

中国南方稻区半翅目害虫寄生蜂 物种多样性及群落结构分析*

何佳春^{1,2**} 胡 阳³ 张 明⁴ 魏 琪¹ 李 波¹ 何雨婷¹ 万品俊¹
赖凤香¹ 王渭霞¹ 于文娟⁵ 谢茂成⁶ 陈祥盛^{2***} 傅 强^{1***}

(1. 中国水稻研究所, 水稻生物学国家重点实验室, 杭州 310006; 2. 贵州大学昆虫研究所, 贵州省昆虫资源开发利用特色重点实验室, 贵阳 550025; 3. 贵州省农业科学院植物保护研究所, 贵阳 550006; 4. 湖南省衡阳市农业科学院, 衡阳 421101; 5. 四川省农业科学院植物保护研究所, 农业部西南作物有害生物综合治理重点实验室, 成都 610066;

6. 广西壮族自治区昭平县农业农村局, 昭平 546800)

摘 要 【目的】 探明我国南方稻区半翅目害虫寄生蜂物种多样性及群落结构, 了解寄生蜂优势种类及分布情况, 为实现保护和利用天敌进行控害提供理论基础。【方法】 采用马氏网法对我国南方 10 省(市、区) 10 个地区水稻生长季的寄生蜂群落进行持续采样和调查。【结果】 本研究共采集到半翅目害虫 109 种初寄生蜂和 9 种重寄生蜂, 初寄生蜂以缨小蜂科(31 种) 种类最多, 其次是螫蜂科(21 种)。通过对 10 个地区稻田寄生蜂群落分析表明, 各地半翅目害虫寄生蜂种类数量占比在 20.62%-27.37%之间, 个体数量占比在 29.81%-57.84%之间; 其中缨小蜂科寄生蜂的种类和数量占比均为最高, 种类占比在 28.57%-39.39%之间, 数量占比在 62.80%-87.73%之间; 以稻飞虱(包括褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera* 和灰飞虱 *Laodelphax striatellus*) 为寄主的寄生蜂种类和数量占比最高, 分别在 19.72%-29.41%之间和 57.47%-85.84%之间。通过对各地稻飞虱寄生蜂亚群落多样性和相似性比较发现, 约有 30% 的稻飞虱寄生蜂种类在各地均有分布, 其中最常见的有稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae*、斯里兰卡缨小蜂 *Mymar taprobanicum*、褐腰赤眼蜂 *Paracentrobia andoi*、长突寡索赤眼蜂 *Oligosita shibuyae*、叶蝉寡索赤眼蜂 *O. nephotetticum*、黄腿双距螫蜂 *Gonatopus flavifemur* 和稻虱红单节螫蜂 *Haplogonatopus apicalis*。【结论】 我国南方稻区半翅目害虫寄生蜂种类十分丰富, 其物种丰富度和个体数量在各地稻区寄生蜂群落均为主要类群, 其中以缨小蜂科、赤眼蜂科和螫蜂科种类和数量最多, 且优势种类在南方稻区广泛分布, 同时也是稻飞虱最主要的寄生蜂天敌。本研究结果为更好地保护和利用寄生蜂防控稻田半翅目害虫提供了重要参考。

关键词 寄生蜂; 半翅目害虫; 中国南方稻区; 群落; 多样性; 稻飞虱

Community structure and diversity of wasps which parasitize hemipteran pests in the rice-growing region of southern China

HE Jia-Chun^{1,2**} HU Yang³ ZHANG Ming⁴ WE Qi¹ LI Bo¹ HE Yu-Ting¹
WAN Ping-Jun¹ LAI Feng-Xiang¹ WANG Wei-Xia¹ YU Weng-Juan⁵
XIE Mao-Cheng⁶ CHENG Xiang-Sheng^{2***} FU Qiang^{1***}

(1. State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; 2. Institute of Entomology, Special Key Laboratory for Development and Utilization of Insect Resources of Guizhou, Guizhou University, Guiyang

*资助项目 Supported projects: 国家水稻产业技术体系资助项目(CARS-01-38); 中国农业科学院科技创新工程资助项目(CAAS-ASTIP-2016-CNRI); 稻飞虱灾变机制与可持续防控技术研究(2021YFD1401100); 农业农村部西南作物有害生物综合治理重点实验室开放基金资助项目(2019-XNZD-02)

**第一作者 First author, E-mail: hejiachun1984@126.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: chenxs3218@163.com; fuqiang@caas.cn

收稿日期 Received: 2022-06-24; 接受日期 Accepted: 2022-08-04

550025, China; 3. Institute of Plant Protection, Guizhou Academy of Agriculture Science, Guiyang 550006, China; 4. Hengyang Academy of Agricultural and Sciences, Hengyang 421101, China; 5. Institute of Plant Protection, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, MOA Key Laboratory of Integrated Management of Pests on Crops in Southwest China, Chengdu 610066, China; 6. Agricultural and Rural Bureau of Zhaoping, Zhaoping 546800, China)

Abstract [Objectives] To investigate the community structure and diversity of wasps that parasitize hemipteran pests in the rice producing region of southern China, and thereby provide baseline information to facilitate the use of parasitic wasps to control important rice pests in this region. **[Methods]** Malaise traps were used to investigate the composition of parasitic wasp communities. **[Results]** 109 species of primary parasitic wasps, and 9 species of hyperparasitic wasps, were collected. Among the primary parasitic wasps collected, most species (31) belonged to the Mymaridae, followed by the Dryinidae (21). At ten sampling sites, parasitic wasps comprised 20.62%-27.37% of all species collected and 29.81%-57.84% of individual specimens. Most species, and individual specimens, belonged to the Mymaridae, which comprised 28.57%-39.39% and 62.80%-87.73%, respectively, of the total. Parasitic wasps that parasitize the rice planthopper comprised the 19.72%-29.41% of all species collected and 57.47%-85.84% of individual specimens. About 30% of species were distributed over all regions; *Anagrus nilaparvatae*, *Mymar taprobanicum*, *Paracentrobia andoi*, *Oligosita shibuyae*, *O. nephotetticum*, *Gonatopus flavifemur* and *Haplogonatopus apicalis* were collected from all sampling sites indicating that these species are widely distributed. **[Conclusion]** The Mymaridae, Trichogrammatidae and Dryinidae are the main wasp taxa that parasitize hemipteran pests in the rice-growing region of southern China. Species diversity is high diversity and dominant species are widely distributed throughout the southern rice-growing region. These findings provide useful baseline information for protecting and utilizing parasitic wasps to control hemipteran pests in paddy fields.

