

# 抗虫水稻品种上饲养的白背飞虱种群的致害性变化

沈君辉<sup>1</sup> 王 燕<sup>2</sup> 寒川一成<sup>3</sup> 服部 诚<sup>4</sup> 刘光杰<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国水稻研究所 国家水稻改良中心, 浙江 杭州 310006; E-mail: ps2000@mail. hz. zj. cn; <sup>2</sup> 江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045; <sup>3</sup> 日本国际农林水产业研究中心, 日本 筑波 305-8686; <sup>4</sup> 日本国家农业生物资源研究所, 日本 筑波 305-8634)

## Monitoring the Changes in Virulence of Different Populations of the Whitebacked Planthopper, *Sogatella furcifera* Rearing on Resistant Rice Varieties

SHEN Jun-hui<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>2</sup>, SOGAWA Kazushige<sup>3</sup>, HATTORI Makoto<sup>4</sup>, LIU Guang-jie<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Chinese National Center for Rice Improvement, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; E-mail: ps2000@mail. hz. zj. cn; <sup>2</sup> College of Agriculture, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; <sup>3</sup> Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba 305-8686, Japan; <sup>4</sup> National Institute of Agrobiological Sciences, Tsukuba 305-8634, Japan)

**Abstract:** ARC colony and ND colony were obtained by maintaining the whitebacked planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera* Horváth, exclusively on ARC10239 (ARC, carrying resistance gene *Wbph2*) and N'Diang (ND, carrying resistance gene *Wbph5*) for 15 generations. Taichung Native 1 (TN1) and Rathu Heenati (RHT) were used as susceptible and resistant check respectively. The results of electronic monitoring showed that duration of salivation and X-waveform of the two colonies on their corresponding hosts was short while the duration of phloem ingestion was long. The results of virulence test indicated that; the amount of honeydew excreted by ARC and ND colony did not differ on their corresponding host varieties from TN1 and was much higher than that on RHT. The total number of eggs laid on their host varieties and TN1 were significantly higher than that on RHT. No distinct change was observed for these two colonies in the percentage of developed eggs. The nymph survival rate of ND colony on its selection host was 45.0%, significantly different from that on TN1 (71.4%) and RHT (21.0%), while that of ARC colony was 68.3%, not significantly different from that on TN1 (77.5%), but much higher than that on RHT (22.6%). The nymph developmental duration of these two colonies on the corresponding hosts was not different from that on TN1, but significantly shorter than that on RHT. In brief, these two colonies had almost adapted to their corresponding host varieties based on feeding and oviposition, but the nymph survival rate of ND colony was still low.

**Key words:** *Sogatella furcifera*; electronic monitoring; feeding; oviposition; virulence

**摘 要:** 采用分别带有抗白背飞虱基因 *Wbph2* 和 *Wbph5* 的水稻品种 ARC10239(ARC)和 N'Diang(ND)作为选择寄主, 获得第 15 代种群(ARC 种群和 ND 种群), 对这两个种群进行致害性检测。设 RHT 和 TN1 为抗感虫对照。结果表明这两个种群在其相应的寄主品种上分泌唾液和 X 波持续时间较短, 而取食韧皮部的时间较长。ARC 种群和 ND 种群分别在其相应的寄主品种和 TN1 上分泌的蜜露量没有显著差异, 且明显大于其在 RHT 上分泌的蜜露量。在寄主品种和 TN1 上的产卵量明显高于 RHT, 发育卵率没有显著差异。ND 种群在其寄主品种上的若虫存活率为 45.0%, 介于 TN1 (71.4%) 和 RHT (21.0%) 之间, 并与它们存在显著差异, ARC 种群在其寄主品种上的若虫存活率为 68.3%, 与它在 TN1 上 (77.5%) 的若虫存活率之间没有显著差异, 且明显高于 RHT (22.6%)。这两个种群若虫发育历期在其各自的选择寄主与 TN1 之间没有显著差异, 且明显短于其在 RHT 上的发育历期。因此, 这两个种群在取食和产卵方面已基本适应其相应的选择寄主品种, 但 ND 种群的若虫存活率还较低。

