



马晓慧, 邢亚楠, 车喜庆, 刘郁, 于深州, 桑海旭. 稻飞虱天敌螯蜂研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (4): 859–868.

稻飞虱天敌螯蜂研究进展

马晓慧, 邢亚楠, 车喜庆, 刘郁, 于深州, 桑海旭*

(辽宁省盐碱地利用研究所, 辽宁盘锦 124000)

摘要: 稻飞虱 (褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera*、灰飞虱 *Laodelphax striatellus*) 是世界性重要的水稻 *Oryza sativa* L. 害虫之一, 给水稻生产造成了重大经济损失。化学防治一直是控制稻飞虱的主要途径, 但长期使用化学药剂使稻飞虱产生抗药性, 并引起害虫增殖等诸多弊端, 迫切需要有效的生物防控手段进行控害。螯蜂是稻飞虱若虫和成虫期重要天敌, 兼具捕食与寄生的双重习性, 在控制稻飞虱种群数量方面发挥着重要的作用, 然而, 国内外有关螯蜂的研究报道仍然偏少。本文综述了我国稻飞虱天敌螯蜂常见种类、生物学特性、控害效果及其影响因子, 分析了存在的问题, 旨在为进一步开发利用螯蜂资源提供参考。

关键词: 稻飞虱; 螯蜂; 捕食; 寄生; 控害作用

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 04-0859-10

Research progress of Dryinidae for natural enemy of rice planthoppers

MA Xiao-Hui, XING Ya-Nan, CHR Xi-Qing, LIU Yu, YU Shen-Zhou, SANG Hai-Xu* (Liaoning Saline or Alkaline Land Utilization and Research Institute, Panjin 124000, Liaoning Province, China)

Abstract: Planthoppers (*Nilaparvata lugens*, *Sogatella furcifera* and *Laodelphax striatellus*) are the most significant rice pest in the world, which causes great economic losses to rice product. The major route of controlling rice planthoppers is chemical control. However, long-term use of chemical agents leads to many disadvantages such as resistance to rice planthopper and pest proliferation, so it is urgent for biological control technology to effectively control rice planthopper. Dryinidae is the important enemy of rice planthoppers in nymphal and adult stages. It has dual habits of predation and parasitism, and plays an important role in controlling the population of rice planthopper. However, research reports on Dryinidae are still sparse in home and abroad. Here we reviewed common species of Dryinidae for natural enemy of rice planthoppers in China, including biological characteristics, control effect and influence factors. We also pointed out the existing problems, aiming to provide reference value for the further development and utilization of Dryinidae.

Key words: Rice planthoppers; Dryinidae; predation; parasitism; control effect

稻飞虱隶属半翅目 Hemiptera 飞虱科 Delphacidae, 主要种类有褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera* 和灰飞虱 *Laodelphax striatellus*, 广泛分布于全球各个水稻产区, 严重威

胁着水稻生产安全 (Wu et al., 2001), 化学防治仍然是防控稻飞虱的主要途径, 然而, 长期不合理用药使得稻飞虱抗药性逐渐增强 (梁天锡和毛立新, 1996; 姚洪渭等, 2002; Liu and Han, 2006;

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0200200)

作者简介: 马晓慧, 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: jodiexiaohui@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 桑海旭, 男, 硕士, 研究员, 主要从事水稻植物保护研究, E-mail: haixusang@163.com

收稿日期 Received: 2021-04-29; 接受日期 Accepted: 2021-06-28

Wang *et al.*, 2008b), 且容易杀伤天敌引起害虫再猖獗危害 (Nagata and Ohira, 1986; 王荫长等, 1994; 马崇勇等, 2007; 凌炎等, 2012), 因此, 有必要寻找研究高效的天敌并探索稻飞虱生物防治技术。

螯蜂隶属于膜翅目 Hymenoptera 螯蜂科 Dryinidae, 是稻飞虱若虫和成虫的重要天敌, 其雌蜂兼具捕食与寄生的双重习性 (Kitamura, 1986; Ito and Yamada, 2006; Gurr *et al.*, 2011; 张晓燕等, 2014)。美国学者 Perkins 于 1905 年首次在叶蝉天敌中报道了螯蜂 (Perkins, 1905), 日本学者 1932 年在稻田叶蝉 *Nephotettix cincticeps* 和稻飞虱的寄生蜂中也报道了螯蜂 (Chua, 1984), 菲律宾 (Chandra, 1980) 和马来西亚 (胡淑恒等, 1987) 等国家也曾报道, 但后续研究甚少。我国对稻飞虱天敌螯蜂研究起步较晚, 多集中在 20 世纪八、九十年代, 且主要以田间种类调查和生物学特性方面研究为主 (黄信飞, 1982), 调查地点也主要在我国南方诸省, 如广西省 (王佩娟, 1982)、贵州省 (陈毓祥, 1985)、湖南省 (胡淑恒等, 1987)、浙江省 (何佳春, 2014) 等, 鲜有北方地区稻飞虱天敌螯蜂的研究报道。

近年来国内外有关稻飞虱天敌螯蜂的研究取得了一些新的成果, Espinosa 和 Virla 研究了以两种稻飞虱为寄主的双距螯蜂属 *Gonatopus* 雌蜂, 其成熟期卵母细胞数量在羽化后 48 h 内增加了 3.8 倍, 但离开寄主 72 h 后显著减少, 其原因是卵母细胞被再吸收 (Espinosa and Virla, 2018); 随后 Martín 等人报道了不同寄主对螯蜂的生物学特性和行为有很大影响, 对常见寄主来说, 寄生比捕食作用能够引起更多的寄主死亡 (Martín *et al.*, 2019); 甘波谊报道了稻虱红单节螯蜂 *Haplogonatopus japonicus* 体内携带与其寄主稻飞虱同种 *wolbachia*, 可能是 *wolbachia* 在不同昆虫间横向传播的介体 (甘波谊等, 2002); 稻虱红单节螯蜂有 6 种感受器 (李帅等, 2012); 水稻幼苗和虫害稻株挥发物在稻虱红单节螯蜂雌蜂寻找寄主过程种发挥引诱作用 (李帅等, 2014); 螯蜂寄生行为不同程度地影响寄主和寄生蜂两者的发育过程 (李帅等, 2015); 螯蜂捕食与寄生对寄主选择具有偏好性 (何雨婷等, 2020) 等。尽管如此, 稻飞虱天敌螯蜂的研究仍然偏少, 这不利于螯蜂资源的开发与利用, 因此, 本文对我国稻飞虱天敌螯蜂的研究进行系统归纳, 总结螯蜂常见种类、

