

水稻品种和施肥时间对单季稻田中 白背飞虱卵被寄生率的影响

祝增荣, 蒋明星, 邱君怀, 程家安

(浙江大学应用昆虫学研究所, 杭州 310029)

摘要: 为明确水稻品种和施肥时间对白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 卵被稻飞虱缨小蜂 *Anagrus* spp. 寄生率的影响, 采用产卵苗诱集法和田间双因子设计进行实验研究。与秀水 11 水稻品种相比, 协优 413 品种上的白背飞虱卵块位置较高且卵块较大。诱集实验表明白背飞虱卵的被寄生率显著受用于诱集的产卵水稻品种的影响, 在协优 413 上所产卵的被寄生率 (24%) 显著高于秀水 11 上的相应值 (12%), 而不受由田间品种和氮肥施用时间组合而形成的诱集苗所置放的栖境条件的影响。田间种植的水稻品种对其稻株上的白背飞虱卵被寄生率的影响大于施肥时间, 在卵高峰期, 这种影响更为显著, 协优 413 上的被寄生率 (17%) 显著高于秀水 11 上的相应值 (9%)。田间寄生率和诱集寄生率二者的反正弦平方根转换值间存在着极显著的直线相关。这些结果表明, 水稻品种是加强白背飞虱自然生物防治的重要因子。

关键词: 白背飞虱; 缨小蜂; 卵被寄生率; 水稻品种; 施肥时间

中图分类号: Q968.1; S476.3 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2004)01-0041-07

Effect of rice variety and fertilization timing on egg parasitism of *Sogatella furcifera* in the single-cropping season rice field

ZHU Zeng-Rong, JIANG Ming-Xing, QIU Jun-Huai, CHENG Jia-An (Institute of Applied Entomology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: To understand the effect of rice variety and fertilization timing on egg parasitism of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae) by parasitoids, experiments with "trap" rice plants of two varieties (*indica-japonica* hybrid combination Xieyou 413 and *japonica* Xiushui 11) were set up in the habitats created by the combinations of the two rice varieties and fertilizations at two different dates in the single-cropping season rice plots in Hangzhou, China. The location of egg masses of *S. furcifera* laid in plants of Xieyou 413 were higher and the clutch size of egg masses was larger than that of those laid in plants of Xiushui 11. The parasitism of *S. furcifera* eggs by *Anagrus* spp. (Hymenoptera: Mymaridae) was significantly affected by rice varieties used as traps, but not by rice varieties and nitrogen fertilization timing in the field. The parasitism (24%) in Xieyou 413 as trap was significantly higher than that (12%) in Xiushui 11 as trap. The parasitism in the plants (Xieyou 413 vs Xiushui 11: 17% vs 9%) grown in the field was more significantly influenced by rice varieties than by fertilization timing. The results implied that rice variety was an important factor in enhancing the biocontrol of the planthopper. Additionally, the estimation of egg parasitism by trapping approach was significantly correlated with that by dissection of rice plants sampled from fields.

Key words: *Sogatella furcifera*; *Anagrus* spp.; egg parasitism; rice variety; fertilization time

稻飞虱是水稻的重要害虫, 每年都对水稻生产造成巨大的经济损失。为避免化学防治所带来的一系列不良后果(环境污染、杀伤天敌、害虫抗药性等), 以保护和利用自然天敌为主要手段的生物防治日益得到重视 (Cronin and Strong, 1994; Chiappini

and Lin, 1998; Claridge *et al.*, 1999)。稻飞虱卵期有许多天敌, 其中以缨小蜂科 (Mymaridae) 的缨小蜂寄生尤为重要 (金行模等, 1979; Fowler *et al.*, 1991; 李伯传和何检兴, 1991; Watanabe *et al.*, 1992; Zhu *et al.*, 1994a, 1994b)。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (39630200); 国际科学基金项目 (G1730-2)

作者简介: 祝增荣, 男, 1963 年 10 月生, 博士, 教授, 从事昆虫与植物互作、昆虫生态学、有害生物治理的研究与教学, E-mail: zrzh@zju.edu.cn; zrzh@hzenc.com

收稿日期 Received: 2003-01-13; 接受日期 Accepted: 2003-07-10

缨小蜂在寄主-拟寄生者系统中由于其生活周期较短,在当今生态学研究,诸如空间密度(非)依赖性寄生、最佳搜寻、世代循环、种间竞争、稳定性等热门理论课题中频频充当实验材料(Stiling and Strong, 1982; Settle and Wilson 1990a, 1990b; Cronin and Strong, 1994)。在农业生态系统中,葡萄叶蝉缨小蜂 *Anagrus epos* 对两种葡萄叶蝉 *Erythroneura elegantula* 和 *E. variabilis* (Settle and Wilson, 1990a; Williams and Matterson, 2000), *Anagrus nigriiventris* 对甜菜叶蝉 *Circulifer tenellus* (Meyerdirk and Hessein, 1985), *Anaphes listronoti* 和 *A. victus* 对胡萝卜负泥虫 *Listronotus oregonensis* (Cormiel and Boivin, 1996), *Anaphes iole* 对盲蝽 *Lygus hesperus* (Norton and Welter, 1996)等的生物防治中发挥了很大的作用。

