

# 白背飞虱长、短翅型成虫实验种群生物学比较

祝增荣 程家安 刘永军

(浙江大学 农业与生物技术学院 应用昆虫学研究所, 浙江 杭州 310029; E-mail: z.zhu@cgiar.org; zrzhu@zju.edu.cn)

## A Comparison of Population Biology of Macropterous and Brachypterous Adults of *Sogatella furcifera* (Horvath)

ZHU Zeng-rong, CHENG Jia-an, LIU Yong-jun

(Institute of Applied Entomology, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; E-mail: z.zhu@cgiar.org; zrzhu@zju.edu.cn)

**Abstract:** Life history traits of winged (macropterous) and flightless (brachypterous) females of the rice white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae) were compared under controlled favorite laboratory conditions (rice seedlings of susceptible variety TN1 as host plant, in a walk-in incubator under 26 °C, RH85%). Although the total fecundity of the two wing forms of adults were almost equal (704 eggs/female), the brachypters shortened their nymphal development duration and preoviposition period, reached their oviposition peak earlier, therefore increased their intrinsic rate of increase ( $r_m$ ). The survival rates of both wing forms were equally closed to 100% in the first 5 days after emergence, thereafter, macropters survived better than brachypters, so the longevity of macropters was longer than brachypters. The higher regression coefficient in the significant positive relationship between the fecundity and the total fecundity of brachypters than macropters indicated that brachypterous females with the same age as macropters females were proportionally more fecund. The experiments showed that brachypters of *S. furcifera* had significant life historical advantages compared to macropters, though their total fecundities were same.

**Key words:** *Sogatella furcifera*; macropter; brachypter; development; fecundity; survivorship; life history trait

**摘要:**在食物(TN1)和环境条件(26 °C、RH为85%)均优越的条件下,比较了白背飞虱长翅和短翅两种翅型成虫在若虫历期、产卵前期、繁殖动态、寿命及种群增长参数等方面的差异。尽管两种翅型雌虫的总产卵量接近(704粒/雌),但短翅型雌虫的若虫历期和产卵前期均较短、产卵高峰到来时间较早、前期产卵量比例较高,因而内禀增长力较高。两种翅型雌虫的存活率在羽化后前5 d内均接近100%,之后长翅型较高。短翅型雌虫的寿命显著短于长翅型。两种翅型白背飞虱在寿命与产卵量间均存在极显著正相关线性关系,相同寿命的两种翅型个体,短翅型的产卵量较高。本实验表明,即使两翅型的总生殖力相同,短翅型仍具有优于长翅型的生活史优越性,换言之,长翅型成虫翅膀及其相关器官的构建是以其发育和生殖延迟为代价的。

**关键词:** 白背飞虱; 长翅型; 短翅型; 发育; 繁殖力; 存活率; 生活史

中图分类号: S186; S435.112<sup>+</sup>.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2001)03-0229-04

翅多态现象在很多昆虫诸如同翅目、半翅目、直翅目和鞘翅目中都有出现。飞虱、蚜虫等翅二型现象特别明显。Roff认为翅多态对产卵和飞行具有相当影响,他研究发现昆虫吸收的营养一部分用于翅发育,另一部分用于产卵<sup>[1]</sup>。所以一般来说,长翅型的成虫由于部分能量用于构建翅膀和飞行肌,其产卵量要少于短翅型成虫,如蟋蟀、蚜虫、水龟、划蝽、豆象甲等昆虫均是如此,这就是“与飞行能力相关的适合度成本假说”<sup>[1,2]</sup>。但是,许多学者对多种翅二型飞虱如美洲大米草飞虱 *Prokelisia marginata*<sup>[3]</sup> 和某些条件下的褐飞虱 *Nilaparvata lugens*<sup>[3,4]</sup> 的产卵量分析后发现,长、短翅型成虫的总产卵量并没有显著差异。

白背飞虱 *Sogatella furcifera* 是水稻的主要害虫之一,在我国南方及东南亚国家产稻区都有分布,其成虫有能长距离迁飞的长翅型和不能迁飞的短翅型两类<sup>[5]</sup>。现有文献认为两种翅型的产卵量基本一致<sup>[6,7]</sup>或没区分两翅型的产卵量<sup>[8]</sup>。由于这些实验非专门针对翅型的差异,而且样本数量也不大,故尚难以得出确定的结论。若不同翅型成虫的产卵总量

