

斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* Matsumura 生物防治研究进展*

蔡普默^{1,2**} 李萍³ 谢冬生⁴ 杨普云³ 于戈⁴ 杨建全^{1,2}
肖春⁵ 季清娥^{1,2***} 陈家骅^{1,2***}

(1. 联合国(中国)实蝇防控研究中心, 福州 350002; 2. 福建农林大学植物保护学院益虫研究所, 福州 350002;
3. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 4. 农业部对外经济合作中心, 北京 100026; 5. 云南农业大学, 昆明 650201)

摘要 本文简要概述了近年来国内外在斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* Matsumura 生物防治研究方面取得的主要进展, 内容包括自然天敌寄生蜂、捕食性天敌和病原微生物的研究与利用。目前, 国内外对斑翅果蝇生物防治的研究, 集中在寄生蜂资源调查和实验室内防治效果的研究, 目前发现与斑翅果蝇相关的寄生蜂种类最多的是开臂反颚茧蜂 *Asobara*。而对于捕食性天敌和病原微生物的研究还停留在实验室测试阶段, 尚未深入田间应用。本文还讨论了今后斑翅果蝇生物防治的研究方向, 以期对斑翅果蝇可持续控制提供生物防治方面的参考。

关键词 斑翅果蝇, 寄生蜂, 捕食性天敌, 病原微生物, 生物防治

Progress in research on the biological control of *Drosophila suzukii* Matsumura

CAI Pu-Mo^{1,2**} LI Ping³ XIE Dong-Sheng⁴ YANG Pu-Yun³ YU Ge⁴ YANG Jian-Quan^{1,2}
XIAO Chun⁵ JI Qing-E^{1,2***} CHEN Jia-Hua^{1,2***}

(1. UN(China) Center for Fruit Fly Prevention and Treatment, Fuzhou 350002, China; 2. Institute of Beneficial Insects, College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. The Ministry of Agriculture Agricultural Technology Promotion Center, Beijing 100125, China; 4. Foreign Economic Cooperation Center, Ministry of Agriculture, P. R. China, Beijing 100026, China; 5. Yunnan Agriculture University, Kunming 650201, China)

Abstract Recent advances in the biological control of *Drosophila suzukii* Matsumura are reviewed, including the application of parasitoids and predatory insects and entomopathogenic microorganisms. Research on the biological control of *D. suzukii* has focused on resource investigation and the control effect of parasitoids, most of the parasitoids of *D. suzukii* identified so far have been of the genus *Asobara*. Research on predatory natural enemies and entomopathogenic microorganisms has been conducted in the laboratory, rather than in the field. The future direction of research on the biological control of *D. suzukii* is discussed with the aim of providing a reference for the biological control of this pest.

Key words *Drosophila suzukii*, parasitoids, predatory enemies, entomopathogenic microorganism, biological control

斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* Matsumura, 又称铃木氏果蝇、樱桃果蝇, 英文名称 Spotted wing drosophila (SWD), 隶属双翅目 Diptera 环裂亚

目 Cyclorrhapha 果蝇科 Drosophilidae 果蝇属 *Drosophila* 水果果蝇亚属 Subgenus *Sophophora* 黑腹果蝇种组(林清彩等, 2013)。大多数果蝇

*资助项目 Supported projects: 农业部对外经济合作中心资助

**第一作者 First author, E-mail: caipumo@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: jqing@yeah.net; jhchen34@163.com

收稿日期 Received: 2016-07-29, 接受日期 Accepted: 2017-04-25

属昆虫主要以落果或烂果为生,一般认为不对经济作物有危害,然而斑翅果蝇则不同,除取食落地烂果和受损水果之外,因其雌虫的产卵器特化为坚硬的锯齿状,便于将卵产于成熟或即将成熟的樱桃、桃、葡萄、蓝莓、草莓、树莓、柿子、番茄等果皮较软的果实内,幼虫在果实内取食危害,造成严重经济损失(蔡普默等,2017)。

斑翅果蝇最早是由日本学者 Kanzawa 于 1916 年在日本山梨县发现,1931 年由 Matsumura 描述并命名(Kanzawa, 1936)。在亚洲,除了日本有分布之外,中国、朝鲜、韩国、北印度、巴基斯坦、缅甸、泰国、尼泊尔、马来西亚等均有分布的记录(林清彩等,2013;张开春等,2014)。在我国的福建、云南、浙江、广西、广东、台湾等省份和地区有分布记录(Lin *et al.*, 1977;薛万琦和赵建铭,1996),在新疆地区也有定殖的可能性(马聪慧等,2014)。近年来,国内对樱桃、蓝莓、杨梅以及葡萄受斑翅果蝇危害的报道日趋增多(蔡普默等,2017)。20 世纪 80 年代初,斑翅果蝇在美国夏威夷首次被发现,但并未发现严重危害。直至 2008 年,被报道入侵美国加利福尼亚州,此后在美国和欧洲迅速传播,目前美国的 35 个州、加拿大、墨西哥、巴西、法国、德国、意大利、瑞士、匈牙利、乌克兰、比利时、克罗地亚、希腊、斯洛文尼亚、奥地利、英国、荷兰等国均有分布(林清彩等,2013;张开春等,2014;Klick *et al.*, 2015; Diepenbrock *et al.*, 2016)。

现在防治斑翅果蝇仍是依赖化学方法,但由于斑翅果蝇寄主广泛,除了危害 18 个科 60 多种经济作物之外,还包括许多非经济作物(Lee *et al.*, 2015),繁殖能力强、世代周期短、传播速度快、栖息地复杂多样等特点(张开春等,2014;蔡普默等,2017),导致利用化学防治方法控制斑翅果蝇具有一定的局限性,且化学药剂本身对环境和人畜都易产生一些不良的影响,所以利用生物防治技术来控制斑翅果蝇与常用的防治措施相比具有一定的优势,此措施可以有效地降低果蝇在经济作物区和非经济作物区的种群,达到一劳永逸的效果,有望成为我国防治斑

翅果蝇重要而有效的手段。

近年来,开展斑翅果蝇自然天敌资源调查和相关防治效果研究的国家并不多,其中包括北美洲的美国、欧洲的法国、德国、意大利、西班牙、荷兰等,还有被认为是斑翅果蝇原产地——亚洲地区的日本、韩国和中国。其中日本学者对于斑翅果蝇自然天敌资源的研究起步最早,特别是寄生蜂应用方面取得不错的进展。本文综述了近年来国内外有关斑翅果蝇自然天敌资源,包括寄生蜂、捕食性天敌和病原微生物的研究与应用,旨在为我国研究利用该虫自然天敌开展生物防治工作提供参考和借鉴。