Key words parasitic wasps; Hemiptera pests; rice-growing region of southern China; diversity; community; rice planthopper

水稻是世界上食用最多的粮食之一, 大约 50% 以上全球人口以稻米为主食。在中国更是有超过 65% 的人口以稻米为日常主食。因此保证水稻生产的安全与稳定, 是中国粮食生产安全最为重要的任务 (傅强和黄世文, 2019)。然而, 水稻虫害的发生不仅严重影响着稻米的优质高产与稳产, 也严重影响着我国稻米的持续增产潜力。研究表明, 在中国稻区约有 624 种害虫, 而半翅目 (包括原半翅目和同翅目) 害虫有 285 种, 占到害虫总数的 45.6%, 是我国稻区生态系统中种类最多、数量最大、危害最重的害虫类群, 其中稻飞虱 (包括褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera* 和灰飞虱 *Laodelphax striatellus*) 在我国每年危害面积占水稻虫害总面积的近 1/3, 是水稻生产最主要的害虫之一 (何俊华等, 1992; 姜玉英等, 2020)。长期以来, 对稻区害虫防治主要以化学农药为主, 而过度依赖化学农药带来的“3R”问题已日趋严重。因此, 环境友好和生态安全的可持续害虫防控策略已成为当前粮食安全的迫切需求 (He *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020)。

在稻田生态系统的食物链或食物网中, 害虫和天敌分别处于第二营养级和第三营养级。因而, 天敌是自然界系统内抑制害虫发生的重要因子, 利用天敌昆虫来控制农业害虫是自然和谐、安全有效的防控策略 (陈学新等, 2013)。研究表明, 保护并提高天敌的多样性, 有效的发挥天敌控害作用, 不仅可以提高对害虫的防效, 同时也可以降低化学防治和农业防治的防治成本, 提高农田种植的经济效益 (Hu *et al.*, 2014; Gurr *et al.*, 2016)。寄生蜂作为稻区生态系统中最常见的害虫天敌, 对害虫寄生专一且高效, 被认为是所有适用于生物防治天敌中最有效的类群。我国稻区生态系统中寄生蜂种类十分丰富, 约有 345 种, 其中以半翅目害虫为寄主的寄生蜂有 65 种, 仅次于鳞翅目害虫的寄生蜂类群 (何俊华等, 1991; Li *et al.*, 2017)。半翅目害虫的寄生蜂包含螯蜂科、缨小蜂科、赤眼蜂科、姬小蜂科、金小蜂科、茧蜂科及缘腹细蜂科等 10 个科, 主要以飞虱科、叶蝉科、蚜虫科和蝽科等害虫为寄主, 其中以稻飞虱为寄主的种类大多数分布广, 发生数量多是稻区生境常见的天敌 (何俊华等, 1991;

Gurr *et al.*, 2011)。

目前关于我国稻区寄生蜂的调查和研究大多是 20 世纪 70-90 年代进行的,随着我国经济的高速发展,施用农药的种类、方式方法及种植模式等农业生产方式和稻区生态环境都发生了巨大的变化,这使得稻区寄生蜂群落受到了极大影响(刘雨芳, 2019)。因此重新了解稻区半翅目寄生蜂的群落结构及物种多样性,探明主要优势种类及分布情况,是实现保护和利用天敌进行持续友好控害的重要基础。

1 材料与方法

1.1 采集地点

本研究中稻田寄生蜂群落物种多样性调查在我国南方稻区的浙江杭州市富阳区(E119.92°, N30.08°)、江苏南通市如东县(E121.02°, N32.34°)、福建莆田市仙游县(E118.66°, N25.33°)、江西抚州市崇仁县(E116.12°, N27.71°)、湖南衡阳市衡南县(E112.49°, N26.90°)、湖北咸宁市崇阳县(E114.07°, N29.55°)、广东广州市天河区(E113.36°, N23.15°)、广西贺州市昭平县(E110.84°, N24.05°)、四川宜宾市南溪区(E104.93°, N28.98°)及贵州黔南州惠水县(E106.65°, N26.12°) 10 个地区设监测点,在水稻生产季进行持续采样和调查。

1.2 调查方法

本研究的调查和采集方法是马氏网法,主要采用的是 Townes 型马氏网(吴琼等, 2016)。马氏网在试验田中固定好之后,其收样口安装可替换的收样瓶(袋),瓶中装入 75% 酒精达其容量的 1/2-2/3。飞入网中的昆虫受到中间和两端隔断的阻挡而落在其上,会往高处及透光的上方爬行,进入收样瓶,随后落入瓶中。注意有时蜘蛛会在收样口内部结网,需及时清除,防止昆虫因被阻而难以进入收样瓶。安装马氏网的田块一般正常肥水管理,农田中在害虫未达到防治指标条件下不使用杀虫剂。马氏网在水稻移栽 1 周后安装在田间,每隔 1 周收集一次样品。收集的样品

继续泡在装有 75%酒精的收样瓶中带回室内分拣、鉴定和统计,样品的鉴定参考傅强等(2021)。

1.3 分析方法

1.3.1 群落多样性分析 本研究参照戈蜂(2008)的群落多样性分析参数,采用群落中物种个体数量、物种丰富度(S)、Shannon-Winner 的物种多样性指数(H')、均匀性指数(J)、Simpson 的优势集中性指数(C)和优势度指数(D)分析群落的结构特征。

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

式中 $P_i = N_i/N$; S 为群落中物种数量; P_i 为群落中第 i 个物种的个体数(N_i)占群落中总个体数(N)的比例。

$$J = H' / H'_{\max}$$

式中: $H'_{\max}$ 为 H' 的最大理论值,即假定群落内各个物种均以同样比例存在是的 H' 值。

$$C = \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

式中: n_i 为第 i 个优势种在群落中的重要值; N 为群落总的重要值。

$$D = N_i / N_t$$

式中: N 为第 i 个物种的数量; N_t 为全部物种的种群数量。当物种在群落中的优势度指数 $D \geq 0.1$ 时,为优势种; $0.05 \leq D < 0.10$ 时为丰盛种; $0.01 \leq D < 0.05$ 为常见种; D 在 0.001-0.01 为偶见种, D 低于 0.001 者则为稀少种或罕见种(刘雨芳, 2000)。

1.3.2 群落相似性分析 利用 Jaccard 相似性系数判别不同采样点之间相似程度,有利于两分类单元之间的相似性比较。计算公式:

$$I = c / (a + b - c)$$

式中: I 为两个地区间群落的相似性系数, a 、 b 分别为两个地区群落寄生蜂的物种数, c 为两个地区群落共有的物种数。若 I 的值在 0-0.25 表示两群落极不相似;在 0.25-0.5 表示中等不相似;在 0.5-0.75 表示中等相似;在 0.75-1 表示极为相似(Real and Vargas, 1996)。

1.4 数据统计与分析

采用 DPS 数据处理软件(Tang and Zhang,

2013) 的群落分析模块对群落多样性指数和群落相似性指数进行计算, 其余数据和图表均在 Microsoft Office Excel 软件中进行计算和绘图。

2 结果与分析

2.1 我国南方稻区半翅目害虫寄生蜂种类

通过对南方稻区 10 个调查点的采集, 鉴定

了 3.3 万余头寄生蜂标本, 获得了 118 种稻区半翅目害虫的初寄生蜂和重寄生蜂 (表 1), 其中初寄生蜂 109 种, 分别是赤眼蜂科 9 种, 缨小蜂科 31 种, 姬小蜂科 3 种, 金小蜂科 4 种, 跳小蜂科 16 种, 蚜小蜂科 10 种, 棒小蜂科 1 种, 蚜茧蜂亚科 7 种, 缘腹细蜂科 7 种和螯蜂科 21 种。重寄生蜂 9 种, 分别是金小蜂科 1 种, 跳小蜂科 2 种, 广肩小蜂科 1 种, 分盾细蜂科 3 种和大痣细蜂科 2 种。

表 1 稻区半翅目害虫寄生蜂种类
Table 1 The species of parasitic wasps on Hemiptera pests in rice producing region