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 卵期寄生天敌主要有稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang 和长管稻虱缨小蜂 *Anagrus longitubulous* Pang et Wang, 其基本生物学特性的研究已多见报道(金行模等, 1979; 罗肖南和卓文禧, 1980, 1981; 李伯传和何检兴, 1991)。白背飞虱与稻虱缨小蜂在实验条件下的相互关系已有报道(祝增荣等, 1990, 1993; Zhu et al., 1991, 1994a)。褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 与稻虱缨小蜂的相互关系也有详细报道(徐国民和程遐年, 1988; 程遐年和徐国民, 1991)。在行为生态学方面,已有研究包括水稻品种对稻虱缨小蜂产卵、搜索和寄生的影响(姜永根和程家安, 1996a, 1996b), 稻虱缨小蜂与褐飞虱利它素间的关系(姜永根和程家安, 1996a), 以及稻虱缨小蜂对褐飞虱和白背飞虱卵的识别机制(姜永根等, 2002)。但至今,尚未见到有关在田间实际生态系统中,植(作)物品种对飞虱卵被寄生率影响的报道。

水稻品种和施肥是水稻生产管理过程中的两项重要措施,两者的不同组合形成了不同田间栖境,不仅影响水稻害虫的迁入和定殖、丰度和格局,也可能影响以害虫为寄主的寄生蜂的寄生效率(祝增荣, 1996)。因为这种影响涉及到在水稻有害生物综合治理体系中如何充分发挥寄生蜂对稻飞虱的潜在控制作用,也涉及到缨小蜂与寄主相互作用等当今生态学研究较为新颖的课题。为此,本实验在半田间和田间状态下,研究由于水稻品种和施肥时间的不同组合而形成的不同栖境中白背飞虱卵被寄生率的变化。

1 材料和方法

1.1 诱集方法

1997年在浙江大学华家池校区实验农场将一块 400 m² 水田分成 4 个等面积的小区, I、III 区种植籼粳杂交稻协优 413, II、IV 区种植粳稻秀水 11。6 月 12 日移栽,密度 17 cm × 20 cm; I、II 区在移栽当日施基肥(尿素 30 g/m²), III、IV 区于 7 月 15 日施分蘖肥(尿素 30 g/m²), 从而设置成单季稻的 4 种田间小生境,这些移栽在田里的水稻品种简称田间品种。在网室内,定期采用 30~50 天苗龄的水稻品种协优 413 和秀水 11 苗为诱集苗,移栽至直径 10 cm、高 12 cm 的塑料育苗杯中,杯中泥土挖自水稻田,活棵 3~5 天后,转移至实验室内,罩上 10 cm × 33 cm、两侧各开直径 2 cm 的纱窗罩,顶端以纱布扎紧,每周三在苗杯中接产卵期白背飞虱雌成虫 3 头,两天后,即每周五下午分别将 24 杯(每品种各 12 杯)有白背飞虱卵的稻苗(称之为产卵诱集品种苗,简称诱集品种)分别放置到上述 4 个不同生境的小区,每个小区随机设 3 个定点,每点放置协优 413 和秀水 11 苗各 1 杯,诱集 3 天,次周一下午回收,去除苗上所有飞虱和寄生蜂等昆虫及其它节肢动物,及时罩上笼罩,以防被实验室内外可能存在的寄生蜂寄生,在室内隔离 3~4 天后解剖镜下剥查卵粒,分别记录各卵块中心卵粒在植株上的高度(cm)、未孵卵粒数、死卵、卵壳、寄生卵粒数,只记录发育 5 天以上即室内白背飞虱产的卵,排除田间白背飞虱所产的新鲜卵块。将被寄生的卵转移到有药棉和滤纸条(1 cm × 4 cm)保持湿度的小试管(1.8 cm × 6 cm)中,室温下任其发育,待羽化后镜检,记录并鉴定寄生蜂种类、雌雄蜂数,同时计算出寄生率与寄生蜂的性比。诱集实验每周进行 1 次,连续进行 11 次。

1.2 田间植株上白背飞虱卵密度和被寄生率调查

在上述田间 4 个小区中,每个小区均采用五点取样法,每 7 天(左右)剪取水稻植株,每点为 1 丛,每丛里外各剪 1 株,计每小区 5 丛 10 株总共 40 株,带回实验室,剥查、记录。每次取样时,每小区随机计数 10 丛水稻株数,以便计算每丛水稻上的白背飞虱卵密度。