收稿日期: 2000-12-22; 修改稿收到日期: 2001-02-26。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(39630200); International Foundation for Science(C/1730-2)。

第一作者简介: 祝增荣(1963—),男,博士,副教授。

相同,那么短翅型的优势又何在?为明确白背飞虱两种翅型成虫在发育历期、存活率、寿命、尤其繁殖动态等生物学特性的差异,从而评价两种翅型白背飞虱在种群动态中的作用和地位,进行了以下研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 稻苗

取无抗性基因、高感白背飞虱的台中在来1号(TN1)种子(中国水稻研究所提供)浸种1 d,放在30~32℃的培养箱内催芽1 d后,播种在网室田块中,20多天后备用。分期播种,保证所用秧苗秧龄在20~30 d。

### 1.2 供试虫源

1999年7月19日从浙江大学华家池校园农场稻田内盆拍提取白背飞虱成虫,分别吸取雌雄3~4对放入栽有TN1水稻苗的塑料杯(8 cm×10 cm)中,并用一个高25 cm左右、直径为6 cm左右的塑料罩(旁边有直径为2~3 cm并用细纱网封住的透气孔)罩住,放在室温下产卵2 d后将飞虱成虫取出,产卵苗放置在26℃、RH85%左右,灯光照明时间为14 h光照;10 h黑暗的人工气候室内,每天定时观察,直到孵化。

### 1.3 实验处理

将每天初孵若虫接到有一株TN1洁净稻苗的1.8 cm×18 cm试管内(每管1只),加入1~2 mL的木村B营养液<sup>[9,10]</sup>,并用纱布及橡皮筋封好试管口(该实验方法已广泛用于水稻-飞虱-天敌的相互关系研究,效果可靠<sup>[11]</sup>),接虫总数共640头。每天定时观察若虫的存活情况,及时加营养液。成虫羽化当天,将雌成虫和雄成虫配对,长、短翅型雌虫分别达到70头,置于上述试管稻苗内,每管一苗一对飞虱,每天换苗,若雄虫死亡,则从后备虫源中补充,以消除雌虫交配次数的可能影响。双筒镜下解剖换出稻苗,记录每株稻苗所含白背飞虱各卵块卵量,计总产卵量,直到雌性飞虱死亡。

### 1.5 数据分析

利用 $t$ -检验两种翅型飞虱若虫历期、产卵前期、寿命、卵块大小和平均总产卵量的差异。根据本实验结果,以0.5作为性比将每日产卵量转换成产雌性后代数,组建生殖力表,计算比较两种翅型白背飞虱的以下种群增长特征参数:种群增长倍数 $R_0 = \sum l_x m_x$ ,世代历期 $T = \sum l_x m_x x / \sum l_x m_x$ ,内禀增长能力 $r_m = \ln R_0 / T$ ,周限增长力 $\lambda = \exp(r_m)$ ,种群加倍时间 $PDT = \ln(2/r_m)$ ,其中 $l_x$ 、 $m_x$ 分别为年龄为 $x$ d时的存活率和生殖力(每日每雌产卵数)。反映每头白背飞虱产卵总量( $Y$ , 卵量/雌)和寿命( $X$ , d)间的关系则用一元直线回归分析法。

## 2 结果

### 2.1 不同翅型白背飞虱的若虫历期和产卵前期比较

结果表明,白背飞虱长翅型雌虫的若虫历期为12.80 d±0.05 d( $n=224$ ),短翅型雌虫为12.30 d±0.09 d( $n=81$ ),长翅型雄虫为12.34 d±0.05 d( $n=296$ ),方差分析及多重比较表明长翅型雌虫的若虫历期明显长于短翅型雌虫和长翅型雄虫( $P<0.05$ ),而后两者间则无显著差异( $P>0.05$ )。长翅型雌虫的产卵前期为3.39 d±0.08 d( $n=70$ ),

