

中国杂交稻的“超感虫性”研究概况

寒川一成¹ 刘光杰² 沈君辉²

(¹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; ²中国水稻研究所 国家水稻改良中心, 浙江 杭州 310006)

A Review on the Hyper-Susceptibility of Chinese Hybrid Rice to Insect Pests

SOGAWA Kazushige¹, LIU Guang-jie², SHEN Jun-hui²

(¹Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba 305-8686, Japan; E-mail: ksogawa@jircas.affrc.go.jp;

²Chinese National Center for Rice Improvement, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China)

Abstract: Highly susceptible Chinese hybrid rice gave significant impact on the insect pest ecology. The brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens*, and the whitebacked planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera*, have raised as the most prominent outbreak-prone pests of Chinese hybrid rice. Although WBPH was only a secondary insect pest of rice in China before 1970s, it increased greatly in the hybrid rice areas in 1980s. WBPH also became an economic insect pest of japonica rice in Central China due to its massive displacement from hybrid rice area in South China. BPH was temporarily suppressed by the hybrid rice with the *Bph1* gene for BPH-resistance. However, the BPH adapted to them by shifting biotype, when the resistant hybrid rice spread over the insect migration zone in South- and Central China. After 1990, previously BPH-resistant hybrid rice became highly susceptible to BPH. Lack of major genes for resistance does not account enough for the hyper-susceptibility of Chinese hybrid rice to the planthoppers. Heterotic vigorous growth of hybrid rice might be partially responsible for the enhanced fecundity of the planthoppers. Hyper-susceptibility of Chinese hybrid rice to the rice planthoppers is primarily inherited from the WA-CMS lines. Thus, CMS lines are needed to improve insect pest resistance in hybrid rice. Utilization of durable and multi-resistant IR varieties like IR64 as restorer lines might be an alternative approach to improve hyper-susceptibility of Chinese hybrid rice to insect pests. The striped stemborer, *Chilo suppressalis* and the yellow stemborer, *Scirpophage incertulas* also increased on Chinese hybrid rice, which is more favorable as their food plants and more tolerant to their infestations than inbred rice. Yield loss assessments, with special reference to the plant compensation to the stemborer infestation, and ecological interactions between stemborers and hybrid rice are needed to evaluate actual impact of and practical field resistance to stemborers in hybrid rice.

Key words: Chinese hybrid rice; insect resistance; whitebacked planthopper; brown planthopper; striped stemborer; yellow stemborer

摘要:介绍了高度感虫的中国杂交稻推广带来水稻害虫生态地位发生的变化。褐飞虱和白背飞虱上升为杂交稻上最突出的极易爆发成灾的重要害虫。20世纪70年代以前,白背飞虱只是水稻上的次要害虫,但80年代以来其种群大大增加。由于它从中国南部杂交稻种植区大范围迁飞,白背飞虱也成为中国中部地区粳稻上的重要害虫。由于种植具有抗褐飞虱基因 *Bph1* 的杂交稻组合,褐飞虱种群曾得到暂时的控制。然而,抗虫性的杂交稻在中国中部和南部稻飞虱迁飞区推广以后,褐飞虱生物型发生了改变,对抗虫品种产生了适应性。1990年以后,以前表现抗虫的杂交稻变得高感褐飞虱。缺乏抗虫性主基因不是中国杂交稻对稻飞虱超感性的充分理由,杂交稻旺盛生长的杂种优势可能是稻飞虱生殖力提高的部分原因。中国杂交稻对稻飞虱的超感虫性是从不育系遗传而来的。因此,杂交稻抗虫性的提高有赖于不育系的改良。利用持久抗性和多抗性的IR品种如IR64作为恢复系是改善中国杂交稻的超感虫性的一种有效方法。杂交稻上二化螟和三化螟为害也有所增加。与常规稻相比,杂交稻是一种更有利的食料植物且耐虫性更强。进行水稻产量损失的估计,尤其是水稻本身对螟虫为害的补偿能力,以及螟虫和杂交稻之间的生态学关系的研究有助于评价杂交稻对螟虫田间抗性的实际影响。

关键词:中国杂交稻; 抗虫性; 白背飞虱; 褐飞虱; 二化螟; 三化螟

中图分类号: S433; S435.112; S511.034

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2003)增刊-0023-08

中国杂交稻素有“东方魔稻”之美称,它推动了中国水稻的“绿色革命”^[26]。自从1976年开始推广杂交稻以来,其种植面积迅速增加,1991年约占水稻总面积的60%。随后,杂交稻种植面积稳定在1500万hm²左右,占水稻总种植面积的一半,主要分布在长江流域的平原和丘陵地区,其产量占中国水稻总产的60%左右^[26,30](图1)。