生物学特性、控害效果及其影响因子, 指出研究中存在的问题, 旨在为进一步开发利用螯蜂资源提供参考。

1 螯蜂常见种类及其优势种

1.1 稻飞虱天敌螯蜂常见种类

据报道, 我国稻田寄生稻飞虱体上的螯蜂共有 8 种 (林冠伦等, 1986), 在最初研究阶段, 螯蜂调查主要在某一地区开展, 少数螯蜂种类未定名或出现误订情况。1996 年华南农业大学许再福教授对寄生于贵州省稻田飞虱的螯蜂种类初报, 规范了 6 种螯蜂种类定名 (许再福与何俊华, 1996), 本文归纳了我国稻飞虱天敌螯蜂常见种类及其在我国分布情况 (表 1)。

1.2 稻飞虱天敌螯蜂优势种

我国稻飞虱天敌螯蜂常见种类为稻虱红单节螯蜂、黄腿双距螯蜂 *Gonatopus flavifemur*、两色食虱螯蜂 *Echthrodolphax fairchildii*、黑腹单节螯蜂 *Haplogonatopus oratorius* 等, 其中, 稻虱红单节螯蜂被报道为多个地区的优势种。实际上由于螯蜂的寄主稻飞虱具有迁飞性、爆发性、突发性等特点, 寄主主要种类变化和螯蜂对寄主的选择嗜好性共同决定了螯蜂优势种可能为阶段性动态变化。稻田白背飞虱、褐飞虱、灰飞虱常混合发生, 不同种类稻飞虱在不同地区或不同时期发生程度各不相同, 螯蜂对寄主稻飞虱的选择嗜好性、寄主比例不同往往导致天敌螯蜂比例存在差异 (林冠伦等, 1986)。

陈毓祥 (1985) 对贵州省思南县稻飞虱天敌螯蜂调查发现, 稻虱红单节螯蜂是寄生白背飞虱的优势种, 而黄腿双距螯蜂是寄生褐飞虱的优势种。胡淑恒 (1987) 对江苏省稻飞虱天敌螯蜂调查发现, 稻虱红单节螯蜂在长沙稻区是主要螯蜂种群, 出现率为 71.63%, 其次为黑腹单节螯蜂, 出现率为 21.15%。林冠伦 (1986) 在江苏省东台县调查发现, 稻虱红单节螯蜂、黄腿双距螯蜂、两色食虱螯蜂为主要种类, 而江苏省海安市则以黑腹单节螯蜂为主要种类, 其比例为 84.5%, 稻虱红单节螯蜂次之, 比例为 10.4%。

同种螯蜂在不同时期发生程度也存在差异, 例如在江苏调查, 当田间以白背飞虱为主时, 稻虱红单节螯蜂和两色食虱螯蜂是稻田螯蜂优势种类, 其他种类很少; 当田间褐飞虱大发生, 白背

飞虱数量很少时, 黄腿双距螯蜂和两色食虱螯蜂为优势种, 田间几乎没有稻虱红单节螯蜂 (林冠伦等, 1986)。

同种螯蜂在不同年份发生程度也不尽相同, 例如 1984 - 1986 年在贵州省调查发现, 稻虱红单

节螯蜂比例分别为 25% ~ 100%、25% ~ 98.21%、6.52% ~ 48.09%; 黄腿双距螯蜂比例分别为 0 ~ 56.25%、1.79% ~ 55%、46.92% ~ 86.96%, 其他几种螯蜂不同年份比例也存在差异 (陈毓祥, 1989)。

表 1 常见螯蜂种类及其在国内分布情况

Table 1 Common species of Dryinidae and its distribution in China

螯蜂种类 Species of Dryinidae	别名 Also known as	国内分布 Distribution in China	参考文献 References
稻虱红单节螯蜂 <i>Haplogonatopus apicalis</i> Perkins, 1905	稻虱红螯蜂/稻虱褐螯蜂 <i>Haplogonatopus japonicas</i> Esaki et Hashimoto	海南、广西、浙江、广东、 江苏、湖南、贵州 Hainan, Guangxi, Zhejiang, Guangdong, Jiangsu, Hunan, Guizhou	王佩娟, 1982; 杨绍龙等, 1982; 林冠伦等, 1986; 陈毓祥和杨坤 胜, 1987; 张纯胄和金莉芬, 1992; 许再福和何俊华, 1996; 李 帅等, 2014; 何雨婷等, 2020
黑腹单节螯蜂 <i>Haplogonatopus oratorius</i> (Westwood, 1833)	黑腹螯蜂/稻虱黑腹螯蜂 <i>Haplogonatopus atratus</i> Esaki et Hashimoto	海南、广西、广东、江苏、贵州 Hainan, Guangxi, Guangdong, Jiangsu, Guizhou	王佩娟, 1982; 杨绍龙等, 1982; 林冠伦等, 1986; 许再福和何俊 华, 1996
黄腿双距螯蜂 <i>Gonatopus flavifemur</i> Esaki and Hashimoto, 1932	稻虱黄腿螯蜂 <i>Pseudogonatopus flavifemur</i> Esaki et Hashimoto	广西、广东、江苏、贵州 Guangxi, Guangdong, Jiangsu, Guizhou	黄信飞, 1982; 杨绍龙等, 1982; 林冠伦等, 1986; 许再福和何俊 华, 1996; 何雨婷等, 2020
两色食虱螯蜂 <i>Echthrodelphax fairchildii</i> R. C. L. Perkins	双色螯蜂 <i>Echthrodel phaxbicolor</i> Esaki et Hashimoto	海南、广西、江苏 Hainan, Guangxi, Jiangsu	杨绍龙等, 1982; 林冠伦等, 1986; 许再福和何俊华, 1996; 何 佳春, 2014; 何雨婷等, 2020
裸双距螯蜂 <i>Gonatopus nudus</i> (Perkins, 1912)	黄带黑腹螯蜂 <i>Pseudogonatopus</i> sp.	广西、广东、贵州 Guangxi, Guangdong, Guizhou	杨绍龙等, 1982
侨双距螯蜂 <i>Gonatopus hospes</i> (Perkins, 1912)	稻虱大黑螯蜂 <i>Pseudogonatopus</i> sp. / 稻虱黑螯蜂 <i>Paragonatopus fulgori</i> (Nakagawa) (误订)	广西、江苏、贵州 Guangxi, Jiangsu, Guizhou	杨绍龙等, 1982
黑双距螯蜂 <i>Gomatopus nigricans</i> R. C. L. Perkins	黑螯蜂	海南、浙江、湖南、云南 Hainan, Zhejiang, Hunan, Hainan	王佩娟, 1982; 何佳春, 2014

2 螯蜂生物学特性

2.1 越冬

在广西省南宁市有飞虱和叶蝉的场所, 螯蜂能以多种虫态越冬, 一般以老熟幼虫结茧越冬,

也有蛹和成虫。例如早春在杂草间可采集到螯蜂成虫和有螯蜂幼虫囊的寄主以及螯蜂蛹茧。1980年4月采集到螯蜂茧, 先后羽化了至少6种螯蜂, 同年4月网捕调查42头稻飞虱中被螯蜂寄生为11头, 同时捕到螯蜂成虫1头 (杨绍龙等, 1982)。在浙江省黄腿双距螯蜂以老熟幼虫在迟熟