1 天敌的种类

利用致病性微生物、天敌昆虫等生物手段持续控制斑翅果蝇种群是有效手段之一。果蝇属昆虫生物防治主要利用寄生性天敌、捕食性天敌、竞争性生物和病原微生物等。国外利用天敌防治斑翅果蝇较早,其中以寄生性天敌研究居多,而我国近几年来才开展相关方面的研究工作。目前,在国内外研究发现斑翅果蝇的寄生蜂主要是茧蜂 Braconidae、环腹瘦蜂 Figitidae、金小蜂 Pteromalidae、锤角细蜂 Diapriidae,研究较多的且能较为成功控制斑翅果蝇的主要是蝇蛹金小蜂 *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani 和反颚茧蜂 *Asobara* sp.。此外,还有一些捕食性天敌如草蛉 *Chrysoperla carnea*、隐翅甲 *Atheta coriaria* 等也产生有效的控制作用;一些病原微生物的防治作用也逐渐展开研究,主要集中在已经商业化的产品防治效果研究,主要有线虫、真菌等的应用(表 1)。

2 寄生蜂的研究和利用

据报道,超过 50 种膜翅目寄生蜂能寄生多种果蝇,这些寄生蜂绝大多数属于茧蜂科的开臀反颚茧蜂属 *Asobara*、环腹瘦蜂科的 *Leptopilina* 属和 *Ganaspis* 属、锤角细蜂科的毛锤角细蜂属 *Trichopria* 和金小蜂科的俑小蜂属 *Spalangia* 和 *Pachycrepoideus* 属。其中,茧蜂科和环腹瘦蜂科

表 1 目前已知斑翅果蝇天敌种类
Table 1 Currently known nature enemies of *Drosophila suzukii*

天敌种类	Naure enemy species	备注 Note	参考文献 References		
寄生蜂 Parasitoids	茧蜂科 Braconidae	钝齿反颚茧蜂 <i>A. tabida</i>	实验室内能产卵, 不能完成发育, 但在田间观察中, 发现能从 <i>D.suzukii</i> 蛹中羽化	Mitsui and Achterberg, 2007; Chabert <i>et al.</i> , 2012; Nomano <i>et al.</i> , 2015	
		橘红开臂反颚茧蜂 <i>A. rufescens</i>	实验室内能产卵, 不能完成发育, 但在田间观察中, 发现能从 <i>D.suzukii</i> 蛹中羽化	Nomano <i>et al.</i> , 2015	
		<i>A. rossica</i>	实验室内能产卵, 不能完成发育, 但在田间观察中, 发现能从 <i>D.suzukii</i> 蛹中羽化	Nomano <i>et al.</i> , 2015	
		侧齿开臂反颚茧蜂 <i>A. pleuralis</i>	日本种群不能在 <i>D.suzukii</i> 上产卵; 印度尼西亚种群则可以产卵	Kacsoh and Schlenke, 2012; Nomano <i>et al.</i> , 2015	
		日本开臂反颚茧蜂 <i>A. japonica</i>	能寄生, 能完成发育	Nomano <i>et al.</i> , 2015; Daane <i>et al.</i> , 2016	
		<i>Asobara</i> sp. TS1	能寄生	Nomano <i>et al.</i> , 2015	
		<i>Asobara</i> sp. TK1	目前只在 <i>D.suzukii</i> 寄主中发现	Nomano <i>et al.</i> , 2015	
		<i>Asobara</i> sp. KG1 aff. <i>leverii</i>	未测试	Nomano <i>et al.</i> , 2015	
		<i>A. brevicauda</i>	新种, 在韩国, <i>D.suzukii</i> 寄主中发现	Guerrieri <i>et al.</i> , 2016	
		<i>A. elongata</i>	新种, 在中国云南, <i>D.suzukii</i> 寄主中发现	Guerrieri <i>et al.</i> , 2016	
		<i>A. mesocauda</i>	新种, 在中国云南, <i>D.suzukii</i> 寄主中发现	Guerrieri <i>et al.</i> , 2016	
		<i>A. unicolorata</i>	新种, 在中国云南, <i>D.suzukii</i> 寄主中发现	Guerrieri <i>et al.</i> , 2016	
		<i>A. triangulata</i>	新种, 在中国云南, <i>D.suzukii</i> 寄主中发现	Guerrieri <i>et al.</i> , 2016	
		环腹瘿蜂科 Figitidae	<i>L. heterotoma</i>	能寄生, 不能完成发育	Chabert <i>et al.</i> , 2012; Annette <i>et al.</i> , 2015
			日本细毛环腹瘿蜂 <i>L. japonica</i>	能寄生, 并完成发育	Kasuya <i>et al.</i> , 2013; Daane <i>et al.</i> , 2016
匙胸瘿蜂 <i>L. bouardi</i>	能寄生, 但不能完成发育		Chabert <i>et al.</i> , 2012; Annette <i>et al.</i> , 2015		
<i>L. japonica formosana</i>	在韩国, <i>D.suzukii</i> 寄主中发现		Daane <i>et al.</i> , 2016		
<i>G.xanthopoda</i>	能寄生, 并完成发育, 由 <i>D. suzukii</i> 饲养得到的寄生蜂高度专一性		Kasuya <i>et al.</i> , 2013; Guerrieri <i>et al.</i> , 2016		
<i>G. brasiliensis</i>	能寄生, 并完成发育		Daane <i>et al.</i> , 2016		
金小蜂科 Pteromalidae	蝇蛹金小蜂 <i>P. vindemmiae</i>	能寄生, 并完成发育, 但田间的应用效果不佳	Brown <i>et al.</i> , 2011; Chabert <i>et al.</i> , 2012; Stacconi <i>et al.</i> , 2013, 2015; Jentsch, 2014; Daane <i>et al.</i> , 2016; Wang <i>et al.</i> , 2016a, 2016b		
锤角细蜂科 Diapriidae	毛角锤角细蜂 <i>T. drosophilae</i>	能寄生, 并完成发育; 在草莓温室中能有效控制 <i>D.suzukii</i> 的种群	Chabert <i>et al.</i> , 2012; Jentsch, 2014; Trottin <i>et al.</i> , 2014; Stacconi <i>et al.</i> , 2013, 2015; Daane <i>et al.</i> , 2016; Wang <i>et al.</i> , 2016a, 2016b; 王燕等, 2016		

续表 1 (Table 1 continued)