短翅型为2.75 d±0.05 d( $n=70$ ),后者显著较短( $t$ 检验, $P<0.05$ ),即短翅型雌虫的产卵前期明显短于长翅型雌虫。

### 2.2 不同翅型白背飞虱雌虫的卵块大小

整个成虫期白背飞虱长、短翅型成虫所产卵块大小(clutch size)无显著差异(长翅型:6.53±0.14,短翅型6.62±0.15, $t=0.61$ , $P>0.05$ ,平均变异系数分别为19.0%和21.9%)。但各阶段不一致(图1),羽化后7 d内,短翅型所产卵块(7.42±0.15)极显著大于长翅型所产的卵块(7.06±0.13)(成对样本 $t$ 检验, $t=1.9432$ , $df=6$ , $P<0.01$ ),前者的变异系数(11.4%)小于后者的(15.6%)。羽化后第8~22天,两类卵块大小无显著差异(短翅型的为6.41±0.19,长翅型的为6.49±0.16, $t=1.76$ , $P=0.53$ ),但该阶段短翅型各日所产卵块大小的变异系数(平均为17.3%)均大于长翅型的(平均为10.8%)。从羽化后第22天起,由于存活的雌成虫数量逐渐下降,两类卵块大小变动幅度加大,其变异系数振幅达23%~86%。将羽化后1~22 d的卵块大小( $Y$ )对羽化后天数( $X$ )作回归分析,得:

长翅型:  $Y = 7.4526 - 0.06769X$ ,  $r = -0.7332$ ,  $P < 0.01$ ;  $b = -0.06769 < 0$ ,  $Se = 0.01404$ ,  $t = 4.8218$ ,  $P < 0.01$ ;

短翅型:  $Y = 7.8200 - 0.09467X$ ,  $r = -0.7820$ ,  $P < 0.01$ ;  $b = -0.09467 < 0$ ,  $Se = 0.016869$ ,  $t = 5.6117$ ,  $P < 0.01$ 。

可见两类翅型成虫所产卵块大小随着年龄增加而显著下降。

### 2.3 不同翅型白背飞虱雌虫的存活率与繁殖力比较

羽化后前5 d,长、短翅型存活率几乎相同,均接近100%,从第6天开始短翅型存活率低于长翅型的存活率(图2-A)。长翅型白背飞虱雌虫的平均寿命为18.71 d±0.84 d( $n=70$ ),显著长于短翅型的15.91 d±0.74 d( $n=70$ )( $t$ 检验, $t=2.51$ , $P<0.05$ )。存活最长的为一只长翅型雌虫,为33 d;短翅型雌虫最长的为31 d。

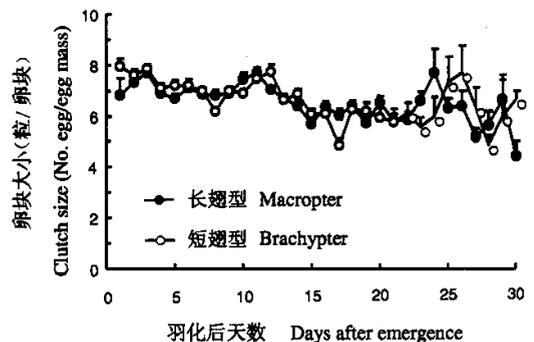


图1 白背飞虱长翅型和短翅型成虫一生所产卵块大小的动态变化。

Fig. 1. Fluctuation of clutch size laid by macropterous and brachypterous adults of *Sogatella furcifera* during whole life span.

长翅型雌虫一生的总产卵量范围为 40~1280 粒/雌,其平均产卵总量为  $704.30 \pm 34.83$  粒/雌 ( $n=70$ ),短翅型一生的总产卵量范围为 0~1436 粒/雌,其平均为  $703.64 \pm 35.68$  粒/雌 ( $n=70$ ),两者无显著差异( $t$  检验,  $t=0.0132$ ,  $P>0.05$ )。即使去除短翅型雌虫中寿命为 4 d 未产卵即死亡的一只,其平均产卵量为  $713.84 \pm 34.69$  粒/雌 ( $n=69$ ),长、短翅型间仍然无显著差异( $t=1.98$ ,  $P=0.85$ )。但两者在产卵的时间特征上存在差异:羽化后前 6 d,短翅型产卵量高于长翅型,第 7~14 天两者相差不大,后期则长翅型高于短翅型(图 2-B)。短翅型产卵高峰到来的时间早于长翅型。

