

温度与杀虫剂对黑腹单节螯蜂生物学特性的影响

马晓慧¹ 毛艇^{1,*} 郭莉¹ 邢亚楠¹ 邵凌云² 车喜庆¹ 刘郁¹ 于深州¹

(¹ 辽宁省盐碱地利用研究所, 辽宁 盘锦 124010; ² 辽宁省农业科学院植物保护研究所, 沈阳 110161; *通信联系人, email: chinamaoting1985@163.com)

Effects of Temperature and Insecticides on the Biological Traits of *Haplogonatopus oratorius*

MA Xiaohui¹, MAO Ting^{1,*}, GUO Li¹, XING Yanan¹, SHAO Lingyun², CHE Xiqing¹, LIU Yu¹, YU Shenzhou¹

(¹ Liaoning Institute of Saline-Alkali Land Utilization, Panjin 124010, China; ² Institute of Plant Protection, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China; *Corresponding author, email: chinamaoting1985@163.com)

Abstract: 【Objective】 In the northern rice-growing areas, *Haplogonatopus oratorius* is the dominant natural enemy species of *Laodelphax striatellus* among dryinid wasps. Its population dynamics are closely related to external environmental factors. This study aims to clarify the effects of temperature and pesticides on the main biological parameters of *H. oratorius* under laboratory conditions. 【Method】 Five temperatures (12, 18, 24, 30, and 36 °C) were set to examine their effects on the predation, parasitism, and adult longevity of the parental generation of *H. oratorius*, as well as on the cocooning rate, emergence rate, female proportion, and developmental duration of its offspring. Additionally, the lethal effects of two concentrations of chlorantraniliprole, abamectin, and pymetrozine were tested on the main developmental stages (parasitized hosts, cocoons, and adults) of *H. oratorius*. 【Result】 1) Under different temperature conditions, the highest predation rate of *H. oratorius* was 20.5% (at 18 and 24 °C), and it gradually decreased from 18 to 36 °C, with the lowest rate being 9.0% (at 12 °C). The highest parasitism rate was 30.5% (at 30 °C), which gradually increased from 12 to 30 °C, and the lowest rate was 12.0% (at 36 °C). Adult longevity was longest at 18 °C (21.7 days for females, 3.7 days for males) and the shortest at 36 °C (2.8 days for females, 1.3 days for males). The cocooning rate (85.7%), emergence rate (76.2%), and the female proportion (38.1%) of offspring were all highest at 24 °C, while no offspring survived at 36 °C. 2) When parasitized hosts (5 and 12 days post-parasitism) were treated with the tested insecticides, the mortality caused by chlorantraniliprole ranged from 62.5% to 75%, whereas abamectin and pymetrozine both caused 100% mortality. For cocoons treated for 3 and 7 days, mortality ranged from 3.3% to 30.0% for all tested insecticides. For adult females and males, abamectin caused 48-h mortality of 73.3%–90.0%, while chlorantraniliprole and pymetrozine caused 48-h mortality of 36.7%–73.3%. 【Conclusion】 The suitable temperature range for *H. oratorius* is 18–30 °C; survival rate decreases significantly at both low and high temperatures, and no survival was observed at 36 °C. The wasp shows relatively strong tolerance to insecticides during the cocoon stage.

Keywords: temperature; insecticide; *Haplogonatopus oratorius*; biological traits

摘 要: 【目的】黑腹单节螯蜂是北方稻区灰飞虱螯蜂科天敌的优势种, 其种群动态变化与外界环境因素密切相关, 本研究旨在明确温度与杀虫剂对黑腹单节螯蜂室内主要生物学参数的影响。【方法】设定 12℃、18℃、24℃、30℃、36℃共 5 个温度, 考察不同温度对黑腹单节螯蜂当代捕食、寄生、成虫寿命及其子代结茧、羽化、雌性比、发育历期的影响; 考察氯虫苯甲酰胺、阿维菌素、吡蚜酮两种浓度对黑腹单节螯蜂主要发育阶段(寄主体、蜂茧、成虫)的致死效应。【结果】1) 不同温度条件下黑腹单节螯蜂捕食率最高值为 20.5%(18℃、24℃), 18℃~36℃捕食率逐渐降低, 最低值为 9.0%(12℃); 寄生率最高值为 30.5%(30℃), 12℃~30℃寄生率逐渐升高, 最低值为 12.0%(36℃); 成虫寿命在 18℃最长(雌蜂 21.7 d、雄蜂 3.7 d), 在 36℃最短(雌蜂 2.8 d、雄蜂 1.3 d)。黑腹单节螯蜂子代结茧率(85.7%)、羽化率(76.2%)、雌性比(38.1%)均在 24℃时最高, 36℃子代无法存活。2) 供试药剂处理寄生 5 d、12 d 的寄主体, 氯虫苯甲酰胺致死率为 62.5%~75%, 阿维菌素和吡蚜酮致死率均为 100%; 供试药剂处理蜂茧 3 d、7 d 致死率为 3.3%~30.0%; 供试药剂处理雌雄成虫, 阿维菌素 48h 致死率为 73.3%~90.0%, 氯虫苯甲酰胺与吡蚜酮 48h 致死率为 36.7%~73.3%。【结论】黑腹单节螯蜂适宜生长温区为 18~30℃, 低温和高

收稿日期: 2026-01-05; 修改稿收到日期: 2026-03-27。

基金项目: 辽宁省农业科学院院长基金项目(2025MS1707); 辽宁省“种质创新藏粮于技”重大专项 (2023JH1/10200009)。

温时存活率显著下降, 甚至无法存活, 其在蜂茧阶段抗杀虫剂能力较强。

关键词: 温度; 杀虫剂; 黑腹单节螯蜂; 生物学特性

辽宁盘锦是我国粳稻主要产区之一, 区域内特有的稻蟹共作生产模式, 已成为我国农业生态种养模式的典范^[1], 而病虫害是制约区域内粳稻产量最重要的因素^[2]。灰飞虱(*Laodelphax striatellus*)是盘锦稻区常发水稻害虫之一, 能在本地越冬, 当前主要依靠化学杀虫剂进行防控。然而, 连年用药已引起害虫不断产生抗药性、环境污染加剧等现象, 且不适于稻蟹共作生产模式, 而以害虫天敌控制作用为基础的生物防控是害虫综合治理策略中的重要措施^[3,4]。

