烟粉虱天敌日本刀角瓢虫生物生态学研究进展*

田 密** 张世泽*** 刘同先

（西北农林科技大学，旱区作物逆境生物学国家重点实验室，杨凌 712100）

摘 要 日本刀角瓢虫 *Serangium japonicum* Chapin 是烟粉虱 *Bemisia tabaci*（Gennadius）等农业害虫的优势捕食性天敌昆虫，对烟粉虱的发生有良好的控制作用。本文从日本刀角瓢虫的生物学和生态学特性，包括形态特征、猎物种类、生活史、田间种群动态以及行为学和生物防治中的应用等方面概述了日本刀角瓢虫的研究进展，提出进一步深入开展日本刀角瓢虫与诱集植物的联合应用技术、人工饲养和大量繁殖技术以及对味源的识别机制等方面的研究，不仅可以更好地为农业生产服务，而且可以为研发生物防治技术的新模式提供参考。

关键词 日本刀角瓢虫；生物学；生态学；行为学；生物防治

Advances in research on the biology and ecology of *Serangium japonicum* Chapin, a predator of *Bemisia tabaci* (Gennadius)

TIAN Mi** ZHANG Shi-Ze*** LIU Tong-Xian

(State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract *Serangium japonicum* Chapin is an important species of predatory ladybird and has been used as a biological control agent for the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) and other agricultural pests. This paper summarizes recent progress in research on the biology and ecology of *S. japonicum*, including morphological characteristics for identifying the species, prey species, life history, population dynamics in the wild, behavior, and utilization on biological control. Further studies on combining *S. japonicum* and plant traps for *B. tabaci*, artificial mass-rearing, and the mechanism for *S. japonicum* to identify odors are proposed.

Key words *Serangium japonicum* Chapin; biology; ecology; behavior; biological control

日本刀角瓢虫 *Serangium japonicum* Chapin 属鞘翅目 Coleoptera 瓢虫科 Coccinellidae 小艳瓢虫亚科 Sticholotinae 刀角瓢虫族 Serangiini，是烟粉虱的重要捕食性天敌（Ren *et al.*，2001；任顺祥等，2004），主要分布于中国（Ren *et al.*，2001）、日本（Ozawa and Uchiyama，2015；Kaneko，2017）和韩国（Li *et al.*，2011）。目前，日本刀角瓢虫已广泛分布于我国安徽（张建群和韩宝瑜，1993）、福建（黄邦侃和张可池，1988）、广东（Ren *et al.*，2001）、广西、陕西（Li *et al.*，2015）、山西、浙江、贵州、上海、云南、湖南（胡雅辉等，2016）、湖北、台湾及四川等地（黄复生，1992；Li *et al.*，2011）。由于日本刀角瓢虫具有捕食量大，世代周期短，成虫寿命长且繁殖力高等特点，已成为粉虱类害虫的优势天敌之一。本文总结了近 30 年国内外主要研究进展，期望对日本刀角瓢虫的深入研究和生产应用提供参考。

1 生物学和生态学特性

日本刀角瓢虫是完全变态昆虫，一生经历

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金（31470484）；国家重点研发计划（2017YFD0201006）；现代农业产业技术体系专项资金（CARS-23-D-06）

**第一作者 First author，E-mail：mitian1993@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：shzzhang@nwafu.edu.cn

收稿日期 Received：2019-04-01；接受日期 Accepted：2019-11-30

卵、1-4 龄幼虫、蛹和成虫四个阶段，其中在 4 龄后期还会出现一个不食不动的状态，称为预蛹。日本刀角瓢虫成虫个体较小，体长仅 1.80-2.00 mm，体宽 1.40-1.50 mm（荆英等，2003）。喜欢在叶背面和隐蔽的地方活动，成虫有假死习性。