1.3 数据分析

在处理诱集实验的寄生率数据时,为减少由于样本白背飞虱总卵量过低引起的百分率误差,不计入每盆水稻上卵量低于 20 的样本,方差分析时作数据缺失对待。在分析被寄生率与产卵诱集水稻品种、田间栖境(品种、施肥时间)的关系时,被寄生率数据经反正弦平方根转换以使数据分布正态化后再进行两因子或三因子方差分析。

2 结果与分析

2.1 白背飞虱在诱集品种稻株上的产卵高度和卵块大小

对诱集稻株上所有卵块位置高度及卵块大小的统计结果表明: 在协优 413 上所产卵块的高度(以中心卵粒为准)范围为 0.5 ~ 25.1 cm, 平均为 9.8 ± 0.2 cm(平均值 \pm 标准误, 下同)($n = 531$); 秀水 11 上卵块高度范围为 0 ~ 21.5 cm, 平均为 7.7 ± 0.2 cm($n = 541$); 前者极显著高于后者($t = 7.74, P < 0.01$)。在协优 413 上每卵块含卵粒数(即卵块大

小)范围为 1 ~ 27 粒, 平均 5.94 ± 0.16 粒($n = 531$), 在秀水 11 上为 1 ~ 25 粒, 平均 5.41 ± 0.14 粒($n = 541$), 前者也极显著大于后者($t = 2.53, P < 0.01$)。

2.2 白背飞虱卵寄生蜂种类及其性比

诱集实验和田间调查所得的白背飞虱卵寄生蜂有稻虱缨小蜂和长管稻虱缨小蜂。前者占 49.0% (0% ~ 80%), ♀:♂ 为 0.485:0.515(雌蜂比率的幅度为 9.1% ~ 62.5%), 接近 0.5:0.5; 长管稻虱缨小蜂仅有雌蜂。两种寄生蜂的相对丰富度及性比没有明显的季节性变化。