从两种翅型白背飞虱累计产卵量动态曲线(图 3-A)可见:短翅型增长较快,只是到了羽化 25 d 之后两翅型才彼此接近;其差值随时间呈偏钟形变化,在羽化后 5~15 d 两者的差值达到最大(图 3-B)。从产卵累积百分率来看,羽化后绝大多数时间内均是短翅型高于长翅型,只是在后期两者才较为接近(图 3-C)。亦即与长翅型雌虫相比,短翅型雌虫产于前期的

卵量比例(在总卵量中的比例)相对较高。

### 2.4 不同翅型白背飞虱存活时间与产卵量间的关系分析

分析表明,产卵量( $Y$ )与存活天数( $X$ )存在极显著线性关系,长翅型雌虫为  $Y=37.947X-5.858$ ,  $r=0.9139$ ,  $P<0.01$ ;短翅型雌虫为  $Y=44.474X-4.127$ ,  $r=0.9162$ ,  $P<0.01$ 。表明两种翅型成虫中,寿命较长的个体其产卵量均较高。由于短翅型的回归系数(44.474)大于长翅型(37.947),故对相同寿命的长翅型和短翅型个体,产卵量以短翅型的较高。

### 2.5 不同翅型白背飞虱种群增长参数的比较

分析表明,两种翅型白背飞虱的种群净增长力  $R_0$  相同。长翅型的世代历期  $T$  为 23.77 d,短翅型为 21.18 d,前者较长。长翅型的周限增长力  $\lambda$  为 1.28,短翅型为 1.32,后者稍高。长翅型的种群加倍时间 PDT 为 2.81 d,短翅型为 2.50 d,前者较长。长翅型的内禀增长力  $r_m$  为 0.25,短翅型的为 0.28,后者相对较高。

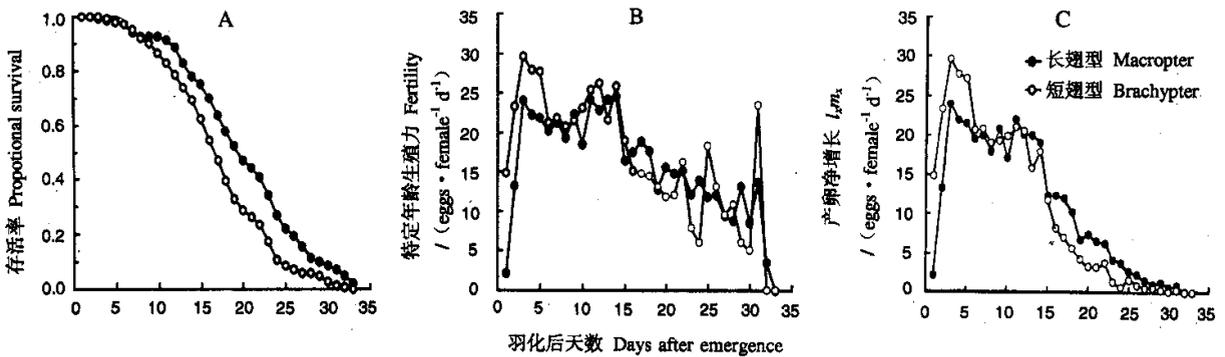


图 2 两种翅型各 70 只白背飞虱雌虫存活率( $L_x$ )(A)、平均产卵量( $m_x$ )(B)和种群净增长力( $L_x m_x$ )(C)的比较  
Fig. 2. Comparison of fluctuation of survivorship( $L_x$ )(A), mean fecundity( $m_x$ )(B) and net reproductive function( $L_x m_x$ )(C) schedules for seventy females of macropters and brachypters of *Sogatella furcifera*.