序号 No.	学名 Latin name	序号 No.	学名 Latin name
一	小蜂总科 Chalcidoidea	27	斯里兰卡缨小蜂 <i>Mymar taprobanicum</i>
(一)	赤眼蜂科 Trichogrammatidae	28	叶蝉钝毛缨小蜂 <i>Himopolynema hishimonus</i>
1	长突寡索赤眼蜂 <i>Oligosita shibuyae</i>	29	异色毛翅缨小蜂 <i>Chaetomymar bagicha</i>
2	飞虱寡索赤眼蜂 <i>Oligositayasumatsui</i>	30	马纳尔多线缨小蜂 <i>Polynema manaliense</i>
3	叶蝉寡索赤眼蜂 <i>Oligosita nephotetticum</i>	31	短脊多线缨小蜂 <i>Polynema brevicarinae</i>
4	伊索寡索赤眼蜂 <i>Oligosita aesopi</i>	32	多线缨小蜂 <i>Polynema</i> sp.
5	短角寡索赤眼蜂 <i>Oligosita breviconis</i>	33	阿缨小蜂 <i>Acmopolynema</i> sp.
6	红色寡索赤眼蜂 <i>Oligosita erythrina</i>	34	微翅缨小蜂 <i>Alaptus</i> sp.
7	寡索赤眼蜂 <i>Oligosita</i> sp.	35	小颚弯翅缨小蜂 <i>Comptoptera minorignatha</i>
8	褐腰赤眼蜂 <i>Paracentrobia andoi</i>	36	日本弯翅缨小蜂 <i>Comptoptera japonica</i>
9	印度毛翅赤眼蜂 <i>Chaetostricha terebrator</i>	37	平缘爱丽缨小蜂 <i>Erythmelus rex</i>
(二)	缨小蜂 Mymaridae	38	微小裂骨缨小蜂 <i>Schizophragmaparvula</i>
10	稻虱缨小蜂 <i>Anagrus nilaparvatae</i>	39	长缘缨小蜂 <i>Anaphes</i> sp.
11	蔗虱缨小蜂 <i>Anagrus optabilis</i>	40	角头缨小蜂 <i>Eubroncus</i> sp.
12	长管缨翅缨小蜂 <i>Anagrus perforator</i>	(三)	姬小蜂科 Eulophidae
13	伪稻虱缨小蜂 <i>Anagrus toyae</i>	41	胶虫红眼长尾啮小蜂 <i>Aprostocetus purpureus</i>
14	黄尾缨翅缨小蜂 <i>Anagrus flaviapex</i>	42	毛利长尾啮小蜂 <i>Aprostocetus muii</i>
15	半光缨翅缨小蜂 <i>Anagrus semiglabus</i>	43	大角啮小蜂 <i>Aprostocetus</i> sp.
16	浅黄稻虱缨小蜂 <i>Anagrus flaveolus</i>	(四)	金小蜂科 Pteromalidae
17	叶蝉三棒缨小蜂 <i>Stethynium triclavatum</i>	44	中国蜡卵金小蜂 <i>Acroclisoides sinicus</i>
18	斑胸柄翅缨小蜂 <i>Gonatocerus tarae</i>	45	绒茧克氏金小蜂 <i>Trichomalopsis apanteloctena</i>
19	叶蝉柄翅缨小蜂 <i>Gonatocerus cicadellae</i>	46	飞虱狭翅金小蜂 <i>Panstenon oxylus</i>
20	那若亚柄翅缨小蜂 <i>Gonatocerus narayani</i>	47	黄领狭翅金小蜂 <i>Panstenon collaris</i>
21	金色柄翅缨小蜂 <i>Gonatocerus chrysis</i>	48	狭翅金小蜂 <i>Panstenon</i> sp.
22	瘤额柄翅缨小蜂 <i>Gonatocerus kabashae</i>	(五)	跳小蜂科 Encyrtidae
23	短毛柄翅缨小蜂 <i>Gonatocerus brachychaetus</i>	49	黑棒扁体跳小蜂 <i>Rhopus nigroclavatus</i>
24	黑色柄翅缨小蜂 <i>Gonatocerus ater</i>	50	黄色扁体跳小蜂 <i>Rhopus flavus</i>
25	柄翅缨小蜂 <i>Gonatocerus</i> sp.	51	印度粉蚧跳小蜂 <i>Aenasius indicus</i>
26	模式缨小蜂 <i>Mymar pulchellum</i>	52	草居丽突跳小蜂 <i>Leptomastidea herbicola</i>

续表 1 (Table 1 continued)

序号 No.	学名 Latin name	序号 No.	学名 Latin name
53	五斑佳丽跳小蜂 <i>Callipteroma sexguttata</i>	(十)	缘腹细蜂科 Scelionidae
54	黄褐佳丽跳小蜂 <i>Callipteroma testacea</i>	86	稻蝽小黑卵蜂 <i>Telenomus gifuensis</i>
55	韩国羽盾跳小蜂 <i>Caenohomalopodakoreana</i>	87	稻蝽沟卵蜂 <i>Trissolcus mitsukurii</i>
56	微食皂马跳小蜂 <i>Zaomma lambinus</i>	88	沟卵蜂 <i>Trissolcus</i> sp.
57	长缘刷盾跳小蜂 <i>Cheiloneurus claviger</i>	89	菲岛粒卵蜂 <i>Gryonp hilippinense</i>
58	黑角刷盾跳小蜂 <i>Cheiloneurus axillaris</i>	90	日本粒卵蜂 <i>Gryon japonicum</i>
59	蜡蚧扁角跳小蜂 <i>Anicetus ceroplastis</i>	91	粒卵蜂 1 <i>Gryonp</i> sp. 1
60	锤角阔柄跳小蜂 <i>Metaphycus claviger</i>	92	粒卵蜂 2 <i>Gryonp</i> sp. 2
61	札幌艾菲跳小蜂 <i>Aphycus sapproensis</i>	四	青蜂总科 Chrysidoidea
62	红黄花翅跳小蜂 <i>Microterys rufofulvus</i>	(十一)	螯蜂科 Dryinidae
63	白蜡花翅跳小蜂 <i>Microterys ericeri</i>	93	黄腿双距螯蜂 <i>Gonatopus flavifemur</i>
64	盾蚧汤氏跳小蜂 <i>Thomsonisca amathus</i>	94	黑双距螯蜂 <i>Gonatopus nigricans</i>
65	蚜虫食蚜蝇跳小蜂 <i>Syrphophagus aphidivorus</i>	95	中华双距螯蜂 <i>Gonatopus nearcticus</i>
66	黑角毁螯跳小蜂 <i>Echthrogonatopus nigricornis</i>	96	步双距螯蜂 <i>Gonatopus pedestris</i>
(六)	蚜小蜂科 Aphelinidae	97	裸双距螯蜂 <i>Gonatopus nudus</i>
67	中华四节蚜小蜂 <i>Pteroptrix chinensis</i>	98	稻虱红单节螯蜂 <i>Haplogonatopus apicalis</i>
68	长白蚧长棒蚜小蜂 <i>Marlatiellaprima</i>	99	黑腹单节螯蜂 <i>Haplogonatopus oratorius</i>
69	岭南黄蚜小蜂 <i>Aphytis lingnanensis</i>	100	两色食虱螯蜂 <i>Echthrodelpfax fairchildii</i>
70	桑盾蚧黄蚜小蜂 <i>Aphytis proclia</i>	101	红食虱螯蜂 <i>Echthrodelpfax rufus</i>
71	豹纹花翅蚜小蜂 <i>Marietta picta</i>	102	食蜡蝉螯蜂 <i>Dryinus pyrrillivorus</i>
72	线茎申蚜小蜂 <i>Centrodora lineascapa</i>	103	褐黄螯蜂 <i>Dryinus indicus</i>
73	横带蚜小蜂 <i>Aphnelinus maculatus</i>	104	布氏螯蜂 <i>Dryinus browni</i>
74	苹果绵蚜蚜小蜂 <i>Aphelinus mali</i>	105	大裸爪螯蜂 <i>Congateon gigas</i>
75	裸带花角蚜小蜂 <i>Ablerus calvus</i>	106	爪哇单爪螯蜂 <i>Anteon hilare</i>
76	浅黄恩蚜小蜂 <i>Encarsia sophia</i>	107	安松单爪螯蜂 <i>Anteonyasumatsui</i>
(七)	广肩小蜂科 Eurytomidae	108	阿卜单爪螯蜂 <i>Anteon abdulnouri</i>
77	粘虫广肩小蜂 <i>Eurytoma verticillata</i>	109	沙捞越单爪螯蜂 <i>Anteon sarawaki</i>
(八)	棒小蜂科 Signiphoridae	110	单爪螯蜂 <i>Anteon</i> sp.
78	福建卡棒小蜂 <i>Chartocerus fujianensis</i>	111	马来亚常足螯蜂 <i>Aphelopus malayanus</i>
二	姬蜂总科 Ichneumonidea	112	白脸常足螯蜂 <i>Aphelopus albifacialis</i>
(九)	茧蜂科 Braconidae	113	白唇基常足螯蜂 <i>Aphelopus albiclypeus</i>
79	烟蚜茧蜂 <i>Aphidius gifuensi</i>	五	分盾细蜂总科 Ceraphronoidea
80	广双瘤蚜茧蜂 <i>Binodoxys communis</i>	(十二)	分盾细蜂科 Ceraphronidae
81	棉蚜双瘤蚜茧蜂 <i>Binodoxys gossypiaphis</i>	114	菲岛分盾细蜂 <i>Ceraphron manilae</i>
82	龙首双瘤蚜茧蜂 <i>Binodoxys carinatus</i>	115	长侧脊分盾细蜂 <i>Ceraphron parvalatus</i>
83	菜少脉蚜茧蜂 <i>Diaeretiella rapae</i>	116	螯蜂黄分盾细蜂 <i>Ceraphron</i> sp.
84	细长径蚜茧蜂 <i>Lipolexis gracilis</i>	(十三)	大痣细蜂科 Megaspilidae
85	蚜外茧蜂 <i>Praoon</i> sp.	117	分额大痣细蜂 <i>Conostigmus divisifrons</i>
三	广腹细蜂总科 Platygastridea	118	蚜大痣细蜂 <i>Dendrocercus</i> sp.