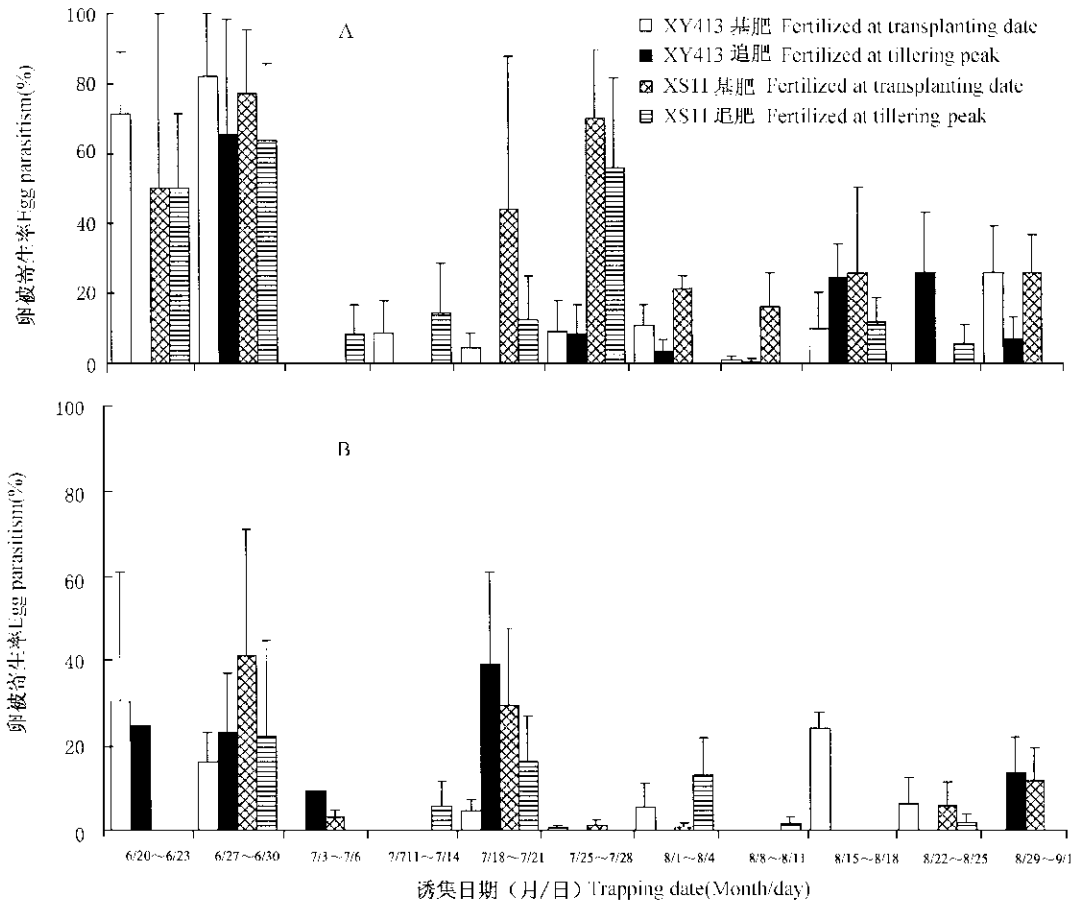


图1 白背飞虱卵在不同处理田块中不同诱集水稻品种协优 413(A)和秀水 11(B)上的被寄生率(平均值 \pm 标准误)的季节性动态

Fig.1 Seasonal dynamics of egg parasitism(mean \pm SE) of *Sogatella furcifera* by the parasitoids as estimated with the trapping rice varieties Xieyou (XY) 413(A) and Xiushui (XS) 11(B) in different treated rice plots

2.3 白背飞虱卵在田间诱集试验中的被寄生率

白背飞虱卵被寄生率的时间动态见图 1, 从中可以看出协优 413 上的第 2 批(6 月 27 日 ~ 6 月 30 日)的所有四个处理田块、第 6 批(7 月 25 日 ~ 7 月 28 日)中的两个田块(秀水 11 田块)卵的被寄生率明显高于其它时间(或处理)的被寄生率(图 1: A),

秀水 11 上的第 2 批、第 5 批(7 月 18 日 ~ 7 月 21 日)的寄生率也高于其它时间的寄生率(图 1: B)。方差分析表明“诱集批次”因子之间的差异达极显著水平($P < 0.01$), 反映了被寄生率随着时间的变化而变化。产卵诱集品种、田间品种和施肥时间之间的两因子间和三因子间的交互均不显著($P > 0.05$),

说明白背飞虱卵的被寄生率在各因子的不同水平间表现趋势不因其它因子的存在而改变;在这三个因子中,只有产卵诱集品种对寄生率有极显著的影响($F = 15.0, P < 0.01$),其在协优 413 上的总平均为: $(24.1 \pm 5.0)\%$ ($n = 18$),秀水 11 上的为: $(11.6 \pm 3.3)\%$ ($n = 18$)。

2.4 田间稻株上白背飞虱卵密度及其被寄生率

从田间不同栖境条件下白背飞虱卵密度的时间动态(图 2: A)可见,水稻全生育期协优 413 的每丛卵量基本上都低于、在高峰期(7 月 20 日)则明显低于秀水 11 的每丛卵量。秀水 11 在施分蘖肥后,白背飞虱卵密度稍低于施基肥的处理;协优 413 在施分蘖肥后(7 月 24 日和 8 月 1 日),白背飞虱卵密度上升,比原来施基肥的稍高,但差异不显著($P > 0.05$)。总体而言,同一品种不同的施肥时间之间的差异不显著($P > 0.05$)。

白背飞虱卵被寄生率随着水稻品种和施肥时间组合而形成的生境不同而有所不同。7 月上、中旬白背飞虱卵的寄生率达到高峰(图 2: B)。品种、

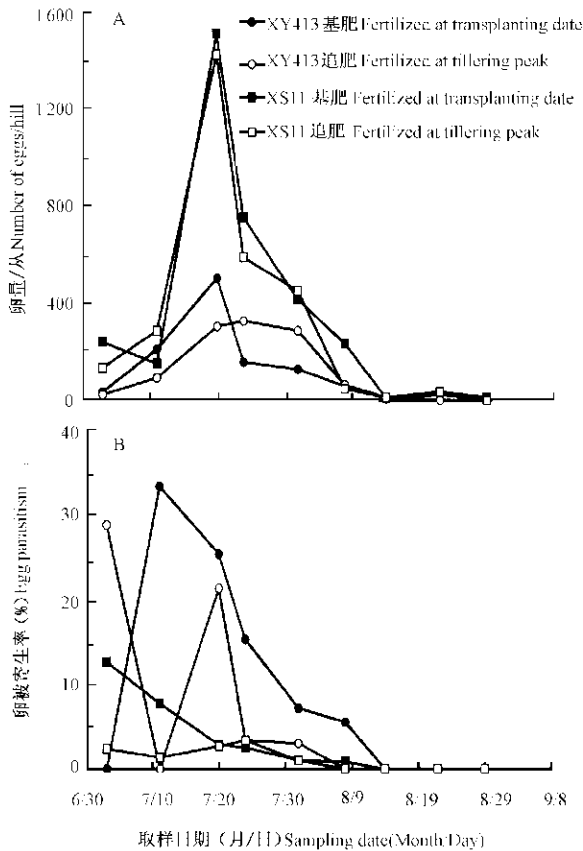


图 2 不同处理田块稻株上白背飞虱卵密度(A)和卵被寄生率(B)的季节动态

Fig. 2 Seasonal dynamics of *Sogatella fucifera* egg density(A) and parasitism by the parasitoids(B) in different treated rice plots

