

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

李 帅, 陈文龙, 金道超*

(贵州大学昆虫研究所, 贵州大学贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵州大学昆虫资源开发利用省级特色重点实验室, 贵阳 550025)

摘要:【目的】为了解稻虱红单节螯蜂 *Haplogonatopus apicalis* 与白背飞虱 *Sogatella furcifera* 间的互作关系, 开展了稻虱红单节螯蜂在白背飞虱不同龄期寄生时, 对寄主及其自身发育表现影响的研究。【方法】在室内 25℃ 条件下, 观察了被寄生的白背飞虱各龄若虫及其寄生蜂稻虱红单节螯蜂的发育表现。【结果】白背飞虱 2, 3, 4 和 5 龄若虫被寄生后, 当龄及其后各龄的历期均显著延长; 2 和 3 龄若虫被寄生后, 成虫羽化率仅分别为 54.29% 和 60.95%, 显著低于在 4 和 5 龄若虫被寄生后的成虫羽化率(分别为 96.20% 和 100%)。稻虱红单节螯蜂寄生白背飞虱 5 龄若虫后的发育历期(23.77 d)显著短于寄生 2 龄若虫后的发育历期(27.77 d); 寄生 3 龄若虫的成蜂羽化率最高, 为 56.19%; 而寄生 5 龄若虫的羽化雄蜂比例最高, 为 77.12%。【结论】稻虱红单节螯蜂寄生可使白背飞虱若虫发育历期显著延长, 白背飞虱 2 和 3 龄若虫是稻虱红单节螯蜂发育的适宜寄主。

关键词: 白背飞虱; 稻虱红单节螯蜂; 寄主龄期; 发育历期; 羽化率; 性比

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2015)11-1237-08

Influence of parasitism at different host stages on the developmental performance of both the parasitoid *Haplogonatopus apicalis* (Hymenoptera: Dyrinidae) and its host *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae)

LI Shuai, CHEN Wen-Long, JIN Dao-Chao* (Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of Mountainous Region of Guizhou University, The Provincial Special Key Laboratory for Development and Utilization of Insect Resources, Institute of Entomology of Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: 【Aim】 In order to understand the interaction between the parasitoid *Haplogonatopus apicalis* and its host white-backed planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera*, the effects of parasitism on the developmental performance of both *H. apicalis* and *S. furcifera* were studied. 【Methods】 Developmental time of *S. furcifera* nymphs parasitized at different instars and developmental duration from egg to adult of *H. apicalis* in different instars of *S. furcifera* nymphs were observed at 25℃ in the laboratory. 【Results】 The developmental durations of the 2nd, the 3rd, the 4th, or the 5th instar nymphs of the host *S. furcifera* were significant prolonged when they were parasitized by *H. apicalis* wasps. When the hosts were parasitized at the 2nd and the 3rd instars, the eclosion rates of *S. furcifera* adults were 54.29% and 60.95%, respectively, which were much lower than those parasitized at the 4th and the 5th instars (96.20% and 100%, respectively). The generation time of *H. apicalis* parasitizing on the 5th instar nymphs of the host (23.77 d) was obviously shorter than that of the parasitoids parasitizing on the 2nd

基金项目: 贵州省科技创新人才团队项目“贵州省节肢动物资源开发利用科技创新人才团队”(20144001); 贵州省农业科技攻关项目(黔科合 NY 字[2010]3064); 贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教 2010011); 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)前期专项项目(2009CB125908)

作者简介: 李帅, 男, 1987 年生, 博士研究生, 研究方向为昆虫生态与害虫综合防治, E-mail: gubuzifeng@126.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: daochojin@126.com

收稿日期 Received: 2015-06-11; 接受日期 Accepted: 2015-10-09

instar nymphs (27.77 d). The parasitoid showed the highest eclosion rate (56.19%) when the parasitism was at the 3rd instar nymphal stage of the host, and the highest male adult proportion (77.12%) when the parasitism was at the 5th instar nymphal stage of the host. 【Conclusion】 The developmental duration of *S. furcifera* nymphs is obviously delayed by parasitization of *H. apicalis*. The 2nd and the 3rd instar nymphs of *S. furcifera* are the optimum host stages for *H. apicalis*.

Key words: *Sogatella furcifera*; *Haplogonatopus apicalis*; host stage; developmental duration; eclosion rate; sex ratio

近年来,寄生蜂与寄主间相互作用的研究越来越广泛,现已发现:寄生蜂可通过毒液(Parkinson *et al.*, 2002; 万志伟等, 2005)、多态 DNA 病毒(狄蕊等, 2006)、畸形细胞(Strand and Wong, 1991; Dahlman and Vinson, 1993)等对寄主进行调控,打破其细胞和体液免疫防御体系,导致寄主生长发育延缓或停滞(Pennacchio *et al.*, 1993)、生殖系统退化(蔡东章等, 2008)等现象;而寄生时寄主的龄期则对寄生蜂和寄主的发育均有显著影响(祝增荣等, 1993; Harvey *et al.*, 1994),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)。从寄主-寄生蜂相互关系的进化可以推论,寄生蜂应选择对其后代发育适合性较高的寄主进行产卵寄生(Godfray, 1994)。因此,研究寄生蜂对不同龄期寄主的影响作用及不同龄期寄主对于寄生蜂适合性的关系,有助于了解寄生蜂与寄主之间的相互关系,并为定量评估寄生蜂的控害潜能提供依据。

