



特邀稿件

Invited Review

李姝, 王杰, 郭晓军, 田仁斌, 王甦, 张帆. 天敌昆虫大草蛉的研究进展与展望 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (2): 241–252.

天敌昆虫大草蛉的研究进展与展望

李 姝¹, 王 杰^{1,2}, 郭晓军¹, 田仁斌¹, 王 甦¹, 张 帆^{1*}

(1. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097; 2. 长江大学农学院昆虫研究所, 湖北荆州 434025)

摘要: 大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur) 是重要的捕食性草蛉种类之一, 可捕食蚜虫、叶螨、粉虱、蓟马、鳞翅目卵及幼虫等多种害虫。本文综合分析了国内外近几十年对大草蛉的研究成果, 对其生物学、生态学特性进行了归纳, 尤其梳理了大草蛉嗅觉趋性行为、滞育特性、人工饲养、田间控害能力等研究热点, 并对大草蛉的田间应用前景进行了展望。

关键词: 大草蛉; 天敌; 蚜虫; 研究进展; 展望

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2019) 02-0241-12

Research progress and prospects of *Chrysopa pallens* (Rambur) (Hemiptera: Chrysopidae)

LI Shu¹, WANG Jie^{1,2}, GUO Xiao-Jun¹, TIAN Ren-Bin¹, WANG Su¹, ZHANG Fan^{1*} (1. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. Institute of Entomology, College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, Hubei Province, China)

Abstract: *Chrysopa pallens* (Rambur) is one of the most important predatory lacewings in agriculture and forestry. It preys on aphids, mites, whiteflies, thrips, moth eggs and larvae. In this paper, the researches of *C. pallens* in recent decades were comprehensively analyzed. The morphological, biological and ecological characteristics of *C. pallens* were summarized. In particular, the research focuses, such as olfactory tropism, diapause characteristics, artificial feeding and pest-control ability were sorted out, and the application prospect of lacewings was prospected.

Key words: *Chrysopa pallens* (Rambur); natural enemy; aphid; progress; prospect

大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur), 又名七点草蛉, 属脉翅目 Neuroptera 草蛉科 Chrysopidae 草蛉属 *Chrysopa*, 异名 *Chrysopa septempunctata* Wesmael (杨星科, 1998)。作为古北区系种, 除西藏外在我国广泛分布, 且为优势种 (赵敬钊,

1981; 杨星科, 1998) ; 国外分布于日本、朝鲜和欧洲等地 (杨星科, 2005)。作为节肢动物的广食性捕食者 (Arthropod Generalist Predator, AGP), 大草蛉的成虫、幼虫均可捕食害虫粉虱、蓟马、鳞翅目卵及幼虫等害虫 (黄红等, 1990; 贺福德

基金项目: 北京市农林科学院青年基金 (QNJ201823); 北方果树病虫害绿色防控北京市重点实验室项目; 北京市农林科学院科技创新能力建设专项 (KJCX20170107)

作者简介: 李姝, 女, 山东人, 博士, 助理研究员, 研究方向为生物防治, E-mail: ls_baafs@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, 张帆, 博士, 研究员, 主要研究方向为农业昆虫学, E-mail: zlf6131@263.net

收稿日期 Received: 2019-03-10; 接受日期 Accepted: 2019-03-29

等, 2000; 刘凤想等, 2007; 刘爽等, 2011; 唐良德等, 2017)。大草蛉幼虫的捕食量大, 一天能吸食百只蚜虫, 整个幼虫期可捕食超过 800 头以上蚜虫 (杨集昆, 1974)。大草蛉因其捕食量大、适应性强、年发生世代数多、成虫寿命长且产卵量大等特点, 是农林害虫生物防治中极具研究价值的天敌昆虫 (赵敬钊, 1988; Boo *et al.*, 1998; Tauber *et al.*, 2000)。直到上世纪中后期, 因生物防治的推动, 包括大草蛉在内的草蛉生物学研究才逐渐开展起来 (杨星科, 2005)。近年来, 各国学者以生物学为中心, 陆续对大草蛉的感觉器官、滞育、人工饲料、控害能力等热点展开研究, 为进一步挖掘大草蛉的生防应用前景奠定基础。

1 形态学与生物学特性

1.1 形态学特征

成虫: 体长 11 ~ 14 mm, 翅展 30 ~ 40 mm, 体型较大。体绿色, 较暗。头部黄绿色, 具黑斑 2 ~ 7 个, 常见 4 斑或 5 斑型。颧唇须黄褐色, 触角短于前翅, 第 1 ~ 2 节与头同色, 后面的鞭节褐色; 胸部背面中央有 1 黄色纵带。翅前缘横脉列大多数为黑色, 阶脉的中部黑色、两端绿色。足黄绿色, 跗节黄褐色, 爪褐色, 基部弯曲。腹部黄绿色, 具灰色长毛, 雄虫第 8 腹板很小, 几乎为第 9 腹板的 1/2。前翅前缘横脉列黑色, 内、外组阶脉颜色相同, 前翅内, 外组阶脉均两端绿色, 中间黑色 (杨星科, 1998)。

卵: 卵粒椭圆形, 淡绿色, 每粒卵皆附在一丝状卵柄的顶端, 卵柄长 6 ~ 7.5 mm, 卵粒大小 1.0 × 0.4 mm, 几十粒为一丛。卵在孵化前出现黑色条纹 (伍瑞清和孙桂华, 1980)。

幼虫: 老龄幼虫体长为 8 ~ 12 mm, 体型为较粗壮的纺锤形, 体色黑褐, 头壳上的 3 块大褐斑如品字形摆开; 胸部三节及腹部前 8 节的两侧各有 1 对毛瘤, 毛瘤上着生黑白相间的刚毛, 显著的长而密, 第一腹节着生毛瘤的体壁为白色 (伍瑞清和孙桂华, 1980)。

1.2 生物学特性

在湖北省大草蛉以预蛹越冬, 全年可完成 4 ~ 5 个世代 (赵敬钊, 1988); 在河南南阳 1 年发生 5 代 (李映萍, 1982); 在山东 1 年主要发生 4 代 (牟吉元等, 1980); 在上海市松江区 1 年发生 3 ~ 4 代 (梁荣和单鑫蓓, 2015); 在云南红河州弥勒

烟区 1 年发生世代为 5 ~ 6 代, 6 月下旬至 7 月上旬是大草蛉成虫在烟田的第一个发生高峰期, 8 月下旬至 9 月上旬, 是大草蛉成虫在烟田中发生的另一个高峰期。大草蛉在烟田的消长规律呈“双峰型”曲线变化 (胡坚, 2012)。

大草蛉的成虫和幼虫均可捕食多种害虫, 由于大草蛉幼虫喜食蚜虫, 且食量较大, 捕食凶猛, 可用上下颧夹住并刺吸蚜虫, 将其吸食干净, 因而被称为“大蚜狮”或“蚜狮” (杨集昆, 1974)。幼虫喜在清晨和日落前后活动觅食, 初孵幼虫即可捕食蚜虫, 随后分散活动。幼虫喜藏匿于植物卷叶及苞叶内、麦穗小穗间、表土缝内及树皮裂缝等处 (牟吉元等, 1980; 李映萍, 1982; 王良衍, 1984; 杨星科等, 2005)。成虫经 1 次交尾可终生产受精卵, 雌虫一般连续产卵, 可延续至死亡的前一天 (杨星科等, 2005)。温度影响卵的孵化率、幼虫和蛹的存活率以及成虫寿命, 卵的孵化最适温度在 25 ~ 30℃, 35℃ 不能孵化。Elserafi 等 (2000) 报道了大草蛉取食棉蚜 *Aphis gossypii*、麦长管蚜 *Sitobion avenae*、玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis*, 其雌、雄成虫寿命分别为 34.6 ~ 39.7 d 和 25.6 ~ 29.5 d, 雌成虫的个体繁殖力达到 522.46 ~ 750.60 粒。

