

华中地区五种水稻品种对褐飞虱生活史和种群动态的影响*

郑晓旭** 赵慕华 何帅洁 李雪梅 杨凤连 吴刚***

(华中农业大学植物科技学院, 武汉 430070)

摘要 【目的】通过研究华中地区5种主栽水稻品种对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)生活史和种群动态的影响,评价褐飞虱个体和种群对5种水稻品种的取食适应性特征,为华中地区主栽水稻的应用推广和褐飞虱的防控提供数据参考。【方法】利用两性生命表理论,研究华中地区5种水稻(“深两优3117”、“金优957”、“齐两优908”、“丰优989”、“汕优63”)对褐飞虱生活史参数的影响,并用软件模拟5种水稻喂饲下褐飞虱种群动态发生情况。【结果】不同水稻品种对褐飞虱4-5龄若虫的影响最大,取食“齐两优908”后褐飞虱发育历期较其他水稻品种显著延迟($P<0.05$);“汕优63”和“金优957”饲喂下的褐飞虱产卵量显著低于其它3种水稻品种($P<0.05$);“齐两优908”喂饲处理下,褐飞虱成活率较其他4种水稻品种显著降低($P<0.05$)。褐飞虱在5种水稻品种的净增值率(R_0)由高到低依次为“丰优989”>“深两优3117”>“汕优63”>“金优957”>“齐两优908”。【结论】华中地区5种主栽水稻品种,“齐两优908”对褐飞虱成活率具有显著的降低效果;褐飞虱取食“丰优989”和“深两优3117”后种群净增值率最高。

关键词 褐飞虱; 水稻品种; 两性生命表; 生长发育; 种群动态

Effects of five different rice varieties on the life history and population dynamics of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* in central China

ZHENG Xiao-Xu** ZHAO Mu-Hua HE Shuai-Jie LI Xue-Mei
YANG Feng-Lian WU Gang***

(College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract [Objectives] To evaluate the effects of five rice varieties on the life history and population dynamics of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, in central China, and thereby inform the prevention and control of this pest. [Methods] The effects of five rice varieties (“Shen Liang you 3117”, “Jin you 957”, “Qi Liang you 908”, “Feng you 989” and “Shan you 63”) on the life history parameters of the brown planthopper were studied using two-sex life table. In addition, the population dynamics of *N. lugens* feeding on each of the five rice varieties was simulated with two-sex life table software. [Results] Different rice cultivars had different effects on 4th-5th instar nymphs of the brown planthopper. Nymphs fed on “Qi Liang you 908” took significantly longer to develop than those fed the other four rice varieties ($P<0.05$). Planthoppers fed on “Shan you 63” and “Jin you 957” had significantly lower fecundity than those fed on the other three rice varieties ($P<0.05$), and those fed on “Qi Liang you 908” had a significantly lower survival rate than those fed on the other rice varieties ($P<0.05$). The five rice varieties can be ranked in terms of the net reproductive rate (R_0) of the brown rice planthoppers fed on them as follows; “Feng you 989” > “Shen Liang you 3117” > “Shan you 63” > “Jin you 957” > “Qi Liang you 908”. [Conclusion] Brown planthoppers fed on “Qi Liang you 908” had a significantly lower survival rate than those fed on the other four rice varieties, and those fed on “Feng you 989” and “Shen Liang you 3117” had a significantly higher net population growth rate than those fed on the other four

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划资助(2017YFD0200400); 国家自然科学基金(31572003)

**第一作者 First author, E-mail: 1521787335@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wugang@mail.hzau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-12-25; 接受日期 Accepted: 2020-01-10

rice varieties.

Key words brown planthopper; rice varieties; two-sex life table; growth and development; population dynamics

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 属半翅目 (Homoptera) 飞虱科 (Delphacidae), 近年来作为水稻上的主要害虫, 对水稻生产和产量造成严重危害 (Zeng *et al.*, 2012; Zhuang *et al.*, 2015)。据统计, 褐飞虱危害水稻面积已占总面积的 23%-30% (Dale *et al.*, 2011)。目前, 针对褐飞虱的防治措施主要以化学防治为主, 由于长期使用化学农药, 褐飞虱的抗药性逐年增加 (张夕林等, 2018), 导致化学药剂对褐飞虱的防治效果逐年降低 (邱良妙等, 2015; 张小磊等, 2016; 肖汉祥等, 2018)。

目前, 根据各个水稻种植区的特点, 选育不同的水稻品种以达到遏制褐飞虱种群危害, 是目前绿色防控褐飞虱的重要途径之一。随着现代育种技术的逐渐完善, 水稻品种数量持续快速增加, 但主栽及主导品种集中度也在不断下降, 品种类型结构产生了重大变化 (曾波等, 2018)。国内外有大量关于利用水稻抗虫性防治褐飞虱报道, 丁识伯等 (2012) 研究了河南省内 9 种主栽水稻品种对褐飞虱生长发育和生命表参数的影响, 表明“青两优 916”是最适合褐飞虱生长发育和繁殖的品种; 邓飞等 (2016) 通过采用标准苗期集团筛选法和人工接虫诱法, 评价了水稻改良品系苗期对褐飞虱的抗性以及成株期对褐飞虱和白背飞虱的抗性, 上述研究为稻区褐飞虱的绿色防治体系的建立提供了借鉴意义。

目前, 国内外对于褐飞虱生长发育和繁殖的研究多采用传统的特定生命表方法 (Age-specific life table), 这种方法多集中在褐飞虱存活率、发育历期、繁殖力和生命表构建等方面, 而忽略了昆虫个体间发育速率的差异和大部分昆虫种群中雄性个体的生活史特征, 因此使用传统的特定年龄生命表数据需要进一步完善, 充分考虑个体间发育速率的差异和雌雄个体对种群的贡献 (Chi and Liu, 1985)。基于传统的特定生命表方法, Chi 和 Liu (1985) 和 Chi (1988) 提出了两性生命表 (Age-stage, two-sex life table) 理论

方法, 通过结合个体间发育速率的差异和雄性个体对种群的贡献, 更加准确的描述昆虫的生长发育和繁殖以及种群动态变化。

本研究以华中地区主栽的 5 种水稻 (“深两优 3117”、“金优 957”、“齐两优 908”、“丰优 989”、“汕优 63”) 为研究对象, 利用两性生命表的理论和方法, 研究褐飞虱个体生长发育和种群动态对华中地区 5 种水稻品种的反应, 并用软件模拟 5 种水稻喂饲下褐飞虱的种群动态, 其研究可评估华中地区不同主栽的水稻品种对褐飞虱个体适合度和种群发生动态的影响, 并为华中地区稻区褐飞虱的绿色防治体系的建立提供参考。