**关键词:** 白背飞虱; 电子记录; 取食; 产卵; 致害性

**中图分类号:** Q967; S433.3; S435.112+.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7216(2003)增刊-0084-05

利用抗虫品种是水稻害虫可持续治理的重要组成部分。具有抗褐飞虱基因 *Bph1* 的品种, 如以 IR26 为恢复系培育的杂交稻曾成功地控制了褐飞虱种群<sup>[18]</sup>。但是, 由于抗虫品种强烈的选择压力, 褐飞虱田间种群出现了明显的生物型(致害型)分化。1987 年以前, 中国褐飞虱以生物型 1 为主<sup>[29]</sup>, 1987 年以后, 中国南部褐飞虱种群明显地从生物型 1 转变为生物型 1 和生物型 2 混合发生<sup>[22, 26]</sup>, 原先表现抗虫的杂交稻丧失对褐飞虱的抗性。同样地, 在抗虫品种上连续饲养褐飞虱, 经过一定的世代, 也能产生适应性, 获得不同的致害性群体<sup>[19, 27]</sup>。马

巨法等对白背飞虱生物型的分化进行了初步研究, 证明我国白背飞虱尚无生物型的分化<sup>[24]</sup>。随着抗白背飞虱品种的推广, 如“中 86-44”<sup>[23]</sup>、“赣早粘 28 号”<sup>[30]</sup>, 白背飞虱田间种群对抗虫品种的致害性是

**收稿日期:** 2003-01-21。

**基金项目:** JIRCAS 国际合作研究项目(B3333101); 浙江省自然科学基金资助项目(302373); 国家“十五”科技攻关项目(2001BA509B02-03); 浙江省“十五”科技攻关项目(011102202)。

**注:** 本文是中日合作研究项目“中国重要食物资源的可持续生产和高度利用技术的开发”在中国水稻研究所实施的“中国迁飞性稻飞虱综合防治技术开发”研究内容的一部分。

**第一作者简介:** 沈君辉(1971-), 女, 硕士, 助理研究员。

否也会发生与褐飞虱相同或相似的变化?目前,还鲜见相关的研究报道。

电子记录系统(EMS, Electronic Monitoring System)是一种专门用于记录刺吸式昆虫取食与产卵行为的技术。稻飞虱在植株上刺探取食的部位以及产卵器的运动能从记录的波形特征中清楚地反映出来。结合其他技术,可以阐明抗虫性产生的真正原因。在国外这一技术已被广泛应用于植物抗虫性的研究中<sup>[3,9,11,12,17]</sup>。电子记录技术也为开展害虫生物型研究提供了新的手段。Khan等研究了3种褐飞虱生物型在抗感水稻品种上的取食行为<sup>[10]</sup>。这一技术也应用于苜蓿斑蚜(*Therioaphis maculata*)<sup>[13]</sup>、甘薯粉虱(*Bemisia tabaci*)<sup>[7]</sup>和麦二叉蚜(*Schizaphis graminum*)<sup>[5,8,15]</sup>生物型,以及温室白粉虱(*Trialeurodes vaporariorum*)<sup>[20,21]</sup>的研究中。但国内由于实验条件的限制,运用电子记录技术开展水稻害虫取食与产卵行为的研究很少<sup>[25]</sup>,还没有将这一技术应用到害虫生物型的研究中。

我们在具有不同抗白背飞虱基因 *Wbph2* 和 *Wbph5* 的水稻品种上,连续饲养采自浙江富阳稻田的白背飞虱,获得第15代种群。运用电子记录的方法对白背飞虱的行为进行了研究,同时测定了白背飞虱的蜜露量、产卵量、发育卵率、若虫发育历期和若虫存活率,监测白背飞虱种群致害性的变化,了解白背飞虱对不同抗虫基因水稻品种产生适应性的过程,以期水稻抗虫品种的育种和应用奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 水稻品种与白背飞虱虫源

本实验以具有抗白背飞虱基因 *Wbph2* 的 ARC10239(简称 ARC)和抗白背飞虱基因 *Wbph5* 的 N'Diang Marie(简称 ND)为选择寄主品种。Rathu Heenati(简称 RHT)和 TN1 分别作为抗虫和感虫对照品种。水稻种子直播在小塑料钵(直径为8 cm,高9 cm)里,7~10 d后每钵保留1株稻苗,30 d后作为供试材料。

