植物保护学报 Journal of Plant Protection，2021，48(2)：357-366 DOI：10.13802/j.cnki.zwbhxb.2021.2020072

# 褐飞虱在华中地区不同主栽水稻品种上的生活史和种群动态

何帅洁 肖能文 郑晓旭 赵慕华 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：**为明确褐飞虱*Nilaparvata lugens*对华中地区不同主栽水稻品种的适合度，利用两性生命表分析华中地区的5个主栽水稻品种C两优、岳优、深两优、华两优和红良优对褐飞虱生活史参数的影响，并模拟取食5个水稻品种后褐飞虱的种群动态。结果表明：不同水稻品种对褐飞虱的生长发育和繁殖存在显著影响，取食华两优和红良优的褐飞虱雌成虫寿命分别为10.73 d和11.43 d，显著短于取食C两优（14.71 d）、岳优（15.34 d）和深两优（14.52 d）时；取食红良优的褐飞虱雌成虫产卵量为108.30粒，较取食C两优（237.90粒）、岳优（218.40粒）和深两优（179.60粒）显著减少。褐飞虱取食红良优后，其种群净增殖率和世代周期均显著低于取食C两优和岳优时；而其种群内禀增长率和周限增长率均显著低于取食岳优时。表明华中地区5个主栽水稻品种中红良优可显著降低褐飞虱的繁殖力和种群参数，褐飞虱对红良优的适合度最低，可作为华中地区主栽水稻来防控褐飞虱。

**关键词：**褐飞虱；水稻品种；两性生命表；生长发育；种群动态

## The life history parameters and population dynamics of brown planthopper *Nilaparvata lugens* feeding on different rice varieties in central China

He Shuaijie Xiao Nengwen Zheng Xiaoxu Zhao Muhua Li Xuemei Yang Fenglian Wu Gang*

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

**Abstract:** In order to determine the fitness of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, on different rice varieties in Central China, the life history parameters and population dynamics of *N. lugens* feeding on five rice varieties (C Liangyou, Yueyou, Shenliangyou, Hualiangyou and Hongliangyou) were simulated by sexual life table software. The results showed that different rice varieties had significant effects on the developmental duration of *N. lugens* at different ages. The adult lifespan of *N. lugens* after feeding on Hualiangyou (10.73 d) and Hongliangyou (11.43 d) were significantly lower than those fed on other three rice varieties C Liangyou (14.71 d), Yueyou (15.34 d) and Shenliangyou (14.52 d). The fecundity of *N. lugens* after feeding on Hongliangyou (108.30 eggs) was significantly lower than that fed on other three rice varieties C Liangyou (237.90 eggs), Yueyou (218.40 eggs) and Shenliangyou (179.60 eggs). The net value-added rate ($R_0$) and generation cycle of *N. lugens* after feeding on Hongliangyou were significantly lower than those fed on other two rice varieties C Liangyou and Yueyou, and the internal growth rate ($r_m$) and finite rate of increase ($\lambda$) of *N. lugens* after feeding on rice variety Hongliangyou were significantly lower than those fed on Yueyou. The results indicated that *N. lugens* feeding on Hongliangyou had a significantly lower fecundity and population parameters than those fed on other rice varieties, which suggested that the lowest fitness of *N. lugens* was observed after feeding

基金项目：国家重点研发计划（2017YFD0200400）

* 通信作者（Author for correspondence），E-mail：wugang@mail.hzau.edu.cn

收稿日期：2020-04-11

on Hongliangyou. The results supply a reference for the prevention and control of *N. lugens* in Central China.

**Key words:** brown planthopper; rice variety; sexual life table; growth and development; population dynamic

水稻是世界主要粮食作物之一，在其栽培生产过程中病虫害发生严重，其中为害最严重的害虫之一是褐飞虱 *Nilaparvata lugens*（李春凤等，2019）。褐飞虱属半翅目飞虱科，可远距离迁飞，繁殖和适应能力强，遇雨水多的年份容易大暴发，是亚洲水稻主产区最重要的农业害虫（程遐年等，2003）；常与灰飞虱 *Laodelphax striatellus*、白背飞虱 *Sogatella furcifera* 及叶蝉等混合发生，对水稻生产构成极大威胁（蔡之军等，2016）。该虫以吸取水稻韧皮部汁液为食，不仅造成水稻营养物质流失，而且能传播水稻病毒病，严重影响水稻生产，导致减产甚至绝收（Srivastava et al.，2011）。目前，褐飞虱主要还是以化学杀虫剂结合种植抗虫抗病水稻品种作为防治措施，但长期大量施用化学杀虫剂，在防治害虫的同时也杀死了大量天敌，因为褐飞虱抗药性的出现，其防治难度也逐步增加，导致褐飞虱再猖獗和环境污染等问题（任西明等，2017；肖汉祥等，2018）。因此，加强水稻产量、抗性、品质的育种研究已成为提高水稻生产水平的有效途径（李韬等，2017）。目前，水稻品种对褐飞虱抗性机理的研究主要集中在抗生性和忌避性等方面，水稻品种对褐飞虱的抗性可从耐害性、非嗜性和抗生性等方面来证明（商科科等，2011）；其中，利用水稻自身抗性是防治褐飞虱行之有效和安全的措施之一（刘宇锋等，2007）。

随着近年来科学育种技术的快速发展和不断完善，水稻品种的数量也在相应增加，这必然导致主栽品种集中度的下降，生产环境以及种植制度方面发生改变，品种类型结构产生重大变化（曾波等，2018）。水稻抗性品种的推广与应用既可减少产量损失，又可延缓稻飞虱新致害性种群产生（陈建明等，2005）。20世纪70年代国际水稻研究所先后推出抗褐飞虱水稻品种IR26和IR36，但在推广过程中不断出现抗性下降甚至完全丧失的现象（王梁全等，2009）。因此，以选育抗性品种为基础的水稻虫害可持续治理技术的研究与开发倍受关注（黄所生等，2014；程攀等，2015）。如郝树广等（2000）研究发现不同水稻品种对褐飞虱生物学特性的影响主要体现在若虫期存活率和成虫期产卵量等方面；王梁全等（2009）发现华中地区主栽水稻品种两优培九高感褐飞虱，而中9A/07WH1462抗虫品种可推广应用；丁识伯等（2012）在对不同水稻品种饲喂下褐飞虱生长发育的影响研究中也发现青两优916饲喂后褐飞虱的生长发育和繁殖都优于饲喂其他品种时；邓飞等（2016）研究结果也表明水稻改良品系苗期对褐飞虱表现出一定抗性，在成株期对褐飞虱以及白背飞虱也存在一定抗性。上述研究结果为当前我国水稻栽培生产过程中褐飞虱绿色防治体系的建立提供了极具价值性的参考。因此，研究华中地区不同水稻品种对褐飞虱的生长发育和种群动态对其绿色防控具有重要意义。