1 材料与方法

1.1 水稻品种

本实验采用的 5 种水稻品种为湖北地区主栽水稻品种: “深两优 3117”、“金优 957”、“齐两优 908”、“丰优 989”、“汕优 63”, 种植于人工气候培养箱 (型号 HP400GS-C; 武汉瑞华实验仪器厂, 武汉, 中国), 培养箱设置为: 温度 (27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 (70 ± 5)%, 光周期 14 L : 10 D。以 Kimura B 营养液的塑料盆中供 5 种水稻生长, 待三叶期转移到 2 L 的玻璃杯中供褐飞虱取食和产卵 (Liang *et al.*, 2006)。

1.2 供试昆虫

供试昆虫褐飞虱由华中农业大学湖北省重点实验室水稻教研组提供 (以标准感虫水稻品种 TN1 连续饲养多代)。供试褐飞虱前处理: 褐飞虱实验前于人工气候培养箱内 (温度 (27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $70\%\pm 5\%$, 光周期 14 L : 10 D) 以感虫水稻品种 TN1 连续饲养 3 代, 随后将褐飞虱初孵若虫分别接种在 5 种水稻上开展相关实验。

1.3 褐飞虱若虫发育历期和存活率

实验前消毒处理 400 支试管 ($18\text{ cm}\times 18\text{ cm}$), 分成 5 组, 分别对应 5 种水稻品种, 每组 80 支,

每种水稻品种取三叶期的健康水稻苗 80 棵,按分组依次放入准备好的试管内,试管底部加入 1 mL 营养液,以保证水稻正常生长。取当天初孵的褐飞虱 1 龄若虫 (N1) 400 头,随机接入准备好的试管,并编号记录。接种完成后,分别放回培养箱中,定期更换新鲜水稻苗和营养液。每天早上 8:00 和晚上 8:00 两次观察并记录褐飞虱若虫蜕皮情况、存活情况,至成虫初羽化。

1.4 褐飞虱成虫寿命和繁殖率

待 5 种水稻品种成虫初羽化后,记录每头成虫羽化时间,并在 1-2 d 内分别完成雌、雄虫配对,配对在 25 cm×30 cm 规格的大试管中进行,每个大试管只接入 1 头雄虫和 1 头雌虫,每种水稻各取 5 棵三叶期的健康水稻苗放入大试管内,并加入 5 mL 营养液。配对完成后放入培养箱中,定期添加营养液,保证水稻苗的正常生长。记录配对时间和对应雌雄虫编号(小试管编号),方便计算成虫寿命。初次配对后的前 4 d 每天固定 8:00 以同样的方法转移到新的对应编号的大试管(放有水稻苗)中让其交配产卵,并做好对应编号记录,方便记录产卵前期。4 d 后,每 3 d 转移配对 1 次,直至成虫全部死亡。在进行上述操作的同时,每天定时观察成虫的存活情况,以方便计算其寿命。自初次配对 6-7 d 后记录每管孵化若虫的数量,依次记录每次转移的孵化情况,以此来估算 5 种水稻品种下褐飞虱的产卵量。

1.5 褐飞虱两性生命表的建立和种群动态模拟

所有生活史参数记录完成后,利用两性生命表理论 (Chi and Liu, 1985; Chi, 1988) 建立 5 种水稻饲喂下褐飞虱的两性生命表 (Two-sex life table),并用软件模拟种群动态发生情况。

1.6 数据分析

本实验数据采用两性生命表软件 (TWOSEX-MSChart) 进行统计分析。依据两性生命表理论 (Chi and Liu, 1985; Chi, 1988),计算褐飞虱个体发育相关的生活史参数,主要包括各龄期发育历期、产卵前期 (APOP: 雌虫羽化到产卵的时间),总产卵前期 (TPOP: 从卵到

雌虫产卵时间)、特定年龄-龄期存活率 (The age-stage specific survival rate, s_{xj} , x 为日龄, j 为龄期)、特定年龄存活率 (The age-specific survival rate, l_x)、繁殖力、特定年龄-龄期繁殖力 (The age-stage fecundity, f_{xj})、种群特定年龄繁殖力 (The age-specific fecundity, m_x , 种群中年龄 x 的所有个体的平均繁殖力) 和特定年龄-龄期生命期望 (The age-stage life expectancy, e_{xj} , 个体在年龄 x 龄期 j 的期望存活寿命)。

本研究同时模拟了褐飞虱种群动态变化,统计其种群参数,主要包括:内禀增长率 (The intrinsic rate of increase, r)、周限增长率 (The finite rate of increase, λ)、净增值率 (The net reproductive rate, R_0) 和世代平均周期 (The mean generation time, T) (Chi, 2017a)。利用 TWOSEX-MSChart 软件的 bootstrap 方法计算发育历期、成虫寿命、繁殖和种群参数等数据的标准误,bootstrap 次数为 10 000 次,运用 paired bootstrap test ($P < 0.05$) 对处理间的 bootstrap 结果进行比较,最后利用 SigmaPlot 12.5 绘图 (Chi, 2017b)。

2 结果与分析

2.1 5 种水稻品种对褐飞虱生活史参数的影响

表 1 可以看出,5 种水稻品种饲喂褐飞虱下,褐飞虱卵期 (Egg)、1 龄 (N1)、2 龄 (N2)、3 龄 (N3) 的历期无显著性差异 ($P > 0.05$),而“齐两优 908”饲喂下褐飞虱 4 龄 (N4) 的历期显著低于其它 4 个水稻品种 ($P < 0.05$); 5 种水稻品种饲喂褐飞虱下,其产卵前期由高到低依次为“齐两优 908” (3.67 d) > “金优 957” (2.73 d) > “丰优 989” (2.41 d) > “汕优 63” (1.80 d) > “深两优 3117” (1.15 d)。“金优 957” (209.6) 饲喂下褐飞虱繁殖力显著高于其它 4 种水稻品种处理 ($P < 0.05$),结果显示“金优 957”饲喂处理有利于褐飞虱的繁殖和种群发生; 5 种水稻品种饲喂褐飞虱处理下的存活率由高到低依次为“汕优 63” (83%) > “丰优 989” (75%) > “深两优 3117” (71%) > “金优 957” (56%) > “齐两优 908” (33%),结果显示“齐两优 908”对褐飞虱成活率具有显著的降低效果。

表 1 5 种水稻对褐飞虱生活史参数的影响
Table 1 Life history parameters of *Nilaparvata lugens* feeding on five rice varieties