实验用白背飞虱虫源取自中国水稻研究所富阳试验基地的网室,在养虫笼(33.5 cm×25.2 cm×33.5 cm)中分别以 ARC 和 ND 为选择寄主,连续强迫饲养,获得第15代种群,分别定义为 ARC 种群和 ND 种群。

### 1.2 电子记录

采用的昆虫行为电子记录系统属 AC 型,由日本筑波(Tsukuba Rika Seiki Co. Ltd.)生产。用低

剂量的 CO<sub>2</sub> 短时间麻醉怀卵的白背飞虱雌成虫(饥饿但饲水2 h)后,迅速用导电银胶(electro-conductive silver paint)将一根细金线(直径为20 μm×2~3 cm)的一端与白背飞虱中胸背板粘合(见第116页彩色图片5),另一端与一段细铜丝相连至昆虫电极。取一健壮稻苗,用水将根部冲洗干净,去掉次生分蘖,保留主茎,将其根部置于一个加水的三角瓶中。用海绵塞将稻茎固定在瓶口中央,在瓶口海绵塞边缘插入一段铜丝,与植物电极相连。将植物以500 Hz、0.5 V 的电流通电,然后移动三角瓶,使悬挂的试虫接触稻株叶鞘,并控制其活动范围尽可能在叶鞘上部,开始记录。每个品种设3次重复,每次记录重复用不同的昆虫个体和稻株,每个重复连续记录6 h。所有记录均在室内进行,光周期为12 h光照/12 h 黑暗,温度为27℃±2℃,相对湿度为65%±5%。

采用随机附带的 IEM 和 IEM-AT 软件分别用于昆虫行为的记录和数据的分析与统计,参照 Hattori<sup>[4]</sup>的方法对所记录的波形特征进行识别和分析。

### 1.3 蜜露量测定

取播种后30 d左右的健壮稻株,去掉次生分蘖,在主茎上部相同位置处套1只石蜡膜小袋(2.0 cm×3.5 cm)。接入1只怀卵的长翅型白背飞虱雌虫,在室温(27℃±2℃)条件下取食24 h后,取下小袋,在 Sartorius® 万分之一电子天平上称重,用差量法计算小袋中的蜜露量。1株为1个重复,每个品种设15次重复。

### 1.4 产卵量和发育卵率测定

取播种后30 d左右的健壮稻株,去掉次生分蘖,在主茎上部相同位置处套1只石蜡膜小袋(2.0 cm×3.5 cm)。接入1只怀卵的长翅型白背飞虱雌虫,产卵72 h后移去小袋,用透明双通管(直径为2 cm,高8 cm)罩住稻茎产卵区段,两端塞上海绵塞,防止卵被寄生。5 d后剪下产卵过的稻株小段,在解剖镜下检查卵的发育情况,计算产卵量和发育卵率[正常发育卵数/(正常发育卵数+异常发育卵数)×100%]。1株为1个重复,每个品种10个重复。

### 1.5 若虫发育历期和存活率测定

取播种后30 d左右的健壮稻株,去掉次生分蘖,在主茎上套透明双通塑料管(直径为2 cm,高8 cm),接入10只刚孵化的若虫,两端用海绵塞塞住。每天定期检查若虫发育情况,记录若虫羽化的日期以及羽化的若虫数量,并取出羽化的成虫,直至羽化