天敌种类 Naure enemy species	备注 Note	参考文献 References
捕食性天敌 Predatory insects	普通草蛉 <i>C. carnea</i>	捕食 <i>D.suzukii</i> 的卵和蛹 Annette <i>et al.</i> , 2015
	蚁形隐翅甲 <i>A. coriaria</i>	能捕食 <i>D.suzukii</i> Cuthbertson <i>et al.</i> , 2014a; Woltz <i>et al.</i> , 2015; Renkema <i>et al.</i> , 2015
	林地花螬 <i>A. nemoralis</i>	实验室条件下造成 45% <i>D.suzukii</i> 死亡, 但田间效果未知 Cuthbertson <i>et al.</i> , 2014; Woltz <i>et al.</i> , 2015; Renkema <i>et al.</i> , 2015
病原微生物 Entomopathogenic microorganism	金龟子绿僵菌 <i>M. anisopliae</i>	造成 <i>D.suzukii</i> 57% 的死亡率 Woltz <i>et al.</i> , 2015; Naranjo-Lázaro <i>et al.</i> , 2014
	球孢白僵菌 <i>B. bassiana</i>	不同的球孢白僵菌产品对 <i>D.suzukii</i> 都有抑制作用 Cuthbertson <i>et al.</i> , 2014; Jentsch, 2014; Haye <i>et al.</i> , 2016
	玫烟色棒束孢 <i>I. fumosorosea</i>	不同品系造成 <i>D.suzukii</i> 死亡率不同, 最高为 87% Naranjo-Lázaro <i>et al.</i> , 2014
	锯蜂线虫 <i>S. kraussei</i>	55% <i>D.suzukii</i> 蛹死亡 Cuthbertson 未发表的数据
	嗜菌异小杆线虫 <i>H. bacteriophora</i>	95% <i>D.suzukii</i> 幼虫死亡 Cuthbertson 未发表的数据

的寄生蜂为幼虫寄生蜂, 而锤角细蜂科和金小蜂科的寄生蜂为蛹寄生蜂 (Mitsui and Achterberg, 2007; Ideo *et al.*, 2008; Cini *et al.*, 2012; Kacsoh and Schlenke, 2012; Kasuya *et al.*, 2013)。据统计, 已知斑翅果蝇寄生蜂种类有 21 种, 国外利用且研究较多的主要是幼虫寄生蜂反颚茧蜂和蛹寄生蜂蝇蛹金小蜂。不同种寄生蜂防治斑翅果蝇的效果不一, 且不同地区的同种寄生蜂对斑翅果蝇的防治效果也表现出一定差异。

Chabert 等 (2012) 在实验室条件下, 研究从田间采集到 5 种果蝇属寄生蜂蝇蛹金小蜂、*Trichopria drosophilae* Perkins、*Leptopilina heterotoma* Thomson、匙胸瘿蜂 *L. boulandi* Barbotin, Carton and Keiner-Pillault 和钝齿反颚茧蜂 *Asobara tabida* Nees von Esenbeck 对斑翅果蝇的寄生效能, 发现只有 2 种蛹寄生蜂, 蝇蛹金小蜂和 *T. drosophilae* 能够成功地在斑翅果蝇体内完成发育, 且蝇蛹金小蜂对斑翅果蝇的寄生率高达 57%。在意大利、西班牙、加拿大、美国和亚洲地区, 也出现关于蝇蛹金小蜂和 *T. drosophilae* 能够成功寄生斑翅果蝇, 甚至控制其种群增长的相关报道 (Wang and Messing, 2004;

Stacconi *et al.*, 2013, 2015; Gabarra *et al.*, 2014; Daane *et al.*, 2016)。如将蝇蛹金小蜂和斑翅果蝇成虫放在同一个生态笼中, 内供有寄主樱桃, 在短短一个月内, 斑翅果蝇种群数量骤降; 另外, 在实验室条件下, 斑翅果蝇蛹在供给蝇蛹金小蜂寄生后, 羽化率骤降为 11%, 而相同条件下, 斑翅果蝇蛹未供寄生蜂寄生的羽化率则高达 85% (Wang and Messing, 2004), 且蝇蛹金小蜂偏好寄生在斑翅果蝇蛹的发育后期 (Stacconi *et al.*, 2013)。蝇蛹金小蜂作为一种外寄生蜂, 寄生时先对寄主注射毒液使其麻痹, 然后再将卵产在果蝇的蛹壳上 (Wang and Messing, 2004), 相反 *T. drosophilae* 是一种内寄生蜂, 其麻醉寄主之后直接将卵产在寄主体内 (Wang *et al.*, 2016b)。Wang 等 (2016a) 报道这两种寄生蜂都能轻易地搜寻并寄生藏在水果内部或者是埋在土里的斑翅果蝇蛹, 且 *T. drosophilae* 比蝇蛹金小蜂更高效; 在研究它们的种间竞争关系时, 发现这 2 种寄生蜂都能区别先前被另外一种寄生蜂寄生过的斑翅果蝇蛹; 蝇蛹金小蜂和 *T. drosophilae* 一生中分别可以在斑翅果蝇上产 68.4 个和 63.8 个后代 (Wang *et al.*, 2016b)。

蝇蛹金小蜂常用于蝇类的生物防治,主要作为家蝇 *Musca domestica* 和厩螫蝇 *Stomoxys calcitrans* 的有效生防因子。据报道,蝇蛹金小蜂是 60 多种蝇类蛹的抑生型 (Idiobiont) 寄生蜂,大部分是实蝇,少部分是果蝇,目前广泛分布于北美、非洲、亚洲、欧洲等 60 多个国家和地区 (赵海燕等, 2015)。但笔者认为蝇蛹金小蜂并不适合应用于斑翅果蝇生物防治的大量释放,因为根据 Stacconi 田间试验结果表明,蝇蛹金小蜂对斑翅果蝇的寄生效果几乎可以忽略,且众所周知,蝇蛹金小蜂是一种广谱性寄生蜂,甚至会寄生一些益虫 (Stacconi *et al.*, 2013)。而另一种蛹寄生蜂 *T. drosophilae* (Trottin 等 (2014) 人也曾在报告中提到,在栽种草莓的温室中大量释放该寄生蜂能有效寄生斑翅果蝇蛹。因此,笔者认为这一种寄生蜂对斑翅果蝇的控制作用具有一定的优势,在今后的可持续控制中有很大的利用潜力,可重点引进、保护、扩大繁殖和田间释放。

在 Chabert 等 (2012) 的报道中,其他两种环腹瘦蜂科幼虫寄生蜂 *L. heterotoma* 和匙胸瘦蜂也能寄生斑翅果蝇,寄生率分别为 67% 和 95%,但这两种寄生蜂并不能在斑翅果蝇上完成发育,Annette 等 (2015) 也报道德国的 *L. heterotoma* 种群不能在斑翅果蝇体内完成发育。Chabert 等 (2012) 发现这两种寄生蜂不能在斑翅果蝇幼虫体内完成发育,主要因为斑翅果蝇幼虫对它们产生较强的免疫反应,其对这两种寄生蜂 *L. heterotoma* (74%) 和匙胸瘦蜂 (52%) 卵的包囊率相当高。在欧美国家,作为入侵种的斑翅果蝇被报道对当地寄生蜂具有较强的免疫防御反应并非个例,如 Poyet 等专家 (2013) 也报道,当斑翅果蝇幼虫暴露于寄生蜂时,欧洲的斑翅果蝇幼虫中与免疫反应有关的血细胞数量比日本的斑翅果蝇多;美国斑翅果蝇中与免疫反应有关的血细胞数量比黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* Meigen 多 5 倍 (Kacsoh and Schlenke, 2012)。同样地,欧洲本地的钝齿反颚茧蜂对斑翅果蝇的寄生率很低,为 1.25%