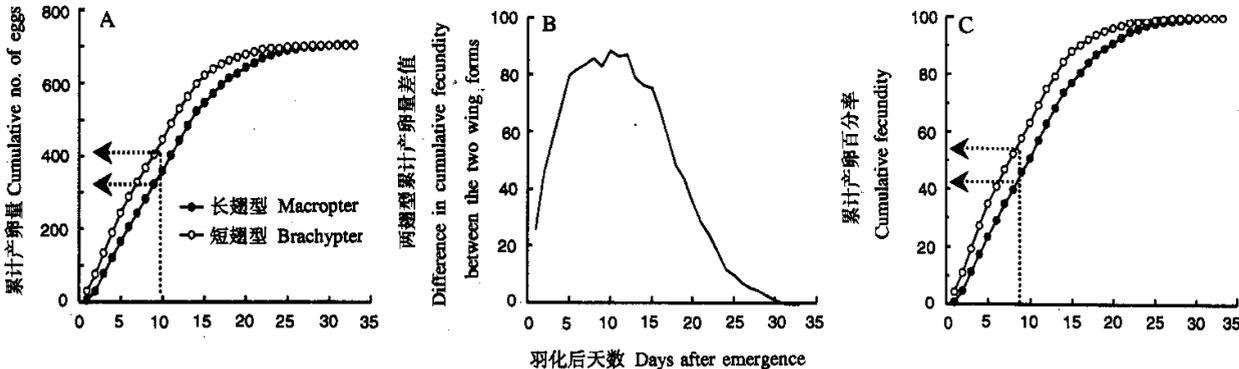


图 3 白背飞虱两翅型的累计产卵量动态(A)、两翅型累计产卵量之差(B)和两种翅型累计产卵量之百分比(C)  
Fig. 3. Cumulative (daily) fecundity for the brachypters and macropters of *Sogatella furcifera* (A), the difference in cumulative fecundity between the two wing forms(B), expression cumulative (daily) fecundity as a percentage of total fecundity isolates(C).  
虚线所表示的为田间实际条件寿命时两翅型的产出卵量(A)和累计百分率(C)。

The effect of reproductive timing on realized fecundity between the two wing forms.

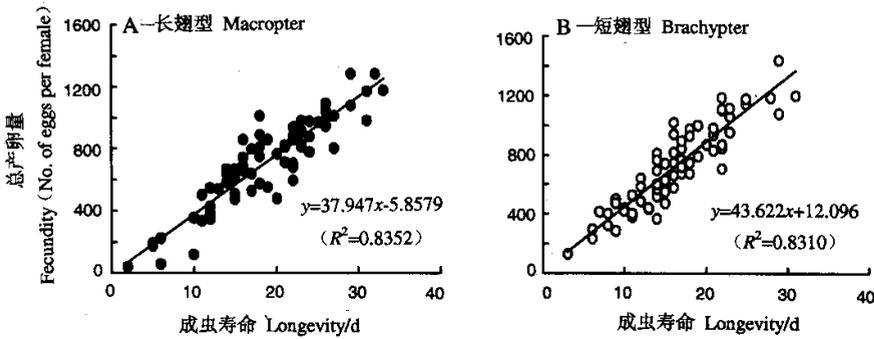


图4 白背飞虱长翅型(A)和短翅型(B)雌成虫寿命与总生殖力的关系

Fig. 4. Relationship between longevity and total fecundity for macropters (A) and brachypters (B) of *Sogatella furcifera*.