施肥时间两因子方差分析表明,田间品种($P = 0.085$)对水稻全生育期白背飞虱卵被寄生率的影响比施肥时间($P = 0.217$)大。对白背飞虱卵高峰期(7 月 20 日)的被寄生率作方差分析,表明田间水稻品种对白背飞虱卵被寄生率存在极显著的影响($P = 0.0007$),其总平均是:协优 413: $(16.6 \pm 3.9)\%$ ($n = 12$),秀水 11: $(9.1 \pm 5.4)\%$ ($n = 12$)。

2.5 田间的寄生率与诱集寄生率的一致性

对田间种植水稻上白背飞虱卵的被寄生率(x)与诱集水稻上白背飞虱卵的被寄生率(y),分别进行反正弦平方根处理,然后进行回归分析,结果表明这两种寄生率间存在着极显著的直线相关:

协优 413: $y = 0.7079x + 8.4138$ ($r = 0.60, df = 11, P < 0.05$)

秀水 11: $y = 1.3843x + 9.3176$ ($r = 0.63, df = 10, P < 0.05$)

两品种间的回归关系无显著差异($t = 1.02, df = 21, P > 0.05$),因此可将两品种上的数据合并作回归分析(图 3),得 $y = 0.7624x + 10.8540$ ($r = 0.55, df = 23, P < 0.01$)。

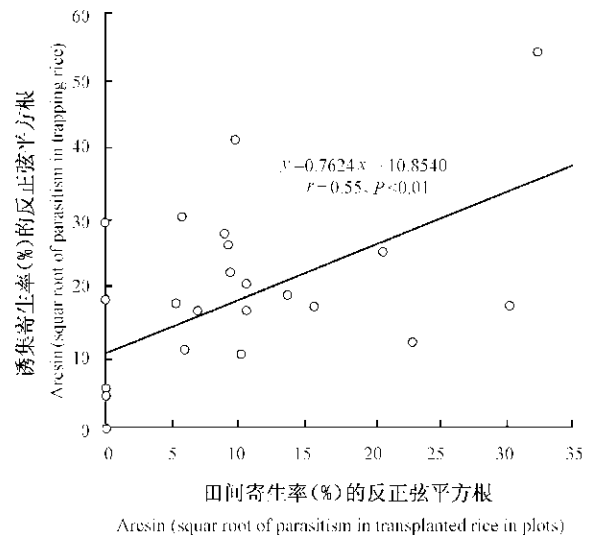


图 3 白背飞虱卵的田间被寄生率(x)和诱集被寄生率(y)间的关系

Fig. 3 Relationship of egg parasitism of *Sogatella fucifera* by the parasitoids in rice plots and in trapping rice plants 经 t -检验表明两品种上的回归系数间无显著差异后,两套数据合并作回归 The data from the two rice varieties were pooled after t -test showing no significant difference between their regression coefficients.

3 讨论

植物-植食者-天敌三营养阶层间的相互关系是

生态学中较受重视的领域之一,植物可通过物理形态、化学物质等途径,直接或间接影响寄生性天敌的行为,对植食者的攻击寄生等(Vinson, 1984; 娄永根和程家安, 1996a; 娄永根等, 2002)。本诱集实验结果表明,白背飞虱卵被寄生率主要决定于白背飞虱卵产在什么水稻品种的植株内,而与该植株所在的田间生境无显著的关系,这意味着在同一栖境内,在缨小蜂密度相同的开放系统中,稻飞虱缨小蜂对白背飞虱卵的搜寻效率从整个搜寻过程(栖境选择、寄主群定位、寄主定位、寄主检验、产卵管试探和产卵等6步)(Vinson, 1984)中的第2步开始就可能受到水稻植株微生境的影响。造成这种影响有以下几种可能:(1)两产卵诱集品种的化学挥发物不同,影响到缨小蜂的寄主群或寄主定位;(2)两品种的物理形态、表面结构(如叶鞘表面毛的密度、形态、长短等)影响缨小蜂触角的探测效率;(3)两品种植株叶鞘结构差异(如维管束间距及硅细胞排列、密度、形态)影响缨小蜂产卵管的刺探;(4)由于粳稻品种(秀水11)可能存在使白背飞虱卵致死的物质如苯甲基安息香酸盐(benzyl benzoate)等(Suzuki *et al.*, 1996)导致已在寄主卵内的缨小蜂卵及低龄幼虫死亡,而被计入寄主卵死亡一项等等。至于哪一种最为主要,或几种可能性的联合作用,目前尚不得而知,有待进一步研究与探索。