白背飞虱 *Sogatella furcifera* 作为主要的迁飞性水稻害虫之一,其防治手段至今仍多以单一的化学防治为主,而此法易杀死天敌造成再猖獗(王荫长等, 1994),且其已对有机磷、氨基甲酸酯类(梁天锡和毛立新, 1996)、扑虱灵(现名噻嗪酮)(姚洪渭等, 2002)等多种常用药剂产生了抗药性。因此,合理利用自然天敌资源将成为一种至关重要的防治手段。

稻虱红单节螯蜂 *Haplogonatopus apicalis* Perkins, 1905(稻虱红螯蜂 *Haplogonatopus japonicus* Esaki *et* Hashimoto, 1931)属膜翅目(Hymenoptera)螯蜂科(Dryinidae),美国学者 Perkins 于 1905 年首次将其作为叶蝉的天敌之一进行了报道(Perkins, 1905),后被发现其为白背飞虱重要的寄生兼捕食性天敌(Kitamura, 1982)。王惠长等(1995)调查发现,稻虱红单节螯蜂是我国稻田飞虱的优势天敌之一,对白背飞虱和褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 的田间寄生率最高可达 18.9% 和 16.1%;在浙江省双季稻

地区,螯蜂对稻田飞虱也有良好的控制效果,白背飞虱短翅型和长翅型成虫平均被寄生率分别为 5.3% 和 13.8%(祝增荣等, 2004)。因此,稻虱红单节螯蜂可作为稻田白背飞虱生物防治的主要天敌之一并加以保护。目前关于稻虱红单节螯蜂的研究偏少,如:陈毓祥和杨坤胜(1987)及 Kitamura(1989)曾对其某些生物学特性进行过研究,甘波谊等(2002)认为稻虱红单节螯蜂可能是沃尔巴克氏体 *Wolbachia* 在不同飞虱间横向传播的介体,白背飞虱为害后的水稻挥发物对稻虱红单节螯蜂有显著引诱作用(李帅等, 2014)。其中,日本学者 Kitamura(1988)曾在 24℃、16 h 光照条件下对稻虱红单节螯蜂和不同虫期白背飞虱间的相互影响进行过研究,但在我国还未见有类似的报道,且螯蜂不同地理种群与寄主间的互作关系可能不同,环境条件也可能影响二者间的互作。因此,研究我国稻虱红单节螯蜂在寄主白背飞虱不同龄期寄生时对相互间发育的影响,明确不同龄期白背飞虱对稻虱红单节螯蜂的适合性,对于进一步研究二者间营养关系仍有重要意义,亦可为规模化饲养稻虱红单节螯蜂提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料和观察装置

1.1.1 水稻:选取贵阳市花溪区主栽品种金优 T36,稻种经室内催芽后,播于土层厚度为 1 cm 左右的培养盘(25 cm × 40 cm)中,待稻苗长至 3~4 cm 时备用。

1.1.2 白背飞虱:虫源采自贵州大学实验农场稻田。将白背飞虱成、若虫带回室内人工气候箱(温度 26 ± 1℃,相对湿度 60%~70%,光照周期 14L:10D)内饲养,选取饲养 10 代以上的 1~4 龄白背飞虱若虫供试。

1.1.3 稻虱红单节螯蜂:虫源采自贵州大学实验农场稻田。选取室内饲养 10 代以上并经过人工辅助交配后的雌蜂供试。

1.1.4 观察装置:以直径为 0.7 cm、长度为 10 cm

的玻璃指形管作为饲养器,管底垫厚度约为 0.8 cm 的脱脂棉,用注射器向管中注水直至脱脂棉完全浸透。将供试稻苗从泥土中轻轻拔出,洗净根部泥土,用镊子夹住稻种部分塞入观察用玻璃指形管中,并用小毛笔轻轻按压稻苗根部使其与脱脂棉尽可能完全接触,脱脂棉封口,单孔单管插入塑料离心管架(72 孔)的插孔中待用。

1.2 白背飞虱不同龄期若虫被寄生后的发育表现

由于 1 龄白背飞虱若虫被稻虱红单节螯蜂寄生后极易死亡(王惠长等, 1995),故选择 2-5 龄若虫作为供试寄主。

用自制吸虫器分别吸取 1-4 龄白背飞虱若虫各 35 头接入已编号的观察装置,置于人工气候箱(温度 25 ± 1℃,相对湿度 60%,光照周期 12L:12D)中饲养。每天 9:00 和 21:00 各观察 1 次,每头试虫在第 1 次蜕皮后,即刚刚成为 2-5 龄若虫时,取出寄生。以 1 头白背飞虱若虫与 1 头稻虱红单节螯蜂雌蜂为一组,放入离心管(2 mL)中观察寄生,当白背飞虱若虫被寄生 1 次之后(即稻虱红单节螯蜂第 1 次放开寄主,并做出“清洗”口器和螯针的行为)取出作镜检,无明显伤口,移回观察装置饲养,1 d 后再次镜检,有暗白色产卵痕(张纯胄和金莉芬, 1992),且具有正常的活动能力,则确认白背飞虱若虫被成功寄生。将被寄生后的白背飞虱若虫重新移回观察装置,继续观察试虫发育情况,并记录每次蜕皮的时间,观察至成虫羽化后结束。为保障稻苗新鲜,每隔 3 d 更换一次。每次观察时用小毛笔将新蜕皮壳清除。若镜检发现白背飞虱若虫被稻虱红单节螯蜂取食(体表有伤口,1 d 后再次镜检可见结痂暗斑,或直接死亡),则取消对其观察,重新吸取 1-