1.1　形态特征

日本刀角瓢虫的卵呈椭圆形，卵初期晶莹透明状，后期渐渐颜色加深呈浅褐色；幼虫纺锤形，早期幼虫乳白色，体表有小细毛和黑毛，其黑毛及黑毛瘤的色泽随着龄期变大而加深；4 龄后期会有短暂的预蛹阶段，身体开始变短变粗；蛹为白色卵圆形，整个蛹体被小细绒毛，极少部分的蛹包裹在尾部的蜕皮里，末龄幼虫分泌橙黄色粘液将腹部末端固定住（荆英等，2003；姚松林等，2004）。蛹的颜色逐渐由浅白色变成深褐色，最后成虫脱壳羽化。成虫刚羽化时颜色较为浅白，约几个小时后变成黑亮色；头和足棕红色；前胸背板黑棕色，其两侧外角呈现出小部分棕红色（姚松林等，2004）。复眼黑色，触角末端呈长刀状，整个触角表现为基部细长，端部宽扁。虫体不动时，缩成半球形，背面明显拱起，有黑色光泽，带有稀疏的细毛。该瓢虫第二性征不明显，雌雄性别较难用肉眼区别。解剖虫体显示雄性生殖器包含弯管和阳基两个部分，弯管不对称；雌性生殖器可剖出卵巢和输卵管。

1.2　猎物种类

日本刀角瓢虫主要捕食粉虱类害虫，包括黑刺粉虱 *Aleurocanthus spiniferus*（Quaintence）（张建群和韩宝瑜，1993）、烟粉虱 *Bemisia tabaci*（Gennadius）（姚松林等，2004）、柑橘粉虱 *Dialeurodes citri* (Ashmead)（Kaneko，2017）、温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*（Westwood）（Li *et al.*，2011）、*Aleurocanthus camelliae* Kanmiya and Kasai（Ozawa and Uchiyama，2015）。它也可捕食蜡蚧类害虫，如龟蜡蚧 *Ceroplastes japonicus* Green 和堆蜡粉蚧 *Nipaecoccus vastator* (Maskell)（黄邦侃和张可池，1988）。此外，Tian 等（2017）报道日本刀角瓢虫捕食桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer)也能完成生长发育。日本刀角瓢虫虽能捕食不同猎物，但其发育历期、存活及繁殖力等都存在较大差异，粉虱类害虫是其最嗜食猎物。

1.3　生活史

日本刀角瓢虫的成虫、幼虫均能够取食棉花 *Gossypium hirsutum* L.（Li *et al.*，2015）、变叶木 *Codiaeum variegatum*（L.）（姚松林等，2004；Yao *et al.*，2011）、甘薯 *Ipomoea batatas* L.（荆英等，2003；胡雅辉等，2016）、甘蓝 *Brassica oleracea* L.（Tian *et al.*，2017）等寄主植物上的烟粉虱并能完成生长发育。此外，对茄子 *Solanum melongena* L.、黄瓜 *Cucumis sativus* L.、番茄 *Lycopersicon esculentum* Mill. 和烟草 *Nicotiana tabacum* L.上烟粉虱也可以取食，但取食不同寄主植物上烟粉虱对其生长发育和生殖会有不同影响（Tian *et al.*，2019）。取食变叶木上烟粉虱的卵时，瓢虫从卵期到成虫的发育历期约 22.6 d，产卵前期为 6.4 d，成虫寿命为 91.9 d，单雌平均产卵量为 564.8 粒；取食烟粉虱若虫时，卵期到成虫的发育历期约 21.7 d，成虫产卵前期为 7.4 d，成虫平均寿命为 81.6 d，单雌平均产卵量为 659.0 粒（姚松林等，2004）。在 20-25 ℃下，日本刀角瓢虫取食甘薯上烟粉虱混合龄期时，各发育阶段平均发育时间为卵期 5.2 d、1 龄幼虫 2.4 d、2 龄幼虫 2.0 d、3 龄幼虫 1.9 d、4 龄幼虫 1.8 d、预蛹 3.0 d 及蛹 5.2 d，完成 1 个世代平均约 21.5 d（荆英等，2003）。最近，Tian 等（2017）报道日本刀角瓢虫取食辣椒 *Capsicum annuum* L.上的桃蚜时，卵期、1-4 龄幼虫期和蛹的平均发育历期分别为 4.9、2.3、1.9、2.1、4.4 和 4.1 d，完成 1 个世代平均需 19.9 d，产卵前期为 20.9 d，产卵期为 71.2 d，平均寿命为 89.3 d，平均总产卵量为 184.9 粒。此外，日本刀角瓢虫对温度的适应范围较广，在 20-35 ℃范围内均都完成生长发育和繁殖（Yao *et al.*，2011）。黄邦侃和张可池（1988）报道夏秋季日本刀角瓢虫的卵期为 2.9-4.3 d，1 龄幼虫期为 3.7-4.8 d，2 龄幼虫期为 2.1-3.8 d，3 龄幼虫期为 1.9-2.7 d，4 龄幼虫期为 3.3-4.9 d，蛹期为 3.9-4.3 d，完成 1 个世代平均

