

# 中国粳稻品种春江 06 的抗白背飞虱机理

寒川一成<sup>1</sup> 刘光杰<sup>2</sup> 滕 凯<sup>3</sup> 林慧芳<sup>3</sup> 沈丽丽<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>日本国际农林水产业研究中心, 日本 筑波 305-8686; E-mail: ksogawa@jircas.affrc.go.jp; <sup>2</sup>中国水稻研究所 国家水稻改良中心, 浙江 杭州 310006; <sup>3</sup>江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045; <sup>4</sup>南京农业大学 植物保护学院, 江苏 南京 210095)

## Resistance to the Whitebacked Planthopper, *Sogatella furcifera* in Chinese Japonica Rice Chunjiang 06

SOGAWA Kazushige<sup>1</sup>, LIU Guang-jie<sup>2</sup>, TENG Kai<sup>3</sup>, LIN Hui-fang<sup>3</sup>, SHEN Li-li<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba 305-8686, Japan; E-mail: ksogawa@jircas.affrc.go.jp; <sup>2</sup>Chinese National Center for Rice Improvement, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; <sup>3</sup>College of Agriculture, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; <sup>4</sup>College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** The resistance of Chinese japonica rice Chunjiang 06 (CJ-06) to the whitebacked planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera*, was studied in compared with the susceptible hybrid rice Shanyou 63 (SY-63). Results showed that CJ-06 was highly resistant to WBPH. WBPH immigrants rejected to land and failed to establish colonies on CJ-06, while they preferred to settle and well reproduced on SY-63. Under a free-choice experimental condition, significantly fewer WBPHs alighted on CJ-06 than on SY-63. A WBPH female excreted only 4.8 mg honeydew per day on CJ-06, while 17.4 mg on SY-63, indicating a significantly suppressed sucking activity of WBPH on CJ-06. Both fecundity and egg hatchability were markedly reduced on CJ-06, when newly emerged WBPH females continuously fed and were allowed to oviposit in it. Average number of eggs laid in CJ-06 and SY-63 was 42.4 and 133.6, and percentage of egg hatchability was 20.1% and 64.5%, respectively. Consequently, the number of nymphs hatched on CJ-06 amounted to only about one-tenth of that on SY-63. WBPH eggs showed a high mortality in watery lesions at oviposition sites of CJ-06. The watery lesions rapidly led to the formation of conspicuous necrotic symptoms before the eggs hatched. The egg mortality occurred within 1–2 days after oviposition. Such watery lesions seldom occurred on SY-63, where the eggs hatched normally. Based on the above findings, it was concluded that sucking inhibition and ovidical reaction were critical factors for WBPH resistance in CJ-06. These functions were associated with the antixenosis mechanism against WBPH immigrants, as well as the antibiosis mechanism whereby fecundity and egg hatchability of inhabitants were reduced, respectively. Such dual mechanisms of varietal resistance could result in the stable and durable field resistance to WBPH in the Chinese japonica rice CJ-06.

**Key words:** whitebacked planthopper; varietal resistance; japonica rice; sucking inhibition; ovidical reaction

**摘 要:** 与感虫杂交稻汕优 63 相比较,研究了具有抗性的中国粳稻春江 06 对白背飞虱的抗性。结果表明,春江 06 高抗白背飞虱。迁入的白背飞虱拒绝在春江 06 上着陆,也不能在其上繁殖种群;而白背飞虱更趋向于在汕优 63 上定居,并繁殖良好。在自由选择的试验条件下,选择春江 06 的白背飞虱数量显著地低于选择汕优 63 的。白背飞虱在春江 06 上平均每天每只雌成虫分泌的蜜露量仅为 4.8 mg,而在汕优 63 上为 17.4 mg,表明春江 06 明显抑制白背飞虱的取食活动。如果让刚羽化的白背飞虱在春江 06 上连续取食和产卵的话,其产卵能力和卵孵化能力明显降低。白背飞虱在春江 06 和汕优 63 上的平均产卵量分别为每只雌成虫 42.4 个和 133.6 个,孵化率分别为 20.1% 和 64.5%;在春江 06 上孵化出的若虫数量只有在汕优 63 上的 10% 左右。白背飞虱卵在春江 06 的水渍状产卵部位有很高的死亡率。在卵孵化之前,水渍状褐变部位迅速形成坏死症状。卵死亡出现在产卵后的 1~2 d 内。这样的水渍状褐变则极少发生在卵孵化正常的汕优 63 上。根据以上的发现,可总结出在春江 06 对白背飞虱的抗性中,抑制取食和杀卵作用是关键的因素。这些作用分别与对迁入白背飞虱的忌避性机理、与居留型白背飞虱产卵能力和卵孵化能力下降的抗性机理相关。这种品种抗虫性的双抗机理使得粳稻品种春江 06 具有了稳定和持久的田间抗虫性。

**关键词:** 白背飞虱; 品种抗虫; 粳稻; 拒食抗性; 杀卵抗性

**中图分类号:** S433.1; S511.034

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7216(2003)增刊-0056-11

白背飞虱 (*Sogatella furcifera*) 广泛分布在亚洲热带地区,夏季随西南季风迁入东亚温带水田地区,属大范围迁飞性水稻害虫<sup>[40]</sup>。20 世纪 80~90 年代,随着高产籼型杂交水稻种植面积在中国的迅速扩大,白背飞虱大发生的频率也明显增加,白背飞虱成为杂交水稻的主要害虫之一<sup>[10,35,37,42,49,63]</sup>。在杂交水稻种植比例较大的华南地区,从 1985 年开始稻飞虱的优势种由褐飞虱变

为白背飞虱<sup>[48]</sup>。由于白背飞虱的大范围迁飞,现在华中、东部地区的水田中也有发生<sup>[43,47,65]</sup>,

**收稿日期:** 2002-12-03。

**基金项目:** JIRCAS 国际合作研究项目 (B3333101)。

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的开发”研究内容的一部分。

**第一作者简介:** 寒川一成(1941—),男,博士,主任研究员。

这使迁入日本的白背飞虱虫量大大增加,从而加重了对温带地区生育初期水稻的为害<sup>[25]</sup>。对稻飞虱特别敏感的杂交水稻种植地区,现已养成了在生育初期防治白背飞虱的习惯,杀虫剂使用量逐渐增大<sup>[37,61]</sup>。同时,白背飞虱群落对各种有机杀虫剂的抗性也逐步增强<sup>[3,4,50]</sup>。由于非选择性有机磷杀虫剂的使用,使褐飞虱为主的水稻害虫再猖獗<sup>[55,56,64]</sup>。杂交水稻种植面积的扩大导致白背飞虱频繁发生,继而普遍使用杀虫剂。有报告认为,杀虫剂的渗透作用将破坏水田生态系统的生物多样性和农业生产环境的可持续性。因此,天敌对害虫的控制作用和利用抗性品种的生态保护型植物保护技术日益引起人们的重视<sup>[39,44,52,54]</sup>。为此,中国农业部曾提出一个目标,即 2002 年抗虫品种占总播种面积 70%<sup>[51]</sup>。本研究将从白背飞虱的生理生态反应分析中国粳稻品种“春江 06”的强抗白背飞虱机理,并揭示其实用性。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

在一系列的试验中主要选用对白背飞虱抗性水平截然不同的两个水稻材料春江 06 和汕优 63。

春江 06 是半矮秆、高产、优质、抗病的晚熟粳稻品种,1994 年由 中国水稻研究所育成<sup>[57]</sup>。选育过程中的中间亲本,初期是 IR28,但没有关于选育过程的详细记录。春江 06 在培育过程中并不作为抗白背飞虱品种,中日合作研究过程中将它作为一种典型的粳稻品种进行常规的无防治栽培试验,发现该品种对白背飞虱具有极强的稻田抗性。供试材料由中国水稻研究所提供。