(Chabert *et al.*, 2012),这与日本学者 Mitsui 和 Achterberg (2007) 的报道日本钝齿反颚茧蜂的高寄生率不符合。显然,入侵欧洲和美国地区的斑翅果蝇对各自本地寄生蜂表现出较强的抗性,笔者认为当地寄生蜂还未适应此外来入侵生物,这很可能是欧洲和北美洲地区斑翅果蝇入侵并暴发的一个重要因素。生物成功入侵是由许多重要的因素造成的,天敌释放假说 (Enemy release hypothesis, ERH) 被普遍认可。这个假说认为外来入侵物种能够在它的非原产地并成功定殖,是由于它的扩散地缺乏相应有效的自然天敌,如病原菌、捕食者和寄生蜂等,或者该地的自然天敌对其控制有效性低 (Chabert *et al.*, 2012)。因此,在其原产地开展寄生蜂资源调查与研究,对利用生物防治策略控制斑翅果蝇具有重要积极意义。

Kasuya 等 (2013) 在日本野外樱桃园采样时,发现环腹瘦蜂科 *Leptopilina* 属另一种幼虫寄生蜂日本细毛环腹瘦蜂 *L. japonica* Novkovic & Kimura 也能寄生斑翅果蝇,目前关于该寄生蜂田间防治效果仍不清楚,利用该蜂进行斑翅果蝇的生物防治还需要进行探索。此外环腹瘦蜂科的另一个属 *Ganaspis* 的寄生蜂对斑翅果蝇也具有防治效果。Kasuya 等 (2013) 发现从斑翅果蝇中饲养得到的 *G. xanthopoda* Ashmead 在田间能够搜寻并寄生树上樱桃 *Prunus donarium* Sieb. 中的斑翅果蝇幼虫,不过却不能寄生在果蝇培养基中的斑翅果蝇幼虫和以水果饲养的其他果蝇幼虫,表现出高度的专一性。有趣的是,从另外一种寄主土黄果蝇 *Drosophila lutescens* Okada 中饲养得到的 *G. xanthopoda* 能寄生除斑翅果蝇之外的其他果蝇,如土黄果蝇、*D. rufa*、*D. biauraria* 和叔白颜果蝇 *D. triauraria* 等 (Mitsui and Kimura, 2010)。由于从斑翅果蝇中饲养得到的 *G. xanthopoda* 对斑翅果蝇表现出高度专一性,笔者认为由斑翅果蝇寄主建立起的 *G. xanthopoda* 品系可作为斑翅果蝇生物防治最佳的选择之一。

由于斑翅果蝇在欧美地区的暴发危害,掀起了国内外对该害虫寄生性天敌的研究热潮。在寄

生蜂资源调查过程中,发现斑翅果蝇相关的寄生蜂大多数为茧蜂科的开臂反颚茧蜂属,总计有 13 种,其中 5 个新种,少数为常见的寄生蜂如蝇蛹金小蜂、*G. xanthopoda* 等 (Kasuya *et al.*, 2013; Nomano *et al.*, 2015; Daane *et al.*, 2016; Guerrieri *et al.*, 2016)。Hoelmer 等在韩国和中国云南省,用斑翅果蝇危害的香蕉作为诱饵,后将收集到的蛹置于实验室,饲养得到幼虫寄生蜂日本开臂反颚茧蜂 *A. japonica* Belokobylskij、长腹开臂反颚茧蜂 *A. leveri* Nixon、*G. xanthopoda*、*G. brasiliensis* Ihering、日本细毛环腹瘦蜂、*L. japonica formosana* Novkovic & Kimura 和 5 个开臂反颚茧蜂属新种 *A. brevicauda* Guerrieri and van Achterberg、*A. elongata* Guerrieri and van Achterberg、*A. mesocauda* Guerrieri and van Achterberg、*A. unicolorata* Guerrieri and van Achterberg 和 *A. triangulata*、以及两种蛹寄生蜂,蝇蛹金小蜂和 *T. drosophilae* (Daane *et al.*, 2016; Guerrieri *et al.*, 2016)。Daane 等 (2016) 在实验室测试中,确定日本开臂反颚茧蜂、*G. brasiliensis*、日本细毛环腹瘦蜂、蝇蛹金小蜂和 *T. drosophilae* 都能寄生斑翅果蝇并成功羽化,寄生率最高达 17%。

Nomano 等 (2015) 利用不同诱饵 (香蕉、蘑菇和腐烂的叶子) 于日本多个地区的樱桃 *P. donarium* 和越桔 *Vaccinium vitis-idaea* Linn. 园中同样采集到 8 种开臂反颚茧蜂属寄生蜂,分别为日本开臂反颚茧蜂、侧齿开臂反颚茧蜂 *A. pleuralis* (Ashmead)、*A. rossica* Belokobylskij、橘红开臂反颚茧蜂 *A. rufescens* (Förster)、钝齿开臂反颚茧蜂以及 3 种尚未描述的寄生蜂 *Asobara* sp. TK1、*Asobara* sp. KG1 aff. *leveri* 和 *Asobara* sp. TS1。在实验室中建立种群,发现侧齿开臂反颚茧蜂不能在斑翅果蝇体内产卵,而印度尼西亚的侧齿开臂反颚茧蜂种群与日本种群表现不一致,能产卵但不能存活 (Kacsoh and Schlenke, 2012); 日本开臂反颚茧蜂和 *Asobara* sp. TS1 或多或少能成功寄生斑翅果蝇; 而钝齿开臂反颚茧蜂、橘红开臂反颚茧蜂和 *A. rossica* 能在斑翅果蝇中产

卵,但不能存活。然而 Nomano 等 (2015) 在斑翅果蝇发生区田间发现这 3 种寄生蜂都能从斑翅果蝇蛹中羽化出,与 2007 年日本学者 Mitsui 的报道相符。笔者认为这 3 种寄生蜂田间和实验室条件下表现不一致,可能原因是首先,寄生斑翅果蝇幼虫的龄期不一致,寄生更早龄期的幼虫可能更有利于寄生蜂在斑翅果蝇体内生存; 其次,可能有重寄生和偷盗寄生现象发生,不利于寄生蜂在寄主体内生存。笔者认为,除了 *Asobara* sp. TK1 之外的 7 种寄生蜂均不适合用于斑翅果蝇生物防治,因为这 7 种寄生蜂是广谱性寄生蜂,且主要搜寻、寄生以腐烂水果为生的果蝇,而斑翅果蝇幼虫一般钻蛀在新鲜水果中,这 7 种寄生蜂和寄主斑翅果蝇幼虫处在不同的生态位中。同时,在 Nomano 等 (2015) 田间采样过程中, *Asobara* sp. TK1 只在危害樱桃的斑翅果蝇中采集得到。遗憾的是,对该寄生蜂的生态学和其对斑翅果蝇的适应性还知之甚少,且该寄生蜂还未建立实验室种群,因此将 *Asobara* sp. TK1 应用于斑翅果蝇的生物防治还任重道远。