螯蜂隶属于膜翅目(Hymenoptera)螯蜂科(Dryinidae), 是稻飞虱成虫、若虫期的优势天敌, 兼具捕食与寄生功能, 对控制稻飞虱种群数量具有重要作用。截至目前, 我国已报道稻田中共有 16 种螯蜂科天敌, 其中, 寄生在稻飞虱上的主要有稻虱红单节螯蜂[*Haplogonatopus apicalis* R. C. L. Perkins]、黄腿双距螯蜂[*Gonatopus flavifemur* (Esaki&Hashimoto)]、黑腹单节螯蜂[*Haplogonatopus oratorius* (Westwood)]及两色食虱螯蜂[*Echthrodelpfax fairchildii* R. C. L. Perkins]等^[5]。我国关于稻飞虱天敌螯蜂的研究起步较晚, 多集中在 20 世纪末, 且主要在我国南方诸省开展, 研究内容主要为田间基础调查和室内生物学参数^[6-9]。近年有研究报道了稻虱红单节螯蜂、黄腿双距螯蜂等种类的生物学^[10,11]相关内容, 而有关我国北方稻飞虱天敌螯蜂鲜有报道。笔者前期调查了辽宁盘锦稻区稻飞虱天敌螯蜂共有 2 种, 其中黑腹单节螯蜂田间自然发生量占比为 99.13%, 占有绝对的优势地位^[12]。

温度是生态系统中重要因素, 昆虫作为变温动物, 其生理特征直接受外界环境温度变化的影响^[13,14]。杀虫剂是农田中使用频率较高的控害物质, 常以触杀、胃毒等形式直接杀灭害虫或使其某种生理功能受损, 从而达到控制其种群数量的目的。黑腹单节螯蜂的卵期以及大部分幼虫期均在寄主体内完成, 幼虫离体后短暂的吐丝结茧期、蛹期、成虫期则在野外环境中完成。黑腹单节螯蜂种群动态规律受自然环境中温度、杀虫剂等诸多因素共同作用。非适温条件和杀虫剂作用均不利于天敌昆虫的生长发育^[15,16]。为明确温度与杀虫剂对黑腹单节螯蜂捕食、寄生、寿命及子代结茧等生物学特性的影响, 本研究考察了不同温度条件和杀虫剂作用对黑腹单节螯蜂的主要生物学参数的影响, 以期对深

入挖掘黑腹单节螯蜂的控害潜力提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试稻苗选择辽宁盘锦稻区主栽品种盐丰 47, 低密度育苗至 2~3 叶龄, 选择茎秆粗壮健康的稻苗备用; 洗净根部泥土, 修剪较长的根尖和叶端, 用脱脂棉和纱布包裹根部保水。黑腹单节螯蜂与寄主灰飞虱为实验室(24℃、RH60%±5%)人工继代饲养的种群。灰飞虱群体饲养: 雌雄成虫、卵及各龄期若虫同时存在, 在整盘罩笼稻苗上共同饲养。灰飞虱单头饲养: 取特定龄期的灰飞虱若虫, 接入新鲜稻苗, 蜕皮 1 次计为新的龄期。黑腹单节螯蜂以群体饲养的灰飞虱供饲, 每日取稻叶上新结茧备用。

1.2 供试药品与仪器设备

选择辽宁盘锦稻区主要害虫(二化螟和稻飞虱)的 3 种常用杀虫剂: 5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂(富美实公司)。药液浓度设置 2000 倍液(A1)、1000 倍液(A2)。1.8%阿维菌素乳油(安徽华星化工有限公司)浓度设置 1500 倍液(B1)、750 倍液(B2)。25%吡蚜酮悬浮剂(江苏克胜集团股份有限公司)浓度设置 1500 倍液(C1)、750 倍液(C2)。

智能人工气候箱(RXZ-1000B)由宁波赛福仪器厂生产; 多功能影像显微镜(SZ760)由重庆奥特仪器厂生产。

1.3 温度处理

试验设计了 12℃、18℃、24℃、30℃、36℃共 5 个温度(湿度条件 60±5 %), 考察各温度条件下黑腹单节螯蜂当代对灰飞虱的单日寄生率、单日捕食率以及雌雄成虫寿命; 考察各温度条件下黑腹单节螯蜂子代结茧率、羽化率、雌性占比以及子代发育历期。

当代: 取新羽化的 3 龄灰飞虱若虫转入玻璃试管, 每管 20 头, 接入 1 对新羽化雌雄螯蜂, 置于各温度条件下, 24 h 后引出螯蜂, 镜检灰飞虱若虫(体背上有“裂口”且已死亡计为被捕食; 体背有淡色产卵痕且活动计为被寄生), 记录其被捕食或寄生的数量, 如遇灰飞虱未被捕食而死亡, 则补充数量。上述取出的螯蜂成虫(1 对雌雄)接入新的玻璃罐中, 提前接入新鲜稻苗和足量(40~60 头/罐)群体饲养的

灰飞虱若虫, 每日观察, 每隔 5~7 d 更换新的玻璃罐, 直至雌雄螯蜂全部死亡。每个温度处理重复 10 次。

子代: 取新羽化且被成功寄生的 3 龄灰飞虱若虫, 转入备有新鲜稻苗的试管, 单头饲养, 置于各温度下的气候箱中(期间观察稻苗的生长情况, 防止低温湿度高和高温湿度低、稻苗干枯而影响灰飞虱存活的情况), 每日观察直至螯蜂从寄主“背囊”爬出结茧, 记录死亡数量(灰飞虱死亡认定为寄生螯蜂也死亡)和结茧数量。螯蜂子代结茧可能在稻叶上或试管壁上, 将所有蜂茧置于相应的温度气候箱中, 记录最终羽化的螯蜂个体数量及子代雌雄性比。统计螯蜂从雌蜂产卵当天至最终羽化当天的时间, 计为子代螯蜂的发育历期。每个温度处理各 20 次重复。