晚稻的叶鞘、叶片、田间稻桩以及杂草叶片上结茧化蛹越冬(黄信飞,1982)。在湖南省,将采集的稻虱红单节螫蜂蜂茧置于蚕豆田或萝卜田中,经剥茧调查发现,虽有成虫,但未能羽化外出,推测该蜂以少量蛹越冬(胡淑恒等,1987)。

2.2 羽化

螫蜂成虫羽化时,从蜂茧的一端咬破小孔而出。咬破茧壳至爬出所经历的时间,稻虱红单节螫蜂约 30 min(张纯胃和金莉芬,1992),而黄腿双距螫蜂仅需 1~2 min(黄信飞,1982)。

有关螫蜂羽化的时间,王佩娟(1982)研究了4种螫蜂,认为雄蜂上午羽化较多,而雌蜂下午羽化较多;杨绍龙(1982)研究10种螫蜂得出雄蜂多在清晨2~6时羽化,而雌蜂多在上午6~12时羽化,推测这可能是由于不同螫蜂种类羽化时间不同。

有关稻虱红单节螫蜂的羽化时间,主要认为其在夜间至上午羽化,如林冠伦(1986)研究认为其一般在夜间11时至凌晨4时羽化;陈毓祥(1987)研究了71头稻虱红单节螫蜂,发现夜间20时至次日7时羽化者比例为53.52%,7~10时比例为18.31%,10~14时比例为5.13%,14~17时比例为21.13%,17~20时最少,比例为1.41%;张纯胃(1992)研究认为雄蜂清晨5时前羽化量占全天的80%以上,雌蜂6~8时羽化量占全天50%左右;胡淑恒(1987)研究认为成虫全天均可以羽化,但上午羽化量约占70%,下午次之,上半晚羽化仅有2.9%。

2.3 生殖方式与子代性比

螫蜂行两性生殖和孤雌生殖两种方式,以前者为主。两性生殖子代有雌有雄,雌雄比为1:0.6~1.4,而孤雌生殖主要为产雄孤雌生殖,仅叶蝉黄足黑螫蜂 *Chelogyne* sp. 可产雌孤雌生殖(杨绍龙等,1982)。黄信飞(1979)在浙江温州研究黄腿双距螫蜂第1代至第8代两性生殖的子代性比,均多数为雄性,雌雄比为1:2.56~4.70,又以褐飞虱为寄主观察该蜂的孤雌生殖,其子代全部为雄性。胡淑恒(1987)于1983~1985年6~7月采集稻虱红单节螫蜂的蜂茧4201个,得到子代雌雄比为0.7:1~2:1。张纯胃(1992)研究稻虱红单节螫蜂认为,该蜂通常为两性生殖,从田间采集的575头蜂茧饲养结果为:雌雄比为1:1.02~1.30,且当食料不足、寄主条件不良时,雄性比例会显著增加,雌雄比可高达1:3.6,其原因尚待

研究。螫蜂子代性比与寄主龄期有关,当稻虱红单节螫蜂寄生5龄白背飞虱若虫时,羽化的雄蜂比例最高为77.12%(李帅等,2015)。

2.4 交配与产卵

螫蜂的雌蜂一生仅交配1次,雄蜂可多次交配。雌雄成虫交配前先进行触角前后摆动,随后,雄蜂上下振动双翅,双方即进行2~3次触角互碰,之后雌蜂停止活动,雄蜂爬至雌蜂背上进行交配,交配时长20~60s,通常30s左右(胡淑恒等,1987;陈毓祥和杨坤胜,1987;张纯胃,1992)。

螫蜂交配后经饱食即可产卵,但雌蜂羽化后未交配也可产卵。产卵对象多为1~3龄若虫,选择高龄若虫产卵机率较小,但1~2龄若虫被寄生后绝大多数死亡,3~5龄若虫被寄生后也有部分死亡。雌蜂产卵时,一般选择寄主后,迅速以螫状前足钳住寄主,并借助口器固定,然后弯曲腹部探索适宜部位产卵,产卵后即放开寄主。产卵位置一般为寄主腹部第3~5节间膜处,也有在翅基部较薄体壁处产卵。产卵时长受寄主龄期的影响各不相同,短则10余秒至1min,最长也可持续10min,一般为1~2min。被产卵的低龄寄主常短暂昏迷,而高龄寄主则轻微麻痹。产卵痕初期镜检为暗白色,后期变为黑斑。

由于螫蜂的产卵行为常导致大部分低龄寄主死亡而产生无效卵,而其子代发育至寄主背部现“囊状物”为有效卵,因而,螫蜂的实际产卵量应为两者之和。黑腹单节螫蜂雌蜂一生产卵于寄主飞虱且出现“背囊”的,最高为62头(杨绍龙等,1982)。黄腿双距螫蜂第1代至第8代有效卵占总卵量的28.96%~68.56%,而产卵后由于寄主死亡的无效卵占31.44%~71.04%(黄信飞,1982)。稻虱红单节螫蜂每寄主一般只产1粒卵,也有2~8粒,单雌平均产卵 82.5 ± 58.4 粒,最低20粒,最高206粒,高峰期单雌日产卵量平均50粒,可多次捕捉寄主产卵(胡淑恒等,1987;陈毓祥和杨坤胜,1987)。

2.5 卵及幼虫

螫蜂卵为椭圆形,无色半透明,长约0.1mm,卵产于寄主体内,一端在产卵孔口处外露,室温25℃下,卵经2~3d发育为幼虫。幼虫为蠕虫式,头部有透明肾形突起“吸”在寄主体内,腹部末端随虫体长大渐露于寄主体外,7d左右完全外露,随即开始蜕皮增龄。幼虫一般蜕皮3次,蜕

皮时,旧表皮仍附于蜂幼虫体表,形成带有不同花纹的“囊状物”,“囊状物”随虫龄增大而增大。陈毓祥在贵州省进行螯蜂种类调查时专门研究了螯蜂幼虫囊背的花纹特征,发现螯蜂幼虫囊背花纹与蜂种类有特定关系,可在室外以此初步识别判定螯蜂的种类(陈毓祥和杨坤胜,1987)。当蜂幼虫老熟时,“囊状物”纵列幼虫蠕动而出,历时约0.5 h,其个体大小与寄主龄期等有关,幼虫脱出后蠕动至附近水稻茎、叶等处准备结茧化蛹,寄主随即死亡。