综上,结合国外专家在日本、韩国和中国云南省的调查结果推测,在斑翅果蝇原产地对寄生蜂进行资源调查研究,很有可能找到与斑翅果蝇密切相关的寄生蜂或者新种。此外,由于入侵欧洲和美国的斑翅果蝇对其当地寄生蜂表现出一定的抗性,因此,开展斑翅果蝇原产地的寄生蜂种群资源调查和防治效果研究具有重要实际意义,亚洲地区的寄生蜂可能更适合引入欧洲和美洲入侵危害区,用于防治斑翅果蝇。

3 捕食性天敌的研究和利用

关于利用捕食性天敌防治斑翅果蝇的研究不多,且防治效果没有寄生性天敌显著,但其可作为斑翅果蝇生物防治的一种辅助手段。由于斑翅果蝇大肆入侵欧美,国外近年来纷纷开展与斑翅果蝇有关的捕食性天敌的相关研究。目前,国内还没有与其相关捕食性天敌的相关研究报道。

Walsh 等 (2011) 报道在美国的树莓园中某些花蝽科 Anthocoridae 小花蝽属 *Orius* 的捕食蝽

能够捕食斑翅果蝇。当前市场可购买得到的一些捕食蝽对于斑翅果蝇各虫态的捕食效能正在实验室中进行测试,例如美洲小花蝽 *Orius majusculus*、无毛小花蝽 *O. laevigatus* 和狡小花蝽 *O. insidiosus*,但研究发现它们对斑翅果蝇种群的抑制效果并不理想 (Cuthbertson *et al.*, 2014a; Malagnini *et al.*, 2014; Annette *et al.*, 2015; Woltz *et al.*, 2015)。在实验室中,发现鞘翅目 Coleoptera 隐翅甲科 Staphylinidae 蚁形隐翅甲 *A. coriaria* 和半翅目 Hemiptera 花蝽科 Anthocoridae 的林地花蝽 *Anthocoris nemoralis* 在一定程度上也能捕食斑翅果蝇 (Cuthbertson *et al.*, 2014a; Renkema *et al.*, 2015; Woltz *et al.*, 2015)。当斑翅果蝇暴露于林地花蝽 5 d 之后,死亡率达到 45%,显然林地花蝽有抑制斑翅果蝇种群的潜力,但是在实际田间应用中,能否有效地控制斑翅果蝇种群仍不清楚 (Cuthbertson *et al.*, 2014a)。2015 年,Annette 等 (2015) 报告称普通草蛉 *C. carnea* 不同龄期的幼虫在实验室条件下,能够捕食在培养基中或者樱桃水果中的斑翅果蝇的卵和蛹。

由于目前尚未找到对斑翅果蝇具有高效且能大量繁殖的捕食性天敌,因此该方面是一个相对薄弱的环节,也是今后可以发展的方向,值得注意的是,目前许多捕食性天敌都已开发出抗药性品系,如目前已成功筛选出抗亚胺硫磷的尼氏钝绥螨品系、抗二氯苯醚菊酯及西维因的西方盲走蝽品系、抗二氯苯醚菊酯的伪钝绥螨品系,较好地保护了这些天敌在田间的定殖 (章玉苹和李敦松, 2007)。若在斑翅果蝇的生物防治过程中,也能找到高效的捕食性天敌,并筛选出抗药品系,那么释放到田间增殖则具有更大的潜力。

4 病原微生物的研究和利用

4.1 昆虫病原线虫

应用病原线虫防治害虫历史已久,其具有主动搜寻昆虫寄主、杀虫范围广泛、对害虫毒性高、使用安全、易于人工培养等特点,目前应用最广的主要是斯氏线虫和嗜食异杆线虫。从 20 世纪

80 年代开始,我国便引入昆虫病原线虫,并进行大量室内和田间试验,并在多种重要害虫防治中取得成功 (雷仲仁等, 2016)。但目前国内对与斑翅果蝇相关病原线虫的研究匮乏,而国外已经开始与防治斑翅果蝇有效病原线虫的筛选,主要是市面上能够采购到的病原线虫杀虫产品,其中包括小卷蛾斯氏线虫 *Steinernema carpocapsae*、夜蛾斯氏线虫 *S. feltiae*、锯蜂线虫 *S. kraussei* 和嗜菌异小杆线虫 *Heterorhabditis bacteriophora*,但是目前效果均不理想 (Cuthbertson *et al.*, 2014b; Woltz *et al.*, 2015)。Cuthbertson 曾用锯蜂线虫处理斑翅果蝇,发现其蛹的死亡率达 55%,而用嗜菌异小杆线虫去防治斑翅果蝇,其幼虫死亡率高达 95%,表明嗜菌异小杆线虫和锯蜂线虫对控制斑翅果蝇种群还是具有一定的潜力,但田间实际应用效果不得而知 (Cuthbertson 未发表的数据)。笔者认为由于线虫的侵染能力与环境条件密切相关,通常线虫利于在较高湿度下生存,故田间应用线虫就有一定的局限性。可以选择在春季雨水多、土壤湿度大时应用线虫对斑翅果蝇进行控制,但由于斑翅果蝇在南方一年四季都存在,单一使用无法完全控制斑翅果蝇的为害。因此,应用昆虫病原线虫控制斑翅果蝇,可与其它措施如农业防治、物理防治、食物诱剂、其他天敌等结合使用。

4.2 病原真菌

昆虫致病真菌是能寄生昆虫的一类真菌,具有显著的流行潜力,能够寄生 800 多种昆虫、蜘蛛和螨类。目前已知研究和应用最广泛的是球孢白僵菌 *Beauveria bassiana*,其杀虫谱广,对多达 700 种的昆虫有侵染致病作用,目前我国登记注册的球孢白僵菌产品有 13 种 (雷仲仁等, 2016)。国内利用虫生真菌去防治斑翅果蝇的研究仍空白,而在国外已经开始实验室条件下几种主要虫生真菌属对斑翅果蝇防治效果的试验,其中包括绿僵菌属 *Metarhizium*、白僵菌属 *Beauveria*、蜡蚧菌属 *Lecanicillium*、棒束孢属 *Isaria*、拟青霉属 *Paecilomyces* 和多毛菌属 *Hirsutella* (Cuthbertson *et al.*, 2014b; Naranjo-

