

# 混植水稻抗虫和感虫材料抑制白背飞虱发生的初步研究

刘光杰<sup>1</sup> 陈仕高<sup>2</sup> 王敬宇<sup>3</sup> 沈君辉<sup>1</sup> 寒川一成<sup>4</sup> 谢雪梅<sup>2</sup> 谯青春<sup>2</sup> 蒲正国<sup>2</sup>  
石敦贵<sup>2</sup> 刘祥贵<sup>5</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: liug@mail.hz.zj.cn; <sup>2</sup> 重庆市秀山县植保植检站, 重庆 秀山 409900;  
<sup>3</sup> 安徽农业大学 植物保护系, 安徽 合肥 230036; <sup>4</sup> 日本国际农林水产业研究中心, 日本 筑波 305-8686; <sup>5</sup> 重庆市植保植检站, 重庆 400020)

## Preliminary Study on Suppression of the Whitebacked Planthopper, *Sogatella furcifera* by Cultivating the Mixture of the Resistant and Susceptible Rice Varieties

LIU Guang-jie<sup>1</sup>, CHEN Shi-gao<sup>2</sup>, WANG Jing-yu<sup>3</sup>, SHEN Jun-hui<sup>1</sup>, SOGAWA Kazushige<sup>4</sup>, XIE Xue-mei<sup>2</sup>,  
QIAO Qing-chun<sup>2</sup>, PU Zheng-guo<sup>2</sup>, SHI Dun-gui<sup>2</sup>, LIU Xiang-gui<sup>5</sup>

(<sup>1</sup> Chinese National Center for Rice Improvement, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; E-mail: liug@mail.hz.zj.cn; <sup>2</sup> Xiushan Station of Plant Protection and Quarantine, Chongqing 409900, China; <sup>3</sup> Department of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; <sup>4</sup> Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba 305-8686, Japan; <sup>5</sup> Chongqing Station of Plant Protection and Quarantine, Chongqing 400020, China)

**Abstract:** Zhekang, a near isogenic line with the resistant gene from the rice variety Rathu Heenati in pair with the variety Zhefu 802, and Zhehun, the mixture of Zhekang (resistant) and Zhefu 802 (susceptible) to *Sogatella furcifera* by mixing rice seeds in the ratio of 2 (Zhekang) : 1 (Zhefu 802), were used in the experiments. The effectiveness in suppression of *Sogatella furcifera* by planting of the mixture of the near isogenic lines with resistance and susceptibility was studied through field investigation of population dynamics of *S. furcifera* and measurement of honeydew excretion, number of eggs and percentage of egg developed, rice yields and 1000-grain weights. The results revealed that number of adults and nymphs of *S. furcifera* on Zhehun was similar with that on the resistant RHT and Zhekang, 1/2 and 1/4~1/5 less than on susceptible Zhefu 802 and TN1, respectively. Honeydew excreted by *S. furcifera* on Zhehun and Zhekang was 9.03 mg/♀·d and 6.97 mg/♀·d, respectively, significantly lower than that on Zhefu 802 (17.64 mg/♀·d) and TN1 (19.14 mg/♀·d). There were no significant differences in total number of eggs and percentage of egg developed between Zhehun and Zhekang, and between Zhehun and Zhefu 802 and TN1. In compared with Zhekang, the yield of Zhehun increased by 1.17%, whereas the yield of Zhefu 802 decreased by 19.11%; the 1000-grain weights of Zhehun and Zhefu 802 decreased by 2.57% and 9.84%, respectively. Therefore, planting the mixture of resistant and susceptible rice materials to *S. furcifera* could efficiently suppress the development of *S. furcifera* and secured rice yield without losses.

