

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.02.8

长期冷藏对越冬代异色瓢虫繁殖及子代生长发育和捕食能力的影响

杜文梅, 孙光芝, 臧连生*, 王秀梅, 阮长春, 刘显娇

(吉林农业大学生物防治研究所, 天敌昆虫应用技术工程研究中心, 长春 130118)

摘要: 异色瓢虫被认为是一种重要的捕食性天敌, 常被用来防治蚜虫、介壳虫、叶螨等害虫。为了更好地开发利用东北地区丰富的越冬代异色瓢虫自然资源, 本研究调查了低温冷藏 (3℃ 冷藏 0, 30, 60, 90, 120, 150 d) 对吉林采集的越冬代异色瓢虫繁殖及其子代生长发育和捕食能力的影响。研究表明, 经历 90 d 冷藏的瓢虫产卵量最大, 明显高于冷藏 60 d 个体的产卵量, 与冷藏 120 d、150 d 及未经冷藏个体的产卵量不存在明显差异; 经历不同冷藏期的瓢虫与室内人工饲养种群子代具有相似发育历期 (约 16.0 d); 而且长期冷藏也未对瓢虫子代幼期的捕食能力产生负面影响, 冷藏 150 d 瓢虫的子代在整个幼虫阶段能捕食 662.8 头蚜虫, 与未冷藏个体和人工饲养种群个体不存在明显差异。本研究为开发利用东北地区越冬代异色瓢虫自然资源的生物防治作用提供了理论依据。

关键词: 异色瓢虫; 低温冷藏; 耐寒性; 捕食; 生物防治

中图分类号: Q968.1; S476

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 02-0286-07

Effect of long-term cold storage on fecundity of pre-wintering *Harmonia axyridis* (Pallas) and the fitness of its progeny

DU Wen-Mei, SUN Guang-Zhi, ZANG Lian-Sheng*, WANG Xiu-Mei, RUAN Chang-Chun, LIU Xian-Jiao (Institute of Biological Control, Engineering Research Center of Natural Enemy Insects, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: The multicolored Asian ladybird beetle, *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae), is considered an important generalist predator that can be used as a biological control agent against Hemiptera, Sternorrhyncha, Thysanoptera. There are currently abundant natural resources of pre-wintering *H. axyridis* in northeastern China. With the objective of better utilizing the resources of natural enemy, here we assessed the effect of cold storage duration (0, 30, 60, 90, 120, and 150 d stored at 3℃) on fecundity of *H. axyridis* from Jilin and development and predation of their progenies. The results showed that the 90-day-stored females laid the largest number of eggs in 20 d (483.7 eggs), which were significantly higher than that by 60-day-stored individuals, and similar to those by 0-, 120- or 150-day-stored ones. The progenies from adults experiencing various storage duration had similar developmental time (about 16 d) to those from the laboratory population. Long-term cold storage on pre-wintering *H. axyridis* adults had no impact on predation of their larvae. During the whole larvae stage, total 662.8 aphids consumed by larvae from 150-day-stored adults were similar to those did by the individuals of 0-day-stored and the laboratory population. These results provide theoretical bases for application of pre-wintering *H. axyridis* with long-term cold storage in biological control of insect pests.

Key words: *Harmonia axyridis*; cold storage; cold tolerance; predation; biological control

基金项目: 国家自然科学基金 (31371991)

作者简介: 杜文梅, 女, 助理研究员, 主要从事害虫生物防治研究, E-mail: 280114191@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: lsz0415@163.com