对照汕优 63,通过雄性不育系珍汕 97A 和以 IR30 为母本的恢复系明恢 63 杂交,于 1986 年在福建省育成,属籼型杂交稻<sup>[60]</sup>。虽然汕优 63 对稻飞虱具有强敏感性<sup>[33]</sup>,但由于其适应性广、产量高,是目前华南地区推广面积最大的水稻品种之一<sup>[59]</sup>。供试材料从富阳种子 公司购得。

除以上 2 个材料外,部分试验中还使用了杂交稻组合协优 9308、籼稻品种威优 989、粳稻品种春江 11 和春江早 1 号。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 田间虫情调查

在 6 月 16~22 日,将 30 d 苗龄的春江 06 和汕优 63 稻株分别以 18 cm×24 cm 的株行距移栽。试验区面积为 1333.4 m<sup>2</sup>,分成 6 等份。移栽后,按照

白背飞虱的迁入情况,目测或盘拍法调查稻田中每株的雌成虫数量。7 月中旬的分蘖初期前调查 100~200 株,以后调查 20~30 株。

#### 1.2.2 田间选择性试验

1996 年,在飞虱大量迁入后的 6 月 27 日,从春江 06、汕优 63、威优 989 和协优 9308 试验田中各取 10 株,进行白背飞虱长翅型雌成虫数量的调查。

#### 1.2.3 室内选择性试验

将发芽后 10 d 的春江 06、汕优 63、威优 989 和协优 9308 稻苗,以单株移栽入 50 cm×32 cm×11 cm 的塑料盆中,每个品种 2 株,8 株随机排列,分 2 排,稻株间距相等,为 8 cm。2 周后,除去次生分蘖,用 100 cm×60 cm×80 cm 的网罩罩住,放入 100 只白背飞虱长翅型雌成虫。1 d 后统计各品种上的虫量。掸去植株上的飞虱,1 d 后重新统计。如此重复 4 次,调查飞虱的选择特性。

#### 1.2.4 蜜露量测定

分别用 1 只 parafilm 小袋(2.0 cm×3.5 cm)固定在分蘖初期的春江 06 和汕优 63 主干叶鞘顶部,将 1 只怀卵的白背飞虱雌成虫接入其中,允许取食 1 d。在电子天平上称重分泌在小袋中的蜜露量。每个品种每次使用 25~125 只雌成虫,3 次重复。

#### 1.2.5 产卵数及若虫孵化数调查

将春江 06 和汕优 63 秧苗分别移栽入直径 9 cm、高 40 cm 的塑料杯中,套上带观察窗的塑料圆筒罩,然后接入羽化 1 d 左右的白背飞虱长翅型雌成虫和羽化 1 d 以上的雄成虫各 1 只。每个品种准备 10 份供试。将塑料杯放入 27℃、12 h 照明的恒温箱中,每日记录雌成虫的死亡、怀卵情况。如雄成虫死亡,重新放入 1 只,直至雌成虫死亡。植株每 6 d 换 1 次,换下来的植株继续放在恒温箱内,每天记录若虫孵化数量。孵化结束的第 8 天,在显微镜下解剖植株,检查未孵化的卵数量。

#### 1.2.6 发育卵率及产卵部位组织变化的调查

田间调查:1998 年,在迁入的白背飞虱第二代若虫孵化开始时(7 月 5 日),从 6 月 19 日移栽的春江 06、汕优 63、春江 11 和春江早 1 号试验田取有产卵痕迹的叶鞘 10~20 支,用 70% 的酒精固定后,在显微镜下解剖,检查每支叶鞘上的卵数、带黄斑/眼点的发育卵,计算发育卵率。

室内试验:将春江 06、汕优 63、春江 11 和春江早 1 号稻株移栽入塑料杯,约 30 d 后在主干叶鞘顶部套上 parafilm 小袋,分别接入 1 只怀卵白背飞虱雌成虫,使之在室温(25~30℃)条件下取食和产卵

1 d。然后,除去小袋和飞虱,连续6 d观察产卵部位的组织变化情况。将有产卵痕迹的叶鞘用70%的酒精固定,在显微镜下检查产卵数和发育卵率。每个品种各10株。

### 1.2.7 卵的发育过程调查

与1.2.5节方法相同,将被产卵1 d的春江06和汕优63各100株放在室温(25~30℃)下,从产卵第1天至第6天,每天取10株在显微镜下解剖,着重在黄斑和眼点期,对其产卵数和卵发育情况进行时序性比较。试验重复2次。

## 2 结果与分析

### 2.1 春江06和汕优63移栽田的虫情发生过程

图1显示了1996~1999年间,春江06与汕优

63试验田的白背飞虱长翅型雌成虫的迁入密度。

1996年6月19日~7月4日,飞虱有3次大迁入,6月22日迁入移栽后的试验田。6月27日,春江06中每株长翅型雌成虫的平均数量为4.9只,而汕优63则达19.4只。7月上中旬若虫开始孵化。7月7日测得的春江06和汕优63叶鞘上的平均卵数分别为49个和140个。7月18日,春江06和汕优63试验田每株中老龄若虫数(以掸落法测得)分别为15只和250只。成虫羽化最盛时的7月26日,在春江06和汕优63上部挥舞捕虫网(直径36 cm)20次,分别捕得70只和1850只。春江06上基本没有虫害,但汕优63在生育初期受到明显为害。随着羽化成虫的迁出,种群急速消失,没有出现第二代(图1-A)。