大草蛉为完全变态发育昆虫, 主要虫态包括卵、幼虫、预蛹、蛹和成虫。老熟幼虫常在叶背、树洞、墙缝、近表土等隐蔽地作茧, 茧外有丝固定在附着物上 (杨集昆, 1974; 李映萍, 1982; 王良衍, 1984)。老熟幼虫在茧内弯曲静止准备化蛹, 化蛹前这段时期称为预蛹 (杨集昆, 1974)。化蛹可透过茧看到茧后部有一小团黑色的幼虫蜕皮。大草蛉繁殖力强, 卵为聚产, 常有十多粒至数十粒聚集在一起, 雌成虫多集中于蚜源丰富的特殊环境内产卵繁殖, 也产于树木小枯枝、树皮和麦芒上。田间观察发现, 河南省南阳地区 4 ~ 9 月, 大草蛉在榆、桃、李、枫杨和槐树等树上产卵, 平均百株桃、李幼树上着卵量达 4 981 粒, 百株枫杨幼树上达 4 610 粒 (李映萍, 1982)。由于试验条件、猎物种类不同, 许多学者报道大草蛉产卵量差异较大, 武汉师范学院生物系天敌昆虫研究组 (1977) 用蚜虫喂养大草蛉时成虫寿命为 50 d 左右, 日产卵量一般为 20 粒, 一生的产卵量为 500 ~ 800 粒, 最多可达 1 200 粒。赵敬钊 (1988) 同样以蚜虫为饲料, 发现大草蛉单雌平均

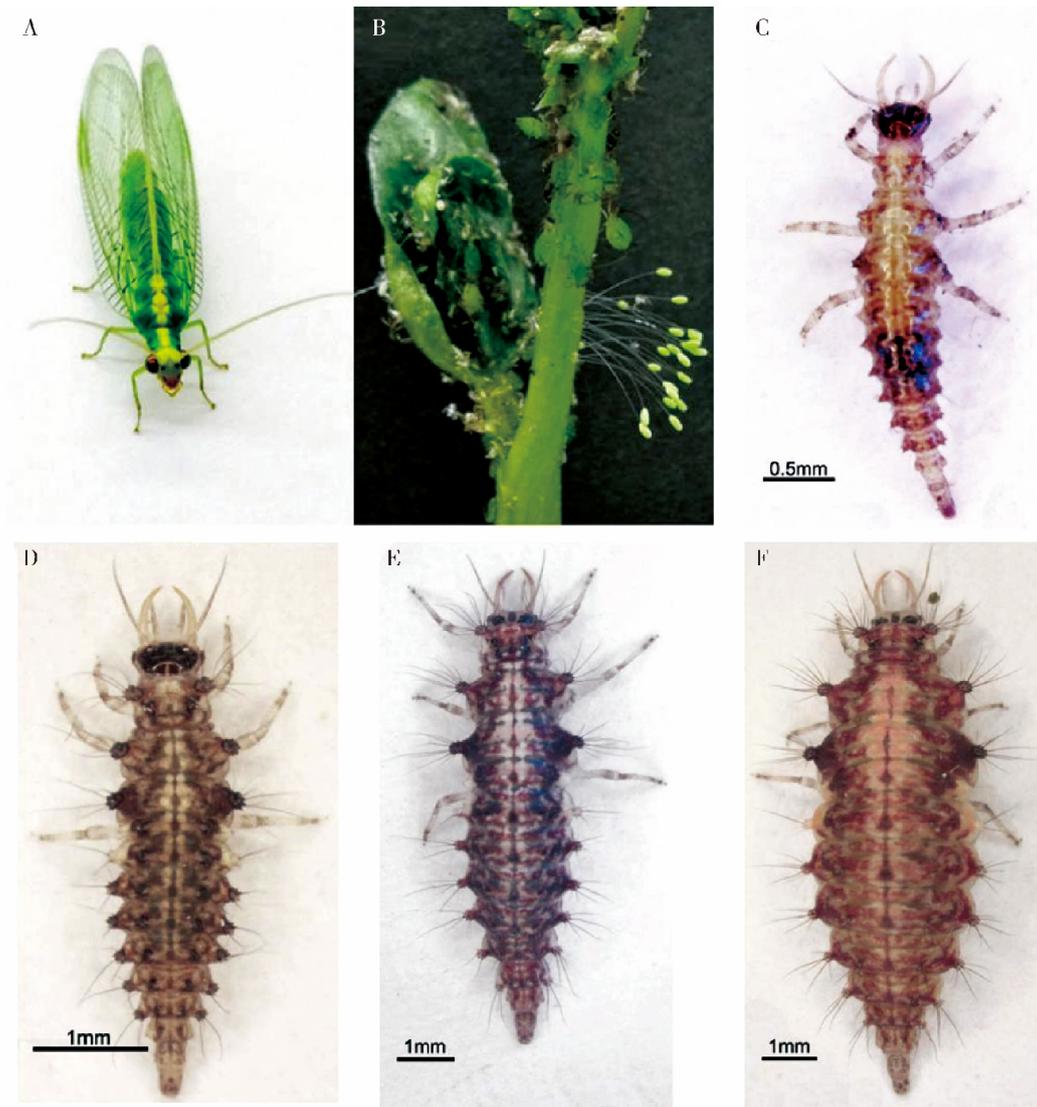


图 1 大草蛉各龄期虫态 (拍摄: 田仁斌)

Fig. 1 Morphological characteristic of *Chrysopa pallens* (Photo by Renbin Tian)

注: A, 雌成虫; B, 卵; C, 1 龄幼虫; D, 2 龄幼虫; E, 3 龄幼虫; F, 老熟幼虫。Note: A, Female adult; B, Egg; C, 1st instar larva; D, 2nd instar larva; E, 3rd instar larva; F, Mature larva.

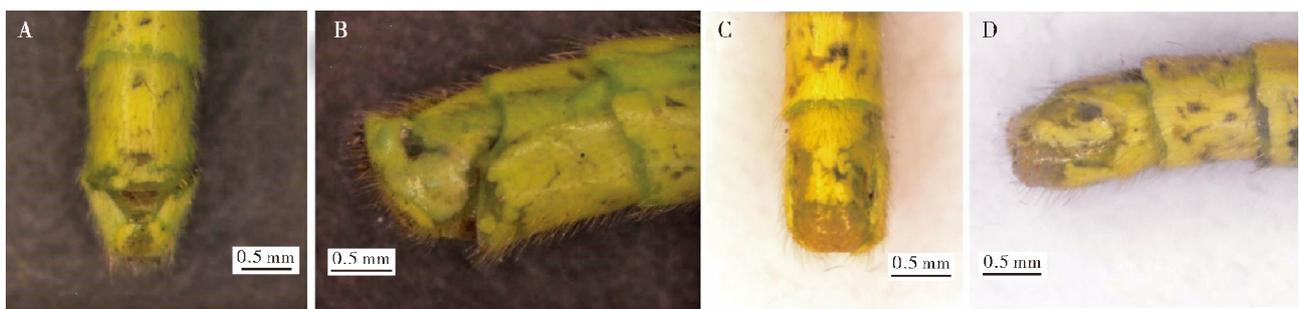


图 2 大草蛉雌雄虫腹部末端差异 (拍摄: 田仁斌)

Fig. 2 The difference of female and male *Chrysopa pallens* at the end of abdomen (Photo by Renbin Tian)

注: A, 雌虫 - 腹面观; B, 雌虫 - 侧面观; C, 雄虫 - 腹面观; D, 雄虫 - 侧面观。Note: A, Ventral view of female; B, Lateral view of female; C, Ventral view of male; D, Lateral view of male.