Lázaro *et al.*, 2014; Annette *et al.*, 2015; Woltz *et al.*, 2015)。将球孢白僵菌的不同产品如 (Mycotrol-O、Naturalis、Botanigard 等) 直接喷洒在斑翅果蝇成虫上, 造成其不同程度的死亡, 死亡率最高达 80% (Cuthbertson *et al.*, 2014a; Jentsch, 2014; Gargani *et al.*, 2014; Woltz *et al.*, 2015)。Woltz 等 (2015) 发现金龟子绿僵菌直接喷洒在斑翅果蝇成虫上, 也能显著抑制其存活。Naranjo-Lázaro 等 (2014) 用 3 种不同的玫瑰色棒束孢 *I. fumosorosea* 的品系 (Pf21, Pf17, Pf15) 和一种金龟子绿僵菌 *M. anisopliae* 的品系 (Ma59) 在试管内处理斑翅果蝇, 发现 Pf21 造成斑翅果蝇 85% 的死亡率, Pf17、Ma59 和 Pf15 造成斑翅果蝇的死亡率分别为 60%、57% 和 12%。显然, 在实验室条件下, 那些已经商业化的虫生真菌产品对斑翅果蝇的种群具有显著抑制作用, 在田间应用中具有巨大的潜力。笔者认为虽然利用虫生真菌防治斑翅果蝇是一种环境友好型的方法, 但也有一定的缺陷, 首先真菌在田间持久性差, 作用时间长、重组工程菌株遗传性状不稳定、对高龄幼虫不敏感以及药效易受外界因素影响等; 再次, 例如金龟子绿僵菌对斑翅果蝇繁殖力没有影响, 且不能快速地杀死果蝇, 而斑翅果蝇的生长周期短, 等到该真菌起作用时, 下一代果蝇已经羽化, 对该虫的田间防治可能起不到实际性的效果 (Woltz *et al.*, 2015), 虫生真菌产品对斑翅果蝇的田间防治效果仍需要大量实验验证。另外, 针对上述潜在的缺陷, 今后可将研究重点集中在增效物质添加、高毒力菌株筛选、不同类型微生物农药的配合施用等方面, 对虫生真菌品种或者使用方法进行优化后, 或许可以结合到现有的斑翅果蝇防治手段中。

随着分子生物学技术的发展和成熟, 将分子生物技术应用到害虫防治的报道日渐增多, 如转基因抗虫作物品种的培育和 dsRNA 制剂的研发等 (罗凯等, 2015)。酿酒酵母 *Saccharomyces cerevisiae* 是从斑翅果蝇寄主水果分离得到的一种酵母, 是吸引该果蝇的主要微生物之一。Murphy 等 (2016) 设计转基因的酿酒酵母品系

使其能够表达干扰斑翅果蝇 γ -微管蛋白生成的 dsRNA, 后将此转基因酵母品系饲喂斑翅果蝇, 发现喂食后的斑翅果蝇幼虫生存率、成虫活动能力和繁殖力都显著降低。而且该转基因酵母品系对斑翅果蝇具有物种特异性, 对非靶标益虫没有不良影响。虽然该研究目前仍处于实验室测试阶段, 对于田间应用的效果仍不清楚, 但该研究首次发现酵母菌可以用来传递 dsRNA 防治靶标害虫, 给害虫生物防治提供了一个新思路。

5 结语与展望

斑翅果蝇繁殖能力强, 平均一生产卵将近 400 粒; 世代周期短, 其从卵发育到成虫平均仅需要 10 d; 寄主范围广, 栽种在经济作物周围的其他植物可以为其提供避难所, 容易造成其反复入侵; 栖息地复杂多样, 从山地到海岸都有该虫的分布; 危害隐蔽性强, 产卵孔在肉眼下很难被发现, 综上所述原因可见, 使用传统化学农药难以取得理想的防治效果, 还容易产生“3R”等一系列环境问题, 因此生物防治成为控制斑翅果蝇最为理想的方法 (蔡普默等, 2017)。虽然生物防治手段存在自然天敌饲养、繁殖与储存技术难度高, 不易掌握, 还有田间见效慢、易受生态环境和气候因子影响的问题, 但随着人们生活水平和环保意识的不断提高, 对水果质量和环境质量的要求也越来越高, 对斑翅果蝇进行生物绿色防治将是未来综合防治的主要发展方向。斑翅果蝇的可持续控制是一项长期的工作, 在斑翅果蝇持续控制研究中, 单纯依靠生物防治控制斑翅果蝇也是不实际的。经过国内外专家多年的研究, 已提出一套完善成熟的害虫综合防治措施, 包括利用引诱剂监测及时预测预报; 及时、彻底清理落果烂果; 食物引诱剂诱杀; 天敌的保护与利用等措施, 这些措施可以推广应用到斑翅果蝇的持续防治中。

早在 20 年前, 该虫已经被报道分布于我国的 23 个省市地区, 但却极少有关于其危害经济水果的报道, 可能原因是: 1. 人们普遍认为果蝇属昆虫只以腐烂水果为生, 对斑翅果蝇为害的

认识不深入,由其引起的果实腐烂很大可能被误认为其他类害虫引起;2. 作为斑翅果蝇原产地之一,我国有着丰富的物种资源,可能目前在自然环境中,它的各类天敌能够有效地控制其种群数量,从而避免其大规模暴发为害。根据国外专家在中国云南省、日本和韩国地区对斑翅果蝇寄生蜂资源的调查结果,发现了5种与斑翅果蝇相关的开臂反颚茧蜂属寄生蜂新种和若干种对其有控制效果的寄生蜂,由此推测,在其原产地对其自然天敌进行资源调查研究,很有可能找到与高效控制斑翅果蝇相关的寄生蜂或者其他天敌资源。此外,在实验室条件下,入侵欧洲和美国的斑翅果蝇对当地一些寄生蜂表现出一定的抗性,如对斑翅果蝇寄生率低或者不寄生,寄生后不能完成发育等,因此,笔者认为来源于斑翅果蝇原产地的寄生蜂种群可能更适合引进到入侵地用于防治斑翅果蝇,此凸显了在我国开展斑翅果蝇自然天敌资源调查和实际应用研究的重要性和迫切性。

虽然斑翅果蝇的最早报道距今有100年的历史,但我国关于该虫的研究工作严重滞后,特别是生物防治领域,远远不能应对该虫可能引起的潜在危害。关于该虫的基础研究工作目前大多集中日本、美国和一些欧洲国家,主要集中在斑翅果蝇化学生态学、基因组学、行为学、生理学、生物防治等方面。我们收集整理了近几年与斑翅果蝇相关自然天敌资源的研究工作资料,包括天敌寄生蜂、捕食性天敌、病原线虫、真菌等,以期为我国开展相关研究及防治工作提供技术资料,也期望能够唤起国内同行和有关部门对该虫有效绿色防治措施研究的重视。

目前,相较于我国,国外对斑翅果蝇自然天敌的基础研究较多,但对其实际田间应用研究甚少。因此,今后应加强该方面的研究,包括本地天敌的保护、工厂化繁殖、大量人工释放,外来天敌的引进,自然天敌与其他生物防治技术的配合应用等。生物防治技术已经成为缓解当前世界面临的五大危机的战略决策之一。今后的生物防治领域发展方向,将不仅注重传统的生物防治,

而且尤其注重分子生物学的研究,特别是植物-害虫-天敌三者之间的相互作用领域,例如培育抗性品系,目前已培育出了抗橘小实蝇的香瓜品种、番石榴品种、芒果品种(章玉苹和李敦松,2007)。总体而言,对于斑翅果蝇这类的蛀果害虫,利用生物防治技术进行可持续控制是具有广阔应用前景的,并且今后应进一步向分子生物学水平发展。