关于不同寄主植物对植食性害虫生长发育和繁殖影响的研究多采用传统生命表方法，内容主要集中在植食性害虫存活率、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（Chi & Liu，1985）。随后，Chi（1988）建立了两性生命表理论，通过将个体间发育速率的差异以及雄性个体对种群的贡献结合起来，进而能够更加清晰、详细以及准确地描述昆虫的生长发育、繁殖以及种群动态的变化。利用该方法，刘芳等（2007）评价了江苏省主要粳稻品种对灰飞虱的忌避性和抗生性，且发现不同地区籼稻和粳稻上稻飞虱的生长发育和繁殖存在差异；郑晓旭等（2020）评价了褐飞虱个体和种群对5种籼稻品种的取食适应性特征。本研究拟采用两性生命表方法研究褐飞虱个体生长发育和种群动态对华中地区主栽的5个水稻品种C两优、岳优、深两优、华两优和红良优的响应，并对5个主栽水稻品种对褐飞虱个体适合度和种群发生动态的影响进行综合评估，分析其生长发育及繁殖参数和种群特征，以期为华中地区稻区褐飞虱的绿色防治体系建立提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

水稻品种：华中地区5个主栽水稻品种C两优、岳优、深两优、华两优、红良优的种子购自湖北省植物保护总站，标准感虫水稻品种TN1由华中农业大学湖北省重点实验室水稻教研组提供，均于温度

(27±1) ℃、相对湿度(70±5)%、光周期14 L∶10 D条件下在装有Kimura B营养液的塑料盆中种植，培养至3叶期后转移到2 L玻璃杯中供褐飞虱取食和产卵(Liang et al.，2006)。

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，以感虫水稻品种TN1连续饲养3代后，取初孵1龄若虫供试。

试剂和仪器：Kimura B营养液，参照Liang et al.(2006)配方配制，试验所用试剂均为国产分析纯。HP400GS-C型人工气候培养箱，武汉瑞华仪器设备有限责任公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 褐飞虱若虫发育历期和存活率的测定

取长18 cm×直径1.8 cm的400支试管，分成5组，分别对应5个水稻品种，每个水稻品种取3叶期健康幼苗80株，按分组依次放入准备好的试管内，每管1株。试管底部加入Kimura B营养液1 mL，以保证水稻正常生长。取当天初孵褐飞虱1龄若虫400头，随机接入上述准备好的试管中，每管1头，并编号记录。然后置于温度为(27±1)℃、相对湿度为(70±5)%、光周期为14 L∶10 D的人工气候培养箱中培养，定期更换新鲜水稻苗和Kimura B营养液。每天于08: 00和20: 00定点观察并记录褐飞虱若虫蜕皮及存活情况，直至成虫初羽化，统计各龄期若虫发育历期，并计算存活率。

#### 1.2.2 褐飞虱成虫寿命和繁殖力的测定

待1.2.1中取食5个水稻品种的褐飞虱成虫初羽化后，记录每头成虫羽化时间，并完成雌雄成虫鉴定及配对，在高25 cm×管口直径3 cm的试管中分别接入1头雄成虫和1头雌成虫，每个水稻品种各取5株3叶期健康幼苗放入1个试管内，并在试管底部加入Kimura B营养液5 mL，置于上述相同条件的人工气候培养箱中培养，定期添加Kimura B营养液，保证水稻幼苗的正常生长。记录配对时间和对应雌雄成虫编号，初次配对后的前4 d每天08: 00转移到新的放有水稻幼苗的对应编号试管中让其交配产卵，并做好记录，统计产卵前期(雌成虫羽化到产卵的时间)和总产卵前期(从卵到雌成虫产卵的时间)。初次配对4 d后，每3 d转移1次，期间每天定时观察成虫的产卵和存活情况，直至成虫全部死亡，统计其寿命。自初次配对6~7 d后记录每个试管中的产卵数，统计单雌产卵量。

#### 1.2.3 褐飞虱两性生命表的建立和种群动态模拟

基于1.2.1和1.2.2得到的褐飞虱生活史参数，利用两性生命表方法(Chi & Liu，1985；Chi，1988)模拟5个水稻品种饲喂下褐飞虱的种群动态发生情况，并建立其两性生命表。首先，利用两性生命表方法统计取食不同水稻品种的褐飞虱种群参数并模拟其种群动态变化，种群参数主要包括净增殖率$R_0$(每个个体一生中所产的总后代数)、内禀增长率$r_m$(种群的最大瞬时增长率)、周限增长率$\lambda$(种群内平均每一个个体能产生的后代数)和世代平均周期$T$(当一个种群达到稳定增长速率，增加$R_0$所需的时间)。然后依据两性生命表理论计算褐飞虱个体发育相关的生活史参数(Tuan et al.，2016)，主要包括特定年龄-龄期生命期望$e_{xj}$(个体在$x$年龄$j$龄期时的期望存活寿命，$x$为年龄，$j$为发育龄期)、特定年龄-龄期繁殖价值$v_{xj}$(个体在$x$年龄$j$龄期时对未来种群的平均贡献度)、特定年龄存活率$l_x$(1粒初产卵发育至第$x$龄期的可能性)、种群特定年龄繁殖力$m_x$(种群中平均每个个体在第$x$年龄内所产子代个体数)、雌成虫特定年龄-龄期繁殖力$f_{xj}$(平均每头雌成虫在第$x$年龄、第$j$龄期内所产子代个体数)、种群特定年龄净增殖率($l_x \times m_x$)和特定年龄-龄期存活率$s_{xj}$(个体在$x$年龄$j$龄期时的存活率)。

### 1.3 数据分析

采用两性生命表软件TWO SEX-MSChart(Chi，2017)对试验数据进行分析，计算褐飞虱发育历期、成虫寿命、繁殖力和种群参数等数据的标准误，bootstrap设为10 000次，运用paired bootstrap法对处理间的bootstrap结果进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻品种对褐飞虱生活史参数的影响

褐飞虱取食5个水稻品种后的卵期、产卵前期、总产卵前期和存活率均无显著差异。取食C两优后，褐飞虱1龄若虫的发育历期(2.38 d)较取食另外4个品种时显著延长，而其2龄若虫的发育历期(1.94 d)较取食岳优(2.06 d)、华两优(2.06 d)和红良优(2.12 d)时显著缩短；取食红良优后，褐飞虱3龄若虫的发育历期(2.23 d)较取食深两优(2.05 d)时显著延长，其4龄若虫的发育历期(2.33 d)较取食岳优(2.16 d)和深两优(2.25 d)时显著延长；取食岳优(3.38 d)和华两优(3.39 d)后褐飞虱5龄若虫的发育历期较取食C两优(3.16 d)和深两优(3.13 d)时显著延长(表1)。