2.6 结茧化蛹

螯蜂幼虫老熟后蠕动至附近茎、叶等处,据观察,在叶片上化蛹占90%以上,对田间233个蜂茧调查,叶片正面占比59.62%,叶片反面占比30.77%(胡淑恒等,1987),但也有研究报道螯蜂幼虫结茧部位多在叶片背面,尤其中肋处最多(陈毓祥和杨坤胜,1987)。螯蜂幼虫吐丝结双层白色茧,外层茧梭形,薄而狭长,内层厚而坚实,在日均温21.4℃时,结完双层茧共需大约72 h,当环境不适或受惊等情况,幼虫常从刚结的茧中爬出以致夭亡,而个体弱小的老熟幼虫则不能完成结茧而致死(张纯胄和金莉芬,1992)。

螯蜂自幼虫结茧至成虫羽化,茧内虫体分为预蛹期、附肢形成期、成虫破茧前期3个阶段(杨绍龙等,1982),预蛹期头端出现淡红色眼点,附肢形成期复眼从红色变为黑色,在平均室温27.8℃条件下饲养,预蛹期3~4 d,附肢形成期4~5 d,成虫破茧前期1~2 d。张纯胄等将螯蜂预蛹期之后统称为蛹期,蛹为离蛹,复眼由红变褐色再变为黑褐色时,附肢形成,日均温21.8℃时,蛹期8~12.5 d,一般10 d(张纯胄和金莉芬,1992)。

2.7 捕食习性

捕食习性为螯蜂雌性成虫独有,雄性不参与捕食。雌蜂选择捕食对象与寄生对象相似,均嗜好1~3龄若虫寄主,选择高龄若虫或成虫的几率很小,且不同的螯蜂对所捕食的寄主种类嗜好性也不同(张纯胄和金莉芬,1992)。螯蜂捕食前,先在稻株上爬行寻找适宜的猎物,这个过程主要利用触角前后摆动确定猎物的位置,发现猎物后,短暂停留后扑向目标,用螯状前足钳住猎物,用腹部辅助控制猎物,然后调转身躯将头部伸向猎物腹部背面中段,用口器咬破猎物体壁后,取食或吮吸猎物体液,从开始咬破猎物至取食完毕的

所需时间随猎物虫龄增大而延长,一般1~4 min,取食后推开猎物,用前足整理口器,猎物一般当即死亡,也有1~2 min后死亡(胡淑恒等,1987)。当螯蜂捕食猎物时,其身体方向与猎物相反,而行寄生行为时则与其方向相同,可以此判别螯蜂的行为(林冠伦等,1986)。

螯蜂的捕食量以羽化当天和第2天最高,据报道,裸双距螯蜂、侨双距螯蜂1 h内即可连续捕食稻飞虱2~3头,裸双距螯蜂饲养35 d共捕食稻飞虱93头,黄腿双距螯蜂饲养18 d共捕食稻飞虱38头(杨绍龙等,1982),黄腿双距螯蜂单雌日捕食稻飞虱低龄若虫能达20头以上(黄信飞,1982),稻虱红单节螯蜂单雌日捕食稻飞虱低龄若虫10余头,最高可超过20头,且在猎物缺乏时,常见雌蜂再次捕食已被产卵寄生的稻飞虱(张纯胄和金莉芬,1992)。

2.8 世代历期

有关螯蜂世代研究报道甚少。张纯胄初步观察稻虱红单节螯蜂在浙江温州每年发生7~8代,黄信飞观察黄腿双距螯蜂在浙江温州4~12月发生8~9代。螯蜂每个世代的历期在室内变温条件下研究可知,以褐飞虱为寄主的黄腿双距螯蜂,在25~29℃条件下历时18.4~22.9 d,20~23℃历时30.5~35 d,16~17℃历时47.2 d(黄信飞,1982);稻虱红单节螯蜂,22℃历时35.1±3.5 d,25℃历时33.1±3.1 d,28℃历时26.2±1.6 d,30℃历时25.5±3.4 d,即22~30℃条件下世代历期随温度增高而缩短(胡淑恒等,1987)。稻虱红单节螯蜂发育起始温度为15℃,完成1代的有效积温为305.7日度(张纯胄和金莉芬,1992)。相同温度(28℃)条件下,不同螯蜂1个世代的历期相差不大,一般为17~23 d(杨绍龙等,1982)。

2.9 营养与寿命

螯蜂成虫寿命与营养条件密切相关。当无营养供给时,雌雄蜂寿命差异不大,一般为2~3 d;当给蜜糖水、蜂蜜水补给时,能适当延长成虫寿命,但雌雄差异不大;当给予猎物补充营养时,则雌蜂的寿命明显延长,最短为几天,最长可达30~45 d,例如,黄腿双距螯蜂雌蜂寿命2~46 d,一般7~10 d,雄蜂1~11 d,一般3~5 d(黄信飞,1982);稻虱红单节螯蜂雌蜂寿命4~13 d,平均8.2 d(陈毓祥和杨坤胜,1987),以白背飞虱供饲稻虱红单节螯蜂,雌蜂寿命较长,一般15 d,最长可达38 d(张纯胄和金莉芬,1992)。也有研

究认为成虫寿命与螫蜂的总捕食量有关,且螫蜂种类、代次、个体等均影响螫蜂寿命,例如,裸双距螫蜂4月29日羽化,寿命为12 d,10月18日羽化,寿命为54 d,11月3日羽化,寿命为36 d;黑腹单节螫蜂12月9日羽化,寿命为22 d(杨绍龙等,1982)。

2.10 重寄生

自然生境内螫蜂的重寄生现象普遍,主要的重寄生物至少有5种。王佩娟初步鉴定螫蜂的重寄生蜂为多寄生的菲岛黑蜂 *Ceraphron manilae*, 隶属于分盾细蜂科(王佩娟,1982);胡淑恒认为稻飞虱单节螫蜂的重寄生蜂有4种:分别为稻苞虫小金小蜂 *Eupteromalus parnarae* 占比47.3%,毁螫小金小蜂 *Trichomalus* sp. 占比35.3%,毁螫跳小蜂 *Echthrogonatopus* sp. 占比10.5%,一种分盾细蜂占比6.5%(胡淑恒等,1987);陈毓祥在贵州省调查稻飞虱单节螫蜂显示,螫蜂的重寄生蜂为毁螫跳小蜂、绒茧小金小蜂 *Trichomalopsis apanteloctona* Crawford(陈毓祥和杨坤胜,1987);张纯青考察田间累计采集的2131头蜂茧,重寄生蜂茧占比48.05%,其中被毁螫跳小蜂寄生比例为77.83%,被绒茧小金小蜂寄生比例为21.28%,分盾细蜂 *Ceraphron* sp. 仅占0.88%(张纯青和金莉芬,1992)。上述报道的重寄生蜂种类是否存在同物异名现象尚有待进一步研究,但可以看出毁螫跳小蜂和绒茧小金小蜂是螫蜂主要重寄生蜂。