生活史参数 Life history parameter	水稻品种 Rice varieties				
	“丰优 989” “Feng you 989”	“深两优 117” “Shen liang you 3117”	“汕优 63” “Shan you 63”	“金优 957” “Jin you 957”	“齐两优 908” “Qi liang you 908”
卵期 Egg (d)	7.20±0.04a	7.20±0.04a	7.20±0.04a	7.20±0.04a	7.20±0.04a
1 龄 N1 (d)	2.36±0.06a	2.82±0.04a	3.00±0.06a	2.62±0.05a	2.78±0.05a
2 龄 N2 (d)	2.06±0.03a	2.03±0.02a	2.04±0.02a	2.01±0.01a	2.00±0.02a
3 龄 N3 (d)	2.13±0.04a	2.08±0.03a	2.09±0.03a	2.07±0.03a	2.07±0.03a
4 龄 N4 (d)	2.85±0.08a	2.43±0.08b	2.36±0.06b	2.27±0.08c	2.21±0.05bc
5 龄 N5 (d)	3.68±0.12a	3.16±0.05b	3.11±0.04bc	3.18±0.06b	3.46±0.17ab
产卵前期 APOP (d) Adult preoviposition period (d)	2.41±0.26ab	1.15±0.16c	1.80±0.18b	2.73±0.18a	3.67±0.80a
总产卵前期 TPOP (d) Total preoviposition period (d)	22.63±0.39ac	20.67±0.28b	21.24±0.33ab	22.20±0.43a	24.22±1.58a
繁殖力 Fecundity	209.60±28.20a	159.70±24.40a	75.50±12.80b	67.50±13.10b	127.20±34.00ab
雌成虫寿命 (d) Female longevity (d)	17.70±1.26a	14.71±1.03ab	10.18±1.07bc	10.30±0.98bc	11.70±1.81b
雄成虫寿命 (d) Male longevity (d)	16.77±1.48a	16.43±1.34a	15.86±1.46a	15.08±1.32a	15.13±2.43a
存活率 Survival rate (%)	75.00±5.00a	71.00±5.00a	83.00±4.00a	56.00±6.00b	33.00±5.00c

表中数据为平均值±标准误, 同行数据后标有不同小写字母代表不同品种饲喂的处理间差异显著 ($P < 0.05$, paired bootstrap test)。下表同。

Data are mean±SE, and followed by different lowercase letters represent significant difference between different feeding treatments at 0.05 level by paired bootstrap test. The same below.

2.2 5 种水稻品种对褐飞虱特定年龄-龄期生命期望 (e_{xj}) 的影响

从图 1 可以看出, 褐飞虱在 5 种水稻品种中的特定年龄-龄期生命期望 (e_{xj}) 由高到低依次为“丰优 989” (31.56) > “深两优 3117” (29.62) > “汕优 63” (29.21) > “金优 957” (25.45) > “齐两优 908” (22.77), 研究结果表明, “齐两优 908”饲喂下褐飞虱的特定年龄-龄期生命期望最低。

2.3 5 种水稻品种对褐飞虱种群参数的影响

从表 2 可以看出, 褐飞虱在 5 种水稻品种中的净增值率 (R_0) 由高到低依次为“丰优 989” (78.60) > “深两优 3117” (67.88) > “汕优 63”

(35.84) > “金优 957” (16.86) > “齐两优 908” (15.90)。褐飞虱在 5 种水稻品种中的内禀增长率 (r_m) 由高到低依次为“深两优 3117” (0.17) > “丰优 989” (0.16) > “汕优 63” (0.14) > “金优 957” (0.11) > “齐两优 908” (0.10), 且 $r_m > 0$, 说明褐飞虱在 5 种水稻品种中的褐飞虱种群数量都上升。种群的内禀增长率从侧面反映了褐飞虱对寄主的适应性和嗜食度, 表 2 可以看出, “齐两优 908”和“金优 957”的内禀增长率显著低于“汕优 63”、“丰优 989”和“深两优 3117” ($P < 0.05$), 而“齐两优 908”和“金优 957”两个品种之间以及“汕优 63”、“丰优 989”和“深两优 3117”3 个品种之间无显著性差异 ($P > 0.05$) 表明对褐飞虱抗性最强的品种是“齐两优 908”, 其次是“金优 957”,

感虫的品种为“汕优 63”、“丰优 989”和“深两优 3117”。“齐两优 908”上的褐飞虱世代周期(T(d))最长,“汕优 63”上最小。“深两优 3117”上的周限增长率(λ)最大,“齐两优 908”最小。同时,对 5 种品种饲喂下褐飞虱的种群动态进行了模拟(图 2),分析发现“丰优 989”和“深两优 3117”