1.4 杀虫剂处理

螯蜂的卵期至幼虫中后期均在寄主体上完成, 幼虫末期(短暂)、蛹期、成虫期为独立生存, 因此螯蜂生长发育主要为寄主体阶段、蜂茧阶段、成虫阶段。本研究设定了杀虫剂对黑腹单节螯蜂几个关键阶段的影响, 分别为: 1) 寄主体阶段: 寄生 5 d(无“背囊”)和寄生 12 d(有“背囊”); 2) 蜂茧阶段: 螯蜂结茧 3 d 和 7 d; 3) 成虫阶段: 新羽化雌、雄成虫。以下为具体试验方法:

1) 寄生 5 d 和 12 d。参考丁文娟等^[17]方法略加修改。采用稻苗浸药法, 将新鲜稻苗浸入相应浓度药液, 取出后放滤纸上自然晾干, 再装入试管中备用。接入 1 头寄生 5 d 的灰飞虱, 24 h 后开始记录: 药后第 1 天(黑腹单节螯蜂寄生 6 d)、第 3 天(寄生 8 d)、第 5 天(寄生 10 d)灰飞虱的存活情况; 接入 1 头寄生 12 d 的灰飞虱, 24 h 后开始记录: 药后第 1 天(黑腹单节螯蜂寄生 13 d)、第 3 天(寄生 15 d)、第 5 天(寄生 17 d)灰飞虱的存活情况, 以及所有存活螯蜂最终结茧和羽化情况。若螯蜂已离开寄主, 则以螯蜂存活情况为准。每个处理重复 20 次, 以清水处理为对照。

2) 蜂茧。以黑腹单节螯蜂健康幼虫吐丝结茧时, 最外层茧结完开始统计, 考察结茧 3 d、7 d 时的蜂茧。选取蜂茧时, 在茧的两端各留出 2 cm 以上的稻叶, 用曲别针夹住稻叶固定, 以防稻叶自然卷曲影响螯蜂羽化。参考周仙红^[18]的方法略加修改, 采用药液浸泡蜂茧处理, 夹住蜂茧边缘稻叶处, 浸入药液 5 s 后取出自然晾干, 置于气候箱中培养, 记录最终羽化情况。每个处理重复 30 次, 以清水处理为对照。

3) 成虫。考虑螯蜂成虫行动敏捷, 采用药膜法, 参考陈红英等^[19]方法略加修改。将试管中倒入相应浓度药液, 转动使管壁均匀涂布药液后, 弃掉余液, 稻苗浸药参考方法 1), 将稻苗装入涂布好药液的试管中备用。接入 1 头新羽化的雌成虫, 同时接入 20 头左右的 3 龄灰飞虱若虫饲喂; 接入 1 头雄成虫, 但不接入灰飞虱, 仅饲喂少量蜜水, 48 h 后观察雌雄成虫的存活情况。重复 30 次, 以清水处理为对照。

1.5 数据处理

全部数据采用 Excel 2016 计算平均值、作图, 采用软件 GraphPad Prism 10.4.1 对黑腹单节螯蜂的相关生物学参数进行单因素方差分析(One-way ANOVA)以及邓肯多重比较检验, 为满足方差齐性假设, 需对生物学参数进行 Arcsin 平方根转换。生物学参数相关计算公式如下:

- 1) 捕食率=(被捕食数/试虫总数)×100%;
- 2) 寄生率=(被寄生数/试虫总数)×100%;
- 3) 致死率=(死亡虫数/试虫总数)×100%;
- 4) 校正死亡率=(处理组死亡率-对照组死亡率)/(1-对照组死亡率)×100%。

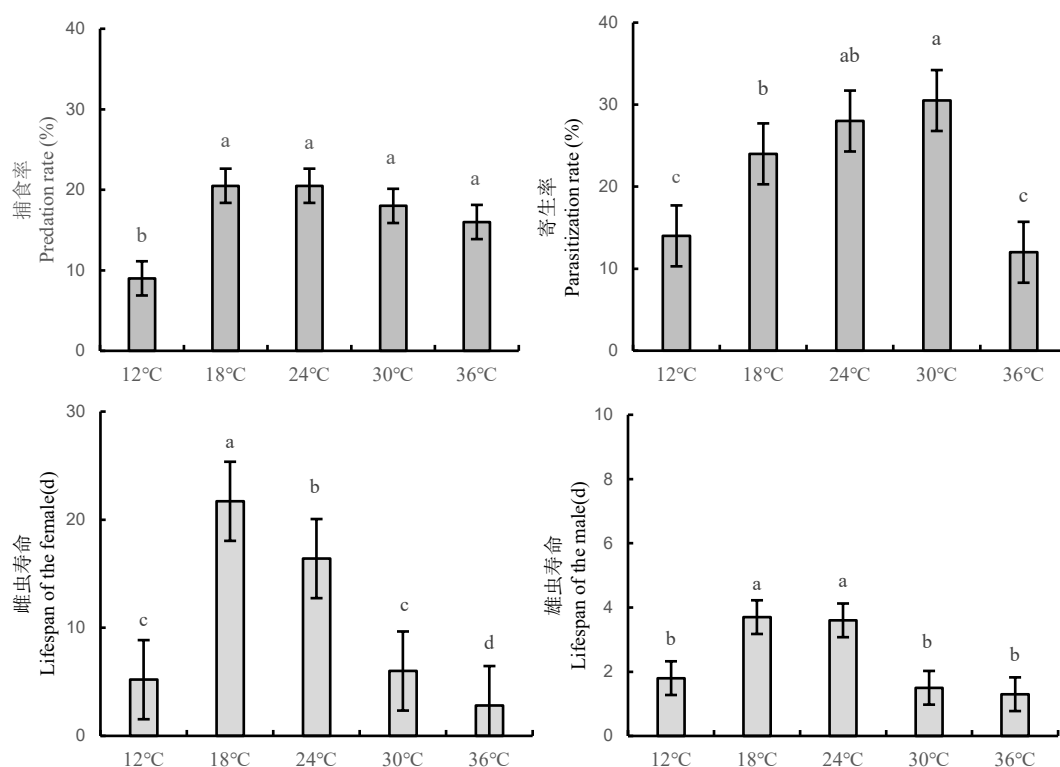
2 结果与分析

2.1 温度对黑腹单节螯蜂主要生物学参数的影响

温度能够影响黑腹单节螯蜂对寄主灰飞虱的捕食率和寄生率。随温度上升, 捕食率呈先升后降趋势, 18℃下捕食率最高, 12℃下捕食率最低, 与其他温度处理差异显著。随温度上升, 寄生率同样呈现先升后降趋势, 30℃时寄生率最高, 36℃时最低, 与其他温度处理(12℃除外)差异显著(图 1)。