3 螫蜂对稻飞虱的控害效果及其影响因子

3.1 螫蜂对稻飞虱控害效果

螫蜂雄成虫一般不取食或只取食寄主蜜露,不寄生,仅参与交配(Guglielmino,2002),只有雌成虫可捕食和寄生寄主害虫,其控害作用取决于雌成虫的捕食作用和寄生作用两个方面(史树森等,2009)。由于螫蜂产卵于1~2龄寄主若虫常致其死亡,以寄主腹背出现“囊状物”的数量统计螫蜂寄生率,比实际情况偏低。因而,评价螫蜂对稻飞虱的控害效果应为螫蜂捕食作用、寄生作用出现“囊状物”以及因产卵致寄主死亡而不能表现症状的数量之和。

螫蜂对稻飞虱的捕食效果,前文已作阐述,螫蜂对稻飞虱的日捕食量因螫蜂种类不同而不同,一般2~3头,最高日捕食量可达20头以上。何雨

婷(2020)在室内条件下研究并分析3种螫蜂对稻飞虱捕食量和寄生量的日消长动态认为,雌蜂羽化当天即开始捕食与寄生,之后除死亡当天日平均捕食量和寄生量相对较低之外,成虫存活期间的波动均较为平缓。可见,螫蜂对稻飞虱的总捕食量与雌蜂的寿命密切相关,而捕食稻飞虱后的雌蜂寿命较未捕食者显著延长1~2倍(黄信飞,1982)。

螫蜂对稻飞虱的寄生效果,前人做了大量田间自然寄生率调查。例如,王佩娟(1980)调查不同世代螫蜂对稻飞虱的寄生率,以第4代最高,平均寄生率达到53.5%,且当年依靠自然天敌取代化学防控,水稻收成较好。黄信飞(1982)研究黄腿双距螫蜂对褐飞虱的寄生率,以田间出现“囊状物”计算,寄生率最高30%~40%;陈毓祥(1987)在贵州省调查螫蜂田间寄生率,7月上、中、下旬白背飞虱被寄生率分别为7.13%、14.5%、18.55%,褐飞虱被寄生率分别为0.0%、6.67%、6.25%,而8月中下旬因重寄生现象和农药影响,白背飞虱被寄生率仅为3%~3.5%,褐飞虱被寄生率为1.5%左右。林冠伦(1986)在江苏省海安县调查发现,早稻田灰飞虱被寄生率高达11.14%、白背飞虱被寄生率为3.57%,常规中稻田灰飞虱若虫寄生率为16.69%、白背飞虱被寄生率为16.67%;在江苏省镇江地区调查,8月下旬之前螫蜂主要寄生白背飞虱和灰飞虱,一般寄生率在5%以下,最高为15.6%;9~10月主要寄生褐飞虱,寄生率小于1%。王惠长(1995)在稻飞虱单节螫蜂发生盛期,调查田间寄生白背飞虱和褐飞虱的寄生率:7月上旬分别为7.9%和0.85%;7月中旬分别为16.5%和7.04%,7月底分别为18.9%和16.1%。可见,螫蜂对稻飞虱的寄生效果受多种因素影响,一般适宜条件下寄生率能达到15%以上。

3.2 螫蜂对稻飞虱控害效果的影响因子

螫蜂对寄主的控害作用(捕食与寄生)是由螫蜂-寄主-环境3方面共同决定,即螫蜂特性(螫蜂种类、雌蜂寿命等)、寄主特性(寄主种类、寄主龄期或虫态、迁飞等)以及环境特征(温度、农药、螫蜂天敌等)共同作用的结果,这些因素均可影响螫蜂的捕食和寄生效果。

3.2.1 螫蜂特性对寄主控害作用的影响

螫蜂各种类以优势种对稻飞虱的控制作用最强,但前文已述,不同地区螫蜂优势种存在差异,

不同年份或相同年份的不同时期螯蜂优势种也不相同,这必然影响螯蜂的控害效果。研究显示3种常见螯蜂在各自的适宜寄主上,雌蜂寿命稻虱红单节螯蜂最长,两色食虱螯蜂居中,黄腿双距螯蜂最短,控害作用也依次减弱(何雨婷等,2020)。

3.2.2 寄主特性对寄主控害作用的影响

寄主种类的影响主要表现为螯蜂的寄主偏好性,例如,在多种飞虱同时存在时,黄腿双距螯蜂雌蜂喜欢选择褐飞虱产卵(黄信飞,1982)。陈毓祥研究认为稻虱红单节螯蜂仅寄生白背飞虱(文献记载寄生白背飞虱和灰飞虱);黄腿双距螯蜂主要寄生褐飞虱(占80%),其次为白背飞虱和灰飞虱(文献记载寄生褐飞虱和电光叶蝉);黑双距螯蜂主要寄生白背飞虱(占80%),其次为灰飞虱,很少寄生褐飞虱(文献记载寄生白背飞虱和灰飞虱);黑腹螯蜂仅见寄生灰飞虱(文献记载寄生白背飞虱、灰飞虱和褐飞虱);裸双距螯蜂和黑腿毛螯蜂均获于褐飞虱(陈毓祥,1985)。张纯胄(1992)研究稻虱红单节螯蜂,其主要寄生白背飞虱,寄生灰飞虱和褐飞虱后,幼蜂均未发育到“囊状物”阶段。何雨婷(2020)进行了3种螯蜂对寄主捕食与寄生的偏好性研究,结果表明:两色食虱螯蜂的适宜寄主为褐飞虱、灰飞虱、白背飞虱;黄腿双距螯蜂的适宜寄主为褐飞虱和灰飞虱,白背飞虱次之;稻虱红单节螯蜂最适寄主为白背飞虱,灰飞虱次之。

寄主龄期与虫态的影响也因螯蜂种类而异。寄主龄期是寄主与寄生蜂两者间相互关系中的重要因子,是决定寄主适合性的重要影响因素之一(Nussbaumer and Schopf, 2000; Harvey *et al.*, 2004)。白背飞虱2龄和3龄若虫是稻虱红单节螯蜂发育的适宜寄主(李帅等,2015),对白背飞虱2龄若虫的寄生率为43%,而对5龄若虫寄生率仅有5.7%(胡淑恒等,1982)。黄腿双距螯蜂对褐飞虱4龄若虫寄生率较高,对1龄若虫和雄成虫明显较低(何佳春等,2015;何雨婷等,2019),且以寄生褐飞虱雌性若虫居多(黄信飞,1982)。双距螯蜂 *Gonatopus bonaerensis* 取食和寄生均偏好于1~3龄若虫(Espinosa *et al.*, 2019)。

寄主迁飞也可以影响螯蜂控害效果。寄主被寄生后,仍能正常取食和蜕皮(Ito and Yamada, 2016),甚至可以迁飞(何俊华和许再福,2002),稻飞虱是重要的迁飞性水稻害虫之一,随着迁飞