4 龄若虫进行补充实验。对照寄主为未被寄生的健康若虫。每处理重复 3 次。

1.3 稻虱红单节螯蜂寄生白背飞虱不同龄期若虫的发育表现

接蜂寄生方法同第 1.2 节。每天 9:30 和 21:30 观察 2 次稻虱红单节螯蜂发育情况,记录寄主体上出现囊状物、寄生蜂老熟幼虫作茧、蛹羽化成蜂的时间,分别代表卵至幼虫前期、幼虫中后期、蛹期(含预蛹期)。若寄主中途死亡,解剖镜检,确认其是否被寄生,若未被寄生则需进行补充实验。

1.4 数据统计分析

稻虱红单节螯蜂寄生对白背飞虱若虫发育历期的影响结果采用独立样本 *T* 检验对所有数据进行比较;当结果中比例数据不符合参数统计的假定时,先进行相应的转换,满足假定后再进行 Tukey 氏多重比较;当难以满足方差整齐的假定时,用 Tamhane's *T*₂(*M*) 检验比较处理间的差异。寄主龄期、性别、寄主发育期及产卵寄主龄期等对稻虱红单节螯蜂性比的影响采用 2 × 2 列联表进行独立性卡方检验。用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。

2 结果

2.1 白背飞虱不同龄期若虫被寄生后的发育表现

寄主白背飞虱若虫在 2, 3, 4 和 5 龄被寄生后,当龄及其后各发育龄期的历期均极显著延长。成虫羽化率在 4 个龄期间有一定差异,当白背飞虱若虫在 4 和 5 龄被寄生时,成虫羽化率分别可达 96.20% 和 100%,显著高于在 2 和 3 龄被寄生时的成虫羽化率(仅分别达 54.29% 和 60.95%)(表 1)。

表 1 白背飞虱被稻虱红单节螯蜂寄生与否对发育历期及成虫羽化率的变化
Table 1 Variation in the developmental duration and adult eclosion rate of *Sogatella furcifera* parasitized by *Haplogonatopus apicalis* or not

寄主龄期 Host instar	处理 Dispose	若虫历期 Nymphal duration (d)				羽化率(%) Eclosion rate
		2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	
2 龄若虫	CK	2.05 ± 0.29	2.10 ± 0.33	2.29 ± 0.36	3.75 ± 0.59	100 ± 0.00
2nd instar nymph	实验组 Experimental group	2.19 ± 0.38 *	2.22 ± 0.44 *	3.01 ± 1.05 *	4.09 ± 1.03 *	54.29 ± 5.72 b
3 龄若虫	CK	-	2.22 ± 0.35	2.42 ± 0.42	3.82 ± 0.79	100 ± 0.00
3rd instar nymph	实验组 Experimental group	-	2.45 ± 0.38 *	3.00 ± 0.81 *	4.32 ± 0.74 *	60.95 ± 3.30 b
4 龄若虫	CK	-	-	2.46 ± 0.41	3.70 ± 0.65	100 ± 0.00
4th instar nymph	实验组 Experimental group	-	-	2.87 ± 0.71 *	4.12 ± 1.07 *	96.20 ± 1.65 a
5 龄若虫	CK	-	-	-	4.04 ± 0.80	100 ± 0.00
5th instar nymph	实验组 Experimental group	-	-	-	4.45 ± 1.06 *	100 ± 0.00 a

CK 表示未被寄生的对照组。表中数据为平均值 ± 标准误;星号表示经独立样本 *T* 检验 CK 与实验组在 0.05 水平上的差异显著;小写字母表示经 Tukey 氏检验各实验组在 0.05 水平上的差异显著性。CK represents the unparasitized control group. Data in the table are mean ± SE. Asterisk represents significant difference between the CK and the experimental group at the 0.05 level by independent sample *T*-test. Small letters represent statistical significance among various experimental groups at the 0.05 level by Tukey's test.

2.2 稻虱红单节螯蜂寄生白背飞虱不同龄期若虫的发育表现

2.2.1 寄主龄期对稻虱红单节螯蜂发育历期、羽化率及成蜂性比的影响: 以 2 龄白背飞虱若虫为产卵寄主时,稻虱红单节螯蜂卵至幼虫前期(1 龄)的历期最长,可达 12.11 d,较以 4 和 5 龄若虫为产卵寄主时显著延长。以 5 龄若虫为产卵寄主的螯蜂卵至幼虫前期的历期最短,仅需 8.19 d。

以 2, 3, 4 和 5 龄白背飞虱若虫为产卵寄主时,稻虱红单节螯蜂幼虫中后期(2–5 龄)发育历期均在 4~4.5 d 之间,各处理间差异不显著。

稻虱红单节螯蜂蛹期(含预蛹期)在以各龄若虫为产卵寄主时的历期均在 11~12 d 之间,且各处理间差异不显著。

稻虱红单节螯蜂完成一个世代的历期(本文特指从卵至成蜂羽化)以 2 龄若虫为产卵寄主时最长,可达 27.77 d,以 5 龄若虫为产卵寄主时最短,仅需 23.77 d,二者间差异显著。

以 3 龄若虫为产卵寄主时,稻虱红单节螯蜂羽化率最高,可达 56.19%,以 4 龄若虫为产卵寄主时的螯蜂羽化率最低,仅为 40.95%,显著低于前者。

产卵寄主龄期对稻虱红单节螯蜂雄性比也有较大影响,以 5 龄白背飞虱若虫为产卵寄主的雄性比最高,可达 77.12%,显著高于以 2, 3 和 4 龄若虫为寄主时的雄性比。以 2, 3 和 4 龄白背飞虱为寄主时,稻虱红单节螯蜂成蜂雄性比在各龄期间无显著差异(表 2)。