需 27.2-31.3 d，产卵前期为 7.6-8.3 d。

1.4 田间种群动态

日本刀角瓢虫的年发生代数多且世代重叠严重。当气温低至 10 ℃以下时开始蛰伏，来年日均温 10 ℃以上开始活动。日本刀角瓢虫在福州 1 年发生 6-7 代，以成虫在树上卷叶中和树下隐蔽处越冬；次年 4-5 月开始活动，6 月是活动高峰期，9-10 月再次出现活动高峰（黄邦侃和张可池，1988；荆英等，2003）。日本刀角瓢虫在长沙 1 年发生 7 代左右，越冬成虫在 4 月中旬开始活动，5-11 月均可见，12 月仍可发现少数幼虫活动（胡雅辉等，2016）。Ozawa 和 Uchiyama（2015）报道日本刀角瓢虫在茶园的趋光性（黑光灯）明显高于趋黄性（黄板），并且日本刀角瓢虫成虫在 6 月和 8 月有两次种群发生的高峰期。Kaneko（2017）发现日本刀角瓢虫成虫在柑橘园也有两个发生高峰期，分别为 5 月底-6 月初和 6 月底-7 月中旬；第一次高峰期以越冬成虫为主，第二次高峰期以子代成虫为主，发生时间比猎物柑橘粉虱晚一个月左右。上述结果表明，日本刀角瓢虫全年活动时间较长，且发生高峰期多出现于夏季，与害虫的发生期相对比较吻合。

2 行为学研究

昆虫的行为直接反映了它们对外界环境的感知，使得它们能够辨别同类、搜寻食物和感受外界环境对其生长发育的影响。

2.1 捕食行为

姚松林等（2005）报道日本刀角瓢虫的捕食行为主要包括静息、爬行、整翅、取食、清洁和排泄 6 个步骤。爬行的过程主要是对猎物进行搜寻，它的下唇须和下颚须会不断地敲击叶面。取食行为主要涉及捕捉并吸食猎物，瓢虫成虫和幼虫均借助尖锐的上颚咬破猎物的体表，吸食体液，多次抽吸回吐，最后会留下猎物的外壳。清洁行为主要发现于成虫中，取食后会梳理身体背腹面、触角、下唇须等部位。静息是指瓢虫完全不动的状态，表现为身体各附肢完全折叠于身体腹面，触角和头部缩进前胸背板，整个虫体表现为半球形。整翅行为主要出现在成虫阶段，表现为前鞘翅分开，折叠的后翅向外伸展，腹部末端翘起，多次抖动身体。排泄行为在幼虫期和成虫期均清晰可见（荆英等，2003；姚松林等，2004，2005）。

2.2 交配和产卵行为

日本刀角瓢虫属于两性生殖，成虫羽化后较短时间内即可交尾且一生可多次交尾。雌虫大于雄虫，交尾时，雄虫伏于雌虫的体背（荆英等，2003）。产卵前期因猎物种类和猎物的寄主植物而异。卵粒既有单产也有聚产，且常产于靠近植物叶脉的地方和缝隙等隐蔽处，也见少部分卵粒产在烟粉虱的蛹壳内。

2.3 耐饥性和自残行为

日本刀角瓢虫雄虫比雌虫更耐饥饿，耐饥最长时间不超过 108 h（荆英等，2003）。食物缺乏时，日本刀角瓢虫会取食同类的卵粒，高龄幼虫会捕食低龄幼虫和攻击不动的预蛹及蛹（姚松林等，2004）。足量的食物和合理的饲养空间是减少同类相残的有效办法。

2.4 对植物挥发性味源的识别

带有水杨酸甲酯（MeSA）的黏虫板能够诱集到茶园里的日本刀角瓢虫，表明日本刀角瓢虫对 MeSA 有明显的反应，但反应的程度受 MeSA 浓度的影响（苗进，2008）。Li 等（2014）报道在花椰菜叶部和根部喷施茉莉酸后发现能对日本刀角瓢虫有一定的吸引作用。在温室笼罩试验中，日本刀角瓢虫对受到烟粉虱为害的不同寄主植物存在明显的选择偏好，室内 Y 型嗅觉仪和风洞试验也证实了日本刀角瓢虫对不同的植物味源表现出一定的选择性（作者待发表）。