收稿日期 Received: 2016-03-10; **接受日期** Accepted: 2016-03-17

异色瓢虫属于鞘翅目 Coleoptera 瓢虫科 Coccinellidae, 主要分布于中国、日本、韩国、内蒙和西伯利亚地区 (Brown *et al.*, 2008) 在北美洲和欧洲等地被引入后, 在北美和欧洲, 这种瓢虫也被用来防治棉蚜 (Wells *et al.*, 2001; Gil *et al.*, 2004)、大豆蚜 *Aphis glycines* (Landis *et al.*, 2004; Mignault *et al.*, 2006)、蔷薇长管蚜 *Macrosiphum rosae* (Ferran *et al.*, 1996)、豌豆长管蚜 *Acyrtosiphon pisum* (Harris) (Cardinale *et al.*, 2003)、忽布疣蚜 *Phorodon humuli* (Trouve *et al.*, 1997)。因威胁到当地生物多样性, 成为某些水果生产的一种潜在害虫, 且成为一种威胁到人们生活的臭名昭著的昆虫, 目前这种瓢虫已被引起广泛地关注 (Roy and Wajnberg, 2008)。但是, 这种多食性瓢虫也已被成功用于某些温室和大田作物害虫的生物防治。在中国被成功用于防治多种农林蚜虫, 例如棉蚜 *Aphis gossypii* Glover、蔷薇长管蚜、芦笋小管蚜 *Brachycorynella asparagi* Mordvilko (李修炼等, 1995; 孙兴全等, 1996; 马菲等, 2005)。此外, 这种瓢虫对某些地区介壳虫类害虫也展示了较好的控制效果, 如中国的马尾松干蚧 *Matsucoccus massoniana* Yang and Hu (王良衍, 1982)、日本的日本松干蚧 *Matsucoccus matsumurae* (Kuwana) (McClure, 1986)、韩国的桑白盾蚧 *Pseudaulacaspis pentagona* (Targioni) (Choi *et al.*, 1995), 而且这种瓢虫对江苏地区二种竹蚧 *Nesticoccus sinensis* Tang 和 *Rhizococcus transversus* (Green) (徐福元等, 1989) 和美国佛罗里达柑橘上的一种象鼻虫 *Diaprepes abbreviatus* L. (Stuart *et al.*, 2002) 种群的下降也发挥了重要作用。

在我国东北地区, 异色瓢虫自然资源十分丰富, 这种瓢虫是当地森林、果园和农田生态系统捕食蚜虫最常见的天敌种类 (袁荣才等, 1994)。最近几年, 吉林省异色瓢虫种群数量明显上升, 可能与该地区玉米种植面积不断扩大而带来的玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) 大量发生有关。每年 10 月中旬, 在东北地区都会出现越冬代异色瓢虫从田间蜂拥而出大量群集寻找越冬场所的场面, Huelsman 等 (2002) 分析异色瓢虫的这种寻找越冬场所的迁移活动时发现, 这种迁移活动经常会在经历霜冻后随即中午温度上升至 18℃ 时出现。

在应用天敌昆虫开展害虫生物防治时, 冷藏是一种非常有效的技术手段。这种方法不但使天

敌昆虫大量生产更具灵活性, 而且保证释放的发育阶段一致性, 延长天敌产品的货架期 (Leopold, 1998)。许多学者都调查了不同地区异色瓢虫的耐寒性 (马春森等, 1997; Watanabe, 2002; Koch *et al.*, 2004; Berkvens *et al.*, 2010), 马春森等 (马春森等, 1997) 研究了温湿度对东北地区越冬代异色瓢虫存活的影响, 发现 0℃ - 4℃、70% - 80% 相对湿度条件下瓢虫的死亡率最低。

为了更好地开发利用目前东北地区丰富的越冬代异色瓢虫自然资源, 最近 Ruan 等 (2012) 调查了不同冷藏条件对吉林采集的越冬代异色瓢虫存活及捕食能力的影响, 发现 3℃ - 6℃ 低温冷藏对瓢虫的伤害最小, 特别是 3℃ 条件下冷藏 150 d 雌虫的存活率仍高于 90%, 而且, 经历长期冷藏雌虫捕食蚜虫能力明显强于未冷藏个体。在此温度下不同冷藏时间对越冬代异色瓢虫子代生物学参数的影响如何尚不明确。本文调查了 3℃ 条件下不同冷藏时间对吉林采集越冬代异色瓢虫繁殖及其子代发育和捕食能力的影响, 旨在为更好地发挥长期冷藏越冬代异色瓢虫控制害虫的作用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2014 年 10 月, 于吉林农业大学校园 (43°48'N, 125°23'E) 内采集建筑物表面正群集寻找越冬场所的越冬代异色瓢虫。采集的瓢虫成虫依据上唇基前段颜色区分雌雄 (McCornack, 2007), 2 个群体在 11℃ 条件下分别喂饲 20% 蜂蜜水 2 d, 再将 200 头雌虫或雄虫分别装入塑料盒 (长 16 cm, 宽 13 cm) 内, 盒内备有折纸, 盒盖中央为 60 目纱网, 以保持空气流通。