2.2 各地半翅目害虫寄生蜂的群落结构

2.2.1 各稻区半翅目害虫寄生蜂的占比 通过对 10 个调查点马来氏网收集的稻区寄生蜂群落进行分析统计发现半翅目害虫寄生蜂在各地稻区寄生蜂中的占比各有差异 (图 1)。其中种类

数占有所有寄生蜂群落的比例在 20.62%-27.37% 之间, 同时个体数占比在 29.81%-57.84% 之间, 数量上占到了稻区中寄生蜂的绝对优势, 尤其在湖南、福建、四川、广西和广东的个体数量均超过了 40%。而重寄生蜂种类占比在 3.03%-5.88% 之间, 个体数量占比在 2.16%-7.87% 之间。

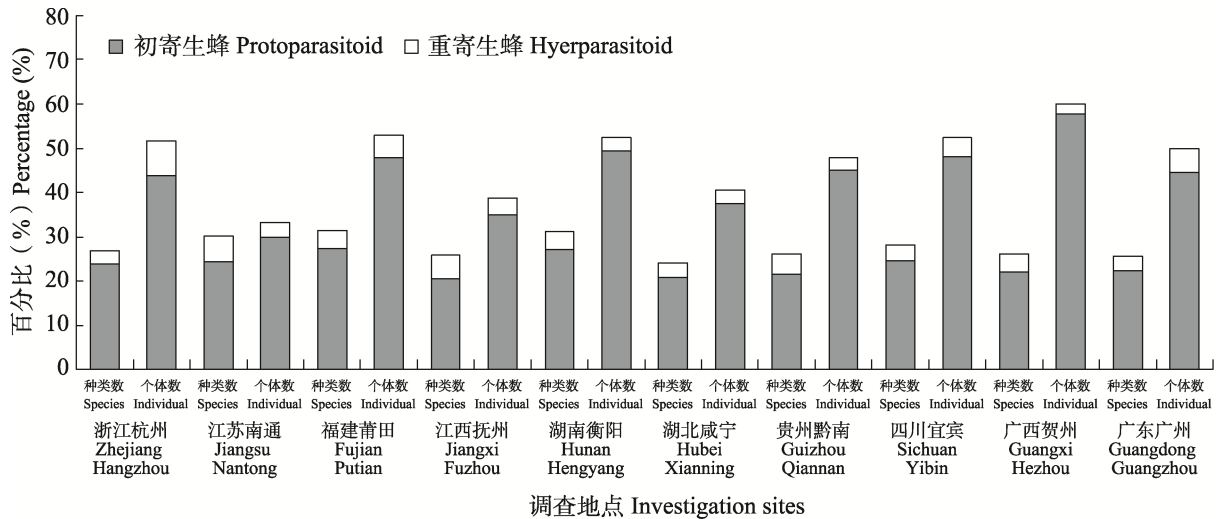


图 1 各地稻区中半翅目害虫在寄生蜂群落中的种数和个体数占比

Fig. 1 Species and individuals proportion of parasitic wasps of Hemiptera pests in parasitic wasp communities at different sites

2.2.2 半翅目寄生蜂群落的种类及数量构成 从图 2 中可以看出, 在各地稻区 10 个科的寄生蜂种数占比来看, 缨小蜂科的种类比例最高, 在 28.57%-39.39% 之间, 仅福建莆田、湖南衡阳和湖北咸宁的占比低于 30%。种类占比第 2 的是赤眼蜂科, 在 9.09%-16.28% 之间; 第 3 是蚜小蜂科, 占比在 7.69%-16.95% 之间。螫蜂占比在 7.14%-14.89% 之间, 其中以广州的占比最高。

从个体数量上看, 依旧是缨小蜂科的占比最高, 在 62.80%-87.73% 之间, 其中以广西贺州为最高, 而贵州黔南、四川宜宾、广东广州和江苏南通的占比均超过了 75%, 说明缨小蜂是稻区中优势度最高的类群。其次是赤眼蜂科, 在 3.45%-13.70% 之间, 福建莆田数量最高。螫蜂科个体蜂数量占比在 2.57%-6.28% 之间, 其中湖南衡阳的占比最高。

2.2.3 不同寄主类群的种类和数量占比 各类不同寄主的寄生蜂比例来看 (图 3), 稻飞虱为

寄主的种数占总物种数的 19.72%-29.41%, 其中湖北咸宁最高, 其余地方种类占比情况都比较相似, 基本都在 20% 以上; 而飞虱与叶蝉共寄主的种类占比在 7.04%-13.73% 之间, 依旧是湖北咸宁最高。同时未明确寄主的种类比例在 14.63%-23.19% 之间, 湖南衡阳占比最高。此外, 重寄生蜂类群的种类占比在 11.27%-20.00% 之间, 以江西抚州占比最高, 浙江杭州最低。

不同寄主类群的个体数占比上均以稻飞虱最高, 在 57.47%-85.84% 之间, 尤以广西贺州占比最高, 其余地区的比例均十分接近。此与缨小蜂科寄生蜂在群落中占比高有关系, 而缨小蜂科寄生蜂又主要是以稻飞虱为寄主; 与叶蝉共寄主的个体数量在 4.83%-11.70% 之间; 而其他未知寄主的数量在 1.99%-10.78% 之间, 相比与种数占比个体数量占比明显较低。重寄生蜂的个体数量上在 3.41%-12.53% 之间, 比种数的占比下降了近 1 倍。由此可见, 虽然未知寄主和重寄生蜂

