997. Effects of temperature and relative humidity on survival of the overwintering Asian coccinellid, *Harmonia axyridis*. Acta Ecologica Sinica, 17(1): 23−28 (in Chinese) [马春森, 何余容, 张国红, 陈玉文. 1997. 温湿度对越冬异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)存活的影响. 生态学报, 17(1): 23−28]

Meng J, Huang J. 2021. Effect of temperature and photoperiod on diapause regulation of *Delphastus catalinae* (Horn). Chinese Journal of Biological Control, 37(5): 927−935 (in Chinese) [孟佳, 黄建. 2021. 温度和光周期对小黑瓢虫滞育的调节作用. 中国生物防治学报, 37(5): 927−935]

Okuda T. 1990. Significance of water contact as a factor terminating larval diapause in a stem borer, *Busseola fusca*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 57(2): 151−155

Ren XY, Zhang LS, Qi XY, An T, Han YH, Chen HY. 2015. Metabolic adaption and evaluation of cold hardiness on diapausing ladybird, *Coccinella septempunctata* L. Journal of Environmental Entomology, 37(6): 1195−1202 (in Chinese) [任小云, 张礼生, 齐晓阳, 安涛, 韩艳华, 陈红印. 2015. 滞育七星瓢虫的代谢适应与抗寒性评价. 环境昆虫学报, 37(6): 1195−1202]

Reznik SY, Vaghina NP. 2013. Effects of photoperiod and diet on diapause tendency, maturation and fecundity in *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). Journal of Applied Entomology, 137 (6): 452−461

Ruan CC, Du WM, Wang XM, Zhang JJ, Zang LS. 2012. Effect of long-term cold storage on the fitness of pre-wintering *Harmonia axyridis* (Pallas). BioControl, 57(1): 95−102

Sakurai H, Kawai T, Takeda S. 1992. Physiological changes related to diapause of the lady beetle, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). Applied Entomology and Zoology, 27(4): 479−487

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 (in Chinese) [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]

Sun L, Chen X, Zhang YX, Zhao LL, Lin JZ. 2019. Effectiveness of *Harmonia axyridis* Pallas reared on *Ephestia kuehniella* Zeller eggs as a biological control for *Aphis craccivora* Koch. Chinese Journal of Applied Entomology, 56(1): 72−78 (in Chinese) [孙莉, 陈霞, 张艳璇, 赵玲玲, 林坚贞. 2019. 地中海粉斑螟卵饲喂的异色瓢虫对豆蚜捕食作用评价. 应用昆虫学报, 56(1): 72−78]

Tang SQ, Fang C, Su J, Xu D, Lan BY, Lu YH, Zhang JP. 2021. The effect of cold storage on the predation and fecundity of the predatory mite *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein). Journal of Plant Protection, 48(5): 1088−1095 (in Chinese) [唐思琼, 方晨, 苏杰, 徐娣, 蓝碧云, 陆宴辉, 张建萍. 2021. 冷藏对双尾新小绥螨捕食能力和繁殖力的影响. 植物保护学报, 48(5): 1088−1095]

Tang YY, Zhao H, Zhang M, Liang C, Xing KZ, Wu GX, Gao X. 2022. Suitable stage and conditions for low temperature storage of *Eocanthecona furcellata*. Chinese Journal of Biological Control, 38 (5): 1345−1353 (in Chinese) [汤永玉, 赵航, 张曼, 梁晨, 邢孔政, 吴国星, 高熹. 2022. 叉角厉蝽低温贮藏最适虫态和条件. 中国生物防治学报, 38(5): 1345−1353]

Tauber MJ, Tauber CA, Gardescu S. 1993. Prolonged storage of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Environmental Entomology, 22(4): 843−848

Taylor CM, Coffey PL, Hamby KA, Dively GP. 2017. Laboratory rearing of *Halyomorpha halys*: methods to optimize survival and fitness of adults during and after diapause. Journal of Pest Science, 90(4): 1069−1077