产卵 1 000 粒以上, 单头雌虫的总产卵量可达 2 000 多粒, 孵化率一般在 90% 以上。杨星科等 (2005) 测得单头大草蛉的平均产卵量为 781 粒。张帆等 (2004) 报道取食豆蚜 *Aphis craccivora* 时大草蛉能够完成世代发育, 平均单雌产卵量为 326 粒。Liu 等 (2013) 研究发现, 用豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* Harris 饲养的大草蛉产卵量为 1 125.1 粒/雌。Yu 等 (2013) 和程丽媛等 (2014) 测得取食豆蚜、豌豆修尾蚜的大草蛉雌成虫的平均产卵量为 660.7 粒和 683.66 粒, 产卵前期分别为 6.18 d 和 6.58 d。

通过生理学研究发现, 大草蛉的卵黄蛋白合成始于成虫期, 在草蛉的产卵期, 无论是脂肪体还是卵巢中的都含有高浓度的卵黄蛋白, 而在产卵后期卵巢和脂肪体中的卵黄蛋白的滴度逐渐下降, 可见大草蛉表现出的产卵规律与内在卵黄蛋白的发生规律是一致的。性发生在卵黄发生前期, 大草蛉从储存型蛹型脂肪体转变成具有蛋白质合成功能的成虫脂肪体 (陶淑霞等, 2004)。

1.3 生态学特征

大草蛉在不同的栖境, 其扩散及产卵行为存在差异。据报道草蛉在 27℃ 时, 每小时可移动 68 m (中国农业科学院棉花研究所, 1974)。在农田系统的大草蛉明显趋向于田间杂草地生境, 产卵偏好于花生与玉米田 (吴专等, 2007; 杨钊等, 2015); 在玉米地的飞行高度主要在离地面 0.5 ~ 2.5 m, 产卵主要发生在玉米穗附近的叶片上 (Keulder and Berg, 2013)。在农林生态体系中, 邻近林带的草蛉数量明显更多, 林带对草蛉的效应范围最大为 20 m。作物耕种前与生长早期, 林带是大草蛉栖息的重要生境, 也是其向农田扩展的“种库”, 同时也是大草蛉在作物收获后重要的栖息和越冬场所, 如杨树杂木林内具有更高密度卵量, 产卵时节集中在 5 - 7 月 (王芊樾等, 2014; 杨钊等, 2015)。吴月坤 (2017) 在 7 年间通过对引诱小区 152 种植物调查分析, 发现草蛉集中出现在蓖麻、凤仙花、陆地棉、绿豆、高粱以及玉米, 调查年份以及年度季节性变化对草蛉在植物生境的丰富度也有显著影响。在蔬菜温室里, 大草蛉在 15℃ ~ 30℃ 范围内, 扩散距离随温度的升高而增大, 平均扩散距离达 1.40 ~ 2.50 m; 活动区域亦渐向植物上部和棚顶集中 (武鸿鹄等, 2014)。

在自然界中, 大草蛉的天敌主要包括鸟类、

猎蝽、瓢虫、食蚜蝇、寄生蜂、虎甲、蜘蛛和螳螂等。除鸟类、蜘蛛、螳螂等捕食草蛉成虫外, 其他天敌主要捕食卵、幼虫等。卵寄生蜂有草蛉黑卵蜂 *Telenomus* sp., 茧蛹的寄生蜂有草蛉姬蜂 *Diplazon* sp.、草蛉亨姬蜂 *Hemiteles* sp. 和一种金小蜂 *Pteromalus* sp. (赵敬钊, 1981; 李映萍, 1982; 胡坚, 2012)。大草蛉作为广食性捕食天敌, 自然界中也会捕食部分益虫, 如双翅目的食蚜蝇以及脉翅目的粉蛉等 (王良衍, 1984)。大草蛉与其他天敌昆虫存在集团内捕食现象, 如与异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 之间相互竞争干扰时, 大草蛉的竞争能力处于劣势 (李慧仁等, 2009)。阿力甫·那思尔等 (2014) 发现多异瓢虫 *Adonia variegata* (Goeze) 与大草蛉的幼虫相遇时, 前者成为捕食者, 但成虫相遇时后者成为捕食者。

2 感官系统研究

2.1 复眼结构及感光行为研究

通过扫描电镜和光学显微镜发现, 大草蛉复眼为透明带明显的重叠小眼, 呈半球形, 位于头部两侧, 略成“八”字形排列, 其小眼不但具有次级虹膜色素颗粒纵向移动的常规调光机制, 还存在晶锥开闭、远端网膜细胞核移动和基膜色素颗粒纵向扩散的调光新机制, 且在相同的明、暗适应下, 雌、雄成虫复眼的显微结构无明显差异 (张海强等, 2007)。大草蛉复眼的伪瞳孔除早晨以外, 均变为绿色; 而且复眼的伪瞳孔在下午时比早晨明显大。大小、颜色昼夜间有节律性变化, 并推测草蛉复眼发光现象可能与其复眼的气管反光层有关 (闫海霞, 2002)。

通过视网膜电位 (Electroretinogram, ERG) 技术发现, 草蛉成虫复眼的 ERG 波形成分由开光反应、正相电位、持续负电位和闭光反应 4 个部分组成, 光强、波长及刺激时程对其各成分都有一定影响, 草蛉成虫复眼具有较强的光强度自调节和耐光能力 (闫海霞等, 2002)。张海强等 (2009) 研究揭示了光强度是大草蛉感光性与趋光性行为的重要决定因素, 强光时感光性电位反应与趋光性行为反应基本一致。但光强度信息在感光性和趋光性间的作用是有条件性和复杂性, 以便既可适于白天强光又能适于晚上弱光的活动习性。

大草蛉对不同颜色也会产生不同的趋性行为,对红色、绿色的趋性最弱。这为避免诱捕器对益虫的诱杀提供依据,提高了对害虫的诱杀效率(康总江等,2012)。

2.2 触角感器及嗅觉机制研究

触角是大草蛉重要的嗅觉器官,在其搜索生境、定位寄主或猎物、寻找配偶等多种生理活动中起着重要的作用。王娟等(2016)利用扫描电镜对大草蛉成虫触角进行了亚显微结构的观察与分析,结果表明大草蛉触角为线形,由柄节、梗节和鞭节共3节组成,其中柄节和梗节均为单节,而鞭节由116个亚节组成。触角感器共有4种,分别是毛形感器、锥形感器、刺形感器和Böhm氏鬃毛。其中毛形感器为触角上分布最广、长度最长的感器,共有4种类型;锥形感器有3种类型。感器主要分布在鞭节部位,且布满整个触角表面。雌、雄个体之间触角感器种类、结构、数量、分布均无明显差异,但个别感器长度存在显著差异。根据感器形态学结构特点推测不同感器功能不同,推测紧贴于大草蛉触角梗节端部的毛形感器IV(STIV)和垂直于触角表面径直刚立的毛形感器II(STII)可能具有感知外界机械刺激以逃避不利环境的功能。

利用触角电位(Electroantennogram, EAG)和嗅觉测定等技术,韩宝瑜和周成松(2004)首次发现水杨酸甲酯、正辛醇和反-2-己烯-1-醇对茶园中的大草蛉有引诱效应,茶二叉蚜 *Toxoptera aurantii* Fonscolombe 和蚜害茶梢复合体挥发物、苯甲醛、反-2-己烯-1-醇对大草蛉有显著引诱效应,大草蛉对香叶醇和正辛醇显著趋性。刘勇等(2005)发现大草蛉对2-茨烯、6-甲基-5-庚烯-2-酮、6-甲基-5-庚烯-2-醇有正趋性,且对6-甲基-5-庚烯-2-醇的EAG反应值较大。Zhang等(2006)发现(1R, 2S, 5R, 8R)-臭蚊二醛对大草蛉具有很强引诱活性;崔林等(2015)将 α -法尼烯、苯甲醛和荆芥醇按2:2:6比例混合,在室内引起大草蛉强烈的EAG反应,在田间展示出对大草蛉的显著引诱力,可用于茶园中治理茶蚜。此外,Yu等(2012)从青蒿中分离到2个E β F合酶基因的表达产物对大草蛉表现显著的吸引,利用青蒿E β F合成酶基因对烟草或其他重要经济作物的蚜虫进行无害化防治具有潜在的应用价值。

近年来,随着大草蛉触角cDNA文库的构建,王娟等(2014)开展了大草蛉气味结合蛋白

(CpalOBPs)的功能、触角嗅觉相关基因的克隆及信息识别机制的研究。Li等(2013)对大草蛉的标准化转录组进行了测序,鉴定出14个气味结合蛋白OBPs、22个化学感觉蛋白CSPs、60个细胞色素P450s、16个离子受体IRs、14个气味受体ORs、2个感觉神经元膜蛋白SNMPs、54个羧酸酯酶CXEs和21个醛氧化酶AOXs。2015年,Li等(2015)克隆了5个气味结合蛋白(OBP)基因,使用定量RT-PCR分析5株CpalOBPs具有不同的组织表达谱。进一步研究发现,大草蛉气味结合蛋白CpalOBP10与蚜虫OBP7聚集在同一分枝中,介导绿叶挥发物和(E)- β -法尼烯的感知(Li *et al.*, 2017)。