表 2 白背飞虱不同产卵寄生龄期对稻虱红单节螯蜂发育历期及性比的影响
Table 2 Effects of *Sogatella furcifera* instar at parasitism on the developmental duration and sex ratio of *Haplogonatopus apicalis*

寄主龄期 Host stage	卵至幼虫前期(d) Egg and early larval stage	幼虫中后期(d) Middle and late larval stage	蛹期(d) Pupal stage	总历期(d) Whole developmental stage	羽化率(%) Eclosion rate	雄性比(%) Male proportion
2 龄若虫 2nd instar nymph	12.11 ± 3.78 a	4.20 ± 1.14 a	11.42 ± 1.23 a	27.77 ± 1.28 a	54.28 ± 4.95 ab	66.97 ± 2.13 b
3 龄若虫 3rd instar nymph	10.89 ± 3.12 ab	4.03 ± 0.84 a	11.31 ± 1.60 a	26.27 ± 0.66 a	56.19 ± 4.36 a	66.62 ± 1.59 b
4 龄若虫 4th instar nymph	9.78 ± 1.57 b	4.44 ± 0.89 a	11.81 ± 1.79 a	25.97 ± 0.77 a	40.95 ± 5.94 b	70.08 ± 2.30 b
5 龄若虫 5th instar nymph	8.19 ± 1.24 c	4.04 ± 0.82 a	11.56 ± 1.01 a	23.77 ± 0.11 b	45.71 ± 4.95 ab	77.12 ± 1.88 a

表中数据为平均值 ± 标准误。同列数据后的小写字母表示在 0.05 水平上的显著性差异,第一列卵至幼虫前期采用 Tamhane's $T_2(M)$ 检验,其余均采用 Tukey 氏检验。Data in the table are mean ± SE, and those followed by different small letters in the same column are significantly different at the 0.05 level by Tamhane's $T_2(M)$ test (the first column) or Tukey's test (other columns).

2.2.2 寄主龄期与稻虱红单节螯蜂各发育期死亡率之间的关系: 以 2, 3, 4 和 5 龄白背飞虱若虫为产卵寄主时,稻虱红单节螯蜂的卵均能正常发育和孵化,但幼虫前期(1 龄幼虫)均有死亡,以 2 龄若虫为产卵寄主时的死亡虫数最高,达 20 头;幼虫中后期(2–4 龄)在稻虱红单节螯蜂的 3 个发育阶段中死亡率最高,其中,以 3 龄幼虫死亡数最多,而又以 4 龄白背飞虱若虫为产卵寄主时在此阶段的死亡虫数最高,可达 38 头,以 2 龄若虫为产卵寄主时的死亡虫数最低,为 22 头;稻虱红单节螯蜂蛹期(含预蛹期)以 5 龄若虫为产卵寄主时的死亡虫数最高,为 14 头(表 3)。从全世代看,寄主龄期对稻虱红单节螯蜂死亡率有较大影响,以 4 龄白背飞虱若虫为产卵寄主时平均死亡率最高,

达到 59.05%,显著高于以 2 和 3 龄为产卵寄主时的死亡率(表 3)。

2.2.3 寄主龄期及性别对稻虱红单节螯蜂性比的影响: 从表 4 可以看出,寄主为 2, 3 和 4 龄白背飞虱若虫时,寄主性别对稻虱红单节螯蜂成蜂性比无明显影响;寄主为 5 龄白背飞虱若虫时,寄主性别与稻虱红单节螯蜂成蜂性别间有显著相关性,寄主白背飞虱为雄性时,稻虱红单节螯蜂羽化雄性比更高;从各寄主龄期所得雌、雄螯蜂的合计数看,由寄主雄虫所得雄蜂数合计占总羽化蜂数的 68.66%(雌:雄为 1:2.19),由寄主雌虫所得雄性比为 62.50%(雌:雄为 1:1.67),但这一差异不具显著性,寄主性别对稻虱红单节螯蜂性比无显著影响。

2.2.4 稻虱红单节螯蜂羽化时寄主发育期及产卵

表 3 以不同龄期白背飞虱为产卵寄主的稻虱红单节螯蜂各发育期死亡情况

Table 3 Mortality in various developmental stages of <i>Haplogonatopus apicalis</i> parasitizing the 2nd – 5th instar nymphs of <i>Sogatella furcifera</i>								
寄主龄期 Host stage	死亡个体数 Number of died individuals							平均死亡率(%) Average mortality
	卵至幼虫前期		幼虫中后期			蛹期		
	Egg and early larval stage		Middle and late larval stage			Pupal stage		
	卵期 Egg stage	1 龄幼虫 1st instar larva	2 龄幼虫 2nd instar larva	3 龄幼虫 3rd instar larva	4 龄幼虫 4th instar larva	预蛹期 Prepupal period	蛹期 Pupal period	
2 龄若虫 2nd instar nymph	0	20	5	14	3	3	3	45.72 ±4.95 b
3 龄若虫 3rd instar nymph	0	11	11	13	4	2	5	43.81 ±4.36 b
4 龄若虫 4th instar nymph	0	11	11	17	10	3	10	59.05 ±5.94 a
5 龄若虫 5th instar nymph	0	10	12	15	6	7	7	54.29 ±4.95 ab

表中最后一列数据为平均值 ± 标准误, 同列数据后的小写字母表示在 0.05 水平上的显著性差异(Tukey 氏检验)。Data in the last column of the table are mean ± SE, and those followed by different small letters in the same column are significantly different at the 0.05 level by Tukey’s test.