Teng SB, Xu ZQ. 2005. The cold storage conditions of *Harmonia axyridis* eggs and adults in mass-rearing. Entomological Knowledge, 42(2): 180−183 (in Chinese) [滕树兵, 徐志强. 2005. 人工扩繁代异色瓢虫卵和成虫最适冷藏条件的探讨. 昆虫知识, 42 (2): 180−183]

Wang RZ, Zhang Y, Wang XD, Song LW, Li H, Liu XR, Li XP. 2021. Research progress on cold storage tolerance of natural enemy insects. Journal of Environmental Entomology, 43(6): 1408−1416 (in Chinese) [王瑞珍, 张杨, 王晓丹, 宋丽文, 李宏, 刘鑫荣, 李兴鹏. 2021. 天敌昆虫耐冷藏力研究进展. 环境昆虫学报, 43 (6): 1408−1416]

Wang S, Ruan CC, Zhang JJ, Sun GZ. 2011. Changes of glycerine, protein and carbohydrate during diapause and breaking diapause of *Trichogramma dendrolimi*. Journal of Jilin Agricultural University, 33(4): 367−370, 375 (in Chinese) [王生, 阮长春, 张俊杰, 孙光芝. 2011. 松毛虫赤眼蜂滞育及解除滞育阶段主要物质含量变化. 吉林农业大学学报, 33(4): 367−370, 375]

Wang W, Zhang LS, Chen HY, Wang J, Zhang J, Liu Y. 2013. Effects of temperature and light on diapause induction in lady beetle *Coccinella septempunctata* in Beijing, China. Chinese Journal of Biological Control, 29(1): 24−30 (in Chinese) [王伟, 张礼生, 陈红印, 王娟, 张洁, 刘遥. 2013. 北京地区七星瓢虫滞育诱导的温光效应. 中国生物防治学报, 29(1): 24−30]

Wang XX, Fan JL, Zhou M, Gao G, Wei LY, Kang L. 2021. Interactive effect of photoperiod and temperature on the induction and termination of embryonic diapause in the migratory locust. Pest Management Science, 77(6): 2854−2862

Yang JC, Shen ZR. 2000. Effect of cold storage conditions on the survival of ladybugs. Acta Entomologica Sinica, 43(S1): 211−214 (in Chinese) [杨俊成, 沈佐锐. 2000. 冷藏条件对瓢虫存活的影响. 昆虫学报, 43(S1): 211−214]

Yang MJ, Li GQ, Yu L, Du SJ, Jiang D, Chu X, Wang K, Wu SQ, Wang R, Zhang FP, et al. 2023. Temperature and metal ions regulate larval diapause termination via the 20-hydroxyecdysone and juvenile hormone pathways in *Monochamus alternatus*. Pest Management Science, 79(1): 437−446

Zhang S, Mao JJ, Zeng FR. 2015. Effects of an artificial diet with non-insect ingredient on biological characteristics of *Harmonia axyridis* (Pallas). Chinese Journal of Biological Control, 31(1): 35−40 (in Chinese) [张屾, 毛建军, 曾凡荣. 2015. 非昆虫源人工饲料对异色瓢虫生物学特性的影响. 中国生物防治学报, 31(1): 35−40]

Zhang W, Liu S, Li N, Chen J, He YZ, Qin QJ. 2014. Effects of photoperiods on adult diapause of *Harmonia axyridis* (Pallas). Journal of Plant Protection, 41(4): 495−500 (in Chinese) [张伟, 刘顺, 李娜, 陈洁, 何运转, 秦秋菊. 2014. 光周期对异色瓢虫生殖滞育的影响. 植物保护学报, 41(4): 495−500]

Zhao C, Guo Y, Liu ZX, Xia Y, Li YY, Song ZW, Zhang BX, Li DS. 2021. Temperature and photoperiodic response of diapause induction in *Anastatus japonicus*, an egg parasitoid of stink bugs. Insects, 12(10): 872

（责任编辑：张俊芳）