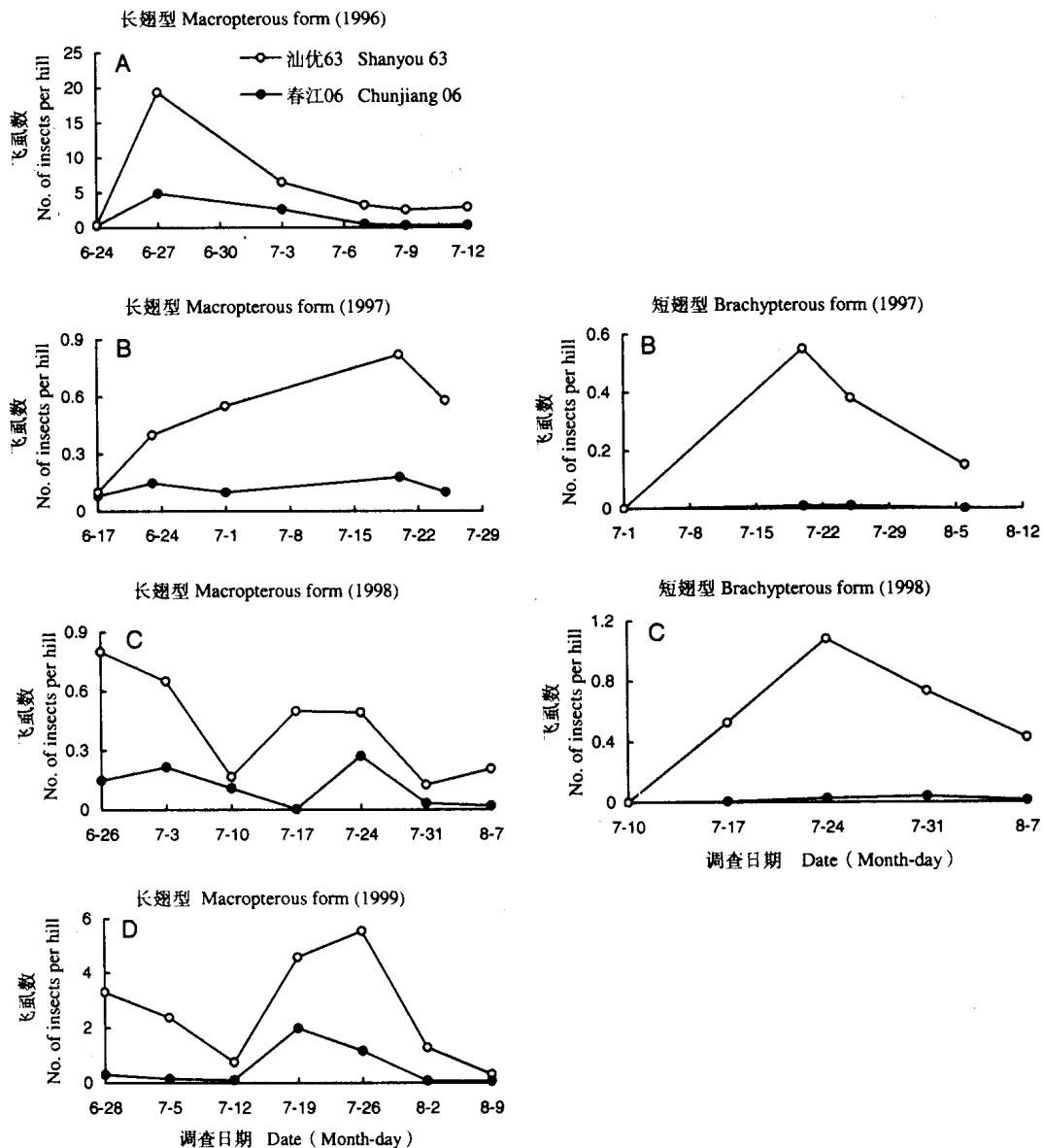


图1 春江06和汕优63移栽田内白背飞虱雌成虫种群变化

Fig. 1. Changes in the population of *S. furcifera* female adults in the paddy fields of Chunjiang 06 and Shanyou 63.

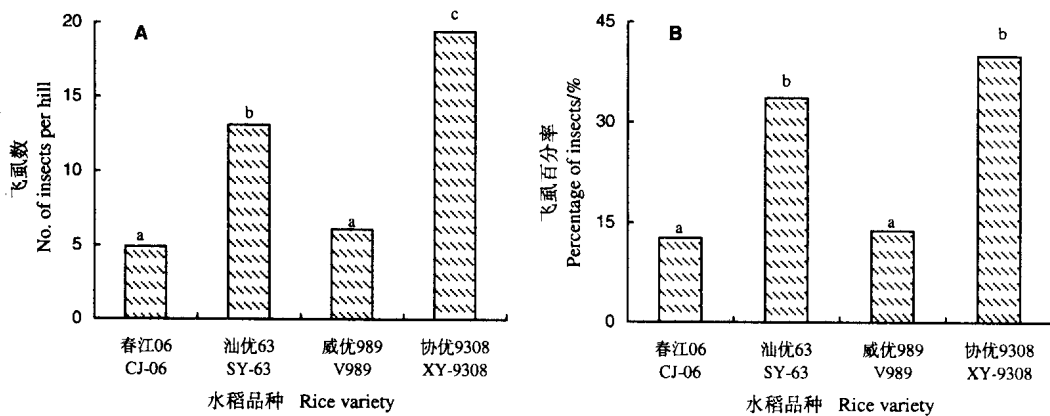


图2 田间和室内试验中白背飞虱长翅型雌成虫对春江06、汕优63、威优989和协优9308的趋性

Fig. 2. Orientation of *S. furcifera* macropters to Chunjiang 06 (CJ-06), Shanyou 63 (SY-63), Weiyu 989 (V989) and Xieyou 9308 (XY-9308) in field and experimental conditions.

同一试验中,具有相同英文字母者表示平均数间没有显著性差异,最小显著差数法(LSD), $P=0.05$ 。

In the same experiment, means followed by the same lowercase letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test,  $P=0.05$ .

1997年6月12~13日对移栽田的调查,没有发现飞虱生育初期的直接迁入,只有移栽前的少量分散迁入。6月下旬,春江06和汕优63的长翅型雌成虫平均密度分别为每株0.15只和0.55只。7月下旬,第一代成虫羽化,春江06试验田短翅型雌成虫的平均密度为每株0.01只,汕优63为0.55只(图1-B)。

1998年6月18~20日、25~27日的第4、5次迁入虫量较小,有少量迁入6月19日移栽的田中。1周后春江06和汕优63试验田的白背飞虱长翅型雌成虫平均密度分别为每株0.15只和0.80只。以后停止迁入,密度也逐渐减小。7月上旬若虫开始孵化,7月下旬第一代短翅型成虫的平均密度分别为:春江06每株0.03只,汕优63每株1.10只(图1-C)。

1999年6月22~23日迁入的虫量大,进入了6月15日移栽的试验田中。6月28日,春江06和汕优63的田中怀卵长翅型雌成虫的每株密度分别为0.31只和3.30只。7月上旬,幼虫开始孵化,7月下旬春江06上每株有1~2只、汕优63上有5~6只孵化成长翅型成虫,迁出试验田(图1-D)。

## 2.2 品种选择和取食行为

### 2.2.1 田间调查

移栽5d后,春江06、汕优63、威优989和协优9308试验田的白背飞虱雌成虫迁入平均密度分别为每株4.9只、13.1只、6.1只和18.4只,迁入虫对寄主的选择有明显的品种间差异,春江06和威优989表现了忌避性(图2-A)。

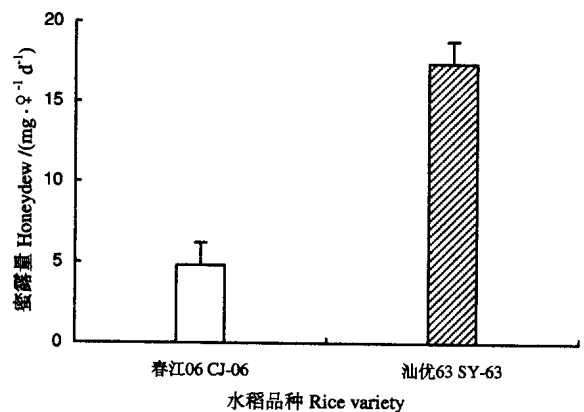


图3 白背飞虱长翅型雌成虫在分蘖初期的春江06和汕优63上分泌的蜜露量

Fig. 3. Honeydew excreted by *S. furcifera* macropters on Chunjiang 06 (CJ-06) and Shanyou 63 (SY-63) at early tillering stage.

### 2.2.2 室内试验

在室内试验中,饲养1d后,2个杂交稻汕优63和协优9308上有72%~76%的长翅型雌成虫,春江06只有8%~19%,威优989也只有9%~20%(图2-B)。与田间调查一样,白背飞虱表现了品种选择性,即春江06和威优989的忌避性得到了进一步确认。

### 2.2.3 取食反应

在分蘖初期的春江06和汕优63叶鞘上部取食的怀卵雌成虫,平均分泌蜜露4.8和17.4 mg/(雌·d)。春江06有75.6%的稻株上的蜜露都在5 mg/(雌·d)以下,16 mg/(雌·d)以上的不超过4.8%(图3)。而汕优63的蜜露在5 mg/(雌·d)以

下的只有17.9%,16 mg/(雌·d)以上的占49.5%。

### 2.3 春江06和汕优63的怀卵、产卵、若虫孵化情况

将刚羽化的长翅型雌成虫接在分蘖初期的春江06和汕优63上,2~3 d后,其腹部开始鼓起。春江06在9~14 d(平均11.0 d±1.8 d),汕优63在7~9 d(平均8.1 d±0.7 d)后,若虫开始孵化。若虫孵化期,春江06为2~9 d(平均5.6 d±2.4 d),汕优63为4~15 d(平均9.5 d±4.1 d)。春江06和汕优63,平均每只雌成虫孵化若虫数分别为(7.3±8.4)只、(78.9±40.2)只,未孵化卵(34.4±21.1)个、(54.7±39.3)个;每只成虫平均产卵(42.4±21.9)个、(133.6±70.6)个,孵化率20.1%±18.1%、64.5%±21.6%(图4)。成虫平均寿命分别为18.5 d(最长26 d)和17.6 d(最长29 d),表明两品种间没有明显差异。