3 滞育机制研究

大草蛉以预蛹进行兼性滞育越冬,而且是较典型的短日照滞育型昆虫,表现出对光周期的明显的数量反应,即在低于临界光照时数时,预蛹的滞育率随着光照时数的缩短而升高(牟吉元等,1980; Nakahira and Arakawa, 2005)。大草蛉2龄幼虫期是诱导预蛹滞育的敏感虫期,滞育预蛹的重量显著高于非滞育预蛹(时爱菊等,2008)。大草蛉滞育预蛹的耐寒性强于非滞育预蛹,自然种群预蛹耐寒能力与预蛹体内的水分和主要生化物质的含量变化具有相关性,且预蛹的耐寒性呈现出明显的季节性变化特点,越冬预蛹的耐寒性显著高于夏季和越冬后预蛹(于令媛等,2011, 2012)。

研究发现,25℃能促进大草蛉滞育的解除,5℃长时低温处理能够同步种群的滞育发育,滞育预蛹经-1~-10℃低温处理2h或4h后,预蛹期有不同程度的缩短,且敏感期为结茧后1~10d(程丽媛等,2017)。在温度22℃、光周期15L:9D条件下,大草蛉的滞育持续时间为50~170d,且能影响滞育后发育。随着滞育持续时间的延长,蛹期逐渐延长,雌、雄成虫的鲜重逐渐降低,雄成虫寿命呈先延长后缩短的趋势,蛹存活率、雌成虫寿命、产卵前期和单雌产卵量没有显著性差异。因此,较高温度能促进滞育的解除,低温处理能够同步种群的滞育发育;但大草蛉的滞育存在生殖代价,滞育持续时间影响滞育解除后的部分生物学特性(程丽媛等,2017)。

4 人工繁育及规模化生产

由于食性的差异,大草蛉对食物的营养要求比中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* (Tjeder) 等其他草蛉种类更高。不少学者以幼虫发育历期、幼期存活率、雌成虫繁殖力及种群的内禀增长率为衡量指标,研究了豆蚜、棉蚜、豆大蓟马、玉米蚜、麦长管蚜、桃粉大尾蚜 *Hyalopters amygdali* (Blanchard)、绣线菊蚜 *Aphis citricola* Van der Goot 和牛蒡长管蚜 *Uroleucon gobonis* (Matsumura) 作为大草蛉猎物的适合度,大草蛉均表现出较好的生长、发育和繁殖特性,其中,以麦长管蚜为猎物饲养的大草蛉生长最优,幼虫发育历期为 24.79 d,幼期存活率为 93.0%,雌成虫平均产卵量为 750.60 粒,种群的内禀增长率为 0.1457/d (Elserafi *et al.*, 2000; 宫亚军等, 2006; 孙丽娟等, 2013; Yu *et al.*, 2013; 唐良德等, 2017)。由于豆蚜耐高温能力较强,可作为夏季高温季节大草蛉的补充食料。

然而,用自然猎物如蚜虫等饲养大草蛉因生产成本偏高,以及受到自然条件影响,极大制约了大草蛉的规模化生产应用。因此,开发适用的人工饲料就成为天敌昆虫饲养的必经之路 (Thompson, 1999; Tauber *et al.*, 2000)。张帆等 (2002) 使用啤酒酵母干粉和柞蚕蛹冻干粉饲喂大草蛉,大草蛉幼虫在 1 龄时便死亡。人工卵赤眼蜂蛹和米蛾卵虽可使其完成整个世代,但主要生命特征及生殖能力显著低于用蚜虫饲养的草蛉,用米蛾 *Corcyra cephalonica* (Stainton) 卵饲养的草蛉成虫甚至丧失产卵能力 (张帆等, 2004)。林美珍等 (2007, 2008) 通过不断优化人工饲料配方: 脱脂蝇蛆粉 2.0 g, 酵母抽提物 0.8 g, 生鸡蛋黄 0.8 g, 蔗糖 0.4 g, 蜂蜜 0.05 g, 抗坏血酸 0.005 g, 蒸馏水 13 mL, 琼脂 0.198 g, 并制成胶囊饲喂大草蛉幼虫,幼虫存活率可达到 96%,羽化率 58.3%。梁荣和单鑫蓓 (2015) 以蚕蛹粉为主的人工饲料试验表明,成虫产卵率 83.3%、平均产卵量 667.7 粒。针对大草蛉幼虫吸食、成虫咀嚼的特点, Lee and Lee (2005) 分别使用以肝为基础人工饲料饲养大草蛉,在存活的 89 d 中,雌成虫平均产卵 2 019 粒,表明以肝为基础的饮食作为营养源时保持了较高的转化效率。党国瑞等 (2012) 以米蛾卵、黄粉虫蛋白分别作为大草蛉幼虫期、

成虫期饲料,发现大草蛉成虫寿命、产卵前期及天数明显延长,卵孵化率明显上升。

Liu 等 (2013) 从饲料对捕食者消化酶活性的影响的角度,研究发现大草蛉的繁殖与雌成虫体重、胰蛋白酶样酶和胰凝乳蛋白酶样酶活性密切相关。可以用来评估捕食者的繁殖潜力,从而为加快人工饲料的开发和筛选提供一种途径。

随着当前转基因抗虫植物的逐渐推广应用,评价转基因植物对天敌的安全性也随之重要 (郭建英等, 2015)。当人工饲料中 Bt 蛋白的浓度为 200 $\mu\text{g/g}$ 时,大草蛉的正常生长不受影响 (Ali *et al.*, 2017),转 Bt 基因作物表达一定浓度的 Bt 蛋白对大草蛉是无害的 (王英丽等, 2014)。

5 捕食能力及田间控害评价

大草蛉是一种典型的食蚜天敌。大草蛉 2 龄幼虫最喜食棉蚜,其次是棉铃虫卵,再者为棉叶螨,而且其嗜好程度并不随猎物密度的改变而发生改变 (贺福德等, 2000)。大草蛉对棉蚜、麦长管蚜、玉米蚜和夹竹桃蚜的捕食量,雌、雄性个体分别为 2 578.5 和 1 859.6 头、1 504.98 和 881.96 头、2 069.97 和 1 236.7 头以及 1 495.8 和 810.5 头 (Elserafi *et al.*, 2000)。以豌豆修尾蚜为猎物,大草蛉雌成虫的捕食率显著高于雄性,这可能与雌成虫产卵需要大量营养相关 (程丽媛等, 2014)。大草蛉喜在桃粉蚜危害的桃树嫩梢上产卵,这一行为利于强化大草蛉对蚜虫的控制能力 (孙丽娟等, 2013)。大草蛉对二斑叶螨的捕食,受温度及猎物密度影响显著,在 25 $^{\circ}\text{C}$ 时的控制能力最强,这为大草蛉在适温期对主要害虫生物防治提供了依据 (张欣等, 2012)。

大草蛉幼虫是典型的搜索式捕食性天敌,会通过较快的搜索速度和高效的捕食量保证猎食行为的收益。通过捕食功能反应研究表明,大草蛉对蓟马、叶螨、蚜虫等均具有较好的捕食能力和控害潜能。大草蛉的捕食功能反应大都符合 Holling II 模型,但 3 龄幼虫对烟粉虱卵、若虫及伪蛹的捕食功能反应符合 Holling II 及 Holling III 模型 (表 1)。尽管捕食能力比其它天敌昆虫如小黑瓢虫 *Delphatous catalinae* 稍弱,但大草蛉食谱广可减少同种资源团间的竞争,而且对烟粉虱伪蛹表现出强烈的喜好,在烟粉虱爆发后期作为补充和应急手段是非常合适的 (刘爽等, 2011)。

表 1 大草蛉捕食猎物的捕食功能反应模型汇总
 Table 1 Summary of predation function response of *Chrysopa pallens* on different prey