一般而言,杂交稻比常规稻增产15%~20%。

在较贫瘠的、低投入的稻田,F₁杂种产量的优势尤为明显。20世纪80年代以来,中国水稻产量的大

收稿日期:2003-02-01。

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。

幅度提高主要依赖于杂交稻技术^[5]。然而,由于其遗传的脆弱性和可能与杂种优势有关的作物生理原因,杂交稻推广后不久就出现了严重的虫害问题^[3,18,21,22,37,44]。目前种植的杂交稻组合都高度感虫,导致了害虫地位的改变。白背飞虱和褐飞虱迅速成为杂交稻的主要害虫,二化螟和三化螟的为害也明显增加。当前,水稻害虫的防治仍以农药防治为主。这些害虫的猖獗将威胁水稻生产的可持续性和 IPM 措施在水稻害虫防治中的实施。本文综述了杂交稻推广以来的水稻害虫问题,并对未来的研究内容提出了建议。

1 稻飞虱的猖獗为害

褐飞虱和白背飞虱仅取食水稻植株,具有 r 策略的生态学特点,其害虫地位直接依赖于水稻这种食物资源的质量和稻田生境的条件。这两种飞虱在中国的大部分地区不能越冬,因此,其种群的建立开始于从热带地区迁飞而来的种群。杂交稻在中国季风区推广种植,对依赖于季风迁飞的稻飞虱的生物学和生态学产生强烈的影响。

1.1 白背飞虱

白背飞虱在 20 世纪 70 年代以前只是水稻上的一种次要害虫。但 1980 年以后,在主要的水稻种植区其为害大大加重。据报道,1978~1987 年间,福建省白背飞虱田间种群呈明显的上升趋势^[33](图 2)。白背飞虱种群的上升是与杂交稻的种植面积密切相关的^[3]。实际上,在湖南省和广西自治区,1981~1990 年间白背飞虱大发生的频率和杂交稻种植面积之间存在着正相关^[47]。

在中国南部,湖南桂东地区早在 1977 年杂交稻南优 2 号上就首次出现白背飞虱大发生^[42]。1981 年,在广东省新兴县大规模示范种植杂交稻以后,白背飞虱密度突然增加^[37]。1982 年,约 1600 hm² 杂交稻汕优 6 号受到白背飞虱的严重为害,约 80 hm² 则完全“虱烧”。在广东肇庆,大面积引种汕优 2 号、汕优 6 号和威优 6 号也导致了白背飞虱的大发生^[21]。

在中国中部,据报道,1979 年浙江省在汕优 6 号上的白背飞虱种群高于常规稻品种^[18]。1980~1982 年间,白背飞虱在汕优 6 号上建立的种群高于常规稻的 8~38 倍^[39]。后来,浙江省农业科学院通过重复田间调查,证实了白背飞虱在汕优 6 号上繁殖力比在 3 个常规稻品种上高 2.6~3.9 倍^[25]。同样地,在不同地点的不同杂交稻组合上,证实了白背

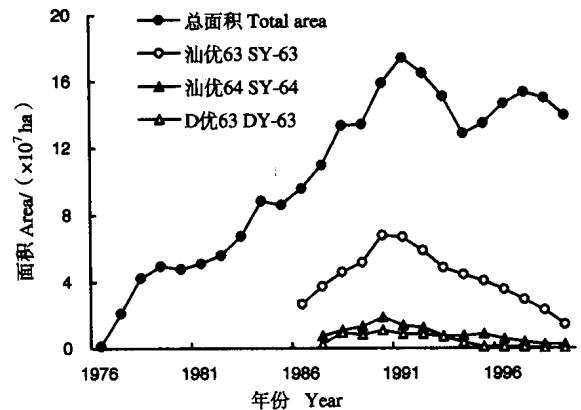


图 1 中国种植的杂交稻面积变化情况(中国水稻研究所统计的数据)

Fig. 1. Area planted with hybrid rice in China (data from CNR-RI).

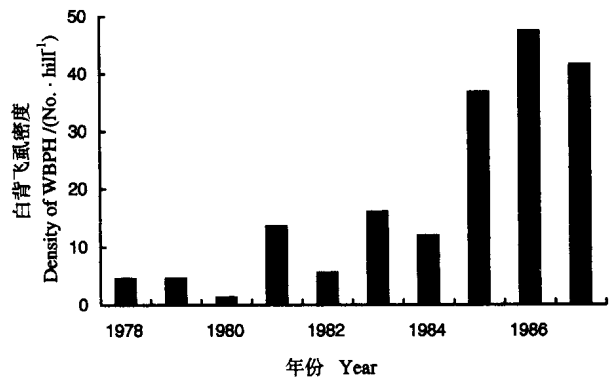


图 2 福建宁德地区每丛稻株白背飞虱平均密度的年度变化(源自:林太礼,1989)

Fig. 2. Yearly fluctuation of average density of *Sogatella furcifera* per hill of rice plants at Ningde District, Fujian Province (from Lin, 1989).