### 2.4 发育卵率的品种间差异及其产卵部位的组织变化

#### 2.4.1 田间调查

若虫开始孵化时(移栽后第16天),在春江06、汕优63、春江11和春江早1号移栽田内抽样调查,

各品种叶鞘中白背飞虱的发育卵率分别为6.6%、56.4%、11.0%和36.2%,品种间存在差异(图5-A)。特别是春江06与汕优63的差异很大。各品种叶鞘中的卵数差异很大,但每个叶鞘的平均卵数分别为17.5个、29.5个、42.5个和85.1个,其中春江06中最少。

#### 2.4.2 室内试验

在分蘖初期的春江06、汕优63、春江11和春江早1号叶鞘上,预先使怀卵雌成虫产卵1 d,各品种的平均卵数分别为(25.7±9.0)个、(35.0±10.5)个、(26.0±4.6)个和(31.3±9.8)个,发育卵率(眼点卵+孵化卵的比例)分别为4%、89%、28%和72%。春江06和汕优63有明显差异(图5-B)。

#### 2.4.3 产卵部位的组织变化

白背飞虱雌成虫大部分(84%~95%)由叶鞘中肋两边的第3~4叶脉间表皮处插入产卵管,在维管束周围的气腔产卵。春江06上从第4叶脉处插入的频率最高(53%),而在汕优63、春江11和春江早1号上,则是第3叶脉(56%~67%)。

产卵1 d后,春江06、春江11和春江早1号被产卵的气腔周围形成水渍状病变,表皮下形成水渍

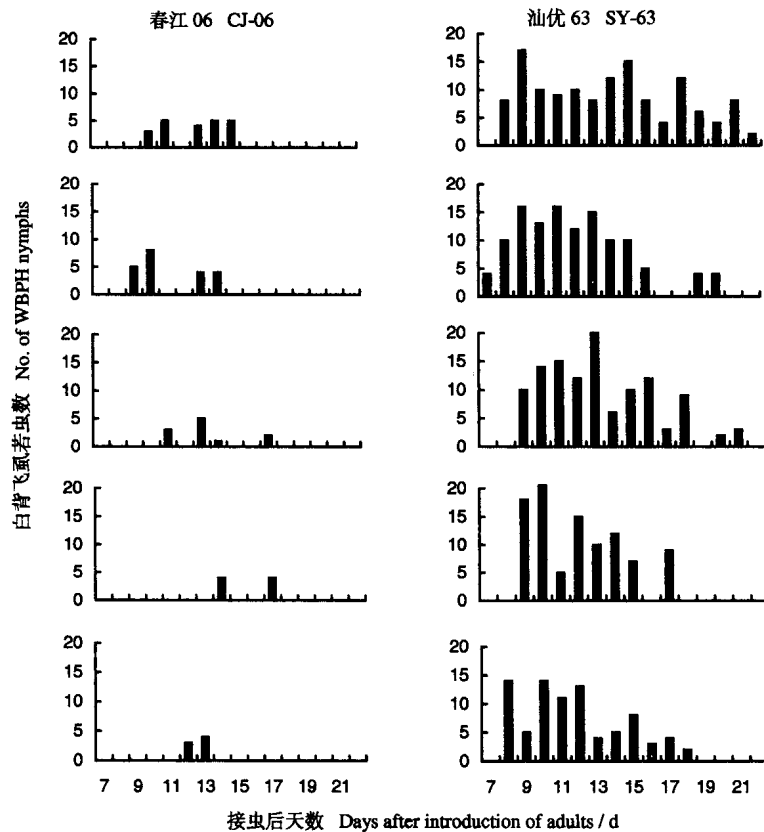


图4 刚羽化的白背飞虱长翅型雌成虫在分蘖初期的春江06(左)和汕优63(右)上产卵天数及孵化若虫数  
Fig. 4. Days of the newly-hatched *S. furcifera* macropters oviposited on rice plants of Chunjiang 06 (CJ-06) (left) and Shanyou 63 (SY-63) (right) at early tillering stage, and the number of nymphs for the following generation.

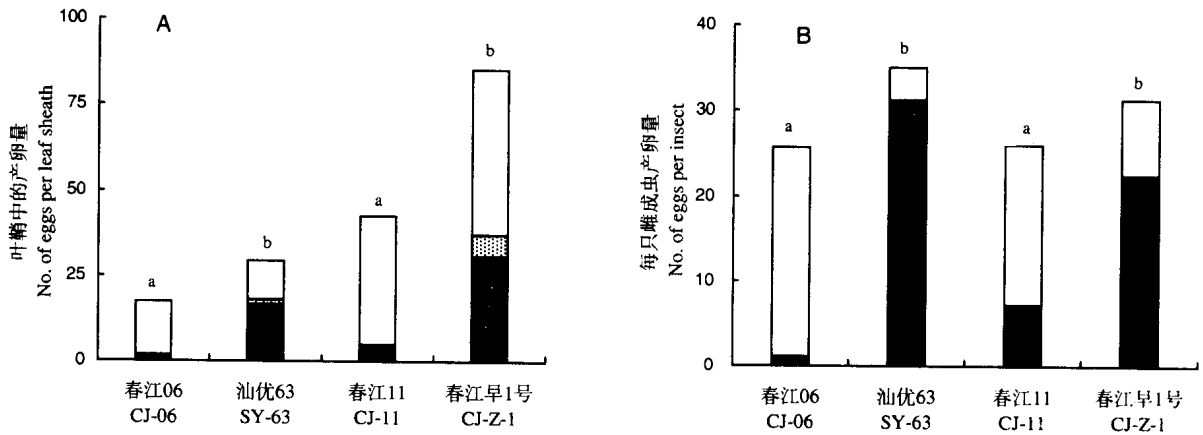


图5 田间和室内试验中白背飞虱在春江 06、汕优 63、春江 11 和春江早 1 号叶鞘上的产卵情况

Fig. 5. Eggs laid by *S. furcifera* on the leaf sheaths of Chunjiang 06 (CJ-06), Shanyou 63 (SY-63), Chunjiang 11 (CJ-11) and Chunjiangzao 1 (CJZ-1) under field and experimental conditions.

柱形图中黑、白和阴影部分分别表示发育卵、死卵和寄生卵数量。同一试验中,具有相同英文字母者表示平均数间没有显著性差异,最小显著差数法(LSD),  $P = 0.05$ 。

In the bars, the parts in black, white and shadow indicate the number of the developed eggs, died eggs and parasited eggs, respectively. In the same experiment, means followed by the same lowercase letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test,  $P = 0.05$ .