**Key words:** *Sogatella furcifera*; near isogenic line; mixture planting; varietal resistance; rice

**摘要:** 以与浙辐 802 成对的、具有 Rathu Heenati 抗白背飞虱基因的近等基因系“浙抗”, 以及以 2:1 比例混合“浙抗”与浙辐 802 种子构成的抗-感白背飞虱混合群体“浙混”为材料, 采用田间白背飞虱的种群调查和水稻产量及千粒重的测定, 结合室内蜜露量、产卵量和卵发育率的测定, 研究了混植抗感白背飞虱近等基因系材料对白背飞虱的控制效果。试验结果表明, “浙混”上的成虫及若虫数量均与在抗虫的 RHT 和“浙抗”上的相近, 分别是在感虫的浙辐 802 和 TN1 上的 1/2 和 1/4~1/5。白背飞虱在“浙混”和“浙抗”上分泌的蜜露量分别为 9.03 和 6.97 mg/♀·d, 显著地低于在浙辐 802 (17.64 mg/♀·d) 和 TN1 (19.14 mg/♀·d) 上的。白背飞虱在“浙混”与“浙抗”、浙辐 802 与 TN1 上的产卵量和卵发育率都没有显著性差异。与“浙抗”相比, “浙混”和浙辐 802 的稻谷产量分别增加了 1.17% 和减少了 19.11%, “浙混”和浙辐 802 的千粒重分别减少了 2.57% 和 9.84%。因此, 混植抗感白背飞虱水稻材料可以有效地抑制白背飞虱的发生, 还可以保证水稻产量不受损失。

**关键词:** 白背飞虱; 近等基因系; 混植; 抗性; 水稻

**中图分类号:** S433.1; S433.112+.3; S474

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7216(2003)增刊-0103-05

稻飞虱(褐飞虱和白背飞虱)是我国和东南亚国家的重要水稻害虫之一。自 20 世纪 70 年代以来, 国际水稻研究所(IRRI)先后育成和推广了具有抗褐飞虱基因的 IR26、IR36、IR64 和 IR72 等一系列水稻优良品种<sup>[1]</sup>。这些抗性水稻品种在抑制褐飞虱发生后, 致使白背飞虱从次要害虫上升为主要害虫。同时, 也由于抗性遗传背景的单一、害虫的选择压力过大, 使得褐飞虱分别在短短的 2 年和 5 年内就对抗性基因 *Bph1* 和 *Bph2* 产生了适应性, 表现

出品种抗性的丧失<sup>[3]</sup>。因此, 人们在思索着怎样在

**收稿日期:** 2003-01-21。

**基金项目:** 国家“十五”科技攻关项目(2001BA509B02-03); 浙江省“十五”科技攻关项目(011102202); 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:** 刘光杰(1961—), 男, 博士, 研究员。

充分利用品种抗虫性进行害虫的可持续治理的同时,又要减少或减缓害虫新的致害型(生物型)的产生。在转基因抗虫作物中,人们尝试着采用“避难所”的方法——抗虫田块与感虫田块交叉或轮种,或按一定的比例混合抗虫和感虫水稻种子的方式——来减缓害虫对转基因抗虫作物的适应性<sup>[4]</sup>。在稻瘟病防治中,采用感病高秆的糯稻与抗病矮秆的杂交稻按一定的比例混插,可以有效地控制稻瘟病的发生,并减缓稻瘟病新的生理小种的产生<sup>[5,7]</sup>。

因此,我们采用作者近年来构建的水稻抗白背飞虱近等基因系材料<sup>[6]</sup>,将抗虫和感虫品种的种子混合后育苗、移栽入大田,通过调查白背飞虱种群动态、测定白背飞虱的蜜露量、产卵量和卵发育率,以及测定水稻产量与千粒重,初步研究了种子混合后混植抗感品种对白背飞虱的控制效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

水稻材料浙辐 802 抗(简称浙抗)是将 Rathu Heenati(简称 RHT)的抗白背飞虱基因导入早籼稻品种浙辐 802 后,通过多次回交与自交获得的与浙辐 802 成对的近等基因系<sup>[5]</sup>。水稻材料“浙混”是以 2/3 质量的“浙辐 802 抗”种子与 1/3 质量的浙辐 802 种子充分混合而成的。浙辐 802、TN1 和 RHT 作为亲本对照和抗虫性对照。

白背飞虱种群动态调查和水稻产量测定的田间试验在白背飞虱常发和重发地——重庆市秀山县平凯镇护国村进行,小区面积约为 66 m<sup>2</sup>。室内测定在中国水稻研究所富阳试验基地进行。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 白背飞虱田间种群动态调查和水稻产量测定

水稻于 2002 年 4 月 5 日播种,5 月 23 日单株移栽,单本插。田间的白背飞虱自然迁入发生。移栽 7 d 后开始田间调查,每个处理调查 20 丛稻株,每 5 d 调查一次,采用盘拍法。分别记录成虫、若虫和蜘蛛的数量。正常喷施所需的杀菌剂。收获稻谷时,每个处理取产量样本 3 个,每个样本 1 m<sup>2</sup>。自然风干后测定稻谷产量和千粒重。