本研究表明白背飞虱在协优413上所产的卵块位置比在秀水11上的高、卵块也较大。这是否也是前者被寄生率高于后者的原因呢?分析表明,两个品种上的白背飞虱卵块中卵被寄生数、寄生率均与卵块位置高度不相关($P > 0.05$)。这与胡进生(1992)的观点相符,他认为就单一高度因子而言,白背飞虱卵的被寄生率并无一致的变化趋势。不过水稻品种可以通过影响褐飞虱在其植株的产卵高度而影响到稻飞虱缨小蜂对褐飞虱卵的寄生(娄永根和程家安, 1996a)。本实验还表明:在协优413上,卵块大小与被寄生卵粒数显著正相关($r = 0.169$, $P < 0.05$),而与寄生率不相关($r = -0.057$, $P > 0.05$);而在秀水11上则相反,卵块大小与被寄生卵粒数不相关($r = 0.036$, $P > 0.05$, $df = 535$),与其被寄生率成负相关($r = -0.093$, $P < 0.05$)。在对白背飞虱敏感的籼稻品种广陆矮4号上白背飞虱卵块大小与其被寄生率间的关系与其它一些昆虫不同,不表现为一定的窝卵数(卵块大小)效应(逆、正、先逆后正窝卵数效应),而是与窝卵数无关(祝增荣等, 1994b)。由此可见,即使是同一种昆虫,其卵块大小

与被寄生率的关系因其所在的寄主品种而异,进一步说明寄主植物品种在调节植食者与其寄生性天敌之间关系的重要性。

本实验结果表明施肥时间对白背飞虱卵被寄生率没有显著的影响。尽管基肥促进了两品种苗期早发,分蘖肥促使水稻叶色更深绿和分蘖的彪升(另文发表),但白背飞虱卵密度并没有明显的差异。

本实验的诱集法和田间调查法均表明,杂交稻协优413上的白背飞虱卵被寄生率高于粳稻秀水11上的卵被寄生率,而且田间调查结果表明白背飞虱初迁入协优413稻田的成虫密度(另文发表)和卵密度也低于秀水11稻田,仅从这两点而言,种植协优413似乎更利于发挥卵寄生蜂控制白背飞虱的潜力,至于这是否意味着籼粳杂交稻田比常规稻田的白背飞虱被寄生率均较高,则需扩大研究对象后才可作结论。事实上,迁入协优413和秀水11稻田后第1代白背飞虱成、若虫高峰期总密度没有显著差异,其原因为秀水11上虽然白背飞虱的卵密度高、被寄生率低,但由于生理因素引起的卵死亡率更高;而且,在实验室无天敌、单虫饲养、最适宜温度下的测定表明,白背飞虱在秀水11上的内禀增长力 $r_m(0.14)$ 比在协优413上(0.16)低,即秀水11对白背飞虱的敏感性比协优413低,从而造成田间白背飞虱在秀水11上的种群增长力低,迁入后第2代的密度反而低于其在协优413上的密度(另文发表)。若能选育出白背飞虱卵被寄生率和生理死亡率都高的合适品种,则可以充分发挥水稻品种对这种害虫的内禀控制作用,充分发挥白背飞虱自然生物防治的潜力,减少不必要的化学杀虫剂的使用。

寻找简便又准确的估计田间飞虱卵被寄生率的方法一直是有关昆虫学家长期的目标(Otake, 1970; Fowler *et al.*, 1991; Claridge *et al.*, 1999),网捕、诱集、粘胶板等方法旨在替代较为费时的直接解剖植株法(Fowler *et al.*, 1991; Watanabe *et al.*, 1992; Claridge *et al.*, 1999)。本实验结果表明,田间水稻上的白背飞虱卵被寄生率与诱集水稻上被寄生率间存在着极显著的相关,并且两品种间的回归关系无显著差异,此两品种上的数据合并后所作的回归关系也极显著,因而诱集法在一定程度上反映了田间的寄生率。但这种间接法的“诱饵”(飞虱卵)在田间的时间不能太长,少了一些被寄生的机会,而田间状态下卵可被寄生的时间更长、机会更多,被寄生率应该比诱集法高。因此,近来在研究自然条件下的生态关系时,仍然采用解剖田间植株的取样法(Moon

and Stiling, 2000; Moon *et al.*, 2000)。根据我们了解的文献, 迄今为止, 诱集法仍然只是用于研究不同生态条件下寄生性天敌对寄主的控制潜力, 用于测报目的几乎没有, 因此, 应就研究的目的选用适当的方法, 没有必要强调诱集法对田间实际植株取样法的替代性。

参考文献(References)