褐变死圈(图 6,彩色图见第 116 页图片 4)。其中,春江 06 的病变现象最明显,病变部位扩散到叶鞘两侧,且 2 d 后进一步发展。3 d 后,水渍斑开始变黄,且向上下扩展产生褐变死圈。4~5 d 后,表皮产卵处周围严重褐变,水渍部分由黄而褐。春江 11 在产卵 1 d 后与春江 06 一样产生水渍斑,2 d 后就已变淡,3 d 后基本消失。然后,产卵部位开始变褐,水渍部分开始变黄,但程度上轻于春江 06。春江早 1 号的水渍斑只是局部的,2 d 后即消失,水渍部分也只有极少的黄变,只是短线状的产卵部位有黄褐变。汕优 63 则完全没有水渍状病变,产卵部位也只有极少的黄褐变。产卵部位的水渍状病变和褐变的程度,在 3 个粳稻品种中有明显差异。

2.5 春江 06 与汕优 63 上卵的胚胎发育情况

白背飞虱产卵雌成虫的日平均产卵量,春江 06 是 3~4 个卵块,18~22 个卵;汕优 63 是 5~6 个卵块,32~34 个卵。室温 30℃条件下,春江 06、汕优 63 上产的卵分别在 5~8 d (平均  $5.9 \pm 0.7 \text{ d}$ )、4~7 d (平均  $5.8 \pm 0.6 \text{ d}$ )后孵化出若虫。两品种的卵孵化都集中在产卵第 6 天以后(60%~70%)。

产卵第 1 天后正常的发育卵应无色半透明状,但第 2 天开始产生黄斑,第 3 天黄斑达到高峰,同时开始出现眼点,第 4~5 天大部分卵开始进入眼点期。产卵第 2 天也出现白色半透明死卵(白变死

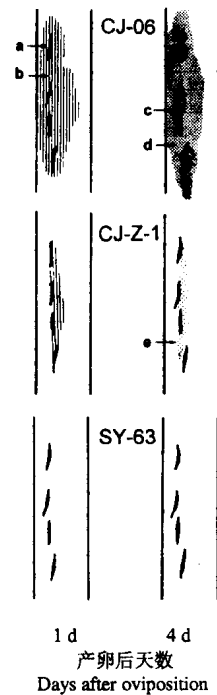


图 6 白背飞虱在春江 06、春江早 1 号和汕优 63 上产卵部位的 组织变化

Fig. 6. Changes of the tissues at ovipositional positions by *S. furcifera* on Chunjiang 06 (CJ-06), Chunjiangzao 1 (CJZ-1) and Shanyou 63 (SY-63).

a-产卵痕; b-水渍状病变; c-黑褐病变; d-黄褐病变; e-淡黄褐病变。

a, Oviposition scars; b, Watery lesion; c, Necrosis; d, Browning; e, Yellowing.

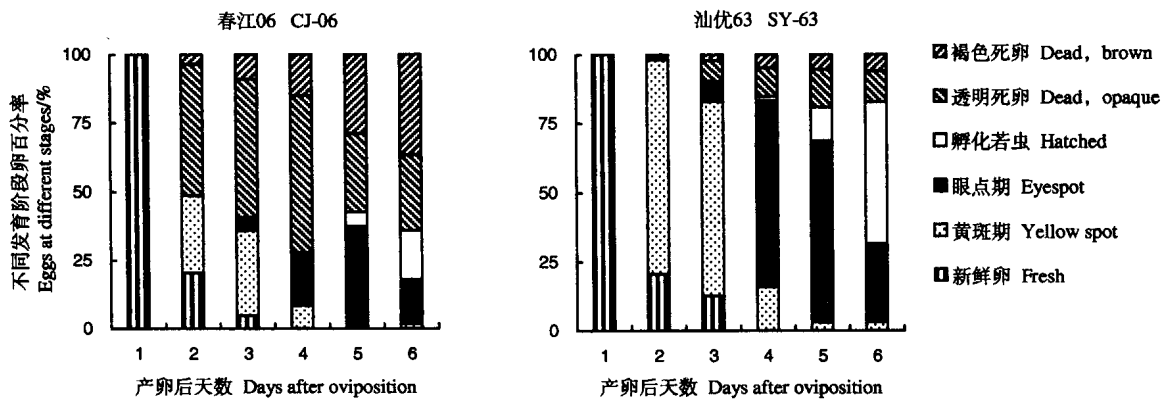


图7 春江06与汕优63上白背飞虱卵的胚胎发育情况

Fig. 7. Embryonic development of the eggs of *S. furcifera* on Chunjiang 06 (CJ-06) and Shanyou 63 (SY-63).

卵)和黄褐变死卵(变色死卵)。其中,春江06的白变死卵和变色死卵的比例很高,第1次试验达60%~80%,第2次试验达40%~60%。而汕优63则分别为20%和5%以下(图7)。

春江06在2次试验中分别有86%和68%的叶鞘产卵部位发生水渍病变,2~3 d后发生黄褐变。而汕优63只有5%~9%。

### 3 讨论

#### 3.1 春江06对白背飞虱的稻田抗性

白背飞虱易被营养生长期的幼嫩稻株吸引。其长翅型雌成虫一般于移栽初期迁入,在生育初期的水稻上繁殖1~2个世代后,于分蘖盛期~抽穗开花期迁出<sup>[15]</sup>。白背飞虱导致多穗型粳稻品种减产的原因在于第2代种群吸食植株汁液减少穗数和粒数<sup>[11,14,31]</sup>。由于华中、华东地区的迁入旺盛期在6月中旬~7月下旬,因此多发生在晚熟的早稻以及中晚熟的单季稻<sup>[34]</sup>。为此,我们比较了6月中旬移栽的春江06和汕优63无防治观察田的飞虱发生动态。结果发现,6月下旬~7月上旬,迁入春江06的长翅型雌成虫密度小于汕优63。1996年7月中下旬,白背飞虱大量迁入,且第2代若虫在汕优63田内大量发生,但在春江06田内的若虫和成虫数量分别是汕优63的1/15和1/26,几乎没有为害。1997和1998年,主要表现为少量迁入、少量发生的二代型,7月下旬汕优63中出现短翅型雌成虫,而春江06几乎没有。以上调查结果表明,春江06对白背飞虱具有由忌避性(antixenosis)或抗性(antibiosis)产生的稻田抗性。

#### 3.2 春江06对白背飞虱的忌避性

采用国际水稻研究所(IRRI)1971年实施的苗

期群体鉴定法<sup>[8]</sup>,在主产于巴基斯坦、尼泊尔、印度的籼稻品种中发现了抗白背飞虱品种<sup>[19]</sup>,确定了5个抗性基因(*Wbph1*、*Wbph2*、*Wbph3*、*wbph4*、*Wbph5*)<sup>[1,2,9,18,20,23,32]</sup>。同样,在中国云南省、江西省、安徽省等地方品种中也发现了确定为抗白背飞虱的品种<sup>[41,45,46]</sup>。约占广东省地方品种0.4%的抗白背飞虱品种,主要是籼型晚稻品种<sup>[53]</sup>。台湾传统品种Nabeshi具有极强的白背飞虱抗性<sup>[45]</sup>,也是籼稻品种。

这些抗白背飞虱籼稻品种,在显示对白背飞虱忌避性的同时,也具有抑制飞虱取食、生存、发育、产卵、孵化和种群繁殖等的抗性<sup>[5,7,12,13,16,17,21]</sup>。可以认为,籼稻品种对白背飞虱的忌避性和抗性的共同点在于抑制和阻碍取食。另外,用苗期群体鉴定法对亚洲温带地区的粳稻品种进行鉴定,没有发现抗白背飞虱的品种。但是,与IR28杂交育成的粳稻品种“丙620(秀水620)”、与野生稻自然杂交而成的粳稻品种“包选2号”等,都显示了对白背飞虱的稻田抗性<sup>[36,58,62]</sup>。本研究的供试品种春江06也以丙620(秀水620)为中间母本。为使秀水620等丙系列品种对褐飞虱产生抗性,在IR28中导入了褐飞虱抗性基因<sup>[38]</sup>。但是,通过苗期群体鉴定及田间鉴定,确认IR28属白背飞虱敏感型品种<sup>[19,30]</sup>,秀水620及春江06的抗白背飞虱性状的来源不清楚。

春江06移栽田内的白背飞虱种群密度较低,主要是长翅型成虫的迁入密度低和繁殖率低。低迁入密度是因为迁入虫不嗜好春江06(忌避性)。据观察,约75%的春江06上的供试虫的蜜露排出量在5 mg/(雌·d)以下,取食活动受到了严重阻碍。可以认为阻碍取食是忌避性的一个重要因素。而且,强