表 4 白背飞虱龄期及性别对稻虱红单节螯蜂羽化性比的影响
Table 4 Effects of the instar and gender of *Sogatella furcifera* on the sex ratio of *Haplogonatopus apicalis* at adult eclosion

寄主龄期及性别 Host instar and sex		寄生蜂数量 Number of parasitoids		卡方值 Chi-square
		雌 Female	雄 Male	
2 龄若虫 2nd instar nymph	雌 Female	7	12	0.31 ns
	雄 Male	6	5	
3 龄若虫 3rd instar nymph	雌 Female	7	12	0.66 ns
	雄 Male	10	8	
4 龄若虫 4th instar nymph	雌 Female	10	17	0.63 ns
	雄 Male	3	12	
5 龄若虫 5th instar nymph	雌 Female	9	14	4.30 *
	雄 Male	2	21	
总计 Total	雌 Female	33	55	0.39 ns
	雄 Male	21	46	

卡方值一栏中, 星号表示差异显著($P < 0.05$); ns 表示差异不显著。The asterisk represents a significant difference ($P < 0.05$), while ns indicates no significant difference.

表 5 成蜂时白背飞虱发育期对稻虱红单节螯蜂羽化性比的影响

Table 5 Effects of the developmental stage of *Sogatella furcifera* on the sex ratio of *Haplogonatopus apicalis* at adult eclosion

寄主龄期 Host instar	寄生蜂羽化时寄主发育期 Host stage at adult emergence of parasitoid	寄生蜂数量 Number of parasitoids		卡方值 Chi-square
		雌 Female	雄 Male	
2 龄若虫 2nd instar nymph	若虫期 Nymphal stage	6	21	1.98 ns
	成虫期 Adult stage	13	17	
3 龄若虫 3rd instar nymph	若虫期 Nymphal stage	4	22	5.12 *
	成虫期 Adult stage	17	20	
4 龄若虫 4th instar nymph	若虫期 Nymphal stage	0	0	—
	成虫期 Adult stage	13	29	
5 龄若虫 5th instar nymph	若虫期 Nymphal stage	0	0	—
	成虫期 Adult stage	11	35	
总计 Total	若虫期 Nymphal stage	10	43	4.00 *
	成虫期 Adult stage	54	101	

卡方值一栏中, 星号表示差异显著($P < 0.05$); ns 表示差异不显著。The asterisk represents a significant difference ($P < 0.05$), while ns indicates no significant difference.

3 结论与讨论

寄生蜂寄生对寄主生长发育的影响在不同的寄

寄主龄期对其性比的影响: 以 2 龄若虫为产卵寄主时, 在寄主若虫期和成虫期羽化成蜂对稻虱红单节螯蜂性别比例无显著影响; 以 3 龄若虫为产卵寄主时, 在寄主若虫期和成虫期羽化成蜂时, 螯蜂性别比例有显著差异, 在寄主若虫期羽化出的雄蜂数量远大于雌蜂数量; 以 4 和 5 龄若虫为产卵寄主时, 螯蜂均在寄主成虫期羽化, 且多为雄蜂。从所有寄主龄期的螯蜂羽化总数看, 寄主发育期对螯蜂成蜂性比有明显影响: 寄主若虫期羽化的合计雄蜂数占该期总成蜂数的 81.13% (雌: 雄为 1: 4.30); 寄主成虫期羽化的雄蜂比例相对较低, 占成虫期羽出总蜂数的 65.16% (雌: 雄为 1: 1.87) (表 5)。

生蜂-寄主组合间存在差异, 多数情况下, 内寄生蜂寄生会抑制寄主发育(白素芬等, 2005)。埃维蚜茧蜂 *Aphidius ervi* 寄生后的豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* 发育停止, 并在若虫期死亡 (Digilio *et al.*, 1998)。

施祖华和刘树生(1999)报道,小菜蛾 *Plutella xylostella* 幼虫被菜蛾绒茧蜂 *Cotesia plutellae* 寄生后,小菜蛾4龄幼虫的发育历期较未被寄生的显著延长。Furlong等(2000)报道被半闭弯尾姬蜂 *Diadegma semiclausum* 寄生的小菜蛾3和4龄幼虫历期不变,但是预蛹期延长。低剂量的啮小蜂 *Tetrastichus* sp. 毒液能使亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 蛹期延长1~3 d,且能阻碍成虫羽化(任丹青等,2004)。本研究结果与上述研究相似,稻虱红单节螯蜂的寄生对白背飞虱各龄期若虫的发育都起到了明显的延缓作用。Kitamura(1988)也曾对稻虱红单节螯蜂寄生后白背飞虱发育历期进行了研究(24℃,光照16 h),发现稻虱红单节螯蜂寄生仅延长了寄主若虫当龄的历期,对后面的历期没有影响。而本文研究结果却表明,稻虱红单节螯蜂寄生不仅对寄主当龄历期有延长作用,对其后龄期的发育也同样具有明显延缓作用,只是延长时间或长或短,造成这些差异的主要原因可能主要有两个:其一是稻虱红单节螯蜂地理种群不同,即中国(贵州)种群和日本种群可能存在种性差异而对寄主发育的影响程度不同;其二是实验光照条件不同,为更接近螯蜂虫源地(贵州贵阳)的自然条件,本研究采用的温度为25℃,光照为12 h。