#### 1.2.2 蜜露量测定

采用播种后 30 d 左右的健壮稻苗,去掉次生分蘖,保留主茎,在主茎第一或第二叶鞘的顶部套 1 只

石蜡薄膜(parafilm)小袋(2 cm×3.5 cm),接入一只羽化后 2~3 d 的白背飞虱长翅型雌成虫。在室温 27~33℃ 下进行测定。取食 1 d 后,取下小袋,在 Sartorius<sup>®</sup> 万分之一电子天平上称重。1 株为 1 个重复,每个材料设 20 个重复。

#### 1.2.3 白背飞虱产卵量及卵发育率测定

采用播种后 40 d 左右的健壮稻苗,去掉次生分蘖,保留主茎,在主茎第一或第二叶鞘的顶部套一只石蜡薄膜(parafilm)小袋,接入一只交配后 2~3 d 的白背飞虱长翅型雌虫。在室温 27~33℃ 下进行测定。1 d 后,摘下小袋,用透明双通塑料管(直径为 2.5 cm,高 8.0 cm)罩住产卵部位,两端用海绵塞住,防止寄生蜂等天敌寄生而影响卵的正常发育。取下小袋的第 5 天剪下稻株叶鞘,在双目立体解剖镜下观察,分别记下发育的卵数和未发育或异常的卵。1 株为 1 个重复,每个品种 20 个重复。

## 2 结果与分析

### 2.1 白背飞虱田间种群动态和蜘蛛数量

从田间白背飞虱成虫的数量变化来看,在浙混上的成虫数量与在抗虫亲本 RHT 和浙抗上的十分接近,均处于较低的水平,7 月 6 日最高时分别为 2.0、1.0 和 1.3 只/株(图 1)。白背飞虱在浙辐 802 和 TN1 上的成虫数量较高,7 月 6 日最高时分别为 4.1 和 11.4 只/株。白背飞虱若虫数量在上述试验材料上也获得了相似的结果,浙混上的若虫数量大约是浙辐 802 上的 1/2、TN1 上的 1/4、浙抗和 RHT 上的 2 倍。蜘蛛数量随着水稻的生长而增多,虽然在 TN1 上的略高一些,但在各试验材料上的差异却不明显(图 1)。

### 2.2 产量和千粒重测定

与浙抗相比,浙混和浙辐 802 的产量分别增加了 1.17% 和减少了 19.11%,浙混和浙辐 802 的千粒重分别减少了 2.57% 和 9.84%(表 1)。由于 RHT 不能正常抽穗和 TN1 严重受害,故没有这两个品种的产量与千粒重数据。

### 2.3 蜜露量测定

白背飞虱分泌的蜜露量在浙混与浙抗、浙抗与 RHT、浙辐 802 与 TN1 之间均无显著性差异(表 2)。在浙混上的蜜露量显著地低于在浙辐 802 和 TN1 上的。白背飞虱在 TN1 上分泌的蜜露最多,为 19.14 mg/(雌·d);在 RHT 上最少,仅为 4.02