温度也能够影响黑腹单节螯蜂雌雄成虫的寿命。雌成虫寿命在 18℃下最长(21.7 d), 与其他温度条件下的寿命差异显著; 其次为 24℃(16.4 d), 寿命显著长于其余 3 个温度; 12℃与 30℃雌成虫寿命不存在显著差异; 36℃温度下寿命最短(2.8 d)。雄成虫寿命在 18℃(3.7 d)与 24℃(3.6 d)时较长, 两者间不存在显著差异; 在 12℃(1.8 d)、30℃(1.5 d)、36℃(1.3 d)的寿命显著短于前两个温度, 但三者间不存在显著差异(图 1)。

由此可见, 温度对黑腹单节螯蜂捕食、寄生灰飞虱以及成虫的寿命均存在不同程度的影响。综合来看, 18℃~30℃条件较适宜黑腹单节螯蜂捕食与寄生, 尤其是 18℃~24℃下, 雌雄成虫的寿命较长, 更有利于该蜂对寄主的捕食与寄生。



图中小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

The lowercase letters in the figure denote significant differences at the 0.05 level. The same below.

图 1 温度对黑腹单节螯蜂捕食率、寄生率、寿命的影响

Fig. 1. Effects of temperature on the predation rate, parasitism rate and lifespan of *Haplogonatopus oratorius*

温度能够影响黑腹单节螯蜂子代的结茧率和羽化率。在 24°C(85.7%)时结茧率最高,显著高于其他温度;在 36°C 时结茧率为 0,显著低于其他温度;12°C、18°C、30°C 温度下结茧率相当,无显著性差异。在 36°C 时羽化率为 0,显著低于其他温度;而 12°C、18°C、24°C、30°C 温度下羽化率不存在显著差异,最高值为 76.2% (24°C)(图 2)。

黑腹单节螯蜂子代雌性占比与发育历期也受温度影响。24°C 时雌性占比(38.1%)最高,与 12°C、18°C、30°C 无显著性差异,但显著高于 36°C (36°C 螯蜂数量为 0)。发育历期在不同温度间差异显著,12°C(26.47 d)、18°C(24.76 d)、24°C(23.62 d)、30°C(18.42 d)螯蜂的发育历期逐渐缩短,36°C 下子代螯蜂不能完成发育(图 2)。

可见,温度对黑腹单节螯蜂子代结茧和羽化,以及雌性占比、发育历期均存在不同程度的影响,36°C 下螯蜂子代无法存活,24°C 最适宜黑腹单节螯蜂生存,且此温度下子代雌性占比最高。

2.2 杀虫剂对黑腹单节螯蜂主要生物学参数的影响

杀虫剂对不同虫态的黑腹单节螯蜂致死作用

不同。由于螯蜂生活史中的一个重要阶段是在寄主灰飞虱体内发育,而杀虫剂的靶标是灰飞虱等害虫,因而杀虫剂对寄生 5 d 和 12 d 的寄主体致死率较高。杀虫剂对寄生 5 d 的虫体致死率差异性表现为氯虫苯甲酰胺显著低于阿维菌素和吡蚜酮,校正致死率最低值为 62.5%,最高值为 100%。氯虫苯甲酰胺不同浓度之间,以及阿维菌素、吡蚜酮各浓度间不存在显著差异。杀虫剂对寄生 12 d 的虫体致死率差异性表现为氯虫苯甲酰胺显著低于其他药剂,校正致死率为 77.78% (2000 倍液)、83.33% (1000 倍液),其他药液间无显著性差异,致死率均为 100% (图 3)。

杀虫剂能够影响黑腹单节螯蜂蜂茧的羽化。3 种杀虫剂结茧 3 d 的蜂茧致死率为 16.7%~30.0%,且各处理间无显著性差异;吡蚜酮(1500 倍液)对结茧 7 d 蜂茧致死率最低(3.3%),阿维菌素(750 倍液)致死率最高(20.0%),两者差异显著,但两者与其他各药剂浓度间不存在显著差异(图 3)。