取食5个水稻品种后褐飞虱在成虫寿命和繁殖力方面也存在显著差异。取食华两优和红良优后其

雌成虫寿命分别为10.73 d和11.43 d，显著短于取食C两优（14.71 d）、岳优（15.34 d）和深两优（14.52 d）3个品种时，取食C两优后其雄成虫寿命为19.01 d，较取食华两优（14.82 d）和红良优（13.54 d）时显著延长。取食华两优（119.50粒）和红良优（108.30粒）后褐飞虱的单雌产量显著低于取食C两优（237.90粒）、岳优（218.40粒）和深两优（179.60粒）3个水稻品种时（表1）。

**表1 不同水稻品种对褐飞虱生活史参数的影响**

Table 1 Life history parameters of *Nilaparvata lugens* feeding on different rice varieties

| 生活史参数 Life history parameter | C两优 C Liangyou | 岳优 Yueyou | 深两优 Shenliangyou | 华两优 Hualiangyou | 红良优 Hongliangyou |
|---|---|---|---|---|---|
| 卵期Egg/d | 7.20±0.04 a | 7.20±0.04 a | 7.20±0.04 a | 7.20±0.04 a | 7.20±0.04 a |
| 1龄若虫1st nymph/d | 2.38±0.08 a | 1.91±0.04 b | 1.97±0.03 b | 1.89±0.06 bc | 1.78±0.05 c |
| 2龄若虫2nd nymph/d | 1.94±0.04 b | 2.06±0.04 a | 2.00±0.03 ab | 2.06±0.04 a | 2.12±0.07 a |
| 3龄若虫3rd nymph/d | 2.10±0.04 ab | 2.11±0.04 ab | 2.05±0.03 b | 2.11±0.04 ab | 2.23±0.06 a |
| 4龄若虫4th nymph/d | 2.23±0.05 ab | 2.16±0.04 b | 2.25±0.05 b | 2.32±0.06 ab | 2.33±0.06 a |
| 5龄若虫5th nymph/d | 3.16±0.06 b | 3.38±0.07 a | 3.13±0.06 b | 3.39±0.08 a | 3.22±0.07 ab |
| 产卵前期Pre-oviposition/d | 1.87±0.13 a | 1.90±0.10 a | 1.93±0.21 a | 1.64±0.14 a | 1.73±0.13 a |
| 总产卵前期Total pre-oviposition/d | 20.80±0.21 a | 20.61±0.14 a | 20.61±0.21 a | 20.82±0.21 a | 20.54±0.23 a |
| 单雌产卵量Fecundity per female adult | 237.90±29.40 a | 218.40±24.90 a | 179.60±22.50 a | 119.50±17.70 b | 108.30±18.30 b |
| 雌成虫寿命Female adult longevity/d | 14.71±1.20 a | 15.34±1.03 a | 14.52±1.12 ab | 10.73±0.94 c | 11.43±1.13 bc |
| 雄成虫寿命Male adult longevity/d | 19.01±1.32 a | 18.89±1.43 ab | 15.64±1.42 abc | 14.82±1.61 bc | 13.54±1.24 c |
| 存活率Survival rate/% | 85.00±4.00 a | 85.00±4.00 a | 80.00±4.00 a | 82.00±4.00 a | 79.00±5.00 a |

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示经paired bootstrap法检验在$P<0.05$水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by paired bootstrap test.

### 2.2 水稻品种对褐飞虱种群参数的影响

褐飞虱取食5个水稻品种后其种群净增殖率$R_0$和世代周期$T$由高到低均依次为C两优>岳优>深两优>华两优>红良优，且褐飞虱取食红良优后其$R_0$和$T$显著低于取食C两优和岳优时。褐飞虱取食5个水稻品种后其种群内禀增长率$r_m$和周限增长率$\lambda$由高到低均依次为岳优>C两优>深两优>华两优>红良优，且$r_m>0$，说明褐飞虱种群数量上升，且褐飞虱取食红良优后，其$r_m$和$\lambda$显著低于取食岳优时（表2）。表明对褐飞虱抗性最强的品种是红良优，其次是华两优，最感虫的品种为C两优和岳优。同时对取食5个水稻品种后褐飞虱的种群动态进行了模拟（图1），发现取食岳优和C两优后褐飞虱种群增长最快，取食红良优和华两优后褐飞虱种群增长最慢。

**表2 不同水稻品种对褐飞虱种群参数的影响**

Table 2 Effects of different rice varieties on the population parameters of *Nilaparvata lugens*

| 水稻品种 Rice variety | 净增殖率$R_0$ Net reproduction rate | 世代周期$T$ Mean generation time/d | 内禀增长率$r_m$ Intrinsic rate of increase | 周限增长率$\lambda$ Finite rate |
|---|---|---|---|---|
| C两优 C Liangyou | 101.13±18.00 a | 27.03±0.30 a | 0.171±0.006 ab | 1.191±0.008 ab |
| 岳优 Yueyou | 95.56±16.27 a | 26.28±0.28 ab | 0.173±0.007 a | 1.192±0.008 a |
| 深两优 Shenliangyou | 76.31±13.71 ab | 25.71±0.33 bc | 0.169±0.007 ab | 1.183±0.008 ab |
| 华两优 Hualiangyou | 52.32±10.17 b | 25.33±0.36 c | 0.156±0.008 ab | 1.171±0.009 ab |
| 红良优 Hongliangyou | 44.66±9.54 b | 25.07±0.32 c | 0.152±0.009 b | 1.164±0.010 b |

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示经paired bootstrap法检验在$P<0.05$水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by paired bootstrap test.