参考文献 (References)

- Annette H, Regina GK, Dietrich S, 2015. Biological control of *Drosophila suzukii* in Germany? Current status and future prospects. German-Chinese Workshop on Prevention and Control of Spotted Wing Vinegar Fly. 16–20 June 2015. Beijing, China.
- Brown, PH, Shearer PW, Miller JC, Thistlewood HMA, 2011. The discovery and rearing of a parasitoid (Hymenoptera: Pteromalidae) associated with spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii* in Oregon and British Columbia. ESA annual meetings, Reno NV, USA.
- Cai PM, Xiang HJ, Yi CD, Wang C, Zhang QW, Yang JQ, Ji QE, Chen JH, 2017. Advances in and research on the mechanism of *Drosophila suzukii* Matsumura infesting healthy fruit. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 39(2): 295–301. [蔡普默, 向候君, 仪传冬, 王聪, 张琪文, 杨建全, 季清娥, 陈家骅, 2017. 斑翅果蝇危害健康水果机理研究进展. *江西农业大学学报*, 39(2): 295–301.]
- Chabert S, Allemand R, Poyet M, Eslin P, Gibert P, 2012. Ability of European parasitoids (Hymenoptera) to control a new invasive Asiatic pest, *Drosophila suzukii*. *Biological Control*, 63(1): 40–47.
- Cini A, Ioriatti C, Anfora G, 2012. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bulletin of Insectology*, 65(1): 149–160.
- Cuthbertson AG, Blackburn LF, Audsley N, 2014a. Efficacy of commercially available invertebrate predators against *Drosophila suzukii*. *Insects*, 5(4): 952–960.
- Cuthbertson AG, Collins DA, Blackburn LF, Audsley NA, Bell HA, 2014b. Preliminary screening of potential control products against *Drosophila suzukii*. *Insects*, 5(2): 488–498.
- Daane KM, Wang XG, Biondi A, Miller B, Miller JC, Riedl H, Shearer PW, Guerrieri E, Giorgini M, Buffington M, Achterberg KV, Song YH, Kang TG, Yi HB, Jung CL, Lee DW,

- Chung BK, Hoelmer KA, Walton VM, 2016. First exploration of parasitoids of *Drosophila suzukii* in South Korea as potential classical biological agents. *Journal of Pest Science* 89(3): 1–13.
- Diepenbrock LM, Rosensteel DO, Hardin JA, Sial AA, Burrack HJ, 2016. Season-long programs for control of *Drosophila suzukii* in southeastern U.S. blueberries. *Crop Protection*, 81: 76–84.
- Gabarra R, Riudavets J, Rodríguez GA, Pujade-Villar J, Arnó J, 2014. Prospects for the biological control of *Drosophila suzukii*. *Biocontrol*, 60(3): 1–9.
- Gargani E, Tarchi F, Frosinini R, Mazza G, Lazzeri L, Matteo R, Simoni S, 2014. Evaluation of some organic products for spotted wing *Drosophila* control. Proceeding of IOBC VIII Workshop on Integrated Soft Fruit Production, Trento, 26–28 May 2014. 84–85.
- Guerrieri E, Giorgini M, Cascone P, Carpenito S, van Achterberg C, 2016. Species diversity in the parasitoid genus *Asobara* (Hymenoptera: Braconidae) from the native Area of the fruit fly pest *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *PLoS ONE*, 11(2): e0147382.
- Haye T, Girod P, Cuthbertson AGS, Wang XG, Daane KM, Hoelmer KA, Baroffio C, Zhang JP, Desneux N, 2016. Current SWD IPM tactics and their practical implementation in fruit crops across different regions around the world. *Journal of Pest Science*, 89(3): 1–9.
- Ideo S, Watada M, Mitsui H, Kimura TM, 2008. Host range of *Asobara japonica* (Hymenoptera: Braconidae), a larval parasitoid of drosophilid flies. *Entomological Science*, 11(1): 1–6.
- Jentsch P, 2014. Late season spotted wing *Drosophila* management in NY. <http://blogs.cornell.edu/jentsch/files/2014/01/Late-Season-Spotted-Wing-DrosophilaManagement-in-NY.EXPO.Final-1tu4ygs.pdf>
- Kacsoh BZ, Schlenke TA, 2012. High hemocyte load is associated with increased resistance against parasitoids in *Drosophila suzukii*, a relative of *D. melanogaster*. *PLoS ONE*, 7(4): e34721.
- Kanzawa T, 1936. Studies on *Drosophila suzukii* Mats. *Japanese Plant Protection*, 23: 66–70, 127–132, 183–191.
- Kasuya N, Mitsui H, Ideo S, Watada M, Kimura MT, 2013. Ecological, morphological and molecular studies on *Ganaspis* individuals (Hymenoptera: Figitidae) attacking *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Applied Entomology & Zoology*, 48(1): 87–92.
- Klick J, Yang WQ, Walton VM, Dalton DT, Hagler JR, Dreves AJ, Lee JC, Bruck DJ, 2015. Distribution and activity of *Drosophila suzukii* in cultivated raspberry and surrounding vegetation. *Journal of Applied Entomology*, 140(1/2): 37–46.
- Lee JC, Dreves AJ, Cave AM, Kawai S, Isaacs R, Miller JC, Timmeren SV, Bruck DJ, 2015. Infestation of wild and ornamental noncrop fruits by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 108(2): 117–129.
- Lei ZR, Wu SY, Wang HH, 2016. Progress in biological control of vegetable insect pests in China. *Plant Protection*, 42(1): 1–6. [雷仲仁, 吴圣勇, 王海鸿, 2016. 我国蔬菜害虫生物防治研究进展. *植物保护*, 42(1): 1–6.]
- Lin FJ, Tseng HC, Lee WY, 1977. A catalogue of the family Drosophilidae in Taiwan (Diptera). *Quarterly Journal of the Taiwan Museum*, 30(3/4): 345–372.
- Lin QC, Wang SY, Zhou CG, Yu Y, 2013. Research progress in *Drosophila suzukii*. *Acta Agriculture Jiangxi*, 25(10): 75–78. [林清彩, 王圣印, 周成刚, 于毅, 2013. 铃木氏果蝇研究进展. *江西农业学报*, 25(10): 75–78.]
- Luo K, Li ZS, Gao Y, Li GL, Yin SS, Zhou HG, Luo RS, Yao ZJ, 2015. Advances in biological control research of *Spodoptera litura* Fabricius. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 43(10): 126–129. [罗凯, 李泽生, 高燕, 李桂琳, 殷山山, 周侯光, 罗仁山, 姚志军, 2015. 斜纹夜蛾生物防治研究进展. *安徽农业科学*, 43(10): 126–129.]
- Ma CH, Wen JB, He SY, 2014. Pest risk assessment of *Drosophila suzukii* in Xinjiang. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(16): 286–294. [马聪慧, 温俊宝, 何善勇, 2014. 樱桃果蝇 (*Drosophila suzukii*) 对新疆的风险分析. *中国农学通报*, 30(16): 286–294.]
- Malagnini V, Zanotelli L, Tolotti G, Profaizer D, Ahgeli G, 2014. Evaluation of predatory activity of *Orius laevigatus* (Fieber) and *O. maiusculus* Reuter towards *Drosophila suzukii* (Matsumura) under laboratory conditions. Proc IOBC VIII Workshop on Integrated Soft Fruit Production, Trento, 26–28 May 2014. 122.
- Mitsui H, Achterberg KV, 2007. Geographical distributions and host associations of larval parasitoids of frugivorous Drosophilidae in Japan. *Journal of Natural History*, 41(25): 1731–1738.
- Mitsui H, Beppu K, Kimura MT, 2010. Seasonal life cycles and resource uses of flower- and fruit-feeding drosophilid flies (Diptera: Drosophilidae) in central Japan. *Entomological Science*, 13(1): 60–67.
- Mitsui H, Kimura MT, 2010. Distribution, abundance and host association of two parasitoid species attacking frugivorous drosophilid larvae in central Japan. *European Journal of Entomology*, 107(4): 535–540.
- Murphy KA, Tabuloc CA, Cervantes KR, Chiu JC, 2016. Ingestion of genetically modified yeast symbiont reduces fitness of an