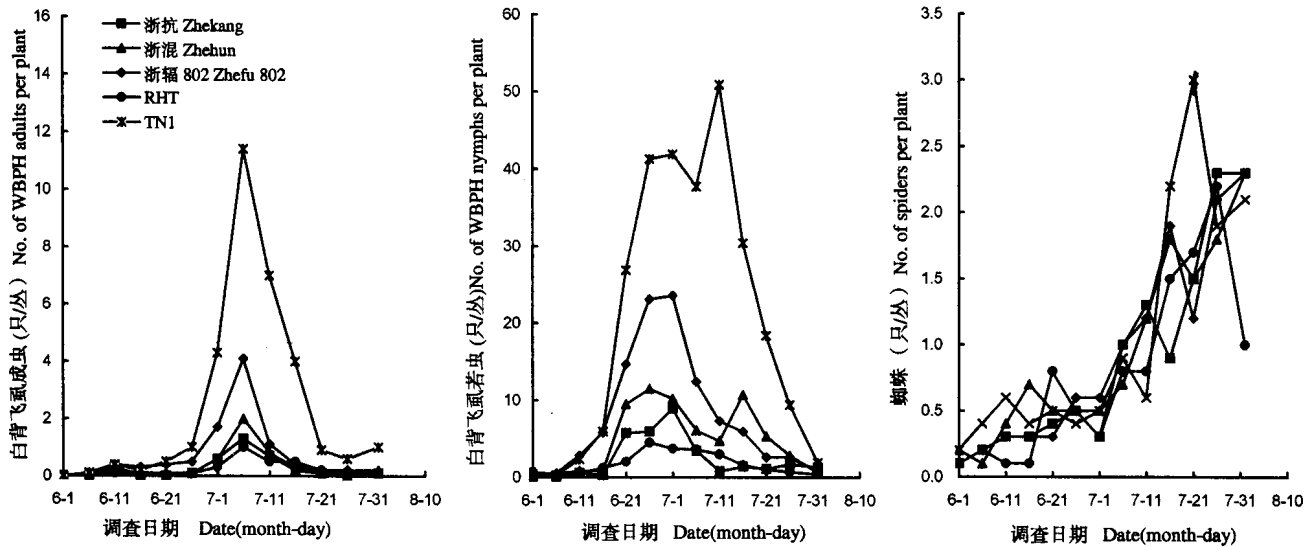


图1 在混植抗感白背飞虱水稻材料上的成虫、若虫和蜘蛛的种群动态(秀山,2002)  
 Fig. 1. Population dynamics of adults and nymphs of *S. furcifera*, and spiders on the mixture of resistant and susceptible rice materials(Xiushan, 2002).

表1 供试水稻材料的产量和千粒重及其损失率<sup>1)</sup>(秀山,2002)

Table 1. Yields and 1000-grain weights of the tested rice varieties and percentage of losses<sup>1)</sup> (Xiushan, 2002)

水稻材料 Rice material	产量 Yield in 667 m <sup>2</sup> /kg	产量损失率 <sup>2)</sup> Percentage of losses <sup>2)</sup> /%	千粒重 1000-grain weight/g	千粒重损失率 Percentage of losses/%
浙抗 Zhekang <sup>3)</sup>	304.68±15.76 a	—	25.73±0.24 a	—
浙混 Zhehun	308.24±17.63 b	-1.17	25.07±0.09 a	2.57
浙辐 802 Zhefu 802	249.35±2.14 c	19.11	22.60±0.11 b	9.84

<sup>1)</sup> 同一列中,具有相同英文字母者表示平均数间没有显著差异,最小显著差数法(LSD), $P=0.05$ 。

<sup>2)</sup> 损失率以浙抗为对照计算。

<sup>1)</sup> In a column, means ( $\pm$ SE) followed by the same lowercase letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test,  $P=0.05$ .

<sup>2)</sup> Percentages of losses were calculated based on the standard of Zhekang.

<sup>3)</sup> Zhekang stands for a near isogenic line with the resistant gene from the variety Rathu Heenati in pair with the variety Zhefu 802, and Zhehun for the mixture of resistant Zhekang and susceptible Zhefu 802 by mixing rice seeds in the ratio of 2 (Zhekang) : 1 (Zhefu 802).

表2 白背飞虱在供试水稻材料上的蜜露量、产卵量与发育卵率(富阳,2002)

Table 2. Honeydew excreted and eggs laid by, and percentage of developed eggs of *S. furcifera* on the rice varieties tested (Fuyang, 2002)

水稻材料 Rice material	蜜露量 Honeydew /(mg · female <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	产卵量(粒/雌虫) No. of eggs per female	发育卵率 Eggs developed/%
浙抗 Zhekang	6.97±3.56 bc	13.4±6.2 bc	87.45±18.04 ab
浙混 Zhehun	9.03±4.27 b	18.1±9.9 ab	88.44±18.83 ab
浙辐 802 Zhefu 802	17.64±7.30 a	20.8±10.2 a	93.45±9.46 a
TN1	19.14±5.20 a	22.9±9.8 a	96.40±7.05 a
RHT	4.02±0.56 c	9.7±5.1 c	76.43±32.0 b