一般来说,随着龄期的增加,寄主所含的营养物质亦逐步增加,但有学者却认为,龄期较大的寄主由于需要大量营养物质来完成其本身一些器官的生长发育,如翅或性腺的发育,寄主营养物质并不一定都能提供给寄生蜂幼虫(Sequeira and Mackauer, 1992)。本研究发现,稻虱红单节螯蜂发育历期以2龄白背飞虱若虫为寄主时最长,以5龄若虫为寄主时最短,发育历期随产卵寄主龄期增长而逐渐缩短。显然高龄期白背飞虱若虫可提供给稻虱红单节螯蜂幼虫发育的营养物质更丰富,似乎没有因寄主器官发育而影响稻虱红单节螯蜂幼虫所需营养物质的供给量。由于低龄期寄主的质量和可利用资源相对较少,寄生蜂为了增加生物量,就必须延长发育时间(Sequeira and Mackauer, 1992),单从营养物质方面考虑,高龄白背飞虱若虫似乎更有利于稻虱红单节螯蜂的发育。但也有研究表明,寄主的防御能力和其龄期有很大关系,寄生发生后,寄主对幼虫期寄生昆虫的防御能力一般随自身龄期的增加而增强(Vinson and Iwantsch, 1980)。本研究中,以4龄白背飞虱若虫为产卵寄主时,稻虱红单节螯蜂世代平均死亡率最高,达到59.05%,显著高于以2和3龄

白背飞虱为产卵寄主时的死亡率,其次为寄生5龄白背飞虱若虫时的死亡率,为54.29%,显然4和5龄白背飞虱若虫并不适合稻虱红单节螯蜂的发育,原因可能在于高龄白背飞虱若虫对稻虱红单节螯蜂的防御力更强。因此,我们可以推论:寄主含有的营养物质和寄主防御能力二者相比,后者对稻虱红单节螯蜂发育的影响更为突出。

为明确寄主龄期对稻虱红单节螯蜂发育中各阶段的影响作用,本研究将稻虱红单节螯蜂的发育划分为3个时期,即卵至幼虫前期(1龄幼虫)、幼虫中后期(2~4龄幼虫)和蛹期(含预蛹期)。从发育历期来看,卵至幼虫前期的发育受寄主龄期影响最大,随着产卵寄主龄期的增高,稻虱红单节螯蜂在此阶段的发育历期逐渐缩短,而幼虫中后期和蛹期(含预蛹期)不受寄主龄期的影响。在4个寄主龄期开始寄生的稻虱红单节螯蜂死亡率表现一致,均在幼虫中后期死亡率最高。综合上述似乎可以认为,影响稻虱红单节螯蜂卵至幼虫前期发育的主要因素是寄主营养物质,寄主营养物质含量随着龄期的增加而增加,故螯蜂卵至幼虫前期这一阶段表现随着寄主龄期增加而自身发育历期缩短的趋势;而在幼虫中后期,由于寄主营养已被大量消耗和寄主免疫力提高的双重作用,导致稻虱红单节螯蜂的发育易受阻而死亡率高。

据有关报道,田间的稻虱红单节螯蜂雌雄性比在1:1.02~1:1.3之间,在食料不足、寄主条件不良时雄性比例会升高(温州农科所生物防治课题组,1986;张纯胄和金莉芬,1992)。本研究发现,产卵寄主为3龄白背飞虱若虫时稻虱红单节螯蜂子代雄性比最低,雌性比最高,与Kitamura和Iwami(1998)的研究结论一致,但雌雄性比仅为50.17%(即1:2左右),与田间雌雄比例相差较大,这是否是由于室内人工饲养条件为控制性条件所致,有待进一步研究。

寄生蜂对寄主的龄期具有选择性(Chau and Mackauer, 2000),稻虱红单节螯蜂主要寄生白背飞虱2和3龄若虫(张纯胄和金莉芬,1992)。本研究结果表明,4和5龄白背飞虱若虫被寄生后的成虫羽化率为96.20%和100%,但是,3龄若虫和2龄若虫被寄生后的成虫羽化率仅分别为60.95%和54.29%,显著低于前者。与之对应的,寄主为2和3龄白背飞虱若虫时,稻虱红单节螯蜂的羽化率相对较高,尤其以3龄若虫为寄主时羽化率可达到56.19%,显著高于以4龄若虫为寄主时的羽化率。

因此,当稻虱红单节螯蜂寄生 2 和 3 龄若虫时,既可显著降低低龄寄主成虫羽化率,起到抑制白背飞虱当代危害和控制其种群发展而减轻次代危害的双重作用,同时又可提高自身羽化率,且雌性比更高,说明 2 和 3 龄白背飞虱若虫作为产卵寄主对稻虱红单节螯蜂后代发育的适合性更高,这可能是稻虱红单节螯蜂对 2 和 3 龄白背飞虱若虫具有偏好性的原因。此外,2 和 3 龄白背飞虱若虫较 4 和 5 龄白背飞虱若虫的活动能力弱,利于稻虱红单节螯蜂寄生和捕食,因此,室内接蜂饲养和田间放蜂应选在 2 和 3 龄若虫高峰期,以能获得更高效率。

本研究中还发现,寄主白背飞虱性别对稻虱红单节螯蜂性比无显著影响,稻虱红单节螯蜂羽化时的寄主发育期对成蜂性比却有显著影响,即在寄主若虫期羽化的雌蜂比例低,但仅当寄主为 2 或 3 龄白背飞虱若虫时,稻虱红单节螯蜂才既会在寄主若虫期羽化,也会在成虫期羽化。由前文可知,以 2 和 3 龄若虫为寄主时,稻虱红单节螯蜂的羽化率和雌性比较 4 和 5 龄时更高,这足以克服寄主若虫期羽化雌蜂比偏低对人工繁育稻虱红单节螯蜂效率的影响。