### 2.3 水稻品种对褐飞虱特定年龄-龄期生命期望的影响

褐飞虱取食5个水稻品种后各个发育阶段的特定年龄-龄期生命期望（$e_{xj}$）均随着年龄和发育龄期增加而呈现出逐渐降低的趋势，由高到低依次为岳优（32.56 d）>C两优（31.99 d）>深两优（29.86 d）>华两优（27.88 d）>红良优（27.10 d）（图2）。褐飞虱取食C两优、岳优、深两优以及华两优后的特定年龄-龄期生命期望无显著差异，取食红良优后的特定年龄-龄期生命期望最低。

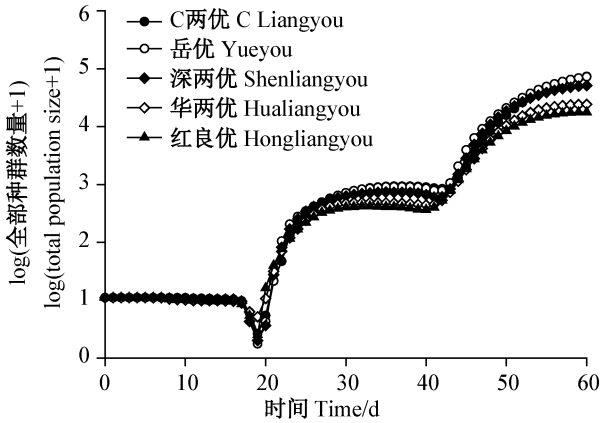


**图1 取食不同水稻品种后褐飞虱的种群数量模拟**

Fig. 1 Population number simulation of *Nilaparvata lugens* feeding on different rice varieties

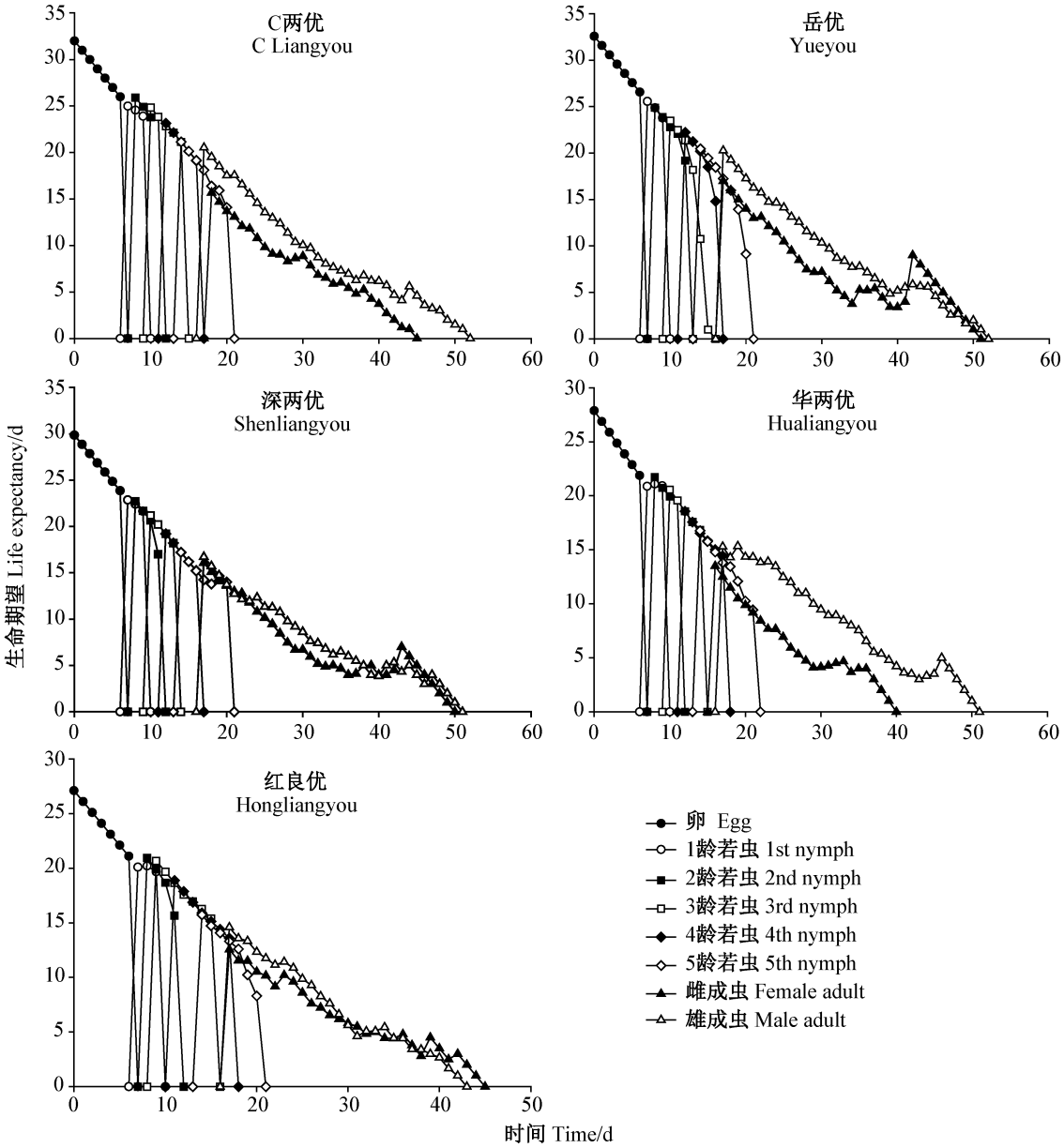


**图2 不同水稻品种对褐飞虱特定年龄–龄期生命期望($e_{xj}$)的影响**

Fig. 2 Effects of different rice varieties on the age-stage specific life expectancy ($e_{xj}$) of *Nilaparvata lugens*

### 2.4 水稻品种对褐飞虱特定年龄-龄期繁殖价值的影响

随着年龄和发育阶段的增长，取食5种水稻品种后褐飞虱的特定年龄-龄期繁殖价值($v_{xj}$)均呈现逐步上升的趋势，且达到峰值的年龄都无较大差异，随后逐渐下降，下降的幅度存在一定差异。当$v_{xj}$→0时，取食5种水稻品种后褐飞虱的年龄均处于40 d左右，其中取食深两优、华两优和红良优的种群年龄小于40 d，取食C两优和岳优的种群年龄大于40 d。在繁殖高峰期，取食C两优后的褐飞虱雌成虫特定年龄-龄期繁殖价值最高，对水稻的为害就最重；相反，取食红良优的褐飞虱雌成虫特定年龄-龄期繁殖价值最小，对水稻的为害就最轻，说明华中地区5个主栽水稻品种中，红良优不利于褐飞虱种群的繁殖(图3)。