饲喂下褐飞虱种群增长最快。

2.4 5 种水稻品种对褐飞虱特定年龄龄期存活率(S_{xj})的影响

对 5 种水稻品种饲喂下的褐飞虱特定年龄龄期存活率(s_{xj})作图(图 3),分析不同品种

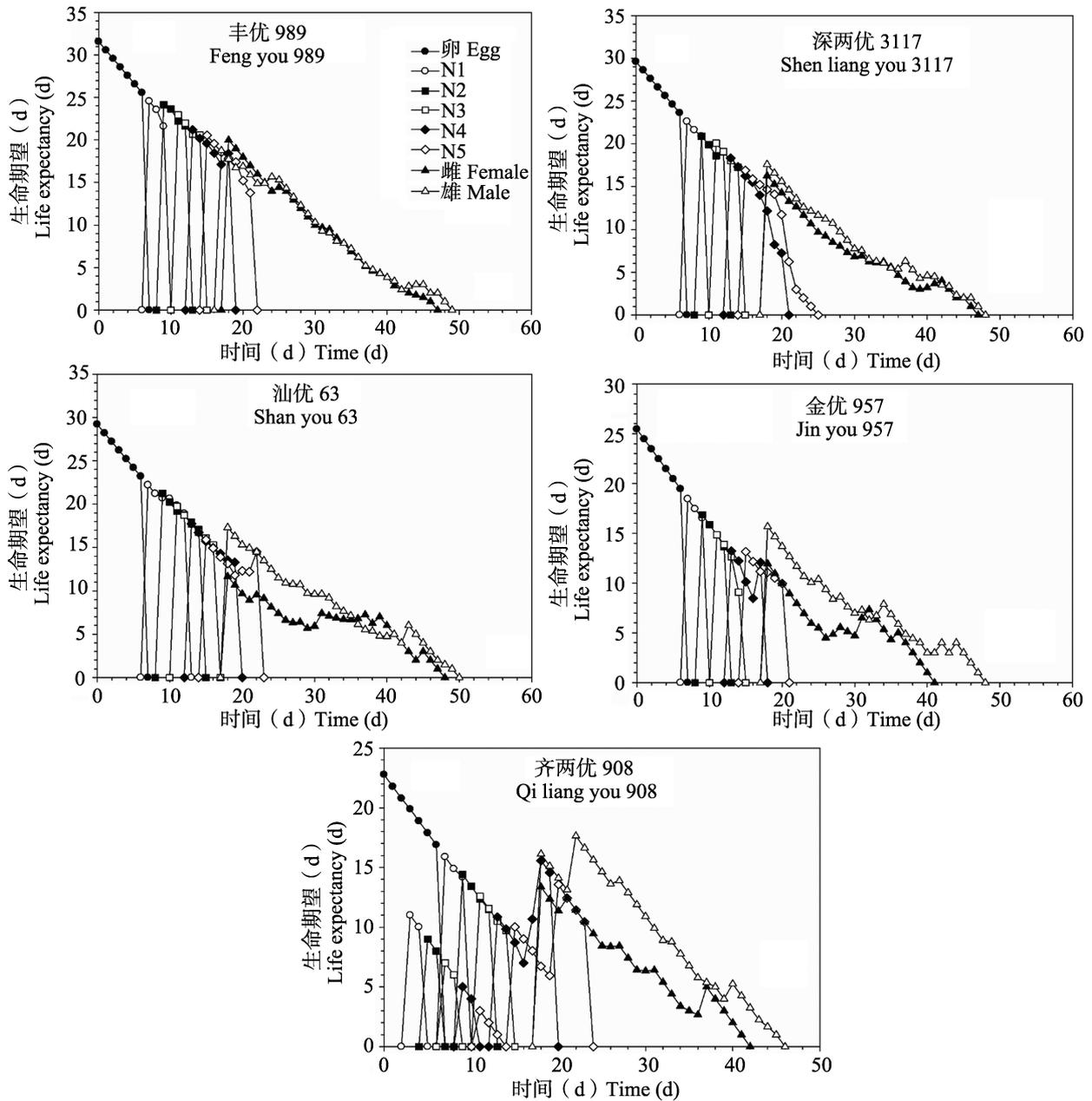


图 1 5 种水稻品种(“深两优 3117”、“金优 957”、“齐两优 908”、“丰优 989”、“汕优 63”)对褐飞虱特定年龄-龄期生命期望(e_{xj})的影响

Fig. 1 Effect of five rice varieties (“Shen liang you 3117”, “Jin you 957”, “Qi liang you 908”, “Feng you 989” and “Shan you 63”) on the age-stage specific life expectancy (e_{xj}) of *Nilaparvata lugens*

N1: 1 龄, N2: 2 龄, N3: 3 龄, N4: 4 龄, N5: 5 龄。下同。

N1: 1 age, N2: 2 age, N3: 3 age, N4: 4 age, N5: 5 age. The same below.

表 2 5 种水稻品种对褐飞虱种群参数的影响
Table 2 Population parameter of *Nilaparvata lugens* feeding on five rice varieties

水稻品种 Rice variety	种群参数 Population parameter			
	净增值率 (R_0) Net reproductive rate	平均世代周期 T (d) Mean generation time	内禀增长率 (r_m) Intrinsic rate of increase	周限增长率 (λ) Finite rate of increase
“丰优 989” “Feng you 989”	78.60±15.43a	27.12±0.37a	0.16±0.007 8a	1.17±0.009 1a
“深两优 3117” “Shen liang you 3117”	67.88±13.55a	24.70±0.33ab	0.17±0.008 1a	1.18±0.009 6a
“汕优 63” “Shan you 63”	35.84±7.35a	24.08±0.40b	0.14±0.008 8a	1.16±0.010 2a
“金优 957” “Jin you 957”	16.86±4.58b	24.45±0.48ab	0.11±0.012 2b	1.12±0.013 6b
“齐两优 908” “Qi liang you 908”	15.90±6.02c	27.57±1.68a	0.10±0.016 3b	1.10±0.017 8b

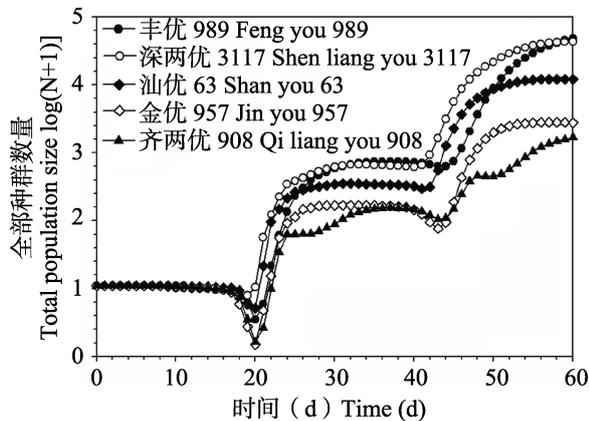


图 2 5 种水稻 (“深两优 3117”、“金优 957”、“齐两优 908”、“丰优 989”、“汕优 63”) 对褐飞虱的种群数量模拟

Fig. 2 Population number simulation of *Nilaparvata lugens* feeding on five rice varieties (“Shen liang you 3117”, “Jin you 957”, “Qi liang you 908”, “Feng you 989” and “Shan you 63”)

水稻饲喂下对褐飞虱寿命的影响。从图 3 看出, 5 种水稻品种饲喂下的褐飞虱不同龄期间存活率存在着显著差异 ($P < 0.05$), 结果表明, “齐两优 908”饲喂下的褐飞虱 5 龄若虫的存活率显著低于其它 4 种水稻品种 ($P < 0.05$)。

2.5 5 种水稻品种对褐飞虱特定年龄-龄期繁殖的影响

对 5 种水稻品种饲喂下的褐飞虱特定年龄-繁殖贡献作图(图 4), 研究结果表明, “丰优 908”

饲喂下的褐飞虱在繁殖高峰期, 雌虫贡献值在 5 种水稻品种中对褐飞虱特定年龄-繁殖贡献值最高 ($v_{xj} > 100$), 一般而言, 繁殖贡献值愈高, 其品种愈有利于害虫的个体适合度和种群增长。本实验结果表明, 华中地区 5 种主栽水稻品种中, “丰优 908”有利于褐飞虱种群的繁殖, 从而加大褐飞虱对该品种的危害。