参考文献 (References)

- Bai SF, Chen XX, Cheng JA, Fu WJ, He JH, 2005. Effects of wasp-associated factors of *Cotesia plutellae* on growth and development of *Plutella xylostella* larvae. *Acta Phytophylacica Sinica*, 32 (3): 235–240. [白素芬, 陈学新, 程家安, 符文俊, 何俊华, 2005. 菜蛾盘绒茧蜂主要寄生因子对寄主小菜蛾生长发育的调控. 植物保护学报, 32(3): 235–240]
- Biocontrol Research Group, Wenzhou Institute of Agricultural Sciences, 1986. A preliminary observation of *Haplogonatopus japonicus*. *Wenzhou Agricultural Science*, (2): 9–10. [温州农科所生物防治课题组, 1986. 稻虱红螯蜂的初步观察. 温州农业科技, (2): 9–10]
- Cai DZ, Bai SF, Li X, Chen XX, 2008. Physiological mechanisms involved in parasitic castration of host insects by endoparasitoids. *Chinese Journal of Biological Control*, 24(3): 277–282. [蔡东章, 白素芬, 李欣, 陈学新, 2008. 寄生蜂引起的寄主昆虫寄生性去势的生理机制. 中国生物防治, 24(3): 277–282]
- Chau A, Mackauer M, 2000. Host-instar selection in the aphid parasitoid *Monoctonus paulensis* (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiidae): a preference for small pea aphids. *Eur. J. Entomol.*, 97(3): 347–353.
- Chen YX, Yang KS, 1987. Preliminary observe of biological characteristics of *Haplogonatopus japonicus*. *Entomological Knowledge*, (4): 237–239. [陈毓祥, 杨坤胜, 1987. 稻虱红螯蜂生物学特性初步观察. 昆虫知识, (4): 237–239]
- Di R, Chen YF, Bai SF, Chen XX, 2006. Effects of *Cotesia plutellae* polydnaviruses on partial tissues of host *Plutella xylostella* larva. *Chinese Journal of Biological Control*, 22(4): 268–274. [狄蕊, 陈亚锋, 白素芬, 陈学新, 2006. 菜蛾盘绒茧蜂多分 DNA 病毒对寄主小菜蛾幼虫体内部分组织的影响. 中国生物防治, 22(4): 268–274]
- Digilio MC, Pennacchio F, Tremblay E, 1998. Host regulation effects of ovary fluid and venom of *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Braconidae). *J. Insect Physiol.*, 44: 779–784.
- Furlong MJ, Pell JK, 2000. Conflicts between a fungal entomopathogen, *Zoophthora radicans*, and two larval parasitoids of the diamond-back moth. *J. Invertebr. Pathol.*, 76(2): 85–94.
- Gan BY, Zhou WG, Feng LB, Shen DL, Li CB, 2002. Infection of *Wolbachia* in three planthopper species in China. *Acta Entomologica Sinica*, 45(1): 14–17. [甘波谊, 周伟国, 冯丽冰, 沈大棱, 李昌本, 2002. 沃尔巴克氏体在中国三种稻飞虱中的感染. 昆虫学报, 45(1): 14–17]
- Godfray HCJ, 1994. Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 26–81.
- Harvey JA, Bezemer TM, Elzinga JA, Strand MR, 2004. Development of the solitary endoparasitoid *Microplitis demolitor*: host quality does not increase with host age and size. *Ecol. Entomol.*, 29: 35–43.
- Harvey JA, Harvey IF, Thompson DJ, 1994. Flexible larval growth allows use of a range of host sizes by a parasitoid wasp. *Ecology*, 75(5): 1420–1428.
- Kitamura K, 1982. Comparative studies on the biology of dryinid wasps in Japan (1): preliminary report on the predacious and parasitic efficiency of *Haplogonatopus atratus* Esaki et Hashimoto (Hymenoptera: Dryinidae). *Bull. Fac. Agr. Shimane Univ.*, 16: 172–176.
- Kitamura K, 1988. Comparative studies on the biology of dryinid wasps in Japan (5): development and reproductive capacity of hosts attacked by *Haplogonatopus apicalis* (Hymenoptera, Dryinidae) and the development of progenies of the parasites in their hosts. *Kontyu*, 56(3): 659–666.
- Kitamura K, 1989. Comparative studies on the biology of dryinid wasps in Japan (9): development of *Haplogonatopus apicalis* (Hymenoptera, Dryinidae). *Bull. Fac. Agr. Shimane Univ.*, 23: 55–59.
- Kitamura K, Iwami J, 1998. Comparative studies on the biology of dryinid wasps in Japan (14): sex allocation and size of *Haplogonatopus apicalis* (Hymenoptera: Dryinidae), in relation to instars of host nymphs and host sex. *Jpn. J. Ent. (N. S.)*, 1(1): 1–8.
- Li S, Chen WL, Jin DC, Yang H, 2014. The attraction of diverse rice volatiles to *Haplogonatopus japonicus*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 41(2): 203–209. [李帅, 陈文龙, 金道超, 杨洪, 2014. 不同水稻挥发物对稻虱红螯蜂雌蜂的引诱作用. 植物保护学报, 41(2): 203–209]
- Liang TX, Mao LX, 1996. Studies on the monitoring of insecticide resistance of rice planthoppers. *Entomological Journal of East China*, 5(1): 89–93. [梁天锡, 毛立新, 1996. 水稻飞虱的抗