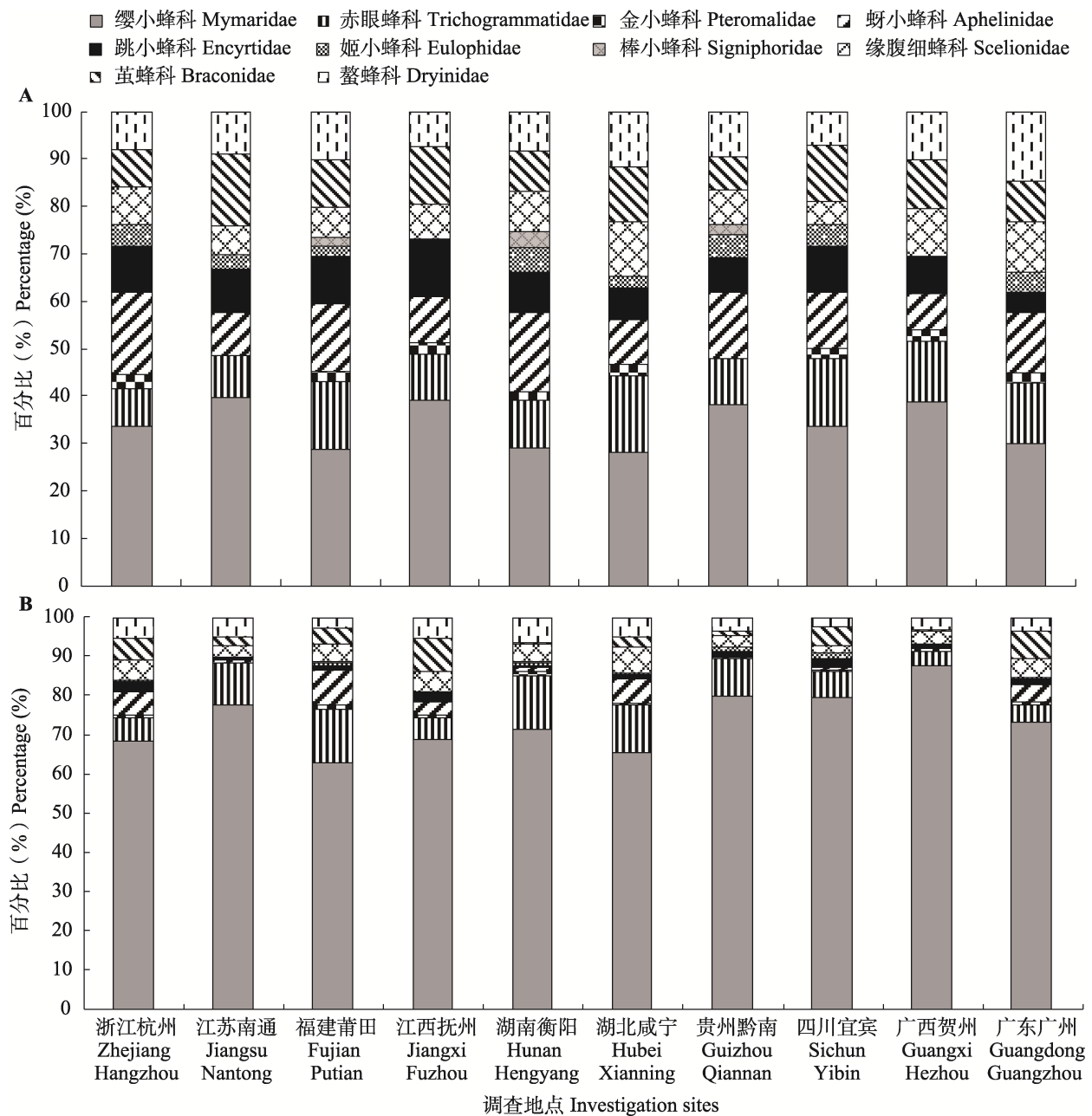


图2 不同地区半翅目寄生蜂群落中各科占比

Fig. 2 Proportion of families in Hemiptera parasitic wasps communities in different sites

A. 种数占比; B. 个体数占比。

A. Proportion of species; B. Proportion of individuals.

种类比例上较高,但是其个体数量相对较少。

2.3 稻飞虱寄生蜂亚群落的多样性分析

2.3.1 各地稻飞虱寄生蜂亚群落多样性比较及各类的优势度 通过对南方稻区 10 个地区的稻飞虱寄生蜂 (不包括重寄生蜂) 亚群落多样性

的分析结果表明 (表 2), 物种丰富度最高的是湖南衡阳 (19), 最低的是贵州黔南 (10)。物种多样性指数最高的是湖南衡阳 (2.290), 最低的是广西贺州 (1.075); 优势集中度指数以广西贺州最高 (0.717); 均匀度指数最高的是湖南衡阳 (0.539), 其次是湖北咸宁, 两者十分接近, 而