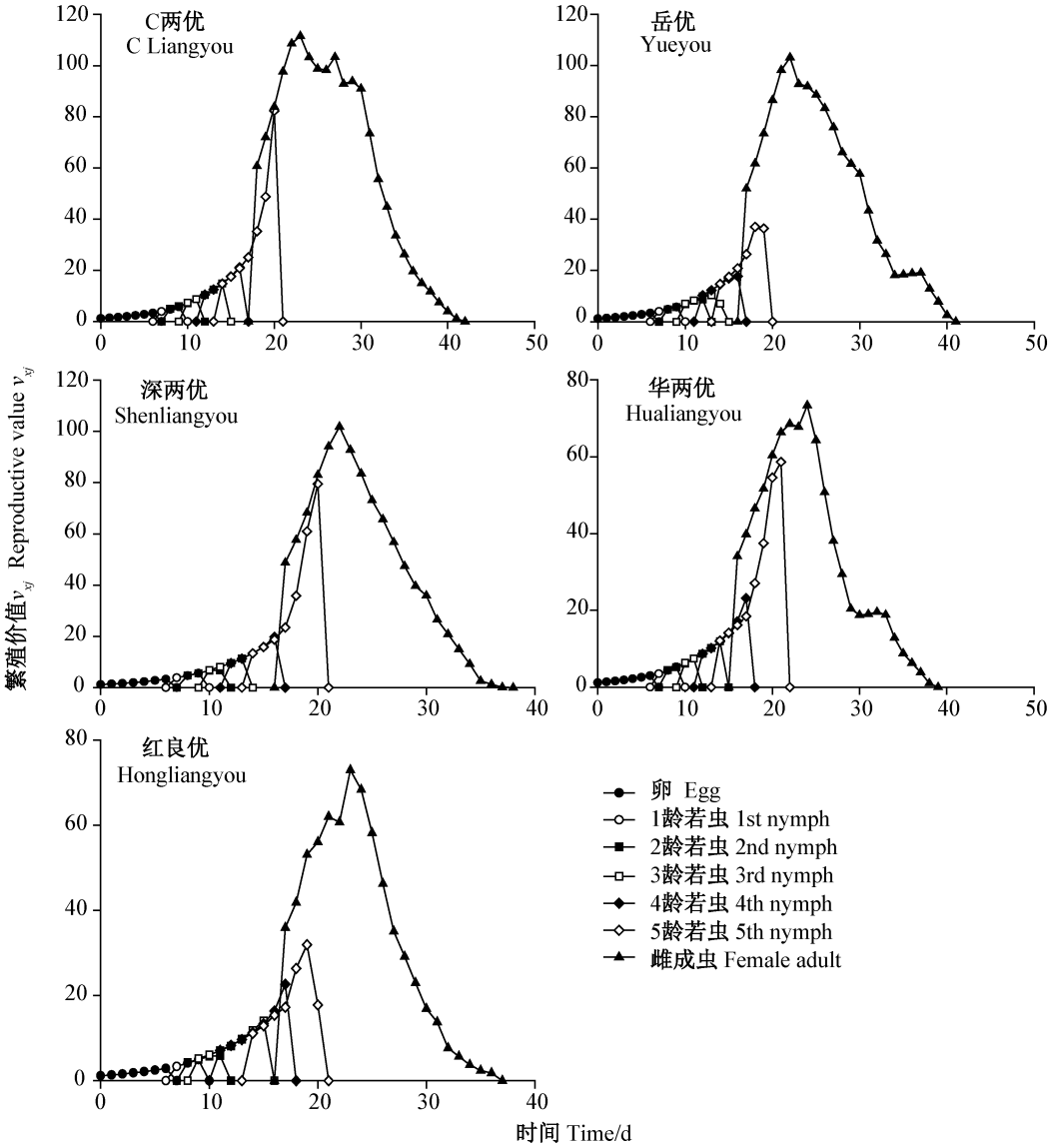


**图3 不同水稻品种对褐飞虱特定年龄-龄期繁殖价值($v_{xj}$)的影响**

Fig. 3 Effects of different varieties on the age-stage specific reproductive value ($v_{xj}$) of *Nilaparvata lugens*

### 2.5 水稻品种对褐飞虱特定年龄存活率和繁殖力的影响

从特定年龄存活率($l_x$)来看，取食红良优后褐飞虱的存活时间较取食其他4个品种时显著降低；从特定年龄-龄期繁殖力($f_{xj}$)可知，取食红良优的褐飞虱总产卵时间相较于取食其他4个品种的褐飞虱是最短的；结合特定年龄存活率($l_x$)得到的种群特定年龄繁殖力($m_x$)可以看出，取食红良的褐飞虱种群年龄特征净增殖率($l_x$×$m_x$)在产卵高峰期较取食其他4个品种时显著降低(图4)，表明红良优水稻品种对褐飞虱繁殖具有一定的抑制作用。