飞虱在杂交稻上的猖獗为害^[17]。

汕优 63 与汕优 6 号同样高感白背飞虱,其上的白背飞虱产卵量相当于或高于 TN1^[13]。与一个改良的常规稻品种相比,前期世代白背飞虱在杂交稻威优 35 上的产卵量较高^[41]。这一系列研究结果表明,白背飞虱在杂交稻上的繁殖力比常规稻高。汕优 63 上第二代白背飞虱若虫密度与水稻产量损失之间的关系可估计为: $y = -33.04 + 18.32x$, 其中 y 代表产量损失(%), x 代表白背飞虱密度(头/100 丛)^[51]。根据这一函数关系,汕优 63 上白背飞虱的经济阈值为 150 头/100 丛,同时也表明白背飞虱在

杂交稻上的高繁殖率。根据苗期群体筛选试验,蜜露量测定和若虫发育试验结果,新培育的高产杂交稻组合协优 9308 也表现为高感白背飞虱^[35]。

据估计,白背飞虱为害引起的产量损失已经超过褐飞虱引起的产量损失^[6]。白背飞虱不仅在杂交稻上猖獗为害,而且从杂交稻种植区向外大范围迁飞,也给中国中部的粳稻造成严重的为害^[54]。20 世纪 80 年代以来,也有跨海迁入日本的白背飞虱种群明显增加的记载^[8](图 3)。1991 年在杂交稻推广面积达最大以后,中国发生了历史上罕见的稻飞虱大发生。白背飞虱从中国南部到中部大范围的迁飞导致了长江中下游地区早稻和中稻毁灭性的为害^[45]。特别需要指出的是,白背飞虱在湖北、安徽和江苏的大发生是历史上少见的。

据了解,2000 年在越南红河三角洲地区种植的中国杂交稻冬春稻上,约 153 000 hm² 的稻田出现白背飞虱的大发生(寒川一成,个人通讯)。越南 20 世纪 90 年代初期开始种植中国杂交稻,目前大约占据了红河三角洲地区 70%~80% 的稻田。1994 年,中国杂交稻技术赴越考察团访问越南时已了解到中国杂交稻在越南种植时,害虫发生较严重^[31]。

1.2 褐飞虱

中国大面积种植改良的双季半矮秆需肥常规稻,使褐飞虱成为 20 世纪 60 年代末期中国突出的水稻害虫。种植杂交稻的生境变化导致了褐飞虱生态学的进一步改变。中国杂交稻上褐飞虱发生情况的改变很大程度上依赖于中国杂交稻组合中 IR 品种作为恢复系。

20 世纪 70 年代末到 20 世纪 80 年代初,褐飞虱在最先育成的杂交稻南优 2 号和南优 3 号上为害明显增加,IR24 和 IR661 分别为这两个杂交稻的恢复系^[42,53]。在湖南莱阳,杂交稻上的褐飞虱种群密度比常规稻高 6 倍左右。在湖南桂阳,褐飞虱若虫种群比常规稻高 3~53.5 倍。杂交稻上褐飞虱种群的猛增是由于产卵力的提高和短翅型比例的增加引起的^[42]。

然而,杂交稻种植区的褐飞虱种群从 20 世纪 80 年代中期开始下降,感虫的杂交稻被具有抗褐飞虱基因 *Bph1* 的杂交稻所代替,如南优 6 号、威优 6 号和汕优 6 号。IR26 是这些杂交稻共同的恢复系。汕优 6 号的褐飞虱抗性通过田间观察和室内试验得到了证实^[18,20,62]。低的产卵力和高的若虫死亡率是其抗性的主要原因^[20]。20 世纪 80 年代后期具有源自 IR30 的 *Bph1* 基因的杂交稻品种得到了推广。其中,1981 年培育成的、1987 年开始推广的汕优 63 成为中国最普遍的杂交稻组合。它具有稳定的高产特性、对各类稻田环境的广泛适应性和褐飞虱抗性,1990 年其种植面积超过 687 万 hm²,占整个水稻种植面积的 27.1% 和杂交稻总面积的 42.8%^[57,58]。到 20 世纪 80 年代末为止,汕优 63 与其他具有 *Bph1* 基因的杂交稻品种对褐飞虱表现出抗或中抗^[53]。相应地,20 世纪 80 年代后期中国南部地区褐飞虱的虫口明显下降。褐飞虱田间虫口密度的下降在广东汕头的灯诱资料中也有明显的反映^[34],20 世纪 80 年代末褐飞虱几乎完全被白背飞虱所替代(图 4)。