3 生物防治中的应用

国内外学者对日本刀角瓢虫的捕食能力、种间竞争、与农药联合应用及贮存均做了较多工作，为进一步开展利用奠定了一定基础。

3.1　捕食能力

捕食能力是评价天敌昆虫捕食潜能的重要参考依据。黄邦侃和张可池（1988）研究发现日本刀角瓢虫 1-4 龄幼虫日均捕食黑刺粉虱卵粒数分别为 30 粒、78.3 粒、171. 5 粒和 243.5 粒，成虫日均捕食 103.2 粒卵；捕食桔粉虱卵粒数为低龄幼虫（1-2 龄）26.6 粒，高龄幼虫（3-4 龄）238.8 粒，成虫 65 粒。日本刀角瓢虫成、幼虫均可捕食烟粉虱。姚松林等（2004）报道日本刀角瓢虫 4 龄幼虫日平均捕食烟粉虱卵量最大，为 814.1 粒，雌成虫次之，为 723.7 粒；同时也发现日本刀角瓢虫更偏好取食烟粉虱的卵。荆英等（2004）报道了日本刀角瓢虫雌成虫对甘薯烟粉虱不同密度和不同虫态的捕食功能反应。姚凤銮等（2018）测定了日本刀角瓢虫雌成虫对茄子上烟粉虱的卵和各龄若虫的捕食量及其捕食功能反应。此外，马丽君等（2018）报道烟粉虱的天敌日本刀角瓢虫和丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* Gahan 共存时的功能反应均符合 Holling Ⅱ型方程，并且 2 种天敌联合释放时能够提高对烟粉虱的控制效果，天敌间可能存在增效作用。

3.2　实际控害评价

在自然条件下，释放小黑瓢虫 *Delphastus catalinae*（Horn）和刀角瓢虫成虫控制花椰菜 *Brassica oleracea*. var. *botrytis* L.上烟粉虱，连续释放 3 周，共计各接虫 150 头，结果表明两种瓢虫都能较好的压低烟粉虱的种群数量；释放瓢虫成虫后，随着时间的增加，烟粉虱的数量急剧减少（罗宏伟等，2005）。姚凤銮等（2018）通过田间笼罩试验发现在释放日本刀角瓢虫初期，对烟粉虱的控制效果不明显；在释放瓢虫 4-6 周后，烟粉虱的数量受到抑制，在第 10 周时其作用效果最为显著；每株植物释放 3 对和 5 对瓢虫成虫对烟粉虱种群的控制效果均达 73%以上。

3.3　种间竞争

当浆角蚜小蜂 *Eretmocerus* sp.寄生的烟粉虱若虫发育少于 5 d 时，日本刀角瓢虫成虫和 4 龄幼虫不能区别寄生和未被寄生的烟粉虱若虫；当寄生的粉虱若虫发育天数多于 9 d 时，瓢虫成虫和 4 龄幼虫就表现出不喜取食被寄生的粉虱若虫；当寄生的粉虱若虫发育时间多于 13 d 时，瓢虫显著不取食被寄生的烟粉虱蛹（Fazal and Ren，2004）。我们的研究也发现日本刀角瓢虫不喜欢取食被丽蚜小蜂寄生的烟粉虱蛹（作者待发表）。这些研究表明联合利用日本刀角瓢虫和寄生蜂控制烟粉虱时，可以先释放寄生蜂，9-13 d 后再释放日本刀角瓢虫，可能会提高对烟粉虱的控制作用。