- Cheng XN, Xu GM, 1991. Comparison of population ecology between two mymarid egg parasitoids of rice planthoppers. *Acta Entomol. Sin.*, 34(4): 405 - 412. [程遐年, 徐国民, 1991. 两种稻虱缨小蜂种群生态的比较. 昆虫学报, 34(4): 405 - 412]
- Chiappini E, Lin NQ, 1998. *Anagrus* (Hymenoptera: Mymaridae) of China, with nine new species. *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, 91(5): 549 - 571.
- Claridge MF, Morgan JC, Steenkiste AE, Iman M, Damayanti D, 1999. Seasonal pattern of egg parasitism and natural biological control of rice brown planthopper in Indonesia. *Agri. Forestry Entomol.*, 1(4): 297 - 304.
- Corniel D, Boivin G, 1996. Seasonal ecology and geographical distribution of *Anaphes listronoti* and *A. victus* (Hymenoptera: Mymaridae), egg parasitoids of the carrot weevil (Coleoptera: Curculionidae) in central Ontario. *Environ. Entomol.*, 25(6): 1 376 - 1 382.
- Cronin JT, Strong DR, 1994. Parasitoid interactions and their contribution to the stabilization of *Auchenorrhyncha* population. In: Denno RF, Perfect TJ eds. *Planthopper: Their Ecology and Management*. New York: Chapman and Hall. 400 - 428.
- Fowler SV, Claridge MFA, Morgan, Peries IDR, Nugaliyadde L, 1991. Egg mortality of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and green leafhoppers, *Nephotettix* spp. (Homoptera: Cicadellidae), on rice in Sri Lanka. *Bull. Entomol. Res.*, 81: 161 - 167.
- Hu JS, 1992. Observation on the habits of the spatial parasitism within two species of *Anagrus*. *Entomol. Knowl.*, 29(2): 107 - 109. [胡进生, 1992. 二种稻虱缨小蜂空间寄生习性的观察. 昆虫知识, 29(2): 107 - 109]
- Jin XM, Zhang CZ, Jiang WS, 1979. Biological characteristics and their occurrence in paddy of several species of egg parasitoids (*Anagrus* spp.) of rice planthoppers. *Zhejiang Agr. Sci.*, (6): 27 - 31. [金行模, 张纯胃, 姜王森. 1979. 几种飞虱缨小蜂的生物学特性和田间发生情况的考查. 浙江农业科学, (6): 27 - 31]
- Li BC, He JX, 1991. Investigation of population dynamics of three species of Mymaridae parasitizing the eggs of planthoppers and their utilization and protection. *Natural Enemies of Insects*, 13(4): 156 - 161. [李伯传, 何检兴, 1991. 三种稻虱卵寄生缨小蜂消长规律及保护利用考查. 昆虫天敌, 13(4): 156 - 161]
- Lou YG, Cheng JA, 1994. The kairomone from brown planthopper and its relation to rice varieties. *Acta Phytophylacica Sin.*, 21(4): 327 - 332. [娄永根, 程家安, 1994. 褐飞虱利它素及其与水稻品种的关系. 植物保护学报, 21(4): 327 - 332.
- Lou YG, Cheng JA, 1996a. Effect of morphological traits of rice variety on functional response of *Anagrus nilaparvatae*. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 7(1): 61 - 66. [娄永根, 程家安, 1996a. 水稻品种形态特征对稻虱缨小蜂功能反应的影响. 应用生态学报, 7(1): 61 - 66]
- Lou YG, Cheng JA, 1996b. Influence of rice varieties on development, survival and fecundity of *Anagrus nilaparvatae* Pang *et Wang*. *Acta Entomol. Sin.*, 39(1): 28 - 36. [娄永根, 程家安, 1996b. 水稻品种对稻虱缨小蜂发育、存活及繁殖的影响. 昆虫学报, 39(1): 28 - 36]
- Lou YG, Cheng JA, Ping XF, Tang FB, Ru SJ, Du MH, 2002. Discrimination by the egg parasitoid *Anagrus nilaparvatae* between two hosts, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*. *Acta Entomol. Sin.*, 45(6): 770 - 776. [娄永根, 程家安, 平霄飞, 汤富彬, 茹水江, 杜孟浩, 2002. 稻虱缨小蜂对两种卵寄生褐飞虱和白背飞虱的识别机制. 昆虫学报, 45(6): 770 - 776]
- Luo XN, Zhuo WX, 1980. Investigations on bionomics and utilization of mymarid egg parasitoids of rice planthoppers. *J. Fujian Agr. Coll.*, (2): 44 - 60. [罗肖南, 卓文禧, 1980. 稻飞虱卵寄生蜂——缨小蜂生物学特性及保护利用的探讨. 福建农学院学报, (2): 44 - 60]
- Luo XN, Zhuo WX, 1981. Parasitization preference behavior of three species of *Anagrus* spp., egg parasitoids of rice planthoppers. *Entomol. Knowledge*, 18(1): 3 - 6. [罗肖南, 卓文禧, 1981. 稻飞虱卵寄生蜂——缨小蜂的研究(三): 三种缨小蜂寄生行为的选择性. 昆虫知识, 18(1): 3 - 6]
- Meyerdirk RE, Hessein NA, 1985. Population dynamics of the beet leafhopper, *Circulifer tenellus* (Baker) and associated *Empoasca* spp. (Homoptera: Cicadellidae) and their egg parasitoids on sugar beets in southern California. *J. Econ. Entomol.*, 78: 346 - 353.
- Moon DC, Stiling P, 2000. Relative importance of abiotically induced direct and indirect effects on a salt-marsh herbivore. *Ecology*, 81(2): 470 - 481.
- Moon DC, Rossi AM, Stiling P, 2000. The effects of abiotically induced changes in host plant quality (and morphology) on a salt marsh planthopper and its parasitoid. *Ecol. Entomol.*, 25: 325 - 331.
- Norton AP, Welter SC, 1996. Augmentation of the egg parasitoid *Anaphes iole* (Hymenoptera: Mymaridae) for *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) management in strawberries. *Environ.*