完毕。计算若虫的发育历期和存活率。每个品种设 10 个重复。

## 2 结果与分析

### 2.1 电子记录

在取食行为过程中观察到明显不同的 3 种波形,即 S(分泌唾液)、A(X-波形)和 I(取食韧皮部汁液)波形。白背飞虱 ARC 种群在其相应的寄主品种上与其在 TN1 上的分泌唾液时间、分泌唾液次数、X-波持续时间、X-波次数之间没有显著差异,但与 RHT 之间差异明显。白背飞虱 ND 种群在 ND 上分泌唾液时间和次数与 TN1 和 RHT 之间均没有明显差异;它在 ND 上和 TN1 上 X-波持续时间和次数之间没有明显差异,并且分别明显短于和少于 RHT。白背飞虱 ARC 种群在其相应的寄主品种上和感虫对照 TN1 上取食韧皮部汁液持续的时间分别为 251.3 和 316.3 min/6 h,没有显著差异;而在 RHT 上的取食时间仅为 53.9 min/6 h。白背飞虱 ND 种群在其相应的寄主品种和 TN1 上取食韧皮部汁液持续的时间分别为 274.4 和 283.6 min/6 h,也没有显著差异;而在 RHT 上的取食时间仅为 41.9 min/6 h(表 1)。

### 2.2 蜜露量测定

白背飞虱 ARC 种群在 ARC 上分泌的蜜露量为 11.74 mg/雌·d,与它在 TN1 上分泌的蜜露量(12.78 mg/雌·d)没有显著差异。白背飞虱 ND 种群在其寄主品种和 TN1 上分泌的蜜露量分别为 11.23 和 12.40 mg/雌·d,它们之间也没有显著差异(图 1)。

### 2.3 产卵量和发育卵率的测定

白背飞虱 ARC 种群在其寄主品种 ARC 和 TN1 上的产卵量分别为 10.3 和 10.5 粒/雌·d,没有显著差异;ND 种群在其寄主品种和 TN1 上的产

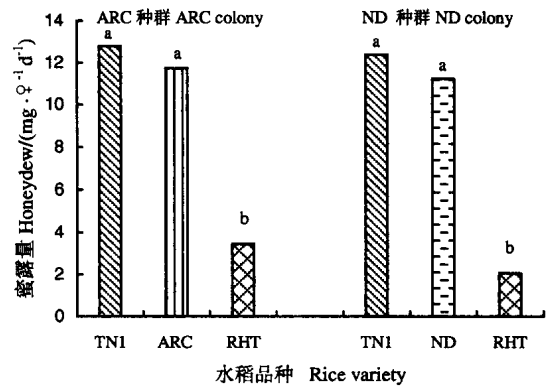


图 1 不同白背飞虱种群分泌的蜜露量(富阳,2002)

Fig. 1. Honeydew excreted by the different colonies of *S. furcifera* (Fuyang, 2002).

具有相同英文字母者表示平均数之间没有显著性差异,最小显著差数法,  $P=0.05$ 。

The same letters above the bars indicate no significant difference by least significant difference (LSD) test,  $P=0.05$ .

卵量分别为 16.9 和 19.4 粒/雌·d,也没有明显差异。白背飞虱在各测试材料上的发育卵率为 81.3%~99.2%(图 2)。

### 2.4 若虫发育历期和存活率测定

白背飞虱 ARC 种群在其选择寄主 ARC 上的若虫存活率为 68.3%,与它在 TN1 (77.5%)上的无明显差异,明显高于在 RHT 上的(22.6%)。ND 种群在其选择寄主 ND 上的若虫存活率为 45.0%,与 TN1 和 RHT 之间均存在显著差异。这两个种群在其相应寄主品种上的若虫发育历期均较短,与 TN1 无显著差异,而与 RHT 之间存在显著的差异(表 2)。

## 3 讨论

生物型是指昆虫的不同种群,当它们为害具有

表 1 电子记录白背飞虱 ARC 和 ND 种群的取食行为(富阳,2002)

Table 1. Electronic monitoring feeding behavior of ND and ARC colonies of *S. furcifera* (Fuyang, 2002).