3.4　对杀虫剂的敏感性

绿僵菌素 Destruxins 对日本刀角瓢虫表现出触杀毒性，但在处理后 3-5 d，毒性残留下降 50%左右，4 龄幼虫和成虫几乎都能从绿僵菌感染处理组中存活并能正常生长（Hu *et al.*，2009）。不同孢子浓度的蜡蚧轮枝菌 *Verticillium lecanii* 处理日本刀角瓢虫后，虽然对其各虫态的发育历期影响显著，但对其存活率、内禀增长率和寿命等作用并不明显（Fatiha *et al.*，2008）。灭多威 Methomyl、敌敌畏 Dichlorovos、丁醚脲 Diafenthiuron 的田间推荐剂量均对日本刀角瓢虫表现高毒性；乐果 Dimethoate、吡虫啉 Imidacloprid、噻虫嗪 Thiamethoxam、烯啶虫胺 Nitenpyram、氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole 的田间推荐剂量对日本刀角瓢虫有一定的杀伤作用，具有很强的接触毒力；毒死蜱 Chlorpyrifos、高效氯氰菊酯 Beta cypermethrin、联苯菊酯 Bifenthrin、甲氰菊酯 Fenpropathrin、高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin、噻嗪酮 Buprofezin、定虫隆 Chlorfluazuron、氟虫脲 Flufenoxuron 以及啶虫脒 Acetamiprid、吡蚜酮 Pymetrozine、虫螨腈 Chlorfenapyr、阿维菌素 Avermectin 等的田间推荐剂量对日本刀角瓢虫低毒甚至没有明显致死效果（赵建伟等，2012；Yao *et al.*，2015）。吡丙醚 Pyriproxyfen 是生产中广泛用于防治烟粉虱的农药。Li 等（2015）发现用不同浓度的吡丙醚处理不同虫态的日本刀角瓢虫，会影响各虫态的发育历期，存活及成虫的产卵和孵化。其中，日本刀角瓢虫卵对吡丙醚最为敏感，因此生产中施用吡丙醚时最好在日本刀角瓢虫的幼虫期进行，方能发挥日本刀角瓢虫和吡丙醚的增效作用。

3.5 滞育与贮藏

日本刀角瓢虫的滞育诱导及冷藏时间对贮藏尤为重要，滞育诱导处理可以使日本刀角瓢虫处于不食不动的状态。该虫滞育的临界光周期为光期短于 12 h；将日本刀角瓢虫经光照 11 h 和 18 ℃诱导处理 10 d 后，再存放至 5 ℃低温下，可冷藏 120 d（胡雅辉等，2016）。

4 研究展望

日本刀角瓢虫是我国粉虱类害虫的优势天敌之一，在全国多地均有分布，是一种具有实际应用和商品化生产价值的重要天敌种类，应用前景十分广阔，当然还有一些实际应用的问题需要继续研究。

4.1 日本刀角瓢虫和烟粉虱诱集植物的联合应用技术

烟粉虱诱集植物能够在天敌种群还未达到高峰时将靶标作物上的烟粉虱成虫诱集在一起，减轻对目标作物的危害，然后将日本刀角瓢虫释放在诱集植物上捕食烟粉虱，诱集植物相当于一个天敌生产的小工厂，随着日本刀角瓢虫数量的增加，主动向靶标植物上转移起到控制烟粉虱的作用。该方法不但能够集中消灭烟粉虱和延缓瓢虫的扩散，而且也减轻了天敌昆虫实际控虫效果相对滞后的现象，更易为大众所接受。

4.2 人工饲料和繁殖技术

目前对日本刀角瓢虫的扩繁主要依赖活体植物上的烟粉虱猎物，比较耗费人力物力，因而研发日本刀角瓢虫的人工饲料或者替代猎物，不但能降低饲养成本，而且能够极大促进日本刀角瓢虫产业化发展。目前日本刀角瓢虫替代寄主和人工饲料的研究非常缓慢，当用米蛾卵作为替代饲料进行饲喂时，日本刀角瓢虫不但死亡率较高而且产卵量很低（作者待发表）。另外，日本刀角瓢虫的释放技术，如释放时间、释放数量、控制效果评价等也是需要研究的问题。

4.3 瓢虫对味源的识别研究

日本刀角瓢虫的猎物范围相对狭窄，又对植物挥发性味源有一定的行为反应，那么研究其对猎物及猎物寄主的视觉和嗅觉反应，可能会为田间直接招募该类瓢虫提高控害效果提供新方法。总之，随着对日本刀角瓢虫生物生态学以及应用等方面研究的不断深入，人们保护、利用该天敌昆虫的技术和方法将不断提高，日本刀角瓢虫在粉虱类害虫的综合防治中也将发挥更大的作用。

参考文献 (References)

Fatiha L, Huang Z, Ren SX, Ali S, 2008. Effect of *Verticillium lecanii* on biological characteristics and life table of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of whiteflies under laboratory conditions. *Insect Science*, 15(4): 327–333.