猎物虫态 Prey stage	大草蛉虫态 Stage of <i>C. pallens</i>	理论最大 捕食量 Na_{max}	捕食功能反应模型 Type of functional response	参考文献 References
棉铃虫 (卵) <i>Helicoverpa armigera</i> (egg)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	285.70	Holling II	黄红等, 1990 Huang <i>et al.</i> , 1990
棉铃虫 (1 龄幼虫) <i>Helicoverpa armigera</i> (1 st instar larvae)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	67.10	Holling II	黄红等, 1990 Huang <i>et al.</i> , 1990
棉铃虫 (2 龄幼虫) <i>Helicoverpa armigera</i> (2 nd instar larvae)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	41.80	Holling II	黄红等, 1990 Huang <i>et al.</i> , 1990
桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	1 龄幼虫 1 st instar larvae	44.84	Holling II	陈新等, 1990 Chen <i>et al.</i> , 1990
桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	81.30	Holling II	陈新等, 1990 Chen <i>et al.</i> , 1990
桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	294.12	Holling II	陈新等, 1990 Chen <i>et al.</i> , 1990
桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	雌成虫 Female adult	238.20	Holling II	陈新等, 1990 Chen <i>et al.</i> , 1990
绣线菊蚜 <i>Aphis citricola</i>	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	854.70	Holling II	苏胜权和周亚君, 1993 Su and Zhou, 1993
桑蓟马 (若虫) <i>Pseudocden drothrips</i> (nymph)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	457.70	Holling II	魏洪义等, 1993 Wei <i>et al.</i> , 1993
棉蚜 <i>Aphis gossypii</i>	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	75.20	Holling II	贺福德等, 2000 He <i>et al.</i> , 2000
棉叶螨 <i>Tetranychus cinnatrinus</i>	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	36.72	Holling II	贺福德等, 2000 He <i>et al.</i> , 2000
桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	1 龄幼虫 1 st instar larvae	144.93	Holling II	赵琴等, 2008 Zhao <i>et al.</i> , 2008
桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	303.03	Holling II	赵琴等, 2008 Zhao <i>et al.</i> , 2008
夹竹桃蚜 <i>Aphis nerii</i>	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	151.51	Holling II	赵琴等, 2008 Zhao <i>et al.</i> , 2008
烟粉虱 (卵) <i>Bemisia tabaci</i> (egg)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	285.70	Holling II	刘爽等, 2011 Liu <i>et al.</i> , 2011
烟粉虱 (若虫) <i>Bemisia tabaci</i> (nymph)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	63.30	Holling II	刘爽等, 2011 Liu <i>et al.</i> , 2011
烟粉虱 (伪蛹) <i>Bemisia tabaci</i> (pupa)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	196.10	Holling II	刘爽等, 2011 Liu <i>et al.</i> , 2011
烟粉虱 (卵) <i>Bemisia tabaci</i> (egg)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	33.55	Holling III	刘爽等, 2011 Liu <i>et al.</i> , 2011
烟粉虱 (若虫) <i>Bemisia tabaci</i> (nymph)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	38.31	Holling III	刘爽等, 2011 Liu <i>et al.</i> , 2011
烟粉虱 (伪蛹) <i>Bemisia tabaci</i> (pupa)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	71.63	Holling III	刘爽等, 2011 Liu <i>et al.</i> , 2011

续表 1 Continued table 1

猎物虫态 Prey stage	大草蛉虫态 Stage of <i>C. pallens</i>	理论最大 捕食量 $N_{a,max}$	捕食功能反应模型 Type of functional response	参考文献 References
二斑叶螨 <i>Tetranychus urticae</i>	雌成虫 Female adult	40.0	Holling II	张欣等, 2012 Zhang <i>et al.</i> , 2012
牛蒡长管蚜 <i>Uroleucon gobonis</i>	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	72.03	Holling II	孙丽娟等, 2013 Sun <i>et al.</i> , 2013
桃粉大尾蚜 <i>Hyloperus amygdali</i>	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	105.58	Holling II	孙丽娟等, 2013 Sun <i>et al.</i> , 2013
绣线菊蚜 <i>Aphis citricola</i>	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	198.64	Holling II	孙丽娟等, 2013 Sun <i>et al.</i> , 2013
烟粉虱 (卵) <i>Bemisia tabaci</i> (egg)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	36.00	Holling II	王然等, 2016 Wang <i>et al.</i> , 2016
烟粉虱 (卵) <i>Bemisia tabaci</i> (egg)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	32.07	Holling III	王然等, 2016 Wang <i>et al.</i> , 2016
豆大蓟马 (2 龄若虫) <i>Megalurothrips usitatus</i> (2 nd instar nymph)	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	555.56	Holling II	唐良德等, 2017 Tang <i>et al.</i> , 2017
豆蚜 (成虫) <i>Aphis craccivora</i> (adult)	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	416.67	Holling II	唐良德等, 2017 Tang <i>et al.</i> , 2017
豆大蓟马 (成虫) <i>Megalurothrips usitatus</i> (adult)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	588.24	Holling II	唐良德等, 2017 Tang <i>et al.</i> , 2017
豆大蓟马 (2 龄若虫) <i>Megalurothrips usitatus</i> (2 nd instar nymph)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	1250.00	Holling II	唐良德等, 2017 Tang <i>et al.</i> , 2017
豆蚜 (成虫) <i>Aphis craccivora</i> (adult)	3 龄幼虫 3 rd instar larvae	909.09	Holling II	唐良德等, 2017 Tang <i>et al.</i> , 2017
黑刺粉虱 (若虫) <i>Aleurocan spinifetus</i> (nymph)	1 龄幼虫 1 st instar larvae	36.00	Holling II	唐天成等, 2018 Tang <i>et al.</i> , 2018
黑刺粉虱 (若虫) <i>Aleurocan spinifetus</i> (nymph)	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	37.00	Holling II	唐天成等, 2018 Tang <i>et al.</i> , 2018



图 3 大草蛉 2 龄幼虫在捕食豆蚜

Fig. 3 Larva of *Chrysopa pallens* are sucking aphid, *Aphis craccivora*

在 20 世纪 70 年代, 我国开始利用大草蛉防治棉花主要害虫 (如棉铃虫、棉小造桥虫、棉花叶螨和棉蚜等), 取得的良好效果 (中国农业科学院棉花研究所, 1974; 江苏省东台县富东供销社和富东中学, 1976; 牟吉元等, 1979)。李映萍 (1982) 在河南南阳地区农科所农场棉田进行大草蛉防治棉蚜的试验, 7 d 后蚜虫减退率 68.6%, 远高于对照蚜虫增殖率, 防治效果显著。结合不同虫态的异色瓢虫释放大草蛉的卵, 对松林中的日本松干蚧 *Matsucoccus matsumurae* 也有较好的控制效果, 小面积单独释放大草蛉的防治效果可达 69.2% (浙江省郑县天童林场等, 1981)。张安盛等 (2004) 研究发现, 大草蛉 3 龄幼虫对桃粉蚜

具有较强的捕食能力,在桃园自然生态系统中,大草蛉等天敌可自然控制桃粉蚜在经济允许水平之下。但当发生量超过天敌控制能力时,就应采取综合措施。

6 问题与展望

随着现代分子生物技术的发展, Han 等 (2017) 报道了大草蛉雌成虫的转录组,共获得 71 236 个单基因,平均长度 833 bp。分别在饥饿和喂养条件下,注释了 4 个卵黄原蛋白、3 个胰岛素样肽和 2 个胰岛素受体,结果发现差异表达基因前 4 位途径依次是核糖体、内质网蛋白加工、氨基酸生物合成和碳代谢,表明两种条件下营养和生殖信号存在明显差异,有助于深入研究大草蛉卵黄蛋白、营养代谢和繁殖分子机制,但还有许多问题亟待解决。

针对大草蛉的人工繁育问题,由于捕食者蛋白酶活性受发育阶段的影响 (Liu *et al.*, 2013),具有刺吸式口器的大草蛉幼虫的消化生理学可能与具有咀嚼式口器的成虫的不同。因此,有必要为大草蛉幼虫和成虫开发不同的人工饲料。人工饲料对于大草蛉的发育和繁殖性能的评价,不仅限于第一代的正常发育,还必须在后代中进行评价,以保证后代在田间有良好表现 (Lee and Lee, 2005)。虽然商品化的大草蛉产品通常是以卵出售和应用,但释放幼虫有时可能更有效 (Tauber *et al.*, 2000)。因此,探究大草蛉幼虫的商品化或优化卵的释放时期,可提高天敌的防治效果及经济效益。

虽然不少研究表明大草蛉能够捕食多种农林害虫,但对其田间应用效果评估、应用流程规范化的研究仍较少。向田间释放捕食性天敌控制害虫时,应恰当地掌握天敌的释放量。由于田间作物害虫发生并不是单一爆发,单一天敌释放很难将目标害虫控制在经济阈值以下,因此尽量利用占据不同生态位的天敌组合,在研究大草蛉与其他天敌种间互作关系基础上,研发多种天敌复合释放技术有利于提高生物防治效率,同时增加了靶标生态系统中的多样性水平,有助于形成“天敌+害虫”的稳定生态群落,抑制害虫的暴发,也减少了天敌昆虫种群非靶标作用的生态风险。