### 3 讨论

本研究在提供最优越的食物条件,并排除任何天敌的伤害,也在最好的环境(26°C、RH85%)下,白背飞虱的生命潜能得到了应有的发挥,若虫期存活率几乎达到了100%(数据未列出),其大样本的平均产卵总量达到了704粒/雌,为有关该飞虱的已有报道文献中最大者<sup>[3,5,8,12]</sup>。这种情况与美洲大米草飞虱 *Prokelisia marginata* 相似,但与美洲另一大米草飞虱 *Prokelisia dolus*<sup>[3]</sup> 和多数情况下的褐飞虱等不一致<sup>[3,13]</sup>。显然,短翅型白背飞虱没有飞行能力<sup>[2,6,12]</sup>,但它总产卵量又不高于长翅型成虫的,那么为什么白背飞虱在进化过程中还会出现短翅型呢?本实验结果可以部分解释这一现象:第一,短翅型雌虫的若虫历期和产卵前期均比长翅型雌虫的短,因而起始产卵时间较早;第二,在存活率几乎相同的羽化后前7d内,短翅型雌虫所产卵块比长翅型的大(图1),而且其每日 $m_x$ 大于长翅型的(图2-B),说明短翅型成虫将相同的时间资源花在产卵的比例比长翅型的多<sup>[14]</sup>,这明显与短翅型较安静而长翅型较好动有关;第三,在羽化后的前7d内短翅型成虫达到产卵高峰较早。从理论推算可知未成熟期越短,产卵高峰越早,其 $r_m$ 越高,本实验结果正是如此。而且,在自然条件下,白背飞虱的平均寿命仅为8.6(3~17)d<sup>[15]</sup>。联系本文结果可知,在这一时间段内,短翅型白背飞虱产出的卵量(约400,图3-A)和比例(约55%,图3-C)要明显高于长翅型的(分别为约300和42%);虽然长、短翅型成虫期寿命越长其产卵量都越高(图4),但单位时间内短翅型的卵增加量比长翅型的多。因此短翅型白背飞虱雌虫具备长翅型雌虫不具备的优点。

另一方面,从长翅型角度而言,长翅型成虫分化的功能为扩散、迁飞至新的栖息地,建立新的种群繁衍下一代。本实验结果表明长翅型雌虫的若虫历期、产卵前期及产卵高峰期均比短翅型的显著延迟,因而其 $r_m$ 较小,这与其他几种翅型飞虱的研究结果是一致的<sup>[2,3,12]</sup>,可见长翅型翅膀及其相关器官的构建是以其发育和生殖延迟、生殖力降低为代价

的<sup>[2,12,13]</sup>,也即扩散能力与繁殖成功间存在一定的均衡(trade-off)<sup>[1~3,12,13]</sup>。

### 参考文献:

- Roff D A. The cost of being able to fly: a study of wing polymorphism in two species of crickets [J]. *Oecologia*, 1984, 63: 30~37
- Denno R F. Life history variation in planthoppers [A]. In: Denno R F, Perfect T J. Planthoppers: Their Ecology and Management [C]. New York: Chapman & Hall, 1994. 163~215
- Denno R F, Olmstead K L, McCloud E S. Reproductive cost of flight capability: a comparison of life history traits in wing dimorphic planthoppers [J]. *Ecol Entomol*, 1989, 14: 31~44
- 刘光杰, 寒川一成, 沈丽丽. 褐飞虱成虫翅型分化研究 [J]. 昆虫知识, 2000, 37(3): 186~190
- 祝增荣. 第5章, 稻飞虱类 [A]. 见: 程家安. 水稻害虫 [M]. 北京: 农业出版社, 1996. 80~102
- Kisimoto R. Studies on the polymorphism and its role playing in the population growth of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. [J]. *Bull Shikoku Agri Exp Stat*, 1965, 13: 1~106
- Wamburu P G. Ecological characteristics and interactions of a migratory planthopper *Sogatella furcifera* (Horvath) with a parasitoid wasp *Anagrus longitubulosus* Pang et Wang as affected by rice variety [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 1998
- 冯炳灿, 黄次伟, 王焕弟, 等. 温度对白背飞虱种群增长的影响 [J]. 昆虫学报, 1985, 28(4): 390~397
- 陈守仁. 植物生理学手册 [M]. 北京: 科学出版社, 1975
- Yoshida S. Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice [M]. 3rd ed. Los Banos, Philippines: IRRI, 1976
- 祝增荣, 程家安, 陈秀. 温度和食物对稻飞虱小蜂发育、存活和繁殖的影响 [J]. 生态学报, 1991, 11(1): 66~72
- Denno R F, Roderick G K. Population biology of planthoppers [J]. *Ann Rev Entomol*, 1990, 35: 489~520
- Denno R F, Peterson M A. Caught between the devil and the deep blue sea, mobile planthoppers elude natural enemies and deteriorating host plants [J]. *American Entomologist*, 2000, 46(2): 95~109
- 祝增荣, 程家安, 陈秀. 昆虫窝卵数: 现象及其解释 [J]. 大自然探索, 1994, 13(3): 48~51
- 祝增荣. 亚热带水稻白背飞虱种群生态学和治理策略的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 1999