行为的发生,寄生于稻飞虱体上的天敌螯蜂也将随寄主进行迁飞,引起迁入地和迁出地螯蜂的种群基数变化,从而影响螯蜂对稻飞虱的控害效果。王佩娟1980年7月调查入迁海南省白沙县的飞虱寄生率为6%(王佩娟,1982)。湖南省长沙市稻虱红单节螯蜂可能以少量蛹越冬,但主要虫源有可能随风迁飞而来(胡淑恒等,1987)。

3.2.3 环境特征对寄主控害作用的影响

温度对螯蜂控害作用影响较大,不同月份多批次采集螯蜂的蛹茧考察羽化率得知,在湿度为81%~84%条件下,当温度为23.0~28.4℃时,螯蜂的羽化率可达69.3%,而当温度为27.4~28.4℃时,羽化率仅为15.3%(杨绍龙等,1992),在高温干旱的年份,螯蜂的田间寄生率远低于1%(林冠伦等,1986)。低温条件冷藏蜂蛹试验表明,在2~4℃温度冷藏10d,几乎全部死亡,在7~8℃冷藏10d,死亡率53.1%,冷藏30d,死亡率93.3%(张纯胄和金莉芬,1992)。

螯蜂对化学农药极为敏感,在田间施用多种有机磷农药2000倍液,防治灰飞虱2~3龄若虫,以施用清水为对照,螯蜂被杀伤率为80%~100%(林冠伦等,1986)。对施药区和不施药区螯蜂发生量进行调查,施药区共累计得到螯蜂2头,不施药区获得螯蜂68头,足以看出农药对螯蜂的杀伤力较强(杨绍龙等,1992)。就螯蜂蛹对农药的敏感性来说,在施用杀虫脒的田内采集蜂茧,施药前采集的蜂茧羽化率为74.2%,施药后羽化率为50%(杨绍龙等,1992);而陈毓祥研究认为,农药对蜂茧内虫蛹的杀伤率仅有46%(陈毓祥和杨坤胜,1987),且采用浸渍法对螯蜂蜂茧进行8种杀虫剂的室内毒力测定结果为:50%甲胺磷1000倍、50%杀虫脒1000倍、40%乐果500倍对稻虱红单节螯蜂的毒效较小,而50%马拉松500倍、90%晶体敌百虫330倍等农药毒杀作用较大(张纯胄和金莉芬,1992),这些研究表明,可以采用毒性较小的药剂在螯蜂大部分处于蜂茧期施药,将会显著减低农药对螯蜂的杀伤程度。

张纯胄在研究螯蜂对8种药剂的敏感性时发现,对于被重寄生蜂寄生的蜂茧(毁螯跳小蜂和绒茧金小蜂占绝大多数),供试杀虫剂对重寄生天敌的毒效均较小,重寄生蜂茧的羽化率为73.5%~100%,部分药剂对重寄生蜂几乎没有影响,这表明了稻虱红单节螯蜂对杀虫剂的敏感性远大于重寄生蜂,这些差异可能导致寄生蜂种群密度的

变动(张纯胄和金莉芬,1992)。随着温度升高,螫蜂被寄生的比率也逐渐升高,平均温度为23℃时,重寄生率为17%,当温度升高至27.4℃,重寄生蜂率可达49.2%(杨绍龙等,1992)。可见,螫蜂对稻飞虱的捕食与寄生效果可能与多种因素共同作用结果有关。

4 问题及展望

天敌昆虫是自然控制害虫种群密度的一个重要组成部分,在害虫综合治理和生物防治中占有非常重要的地位。螫蜂通过雌蜂对稻飞虱若虫和成虫的捕食与寄生行为,发挥着对稻飞虱种群的抑制作用,雌蜂的食量大、寿命长,兼具捕食与寄生能力,是一种极富潜力的稻飞虱生防天敌昆虫,但截至目前,有关螫蜂的研究报道仍不多见,笔者认为主要存在以下问题:

(1) 研究基础薄弱。世界范围内关于螫蜂分类、生物学、生态学等相关研究偏少,我国在稻飞虱天敌螫蜂的研究起步较晚,这大大阻碍了螫蜂在生物防治中应用研究的速度。我国螫蜂不同地理种群的研究仅限于南方部分稻区,鲜有北方稻区稻飞虱天敌螫蜂种类及相关特性的报道,且螫蜂不同地理种群与寄主间的互作关系可能不同,这些研究仍不明确。

(2) 获取雌性螫蜂的技术壁垒。螫蜂的雌蜂具有捕食和寄生双重特性,雄蜂仅参与交配,相对来说雌蜂更具研究价值,但在螫蜂繁育过程中要面临这样的问题:首先,螫蜂有两种生殖方式,两性生殖的子代雌雄比约为1:1,当外界条件不适宜雄性比例可能增加,而其孤雌生殖为产雄式,因而只有两性生殖能获得雌蜂,且雌蜂占比仅为1/2。第二,由于雌蜂捕食量大,这就需要大量稻飞虱供给,以免螫蜂再次捕食已经产卵的寄主。第三,由于螫蜂的捕食和寄生对寄主龄期具有选择性,尤其是寄生行为对寄主龄期限制性更大。为使子代羽化率更高,就提高了供饲稻飞虱群体标准,增大了工作强度,从而阻碍了螫蜂基础研究与繁育技术研究。

(3) 螫蜂抗逆性较差。已有研究可知,螫蜂对农药、温度和重寄生天敌的敏感性极强。在田间施用杀虫药剂、低温或高温,以及重寄生蜂的寄生,都严重减低螫蜂在田间的种群基数,从而无法发挥螫蜂对稻飞虱的控害作用。虽然有一些

研究,比如螫蜂对部分药剂的敏感性一般,可以利用药剂种类及施药时间来减低农药对螫蜂的杀伤力,但田间气候和重寄生天敌对螫蜂的影响尚无有效的抵御手段,这些可能严重影响螫蜂的应用研究。

然而,我国在利用寄生蜂防控害虫方面已有很多成功的先例,例如,应用松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 防治松毛虫、玉米螟 *Pyrausta nubilalis* 等农林害虫(耿金虎,2005),利用管氏肿腿蜂 *Scleroderma guani* 防治双条杉天牛 *Semanotus bifasciatus* 和青杨天牛 *Saperda populnea* 等(王绍文等,2003)。虽然我国螫蜂研究水平尚不发达,但因螫蜂雌蜂捕食量大、兼具捕食与寄生的双重特性、寿命较长等优势,充分显示螫蜂资源具有巨大研究潜力和应用价值。因此,探明不同稻区螫蜂的优势种,掌握螫蜂的生物学特性,明确螫蜂与寄主间的内在关系,找出影响螫蜂繁殖、子代性比等参数的关键因子,保护螫蜂的适宜生境,加大对螫蜂研究的深度和广度,攻克相关的技术壁垒,对于提高螫蜂在稻飞虱生物防治方面发挥举足轻重的作用。

参考文献 (References)