1.2 冷藏对越冬代异色瓢虫繁殖的影响

根据 Ruan 等 (2012) 研究结果, 3℃ 条件下, 吉林采集的越冬代异色瓢虫的死亡率最低, 本研究设置冷藏温度为 3℃, 取经过前处理的瓢虫雌虫和雄虫分别放入冰箱 (Haier-BCD-252K S) 中进行冷藏, 30 d 后, 每 30 d 分别取出 20 头雌虫和 20 头雄虫放入 10℃ ± 1℃ 培养箱, 24 h 后, 将瓢虫转入 25℃ ± 1℃、60% ± 5% RH、16 L: 8 D 的气候室, 将瓢虫雌、雄配对 (♀: ♂ = 1: 1) 放入培养皿中, 每皿 1 对, 皿内置入带有足量 (400 - 500 头) 豆蚜 *Aphis craccivora* Koch 的蚕豆叶片, 每 24 h 更换

食料一次,并记录产卵数量,20 d 后结束试验调查,记录并统计每头瓢虫产卵量。本试验以未经冷藏的越冬代异色瓢虫为对照,每个处理重复 20 次。

1.3 冷藏对越冬代异色瓢虫子代生长繁育及捕食能力的影响

分别收集上述经 3℃ 冷藏不同时间的成虫新产卵 3-4 块,在 25℃ ± 1℃、60% ± 5% RH、16 L:8 D 的气候室,分别将各冷藏期的单个卵块置于培养皿中发育,待幼虫全部孵化后,每个处理随机取 12 头异色瓢虫初孵幼虫,单头饲养于培养皿(直径 9 cm,深 2 cm)中,培养皿内置有蚕豆叶片,皿底部垫有圆形滤纸,滴入适当的清水,防止蚕豆叶片萎蔫,并接入 400 头 2-3 龄若蚜,每隔 8 h 调查一次幼虫的蜕皮、发育、化蛹及羽化情况,24 h 后调查记录剩余蚜虫数量,每 24 h 更换新鲜蚕豆叶片和相同数量的若蚜,直到所有试虫全部化蛹。本试验以室内人工饲养异色瓢虫种群子代

为对照,每个处理重复 12 次。最后统计异色瓢虫幼期发育历期及捕食蚜量。

1.4 数据分析

采用单因素方差分析方法分析经历不同冷藏时间越冬代异色瓢虫的产卵量及其子代的发育历期和捕食蚜量,平均数采用 Tukey's HSD test 方法进行多重比较。所有数据应用 DPS 数据处理系统分析软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 冷藏对越冬代异色瓢虫繁殖的影响

在 3℃ 条件下,经历不同冷藏期的瓢虫 20 d 内的产卵量存在明显差异 ($F_{4,95} = 2.91$, $P = 0.0255$) (图 1)。经历 90 d 冷藏的瓢虫产卵量最大,与冷藏 120 d、150 d 及未经冷藏个体的产卵量不存在明显差异,但明显高于冷藏 60 d 个体的产卵量。

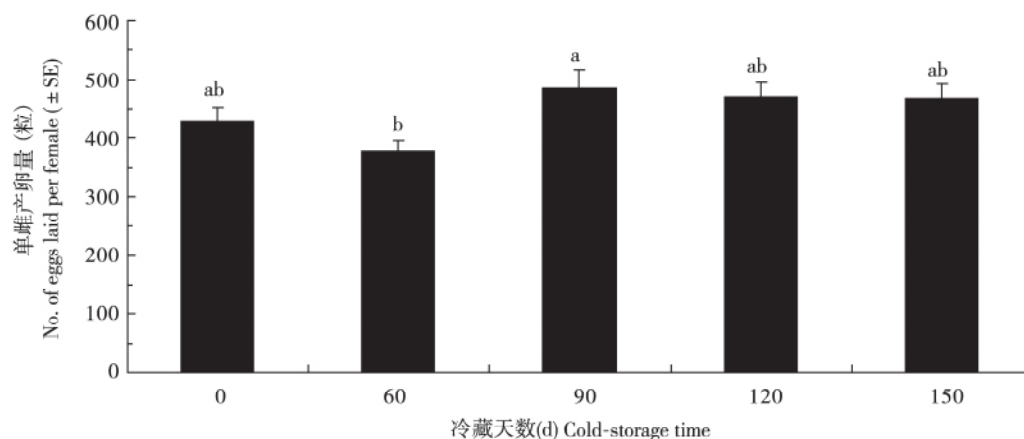


图 1 越冬代异色瓢虫经 3℃ 冷藏不同时间后 20 d 内的产卵量

Fig. 1 Fecundity of pre-wintering *Harmonia axyridis* in 20 d after different storage period at 3℃

注: 图中数据为平均数 ± 标准误。不同小写字母表示平均数间经 Tukey's HSD test 检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。Note: Means ± SE's were presented, and separated with Tukey's HSD test at $P < 0.05$. The same below.