同一列中,具有相同英文字母者表示平均数间没有显著差异,最小显著差数法(LSD), $P=0.05$ 。

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

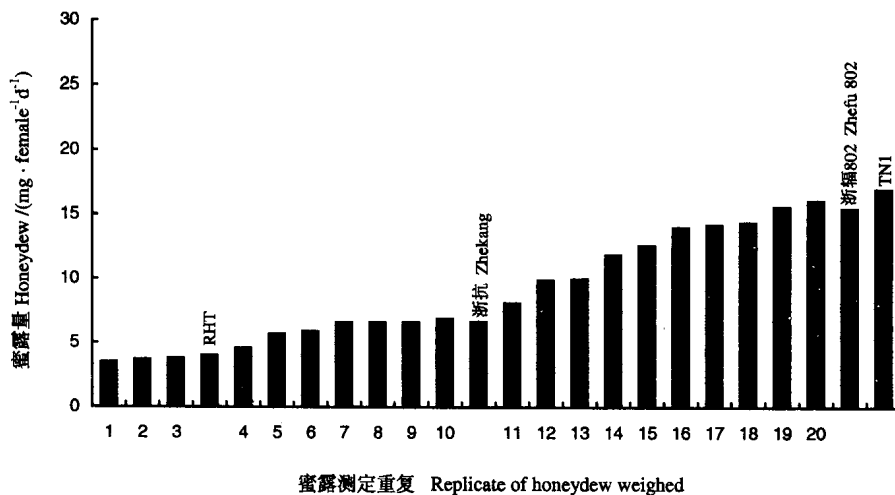


图2 白背飞虱在水稻材料浙混各重复上分泌蜜露量的分布

Fig. 2. Distribution of the replicates of honeydew excreted by *S. furcifera* on Zhehun (a mixture of resistant Zhekang and susceptible Zhefu 802).

mg/(雌·d)。通过蜜露量测定,也证明了试验选取的20株浙混材料的抗、感比例基本符合配制的抗2:感1的比例,说明浙混材料没有明显的抗、感偏态(图2)。

#### 2.4 产卵量和卵发育率测定

在产卵量和卵发育率上,白背飞虱在浙混与在浙抗、浙辐802和TN1上无显著差异,而与RHT上的差异显著(表2)。浙辐802抗与浙混802在产卵上存在显著性差异,但在卵发育率上差异不显著。浙辐802与TN1,浙混与浙辐802,RHT与浙抗在产卵量与卵孵化率上趋势一致,均无显著性差异。

### 3 讨论

昆虫与植物的相互关系就是昆虫进化的历史。人类利用抗虫植物抵御害虫的为害,在减轻损失的同时,更加剧了昆虫进化的进程。自20世纪80年代以来,随着抗稻褐飞虱品种的推广,在短短几年中褐飞虱就产生了克服品种抗性的新的“生物型”[3]。随着抗虫品种的更换,又产生了新的“生物型”[8]。张志涛等研究表明,褐飞虱的致害性转化是渐变的,在世代间似有遗传积累,抗虫品种的抗虫机理和遗传背景不同,致害性转化的进程和速率也不一样[9]。因此,利用抗虫品种是水稻害虫可持续治理系统中非常重要的措施之一,但怎样减缓害虫新的致害型(生物型)的产生是影响抗虫品种利用的关键。Gould[4]和Cohen等[2]认为利用抗感作物混

种的“高剂量-避难所”害虫治理策略是非常理想的。

本研究的田间试验结果表明,在“浙混”上,白背飞虱迁入后繁殖的下一代成虫和若虫发生数量仅为在感虫亲本浙辐802上的1/2,以及感虫对照TN1上的1/4,而与在“浙抗”上的相当。在“浙混”、“浙抗”和浙辐802上的蜘蛛数量没有显著差异,说明混植对蜘蛛数量的增减没有明显的影响。

与浙抗相比,虽然“浙混”的千粒重降低了2.57%,但是其稻谷产量却增加了1.17%。因此,混植抗虫和感虫的近等基因系材料对白背飞虱的发生和发展具有很好的控制效果,同时也保证了水稻的稳产。在云南[5]和湖北[7]混植抗感稻瘟病的品种中,也得到了类似的增产效果。