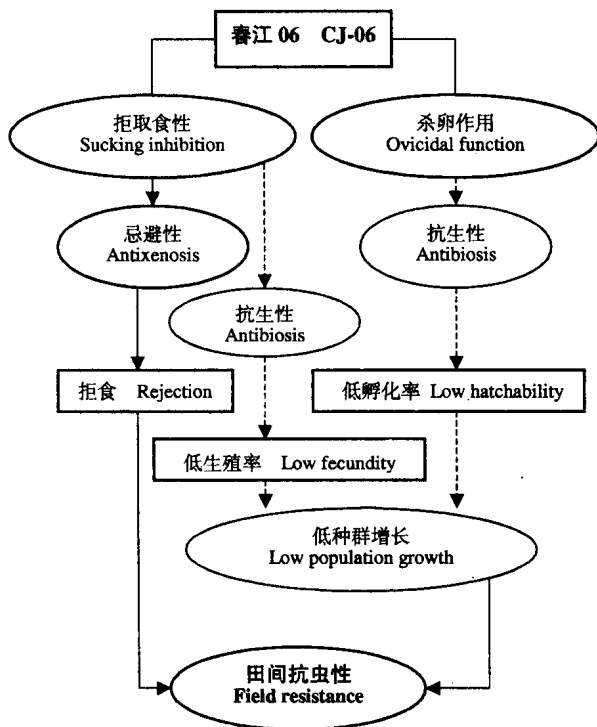


图8 粳稻品种春江06对白背飞虱田间抗性的抗虫机理

Fig. 8. Resistant mechanisms of field resistance in japonica rice variety Chunjiang 06 to *S. furcifera*.

行寄生在春江06上的长翅型雌成虫的产卵总数只是汕优63的1/3。将已在感虫品种上产卵的雌成虫,接在春江06和汕优63上1d,前者的产卵数是后者的60%。我们认为,春江06上产卵数的减少也是因为取食抑制产生抗生素。我们把以阻碍取食为主的忌避性和抗生素性看作是褐飞虱对粳稻品种抗性的基本机理<sup>[24,27]</sup>。

### 3.3 春江06对白背飞虱的杀卵作用

田间调查发现,春江06叶鞘上的发育卵率总是低于汕优63,而且两品种中卵的胚胎发育情况也不同。我们将怀有足够卵的雌成虫分别接在春江06和汕优63的叶鞘上使之产卵1d,在胚胎发育基本完成的第6天,比较两品种的发育卵率,春江06上卵的死亡率明显高于汕优63。另外,将羽化后的白背飞虱雌成虫直接在春江06上饲养,孵化的若虫数量也很少(这些都是导致卵高死亡率的原因)。

春江06叶鞘的产卵部位有明显的水渍状褐变死圈,所产的卵在1~2d内死亡,而卵死亡率较低的汕优63的产卵部位没有水渍状褐变死圈发生。这说明春江06上白背飞虱卵的生理死亡与日本粳稻品种中生物防御反应的原理相同,是杀卵作用的

结果。通过对日本粳稻品种的杀卵作用以及籼粳杂交品种对白背飞虱“超感虫性”现象的研究,发现有白背飞虱产卵的粳稻品种的叶鞘褐变与杀卵作用有着密切的关系<sup>[26]</sup>。现已证实,产卵部位的水渍状病变、褐变,使卵在1~2d内死亡<sup>[28]</sup>;产卵使该部位产生了带杀卵活性的苯甲酸苄酯<sup>[22]</sup>。这种生物体防御杀卵作用只对刚产的卵有效,是粳稻品种特有的诱导抗性,与若虫的生长发育无关。因此,广泛用于稻飞虱、叶蝉类品种抗性鉴定的苗期群体鉴定法<sup>[8]</sup>无法确定杀卵作用带来的诱导抗性。同为供试品种的春江11的杀卵作用弱于春江06,而春江早1号几乎没有。中国粳稻品种间杀卵作用的差异很大。

日本粳稻品种对白背飞虱的杀卵作用,容易在与籼稻品种的杂交中丧失,而敏感性增强。从高产饲料稻品种<sup>[26]</sup>、籼稻品种等中导入抗条纹叶枯病基因的武藏小金,就是其中一例<sup>[6,29]</sup>。

### 3.4 春江06对白背飞虱的双重抗性

中国粳稻品种春江06具有籼稻品种的由取食抑制产生的忌避性,同时又有粳稻品种的杀卵作用,是一种很有意义的品种。春江06对白背飞虱具有双重抗性,即对迁入长翅型成虫的忌避性,以及取食障碍减少产卵数(fecundity)、杀卵作用减少有效卵数(fertility)的抗生素性,有极强且稳定的稻田抗性(图8)。该品种并不是作为抗白背飞虱品种育成的,但作为一种在华中、华东单季稻作区有很高实用价值的品种,作为抗白背飞虱的供试品种,很有意义。

谢辞:承蒙中国水稻研究所中日合作研究项目办公室主任徐青女士,帮助翻译稿件,谨此表示感谢!

### 参考文献:

- 1 Angeles E R, Khush G S, Heinrichs E A. Inheritance of resistance to planthoppers and leafhoppers in rice. In: Rice Genetics. Manila: International Rice Research Institute, 1986. 537-549.
- 2 Angeles E R, Khush G S, Heinrichs E A. New genes for resistance to whitebacked planthopper in rice. *Crop Sci*, 1981, 21:47-50.
- 3 Endo S, Nagata T, Kawabe S, Kazano H. Changes of insecticide susceptibility of the whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* Horváth (Homoptera: Delphacidae) and the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Appl Entomol Zool*, 1988, 23: 417-421.
- 4 Endo S. Changes in insecticide susceptibility of the planthopper.