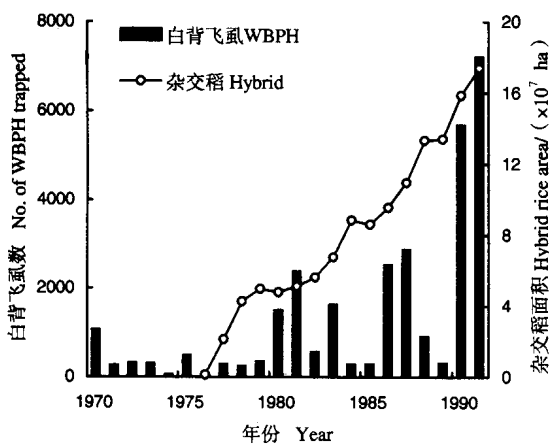


图 3 日本九州筑后地区 6~7 月份的白背飞虱灯诱虫量的年度变化与中国杂交稻面积增长的关系

Fig. 3. Yearly fluctuation of light-trap catches of *Sogatella furcifera* in June to July in Chikugo, Kyushu, Japan in relation to increase of hybrid rice area in China.

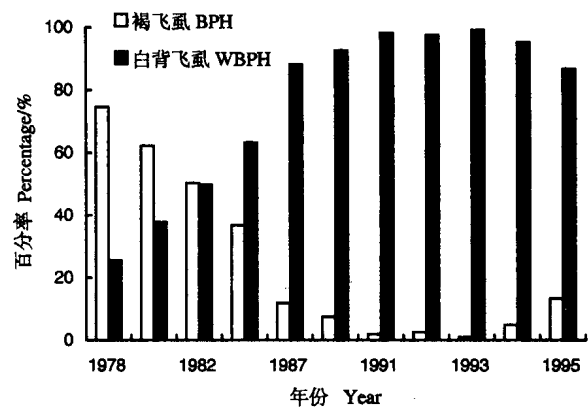


图 4 广东汕头灯诱的褐飞虱和白背飞虱比例的年度变化(源自:林裕正,1994)

Fig. 4. Yearly change in the ratio between *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* caught by light-trap in Shantou, Guangdong Province (from: Lin, 1994).

在中国中部和南部稻区的褐飞虱迁飞区范围内广泛种植汕优63后,抗虫性的杂交稻构成了强烈的选择压力,导致了褐飞虱种群适应性在遗传上的改变。到20世纪80年代末,褐飞虱从所谓的生物型1变为生物型2。1987年以前,中国褐飞虱以生物型1为主,不具有为害汕优63以及其他具有抗性基因品种的能力^[12,52]。1979年,浙江省天台县开始大面积引种汕优6号,然而在1985年汕优6号稻田出现虱烧,人们开始意识到褐飞虱抗性正在丧失^[40]。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^[15,48]。随后,汕优63以及一些衍生的具有*Bph1*基因的杂交稻和常规稻均已丧失对褐飞虱的抗性。在日本,通过测定跨海迁飞的褐飞虱的生物型特征也发现了同样的生物型改变^[8]。褐飞虱生物型的改变可能是由于汕优63的广泛种植,1987年和1991年稻飞虱毁灭性的大发生引起的。后来,汕优63变得与TN1一样感虫^[24],目前的褐飞虱种群在汕优63上仍然具有较高的繁殖力^[23]。

直到现在,汕优63仍然是中国最普遍种植的杂交稻之一。它很容易发生虱烧,必须施用农药控制其为害。褐飞虱1997年在安徽省的汕优63上大发生,这是该省继1987年和1991年大发生以后的第三次大发生^[60]。近年来,褐飞虱也成为了湖南省超高产栽培体系中所推荐的两系杂交稻“培两优特青”上的毁灭性害虫之一^[28]。

2 螟虫种群的增加

二化螟广泛分布于中国的各水稻生产区,是长江流域稻区的主要害虫。三化螟则主要分布在中国中部(江苏、湖南、湖北和安徽)和粤北。二化螟和三化螟的种群密度随着杂交稻面积的增加而明显增加。1976年杂交稻推广以前,二化螟的为害面积为33 300 hm²;1979年推广杂交稻以后,二化螟为害面积增加了1倍,达66 700 hm²^[43]。在浙江省,1978~1981年间,杂交稻种植面积比例从9.1%增加到33.3%,防治早稻螟虫为害施用农药的稻田面积比例从45.5%增加到100%^[59]。