### 2.6 水稻品种对褐飞虱特定年龄-龄期存活率的影响

取食5个水稻品种后的褐飞虱特定年龄-龄期

存活率($s_{xj}$)存在显著差异，其中取食红良优后褐飞虱5龄若虫和雌成虫的存活率均显著低于取食其余4个品种时(图5)。

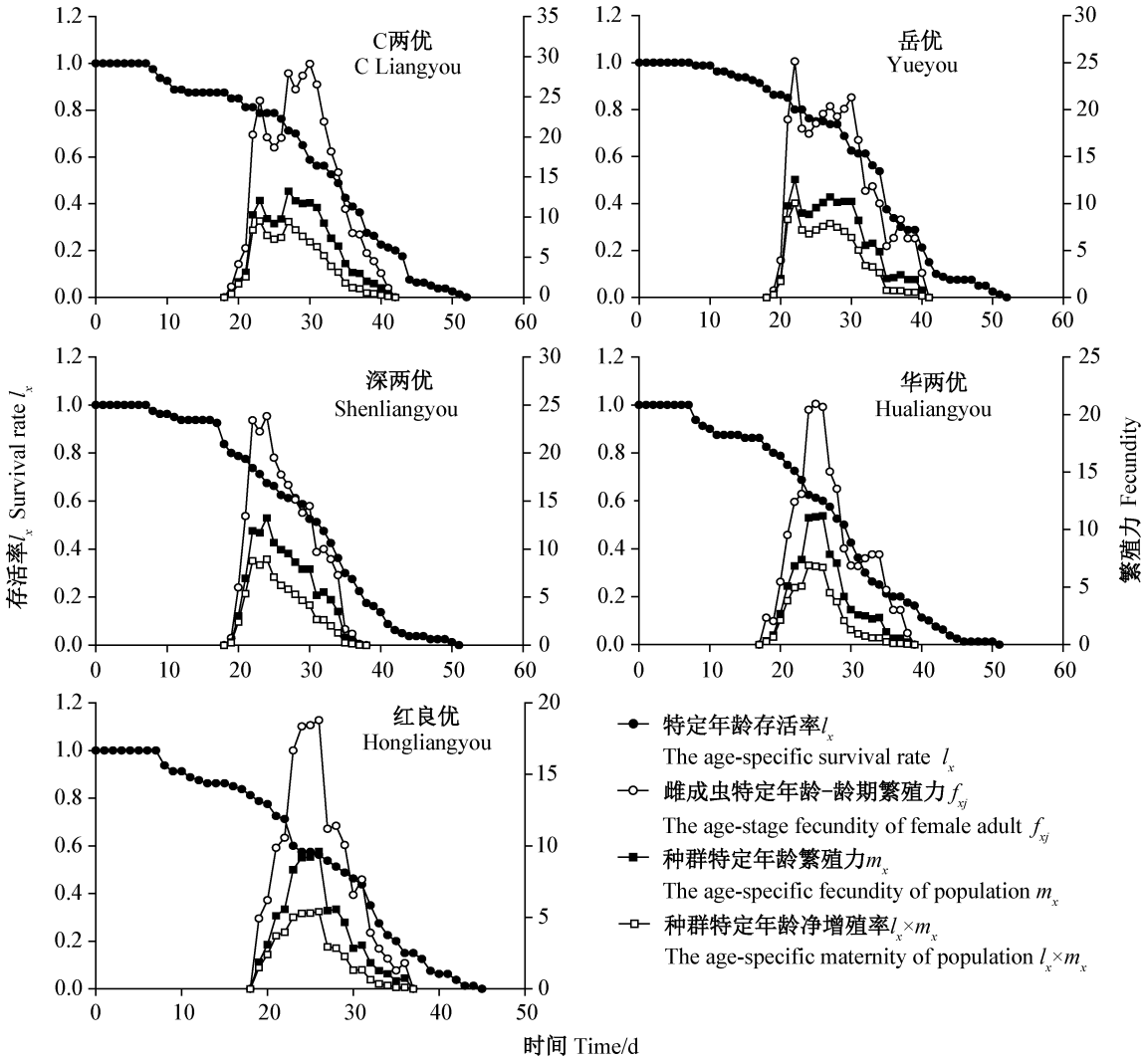


**图4 不同水稻品种对褐飞虱存活率和繁殖力的影响**

Fig. 4 Effects of different rice varieties on the survival rate and fecundity of *Nilaparvata lugens*

## 3 讨论

利用水稻品种自身抗性防治稻飞虱是现行最有效的防治措施之一。如在东南亚国家，目前生产中以推广抗稻飞虱的水稻品种为主(朱麟等，2002)。刘光杰等(2003)采用苗期群体筛选法、分蘖期蜜露量测定法和成株期田间自然种群发生鉴定法研究55个水稻品种对白背飞虱的抗性反应，发现在田间自然鉴定条件下，杂交稻比籼稻和粳稻品种更易感白背飞虱。肖英方等(2001)发现饲喂水稻抗性品种N22、包选2号和南京14等可以导致白背飞虱取食量减少、成活率和繁殖率降低，最终导致种群数量下降。本试验结果表明，褐飞虱取食华中地区5个主栽水稻品种后其生长发育和繁殖参数及种群动态均存在一定差异；在雌成虫寿命方面，取食华两优和红良优的褐飞虱雌成虫寿命显著低于取食C两优、岳优和深两优时；而在繁殖力方面，褐飞虱取食华两优和红良优后，其单雌产卵量较取食C两优、岳优和深两优时显著减少，表明华两优和红良优能够有效控制褐飞虱的繁殖，降低其种群数量，这2个品种更适合在华中地区推广应用。而丁识伯等(2012)以9个河南省主栽水稻品种饲喂褐飞虱，用生命表方法研究发现褐飞虱在各水稻品种上的产卵量、成虫寿命和发育历期等方面均存在显著差异，并且对褐飞虱的翅型分化有一定影响，其中青两优916最适合褐飞虱的生长发育和繁殖。与前述研究相比，本研究主要进行了室内饲养试验，但在实际田间应用时需考虑