- Shokubutu-Boeki (Plant Prot)*, 1989, 43:517—521. (in Japanese)
- 5 Gunathilagarai K, Chelliah S. Feeding behaviour of whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth), on resistant and susceptible rice varieties. *Crop Prot*, 1985, 4:225—262.
  - 6 Hara E, Saito M. A relationship between rice varieties and population density of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* Horváth. *Proc Assoc Plant Prot Kantotosan*, 1984, 31:109. (in Japanese)
  - 7 Heinrichs E A, Rapusas H R. Levels of resistance to the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae), in rice varieties with different resistance genes. *Environ Entomol*, 1983, 12:1793—1797.
  - 8 Heinrichs E A, Medrano F G, Rapusas H R. Genetic Evaluation for Insect Resistance in Rice. Manila: International Rice Research Institute, 1986. 359.
  - 9 Hernandez J E, Khush G S. Genetics of resistance to whitebacked planthopper in some rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Oryza*, 1981, 18: 44—50.
  - 10 Hu G W, Tang J, Tang J Y. Recent prevalence of the whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in China. *Shokubutu-Boeki (Plant Prot)*, 1992, 46:219—222. (in Japanese)
  - 11 Inoue H, Tanaka A. Whitebacked planthopper infestations under the different fertilizing treatments. *Proc Assoc Plant Prot Kyushu*, 1991, 37: 87—90. (in Japanese)
  - 12 Khan Z R, Saxena R C. Behavioral and physiological responses of *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae) to selected resistant and susceptible rice cultivars. *J Econ Entomol*, 1984, 78: 1280—1286.
  - 13 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.
  - 14 Kiyota O, Okumura K. Damage analysis of whitebacked planthopper infestations. *Proc Assoc Plant Prot Kyushu*, 1990, 36: 95—96. (in Japanese)
  - 15 Kuno E. Studies on the population dynamics of rice leafhoppers in paddy field. *Bull Kyushu Agric Expt Stat*, 1968, 14:131—246. (in Japanese with English abstract)
  - 16 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, 7:343—353.
  - 17 Mishra N C, Misra B C. Preference of white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* to different rice varieties. *Entomol Exp Appl*, 1991, 59:87—92.
  - 18 Nair R V, Masajo T M, Khush G S. Genetic analysis of resistance to whitebacked planthopper in twenty-one rice varieties. *Theor Appl Genet*, 1982, 61:19—22.
  - 19 Romena A M, Rapusas H R, Heinrichs E A. Evaluation of rice accessions for resistance to the whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae). *Crop Prot*, 1986, 5: 334—340.
  - 20 Saini S R, Khush G S, Heinrichs E A. Genetic analysis of resistance to whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth). *Crop Prot*, 1982, 1: 289—297.
  - 21 Saxena R C, Khan Z R. Comparison between free-choice and no-choice seeding bulk tests for evaluating resistance of rice varieties to the whitebacked planthopper. *Crop Sci*, 1985, 24: 1204—1206.
  - 22 Seino Y, Suzuki Y, Sogawa K. An ovicidal substance produced by rice plants in response to oviposition by the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth)(Homoptera: Delphacidae). *Appl Entomol Zool*, 1996, 31: 467—473.
  - 23 Sidhu G S, Khush G S, Medrano F G. A dominant gene in rice for resistance to whitebacked planthopper and its relation to other plant characters. *Euphytica*, 1979, 28: 227—232.
  - 24 Sogawa K, Pathak M D. Mechanism of brown planthopper resistance in Mudgo variety of rice (Homoptera: Delphacidae). *Appl Entomol Zool*, 1970, 5:145—158.
  - 25 Sogawa K. Recent biological and ecological problems of the rice planthoppers. *Shokubutu-Boeki (Plant Prot)*, 1992, 46:183—186. (in Japanese)
  - 26 Sogawa K. Super-susceptibility to the whitebacked planthopper in japonica/indica hybrid rice. *Kyushu Agric Res*, 1991, 53:92. (in Japanese)
  - 27 Sogawa K. The rice brown planthopper: feeding physiology and host plant interactions. *Ann Rev Entomol*, 1982, 27: 49—73.
  - 28 Suzuki Y, Sogawa K, Seino Y. Ovicidal reaction of rice plants against the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* Horváth (Homoptera: Delphacidae). *Appl Entomol Zool*, 1996, 31: 111—118.
  - 29 Takayama T, Iwata N, Tamura T. Occurrence of the whitebacked rice planthopper (*Sogatella furcifera* Horváth) in Gunma Prefecture in 1983. *Proc Assoc Pant Prot Kantotosan*, 1984, 31:107—108. (in Japanese)
  - 30 Velusamy R, Heinrichs E A. Field resistance to the whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in IR rice varieties. *J Pl Prot Tropics*, 1985, 2: 81—85.
  - 31 Watanabe T, Sogawa K. Growth and yield analysis of rice plants infested with long-distance migratory rice planthopper. 1. Effects of period and intensity of the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* Horváth(Homoptera: Delphacidae), infestation on vegetative growth and yield. *Appl Entomol Zool*, 1994, 38:153—160.
  - 32 Wu C, Khush G S. A new dominant gene for resistance to whitebacked planthopper in rice. *Crop Sci*, 1985, 25: 505—509.
  - 33 Yu X P, Wu G R, Hu C. Resistance of selected rice varieties to brown planthopper (BPH) and whitebacked planthopper (WBPH). *IRRN*, 1991, 16(3): 15.
  - 34 白背飞虱种群发展与生态研究协作组. 早(中)稻和晚稻白背飞虱虫源性质的研究. *昆虫知识*, 1992, 29(1):1—4. [Research Group on Population Development and Ecology of Whitebacked

- Planthopper. Study on the characteristics of population resources of *Sogatella furcifera* (Horváth) in early (semi-late) and late rice. *Entomol Knowl*, 1992, 29 (1): 1-4. ](in Chinese with English abstract)
- 35 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):166-170. [Cai S F, Zhong M Y. Experiment on control of diseases and insect pests on late hybrid rice. *J Zhejiang Agric Sci*, 1980, (4):166-170. ](in Chinese)
- 36 陈洁明,浦茂华,顾伯良. 晚粳“丙620”对飞虱抗性及其利用价值. 植物保护, 1989, 15 (5):4-5. [Chen J M, Pu M H, Gu B L. The resistance of late non-glutinous rice “Bing 620” to planthoppers and its utility. *Plant Prot*, 1989, 15 (5):4-5. ](in Chinese)
- 37 冯永新,黄连邦. 肇庆地区杂交稻病虫害的发生特点与今后防治对策. 广东农业科学, 1983, (3):18-21. [Feng Y X, Huang L B. Occurrence characteristics and control strategies of diseases and insect pests on hybrid rice in the district of Zhaoqing, Guangdong Province. *Guangdong Agric Sci*, 1983, (3):18-21. ](in Chinese)
- 38 高春先,顾秀慧,贝亚维. 秀水620对褐稻虱抗生性的研究及其抗性评价. 中国水稻科学, 1990, 4(4):175-180. [Gao C X, Gu X H, Bei Y W. Antibiosis and its resistance evaluation of Xiushui 620 to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Chinese J Rice Sci*, 1990, 4(4):175-180. ](in Chinese with English abstract)
- 39 广东省农科院植保所. 珠江三角洲稻区水稻主要病虫害综合治理研究进展. 广东农业科学, 1994, (5):33-36 [Institute of Plant Protection of Guangdong Academy of Agricultural Sciences. Progress on the integrated management of major diseases and insect pests of rice at Pearl River Delta. *Guangdong Agric Sci*, 1994, (5):33-36. ](in Chinese)
- 40 寒川一成,高桥明彦. 依靠亚洲季风的稻飞虱大范围迁飞. 杭州:中国水稻研究所中日合作项目办公室, 1998. [Sogawa K, Takahashi T. Large-range migration of rice planthopper based on Asian monsoon. Hangzhou: CNRRI-JIRCAS Cooperative Office, China National Rice Research Institute, 1998. ](in Chinese)
- 41 胡国文,毛立新,唐健,王松尧. 水稻品种对白背飞虱的拒性和抗性研究初报. 中国水稻科学, 1988, 2 (2):79-84. [Hu G W, Mao L X, Tang J, Wang S Y. Preliminary analysis on antixenosis and antibiosis level of rice varieties to whitebacked planthopper *Sogatella furcifera*. *Chinese J Rice Sci*, 1988, 2 (2):79-84. ](in Chinese with English abstract)
- 42 黄次伟,冯炳灿,陈建明. 水稻品种对白背飞虱种群增长的影响. 昆虫知识, 1994, 31:196-198. [Huang C W, Feng B C, Chen J M. Influence of the rice varieties on the population growth of *Sogatella furcifera*. *Entomol Knowl*, 1994, 31(4):196-198. ](in Chinese with English abstract)
- 43 黄次伟,冯炳灿,王焕弟,姚静,宋丽君. 白背飞虱生物学特性和药剂防治研究. 浙江农业科学, 1982, (3):138-141. [Huang C W, Feng B C, Wang H D, Yao J, Song L J. Studies on the biological characters and chemical control of *Sogatella furcifera*. *J Zhejiang Agric Sci*, 1982, (3):138-141. ](in Chinese with English abstract)
- 44 黄志农,马国辉,何英豪,张玉焯,刘二明,徐叔云,刘朝友,邵勇. 杂交水稻超高产栽培条件下病虫害综合防治技术体系研究. 杂交水稻, 1998, 13(2):17-21, 28. [Huang Z N, Ma G H, He Y H, Zhang Y Z, Lin E M, Xu S Y, Liu C Y, Shao Y. Studies on the technological system for the integrated pest management of hybrid rice diseases and insect pests under super high-yielding culture. *Hybrid Rice*, 1998, 13(2):17-21, 28. ](in Chinese)
- 45 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, 10:173-176. [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)
- 46 李西明,闵绍楷,熊振民,胡国文. 水稻品种对白背飞虱的抗源筛选及其抗性遗传分析. 遗传学报, 1987, 14:413-418. [Li X M, Min S K, Xiong Z M, Hu G W. Screening of resistant and genetical analysis of resistance to whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* in rice varieties. *Acta Genet Sin*, 1987, 14 (6):413-418. ](in Chinese with English abstract)
- 47 梁家荣,陈学礼. 白背飞虱为害损失的通径分析及防治指标研究. 江苏农业科学, 1990, (5):36-38. [Liang J R, Chen X L. Path analysis of damage to rice by whitebacked planthopper (*Sogatella furcifera*) and indexes for their control. *Jiangsu Agric Sci*, 1990, (5):36-38. ](in Chinese)
- 48 林裕正. 广东汕头1992-1993年稻飞虱发生概况. 见:稻飞虱研究技术报告. 北京:农业部全国植物保护总站, 1994. 54-56. [Lin Y Z. Occurrence of rice planthopper in Shantou, Guangdong during 1992-1993. In: Technical Report of Rice planthopper Research. Beijing: National Plant Protection Station, Ministry of Agriculture, P. R. China, 1994. 54-56. ](in Chinese)
- 49 马慧坤,黄德光,李洪凯,黄镜俊. 杂优稻白背飞虱发生情况的初步调查. 广东农业科学, 1983, (3):22-23. [Ma H K, Huang D G, Li H K, Huang J J. Preliminary observation on the occurrence of the whitebacked planthopper on hybrid rice. *Guangdong Agric Sci*, 1983, (3):22-23. ](in Chinese)
- 50 毛立新,梁天锡. 水稻飞虱对十三种杀虫剂的抗性监测. 中国水稻科学, 1992, 6(2):70-76. [Mao L X, Liang T X. Monitoring in susceptibility of whitebacked planthopper and brown planthopper to thirteen insecticides. *Chinese J Rice Sci*, 1992, 6(2):70-76. ](in Chinese with English abstract)
- 51 农业部. 稻飞虱监测与治理年报. 北京:农业部全国植物保护总站, 1992. 1-3. [Ministry of Agriculture, P. R. China. Annual Report of Monitoring and Management of Rice Planthopper. Beijing: National Plant Protection Station, Ministry of Agriculture, P. R. China, 1992. 1-3. ](in Chinese)
- 52 钱汉良,谷守礼,张翼. 应用水稻丰抗品种配套技术控制病虫害. 植物保护, 1991, 17(3):16-17. [Qian H L, Gu S L, Zhang Y. The application of productive and pest resistant cultivars and accessory techniques for rice pest control. *Plant Prot*, 1991, 17