与常规稻相比,杂交稻生长旺盛,分蘖力强,同时需肥量大。这些水稻植株的形态特点也就导致了杂交稻上螟虫为害严重。湖南省农业科学院报道,二化螟在杂交稻上的卵块数量比在常规稻上高1.1~2.8倍^[43]。在浙江省,每头二化螟蛾在杂交稻汕优6号上的产卵量比常规稻农虎6号高12~52个

卵^[59]。在广东省,杂交稻育秧棚里三化螟卵块密度比常规稻高16倍^[43]。

与常规稻相比,杂交稻叶鞘内维管束间距较宽,硅细胞较少,导致刚孵化的三化螟容易钻蛀以及较高的幼虫存活率^[16]。比如,在杂交稻组合V20A/24-选17和威优6号上,二化螟幼虫存活率分别为41.0%和30.8%,明显高于两个常规稻品种(23.3%和11.8%)^[43]。类似地,在潮优2号和南优3号上三化螟幼虫化蛹率分别为80%和54%,而在两个常规稻品种上分别为46.7%和20%。另外,螟虫幼虫在杂交稻上比在常规稻上生长更快,体重增加更多^[43,56]。生命表分析表明杂交稻汕优6号上的二化螟在不同发育阶段的存活率高于常规稻农虎6号^[59](图5)。在湖南省,两系杂交稻组合810S/D100上防治二化螟的经济阈值是34.5~43.5头幼虫/100丛,4.6%~5.2%植株叶鞘变色,或者2.1%~2.4%植株有枯心,可允许的产量损失为1.4%~1.6%^[29]。这些阈值表明,为了达到预期的高产,即使在正常密度下,二化螟也必须防治。

以上这些研究结果表明,对螟虫而言,杂交稻是更有利的寄主植物^[36]。另一方面,杂交稻比常规稻更能忍耐螟虫的为害^[59]。在湖北省,大面积的杂交稻取代常规稻以后,三化螟种群下降了,可能与杂交稻成熟较早、三化螟生活周期不完全有关^[19]。另外,三化螟幼虫密度在两系杂交稻组合培两优特青、培两优288和安湘S/PD510上比在三系组合汕优63上低1.5~2.6倍^[29]。产量损失估计,特别是稻株对螟害的补偿能力、杂交稻与螟虫之间的生态学

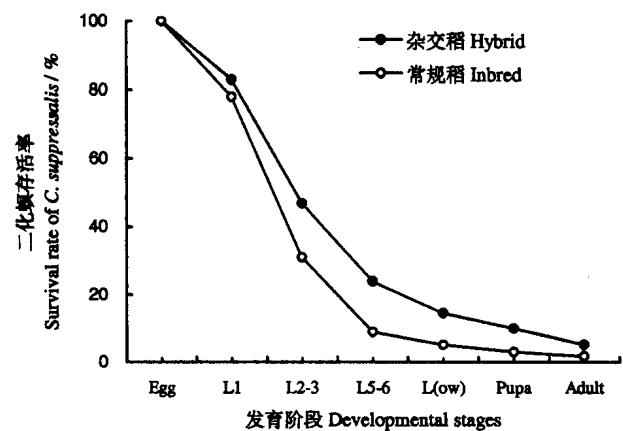


图5 二化螟在杂交稻汕优6号和常规稻农虎6号上的生存曲线(源自:徐卫等,1984)

Fig. 5. Survival curves of *Chilo suppressalis* on hybrid rice Shanyou 6 and inbred rice Nonghu 6 (from: Xu *et al.*, 1984).

关系有待进一步研究。

3 以品种抗性为基础的杂交稻害虫防治

为了控制杂交稻害虫的猖獗,应该强调和提倡害虫综合治理策略^[9,27,53]。相反地,杂交稻的高产栽培体系却强调施用农药来防治害虫。对高感的水稻品种采用 IPM 策略是不切合实际的,因为害虫的过度繁殖可避开天敌的控制。这种超感虫性的水稻也是 IPM 中不理想的品种。首先,必须改良杂交稻的超感虫性,以便能通过合理的生态方法控制害虫种群。过去 20 多年来,在越南实施的 IPM 曾成功地减少了稻田中预防性农药的施用。而在种植中国杂交稻的稻田中白背飞虱大发生,IPM 的效果明显降低。