| 取食行为统计参数<br>Statistical parameter for feeding behavior | ARC 种群 ARC colony |              |              | ND 种群 ND colony |              |              |
|--|-------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|
|  | ARC               | TN1          | RHT          | ND              | TN1          | RHT          |
| 分泌唾液时间 Salivation duration/min                         | 6.7±3.5 ab        | 4.7±2.2 b    | 18.8±4.7 a   | 7.1±7.0 a       | 12.4±9.9 a   | 22.6±9.2 a   |
| 分泌唾液次数 No. of salivations                              | 10.5±4.9 b        | 9.0±5.2 b    | 25.3±7.4 a   | 12.3±10.1 a     | 8.0±4.4 a    | 25.5±9.2 a   |
| X-波持续时间 X-waveform duration/min                        | 33.9±14.7 b       | 16.9±11.4 b  | 229.0±25.8 a | 19.8±9.5 b      | 43.7±11.8 b  | 189.6±30.8 a |
| X-波次数 No. of X-waveforms                               | 18.5±10.6 b       | 11.0±4.0 b   | 57.0±9.5 a   | 9.3±3.8 b       | 18.3±9.3 b   | 53.0±12.7 a  |
| 韧皮部取食时间 Phloem ingestion duration/min                  | 251.3±87.3 a      | 316.3±25.9 a | 53.9±17.8 b  | 274.4±64.6 a    | 283.6±20.9 a | 41.9±20.0 b  |
| 韧皮部取食次数 No. of phloem ingestions                       | 17.0±9.9 b        | 10.7±3.2 b   | 42.0±11.5 a  | 7.7±2.1 b       | 7.3±5.5 b    | 36.5±6.4 a   |

同一项目中,平均数(±标准差)后具有相同英文字母者表示没有显著差异,最小显著差数法,  $P=0.05$ 。下表同。

In a column, means (±SE) followed by the same lowercase letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test,  $P=0.05$ . The same as in Table 2.

表 2 白背飞虱 ARC 种群和 ND 种群在不同水稻品种上的若虫存活率和发育历期(富阳,2002)

Table 2. Nymph survival rate and developmental duration of ARC and ND colonies of *S. furcifera* (Fuyang, 2002).

| 水稻品种<br>Rice variety | ARC 种群 ARC colony       |                               | ND 种群 ND colony         |                               |
|----------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
|                      | 若虫存活率<br>Nymph survival | 若虫发育历期<br>Nymph developmental | 若虫存活率<br>Nymph survival | 若虫发育历期<br>Nymph developmental |
|                      | rate/%                  | duration/d                    | rate/%                  | duration/d                    |
| ARC                  | 68.3±7.5 ab             | 10.5±1.2 c                    |                         |                               |
| TN1                  | 77.5±21.2 a             | 10.4±0.8 c                    | 71.4±14.6 a             | 11.9±4.8 c                    |
| RHT                  | 22.6±21.3 c             | 14.4±1.7 a                    | 21.0±20.3 c             | 14.3±1.9 a                    |
| ND                   |                         |                               | 45.0±17.3 b             | 12.9±0.9 bc                   |

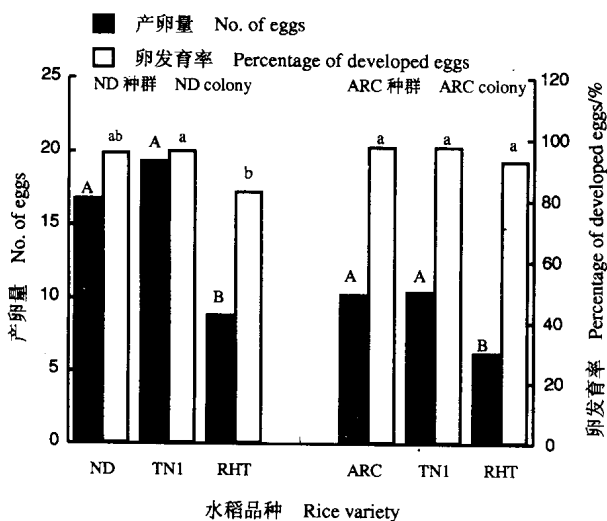


图 2 不同白背飞虱种群的产卵量和发育卵率(富阳,2002)

Fig. 2. Number of eggs and percentage of the developed eggs of *S. furcifera* colonies (Fuyang, 2002).

同一测定中,具有相同英文字母者表示平均数之间没有显著性差异,最小显著差数法,  $P=0.05$ 。

The same letters above the bars indicate no significant difference by least significant difference (LSD) test,  $P=0.05$ .