- (3):16—17.](in Chinese)
- 53 谭玉娟,张 扬,潘 英,刘钧赞,许 聪. 广东地区稻种资源对褐稻虱、白背飞虱的抗性鉴定. 广东农业科学, 1990, (6):35—38. [Tan Y J, Zhang Y, Pan Y, Liu G Z, Xu C. Screening for resistance to brown planthopper and whitebacked planthopper in rice germplasms of Guangdong. *Guangdong Agric Sci*, 1990, (6):35—38.](in Chinese)
- 54 王金辉. 湖南省稻飞虱发生为害特点及综合治理实践. 植保技术与推广, 1998, 18(3):12—14. [Wang J H. Characteristics of rice planthopper occurrence and practice of integrated control in Hunan Province. *Plant Prot Tech & Ext*, 1998, 18(3):12—14.](in Chinese)
- 55 王荫长,范加勤,田学志,高保宗,范岳荣. 溴氰菊酯和甲胺磷引起稻飞虱再猖獗问题的研究. 昆虫知识, 1994, 31(5):257—262. [Wang Y C, Fan J Q, Tian X Z, Gao B Z, Fan Y R. Studies on the resurgent question of planthoppers induced by deltamethrin and methamidophos. *Entomol Knowl*, 1994, 31(5):257—262.](in Chinese with English abstract)
- 56 韦 江,雷金湘,张荣孙,陆荣成. 甲基异硫磷诱发稻飞虱增值现象的调查. 植物保护, 1993, 19(4):27—28. [Wei J, Lei J X, Zhang R S, Lu R C. Investigation on the phenomenon of fecundity of rice planthopper caused by isofenphos methyl. *Plant Prot*, 1993, 19(4):27—28.](in Chinese)
- 57 吴明国,林建荣. 高产、优质、多抗晚粳新品种春江06. 杭州: 中国水稻研究所, 1995. [Wu M G, Lin J R. Chunjiang 06, a new late japonica rice variety with high yielding, good rice quality and multi resistance to diseases and insects. Hangzhou: China National Rice Research Institute, 1995.](in Chinese)
- 58 肖英方,杜正文. 几个粳稻品种抗白背飞虱的研究. 昆虫学报, 1989, 32(3):286—291. [Xiao Y F, Du Z W. Studies on the resistance of japonica rice varieties to whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth). *Acta Entomol Sin*, 1989, 32(3):286—291.](in Chinese with English abstract)
- 59 谢华安,郑家园,张受刚,林美娟. 中国种植面积最大的水稻良种“汕优63”培育的理论和实践. 福建省农科院学报, 1996, 11(4):1—6. [Xie H A, Zheng J Y, Zhang S G, Lin M J. Breeding theory and practice of “Shanyou 63”, the variety with the largest cultivated area in China. *J Fujian Acad Agric Sci*, 1996, 11(4):1—6.](in Chinese with English abstract)
- 60 谢华安,郑家园,张受刚. 籼型杂交水稻汕优63及其恢复系明恢63的选育. 福建省农科院学报, 1987, 2(1):32—37. [Xie H A, Zheng J Y, Zhang S G. Rice breeding for the hybrid combination of Shanyou 63 and its restorer line Minghui 63. *J Fujian Acad Agric Sci*, 1987, 2(1):32—37.](in Chinese with English abstract)
- 61 杨金生,胡建章. 杂交水稻白背飞虱的发生动态与防治对策. 江苏农业科学, 1984, (7):16—19. [Yang J S, Hu J Z. The population dynamics of the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* on hybrid rice and its control. *Jiangsu Agric Sci*, 1984, (7):16—19.](in Chinese)
- 62 俞晓平,巫国瑞,陶林勇. 褐飞虱和白背飞虱在水稻品种上的危害特性. 中国水稻科学, 1991, 5(2):91—93. [Yu X P, Wu G R, Tao L Y. The infestation of the brown planthopper and the whitebacked planthopper on rice varieties. *Chinese J Rice Sci*, 1991, 5(2):91—93.](in Chinese with English abstract)
- 63 张良佑,吴荣宗,曾 玲. 杂交稻对褐稻虱和白背飞虱的抗性研究. 植物保护学报, 1987, 14:99—106. [Zhang L Y, Wu R Z, Zeng L. Resistance of hybrid rice to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) and the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae). *Acta Phytophyla Sin*, 1987, 14(2):99—106.](in Chinese with English abstract)
- 64 张内河,欧高才,易光辉,谢荣辉. 水稻前期使用的几种杀虫剂刺激稻飞虱再增猖獗的试验研究. 植保技术与推广, 1996, (1):5—7. [Zhang N H, Ou G C, Yi G H, Xie R H. Studies on resurgence of rice planthopper induced by the application of several kinds of insecticides. *Plant Prot Tech & Ext*, 1996, (1):5—7.](in Chinese)
- 65 张夕林,张谷丰,张 治,张建明. 二代白背飞虱对粳稻为害损失及其防治指标研究. 植物保护学报, 1998, 25:129—132. [Zhang X L, Zhang G F, Zhang Z, Zhang J M. Economic damage to japonica rice by the second generation population of the whitebacked planthopper. *Acta Phytophyla Sin*, 1998, 25(2):129—131.](in Chinese with English abstract)