Fazal S, Ren SX, 2004. Interaction of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), an obligate predator of whitefly with immature stages of *Eretmocerus* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae) within whitefly host (Homoptera: Aleyrodidae). *Asian Journal of Plant Sciences*, 3(2): 243–246.

Hu QB, An XC, Jin FL, Freed S, Ren SX, 2009. Toxicities of destruxins against *Bemisia tabaci* and its natural enemy. *Serangium japonicum*. *Toxicon*, 53(1): 115–121.

Hu YH, Wei L, Chen HT, 2016. Adaptation of *Serangium japonicum*, a predator of *Bemisia tabaci* to the weather and crop distribution in Changsha. *Journal of Plant Protection*, 43(1): 173–174. [胡雅辉, 魏林, 陈浩涛, 2016. 烟粉虱天敌刀角瓢虫对长沙气候及作物分布的适应性. 植物保护学报, 43(1): 173–174.]

Huang BK, Zhang KC, 1988. A preliminary study on *Serangium japonicum* Chapin. To Commemorate the 100th Anniversary of the Successful Introduction of *Rodolia cardinalis*-Proceedings of the National Symposium on Ladybeetle. Fuzhou. 79–82. [黄邦侃, 张可池, 1988. 刀角瓢虫的初步研究. 纪念澳洲瓢虫输引成功 100 周年. 全国瓢虫学术讨论会论文集. 福州. 79–82.]

Huang FS, 1992. Insects of Wuling Mountains Area, Southwestern China. Beijing: Science Press. 368. [黄复生, 1992. 西南武陵山地区昆虫. 北京: 科学出版社. 368.]

Jing Y, Huang J, Han JC, Ma RY, 2004. Predation of *Serangium japonicum* on *Bemisia tabaci*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 31(3): 225–229. [荆英, 黄建, 韩巨才, 马瑞燕, 2004. 刀角瓢虫对烟粉虱的捕食作用. 植物保护学报, 31(3): 225–229.]

Jing Y, Huang J, Ma RY, Han JC, 2003. Biological characteristics of *Serangium japonicum* and its morphology in comparison with *Delphastus catalinae*. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* (*Natural Science Edition*), 32(2): 172–175. [荆英, 黄建, 马瑞燕, 韩巨才, 2003. 刀角瓢虫的生物学特性及其与小黑瓢虫形态特征的比较. 福建农林大学学报(自然版), 32(2): 172–175.]

Kaneko S, 2017. Seasonal and yearly change in adult abundance of a predacious ladybird *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae) and the citrus whitefly *Dialeurodes citri* (Hemiptera: Aleyrodidae) in citrus groves. *Applied Entomology and Zoology*, 52(3): 481–489.

Li P, Chen QZ, Liu TX, 2015. Effects of a juvenile hormone analog, pyriproxyfen, on *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Biological Control*, 86: 7–13.

Li SJ, Ren SL, Xue X, Ren SX, Cuthbertson AGS, van Dam NM, Qiu BL, 2014. Efficiency of plant induced volatiles in attracting *Encarsia formosa* and *Serangium japonicum*, two dominant natural enemies of whitefly *Bemisia tabaci* in China. *Pest Management Science*, 70(10): 1604–1610.

Li SJ, Xue X, Ahmed MZ, Ren SX, Du YZ, Wu JH, Cuthbertson AGS, Qiu BL, 2011. Host plants and natural enemies of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in China. *Insect Science*, 18(1): 101–120.

Luo HW, Huang J, Wang ZH, Su XX, 2005. Comparison of control effect between *Delphastus catalinae* (Horn) and *Serangium japonicum* Chapin to *Bemisia tabaci* (Gennadius). China's biological control in the 21st Century-Proceedings of the National Symposium on Biological Control. Shanghai. 156–159. [罗宏伟, 黄建, 王竹红, 苏秀霞, 2005. 小黑瓢虫与刀角瓢虫对烟粉虱控制作用的比较研究. 迈入二十一世纪的中国生物防治——全国生物防治学术研讨会论文集. 上海. 156–159.]