培育抗虫杂交稻最实用方法之一是利用品种抗性。在亚洲热带地区已筛选了许多优秀的抗稻飞虱的籼型杂交稻^[7,11]。在中国,通过苗期群体筛选,许多 IR 系列品种作为可能的恢复系用于培育抗白背飞虱的杂交稻^[38]。近年来,在浙江省用褐飞虱自然种群生物型 2 进行苗期筛选的 80 个恢复系材料中,仍然有 12 份材料高抗褐飞虱^[49]。为了对付 *Bph1* 基因抗虫性的丧失,可以考虑将隐性基因 *bph2* 引入恢复系和不育系,或者直接利用 *Bph3* 基因或其他显性基因^[50]。然而,苗期群体筛选的单基因抗性是不持久的,这一点已从具有 *Bph1* 基因的杂交稻的抗性表现和热带稻田生态系统褐飞虱对 IR 品种的威胁中得到了证实。褐飞虱很容易改变生物型,对原先抗虫的杂交稻构成为害。此外,具有单基因的抗虫品种的相继推广可能加剧害虫的致害性。对褐飞虱、白背飞虱及其他害虫具有持抗性和多抗性的商业化 IR 品种将是改良杂交稻抗虫性的更佳材料。例如,IR64 只具有 *Bph1* 基因,在致害性的褐飞虱生物型出现的情况下,在田间保持其抗性达 10 多年之久^[2]。IR64 也在没有任何抗白背飞虱基因的条件下表现出对白背飞虱的抗性^[10,46],在田间中抗螟虫^[4]。IR64 已经作为许多新杂交稻组合的恢复系^[14]。评价杂交稻组合,包括像 IR64 这样具有田间持久抗性的 IR 品种的实际表现,是一件有意义的工作。

抗优 80、香优 63 和金优 198 在江苏和湖南田间表现出褐飞虱抗性^[55,61,63]。两系杂交稻京优 119 和新湘优 644 比三系杂交稻汕优 63 对褐飞虱的抗性或耐虫性更高^[27]。类似地,两系杂交稻培两优特青上的稻飞虱可以通过施用一次选择性的杀虫

剂,并结合后期天敌的保护如黑肩绿盲蝽和蜘蛛来得到很好的控制^[27]。进一步研究上述杂交稻田间抗虫性的遗传学和生态学背景可能会为我们改良杂交稻抗虫性提供新的思路。将 Bt 毒素基因 *Cry1A* (*b*) 转入保持系 IR68899B 来提高对螟虫的抗性,为我们提供了一个良好的范例^[1]。

与感虫的常规稻相比,杂交稻上稻飞虱的猖獗为害并不完全是由于缺乏可遗传的抗性引起的。我们的研究证实了不育系珍汕 97A 及其保持系珍汕 97B 是高感白背飞虱的。这正是汕优 63 如此感虫的原因之一。不育系的感虫性有待进一步改良。目前,珍汕 97A 是商业化杂交稻组合中最普遍采用的不育系。在 1988~1992 年间种植的 88% 的杂交稻采用的是野败型不育系,其中 84% 为珍汕 97A 和 V20A^[32]。袁隆平先生指出,如此单一、高感的不育系导致了我国杂交稻上稻飞虱的猖獗发生^[14]。

4 展望

杂交稻明显提高了中国水稻的产量。然而,杂交稻也为水稻害虫创造了有利的生殖生境,特别是白背飞虱已成为中国杂交稻上重要的害虫。为保护感虫性的杂交稻免受害虫的严重为害,不可避免地强化了农药的施用。结果是,杂交稻技术得到农药技术的支持。为了解决农药引起的环境污染和食品安全问题,迫切需要从遗传上改良杂交稻的超感虫性,实施品种抗性为基础的 IPM,以实现可持续的高产稻作生产。为了解决中国杂交稻上的虫害问题,建议进一步开展以下几方面的研究。

- (1) 监测杂交稻和常规稻生态系统间害虫地位及生态学的变化;
- (2) 对害虫为害、植物对害虫为害的补偿能力和杂交稻实际的产量损失进行评价,并建立经济阈值;
- (3) 了解杂交稻超感虫性的遗传学、生物学和生态学机制;
- (4) 培育抗虫的或弱感虫的杂交稻;
- (5) 进行农民参与式的、抗虫品种为基础的杂交稻 IPM 的评价。

参考文献:

- 1 Alam M F, Datta K, Abrigo E, Oliva N, Tu J, Virmani S S, Datta S K. Transgenic insect-resistant maintainer line (IR68899B) for improvement of hybrid rice. *Plant Cell Rep*, 1999, 18, 572-575.
- 2 Cohen M B, Alam S N, Medina E B, Bernal C C. Brown plant-hopper, *Nilaparvata lugens*, resistance in rice cultivar IR64:

- mechanism and role in successful *N. lugens* management in Central Luzon. *Entomol Exp Appl*, 1997, 85:221-229.
- 3 Hu G W, Tang J, Tang J Y. Recent prevalence of the white-backed planthopper *Sogatella furcifera* Horváth in China. *Shokubutu-Boeki (Plant Prot)*, 1992, 46(5):219-222. (in Japanese)
 - 4 Khush G S. Multiple disease and insect resistance for increased yield stability in rice. In: *Progress in Irrigated Rice Research*. Manila: International Rice Research Institute, 1989. 79-92.
 - 5 Qian X P. Rice supply and demand: trend and perspective. *J Rural Issues*, 1997, 45:40-50. (in Japanese)
 - 6 Reddy A P K, Krishnaiah K, Zhang Z T, Shen Y. Managing vulnerability of hybrid rice to biotic stresses in China and India. In: *Advances in Hybrid Rice Technology*. Manila: International Rice Research Institute, 1998. 147-155.
 - 7 Singh J, Shukla K K, Sidhu G S, Malhi S S, Gagneja M R. Screening of rice hybrids for resistance to whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera*. *Int Rice Res Notes*, 1994, 19(3):14.
 - 8 Sogawa K. Biotype variations in the rice brown planthopper and possible source areas of its monsoon migrants. *Shokubutu-Boeki (Plant Prot)*, 1992, 47:256-260. (in Japanese)
 - 9 Tian J R, Li X K. Managing diseases and insect pests of hybrid rice in China. In: *Hybrid Rice Technology: new developments and future prospects*. Manila: International Rice Research Institute, 1994. 116-122.
 - 10 Velusamy R, Ganeshkumar M, Edward Y S J T, Gopalan M. Resistance to whitebacked planthopper (*Sogatella furcifera*) in rice varieties with different genes for brown planthopper (BPH) resistance. *Int Rice Res Newsl*, 1993, 18(4):11-12.
 - 11 Virmani S S. Hybrid rice. *Adv Agron*, 1996, 57:377-462.
 - 12 Wu J T, Chang L Y, Qiu X Q, Mo M Y. Research on brown planthopper biotypes in China. *Int Rice Res Newsl*, 1981, 6(4):8-9.
 - 13 Yu X P, Wu G R, Hu C. Resistance of selected rice varieties to brown planthopper (BPH) and whitebacked planthopper (WBPH). *Int Rice Res Newsl*, 1991, 16(3):15.
 - 14 Yuan L P, Virmani S S, Mao C X. Hybrid rice: achievements and outlook. In: *Progress in Irrigated Rice Research*. Manila: International Rice Research Institute, 1989. 219-235.
 - 15 Zhang Y, Tan Y J, Pan Y. A population of brown planthopper (BPH) biotypes 1 and 2 mixture in Guangdong, China. *Int Rice Res Newsl*, 1991, 16(5):22-23.
 - 16 敖秋春, 秦厚国. 二化螟在杂交稻上发生为害特点新观察. *江西农业科技*, 1993, (3):37-38. [Ao Q C, Qin H G. Investigation of infestation characters of the striped stemborer on hybrid rice. *Jiangxi Agric Sci & Tech*, 1993, (3):37-38.](in Chinese)
 - 17 白背飞虱种群发展与生态研究协作组. 水稻白背飞虱为害损失测定及防治指标研究. *植物保护学报*, 1992, 19(2):139-144. [Cooperative Research Group on the Population Dynamics and Ecology of Whitebacked Planthopper. Studies on the damage and economic threshold of whitebacked planthopper to paddy rice. *Acta Phytophyla Sin*, 1992, 19(2):139-144.](in Chinese with English abstract)
 - 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 陈其志. 三化螟为害杂交稻和常规稻的试验及种群数量下降原因初析. *湖北农业科学*, 1993, (8):11-13. [Chen Q Z. Characters of damage of paddy borer on hybrid rice and conventional rice and its preliminary analysis on dropped reason of quantities of species group. *Hubei Agric Sci*, 1993, (8):11-13.](in Chinese)
 - 20 程家安, 孙祥良. 水稻品种对褐飞虱种群增长的影响. *植物保护学报*, 1992, 19(2):145-151. [Cheng J A, Sun X L. The effects of rice varieties on population dynamics of brown planthopper. *Acta Phytophyla Sin*, 1992, 19(2):145-151.](in Chinese with English abstract)
 - 21 冯永新, 黄运邦. 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 Y B. Characteristics of disease and insect pest occurrence in Zhaoqing district and control measures to be taken. *Guangdong Agric Sci*, 1983, (3):18-21.](in Chinese)
 - 22 傅子碧, 陈端珍. 白背飞虱发生与生态因子的关系. *福建农业科技*, 1984, (3):32-33. [Fu Z B, Chen D Z. Interaction between the occurrence of whitebacked planthopper and environmental factors. *Fujian Agric Sci & Tech*, 1984, (3):32-33.](in Chinese)
 - 23 郝树广, 程遐年, 张孝羲. 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*, 2000, 23(2):39-42. [Hao S G, Cheng X N, Zhang X X. Effects of nine rice varieties on survival and oviposition of *Nilaparvata lugens*. *J Nanjing Agric Univ*, 2000, 23(2):39-42.](in Chinese with English abstract)
 - 24 胡国文, 唐健, 马巨法, 宋松祥. 四种杂交稻组合对白背飞虱种群消长的影响. *植物保护学报*, 1990, 17(2):145-148. [Hu G W, Tang J, Ma J F, Song S X. The effects of four hybrid rice combinations on the population density of whitebacked planthopper. *Acta Phytophyla Sin*, 1990, 17(2):145-148.](in Chinese with English abstract)
 - 25 黄次伟, 冯炳灿, 王焕弟, 姚静, 宋丽君. 杂交水稻白背飞虱发生特点的观察. *浙江农业科学*, 1985, (4):162-164. [Huang C W, Feng B C, Wang H D, Yao J, Song L J. Observation of characteristic ecology of whitebacked planthopper on hybrid rice. *J Zhejiang Agric Sci*, 1985, (4):162-164.](in Chinese)
 - 26 黄桂荪, 范燕萍. 亚洲杂交水稻生产概况与发展战略. *杂交水稻*, 1997, 12(1):1-3. [Huang G S, Fan Y P. Outline and developing strategy of hybrid rice production in Asia. *Hybrid Rice*, 1997, 12(1):1-3.](in Chinese with English abstract)
 - 27 黄志农, 马国辉, 何英豪, 张玉烛, 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治理技术体系研究. *杂交水稻*, 1998, 13(2):17-28. [Huang Z N, Ma G H, He Y H, Zhang Y Z, Liu E M, Xu S Y, Liu C Y, Shao Y. Studies on the technological system for the integrated pest management of hybrid rice disease and insect pests under super-high-