不同抗性基因的作物品种时,表现出不同的致害力<sup>[28]</sup>。对于褐飞虱是否存在“生物型”的问题,国内外的学者看法不一,其争论的焦点是生物型是否存在稳定的遗传特性<sup>[1,16]</sup>。Sogawa<sup>[16]</sup>报道褐飞虱的致害性受单一主基因控制。而 Hollander 等<sup>[6]</sup>、Pathak 等<sup>[14]</sup>和 Claridge 等<sup>[2]</sup>的研究发现褐飞虱致害性由多基因控制,褐飞虱致害基因与水稻品种的抗虫基因之间无对应的“基因对基因关系”,认为“生物型”的概念不适宜用于褐飞虱。但在近年来国内发表的文章中,还一直沿用“生物型”来描述致害力有区别的褐飞虱群体。我们则倾向于采用“致害型”一词来描述能够在具有某个抗虫基因品种上存活并繁殖后代的稻飞虱群体。

褐飞虱对抗虫品种能逐渐适应,并提高致害力,甚至转化为新的生物型。在实验室中,可以应用不

同抗性基因的水稻品种对某一生物型进行连续选择,促进新生物型的形成<sup>[28]</sup>。各地区褐飞虱饲养在抗虫品种上产生新生物型所需经过的世代数不尽相同。如浙江温州在 Mudgo (*Bph 1*)和 ASD7 (*bph 2*)上产生新生物型需分别经过 11 代和 2 代<sup>[27]</sup>,江苏南京需经过 13 代<sup>[19]</sup>,而菲律宾和日本种群则分别经过 8 代和 9 代<sup>[28]</sup>。

根据我们的测定结果发现,白背飞虱 ARC 种群和 ND 种群在相应的寄主品种上连续饲养 15 代以后,其取食量明显增加,产卵量和发育卵率都不受影响,只是 ND 群体的若虫存活率还较低,若虫发育历期也较长。也就是说,这两个白背飞虱种群经过 15 代的选择压力以后,其取食和产卵已基本适应其相应的寄主品种。但 ND 种群在若虫发育方面还存在一定困难。

电子记录技术可以将刺吸式昆虫取食行为的参数进行量化。Khan 等<sup>[10]</sup>研究了 3 种褐飞虱生物型在抗感品种上的取食行为,发现在各生物型所对应的感虫品种上刺探更容易,持续取食时间更长,而在对应的抗虫品种上刺探更频繁,分泌唾液时间更长,而取食时间却很短。不同褐飞虱生物型之间可以用持续取食时间、分泌唾液时间等指标进行区分。本研究中,我们将它应用于不同致害性白背飞虱种群致害性检测。电子记录结果表明,这两个种群在各自对应的寄主品种上韧皮部取食时间占整个记录时间的 70% 左右,与其在感虫对照品种 TN1 上的取食时间没有明显差异。而在抗虫对照品种 RHT 上取食时间却很短,大约只占整个记录时间的 10%。它们在其寄主品种上分泌唾液的时间和 X 波持续的时间相对较短,这一结果与褐飞虱生物型的研究结果相似。同时,也证实了这两个白背飞虱种群已经对相应的寄主品种产生了适应性,在寄主品种上产生与其在感虫对照品种上类似的取食行为。