杀虫剂对黑腹单节螯蜂雌雄成虫 48 h 致死率具有不同程度的影响。供试药剂对雌成虫致死率由高至低依次为阿维菌素>吡蚜酮>氯虫苯甲酰胺,

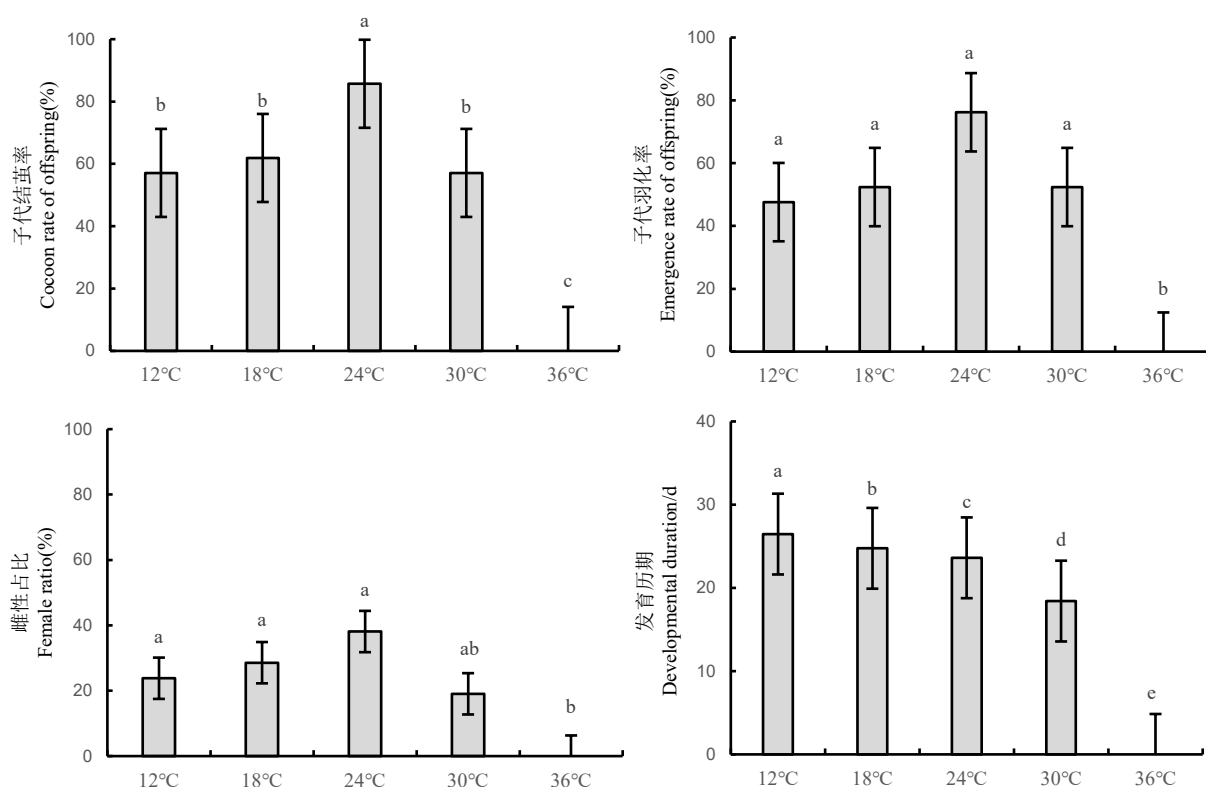


图 2 温度对黑腹单节螯蜂子代结茧率、羽化率、雌性比及发育历期的影响

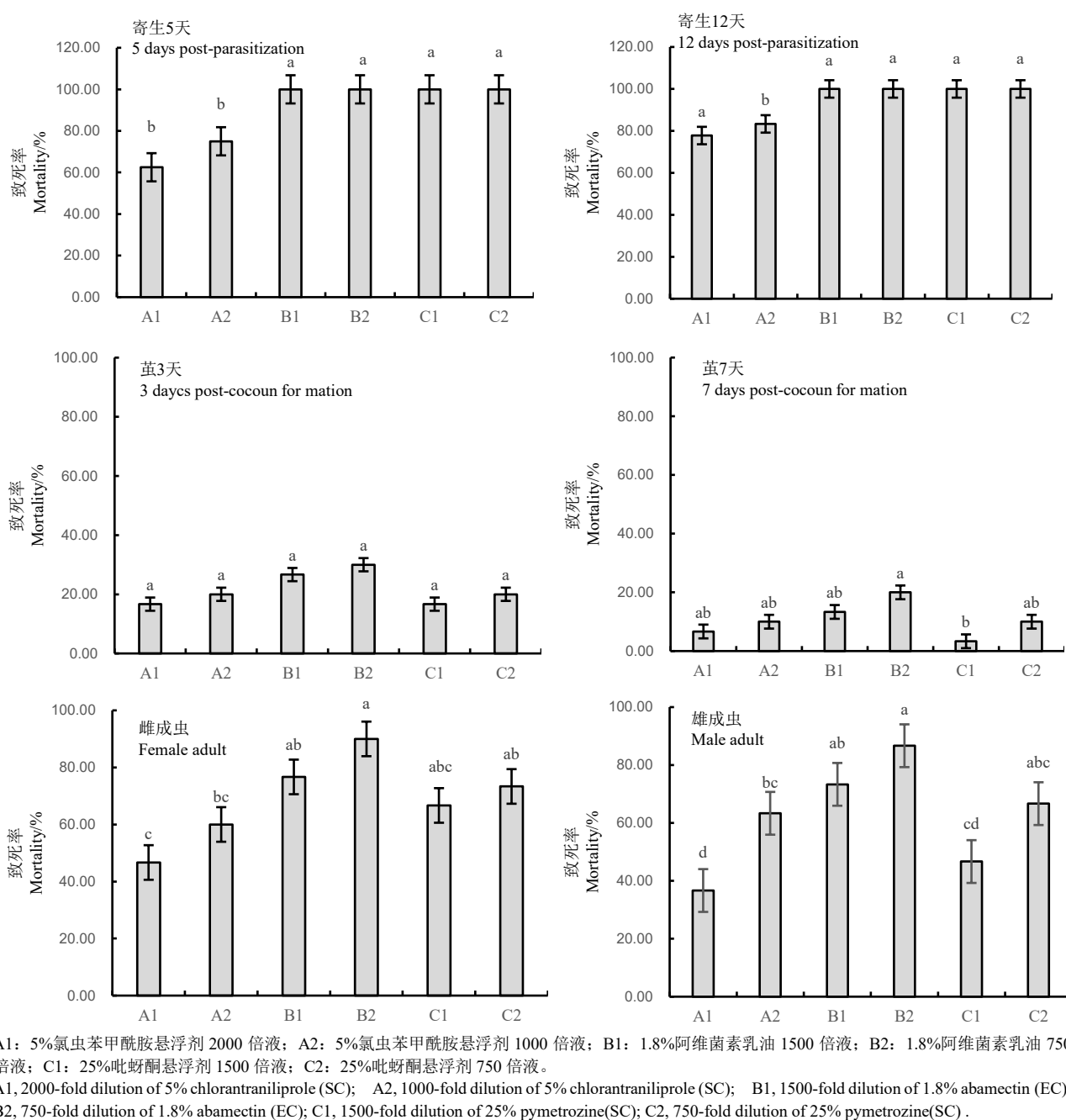
Fig. 2. Effects of temperature on the cocooning rate, emergence rate, female ratio and developmental duration of the offspring of *Haplogonatopus oratorius*