到天气、天敌以及人为因素的综合影响，华两优和红良优的田间实践应用效果还需进行大田生测试验。

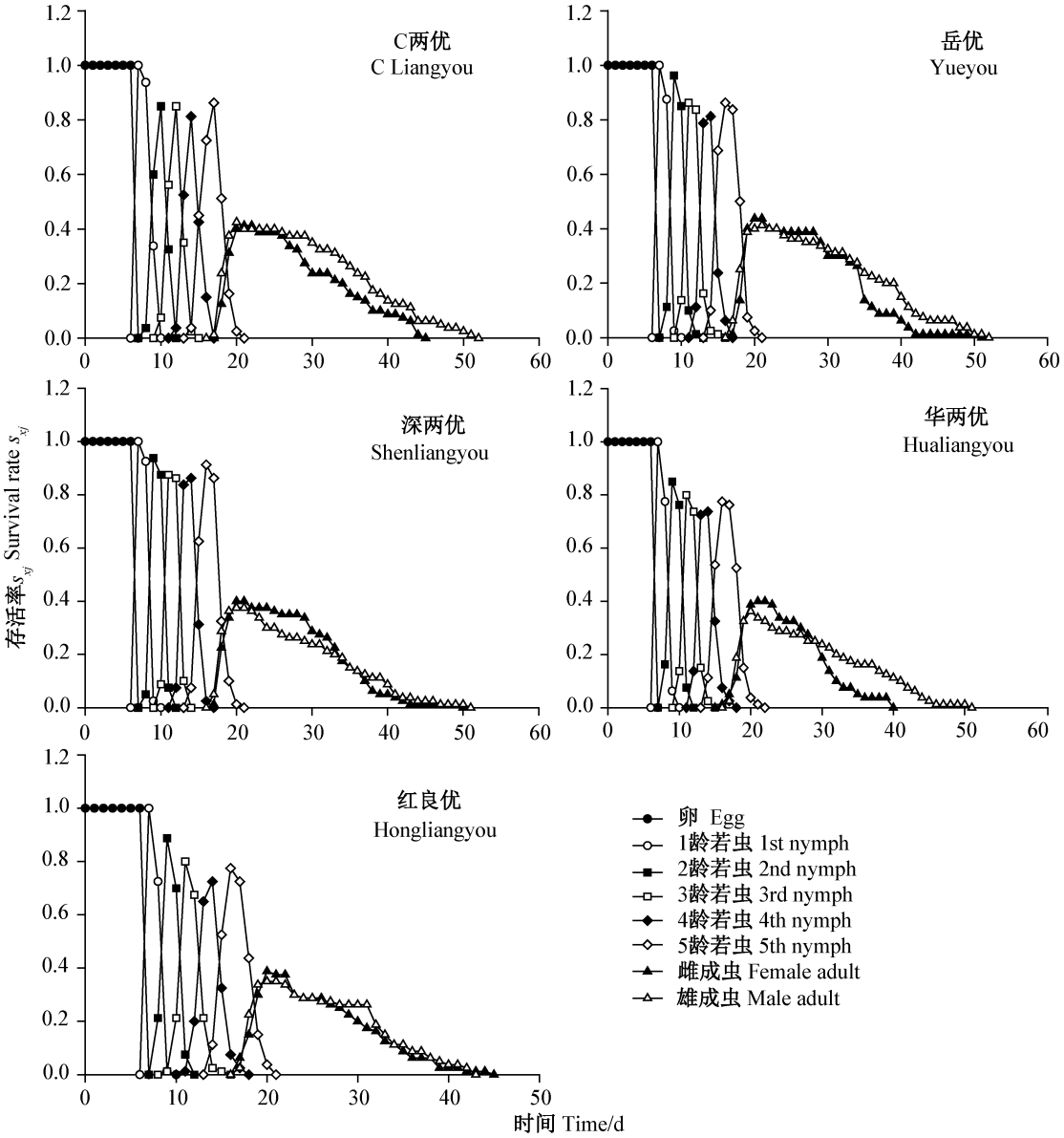


**图5 不同水稻品种对褐飞虱特定年龄-龄期存活率($s_{xj}$)的影响**

Fig. 5 Effects of different rice varieties on the age-stage survival rate ($s_{xj}$) of *Nilaparvata lugens*

生命表方法是昆虫种群生态学研究的基本方法，不仅可以鉴定水稻品种的抗性，而且可以监测褐飞虱种群对水稻抗性品种的适应性差异，以此作为确定褐飞虱最佳防治时期的依据（朱麟等，2002）。本研究采用两性生命表方法比较了华中地区5个主栽水稻品种对褐飞虱种群参数及种群动态的影响，发现褐飞虱在红良优上的净增殖率和内禀增长率最低，且内禀增长率大于0。一般情况下，昆虫种群的内禀增长率可以从侧面反映其对寄主的适应性和嗜食度，因此可进一步证明本研究中对褐飞虱抗较最强的水稻品种是红良优，其次是华两优。同时，本研究还发现红良优饲喂下褐飞虱种群增长最慢，且取食红良优的褐飞虱其繁殖和种群参数值均显著降低，表明红良优可作为华中地区主栽水稻品种来防控褐飞虱。

不同区域籼稻和粳稻品种对稻飞虱的生长发育和种群参数的影响均在显著差异。郑晓旭等（2020）评价了褐飞虱个体和种群对华中地区5个籼稻品种的取食适应性特征，发现取食齐两优908会显著降低褐飞虱的成活率，取食丰优989和深两优3117后其种群净增殖率最高。刘芳等（2007）研究结果表明，武粳15、武运粳7号和武运粳8号这3个粳稻品

种感灰飞虱，镇稻2号、徐稻3号、盐稻8号和扬粳9538这4个粳稻品种以及汕优63、协优63、协优136和丰优香占这4个杂交稻中抗或高抗灰飞虱。本研究结果显示，褐飞虱取食红良优后其雌成虫繁殖力较取食C两优、岳优和深两优时显著降低，这4种水稻虽然均为华中地区主栽水稻品种，但根据田间性状，红良优在田间茎秆健壮，其稻秆营养成分含量较低，不利于褐飞虱的繁殖。肖英方等(2001)认为抗性水稻体内游离氨基酸总量及可溶性糖含量低和苯酚含量高可能是导致白背飞虱抗生性的主要因素之一；刘芳等(2007)也发现水稻叶片草酸含量较高是部分水稻品种抗虫的原因，可抑制灰飞虱的取食和为害，表明营养物质含量低时供试水稻品种对灰飞虱表现抗性。推测红良优的营养成分含量相较于另外4个品种更低，从而抑制了褐飞虱的正常发育，这也与红良优饲喂后褐飞虱种群增长最慢的结果相吻合，红良优具体的营养成分及其含量有待后续试验进一步分析。当然，不同水稻品种对褐飞虱的影响是一个长期复杂的过程，本研究所涉及到的5个水稻品种对褐飞虱的适合度和种群数量均有不同影响，在筛选华中地区抗褐飞虱的水稻品种时，不能追求某一方面的抗虫效果，需要进行综合考虑，而且还需要在田间连续多年监测不同水稻品种对褐飞虱适合度和种群参数的影响。

## 参 考 文 献（References）


Cai ZJ, Zhou DY, Gao RC, Wang JH, Li JJ. 2016. Application of brown planthopper-resistant genes *Bph14* and *Bph15* in Japonica rice breeding. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 32(2): 257−261 (in Chinese) [蔡之军, 周德银, 高荣村, 王建华, 李金军. 2016. 水稻抗褐飞虱基因*Bph14*和*Bph15*在粳稻育种上的应用. 江苏农业学报, 32(2): 257−261]

Chen JM, Yu XP, Cheng JA, Zheng XS, Xu HX, Lü ZX, Zhang JF, Chen LZ. 2005. Plant tolerance against insect pests and its mechanisms: a review. Acta Entomologica Sinica, 48(2): 262−272 (in Chinese) [陈建明, 俞晓平, 程家安, 郑许松, 徐红星, 吕仲贤, 张珏锋, 陈列忠. 2005. 植物耐虫性研究进展. 昆虫学报, 48(2): 262−272]

Cheng P, Chen L, Qu SS, Yin YH, Tian FC, Peng BS, Wu S, Li TM, Xu XH, Zhou WY. 2015. Research progress in breeding of BPH-resistant rice varieties. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 43(24): 92−94, 103 (in Chinese) [程攀, 陈龙, 曲姗姗, 阴云伙, 田发春, 彭炳生, 吴帅, 李土明, 徐小红, 周卫营. 2015. 抗褐飞虱水稻品种选育研究进展. 安徽农业科学, 43(24): 92−94, 103]

Cheng XN, Wu JJ, Ma F. 2003. Research and prevention of *Nilaparvata lugens* (Stål). Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [程遐年, 吴进才, 马飞. 2003. 褐飞虱研究与防治. 北京: 中国农业出版社]

Chi H. 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. Environmental Entomology, 17: 26−34

Chi H. 2017. TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. Taichung, Taiwan, China: Chung Hsing University, http://140.120.197.173/Ecology/Download /TWOSEX-MSChart.Zip

Chi H, Liu H. 1985. Two new methods for study of insect population ecology. Bulletin of the Institute of Zoology, 24(2): 225−240

Deng F, Ni S, Chen HQ, Wang YX, Hu GW, Wang KJ, Li SJ, Zhu XD. 2016. Resistance evaluation of rice improved lines to brown planthopper and white-backed planthopper. Chinese Agricultural Science Bulletin, 32(3): 16−21 (in Chinese) [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. The development and life table parameters of *Nilaparvata lugens* (Stål) feeding on nine rice varieties. Journal of Plant Protection, 39(4): 334−340 (in Chinese) [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]