2.6 5 种水稻品种对褐飞虱特定年龄存活率和特定年龄繁殖力的影响

为了掌握褐飞虱随历期(天数)的延长其存活率及繁殖力动态, 我们将特定年龄存活率和特定年龄-龄期繁殖力结合起来作图(图 5), 从图 5 可以看出, 在第 10-20 天区间内, “齐两优 908”饲喂下褐飞虱的特定年龄存活率 (l_x) 显著低于其它 4 种水稻品种 ($P < 0.05$)。同时我们还发现, “金优 957”饲喂下褐飞虱的种群平均繁殖力高峰期显著低于其它水稻品种 ($P < 0.05$), 表明 “金优 957”水稻品种对褐飞虱的繁殖具有一定的抑制作用。

3 结论与讨论

生命表参数可系统反应昆虫种群动态变化和生长发育等生物学特征, 常被应用于昆虫种群动态监测, 预测预报及生物测定等方面研究 (Mccornack *et al.*, 2004; Chen *et al.*, 2017;

Liu *et al.*, 2017)。生命表参数也用于评价环境条件 (Gao *et al.*, 2013) 和抗虫品种 (Li *et al.*, 2004; Güncan and Gümüş, 2017) 等因素对昆虫的影响。传统特定年龄生命表 (Age-specific life table) 主要考虑雌虫的特征, 而忽略了个体间发育速率的差异。两性生命表 (Two-sex life table) 理论能详细描述雌雄对种群的贡献、特定年龄-

龄期的存活率 (s_{xj}) 和特定年龄-龄期寿命期望 (e_{xj}) 等特征参数。利用两性生命表理论和软件, 研究华中地区 5 种主栽水稻品种 (“深两优 3117”、“金优 957”、“齐两优 908”、“丰优 989”、“汕优 63”) 对褐飞虱两性生命表参数的影响, 对筛选出华中地区抗褐飞虱且适合湖北地区种植的水稻品种具有重要意义。

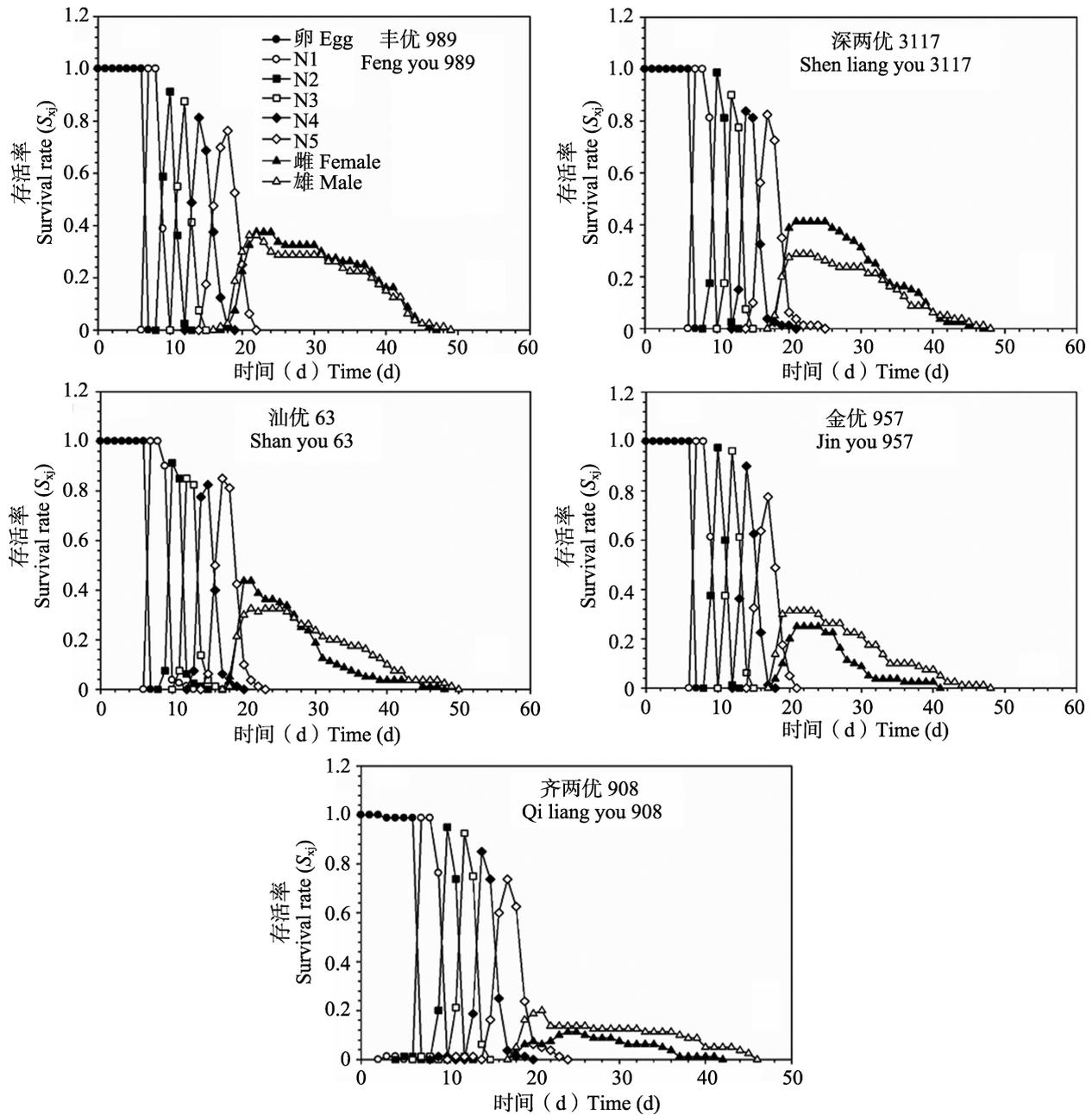


图 3 5 种水稻品种 (“深两优 3117”、“金优 957”、“齐两优 908”、“丰优 989”、“汕优 63”) 对褐飞虱特定年龄龄期存活率 (S_{xj}) 的影响

Fig. 3 Effect of rice varieties (“Shen liang you 3117”, “Jin you 957”, “Qi liang you 908”, “Feng you 989” and “Shan you 63”) on the age-stage specific life expectancy (e_{xj}) of *Nilaparvata lugens*