近年来,天敌的植物支持系统研究的不断拓展与优化 (陈学新等, 2013),如辅助植物对大草蛉的增效调控技术的研发,将大大提升大草蛉田

间定殖率和持续控害能力。相信通过化学生态学、分子生物学等技术对大草蛉多方面深入的研究,将有助于推进大草蛉作为天敌昆虫的应用频率及规模。

参考文献 (References)

- Ali I, Zhang S, Muhammad MS, *et al.* Bt proteins have no detrimental effects on larvae of the green lacewing, *Chrysopa pallens* (Rambur) (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Neotropical Entomology*, 2017, 47 (3): 336 - 343.
- Boo KS, Chung IB, Han KS, *et al.* Response of the lacewing *Chrysopa cognata*, to pheromones of its aphid prey [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1998, 24 (4): 631 - 643.
- Chen XX, Ren SX, Zhang F, *et al.* Mechanism of pest management by natural enemies and their sustainable utilization [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (1): 9 - 18. [陈学新, 任顺祥, 张帆, 等. 天敌昆虫控害机制与可持续利用 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (1): 9 - 18]
- Cheng LY, Liao XJ, Xu LX, *et al.* Two - sex life table and predation of *Chrysopa pallens* (Rambur) feeding on *Megoura japonica* (Matsumura) [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2014, 41 (6): 680 - 686. [程丽媛, 廖先骏, 徐龙祥, 等. 以豌豆修尾蚜为猎物的大草蛉两性生命表和捕食率 [J]. 植物保护学报, 2014, 41 (6): 680 - 686]
- Cheng LY, Zhang Y, Chen ZZ, *et al.* Effects of photoperiod and temperature on diapause termination and postdiapause development and reproduction of the green lacewing, *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2017, 60 (3): 318 - 327. [程丽媛, 张艳, 陈珍珍, 等. 光周期和温度对大草蛉滞育解除及滞育后发育和繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2017, 60 (3): 318 - 327]
- Cotton Research Institute, CAAS. Using Lacewings to control cotton aphid and *Helicoverpa armigera* Hübner [J]. *China Cotton*, 1974, 3: 27 - 31. [中国农业科学院棉花研究所. 利用草蛉防治棉蚜和棉铃虫 [J]. 中国棉花, 1974, 3: 27 - 31]
- Cui L, Zhang XT, Zhou NN, *et al.* Behavioral responses of *Chrysopa septempunctata* to synomones of tea plants and sex pheromones of aphids: Effectiveness on tea aphid control [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35 (5): 1537 - 1546. [崔林, 张新亭, 周宁宁, 等. 茶互利素和蚜性信息素及其组合调控大草蛉行为的效应 [J]. 生态学报, 2015, 35 (5): 1537 - 1546]
- Dang GR, Zhang Y, Chen HY, *et al.* Effect of different artificial diets on the development and fecundity of the green lacewing *Chrysopa pallens* (Rambur) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45 (23): 4818 - 4825. [党国瑞, 张莹, 陈红印, 等. 人工饲料对大草蛉生长发育和繁殖力的影响 [J]. 中国农业科学, 2012, 45 (23): 4818 - 4825]
- Elserafi HAK, Abdelsalam AH, Abdelbaky NF. Effect of four aphid species on certain biological characteristics and life table parameters of *Chrysoperla carnea* Stephen and *Chrysopa septempunctata* Wesmael (Neuroptera: Chrysopidae) under laboratory conditions [J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2000, 3 (2): 239 - 245.
- Fudong Supply and Marketing Cooperative of Jiangsu Province, Fudong

- Middle School of Jiangsu Province. Preliminary report on experiment of controlling *Helicoverpa armigera* with *Chrysopa pallens* [J]. *Insect Knowledge*, 1976, 4: 118 – 119. [江苏省东台县富东供销社, 富东中学. 利用草蛉防治棉铃虫试验初报 [J]. 昆虫知识, 1976, 4: 118 – 119]
- Gong YJ, Shi BC, Lu H, et al. Effects of temperatures on the development and fecundity of three species of aphids [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2006, 21 (5): 96 – 98. [宫亚军, 石宝才, 路虹, 等. 温度对3种蚜虫生长发育及繁殖的影响 [J]. 华北农学报, 2006, 21 (5): 96 – 98]
- Guo JY, Wan FH, Dong L, et al. Survival, development and fecundity of *Chrysopa formosa* feeding on *Aphis gossypii* propagated on transgenic Bt cotton [J]. *Entomological Knowledge*, 2005, 42 (2): 149 – 154. [郭建英, 万方浩, 董亮, 等. 取食转Bt基因棉花上的棉蚜对丽草蛉发育和繁殖的影响 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (2): 149 – 154]
- Han B, Shen Z, Zeng F, et al. Nutritional and reproductive signaling revealed by comparative gene expression analysis in *Chrysopa pallens* (Rambur) at different nutritional statuses [J]. *PLoS ONE*, 2017, 12 (7): e0180373.
- Han BY, Zhou CS. Attraction effect of main volatile components from tea shoots and flowers on *Sphaerophoria menthastris* (Diptera: Syrphidae) and *Chrysopa septempunctata* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (4): 623 – 626. [韩宝瑜, 周成松. 茶梢和茶花主要挥发物对门氏食蚜蝇和大草蛉引诱效应 [J]. 应用生态学报, 2004, 15 (4): 623 – 626]
- He FD, He WP, Lan JL, et al. Study on predation characteristics and control efficiency of *Chrysopa septempunctata* Wesmael. In: Zhang GX, Li DM, eds. Chinese entomology towards the 21st century [C]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2000: 1046 – 1047. [贺福德, 贺雯萍, 蓝江林, 等. 大草蛉的捕食特性及控害效能研究. 见: 张广学, 李典谟主编. 走向21世纪的中国昆虫学 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 2000: 1046 – 1047]
- Hu J. Life cycle and population dynamics of *Chrysopa pallens* (Rambur) in tobacco field [J]. *Tobacco Science and Technology*, 2012, 2: 80 – 82. [胡坚. 大草蛉生活史及其在烟田的消长规律 [J]. 烟草科技, 2012, 2: 80 – 82]
- Huang H, Yan JZ, Li DQ. Study on the predation effect of *Chrysopa septempunctata* Wesmael on cotton pests [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 1990, 12 (1): 7 – 12. [黄红, 晏建章, 李代芹. 大草蛉对棉花害虫捕食作用的研究 [J]. 环境昆虫学报, 1990, 12 (1): 7 – 12]
- Kang ZJ, Zhu L, Wei SJ, et al. Study on traps of different colors on trapping rate to *Chrysopa perla* [J]. *Northern Horticulture*, 2012, 23: 145 – 148. [康总江, 朱亮, 魏书军, 等. 不同颜色诱捕器对草蛉诱杀率的研究 [J]. 北方园艺, 2012, 23: 145 – 148]
- Keulder R, Berg JVD. Patterns of lacewing (Neuroptera: Chrysopidae) flight activity, flight height and spatial distribution of eggs on maize plants [J]. *African Entomology*, 2013, 21 (1): 95 – 102.
- Lee KS, Lee JH. Rearing of *Chrysopa pallens* (Rambur) (Neuroptera: Chrysopidae) on artificial diet [J]. *Entomological Research*, 2005, 35 (3): 183 – 188.
- Li HR, Chi DF, Li XC, et al. Study on interspecies competition of three kinds of natural enemies of aphids in forest field [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25 (11): 145 – 150. [李慧仁, 迟德富, 李晓灿, 等. 林间蚜虫3种天敌间竞争干扰的研究 [J]. 中国农学通报, 2009, 25 (11): 145 – 150]
- Liu FX, Jiao YC, Deng YD, et al. Selective predation of *Hylyphantes graminicola*, *Chrysopa pallens*, *Chrysoperla sinica* to *Ectropis obliqua* and *Empoasca flavescens* [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2007, 26 (3): 497 – 500. [刘凤想, 焦彦成, 邓艳东, 等. 草间钻头蛛、大草蛉和中华通草蛉对茶尺蠖、小绿叶蝉的选择效应 [J]. 四川动物, 2007, 26 (3): 497 – 500]
- Li YP. Preliminary study on the occurrence and utilization of two species of lacewings [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 1982, 1: 32 – 36. [李映萍. 两种草蛉的发生和利用初步研究 [J]. 环境昆虫学报, 1982, 1: 32 – 36]
- Li ZQ, Zhang S, Cai XM, et al. Three odorant binding proteins may regulate the behavioral response of *Chrysopa pallens* to plant volatiles and the aphid alarm pheromone (E)- β -farnesene [J]. *Insect Molecular Biology*, 2017, 26 (3): 255 – 265.
- Li ZQ, Zhang S, Luo JY, et al. Odorant-binding proteins display high affinities for behavioral attractants and repellents in the natural predator *Chrysopa pallens* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 2015, 185: 51 – 57.
- Li ZQ, Zhang S, Ma Y, et al. First transcriptome and digital gene expression analysis in Neuroptera with an emphasis on chemoreception genes in *Chrysopa pallens* (Rambur) [J]. *PLoS ONE*, 2013, 8 (6): e67151.
- Liang R, Shan XB. Study on biological characteristics and artificial breeding of *Chrysopa pallens* (Rambur) [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2015, 17: 154 – 155. [梁荣, 单鑫蓓. 大草蛉生物学特性及人工繁殖研究 [J]. 现代农业科技, 2015, 17: 154 – 155]
- Lin MZ, Chen HY, Wang SY, et al. Development of artificial diet for *Chrysopa pallens* larva [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2007, 23 (4): 316 – 321. [林美珍, 陈红印, 王树英, 等. 大草蛉幼虫人工饲料的研究 [J]. 中国生物防治学报, 2007, 23 (4): 316 – 321]
- Lin MZ, Chen HY, Yang HX, et al. Activities of major digestive enzymes in the midgut of *Chrysopa pallens* (Rambur) larva fed on artificial diets [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2008, 4 (3): 205 – 209. [林美珍, 陈红印, 杨海霞, 等. 大草蛉幼虫人工饲料最优配方的饲养效果及其中肠主要消化酶的活性测定 [J]. 中国生物防治学报, 2008, 4 (3): 205 – 209]
- Liu F, Liu C, Zeng F. Effects of an artificial diet on development, reproduction and digestive physiology of *Chrysopa septempunctata* [J]. *Biocontrol*, 2013, 58 (6): 789 – 795.
- Liu S, Wang S, Liu BM, et al. The Predation function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (6): 1136 – 1145. [刘爽, 王甦, 刘佰明, 等. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (6): 1136 – 1145]
- Liu Y, Guo GX, Chen JL, et al. Behavioral and electrophysiological responses of four predatory insect species to semiochemicals of wheat