2.2 冷藏对越冬代异色瓢虫子代生长发育的影响

经历不同冷藏期的越冬代异色瓢虫子代与室内人工饲养种群的发育历期不存在明显差异 ($F_{6,77} = 1.45$, $P = 0.2074$) (图 2)。总的来看,在 25℃ ± 1℃、60% ± 5% RH、16 L:8 D 环境条件下,不同处理的异色瓢虫从卵至成虫羽化的发育历期均约为 16 d。

2.3 冷藏对越冬代异色瓢虫子代捕食能力的影响

经历不同冷藏期的越冬代异色瓢虫子代幼期捕食蚜量动态见图 3,不同处理初孵幼虫随着发育

天数的增加,取食蚜量均逐渐增加,当发育至第 4 天时,均进入 3 龄幼虫阶段,取食蚜量明显增加,冷藏 90 d、120 d、150 d 和人工饲养种群个体发育至第 6 天时,取食蚜量达到最大值,而冷藏 30 d、60 d 和未冷藏个体发育至第 7 天,取食蚜量达到最大值,发育至第 8 天,相继进入蛹期,取食量急剧下降。总的来看,经历不同冷藏期的越冬代异色瓢虫和人工饲养种群子代幼期捕食蚜虫总量不存在明显差异 ($F_{6,77} = 2.12$, $P = 0.0600$),单头异色瓢虫在整个幼虫阶段能捕食大约 660 头豆蚜。

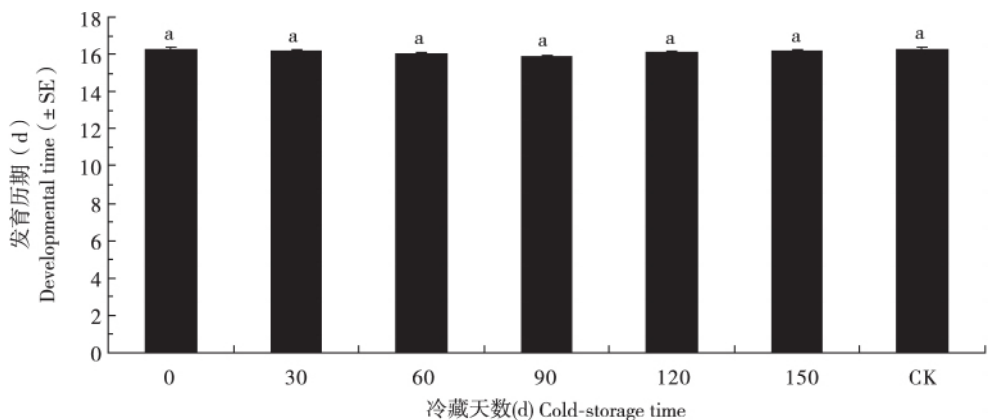


图2 越冬代异色瓢虫经3℃冷藏不同天数后子代发育历期

Fig. 2 Developmental time of progeny from pre-wintering *Harmonia axyridis* experiencing different storage time at 3℃

注：CK，室内人工饲养种群子代。下同。Note: CK, progeny from the laboratory population of *H. axyridis*. The same below.