- 药性监测研究. 华东昆虫学报, 5(1): 89–93]
- Nussbaumer C, Schopf A, 2000. Development of the solitary larval endoparasitoid *Glyptapanteles porthetriae* (Hymenoptera: Braconidae) in its host *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae). *Eur. J. Entomol.*, 97: 355–361.
- Parkinson N, Smith I, Audsley N, Edwards JP, 2002. Purification of pimplin, a paralytic heterodimeric polypeptide from venom of the parasitoid wasp *Pimpla hypochondriaca*, and cloning of the cDNA encoding one of the subunits. *Insect Biochem. Molec. Biol.*, 32(12): 1769–1773.
- Pennacchio F, Vinson SB, Tremblay E, 1993. Growth and development of *Cardiochiles nigriceps* Viereck (Hymenoptera, Braconidae) larvae and their synchronization with some changes of the hemolymph composition of their host, *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera, Noctuidae). *Arch. Insect Biochem. Physiol.*, 24(2): 65–77.
- Perkins RCL, 1905. Leaf-hoppers and their natural enemies (Part I. Dryinidae). Report of Work of the Experiment Station of the Hawaiian Sugar Planters' Association. Division of Entomology. Bulletin No. 1, Part 1: 1–69.
- Ren DQ, Qiu HG, Mao HX, Fu WJ, 2004. Effect of venom from *Tetrastichus* sp. on the development of *Ostrinia furnacalis* host pupae. *Entomological Knowledge*, 41(2): 341–344. [任丹青, 邱鸿贵, 茅洪新, 符文俊, 2004. 啮小蜂毒液对寄主亚洲玉米螟蛹发育的影响. 昆虫知识, 41(2): 341–344]
- Sequeira R, Mackauer M, 1992. Covariance of adult size and development time in the parasitoid wasp *Aphidius ervi* in relation to the size of its host, *Acyrtosiphon pisum*. *Evol. Ecol.*, 6: 34–44.
- Shi ZH, Liu SS, 1999. Parasitism preference of *Cotesia plutellae* to host age and the effect of parasitism on the development and food consumption of the host *Plutella xylostella*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 26(1): 25–29. [施祖华, 刘树生, 1999. 菜蛾绒茧蜂的寄主选择性及寄生对寄主发育和取食的影响. 植物保护学报, 26(1): 25–29]
- Strand MR, Wong EA, 1991. The growth and role of *Microplitis demolitor* teratocytes in parasitism of *Pseudoplusia includens*. *J. Insect Physiol.*, 37: 503–515.
- Vinson SB, Iwantsch GF, 1980. Host suitability for insect parasitoids. *Ann. Rev. Entomol.*, 25: 397–419.
- Wan ZW, Chen XX, Yu H, He JH, 2005. The parasitoid-associated factors of *Opius caricivora* Fischer and their physiological effects on host. *Acta Entomologica Sinica*, 48(5): 660–666. [万志伟, 陈学新, 余虹, 何俊华, 2005. 黄腹潜蝇茧蜂寄生因子的特性及其对寄主的生理效应. 昆虫学报, 48(5): 660–666]
- Wang HC, Chen MG, Peng HZ, 1995. Parasitism and predation of *Haplogonatopus japonicus*. *Farming and Cultivation*, (2): 32–33. [王惠长, 陈明贵, 彭洪忠, 1995. 稻虱红螯蜂寄生和捕食性研究. 耕作与栽培, (2): 32–33]
- Wang YC, Fan JQ, Tian XZ, Gao BZ, 1994. Studies on the resurgent question of planthoppers induced by deltamethrin and methamidophos. *Entomological Knowledge*, 31(5): 257–262. [王荫长, 范加勤, 田学志, 高保宗, 1994. 溴氰菊酯和甲胺磷引起稻飞虱再猖獗问题的研究. 昆虫知识, 31(5): 257–262]
- Yao HW, Jiang CY, Ye GY, Cheng JA, 2002. Insecticide resistance of different populations of white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(1): 101–105. [姚洪渭, 蒋彩英, 叶恭银, 程家安, 2002. 白背飞虱不同地区种群的抗药性研究. 应用生态学报, 13(1): 101–105]
- Zhang CZ, Jin LF, 1992. Preliminary study on biology of *Haplogonatopus japonicus*. *Natural Enemies of Insects*, 14(2): 57–61. [张纯胃, 金莉芬, 1992. 稻虱褐螯蜂生物学的初步研究. 昆虫天敌, 14(2): 57–61]
- Zhu ZR, Chen JM, Cheng JA, Huang CW, Hua QL, 2004. Parasitism and survival analysis of *Sogatella furcifera* in double-cropping rice fields. *Chinese Journal of Biological Control*, 20(1): 21–26. [祝增荣, 陈建明, 程家安, 黄次伟, 华丘林, 2004. 双季稻白背飞虱的被寄生率暨存活率分析. 中国生物防治, 20(1): 21–26]
- Zhu ZR, Cheng JA, Chen X, 1993. Host preference and suitability of *Anagrus nilaparvatae*. *Acta Entomologica Sinica*, 36(4): 430–437. [祝增荣, 程家安, 陈琇, 1993. 稻虱缨小蜂的寄主选择性和适宜性. 昆虫学报, 36(4): 430–437]

(责任编辑: 袁德成)