- [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48 (2): 161–165. [刘勇, 郭光喜, 陈巨莲, 等. 瓢虫和草蛉对小麦挥发物组分的行为及电生理反应 [J]. 昆虫学报, 2005, 48 (2): 161–165]
- Mu JY, Wang NC, Fan YG. Studies on the life histories and bionomics of four species of green lacewings [J]. *Journal of Plant Protection*, 1980, 7 (1): 1–8. [牟吉元, 王念慈, 范永贵. 四种草蛉生活史和习性的研究 [J]. 植物保护学报, 1980, 7 (1): 1–8]
- Mu JY, Wang NC, Xu HF. Study on dominant species of lacewings in cotton field in Shandong Province [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 1979, 2: 11–20. [牟吉元, 王念慈, 徐洪富. 山东省棉田草蛉优势种的研究 [J]. 山东农业科学, 1979, 2: 11–20]
- Nakahira K, Arakawa R. Effect of photoperiod on the development and diapause of the green lacewing *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Entomological Science*, 2005, 8 (2): 133–135.
- Naser A, Zumlati A, Roiman A, et al. Intraguild predation among predatory insects *Hippodamia variegata*, *Coccinella septempunctata* and *Chrysopa pallens* at different stages [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (22): 6560–6567. [阿力甫·那思尔, 祖母拉提·阿布都热依木, 热依曼·阿迪, 等. 多异瓢虫与七星瓢虫、大草蛉不同虫态间的集团内捕食 [J]. 生态学报, 2014, 34 (22): 6560–6567]
- Research Group of Natural Enemy Insects in Biology Department of Wuhan Normal University. Preliminary study on biological characteristics and occurrence of lacewings in cotton fields [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 1977, 7: 28–30. [武汉师范学院生物系天敌昆虫研究组. 棉田草蛉生物学特性及发生情况的初步研究 [J]. 湖北农业科学, 1977, 7: 28–30]
- Shi AJ, Xu HF, Liu ZD, et al. Effect of photoperiod on induction of prepupal diapause and larval development in *Chrysopa pallens* (Rambur) (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (8): 3854–3859. [时爱菊, 徐洪富, 刘忠德, 等. 光周期对大草蛉 (*Chrysopa pallens*) 滞育及发育的影响 [J]. 生态学报, 2008, 28 (8): 3854–3859]
- Sun LJ, Yi WX, Zhao CD, et al. Predatory capacity of *Chrysopa pallens* (Rambur) to three species of aphids [J]. *Plant Protection*, 2013, 39 (5): 153–157. [孙丽娟, 衣维贤, 赵川德, 等. 大草蛉对3种蚜虫的捕食能力研究 [J]. 植物保护, 2013, 39 (5): 153–157]
- Tang LD, Wang XS, Zhao HY, et al. The predation function response and development of *Chrysopa pallens* larva on *Megalurothrips usitatus* and *Aphis craccivora* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33 (1): 49–55. [唐良德, 王晓双, 赵海燕, 等. 大草蛉幼虫捕食豆大蓟马和豆蚜的功能反应及生长发育 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33 (1): 49–55]
- Tao SX, Zhang F, Li CD. Dynamic analysis on the vitellogenesis of *Chrysopa septempunctata* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2004, 26 (3): 260–262. [陶淑霞, 张帆, 李成德. 大草蛉卵黄发生的动态分析 [J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26 (3): 260–262]
- Tauber MJ, Tauber CA, Daane KM, et al. Commercialization of predators: Recent lessons from green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: Chrysoperla) [J]. *American Entomologist*, 2000, 46 (1): 26–39.
- Thompson SN. Nutrition and culture of entomophagous insects [J]. *Annual Review of Entomology*, 1999, 44 (1): 561–592.
- Tiantong Forest Farm of Zhejiang Province, Forest Research Institute of Chinese Academy of Forestry, Hangzhou Botanical Garden of Zhejiang Province, et al. Report on the control of *Matsucoccus sinensis* by release of *Harmonia axyridis* and *Chrysopa pallens* in forest [J]. *Forestry Science and Technology*, 1981, 6: 29–31. [浙江省鄞县天童林场, 中国林科院林研所, 浙江省杭州植物园, 等. 林间释放异色瓢虫、大草蛉防治日本松干蚧的试验报告 [J]. 林业科技通讯, 1981, 6: 29–31]
- Wang J, Chen HY, Meng Q, et al. SEM observation of antennal sensilla of *Chrysopa pallens* Rambur (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2016, 32 (5): 598–603. [王娟, 陈红印, 孟卿, 等. 大草蛉触角感器的扫描电镜观察 [J]. 中国生物防治学报, 2016, 32 (5): 598–603]
- Wang J, Zhang LS, Zhang HP, et al. Construction of cDNA library of *Chrysopa pallens* (Rambur) antenna [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (6): 898–904. [王娟, 张礼生, 张海平, 等. 大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur) 触角 cDNA 文库的构建 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (6): 898–904]
- Wang LY. Study on the biology of *Chrysopa septempunctata* Wesmäl and its population growth and decline [J]. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 1984, 2: 24–28. [王良衍. 大草蛉生物学及其种群消长的研究 [J]. 浙江林业科技, 1984, 2: 24–28]
- Wang QY, Wang RJ, Li YL, et al. Effects of different habitats on the population distribution of *Chrysopa pallens* [J]. *Protection Forest Science and Technology*, 2014, 10: 51–53, 68. [王芊樾, 王瑞君, 李又霖, 等. 不同生境对草蛉种群分布影响的研究 [J]. 防护林科技, 2014, 10: 51–53, 68]
- Wang R, Wang S, Qu C, et al. The predatory functional response and searching effect of *Chrysopa pallens* larvae to *Bemisia tabaci* eggs on different host plants [J]. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43 (1): 149–154. [王然, 王甦, 渠成, 等. 大草蛉幼虫对不同寄主植物上烟粉虱卵的捕食功能反应与搜寻效应 [J]. 植物保护学报, 2016, 43 (1): 149–154]
- Wang YL, Wei JZ, Zhang LL, et al. Effects of Cry1Ac and Cry2Ab proteins on the growth and enzyme activities of *Chrysopa pallens* [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2014, 41 (3): 285–291. [王英丽, 魏纪珍, 张丽丽, 等. Cry1Ac 和 Cry2Ab 蛋白对大草蛉生长发育及酶活力的影响 [J]. 植物保护学报, 2014, 41 (3): 285–291]
- Wei HY, Zhan GX, Shen RW, et al. Preliminary report on the predation effect of *Chrysopa septempunctata* Wesmäl on *Pseudodendrothrips mori* (Niwā) [J]. *Jiangxi Plant Protection*, 1993, 16 (4): 23–24, 12. [魏洪义, 詹根祥, 沈荣武, 等. 草蛉对桑蓟马捕食作用初报 [J]. 江西植保, 1993, 16 (4): 23–24, 12]
- Wu HH, Zhang LS, Chen HY. Effect of temperature and release height on dispersal behavior of *Chrysopa pallens* (Rambur) and *Chrysopa formosa* Brauer adults [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30 (5): 587–592. [武鸿鹄, 张礼生, 陈红印. 温度与释放高度对大草蛉和丽草蛉成虫扩散行为的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30 (5): 587–592]