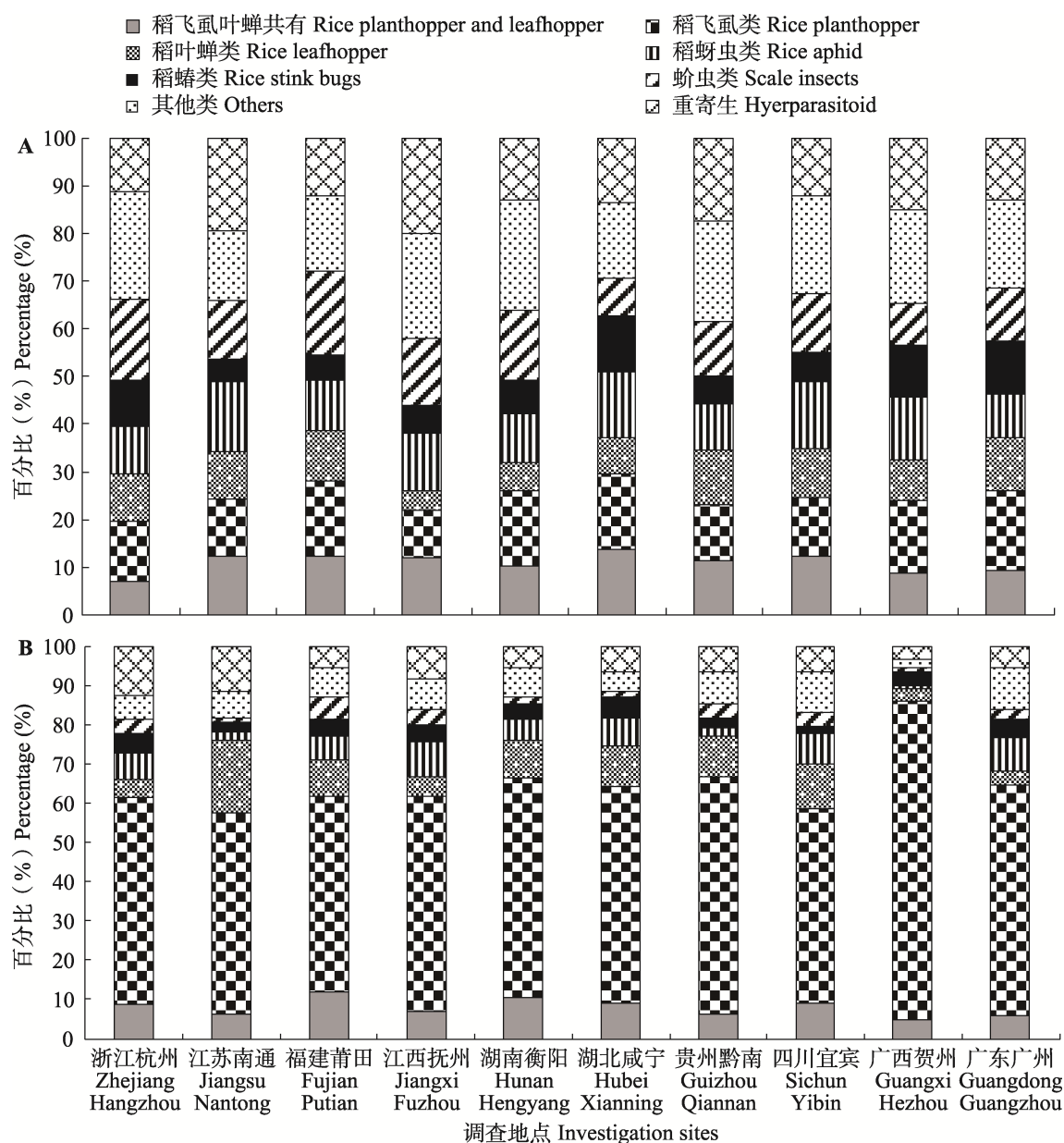


图3 不同地区不同寄主寄生蜂类群的占比

Fig. 3 Proportion of parasitic wasps for different hosts in different sites

A. 种数占比; B. 个体数占比。

A. Proportion of species; B. Proportion of individuals.

均匀性指数最低的是广西贺州 (0.300)。

从不同地区稻飞虱寄生蜂的优势度 (表3) 中可以看出, 在各地稻飞虱寄生蜂亚群落中, 稻虱缨小蜂均为绝对的优势物种, 在各地的优势度指数均大于 0.50; 蔗虱缨小蜂是仅次于稻虱缨小蜂的优势种, 如浙江杭州和广东广州分别为 0.152 和 0.168, 而其他地区优势度则远低于稻虱缨小蜂; 斯里兰卡缨小蜂、长突寡索赤眼蜂、叶

蝉寡索赤眼蜂、褐腰赤眼蜂、稻虱红单节螯蜂及黄腿双距螯蜂在大部分地区为常见种, 其他部分种类如伊索寡索赤眼蜂、飞虱寡索赤眼蜂和黑双距螯蜂在其分布的地区优势度均小于 0.01, 属稀有种类。

此外, 调查还发现稻虱缨小蜂、斯里兰卡缨小蜂、长突寡索赤眼蜂、叶蝉寡索赤眼蜂、褐腰赤眼蜂、稻虱红单节螯蜂及黄腿双距螯蜂 7 种寄

表 2 各地稻飞虱寄生蜂亚群落多样性特征

Table 2 Diversity characteristics of rice planthopper parasitic wasps sub-communities in different sites

群落 Community	物种丰富度 (S) Species richness (S)	个体数 Individuals	优势集中性指数 (C) Simpson index (C)	多样性指数 H' Shannon index (H')	均匀度指数 J Evenness index (J)
浙江杭州 Zhejiang Hangzhou	15	1 010	0.427	1.975	0.505
江苏南通 Jiangsu Nantong	11	500	0.571	1.503	0.435
福建莆田 Fujian Putian	17	931	0.426	2.188	0.535
江西抚州 Jiangxi Fuzhou	16	824	0.534	1.805	0.451
湖南衡阳 Hunan Hengyang	19	1 960	0.403	2.290	0.539
湖北咸宁 Hubei Xianning	15	1 139	0.408	2.100	0.538
贵州黔南 Guizhou Qiannan	10	1 062	0.585	1.485	0.447
四川宜宾 Sichuan Yibin	12	1 081	0.475	1.864	0.520
广西贺州 Guangxi Hezhou	12	2 160	0.717	1.075	0.300
广东广州 Guangdong Guangzhou	15	1 135	0.466	1.851	0.474

表 3 不同地区稻飞虱寄生蜂的优势度

Table 3 Dominance of rice planthopper parasitic wasps in different areas

种类 Species	浙江 杭州 Zhejiang Hangzhou	江苏 南通 Jiangsu Nantong	福建 莆田 Fujian Putian	江西 抚州 Jiangxi Fuzhou	湖南 衡阳 Hunan Hengyang	湖北 咸宁 Hubei Xianning	贵州 黔南 Guizhou Qiannan	四川 宜宾 Sichuan Yibin	广西 贺州 Guangxi Hezhou	广东 广州 Guangdong Guangzhou
稻虱缨小蜂 <i>Anagrus nilaparvatae</i>	0.631	0.748	0.642	0.726	0.623	0.621	0.759	0.677	0.844	0.660
蔗虱缨小蜂 <i>Anagrus optabilis</i>	0.152	0.006	0.042	0.030	0.059	0.102	0.000	0.098	0.055	0.168
伪稻虱缨小蜂 <i>Anagrus toyae</i>	0.006	0.000	0.000	0.004	0.013	0.000	0.000	0.000	0.010	0.016
黄尾缨翅缨小蜂 <i>Anagrus flaviapex</i>	0.000	0.000	0.013	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
浅黄缨翅缨小蜂 <i>Anagrus flaveolus</i>	0.000	0.000	0.009	0.004	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
长管稻虱缨小蜂 <i>Anagrus perforator</i>	0.001	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
斯里兰卡缨小蜂 <i>Mymar taprobanicum</i>	0.032	0.022	0.021	0.030	0.014	0.021	0.028	0.029	0.015	0.027
模式缨小蜂 <i>Mymar pulchellum</i>	0.000	0.000	0.027	0.017	0.001	0.011	0.027	0.017	0.000	0.000
叶蝉柄翅缨小蜂 <i>Gonatocerus cicadellae</i>	0.001	0.004	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

续表 3 (Table 3 continued)

种类 Species	浙江 杭州 Zhejiang Hangzhou	江苏 南通 Jiangsu Nantong	福建 莆田 Fujian Putian	江西 抚州 Jiangxi Fuzhou	湖南 衡阳 Hunan Hengyang	湖北 咸宁 Hubei Xianning	贵州 黔南 Guizhou Qiannan	四川 宜宾 Sichuan Yibin	广西 贺州 Guangxi Hezhou	广东 广州 Guangdong Guangzhou
那若亚柄翅缨小蜂 <i>Gonatocerus narayani</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
长突寡索赤眼蜂 <i>Oligosita shibuyae</i>	0.057	0.042	0.048	0.015	0.061	0.067	0.057	0.064	0.015	0.024
叶蝉寡索赤眼蜂 <i>Oligosita nephotetticum</i>	0.016	0.020	0.062	0.016	0.049	0.030	0.019	0.033	0.007	0.017
飞虱寡索赤眼蜂 <i>Oligosita yasumatsui</i>	0.000	0.000	0.006	0.000	0.005	0.003	0.000	0.008	0.000	0.005
伊索寡索赤眼蜂 <i>Oligosita aesopi</i>	0.000	0.000	0.004	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
褐腰赤眼蜂 <i>Paracentrobia andoi</i>	0.022	0.092	0.061	0.038	0.049	0.071	0.059	0.028	0.013	0.014
飞虱狭翅金小蜂 <i>Panstenon oxylus</i>	0.006	0.000	0.017	0.011	0.018	0.000	0.008	0.000	0.009	0.014
毛利长尾啮小蜂 <i>Aprostocetus muiri</i>	0.005	0.000	0.010	0.018	0.010	0.000	0.000	0.015	0.000	0.008
大角啮小蜂 <i>Aprostocetus</i> sp.	0.002	0.002	0.000	0.002	0.005	0.003	0.000	0.004	0.000	0.000
稻虱红单节螯蜂 <i>Haplogonatopus apicalis</i>	0.031	0.016	0.019	0.019	0.018	0.025	0.011	0.015	0.018	0.018
两色食虱螯蜂 <i>Echthrodelphax fairchildii</i>	0.011	0.028	0.004	0.000	0.018	0.014	0.008	0.000	0.000	0.006
黄腿双距螯蜂 <i>Gonatopus flavifemur</i>	0.028	0.020	0.011	0.053	0.038	0.026	0.022	0.013	0.013	0.019
黑双距螯蜂 <i>Gonatopus nigricans</i>	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001