- Chandra G. Dryinid parasitoids of rice leafhoppers and planthoppers in the Philippines II Rearing techniques [J]. *Entomophaga*, 1980, 25 (2): 187-192.
- Chen YX. Natural enemies of rice planthopper - species investigation and larval taxonomy of dryinid [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 1985, 5: 43-47. [陈毓祥. 稻飞虱天敌 - 螫蜂种类调查及其幼虫分类初步 [J]. 贵州农业科学, 1985, 5: 43-47]
- Chen YX. Investigation and research on dryinid of rice planthopper in Sinan county of Guizhou Province [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1989, 2: 77-79. [陈毓祥. 贵州省思南县稻虱螫蜂的调查研究 [J]. 昆虫知识, 1989, 2: 77-79]
- Chen YX, Yang KS. Preliminary observation of biology characteristics on *Haplogonatopus japonicas* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1987, 4: 237-239. [陈毓祥, 杨坤胜. 稻虱红螫蜂生物学特性初步观察 [J]. 昆虫知识, 1987, 4: 237-239]
- Chua TH, Dyck VA, Pena NB. Functional response and searching efficiency in *Pseudogonatopus flavifemur* Esaki and Hash. (Hymenoptera: Dryinidae), a parasite of rice planthoppers [J]. *Researches on Population Ecology*, 1984, 26 (1): 74-83.
- Espinosa MS, Virla EG. Egg maturation by *Gonatopus bonaerensis* (Hymenoptera: Dryinidae) when provided with two species of planthopper (Delphacidae) as hosts [J]. *Biological Control*, 2018, 117: 123-127.
- Espinosa MS, Van GA, Virla EG. Host makes the difference: The effect of two planthopper host species on host - feeding and parasitism

- activities of the pincer wasp *Gonatopus bonaerensis* [J]. *Biological Control*, 2019, 64 (6): 655–664.
- Gan BY, Zhou WG, Feng LB, et al. Infection of *Wolbachia* in three planthopper species in China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, 45 (1): 14–17. [甘波谊, 周伟国, 冯丽冰, 等. 沃尔巴克氏体在中国三种稻飞虱中的感染 [J]. 昆虫学报, 2002, 45 (1): 14–17]
- Geng JH. Several Applied Basic Studies on *Trichogramma* Species for Application in Biological Control in China [D]. Beijing: China Agriculture University, 2005. [耿金虎. 我国主要应用赤眼蜂种的若干应用基础研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005]
- Guglielmino A. Dryinidae (Hymenoptera: Chrysoidea): An interesting group among the natural enemies of the Auchenorrhyncha (Hemiptera) [J]. *Denisia*, 2002, 4 (176): 549–556.
- Gurr GM, Liu J, Read DMY, et al. Parasitoids of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering [J]. *Annals of Applied Biology*, 2011, 158 (2): 149–176.
- Harvey JA, Bezemer TM, Elzinga JA, et al. Development of the solitary endoparasitoid *Microplitis demolitor*, host quality does not increase with host age and size [J]. *Ecological Entomology*, 2004, 29: 35–43.
- He JC. 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. [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 JC, Sun YQ, Lin JJ, et al. Predation selectivity and parasitism selectivity of *Gonatopus flavifemuron* the two planthoppers. Pest Control and Quality Safety of Agricultural Products—Proceedings of 2015 Annual Conference of Plant Protection Society of China [C]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2015: 642. [何佳春, 孙燕群, 林晶晶, 等. 黄腿双距螯蜂对两种飞虱的捕食选择性及寄生选择性. 病虫害防控与农产品质量安全—中国植物保护学会 2015 年学术年会论文集 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2015: 642]
- He JH, Xu ZF. Fauna of China, Insecta, Vol. 29. Hymenoptera, Dryinid [M]. Beijing: Science Press, 2002: 464. [何俊华, 许再福. 中国动物志, 昆虫纲, 第 29 卷. 膜翅目, 螯蜂科 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 464]
- He YT, He JC, Wei Q, et al. Host preferences and control effects of three common rice field dryinids on hemipteran pests [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2020, 63 (8): 999–1009. [何雨婷, 何佳春, 魏琪, 等. 三种稻田常见螯蜂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 YT, Sun LH, Du H, et al. Predation and parasitism of two common rice dryinids on *Nilaparvata lugens*. Proceedings of Plant Protection Society of China [C]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2019: 204. [何雨婷, 孙利华, 杜贺, 等. 两种稻田常见螯蜂对褐飞虱的捕食和寄生习性. 中国植物保护学会 2019 年论文集 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2019: 204]
- Huang XF. Enemy of *Nilaparvata lugens* – preliminary observation of *Pseudogonatopus flavifemur* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1982, 5: 12–15. [黄信飞. 褐稻虱的天敌—黄腿螯蜂的初步观察 [J]. 昆虫知识, 1982, 5: 12–15]
- Hu SH, Xiao TG, Chen CM. Research on *Haplogonatopus japonicus* [J]. *Journal of Hunan Agricultural College*, 1987, 1: 49–58. [胡淑恒, 肖铁光, 陈常铭. 稻虱红螯蜂的研究 [J]. 湖南农学院学报, 1987, 1: 49–58]
- Ito E, Yamada YY. Seemingly maladaptive refraining from infanticidal probing at the third parasitism attack by the semi-solitary parasitoid *Echthrodelpfax fairchildii* (Hymenoptera: Dryinidae) [J]. *Insect Science*, 2006, 13 (3): 229–233.
- Ito E, Yamada YY. Self-conspecific discrimination and superparasitism strategy in the ovicidal parasitoid *Echthrodelpfax fairchildii* (Hymenoptera: Dryinidae) [J]. *Insect Science*, 2014, 21 (6): 741–749.
- Ito E, Yamada YY. Presence of a conspecific increases superparasitism but not infanticide under self- and conspecific superparasitism in a semi-solitary parasitoid, *Echthrodelpfax fairchildii* (Hymenoptera: Dryinidae) [J]. *Entomology Science*, 2016, 19 (1): 25–33.
- Kitamura K. Comparative studies on the biology of dryinid wasps in Japan. 4. Longevity position and host-feeding of adult female of *Haplogonatopus atratus* Esaki et Hashimoto (Hymenoptera: Dryinidae) [J]. *Bulletin of the Faculty of Agriculture Shimane*, 1986, 20: 191–195.
- Liang TX, Mao LX. Study on resistance monitoring of rice planthopper [J]. *Entomological Journal of East China*, 1996, 5 (1): 89–93. [梁天锡, 毛立新. 水稻飞虱的抗药性监测研究 [J]. 华东昆虫学报, 1996, 5 (1): 89–93]
- Li S, Chen WL, Jin DC, et al. Scanning electron microscopic observation of the antennal sensilla of *Haplogonatopus japonicus* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2012, 49 (2): 509–514. [李帅, 陈文龙, 金道超, 等. 稻虱红螯蜂触角感受器的扫描电镜观察 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49 (2): 509–514]
- Li S, Chen WL, Jin DC, et al. The attraction of diverse rice volatiles to *Haplogonatopus japonicus* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2014, 41 (2): 203–209. [李帅, 陈文龙, 金道超, 等. 不同水稻挥发物对稻虱红螯蜂雌蜂的引诱作用 [J]. 植物保护学报, 2014, 41 (2): 203–209]
- Li S, Chen WL, Jin DC. Influence of parasitism at different host stages on the developmental performance of both the parasitoid *Haplogonatopus apicalis* (Hymenoptera: Dryinidae) and its host *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58 (11): 1237–1244. [李帅, 陈文龙, 金道超. 稻虱红单节螯蜂寄生不同虫龄白背飞虱对二者发育表现的影响 [J]. 昆虫学报, 2015, 58 (11): 1237–1244]
- Lin GL, Liu F, Hu JS. Occurrence of dryinid in Jiangsu Province [J]. *Journal of Jiangsu Agricultural College*, 1986, 4: 47–50. [林冠伦, 刘峰, 胡建生. 稻虱螯蜂在江苏的发生 [J]. 江苏农学院学报, 1986, 4: 47–50]
- Ling Y, Zhong Y, Yin WB, et al. Toxicity of seven insecticides to brown planthopper by bioassay [J]. *Journal of Huazhong*