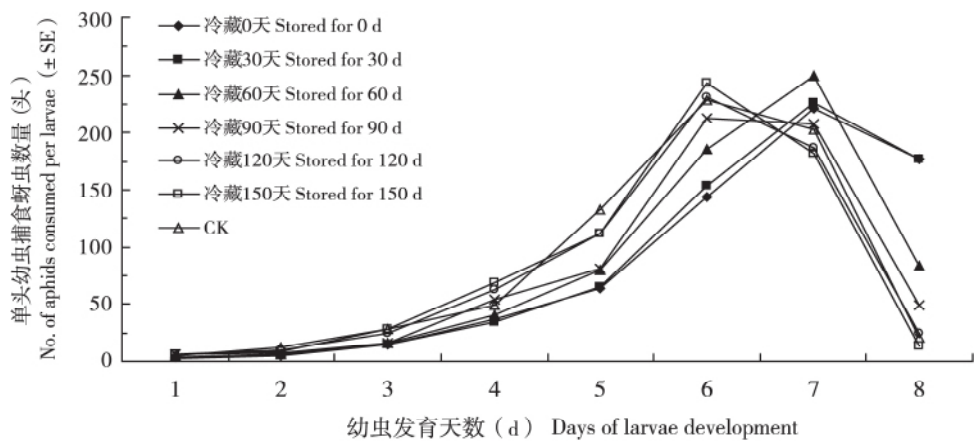


图3 越冬代异色瓢虫经3℃冷藏不同天数后子代幼虫捕食蚜虫数量动态

Fig. 3 Dynamic of number of aphids consumed by larvae from pre-wintering *Harmonia axyridis* experiencing different storage time at 3℃

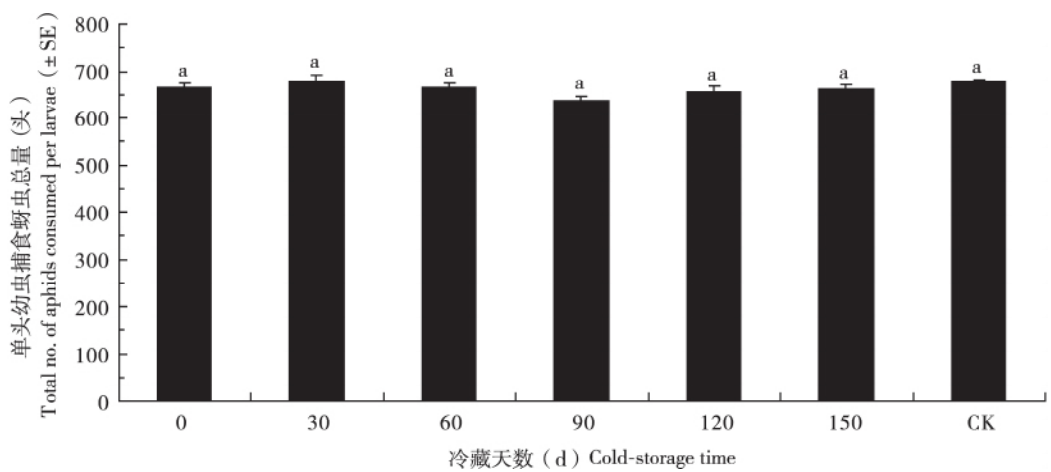


图4 越冬代异色瓢虫经3℃冷藏不同天数后子代幼虫捕食蚜虫总量比较

Fig. 4 Total number of aphids consumed by larvae from pre-wintering *Harmonia axyridis* experiencing different storage time at 3℃

3 结论与讨论

异色瓢虫是一种捕食范围广、环境适应性强的天敌昆虫,然而,目前异色瓢虫并未在农业生产上大面积推广应用,可能与国内异色瓢虫尚未实现规模化繁殖且人工大量繁育的瓢虫成本较高有关。东北地区每年秋季具有丰富的越冬代异色瓢虫自然资源,为了更好的开发利用这些天敌昆虫资源,以便下一年在害虫发生时进行人工释放发挥其生防作用,许多学者都对其进行了低温冷藏技术研究(马春森等,1997; Ruan *et al.*, 2012; 潘悦等, 2012; 杜文梅等, 2014; 孙梅梅等, 2014)。此外,杨俊成和沈佐锐(2000)也探索了北京地区越冬代异色瓢虫的冷藏技术,也有学者研究了人工扩繁代异色瓢虫的冷藏技术(滕树兵等, 2005; 刘震等, 2009)。已有相关研究均调查了低温冷藏对异色瓢虫存活的影响。

低温冷藏除了影响天敌昆虫的存活,也会影响其母代和子代对寄主的攻击能力、繁殖以及生长发育等生物学特性(Leopold, 1998; López *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2008)。前期研究结果发现,3℃-6℃是适合吉林采集的越冬代异色瓢虫冷藏的温度范围(Ruan *et al.*, 2012)。本研究结果表明,在3℃条件下,冷藏60-150 d瓢虫产卵量与未冷藏个体的产卵量不存在显著差异,可见长期冷藏并未对越冬代异色瓢虫的产卵能力产生负面影响。冷藏60 d瓢虫的产卵量最低,可能与储藏初期低温胁迫对瓢虫自身造成一定伤害有关,而冷藏90 d个体的产卵量明显增加,可能与瓢虫通过自身调节逐渐适应低温胁迫环境条件有关。Ruan等(2012)研究以及本研究结果均发现,对于吉林10月份采集的野外越冬代异色瓢虫来说,无论是冷藏还是未冷藏个体,提供豆蚜后,均能正常取食,经历7-10 d的产卵前期,均可正常产卵繁殖。由此可以初步判断,异色瓢虫吉林种群以休眠状态越冬,这似乎与张伟等(2014)报道的华北地区异色瓢虫以成虫滞育越冬不同。