生蜂在 10 个地区均有分布, 为广布种类; 蔗虱缨小蜂除贵州黔南外其他地方也均有发现; 而如黄尾缨翅缨小蜂、长管稻虱缨小蜂和伊索寡索赤眼蜂分布的地区不超过 3 个, 属于局部发生的种类。

2.3.2 各地稻飞虱寄生蜂亚群落的相似性比较

通过群落结构相似性比较来看(表 4), 浙江杭州的飞虱寄生蜂亚群落与江西抚州极为相似, 相似性指数均大于 0.75, 而浙江杭州和江苏南通之间为中等相似 ($I=0.73$); 湖南衡阳与广东广州、福建莆田的亚群落也极为相似 ($I>0.75$); 其他地区的相似性指数均大于 0.5, 但未出现极为相似

的群落。此结果说明在南方稻区的飞虱寄生蜂亚群落种类结构都十分接近, 达到了中等以上的相似程度, 没有不相似的群落。此与表 3 中统计的结果对应, 在各地稻区总共采集到了 20 余种稻飞虱寄生蜂, 而有 7 种为 10 个稻区均有分布的广布种, 占到了 1/3 的种类。

3 结论与讨论

本研究共获得稻区半翅目害虫的 109 种初寄生蜂和 9 种重寄生蜂, 此结果记录的数量高于何俊华等(1991)记录的种类(原记录 65 种),

表 4 各地飞虱寄生蜂亚群落的群落相似性比较

Table 4 Comparison of the similarity among parasitic wasps sub-communities in different sites

地点 Sites	江苏南通 Jiangsu Nantong	福建莆田 Fujian Putian	江西抚州 Jiangxi Fuzhou	湖南衡阳 Hunan Hengyang	湖北咸宁 Hubei Xianning	贵州黔南 Guizhou Qiannan	四川宜宾 Sichuan Yibin	广西贺州 Guangxi Hezhou	广东广州 Guangdong Guangzhou
浙江杭州 Zhejiang Hangzhou	0.733	0.600	0.824	0.619	0.500	0.563	0.588	0.688	0.667
江苏南通 Jiangsu Nantong		0.556	0.588	0.500	0.625	0.615	0.643	0.533	0.529
福建莆田 Fujian Putian			0.571	0.895	0.684	0.588	0.611	0.526	0.778
江西抚州 Jiangxi Fuzhou				0.667	0.550	0.625	0.647	0.647	0.550
湖南衡阳 Hunan Hengyang					0.700	0.526	0.632	0.550	0.789
湖北咸宁 Hubei Xianning						0.563	0.688	0.500	0.579
贵州黔南 Guizhou Qiannan							0.571	0.571	0.563
四川宜宾 Sichuan Yibin								0.500	0.588
广西贺州 Guangxi Hezhou									0.688

其中重寄生蜂的种类基本包含了原记录的种类，而初寄生蜂虽然种类上明显增加，但是与以往记录相同的种类仅有 40 余种，存在一定差异，其原因主要包括以下 3 点：1）分类体系的完善，对稻田寄生蜂研究的记录是在 20 世纪 70-90 年代开始的，当时在我国许多寄生蜂研究处于起步阶段，许多种类均未有明确鉴定和定名，如缨小蜂科，而随着近年来分类研究的深入和分类体系的完善，不少寄生蜂新种被确认和报道，使得现在的研究中出现了更多的种类记录。同时过去研究中存在着不少误定或重名的种类（何雨婷，2020），因而造成记录的种类数量有较大差异。2）增加的种类中有一些未明确寄主的种类，而近年来关于这些种类所在属的研究报道其主要寄主为半翅目昆虫（何俊华和许再福，2002；Gurr *et al.*, 2011；Huber *et al.*, 2020），因此本研究将这些种类统计在其中，使得种类上有所增加。但是关于这些种类的寄主和生物学习性仍有待进一步研究验证。3）近年来稻区生境的变化，

随着我国经济的发展，水稻农业种植模式发生了不小的变化，如人工翻耕种植向免耕机械化种植转变，除草方式从人工除草转变为使用高效的化学除草剂，双季稻种植改为单季稻种植（刘雨芳，2019）。这些发展和变化，影响了害虫以及天敌群落的结构和多样性。

本研究在 10 个省选取的调查点虽然不能完全代表该省的寄生蜂群落完整情况，但也能大致反应我国南方不同稻区的寄生蜂群落结构的差异。从半翅目寄生蜂群落的结构来看，各地区半翅目害虫的寄生蜂总量基本都在 30%左右，其中各地缨小蜂科的种类和个体数量上均是最高，同时在整个半翅目寄生蜂群落中寄生飞虱科害虫（包括与叶蝉科共有的种类）的寄生蜂种类数量和个体数量均是最高，各地种类数占比均超过 20%，个体数量占比基本占到 60%以上，这与稻飞虱为发生量最高的害虫有直接关系。统计表明，半翅目害虫在我国水稻为害面积占害虫危害面积的 30%以上，同时稻飞虱更是水稻三大害虫

之首(傅强和黄世文, 2019; 姜玉英等, 2020), 这与其相关寄生蜂占比情况一致。

不同地区稻飞虱寄生蜂亚群落的多样性分析结果来看, 稻飞虱寄生蜂亚群落中, 各地稻区寄生蜂群落结构均达到中等以上相似, 其中缨小蜂科、赤眼蜂科和螯蜂科是稻区飞虱最主要的 3 个类群, 此与何俊华等(1991)的研究记录基本一致, 说明近几十年来我国南方稻区中稻飞虱主要的寄生蜂类群没有发生太大的变化。而在群落相似性较高的如浙江杭州、江苏南通和江西抚州, 还有广东广州和福建莆田, 由于在中国水稻种植区划和中国动物地理区划上这些相似的地区均在同一个区域中(张荣祖和赵肯堂, 1978; 梅方权等, 1988), 因而其物种群落结构相似性较高。而其他地方相似度的差异除了区划差异外, 当地的种植环境、主栽品种、害虫发生情况及防治方式也都可能是造成其差异的重要因素(程遐年等, 2003)。

从本研究调查结果来看, 缨小蜂、赤眼蜂和螯蜂在南方稻区广泛分布且为主要的优势类群, 其中缨小蜂和赤眼蜂为稻飞虱的卵期寄生蜂, 螯蜂为稻飞虱成虫和若虫期寄生蜂(何俊华和许再福, 2002; 何雨婷等, 2020), 因此将来需要加强对这些寄生蜂优势种类的保护和利用, 进一步推动我国稻飞虱生物防治的进展。

致谢: 感谢国际水稻研究所 Alberto T.Barrion 博士指导和协助本研究中寄生蜂标本的鉴定。

参考文献 (References)