- insect pest via RNA interference. *Scientific Reports*, 6: 22587.
- Naranjo-Lázaro JM, Mellín-Rosas MA, González-Padilla VD, Sánchez-González JA, Moreno-Carrillo G, Arredondo-Bernal HC, 2014. Susceptibility of *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae) to Entomopathogenic Fungi. *Southwestern Entomologist*, 39(1): 201–203.
- Nomano FY, Mitsui H, Kimura MT, 2015. Capacity of Japanese *Asobara* species (Hymenoptera; Braconidae) to parasitize a fruit pest *Drosophila suzukii* (Diptera; Drosophilidae). *Journal of Applied Entomology*, 139(1/2): 105–113.
- Poyet M, Havard S, Prevost G, Chabrierie O, Géraldine D, Gibert P, Eslin P, 2013. Resistance of *Drosophila suzukii* to the larval parasitoids *Leptopilina heterotoma* and *Asobara japonica* is related to haemocyte load. *Physiological Entomology*, 38(1): 45–53.
- Renkema JM, Telfer Z, Garipey T, Hallett RH, 2015. *Dalotia coriaria* as a predator of *Drosophila suzukii*: Functional responses, reduced fruit infestation and molecular diagnostics. *Biological Control*, 89(16): 1–10.
- Stacconi MVR, Buffington M, Daane KM, Dalton DT, Grassi A, Kacar G, Miller B, Miller JC, Baser N, Loriatti C, Walton V, Wiman NG, Wang XG, Anfora G, 2015. Host stage preference, efficacy and fecundity of parasitoids attacking *Drosophila suzukii* in newly invaded areas. *Biological Control*, 84: 28–35.
- Stacconi MVR, Grassi A, Dalton DT, Miller B, Ouantar M, Loni A, Loriatti C, Walton V, Anfora G, 2013. First field records of *Pachycrepoideus vindemiae* as a parasitoid of *Drosophila suzukii* in European and Oregon small fruit production areas. *Entomologia*, 1(1): 11–16.
- Trottin Y, Paulhiac E, Zicot A, Baffert V, Leyre JM, Weydert C, Poyet M, Ris N, Gibert P, 2014. Experimental studies on *Drosophila suzukii* in protected strawberry crops: biology of the pest and effectiveness of a parasitoid of pupa in field conditions. Proceeding of the IOBC VIII Workshop on Integrated Soft Fruit Production, Trento, 26–28 May 2014. 123–127.
- Walsh DB, Bolda MP, Goodhue RE, Dreves AJ, Lee JC, Bruck DJ, Walton V, O'Neal S, Zalom FG, 2011. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. *Journal of Integrated Pest Management*, 2(1): 1–7.
- Wang Y, Chen SF, Zhang HM, Chen ZL, Yang YX, Yin YQ, Li XQ, Zhu Y, 2016. China Patent. 105794728. 2016-07-27. [王燕, 陈福寿, 张红梅, 陈宗麒, 杨艳鲜, 尹艳琼, 李向永, 赵雪晴, 朱元, 2016. 一种室内繁殖斑翅果蝇优势寄生蜂毛角锤角细蜂的方法. 中国. 105794728. 2016-07-27.]
- Wang XG, Kaçar G, Biondi A, Daane KM, 2016a. Foraging efficiency and outcomes of interactions of two pupal parasitoids attacking the invasive spotted wing drosophila. *Biological Control*, 96: 64–71.
- Wang XG, Kaçar G, Biondi A, Daane KM, 2016b. Life-history and host preference of *Trichopria drosophilae*, a pupal parasitoid of spotted wing drosophila. *Biocontrol*, 61(4): 387–397.
- Wang X, Messing R, 2004. Two different life-history strategies determine the competitive outcome between *Dirhinus giffardii* (Chalcididae) and *Pachycrepoideus vindemiae* (Pteromalidae), ectoparasitoids of cyclorhaphous Diptera. *Bulletin of Entomological Research*, 94(5): 473–480.
- Woltz JM, Donahue KM, Bruck DJ, 2015. Efficacy of commercially available predators, nematodes and fungal entomopathogens for augmentative control of *Drosophila suzukii*. *Journal of Applied Entomology*, 139(10): 759–770.
- Xue WQ, Zhao JQ, 1996. Flies of China. Liaoning: Liaoning Science and Technology Publishing House Press. 280–409. [薛万琦, 赵建铭, 1996. 中国蝇类. 辽宁: 辽宁科学技术出版社. 280–409.]
- Zhang KC, Yan GH, Guo XJ, Wang J, Zhang XM, Zhou Y, 2014. Research review on spot wing dorsophila (*Drosophila suzukii*). *Journal of Fruit Science*, (4): 717–721. [张开春, 闫国华, 郭晓军, 王晶, 张晓明, 周宇, 2014. 斑翅果蝇(*Drosophila suzukii*)研究现状. 果树学报, (4): 717–721.]
- Zhang YP, Li DS, 2007. Advances in biological control research of *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Natural Enemies of Insects*, 29(4): 173–181. [章玉苹, 李敦松, 2007. 桔小实蝇生物防治研究进展. 昆虫天敌, 29(4): 173–181.]
- Zhao HY, Lu YY, Lin ZF, 2015. Effects of body size of *Bactrocera dorsalis* pupae on oviposition and offspring developmental preference of *Pachycrepoideus vindemiae*. *Guangdong Agriculture Science*, 42(17): 62–66. [赵海燕, 陆永跃, 林珠凤, 2015. 蝇蛹金小蜂对桔小实蝇蛹体型大小的产卵选择及子代生长发育表现. 广东农业科学, 42(17): 62–66.]