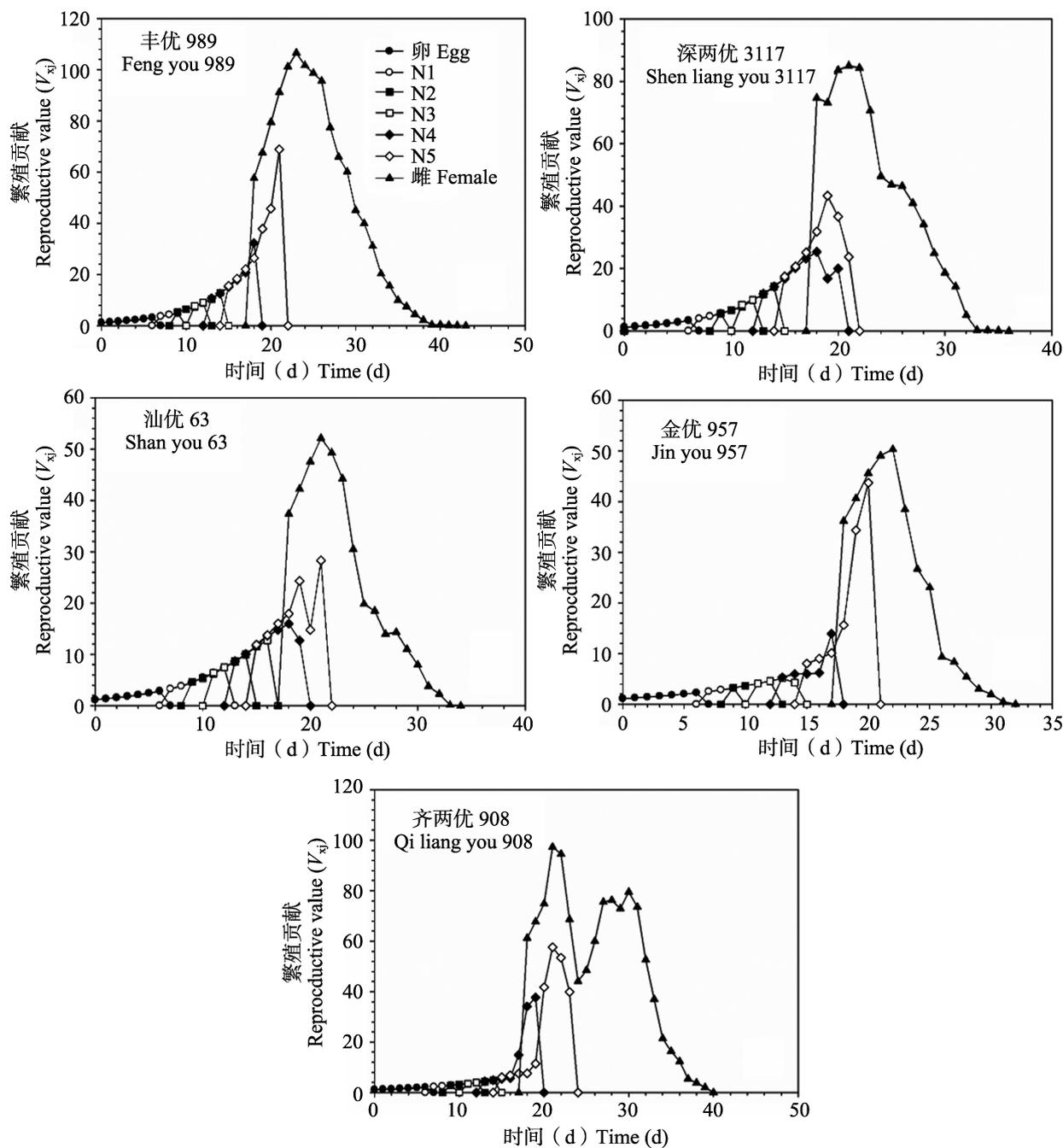


图 4 5 种水稻品种 (“深两优 3117”、“金优 957”、“齐两优 908”、“丰优 989”、“汕优 63”) 对褐飞虱特定年龄-繁殖贡献 (V_{xj}) 的影响

Fig. 4 Effect of rice varieties (“Shen liang you 3117”, “Jin you 957”, “Qi liang you 908”, “Feng you 989” and “Shan you 63”) on the age-stage specific reproductive value (V_{xj}) of *Nilaparvata lugens*

本实验观察了华中地区 5 种主栽水稻品种对褐飞虱发育历期和繁殖力的影响, 同时, 测定了 5 种主栽水稻品种对褐飞虱各特定年龄的存活率、生命期望及繁殖力影响, 结果表明褐飞虱取食华中地区 5 种主栽水稻品种后, 对两性生命表及其种群动态均存在一定的差异。对 5 种主栽水

稻品种喂饲下褐飞虱发育历期进行比较, 结果表明褐飞虱 4-5 龄若虫对水稻品种存在明显的取食响应, 同时, 我们发现“丰优 989”较其他 4 种水稻品种对褐飞虱的羽化和性成熟具有推迟作用, 推测这可能与水稻茎秆内的营养物质的组成有关, 后期研究需进一步开展验证。在比较华中地

区 5 种主栽水稻品种对褐飞虱存活率的影响后，我们发现“齐两优 908”饲喂下褐飞虱存活率显著低于其它 4 种水稻品种，该品种主要为中熟籼型中稻，株型较紧凑，植株较高，茎秆粗壮，由于生育期较短，导致品种营养成分降低，结果表明“齐两优 908”对褐飞虱的生长发育和成活率具有显著地抑制作用。在繁殖率方面，我们发现“金优 957”喂饲下褐飞虱产卵量较其他水稻品种显

著减少，“金优 957”属中熟偏迟粳型晚稻品种，生育期较长，本研究关于“齐两优 908”和“金优 957”对褐飞虱的生长发育和繁殖的影响，可为“齐两优 908”和“金优 957”在华中地区的应用推广提供了数据支撑。但在实际田间栽培过程中，我们也需要考虑到天气，天敌，以及人为因素，同时，各种外界环境下对褐飞虱存活率的影响是错综复杂的，“齐两优 908”田间对褐飞虱的生长