目前研究结果也发现,3℃冷藏30-150 d越冬代异色瓢虫子代喂饲豆蚜的发育历期均为16 d,与未冷藏个体和室内人工饲养种群子代的发育历期无明显差异,表明在3℃条件下,长期冷藏并未对吉林采集异色瓢虫子代的发育造成负面影响。赵静等(2012)对山东地区采集异色瓢虫饲养种

群进行不同条件冷驯化处理后,其子代发育历期均约为18 d,变化也不明显。两个试验的环境条件基本相同,但山东异色瓢虫子代的发育历期比吉林的长2 d,可能主要与不同地理种群有关。不过已有报道表明,取食寄主种类、幼虫饲养时的光周期和环境颜色等会对异色瓢虫幼期发育产生一定影响(王甦等, 2008; 张岩等, 2008; 张伟等, 2013)。以往研究很少关注环境条件和母代处理对异色瓢虫子代捕食能力的影响,本研究发现,3℃冷藏30-150 d越冬代异色瓢虫与未冷藏个体和室内人工饲养种群子代个体具有相似的捕食能力,1头异色瓢虫在整个幼虫阶段能捕食大约660头豆蚜。

综合已有研究和目前研究结果,3℃是适合吉林10月份采集越冬代异色瓢虫冷藏的最佳温度,在此温度下,经历长达150 d的长期冷藏,瓢虫成虫的存活率仍接近90%,捕食蚜虫能力明显强于未冷藏个体(Ruan *et al.*, 2012),而且,长期冷藏对瓢虫的繁殖及其子代生长发育和捕食能力未产生负面影响。这些研究为开发利用东北地区每年秋季野外丰富的越冬代异色瓢虫资源提供了新途径,为发挥其害虫生物防治作用提供了理论依据。

参考文献 (References)

- Berkvens N, Bale JS, Berkvens D, *et al.* Cold tolerance of the harlequin ladybird *Harmonia axyridis* in Europe [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2010, 56 (4): 438-444.
- Brown PMJ, Adriaens T, Bathon H, *et al.* *Harmonia axyridis* in Europe: Spread and distribution of a nonnative coccinellid [J]. *BioControl*, 2008, 53 (1): 5-21.
- Cardinale BJ, Harvey CT, Gross K. Biodiversity and biocontrol: Emergent impacts of a multi-enemy assemblage on pest suppression and crop yield in an agroecosystem [J]. *Ecology Letters*, 2003, 6 (9): 857-865.
- Chen WL, Leopold RA, Harris MO. Cold storage effects on maternal and progeny quality of *Gonatocerus ashmeadi* Girault (Hymenoptera: Mymaridae) [J]. *Biological Control*, 2008, 46 (2): 122-132.
- Choi K, Lee S, Kim J, *et al.* Role of the coccinellid beetle, *Harmonia axyridis* in the biological control of the black pine bast scale insect, *Matsucoccus thunbergianae* [J]. *Journal of Forest Science*, 1995, 51: 115-118.
- Du WM, Zhang JJ, Sun GZ, *et al.* Effects of cold storage on physiological and biochemical indexes of overwintering *Harmonia axyridis* (Pall) [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2014, 36 (5): 536-539. 杜文梅, 张俊杰, 孙光芝, 等. 低温冷藏对越冬代异色瓢虫生理生化指标的影响 [J]. 吉林农业大学学