- Wu RQ, Sun GH. Identification of common lacewings eggs and larvae in Tianjin [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 1980, 2: 25–26. [伍瑞清, 孙桂华. 天津常见草蛉卵及幼虫的识别 [J]. 天津农业科学, 1980, 2: 25–26]
- Wu YK. Habitat Selection Behavior of Adult Lacewings and *Orius* spp. [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2017. [吴月坤. 草蛉与小花蝽成虫的植物生境选择行为 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2017]
- Wu Z, Lv XH, Hu DF, et al. Preliminary research on habitats election of *Chrysopa septempunctata* in farmland and in central Hebei Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (8): 3379–3383. [吴专, 吕小红, 胡德夫, 等. 冀中农区大草蛉 (*Chrysopa septempunctata*) 栖息地选择 [J]. 生态学报, 2007, 27 (8): 3379–3383]
- Yan HX. Studies on Mechanism of Photosensitivity and Phototaxis of Green Lacewing (Neuroptera: Chrysopidae) [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2002. [闫海霞. 草蛉感光趋光机制的研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2002]
- Yang JK. Live habits and common species of lacewings [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 1974, 3: 36–41. [杨集昆. 草蛉的生活习性和常见种类 [J]. 应用昆虫学报, 1974, 3: 36–41]
- Yang XK, Yang JK, Li WZ. Chinese Animal Records: Chrysopidae [M]. Beijing: Science Press, 2005. [杨星科, 杨集昆, 李文柱. 中国动物志: 草蛉科 [M]. 北京: 科学出版社, 2005]
- Yang XK. Discussion on the scientific name of *Chrysopa pallens* (Rambur) and related questions [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1998, 41 (1): 106–107. [杨星科. 关于大草蛉的学名及有关问题的讨论 [J]. 昆虫学报, 1998, 41 (1): 106–107]
- Yang Z, Zhao GL, Yan GZ, et al. Habitat selection and natural enemy function of *Chrysopa pallens* Rambur in agroforestry systems [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35 (23): 7650–7658. [杨钊, 赵广亮, 闫国增, 等. 农林复合环境大草蛉生境选择取向及天敌效能 [J]. 生态学报, 2015, 35 (23): 7650–7658]
- Yu LY. Studies on Cold Hardiness of Prepupa and Life Table of Laboratory Population of *Chrysopa pallens* (Rambur) [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2011. [于令媛. 大草蛉的预蛹耐寒性和实验种群生命表研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2011]
- Yu LY, Chen ZZ, Zheng FQ, et al. Demographic analysis, a comparison of the jackknife and bootstrap methods, and predation projection: A case study of *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2013, 106 (1): 1–9.
- Yu LY, Shi AJ, Zheng FQ, et al. Seasonal changes in the cold hardiness of *Chrysopa pallens* (Rambur) prepupa [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45 (9): 1723–1730. [于令媛, 时爱菊, 郑方强, 等. 大草蛉预蛹耐寒性的季节性变化 [J]. 中国农业科学, 2012, 45 (9): 1723–1730]
- Yu X, Jones HD, Ma Y, et al. (E)- β -Farnesene synthase genes affect aphid (*Myzus persicae*) infestation in tobacco (*Nicotiana tabacum*) [J]. *Functional and Integrative Genomics*, 2012, 12 (1): 207–213.
- Zhang AS, Feng JG, Yu Y, et al. The functional response of *Coccinella septempunctata* and *Chrysopa septempunctata* to *Hyaloperterus amygdali* [J]. *Entomological Journal of East China*, 2004, 13 (1): 69–71. [张安盛, 冯建国, 于毅, 等. 七星瓢虫、大草蛉对桃粉蚜捕食功能研究 [J]. 华东昆虫学报, 2004, 13 (1): 69–71]
- Zhang F, Wang SQ, Luo C, et al. Effects of several artificial feeds on the growth and development of *chrysopa pallens*. In: Kang L, eds. Innovation and development of entomology [C]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2002: 657–660. [张帆, 王素琴, 罗晨, 等. 几种人工饲料对大草蛉生长发育的影响. 见: 康乐主编. 昆虫学创新与发展 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 2002: 657–660]
- Zhang F, Wang SQ, Luo C, et al. Effects of the artificial diets and breeding means on growth and development of *Chrysopa septempunctata* Wesmael [J]. *Plant Protection*, 2004, 30 (5): 36–40. [张帆, 王素琴, 罗晨, 等. 几种人工饲料及繁殖技术对大草蛉生长发育的影响 [J]. 植物保护, 2004, 30 (5): 36–40]
- Zhang HQ, Yan HX, Liu S, et al. Effect of light intensity on the photosensitivity and phototaxis behaviour of *Chrysopa pallens* Rambur (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52 (4): 461–464. [张海强, 闫海霞, 刘顺, 等. 光强度对大草蛉成虫感光性和趋光性行为的影响 [J]. 昆虫学报, 2009, 52 (4): 461–464]
- Zhang HQ, Zhu N, Fan F, et al. External morphology and microstructure of the compound eye of *Chrysopa pallens* Rambur (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50 (5): 454–460. [张海强, 朱楠, 范凡, 等. 大草蛉成虫复眼的外部形态及其显微结构 [J]. 昆虫学报, 2007, 50 (5): 454–460]
- Zhang QH, Sheng M. Iridodial: A powerful attractant for the green lacewing, *Chrysopa septempunctata* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Naturwissenschaften*, 2006, 93 (9): 461–465.
- Zhang X, Li XL, Liang ZS, et al. Potential management capacity investigation of *Chrysopa pallens* (Hymenoptera: Chrysopidae) to *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae) on the host plant sealwort in different environmental temperatures [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2012, 34 (2): 214–219. [张欣, 李修炼, 梁宗锁, 等. 不同环境温度下大草蛉对黄精主要害虫二斑叶螨的控害潜能评估 [J]. 环境昆虫学报, 2012, 34 (2): 214–219]
- Zhao JZ. Preliminary analysis on the occurrence law of lacewings in cotton field in China [J]. *Journal of Hubei University (Natural Science Edition)*, 1981, 2: 29–37. [赵敬钊. 对我国棉田草蛉发生规律的初步分析 [J]. 湖北大学学报 (自然科学版), 1981, 2: 29–37]
- Zhao JZ. Studies on bionomics of *Chrysopa septempunctata* Wesmael [J]. *Journal of Plant Protection*, 1988, 15 (2): 123–127. [赵敬钊. 大草蛉生物学特性研究 [J]. 植物保护学报, 1988, 15 (2): 123–127]
- Zhao Q, Chen J, Liu FX, et al. Predation of *Chrysopa pallens* on *Myzus persicae* and *Aphis nerii* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 30 (3): 220–223. [赵琴, 陈婧, 刘凤想, 等. 大草蛉对桃蚜和夹竹桃蚜的捕食作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2008, 30 (3): 220–223]