## 参考文献:

- 1 Claridge M F, Den Hollander J. The biotype concept and its application to insect pests of agriculture. *Crop Prot*, 1983, (2):85-95.
- 2 Claridge M F, Den Hollander J. The biotypes of the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Entomol Exp Appl*, 1980, 27:23-30.
- 3 Hattori M. Feeding behavior of the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* (Homoptera; Cicadellidae) towards pure phloem sap collected from resistant and susceptible rice varieties. *Appl Entomol Zool*, 1997, 32(2):409-412.
- 4 Hattori M. Probing behavior of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera; Delphacidae) on a non-barnyard grass, and resistant and susceptible rice varieties. *Appl Entomol Zool*, 2001, 36(1):83-89.
- 5 Hays D B, Porter D R, Webster J A, Carver B F. Feeding behavior of biotypes E and H greenbug (Homoptera; Aphididae) on previously infested near-isolines of barley. *J Econ Entomol*, 1999, 92(5):1223-1229.
- 6 Den Hollander J, Pathak P K. The genetics of the "biotypes" of the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Entomol Exp Appl*, 1981, 29:76-86.
- 7 Jiang Y X, Lei H, Collar J L, Martin B, Muniz M, Fereres A. Probing and feeding behavior of two distinct biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera; Aleyrodidae) on tomato plants. *J Econ Entomol*, 1999, 92(2):357-366.
- 8 John O, Webster J A, Peters D C. Feeding behavior and development of biotypes E, G, and H of *Schizaphis graminum* (Homoptera; Aphididae) on 'Wintermalt' and 'Post' barley. *J Econ Entomol*, 1992, 85(4):1522-1526.
- 9 Khan Z R, Saxena R C. Electronically recorded waveforms associated with the feeding behavior of *Sogatella furcifera* (Homoptera; Delphacidae) on susceptible and resistant rice varieties. *J Econ Entomol*, 1984, 77:1479-1482.
- 10 Khan Z R, Saxena R C. Probing behavior of three biotypes of *Nilaparvata lugens* (Homoptera; Delphacidae) on different resistant and susceptible rice varieties. *J Econ Entomol*, 1988, 81(5):1338-1345.
- 11 Kimmins F M. Electrical penetration graph from *Nilaparvata lugens* on resistant and susceptible rice varieties. *Entomol Exp Appl*, 1985, 50:69-79.
- 12 Liu G J, Saxena R C, Wilkins R M. Behavioral responses of the whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* (Homoptera; Delphacidae) on rice plants whose odors have been masked. *J Insect Behavior*, 1994, 7(3):343-353.
- 13 Nielson M W, Don H. Probing behavior of biotypes of the spotted alfalfa aphid on resistant and susceptible alfalfa clones. *Entomol Exp Appl*, 1974, 17:477-487.
- 14 Pathak P K, Heinrichs E A. Selection of biotype populations 2 and 3 of *Nilaparvata lugens* by exposure to resistant rice varieties. *Environ Entomol*, 1982, 73:194-195.
- 15 Peters D C, Kerns D, Puterka G J, Ron Mcnew. Feeding behavior, development, and damage by biotypes B, C, and E of *Schizaphis graminum* (Homoptera; Aphididae) on 'Wintermalt' and 'Post' barley. *Environ Entomol*, 1988, 17(3):503-507.
- 16 Sogawa K. Hybridization experiments on three biotypes of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera; Delphacidae) at the IRRRI, the Philippines. *Appl Entomol Zool*, 1981, 16(3):193-199.
- 17 Velusamy R, Heinrichs E A. Electronic monitoring of feeding behavior of *Nilaparvata lugens* (Homoptera; Delphacidae) on resistant and susceptible rice cultivars. *Environ Entomol*, 1986, 15:678-682.
- 18 蔡顺福, 钟梅玉. 杂交晚稻病虫害防治试验. 浙江农业科学, 1980, (4):166-169. [Cai S F, Zhong M Y. Experiment for controlling diseases and insect pests on hybrid rice. *J Zhejiang Agric Sci*, 1980, (4):166-169.](in Chinese)