- Agricultural University*, 2012, 31 (1): 73–76. [凌炎, 钟勇, 尹文兵, 等. 7 种杀虫剂对褐飞虱的毒力测定 [J]. 华中农业大学学报, 2012, 31 (1): 73–76]
- Liu ZW, Han ZJ. Fitness costs of laboratory – selected imidacloprid resistance in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* [J]. *Pest Management Science*, 2006, 62: 279–282.
- Ma CY, Gao CF, Wei HJ, et al. Resistance and susceptibility to several groups of insecticides in the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Homoptera: Delphacidae) [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2007, 21 (5): 55–58. [马崇勇, 高聪芬, 韦华杰, 等. 灰飞虱对几类杀虫剂的抗性和敏感性 [J]. 中国水稻科学, 2007, 21 (5): 55–58]
- Martín SE, Guido AN, Eduardo GV. Host makes the difference: The effect of two planthopper host species on host – feeding and parasitism activities of the pincer wasp *Gonatopus bonaerensis* [J]. *Biological Control*, 2019, 64 (6): 655–664.
- Nagata T, Ohira Y. Insecticide resistance of the small brown planthopper *Laodelphax striatellus* (Fallén) (Hemiptera: Delphacidae) in Kyushu and on the East China Sea [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 1986, 21: 216–219.
- Nussbaumer C, Schopf A. Development of the solitary larval endoparasitoid *Glyptapanteles porthetriae* (Hymenoptera: Braconidae) in its host *Lymantria* (Lepidoptera: Lymantriidae) [J]. *European Journal of Entomology*, 2000, 97: 355–361.
- Perkins RCL. Leaf – hoppers and their natural enemies (Part I. Dryinidae). Report of work of the experiment station of the Hawaiian sugar planters' association [J]. *Division of Entomology*, Bulletin No. 1, 1905, Part 1: 1–69.
- Shi SS, Zang LS, Liu TX, et al. Host – feeding behaviors of parasitoids on hosts and implications for biological control [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52 (4): 424–433. [史树森, 臧连生, 刘同先, 等. 寄生蜂取食寄主特性及其在害虫生物防治中的作用 [J]. 昆虫学报, 2009, 52 (4): 424–433]
- Wang HC, Chen MG, Peng HZ. Research of predation and parasitism on *Haplogonatopus japonicus* [J]. *Farming and Cultivation*, 1995, 2: 32–33. [王惠长, 陈明贵, 彭洪忠. 稻虱红螯蜂寄生和捕食性研究 [J]. 耕作与栽培, 1995, 2: 32–33]
- Wang PJ. Species characteristics and utilization of dryinids [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1982, 2: 15–16. [王佩娟. 螯蜂的种类特性及其利用 [J]. 广东农业科学, 1982, 2: 15–16]
- Wang SW, Liu FB, Li KQ, et al. Occurrence and control of *Semanotus bifasciatus* [J]. *Plant Quarantine*, 2003, 17 (3): 147–148. [王绍文, 刘发邦, 李克庆, 等. 双条杉天牛的发生及防治检疫对策 [J]. 植物检疫, 2003, 17 (3): 147–148]
- Wang YH, Gao CF, Zhu YC, et al. Imidacloprid susceptibility survey and selection risk assessment in field populations of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2008b, 101 (2): 515–522.
- Wang YC, Fan JQ, Tian XZ, et al. Studies on the resurgent question of planthopper induced by deltamethrin and methamidophos [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1994, 31 (5): 257–262. [王荫长, 范加勤, 田学志, 等. 溴氰菊酯和甲胺磷引起稻飞虱再猖獗问题的研究 [J]. 昆虫知识, 1994, 31 (5): 257–262]
- Wu AZ, Zhao Y, Qu ZC, et al. Subcellular localization of the stripe disease specific protein encoded by rice strip virus (RSV) in its vector, the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46 (21): 1819–1822.
- Xu ZF, He JH. The preliminary notes on the dryinid parasitoids of rice delphacids in Guizhou (Hymenoptera: Dryinidae) [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1996, 18 (3): 124–130. [许再福, 何俊华. 寄生于贵州省稻田飞虱的螯蜂种类初报 (膜翅目: 螯蜂科) [J]. 昆虫天敌, 1996, 18 (3): 124–130]
- Yang SL, Huang JX, Jin MX. Natural enemies of rice planthopper and rice leafhopper research on dryinid [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1982, 2: 1–12. [杨绍龙, 黄建新, 金孟肖. 稻飞虱、稻叶蝉天敌 – 螯蜂的研究 [J]. 昆虫天敌, 1982, 2: 1–12]
- Yao HW, Jiang CY, Ye GY, et al. Insecticide resistance of different populations of white backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13 (1): 101–105. [姚洪渭, 蒋彩英, 叶恭银, 等. 白背飞虱不同地区种群的抗药性研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (1): 101–105]
- Zhang XY, Zhai YF, Lin QC, et al. Research progress of controlling action of parasitoids on rice planthoppers [J]. *Journal of Environmental Ecology*, 2014, 36 (6): 1025–1032. [张晓燕, 翟一凡, 林清彩, 等. 寄生蜂对稻飞虱控害作用研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (6): 1025–1032]
- Zhang CZ, Jin LF. Preliminary observation of biology characteristics on *Haplogonatopus japonicus* [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1992, 14 (2): 57–61. [张纯胃, 金莉芬. 稻虱褐螯蜂生物学的初步研究 [J]. 昆虫天敌, 1992, 14 (2): 57–61]