Hao SG, Cheng XN, Zhang XX. 2000. Effects of nine rice varieties on survival and oviposition of *Nilaparvata lugens* (Stål). Journal of Nanjing Agricultural University, 23(2): 39−42 (in Chinese) [郝树广, 程遐年, 张孝羲. 2000. 9个水稻品种对褐飞虱存活与繁殖的影响. 南京农业大学学报, 23(2): 39−42]

Huang SS, Huang FK, Wu BQ, Liang ML, Yan Y, Su XJ, Chen CH. 2014. Resistance evaluation of new rice varieties (combinations) to rice brown planthopper (*Nilaparvata lugens*). Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 27(5): 1919−1923 (in Chinese) [黄所生, 黄凤宽, 吴碧球, 梁曼玲, 阎勇, 粟学俊, 陈彩虹. 2014. 水稻新品种(组合)对褐飞虱的抗性评价. 西南农业学报, 27(5): 1919−1923]

Li CF, Gong DP, Cai MY, Gong WL. 2019. Harm and comprehensive control of rice brown planthopper. Modern Agriculture Research, (9): 77−78, 8 (in Chinese) [李春凤, 龚德平, 蔡美仲, 龚文柳. 2019. 水稻褐飞虱的危害与综合防治. 现代农业研究, (9): 77−78, 8]

Li T, Li CC, Sun FY, Shi X. 2017. Looking back the hot spots in crop science in 2016. Science and Technology Review, 35(1): 78−85 (in Chinese) [李韬, 李长成, 孙发宇, 施璇. 2017. 2016年作物科学热点回眸. 科技导报, 35(1): 78−85]

Liang YC, Hua HX, 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 F, Song Y, Bao SW, Lu HY, Zhu SD, Liang GH. 2007. Resistance to small brown planthopper and its mechanism in rice varieties. Journal of Plant Protection, 34(5): 449−454 (in Chinese) [刘芳, 宋英, 包善微, 卢海燕, 祝树德, 梁国华. 2007. 水稻品种对灰飞

虱的抗性及其机制. 植物保护学报, 34(5): 449−454]

Liu GJ, Shen JH, Kazushige S, Wang H, Xie XM. 2003. The quantitative indices in evolution for the resistance to the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* in some Chinese rice. Chinese Journal of Plant Protection, 30(2): 153−160 (in Chinese) [刘光杰, 沈君辉, 寒川一成, 王慧, 谢雪梅. 2003. 水稻品种抗白背飞虱鉴定的定量指标. 植物保护学报, 30(2): 153−160]

Liu YF, Li RB, Yang L, Yang XQ, Huang FK, Wei SM, Lü WL. 2007. Advances in resistance genes of brown planthopper in rice. Guangxi Agricultural Sciences, 38(1): 11−15 (in Chinese) [刘宇锋, 李容柏, 杨朗, 杨新庆, 黄凤宽, 韦素美, 吕维莉. 2007. 水稻褐飞虱抗性基因研究进展. 广西农业科学, 38(1): 11−15]

Ren XM, Xiang C, Lei DY, Guan LF. 2017. Present status and prospect of resistance breeding of brown planthopper in rice. Crop Research, 31(4): 453−458, 462 (in Chinese) [任西明, 向聪, 雷东阳, 管利凤. 2017. 水稻抗褐飞虱育种研究进展与展望. 作物研究, 31(4): 453−458, 462]

Shang KK, Xu XL, Wang H, Hu DB, Zhang QL, Yang CJ, Hua HX. 2011. Resistance to brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) of 16 rice varieties (lines). Chinese Journal of Applied Entomology, 48(5): 1335−1340 (in Chinese) [商科科, 徐雪亮, 王晖, 胡定邦, 张青玲, 杨长举, 华红霞. 2011. 十六个水稻品种(系)对褐飞虱的抗虫性评价. 应用昆虫学报, 48(5): 1335−1340]

Srivastava C, Chander S, Sinha SR, Palta RK. 2011. Toxicity of various insecticides against Delhi and Palla population of brown plant hopper (*Nilaparvata lugens*). Indian Journal of Agricultural Sciences, 79(12): 1003−1006

Tuan SJ, Yeh CC, Atlihan R, Chi H. 2016. Linking life table and predation rate for biological control: a comparative study of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera: Pentatomidae) fed on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Journal of Economic Entomology, 19(1): 13−24

Xiao HX, Li YF, Ling SF, Zhang Y, Zhang ZF, Li YF, Liu MJ. 2018. Resistance of *Nilaparvata lugens* (Stål) populations to four types of insecticides in Guangdong Province. Journal of South China Agricultural University, 39(2): 70−74 (in Chinese) [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]

Xiao YF, Zhang CZ, Gu ZY. 2001. Studied on the relationship between resistance to whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Horvath) and contents of some metabolites in rice varieties. Journal of Plant Protection, 28(3): 198−202 (in Chinese) [肖英方, 张存政, 顾正远. 2001. 水稻品种对白背飞虱的抗性机理. 植物保护学报, 28(3): 198−202]

Wang LQ, Li LX, Chen LJ, Li J, Xu XL, Yao YJ, Yang CJ, Hua HX. 2009. Resistance in several new rice varieties (lines) to brown planthopper (*Nilaparvata lugens*). Chinese agricultural Science Bulletin, 25(20): 253−257 (in Chinese) [王梁全, 李兰秀, 陈连举, 李洁, 徐雪亮, 姚英娟, 杨长举, 华红霞. 2009. 几个水稻新品种(系)对褐飞虱的抗性评价. 中国农学通报, 25(20): 253−257]

Zeng B, Sun SX, Wang J. 2018. Registration of main rice varieties and its application in recent 30 years in China. Crops, (2): 1−5 (in Chinese) [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]

Zheng XX, Zhao MH, He SJ, Li XM, Yang FL, Wu G. 2020. Effects of five different rice varieties on the life history and population dynamics of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* in central China. Chinese Journal of Applied Entomology, 57(1): 142−152 (in Chinese) [郑晓旭, 赵慕华, 何帅洁, 李雪梅, 杨凤连, 吴刚. 2020. 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. 应用昆虫学报, 57(1): 142−152]

Zhu L, Zhang GR, Gu DX. 2002. Influence of resistant rice varieties to the population parameters of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*. Entomological Knowledge, 39(4): 265−268 (in Chinese) [朱麟, 张古忍, 古德祥. 2002. 抗性水稻品种对褐飞虱和白背飞虱种群参数的影响. 昆虫知识, 39(4): 265−268]

（责任编辑：李美娟）