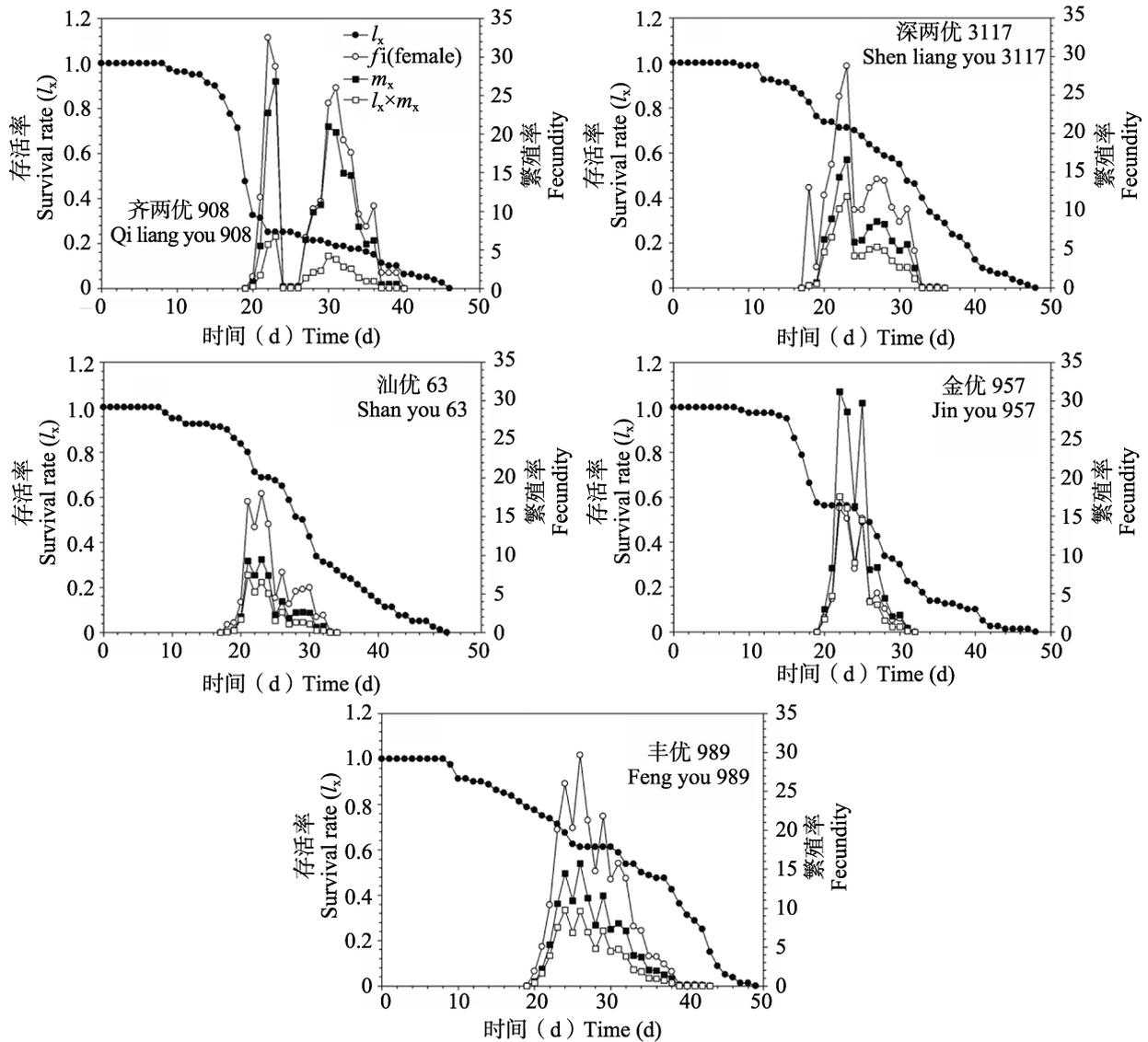


图 5 5 种水稻品种 (“深两优 3117”、“金优 957”、“齐两优 908”、“丰优 989”[lu1]、“汕优 63”) 对褐飞虱特定年龄存活率 (l_x)、种群年龄特征繁殖力 (m_x) 和种群年龄特征净增值率 ($l_x \times m_x$) 的影响
 Fig. 5 Effect of five rice varieties (“Shen liang you 3117”, “Jin you 957”, “Qi liang you 908”, “Feng you 989” and “Shan you 63”) on the age-specific survival rate (l_x), age-specific fecundity (m_x) and age-specific maternity ($l_x \times m_x$) of *Nilaparvata lugens*

l_x : 特定年龄存活率; m_x : 种群特定年龄繁殖力。

l_x : Age-specific survival rate; m_x : Age-specific fecundity.

发育和成活率的影响还需要进一步进行验证。

本研究还比较了华中地区 5 种主栽水稻品种对褐飞虱种群参数的影响, 并对 5 种主栽水稻品种饲喂下褐飞虱的种群动态进行了模拟。研究发现, 褐飞虱在 5 种水稻品种中的净增值率(R_0)由最高的为“丰优 989”和“深两优 3117”, 褐飞虱在 5 种水稻中的内禀增长率(r_m)“丰优 989”和“深两优 3117”也最高, 且 $r_m > 0$ 。种群的内禀增长率从侧面反映了褐飞虱对寄主的适应性和嗜食度, 本实验结果表明对褐飞虱抗性最强的品种是“齐两优 908”, 其次是“金优 957”, 感虫的品种为“丰优 989”和“深两优 3117”。同时, 对 5 种品种饲喂下褐飞虱的种群动态进行了模拟, 发现“丰优 989”和“深两优 3117”饲喂下褐飞虱种群增长最快, 对华中地区主栽水稻品种“丰优 989”和“深两优 3117”褐飞虱的防控提供的重要的数据支撑。

水稻叶鞘表皮的物理构造与褐飞虱的取食难易程度密切相关 (Hao *et al.*, 2008)。水稻对褐飞虱行为的影响主要取决于水稻代谢过程中产生的代谢物, 包括初生代谢物和次生代谢物, 而次生代谢物又包含萜烯类、醛类等挥发性物质和植物毒素等非挥发性物质。水稻挥发性物质决定了褐飞虱对寄主的初步选择, 而最终决定褐飞虱取食行为的是水稻的非挥发性物质, 这类物质影响着褐飞虱在稻株上刺探、取食、产卵、蜜露分泌等一系列取食行为 (丁识伯等, 2012)。“丰优 989”和“深两优 3117”2 个品种相较于“金优 957”、“齐两优 908”、“汕优 63”3 个品种来说生长势更旺, 分蘖力更强, 叶色更浓绿。结合褐飞虱取食华中地区 5 种主栽水稻品种后, 两性生命表、种群动态及其种群参数的差异, 我们推测因为“丰优 989”和“深两优 3117”的长势更旺, 营养物质更加丰富, 从而相较于另外 3 个品种更能诱发褐飞虱的取食行为。另一方面褐飞虱的取食行为又反过来诱发水稻的自身防御行为, “金优 957”、“齐两优 908”、“汕优 63”3 个品种的水稻受到褐飞虱侵害后释放的代谢物相较于“丰优 989”和“深两优 3117”更加能够抑制褐飞虱的生长发育和繁殖。

本实验开展华中地区 5 种主栽水稻品种对褐飞虱种群参数的影响研究, 为华中地区 5 种主

栽水稻品种的筛选和推广控制褐飞虱提供了参考。不同水稻品种对褐飞虱的影响是一个长期、复杂且多样的过程, 本实验所涉及到的 5 种水稻品种对褐飞虱适合度和种群数量均有不同的差异, 在筛选华中地区抗褐飞虱的水稻品种, 不能追求某一方面的抗虫效果, 不同水稻品种的褐飞虱的影响需要进行综合考虑, 短时间的观察得到的结论也需要进一步的研究来考证, 后期室内研究需集中在华中地区 5 种主栽水稻品种对褐飞虱连续世代的饲养观察, 田间调查应需集中在这 5 种主栽水稻品种对褐飞虱田间多年适合度和种群参数的影响。