Ma LJ, Zhang SZ, Liu TX, 2018. Influences of interspecific competition between ladybeetle *Serangium japonicum* and parasitoid *Encarsia formosa* on predation of tobacco whitefly *Bemisia tabaci*. *Journal of Plant Protection*, 45(6): 1289–1295. [马丽君, 张世泽, 刘同先, 2018. 种间竞争对烟粉虱天敌日本刀角瓢虫和丽蚜小蜂捕食功能反应的影响, 植物保护学报, 45(6): 1289–1295.]

Miao J, 2008. Studies on defensive mechanism of tea plant induced by exogenous MeSA to tea green leafhopper. Doctoral dissertation. Hangzhou: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [苗进, 2008. 外源 MeSA 诱导茶树防御假眼小绿叶蝉机理的研究. 博士学位论文. 杭州: 中国农业科学院.]

Ozawa A, Uchiyama T, 2015. Monitoring of the ladybird beetle *Serangium japonicum* Chapin: A potential predator of the tea spiny whitefly, *Aleurocanthus camelliae* Kanmiya and Kasai, using a light trap and yellow sticky traps in tea fields. *Annual Report of the Kansai Plant Protection Society*, (57): 57–61.

Ren SX, Huang Z, Yao SL, 2004. Advances in studies on predators of *Bemisia tabaci* Gennadius. *Natural Enemies of Insects*, 26(1): 34–42. [任顺祥, 黄振, 姚松林, 2004. 烟粉虱捕食性天敌研究进展. 昆虫天敌, 26(1): 34–42.]

Ren SX, Wang ZZ, Qiu BL, Xiao Y, 2001. The pest status of *Bemisia tabaci* in China and non-chemical control strategies. *Entomologia Sinica*, 8(3): 279–288.

Tian M, Pumhan N, Liu TX, Zhang SZ, 2019. Effect of host plant species of cotton whitefly *Bemisia tabaci* Middle East-Asia Minor 1 (Hemiptera: Aleyrodidae) on the development, survival and reproduction of its predaceous ladybeetle *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 21(4): 417–423.

Tian M, Wei YL, Zhang SZ, Liu TX, 2017. Suitability of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype-B and *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) as prey for the ladybird beetle, *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology*, 114: 603–608.

Yao FL, Zheng Y, Ding XL, Lu XS, He YX, Weng QY, 2018. Controlling effect of *Serangium japonicum* on population of *Bemisia tabaci*. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 33(5): 520–524. [姚凤銮, 郑宇, 丁雪玲, 卢学松, 何玉仙, 翁启勇, 2018. 日本刀角瓢虫对烟粉虱种群的控制作用评价, 福建农业学报, 33(5): 520–524.]

Yao FL, Zheng Y, Zhao JW, Desneux N, He YX, Weng QY, 2015. Lethal and sublethal effects of thiamethoxam on the whitefly predator *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae) through different exposure routes. *Chemosphere*, 128: 49–55.

Yao SL, Huang Z, Ren SX, Mandour N, Ali S, 2011. Effects of temperature on development, survival, longevity, and fecundity of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae). *Biocontrol Science and Technology*, 21(1): 23–34.

Yao SL, Ren SX, Huang Z, 2004. The morphological characters and biology of *Serangium japonicum*. *Natural Enemies of Insects*, 26(1): 22–27. [姚松林, 任顺祥, 黄振, 2004. 日本刀角瓢虫形态特征及生物学特性研究. 昆虫天敌, 26(1): 22–27.]

Yao SL, Ren SX, Huang Z, 2005. Feeding behavior of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(3): 509–513. [姚松林, 任顺祥, 黄振, 2005. 烟粉虱天敌日本刀角瓢虫的捕食行为. 应用生态学报, 16(3): 509–513.]

Zhang JQ, Han BY, 1993. Study on the population dynamics of ladybeetles and their dominant species on tea plantation. *Newsletter of Sericulture and Tea*, (4): 15–16. [张建群, 韩宝瑜, 1993. 茶园瓢虫类群及其优势种种群动态的研究. 蚕桑茶叶通讯, (4): 15–16.]

Zhao JW, Zheng Y, Li LN, He YX, Weng QY, 2012. Toxicity of various classes of insecticides to *Serangium japonicum*, a predator of *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1577–1583. [赵建伟, 郑宇, 栗丽娜, 何玉仙, 翁启勇, 2012. 不同类型杀虫剂对烟粉虱捕食性天敌日本刀角瓢虫的毒力. 应用昆虫学报, 49(6): 1577–1583.]