其中,阿维菌素(750 倍液)致死效应最高(90.0%),氯虫苯甲酰胺(2000 倍液)致死效应最低(46.7%),两者间差异显著;阿维菌素(750 倍液)与氯虫苯甲酰胺(2000 倍液、1000 倍液)差异显著,阿维菌素(1500 倍液)、吡蚜酮(750 倍液)与氯虫苯甲酰胺(2000 倍液)差异显著;吡蚜酮(1500 倍液)与氯虫苯甲酰胺(1000 倍液、2000 倍液)无显著性差异。吡蚜酮(1500 倍液)和氯虫苯甲酰胺(2000 倍液)对雄成虫致死率较低,两者间不存在显著性差异,最低值为 36.7%;阿维菌素(1500 倍液、750 倍液)、吡蚜酮(750 倍液)致死率较高,三者间不存在显著差异,最高值为 86.7%;氯虫苯甲酰胺(1000 倍液)致死率居中(63.3%),与阿维菌素(750 倍液)和氯虫苯甲酰胺(2000 倍液)具有显著差异性(图 3)。

3 讨论

在田间生态系统中,温度、湿度、杀虫剂等外界因素对昆虫生物学与生态学特性具有重要的影响,温度能够直接影响天敌昆虫的生长发育与繁殖^[20,21],而杀虫剂胁迫能引起昆虫在基因表达、免疫功能、解毒酶等方面的强烈应答^[22-24]。本研究

发现,温度能够影响黑腹单节螯蜂与寄主灰飞虱互作关系中的主要生物学参数,18°C~24°C是黑腹单节螯蜂发挥其对寄主灰飞虱的捕食与寄生功能的适宜温区,18°C时成虫的寿命最长,而 24°C时该蜂子代的结茧率、羽化率与雌性比均达到最高值。何佳春等^[11]报道了温度对褐飞虱天敌黄腿双距螯蜂生物学特性影响的研究结果:雌雄成虫寿命在 17°C 时最长并随温度升高而缩短,32°C成虫寄生率、羽化率最高,27°C时子代结茧率、羽化率最高,32°C 时子代雌性比最高。何雨婷^[25]报道了 27~31°C 适合两色食虱螯蜂和黄腿双距螯蜂取食、寄生及繁殖。樊梦希等^[26]斑衣蜡蝉寄主中华螯蜂在 25°C、光周期 16L: 8D 时幼虫的存活率与结茧率最高。这些与本研究结果不尽相同。究其原因,一方面螯蜂及其寄主种类相异,另一方面可能由于褐飞虱与灰飞虱在我国南北稻区中的分布及其寄主螯蜂的偏好性不同。灰飞虱不耐高温,螯蜂在寄主体内发育这一阶段主要取决于寄主存活的适温区。本研究设定的温区范围内,12°C~30°C黑腹单节螯蜂能够捕食与寄生,且子代能够有效地完成结茧和羽化,只是较低温度(12°C)不利于该蜂的生长发育。高温(36°C)时成虫仅存活 2.8 d(雌)和 1.3 d(雄),其子代无法完成生



A1: 5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂 2000 倍液; A2: 5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂 1000 倍液; B1: 1.8%阿维菌素乳油 1500 倍液; B2: 1.8%阿维菌素乳油 750 倍液; C1: 25%吡蚜酮悬浮剂 1500 倍液; C2: 25%吡蚜酮悬浮剂 750 倍液。

A1, 2000-fold dilution of 5% chlorantraniliprole (SC); A2, 1000-fold dilution of 5% chlorantraniliprole (SC); B1, 1500-fold dilution of 1.8% abamectin (EC); B2, 750-fold dilution of 1.8% abamectin (EC); C1, 1500-fold dilution of 25% pymetrozine(SC); C2, 750-fold dilution of 25% pymetrozine(SC).

图 3 杀虫剂对黑腹单节螯蜂不同发育阶段的致死率

Fig. 3. Mortality of *Haplogonatopus oratorius* when exposed to pesticides at different developmental stages

长发育。总之，温度在复杂多变的环境中影响昆虫生理功能^[27]，适温区能促进天敌的捕食或寄生，而非适温区天敌的生长、繁殖甚至存活量均不同程度降低^[28]。

杀虫剂能抑制稻田二化螟、稻飞虱等害虫，但其对稻田天敌的安全性仍不容乐观^[16,29]。研究表明，在黑腹单节螯蜂寄主体阶段、蜂茧阶段和成虫阶段，蜂茧对 3 种杀虫剂敏感性最低，结茧 3 d 和 7 d 的羽化率均在 70%以上。而寄主体阶段，氯虫

苯甲酰胺处理螯蜂羽化率最高为 30.0%，阿维菌素和吡蚜酮处理的所有螯蜂最终都没有完成羽化。成虫 48h 存活率为 10.0%~53.3%(雌)和 13.3%~63.3%(雄)，阿维菌素的致死率最高。这与前人研究结果一致，贵州省思南县在施用农药后，稻虱红螯蜂和黄腿螯蜂的蜂茧杀伤率远低于药后飞虱死亡率，而其他发育阶段的抗药能力较弱^[7]。

在寄主体内发育时，温度、杀虫剂影响螯蜂主要依赖于寄主体对外界因素的响应。杀虫剂的靶标

生物主要是灰飞虱等稻田害虫,因而,螳螂是否存活几乎与寄主在同一水平,这直接导致其在田间种群数量扩增中的不利表现。研究也发现,寄主体阶段受杀虫剂胁迫后,螳螂结茧当日幼虫存活率显著低于结茧前,推测这是由于螳螂幼虫离开寄主后,柔软的幼虫体壁直接与环境中的农药接触,尽管这一阶段时间较短,但杀虫剂发挥药效直接导致绝大部分螳螂幼虫死亡,这是造成螳螂在寄主体阶段死亡率高的又一主要原因。

本研究考察了温度、杀虫剂对黑腹单节螳螂的主要生物学参数的影响。在稻田复杂的环境中,光照、湿度、天敌等因素也共同影响着黑腹单节螳螂种群的生物学与生态学特性。螳螂寄生灰飞虱,同时也能捕食寄主,生活史也相对复杂。螳螂生长发育的主要阶段中,寄主体阶段受寄主生存的制约,结茧阶段取决于化茧的位置,仅成虫是相对自由的阶段。因考虑到试验复杂和周期较长,本研究并未设计多因素正交试验,后续研究我们将综合考量多因子共同作用下的黑腹单节螳螂生物学特性,为探索最适宜的天敌扩繁条件提供依据。

参考文献:

- [1] 苗微,刘佳敏,张佳,唐亮,张文忠,徐正进. 稻蟹共作对田间生态环境与水稻生长的影响研究进展[J]. 生态学杂志, 2020, 39(8): 2785-2791.
Miao W, Liu J M, Zhang J, Tang L, Zhang W Z, Xu Z J. Effects of rice-crab coculture on field ecological environment and rice growth: A review[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(8): 2785-2791. (in Chinese with English abstract)
- [2] 袁德宝,张冰瑞,叶回春,黄文江,郑琼,郭安廷,段艳慧,黄珊珊. 水稻病虫害遥感监测与预测研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2023, 38(1): 97-107.
Yuan D B, Zhang B R, Ye H C, Huang W J, Zheng Q, Guo A T, Duan Y H, Huang S Y. Advances in remote sensing monitoring and prediction of rice diseases and pests[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2023, 38(1): 97-107. (in Chinese with English abstract)
- [3] 戈峰. 论害虫生态调控策略与技术[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(1): 10-19.
Ge F. The ecological regulation and management of pests[J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57(1): 10-19. (in Chinese with English abstract)
- [4] 赵紫华,马建华,高峰,张蓉. 害虫种群区域性生态调控的系统策略[J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(5): 855-862.
Zhao Z H, Ma J H, Gao F, Zhang R. Systematic strategy of ecologically based pest management of insect pest population at landscape scales[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37(5): 855-862. (in Chinese with English abstract)
- [5] 何佳春. 浙江、湖南稻飞虱天敌调查及原色特征图片采集[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
He J C. Diversity Studies and Characteristic Color Photo of Natural Enemies of Rice Planthoppers in Zhejiang and Hunan Provinces[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014. (in Chinese)
- [6] 黄信飞. 褐稻虱的天敌—黄腿螳螂的初步观察[J]. 昆虫知识, 1982, 19(5): 12-15.
Huang X F. Enemy of *Nilaparvata lugens*: Preliminary observation of *Pseudogonatopus flavifemur*[J]. *Entomological Knowledge*, 1982, 19(5): 12-15. (in Chinese)
- [7] 陈毓祥. 稻飞虱天敌—螳螂种类调查及其幼虫分类初步[J]. 贵州农业科学, 1985, 13(5): 43-47.
Chen Y X. Natural enemies of rice planthopper-species investigation and larval taxonomy of Dryinidae[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 1985, 13(5): 43-47. (in Chinese)
- [8] 林冠伦,刘峰,胡建生. 稻虱螳螂在江苏的发生[J]. 江苏农学院学报, 1986, 7(4): 47-50.
Lin G L, Liu F, Hu J S. The occurrence of the dryinids in rice fields in Jiangsu Province[J]. *Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition*, 1986, 7(4): 47-50. (in Chinese with English abstract)
- [9] 胡淑恒,肖铁光,陈常铭. 稻虱红螳螂的研究[J]. 湖南农学院学报, 1987, 13(1): 49-58.
Hu S H, Xiao T G, Chen C M. Studies on *Haplogonatopus japonicus* Esaki et Hashimoto (hym., Dryinidae)[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 1987, 13(1): 49-58. (in Chinese with English abstract)
- [10] 何雨婷,何佳春,魏琪,赖凤香,杨中侠,傅强. 三种稻田常见螳螂对半翅目害虫的寄主偏好性及控害作用[J]. 昆虫学报, 2020, 63(8): 999-1009.
He Y T, He J C, Wei Q, Lai F X, Yang Z X, Fu Q. Host preferences and control effects of three common rice field dryinids on hemipteran pests[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2020, 63(8): 999-1009. (in Chinese with English abstract)
- [11] 何佳春,何雨婷,万品俊,魏琪,赖凤香,陈祥盛,傅强. 温度对褐稻虱天敌黄腿双距螳螂生物学特性的影响[J]. 中国水稻科学, 2022, 36(3): 318-326.
He J C, He Y T, Wan P J, Wei Q, Lai F X, Chen X S, Fu Q. Effects of temperature on biological traits of the pincer wasp [*Gonatopus flavifemur*(Esaki & Hashimoto)], a natural enemy of the brown planthopper(*Nilaparvata lugens*)[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2022, 36(3): 318-326. (in Chinese with English abstract)
- [12] 马晓慧,邢亚楠,郭莉,刘郁,车喜庆,桑海旭. 辽宁