- Entomol.*, 25(6): 1 406 – 1 411.
- Otake E, 1970. Estimation of the parasitism by *Anagrus* nr. *flaveolus* Waterhouse (Hymenoptera, Mymaridae). *Entomophaga*, 15 (1): 83 – 90.
- Settle WH, Wilson LT, 1990a. Behavioral factors affecting differential parasitism by *Anagrus epos* (Hymenoptera: Mymaridae), of two species of *Erythroneura* leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae). *J. Animal Ecol.*, 59: 877 – 891.
- Settle WH, Wilson LT, 1990b. Invasion by the variegated leafhopper and biotic interactions: parasitism, competition, and apparent competition. *Ecology*, 71(4): 1 462 – 1 470.
- Stiling PD, Strong DR, 1982. Egg density and the intensity of parasitism in *Prokelisia marginata*. *Ecology*, 63(6): 1 630 – 1 635.
- Suzuki Y, Seino Y, Sogawa K, 1996. Ovicidal reaction of rice plants against the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* Horváth (Homoptera: Delphacidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 31: 111 – 118.
- Vinson SB, 1984. Parasitoid-host relationship. In: Bell WJ, Carde RT eds. *Chemical Ecology of Insects*. London: Chapman and Hall. 205 – 236.
- Watanabe T, Wada T, Salleh NM, 1992. Parasitic activities of egg parasitoids on the rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae), in the Muda Area, Peninsular Malaysia. *Appl. Entomol. Zool.*, 27(2): 205 – 211.
- Williams L, Matterson TE, 2000. Colonization of New York vineyards by *Anagrus* spp. (Hymenoptera: Mymaridae): overwintering biology, within-vineyard distribution of wasps, and parasitism of grape leafhopper, *Erythroneura* spp. (Homoptera: Cicadellidae) eggs. *Biol. Control*, 18: 136 – 146.
- Xu GM, Cheng XN, 1988. Studies on the potential of two mymarid parasitoids in controlling rice planthoppers. *Chin. J. Biol. Control*, 4(3): 102 – 105. [徐国民, 程遐年, 1988. 两种稻虱缨小蜂对稻飞虱的控制作用. 生物防治通报, 4(3): 102 – 105]
- Zhu ZR, 1996. Planthoppers. In: Cheng JA ed. *Insect Pests of Rice*. Beijing: China Agriculture Press. 80 – 102. [祝增荣, 1996. 稻飞虱类. 见: 程家安主编. 水稻害虫. 北京: 中国农业出版社. 80 – 102]
- Zhu ZR, Cheng JA, Chen X, 1990. Functional response to host density and mutual interference of *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang (Hymenoptera: Mymaridae), an egg parasitoids of the rice planthoppers. *Natural Enemies of Insects*, 12(2): 51 – 55. [祝增荣, 程家安, 陈琇, 1990. 稻虱缨小蜂的功能反应和干扰反应. 昆虫天敌, 12(2): 51 – 55]
- Zhu ZR, Cheng JA, Chen X, 1991. Effects of temperature and food on the development, survival and reproduction of *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang (Hymenoptera: Mymaridae). *Acta Ecol. Sin.*, 11(1): 66 – 72. [祝增荣, 程家安, 陈琇, 1991. 温度和食物对稻虱缨小蜂发育、存活和繁殖的影响. 生态学报, 11(1): 66 – 72]
- Zhu ZR, Cheng JA, Chen X, 1993. Host preference and suitability of *Anagrus nilaparvatae*. *Acta Entomol. Sin.*, 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应性. 昆虫学报, 36(4): 430 – 437]
- Zhu ZR, Cheng JA, Chen X, 1994a. A new approach for estimating egg parasitism of white-backed planthopper. *International Rice Research Note*, 19(2): 33 – 34.
- Zhu ZR, Cheng JA, Chen X, 1994b. Insect clutch size: a review on phenomena and its theoretical explanation. *Explor. Nat.*, 13(3): 48 – 51. [祝增荣, 程家安, 陈琇, 1994b. 昆虫窝卵数: 现象及其解释. 大自然探索, 13(3): 48 – 51]

(责任编辑: 黄玲巧)