参考文献 (References)

- Bottrell DG, Schoenly KG, 2011. Resurrecting the ghost of green revolutions past: The brown planthopper as a recurring threat to high-yielding rice production in tropical Asia. *J. Asia-Pac. Entomol.*, 15(1): 122–140.
- Chen X, Fan Y, Zhang W, Tian Z, Liu J, Zhao K, 2017. Soybean aphid, *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae), developmental and reproductive capacity on white clover, *Trifolium repens* (Rosales: Leguminosae), in northeast China. *Applied Entomology Zoology*, 52(3): 491–495.
- Chi H, Liu H, 1985. Two new methods for study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology Academia Sinica*, 24: 225–240.
- Chi H, 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17(1): 26–34.
- Chi H, 2017a. TIMING-MSChart: A computer program for the population projection based on age-stage, two-sex life table analysis. Nation Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.Zip>.
- Chi H, 2017b. TWOSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. Nation Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. a. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.Zip>.
- Deng F, Ni S, Chen HQ, Wang YX, Hu GW, Wang KJ, Li SJ, Zhu XD, 2016. Evaluation of resistance of improved rice lines to *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 32 (3): 16–21. [邓飞, 倪深, 陈红旗, 王跃星, 胡国文, 王孔俭, 李素佳, 朱旭东, 2016. 水稻改良品系对褐飞虱和白背飞虱的抗性评价. 中国农学通报, 32(3): 16–21.]
- Ding SB, Zeng Z, Yan FM, Jiang JW, 2012. Growth and

- development and life table parameters of *Nilaparvata lugens* (Stål) on nine rice varieties. *Journal of Plant Protection*, 39(4): 334–340. [丁识伯, 曾铮, 闫凤鸣, 蒋金炜, 2012. 褐飞虱在九个水稻品种上的生长发育和生命表参数. 植物保护学报, 39(4): 334–340.]
- Gao GZ, Zalucki MP, Lu ZZ, 2013. Effect of temperature on the biology of *Acyrtosiphon gossypii* Mordvilko (Homoptera: Aphididae) on cotton. *Journal of Pest Science*, 86(2): 167–172.
- Güncan A, Gümüs E, 2017. Influence of different hazelnut cultivars on some demographic characteristics of the filbert aphid (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 110(4): 1856–1862.
- Hao PY, Liu CX, Wang YY, Chen RZ, Tang M, Du B, Zhu LL, He GC, 2008. Herbivore-induced callose deposition on the sieve plates of rice: An important mechanism for host resistance. *Plant Physiology*, 146(4): 1810–1820.
- Li Y, Hill CB, Hartman GL, 2004. Effect of three resistant soybean genotypes on the fecundity, mortality, and maturation of soybean aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 97(3): 1106–1111.
- Liang YC, Hua H, Zhu YG, Zhang J, Cheng CM, Römheld V, 2006. Importance of plant species and external silicon concentration to active silicon uptake and transport. *New Phytologist*, 172(1): 63–72.
- Liu JP, Huang WK, Wang CH, Hua HX, Wu G, 2017. Effect of elevated CO₂ on the fitness and potential population damage of *H. armigera* based on two-sex life table. *Scientific Reports*, doi:10.1038/s41598-017-01257-7.
- Mccornack BP, Ragsdale DW, Venette RC, 2004. Demography of soybean aphid (Homoptera: Aphididae) at summer temperatures. *Journal of Economic Entomology*, 97(3): 854–861.
- Qiu LM, Liu QQ, Lin RK, Zhan ZX, 2016. Analysis of major causes of *Nilaparvata lugens* (Stål) outbreaks in local areas of Fujian province in 2015 and control measures. *Journal of Environmental Entomology*, 38 (3): 494–499. [邱良妙, 刘其全, 林仁魁, 占志雄, 2016. 2015年福建省局部地区褐飞虱暴发成灾主要原因分析与防控对策. 环境昆虫学报, 38(3): 494–499.]
- Xiao HX, Li YF, Ling SF, Zhang Y, Zhang ZF, Li YF, Liu MJ, 2018. Resistance of the *Nilaparvata lugens* (Stål) population in Guangdong to 4 insecticides. *Journal of South China Agricultural University*, 39(2): 70–74. [肖汉祥, 李燕芳, 凌善锋, 张扬, 张振飞, 李怡峰, 刘明津, 2018. 广东褐飞虱种群对4种杀虫剂的抗药性. 华南农业大学学报, 39(2): 70–74.]
- Zeng B, Sun SX, Wang J, 2018. Review of China's major rice varieties in the past 30 years and their application. *Crop Magazine*, (2): 1–5. [曾波, 孙世贤, 王洁, 2018. 我国水稻主要品种近30年来审定及推广应用概况. 作物杂志, (2): 1–5.]
- Zeng YY, Huang WK, Su L, Wu G, Zhuang J, Zhao WY, Hua HX, Li JS, Xiao NW, Xiong YF, 2012. Effects of elevated CO₂ on the nutrient compositions and enzymes activities of *Nilaparvata lugens* nymphs fed on rice plants. *Science China Life Sciences*, 55(10): 920–926.
- Zhang XL, Yang YT, Ding XL, 2018. The resistance of *Nilaparvata lugens* (Stål) has been increasing year by year, and effective measures are urgently needed to strictly control them. *Chinese Pesticides*, 14(5): 31–36. [张夕林, 杨燕涛, 丁晓丽, 2018. 褐飞虱抗药性逐年加重, 亟需采取有效对策严加防控. 中国农药, 14(5): 31–36.]
- Zhang XL, Liao S, Mao KK, Wan H, Lu P, Li JH, 2016. Resistance monitoring of the field populations of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) to common insecticides in rice production areas of Hubei province, central China. *Acta Entomologica Sinica*, 59(11): 1222–1231. [张小磊, 廖逊, 毛凯凯, 万虎, 卢鹏, 李建洪, 2016. 湖北稻区褐飞虱田间种群对常用杀虫剂抗药性监测. 昆虫学报, 59(11): 1222–1231.]
- Zhuang J, Su L, Wei H, Xiao NW, Li JS, Hua HX, Wu G, 2015. Effects of elevated CO₂ on the development and physiological metabolism of *Nilaparvata lugens*, in response to the infection of *Trichoderma asperellum*. *International Journal of Pest Management*, 61(4): 292–298.