- 19 顾正远, 张先进, 蔡蔚琦, 祝兆麟, 王益民, 王强, 蒋荷, 许济川, 王苏. 稻种资源褐稻虱抗性鉴定. 江苏农业科学, 1984, (1):31-32. [Gu Z Y, Zhang X J, Cai W Q, Zhu Z L, Wang Y M, Wang Q, Jiang H, Xu J C, Wang S. Identification of rice germplasm resources for resistance to brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *Jiangsu Agric Sci*, 1984, (1):31-32.](in Chinese)
- 20 雷宏, 徐汝梅, Tjallingii W F, van Lenteren J C. 温室白粉虱取食行为的刺探电位(EPG)研究. 昆虫学报, 1998, 41(2):113-123. [Lei H, Xu R M, Tjallingii W F, van Lenteren J C. Electrical penetration graphs of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). *Acta Entomol Sin*, 1998, 41(2):113-123.](in Chinese with English abstract)
- 21 雷宏, 徐汝梅. 一种研究植食性刺吸式昆虫刺探行为的有效方法. 昆虫知识, 1996, 33(2):116-120. [Lei H, Xu R M. EPG—an effective method to study the probing behaviour of phytophagous piercing-sucking insects. *Entomol Knowl*, 1996, 33(2):116-120.](in Chinese with English abstract)
- 22 李青, 罗善昱, 韦素美, 黄润清, 师翱翔, 黄辉晔. 广西褐稻虱生物型研究初报. 广西农业科学, 1991, (1):29-32. [Li Q, Luo S Y, Wei S M, Huang R Q, Shi A X, Huang H Y. Preliminary report on the biotypes of brown planthopper in Guangxi. *Guangxi Agric Sci*, 1991, (1):29-32](in Chinese)
- 23 李西明, 刘光杰, 马良勇, 胡国文, 闵绍楷, 马巨法. 水稻抗白背飞虱的资源发掘及其抗性遗传分析. 中国水稻科学, 1996, 10(3):173-176. [Li X M, Liu G J, Ma L Y, Hu G W, Min S K, Ma J F. Screening of resistant resources and genetical analysis of resistance to whitebacked planthopper in rice. *Chinese J Rice Sci*, 1996, 10(3):173-176.](in Chinese with English abstract)
- 24 马巨法, 唐健, 胡国文. 我国白背飞虱生物型分化问题研究初报. 植物保护, 1989, 15(3):28. [Ma J F, Tang J, Hu G W. Studies on the biotype differentiation of whitebacked planthopper. *Plant Prot*, 1989, 15(3):28.](in Chinese)
- 25 沈君辉, 刘光杰, 陈爱辉, 寒川一成. 电子记录白背飞虱取食和产卵行为的研究. 中国水稻科学, 2003, 17(1):73-76. [Shen J H, Liu G J, Chen A H, Sogawa K. Electronic monitoring feeding and oviposition behavior of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera*. *Chinese J Rice Sci*, 2003, 17(1):73-76.](in Chinese with English abstract)
- 26 陶林勇, 俞晓平, 巫国瑞. 我国褐飞虱生物型监测初报. 中国农业科学, 1992, 25(3):9-13. [Tao L Y, Yu X P, Wu G R. Preliminary monitoring the biotypes of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) in China. *Sci Agric Sin*, 1992, 25(3):9-13.](in Chinese with English abstract)
- 27 巫国瑞, 陈福云, 陶林勇, 黄次伟, 冯炳灿. 稻褐飞虱生物型的研究. 昆虫学报, 1983, 26(2):154-160. [Wu G R, Chen F Y, Tao L Y, Huang C W, Feng B C. Studies on the biotypes of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *Acta Entomol Sin*, 1983, 26(2):154-160.](in Chinese with English abstract)
- 28 吴荣宗, 江志强, 张良佑. 褐飞虱生物型的研究进展. 华南农业大学学报, 1992, 13(4):113-120. [Wu R Z, Jiang Z Q, Zhang L Y. An advance of biotypes of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. *J South China Agric Univ*, 1992, 13(4):113-120.](in Chinese with English abstract)
- 29 吴荣宗, 张良佑, 邱细广, 莫蒙昇. 我国主要稻区褐稻虱生物型的研究. 植物保护学报, 1981, 8(4):217-226. [Wu R Z, Zhang L Y, Qiu X G, Mo M Y. Studies on the biotype of brown planthopper in China. *Acta Phytophyla Sin*, 1981, 8(4):217-226.](in Chinese with English abstract)
- 30 叶正襄, 秦厚国, 黄荣华. 水稻新品种“赣早籼28号”对白背飞虱的抗性研究. 江西农业学报, 1993, 5(1):44-48. [Ye Z X, Qin H G, Huang R H. Studies on resistance of new rice variety "Ganzaoxian 28" to *Sogatella furcifera*. *Acta Agric Jiangxi*, 1993, 5(1):44-48.](in Chinese)



图5 电子记录白背飞虱取食和产卵行为时金线(直径 $20\ \mu\text{m}$ )连接于白背飞虱短翅型雌成虫的中胸背板上

Fig. 5. A gold wire ( $\phi 20\ \mu\text{m}$ ) was attached to the dorsum of a brachypterous female of *S. furcifera* when electronically recording its feeding and ovipositional behavior.