- Chen XN, Wu JC, Ma F, 2003. Brown Planthopper: Occurrence and Control. Beijing: China Agricultural Press. 1–37. [程遐年, 吴进才, 马飞, 2003. 褐飞虱防治与研究. 北京: 中国农业出版社. 1–37.]
- Chen XX, Ren SX, Zhang F, Cai WZ, Zeng FR, Zhang WQ, 2013. Mechanism of pest management by natural enemies and their sustainable utilization. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(1): 9–18. [陈学新, 任顺祥, 张帆, 彩万志, 曾凡荣, 张文庆, 2013. 天敌昆虫控害机制与可持续利用. 应用昆虫学报, 50(1): 9–18.]
- Fu Q, He JC, Lu ZX, Barrion AT, 2021. Identification and Utilization of the Natural Enemies for Insects of Rice Ecosystem

- in China. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press. 60–560. [傅强, 何佳春, 吕仲贤, A.T. Barrion, 2021. 中国水稻害虫天敌的识别与应用. 杭州: 浙江科学技术出版社. 60–560.]
- Fu Q, Huang SW, 2019. Pictorial Handbook of Diagnosis and Control of Rice Diseases and Insect Pests. Beijing: China Machine Press. 3–5. [傅强, 黄世文, 2019. 图说水稻病虫害诊断与防治. 北京: 机械工业出版社. 3–5.]
- Ge F, 2008. Principle and Methods of Insect Ecology. Beijing: Higher Education Press. 248–268. [戈峰, 2008. 昆虫生态学原理与方法. 北京: 高等教育出版社. 248–268.]
- Gurr GM, Liu J, Read DMY, Catindig JLA, Cheng JA, Lan LP, Heong KL, 2011. Parasitoids of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering. *Annals of Applied Biology*, 158(2): 149–176.
- Gurr GM, Lu ZX, Zheng XS, Xu HX, Zhu PY, Chen GH, Yao XM, Cheng JA, Zhu ZR, Catindig JL, Villareal S, van Chien H, Cuong le Q, Channoo C, Chengwattana N, Lan LP, Hai le H, Chaiwong J, Nicol HI, Perovic DJ, Wratten SD, Heong KL, 2016. Multi-country evidence that crop diversification promotes ecological intensification of agriculture. *Nature Plants*, 2(3): 1–4.
- He J, He Y, Lai F, Chen X, Fu Q, 2020. Biological traits of the pincer wasp *Gonatopus flavifemur* (Esaki & Hashimoto) associated with different stages of its host, the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Insects*, 11(5): 279.
- He JH, Ma Y, Chen XX, 1992. A Checklist of Rice Pest From China. Beijing: Agricultural Publishing House Press. 1–153. [何俊华, 马云, 陈学新, 1992. 中国稻作害虫名录. 北京: 农业出版社. 1–153.]
- He JH, Ma Y, Wang HQ, Shi YS, Qiu NZ, Ren SZ, Chen XX, Chen ZF, Zhen LY, Pu TS, Yu PY, 1991. Directory of Natural Enemies of Rice Insect Pests in China. Beijing: Science Press. 1–70. [何俊华, 马云, 王洪全, 史永善, 丘念曾, 任树芝, 杨集昆, 陈学新, 陈樟福, 郑乐怡, 蒲天胜, 虞佩玉, 1991. 中国水稻害虫天敌名录. 北京: 科学出版社. 1–70.]
- He JH, Xu ZF, 2002. Fauna Sinica. Insecta, Hymenoptera, Dyrinidae. Beijing: Science Press. 1–465. [何俊华, 许再福, 2002. 中国动物志. 昆虫纲, 膜翅目, 螯蜂科. 北京: 科学出版社. 1–465.]
- He YT, 2020. Biological characteristics and control effect of three common dryinids in rice field. Master dissertation. Changsha: Hunan Agricultural University. [何雨婷, 2020. 稻田三种常见螯蜂的基本生物学特性及控害作用研究. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学.]
- He YT, He JC, Wei Q, Lai FX, Yang ZX, Fu Q, 2020. Host

- preferences and control effects of three common rice field dryinids on hemipteran pests. *Acta Entomologica Sinica*, 63(8): 999–1009. [何雨婷, 何佳春, 魏琪, 赖凤香, 杨中侠, 傅强, 2020. 三种稻田常见螳蜂对半翅目害虫的寄主偏好性及控害作用. 昆虫学报, 63(8): 999–1009.]
- Hu Y, Cheng J, Zhu Z, Heong KL, Fu Q, He J, 2014. A comparative study on population development patterns of *Sogatella furcifera* between tropical and subtropical areas. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(4): 845–851.
- Huber JT, Read JD, Triapitsyn SV, 2020. Illustrated key to genera and catalogue of Mymaridae (Hymenoptera) in America north of Mexico. *Zootaxa*, 4773(1): 1–411.
- Jiang YY, Liu WC, Huang C, Lu MH, Liu J, Ciren ZG, 2020. Forecast on occurrence of major crop disease and insect pests in China in 2020. *China Plant Protection*, 40 (2): 37–40. [姜玉英, 刘万才, 黄冲, 陆明红, 刘杰, 次仁卓嘎, 2020. 2020 年全国农作物重大病虫害发生趋势预报. 中国植保导刊, 40(2): 37–40.]
- Li YH, Zhang QL, Liu QS, Meissle M, Yang Y, Wang YN, Hua HX, Chen XP, Peng YF, Romeis J, 2017. Bt rice in China-focusing the nontarget risk assessment. *Plan. Biotechnol. J.*, 15(10): 1340–1345.
- Liu YF, 2000. Studies on the community structure of arthropods in rice ecosystem. Doctoral dissertation. Guangzhou: Sun Yat-sen University. [刘雨芳, 2000. 稻田生态系统节肢动物群落结构研究. 博士学位论文. 广州: 中山大学.]
- Liu YF, 2019. A review of the diversity and ecological function of paddy field insect communities in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(2): 183–194. [刘雨芳, 2019. 中国稻田昆虫群落多样性及生态调控功能研究进展. 应用昆虫学报, 56(2): 183–194.]
- Mei FQ, Wu XZ, Yao CX, Li LP, Wang L, Chen QY, 1988. Rice cropping regionalization in China. *Chinese Journal of Rice Science*, 2(3): 97–110. [梅方权, 吴宪章, 姚长溪, 李路平, 王磊, 陈秋云, 1988. 中国水稻种植区划. 中国水稻科学, 2(3): 97–110.]
- Real R, Vargas JM, 1996. The probabilistic basis of Jaccard's index of similarity. *Systematic Biology*, 45(3): 380–385.
- Tang QY, Zhang CX, 2013. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research. *Insect Sci.*, 20(2): 254–260.
- Wu J, Ge L, Liu F, Song Q, Stanley D, 2020. Pesticide-induced planthopper population resurgence in rice cropping systems. *Annu. Rev. Entomol.*, 65: 409–429.
- Wu Q, van Achterberg C, Chen XX, 2016. An introduction to the types of Malaise traps and their application for collecting insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(3): 660–667. [吴琼, C. van Achterberg, 陈学新, 2016. 昆虫诱集装置—马氏网的类型与使用. 应用昆虫学报, 53(3): 660–667.]
- Zhang RZ, Zhao KD, 1978. On the zoogeographical regions of China. *Acta Zoologica Sinica*, 24(2): 196–202. [张荣祖, 赵肯堂, 1978. 关于《中国动物地理区划》的修改. 动物学报, 24(2): 196–202.]