白背飞虱取食水稻韧皮部汁液后分泌蜜露,其量的多少可基本反映取食量的大小。因此,可用通过检测白背飞虱蜜露分泌量的方法来间接地测定白背飞虱的取食量。室内的蜜露量测定结果表明,白背飞虱在“浙混”、“浙抗”和RHT上的取食量均较低,“浙混”与“浙抗”和RHT一样具有明显的抑制白背飞虱取食的抗虫作用。这进一步证明了白背飞虱的田间虫量在“浙混”上始终处于较低水平,是由于白背飞虱取食受到抑制的结果。

白背飞虱在“浙混”上的产卵量与在浙辐802上的没有显著差异,而略低于在“浙抗”上的,这可能是由于三者对白背飞虱的拒食抗性水平不一引起的。白背飞虱在抗虫性高的材料上停留的时间越短,其

产卵量就越少;反之,停留的时间越长,产卵量就越多。白背飞虱在“浙混”、“浙抗”和浙辐 802 上的卵发育率都高于 87.5%,且没有显著差异,表明这三个材料对白背飞虱没有杀卵作用。

目前的结果表明混植抗感白背飞虱的水稻材料可以与纯系的抗虫品种一样,起到显著抑制白背飞虱种群发生和发展的抗虫作用。Cohen 等认为转基因抗螟品种与感螟虫品种的田块相距 800 m 是最佳的“避难所”距离<sup>[2]</sup>。朱有勇等认为最佳的抗感稻瘟病混植模式是 4 行抗病的杂交稻中间插 1 行感病的糯稻<sup>[5]</sup>。我们采用的则是抗感白背飞虱近等基因系随机混植的方式。其中的抗虫机理及其分子基础、抗虫和感虫稻株的混合比例和混植方式,以及混植对减缓白背飞虱新的致害型产生的效果等问题,都有待于进一步的研究和阐明。

#### 参考文献:

- 1 Alam S N, Cohen M B. Durability of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resistance in rice variety IR64 in greenhouse selection. *Entomol Exp Appl*, 1998, 89:71-78.
- 2 Cohen M B, Gould F, Bentur J S. Bt rice: practical steps to sustainable use. *IRRN*, 2000, 25(2):4-10.
- 3 Gallagher K D, Kenmore P E, Sogawa K. Judicial use of insecticides deter planthopper outbreaks and extend the life of resistant varieties in Southeast Asian rice. In: Denno R F, Perfect J T. *Planthoppers: Their Ecology and Management*. New York: Chapman & Hall, 1994. 599-614.
- 4 Gould F. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. *Annu Rev Entomol*, 1998, 43:701-726.
- 5 Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, Wang Y Y, Li Y, Chen J B, Fan J X, Yang S S, Hu L P, Leung H, Mew T W, Teng P S, Wang Z H, Mundt C C. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 2000, 406:718-722.
- 6 刘光杰,曹立勇,张文辉,张 珺,寒川一成,沈君辉,朱旭东,曾媛. 水稻抗白背飞虱近等基因系的构建及其抗性表现. *中国农学通报*, 2002, 18(1): 24-25, 35. [Liu G J, Cao L Y, Zhang W H, Zhang J, Sogawa K, Shen J H, Zhu X D, Zeng Y. Establishment and performance of the iso-genic lines resistance to the whitebacked planthopper (*Sogatella furcifera*) in rice. *Chinese Agric Sci Bull*, 2002, 18(1): 24-25, 35](in Chinese)
- 7 吕 亮,陈其志,陈茂华,张 舒,田 剑,潘学义,魏坦雄,朱有勇. 不同水稻品种间栽控制稻瘟病的田间试验. *华中农业大学学报*, 2002, 21(3): 228-230. [Lu L, Chen Q Z, Chen M H, Zhang S, Tian J, Pan X Y, Wei T X, Zhu Y Y. Field experiment of mixed planting with different rice varieties to control rice blast. *J Huazhong Agric Univ*, 2002, 21(3): 228-230.] (in Chinese with English abstract)
- 8 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)
- 9 张志涛,陈 伟,姜人春,张 燕,蔡祥承. 稻褐飞虱致病性的转化(同翅目:飞虱科). *昆虫学报*, 1997, 40(增刊):110-115. [Zhang Z T, Chen W, Jiang R C, Zhang Y, Cai X C. The virulence shift of rice brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) on different rice varieties. *Acta Entomol Sin*, 1997, 40(Suppl):110-115.] (in Chinese with English abstract)