- 报, 2014, 36 (5): 536–539]
- Ferran A, Niknam H, Kabiri F, *et al.* The use of *Harmonia axyridis* larvae (Coleoptera: Coccinellidae) against *Macrosiphum rosae* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aphididae) on rose bushes [J]. *European Journal of Entomology*, 1996, 93 (1): 59–67.
- Gil L, Ferran A, Gambier J, *et al.* Dispersion of flightless adults of the Asian lady beetle, *Harmonia axyridis* in greenhouses containing cucumbers infested with the aphid *Aphis gossypii*: Effect of the presence of conspecific larvae [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2004, 112 (1): 1–6.
- Huelsman MF, Kovach J, Jasinski J, *et al.* Multicolored asian lady beetle (*Harmonia axyridis*) as a nuisance pest in households in Ohio. In: Jones SC, Zhai J, Robinson WH, eds. Proceedings of 4th International Conference on Urban Pests [C]. 2002, 243–250.
- Koch RL, Carrillo MA, Venette RC, *et al.* Cold hardiness of the multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Environmental Entomology*, 2004, 33 (4): 815–822.
- Landis DA, Fox TB, Costamagna AC. Impact of multicolored Asian lady beetle as a biological control agent [J]. *American Entomologist*, 2004, 50 (3): 153–154.
- Leopold RA. Cold storage of insects for integrated pest management. In: Hallman GJ, Denlinger DL, eds. Temperature Sensitivity in Insects and Application in Integrated Pest Management [M]. Boulder: Westview Press, 1998, 235–267.
- Li XL, Zhou XS, Yuan F. Studies on natural enemies of asparagus aphid *Brachycorynella asparagi* [J]. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali–occidentalis*, 1995, 23 (5): 39–43. [李修炼, 朱象三, 袁锋. 芦笋小管蚜天敌研究 [J]. 西北农业大学学报, 1995, 23 (5): 39–43]
- Liu Z, Xu HF, Kong FH, *et al.* Study on optimum cold storage conditions for adults of *Harmonia axyridis* Pallas [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2009, 6: 64–67. [刘震, 徐洪福, 孔繁华, 等. 异色瓢虫成虫最适冷藏条件的研究 [J]. 山东农业科学, 2009, 6: 64–67]
- López SN, 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.
- Ma CS, He YR, Zhang GH, *et al.* Effects of temperature and relative humidity on survival of the overwintering Asian Coccinellid, *Harmonia axyridis* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 1: 23–27. [马春森, 何余容, 张国红, 等. 温湿度对越冬异色瓢虫 (*Harmonia axyridis*) 存活的影响 [J]. 生态学报, 1997, 1: 23–27]
- Ma F, Yang RS, Gao DS. Occurrence of aphid in orchard and control of aphid using *Harmonia axyridis* [J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2005, 2: 37–39. [马菲, 杨瑞生, 高德三. 果园蚜虫的发生及应用异色瓢虫控蚜 [J]. 辽宁农业科学, 2005, 2: 37–39]
- McClure MS. Role of predators in regulation of endemic populations of *Matsucoccus matsumaruae* (Homoptera: Margarodidae) in Japan [J]. *Environmental Entomology*, 1986, 15 (4): 976–983.
- McCornack BP, Koch RL, Ragsdale DW. A simple method for in-field sex determination of the multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis* [J]. *Journal of Insect Science*, 2007, 7: 1–12.
- Mignault MP, Roy M, Brodeur J. Soybean aphid predators in Québec and the suitability of *Aphis glycines* as prey for three Coccinellidae [J]. *BioControl*, 2006, 51 (1): 89–106.
- Pan Y, Chang SR, Zhang XL, *et al.* Effects of different cold storage conditions on survival rate of the over-wintering *Harmonia axyridis* [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2012, 17: 77–78, 81. [潘悦, 常寿荣, 张晓龙, 等. 不同冷藏条件对越冬代异色瓢虫成虫存活率的影响 [J]. 湖南农业科学, 2012, 17: 77–78, 81]
- Ruan CC, Du WM, Wang XM, *et al.* Effect of long-term cold storage on the fitness of pre-wintering *Harmonia axyridis* (Pallas) [J]. *BioControl*, 2012, 57 (1): 95–102.
- Roy H, Wajnberg E. From biological control to invasion: The ladybird *Harmonia axyridis* as a model species [J]. *BioControl*, 2008, 53 (1): 1–4.
- Sun MM, Chen RX, Chai WG, *et al.* Effects of cold storage conditions on survival rate of the over-wintering *Harmonia axyridis* [J]. *Zhejiang Agricultural Sciences*, 2014, 12: 1843–1844. [孙梅梅, 陈若霞, 柴伟纲, 等. 低温冷藏对越冬代异色瓢虫的影响 [J]. 浙江农业科学, 2014, 12: 1843–1844]
- Sun XQ, Chen WL, Chen ZB, *et al.* A preliminary study on the artificial diet of an aphidophagous coccinellid, *Harmonia axyridis* (Pallas) and its use to control strawberry aphids in the plastic covering [J]. *Journal of Shanghai Agricultural College*, 1996, 14 (2): 133–137. [孙兴全, 陈文龙, 陈志兵, 等. 异色瓢虫的人工饲料及防治棚栽草莓蚜虫的初步研究 [J]. 上海农学院学报, 1996, 14 (2): 133–137]
- Stuart RJ, Michaud JP, Olsen L, *et al.* Lady beetles as potential predators of the root weevil *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) in Florida citrus [J]. *Florida Entomologist*, 2002, 85 (3): 409–416.
- 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]
- Trouve C, Ledee S, Ferran A, *et al.* Biological control of the damson-hop aphid, *Phorodon humuli* (Hom.: Aphididae), using the ladybeetle *Harmonia axyridis* (Col.: Coccinellidae) [J]. *Entomophaga*, 1997, 42 (1): 57–62.
- Watanabe M. Cold tolerance and myo-inositol accumulation in overwintering adults of a lady beetle, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *European Journal of Entomology*, 2002, 99 (1): 5–9.
- Wang LY. Preliminary study on *Harmonia axyridis* to control *Matsucoccus massoniana* [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1982, 4 (4): 37–39. [王良衍. 异色瓢虫防治马尾松干蚧的初步研究 [J]. 昆虫天敌, 1982, 4 (4): 37–39]
- Wang S, Liu S, Zhang F, *et al.* Effects of environment color on developmental characteristics and reproduction capability of

- Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51 (12): 1320–1326. [王甦, 刘爽, 张帆, 等. 环境颜色对异色瓢虫生长发育及繁殖能力的影响 [J]. 昆虫学报, 2008, 51 (12): 1320–1326]
- Wells ML, McPherson RM, Ruberson JR, *et al.* Coccinellids in cotton: Population response to pesticide application and feeding response to cotton aphids (Homoptera: Aphididae) [J]. *Environmental Entomology*, 2001, 30 (4): 785–793.
- Xu FY, Wu DM. Control of bamboo scale insects by intercropping rape in the bamboo forest to attract coccinellid beetle [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1989, 5 (3): 117–119. [徐福元, 吴冬喜. 种植油菜诱集瓢虫防治竹蚧的研究 [J]. 生物防治通报, 1989, 5 (3): 117–119]
- Yang JC, Shen ZR. Effect of cold storage on survival of the ladybird beetles, *Leis axyridis* and *Coccinella septempunctata* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2000, 43 (Suppl.): 211–214. [杨俊成, 沈佐锐. 冷藏条件对瓢虫存活的影响 [J]. 昆虫学报, 2000, 43 (增刊): 211–214]
- Yuan RC, Zhang FM, Wen GZ, *et al.* Investigation and study on Changbai mountain color type of *Harmonia axyridis* [J]. *Jilin Agricultural Sciences*, 1994, 4: 45–53. [袁荣才, 张富满, 文贵柱, 等. 长白山异色瓢虫色型的考察与研究 [J]. 吉林农业科学, 1994, 4: 45–53]
- Zhang Y, Qin QJ, Chen J, *et al.* Effects of five species aphids on development and fecundity of *Harmonia axyridis* (Pallas) [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2008, 35 (5): 394–398. [张岩, 秦秋菊, 陈洁, 等. 五种蚜虫对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响 [J]. 植物保护学报, 2008, 35 (5): 394–398]
- Zhang W, Liu S, Li N, *et al.* Effects of photoperiods on adult diapause of *Harmonia axyridis* (Pallas) [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2014, 41 (4): 495–500. [张伟, 刘顺, 李娜, 等. 光周期对异色瓢虫生殖滞育的影响 [J]. 植物保护学报, 2014, 41 (4): 495–500]
- Zhang W, He YZ, Li D, *et al.* Influences of photoperiod and diet on growth and development of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2013, 36 (1): 80–84. [张伟, 何运转, 黎丹, 等. 光周期和食物对异色瓢虫生长发育的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2013, 36 (1): 80–84]
- Zhao J, Chen ZZ, Zhen FQ, *et al.* Effects of cold acclimation on developmental characteristics and fitness of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) offsprings [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (7): 810–815. [赵静, 陈珍珍, 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]