- 盘锦地区稻飞虱天敌螯蜂种群动态研究[J]. 中国水稻科学, 2024, 38(1): 99-105.
- Ma X H, Xing Y N, Guo L, Liu Y, Che X Q, Sang H X. Population dynamics of Dryinidae, natural predators of rice planthoppers in Panjin Prefecture, Liaoning Province[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2024, 38(1): 99-105. (in Chinese with English abstract)
- [13] 陈丽芳, 邵东华, 段景攀, 白玮杰. 温度对昆虫的影响[J]. 内蒙古林业科技, 2015, 41(2): 57-61.
- Chen L F, Shao D H, Duan J P, Bai W J. Influence of temperature on insects[J]. *Journal of Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 2015, 41(2): 57-61. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张志高, 王利兵, 吴晴阳, 张文梅, 邹典缙, 路天, 徐婧, 葛育桂, 宋美玲, 李小珍. 江西烟区烟青虫发生规律与防控时机研究[J]. 江西农业学报, 2024, 36(8): 36-42.
- Zhang Z G, Wang L B, Wu Q Y, Zhang W M, Zou D J, Lu T, Xu J, Ge Y G, Song M L, Li X Z. Occurrence regularity and control timeline of *heliocoverpa assulta* in Jiangxi tobacco-growing areas[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2024, 36(8): 36-42. (in Chinese with English abstract)
- [15] 李倩, 程云霞, 罗礼智, 雷朝亮, 江幸福, 张蕾. 温度对绿眼赛螯蜂寄生率及生长发育的影响[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(5): 575-583.
- Li Q, Cheng Y X, Luo L Z, Lei C L, Jiang X F, Zhang L. Effect of temperature on parasitism rate and life history parameters of a solitary endoparasitoid, *Zelet chlorophthalmus* (Hymenoptera: Brachonidae)[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33(5): 575-583. (in Chinese with English abstract)
- [16] 李文红, 田旭, 金杰, 杨灿, 孙智荣, 黄纯杨, 汪汉成. 十四种杀虫剂对天敌益蝽的安全性及对其捕食效能影响[J]. 昆虫学报, 2025, 68(9): 1270-1281.
- Li W H, Tian X, Jin J, Yang C, Sun Z R, Huang C Y, Wang H C. Effects of fourteen insecticides on the safety and predatory efficiency of the natural enemy *Picromerus lewisi* (Hemiptera: Pentatomidae)[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2025, 68(9): 1270-1281. (in Chinese with English abstract)
- [17] 丁文娟, 杜若诗, 李召阁, 刘冬梅, 刘畅, 薛燕楠, 曹俊丽, 夏晓明. 三氟苯嘧啶对灰飞虱及其解毒代谢酶和保护酶活性的影响[J]. 南方农业学报, 2023, 54(12): 3581-3590.
- Ding W J, Du R S, Li Z G, Liu D M, Liu C, Xue Y N, Cao J L, Xia X M. Effects of trifluoropyrimidine on the activity of *Laodelphax striatellus* (Fallén), detoxification-metabolic enzymes and protective enzymes[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2023, 54(12): 3581-3590. (in Chinese with English abstract)
- [18] 周仙红, 宋美佳, 曹衍斌, 张安盛, 李丽莉, 门兴元, 张思聪, 庄乾营, 翟一凡, 于毅. 凹唇壁蜂寄生螨安全防护药剂的筛选[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(2): 411-418.
- Zhou X H, Song M J, Cao Y B, Zhang A S, Li L L, Men X Y, Zhang S C, Zhuang Q Y, Zhai Y F, Yu Y. Screen safe chemicals for *Osmia excavata* Alfken against the parasitic mite (*Tortonia* sp.) in the laboratory[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39(2): 411-418. (in Chinese with English abstract)
- [19] 陈红英, 卢文博, 袁善奎, 田建利. 2 种玻璃药膜法测定速灭威对异色瓢虫的毒性比较[J]. 现代农药, 2021, 20(5): 23-26.
- Chen H Y, Lu W B, Yuan S K, Tian J L. Comparison of two glass film methods for determining the toxicity of metolcarb to *Harmonia axyridis*[J]. *Modern Agrochemicals*, 2021, 20(5): 23-26. (in Chinese with English abstract)
- [20] 孟佳, 黄建. 温度和光周期对小黑瓢虫滞育的调节作用[J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(5): 927-935.
- Meng J, Huang J. Effect of temperature and photoperiod on diapause regulation of *Delphastus catalinae* (horn)[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37(5): 927-935. (in Chinese with English abstract)
- [21] 马罡, 马春森. 气候变化下极端高温对昆虫种群影响的研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2016, 46(5): 556-564.
- Ma G, Ma C S. The impacts of extreme high temperature on insect populations under climate change: A review[J]. *Scientia Sinica (Vita)*, 2016, 46(5): 556-564. (in Chinese with English abstract)
- [22] 陈妍利, 严孟文, 李萍, 周卫红, 吴福安, 赵卫国, 盛晟. UDP-葡萄糖基转移酶在斜纹夜蛾响应杀虫剂与斑痣悬茧蜂寄生胁迫中的作用机制[J]. 蚕业科学, 2025, 51(6): 493-503.
- Chen Y L, Yan M W, Li P, Zhou W H, Wu F A, Zhao W G, Sheng S. Mechanism of UDP-glycosyltransferase in the response of *Spodoptera litura* to insecticides and parasitization of *Meteorus pulchricornis* wesmael[J]. *Acta Sericologica Sinica*, 2025, 51(6): 493-503. (in Chinese with English abstract)
- [23] 藏卓伊. 四种旋小蜂科寄生蜂对林果害虫常用杀虫剂的敏感性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2024.
- Zang Z Y. Studies on the susceptibility of four Eupelmidae parasitoid species to commonly used insecticides for forest and fruit pests[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2024. (in Chinese with English abstract)
- [24] Zhang Y, Liu C, Jin R, Wang Y, Cai T, Ren Z, Ma K, He S, Lee K S, Jin B R, Li J, Wan H. Dual oxidase-dependent reactive oxygen species are involved in the regulation of UGT overexpression-mediated clothianidin resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*[J]. *Pest Management Science*, 2021, 77(9): 4159-4167.
- [25] 何雨婷. 稻田三种常见螯蜂的基本生物学特性及控害

- 作用研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.
- He Y T. Biological characteristics and control effect of three common dryinids in rice field[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2020. (in Chinese with English abstract)
- [26] 樊梦希, 暴可心, 庄宇彤, 王小艺. 光温条件和空间对中华螯蜂幼虫生长发育的影响[J]. 中国生物防治学报, 2025, 41(2): 291-298.
- Fan M X, Bao K X, Zhuang Y T, Wang X Y. Effects of light, temperature, and space on the development of *Dryinus sinicus* larvae[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2025, 41(2): 291-298. (in Chinese with English abstract)
- [27] Qin J Y, Liu Y Q, Zhang L, Cheng Y X, Luo L Z, Jiang X F. Effects of temperatures on the development and reproduction of the armyworm, *Mythimna roseilinea*: Analysis using an age-stage, two-sex life table[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(7): 1506-1515.
- [28] 杨美娟, 陈俊谕, 叶政培, 符悦冠, 王建赟, 朱俊洪, 张方平. 短时低温胁迫对日本食蚜蚜小蜂存活、发育及繁殖的影响[J]. 中国生物防治学报, 2023, 39(5): 1029-1037.
- Yang M J, Chen J Y, Ye Z P, Fu Y G, Wang J Y, Zhu J H, Zhang F P. Effects of short-term low temperature stress on survival, development and reproduction of the *Coccophagus japonicus* compere[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39(5): 1029-1037. (in Chinese with English abstract)
- [29] 牛一平, 杨小凡, 李敏, 马爱红, 冉红凡, 李建成, 赵少波. 田间常用杀虫剂对中华侧沟茧蜂安全性试验[J]. 中国生物防治学报, 2025, 41(6): 1307-1316.
- Niu Y P, Yang X F, Li M, Ma A H, Ran H F, Li J C, Zhao S B. Safety of insecticides commonly used in fields to *Microplitis mediator*[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2025, 41(6): 1307-1316. (in Chinese with English abstract)