- yield culture. *Hybrid Rice*, 1998, 13(2):17-28.](in Chinese with English abstract)
- 28 黄志农, 马国辉, 徐叔云, 刘朝友, 何英豪, 张玉焯, 苏宏泰, 邵勇, 郑文光. 培两优特青超高产栽培条件下主要病虫害发生演替调查初报. *杂交水稻*, 1997, 12(6):18-22. [Huang Z N, Ma G H, Xu S Y, Liu C Y, He Y H, Zhang Y Z, Su H T, Shao Y, Zhang W G. Study on occurring characters of main diseases and pests under super-high-yield culture of Peiliangyou Teqing. *Hybrid Rice*, 1997, 12(6):18-22.](in Chinese with English abstract)
- 29 黄志农, 郑文光, 黄洪, 刘二明. 两系杂交早稻分蘖期二化螟经济阈值初探. *湖南农业科学*, 1997, (6):45-46. [Huang Z N, Zheng W G, Huang H, Liu E M. Preliminary report on the economic thresholds for controlling *Chilo suppressalis* at the tillering stage of the two-line hybrid rice. *Hunan Agric Sci*, 1997, (6):45-46.](in Chinese)
- 30 科学技术部农村与社会发展司农业与农村发展处. 杂交水稻和超级稻研究、应用现状与发展趋势. *中国农业科技导报*, 2000, 2(5):23,29. [Agricultural and Rural Development Division, Ministry of Science and Technology. Research development and current status of hybrid rice and super-yielding rice in China. *Review China Agric Sci & Tech*, 2000, 2(5):23,29.](in Chinese)
- 31 李继明. 赴越访问考察报告. *杂交水稻*, 1995, (1):43. [Li J M. A report on the visit to Viet Nam. *Hybrid Rice*, 1995, (1):43.](in Chinese)
- 32 廖伏明, 傅相全. 我国杂交水稻育种研究的现状和发展战略. *中国农学通报*, 1995, 11(1):5-9. [Liao F M, Fu X Q. Present situation and development strategy for hybrid rice breeding studies in China. *Chinese Agric Sci Bull*, 1995, 11(1):5-9.](in Chinese)
- 33 林太礼. 列联表法预测主害代白背飞虱发生程度的初探. *福建农业科技*, 1989, (3):11-12. [Lin T L. Forecasting of the population density of whitebacked planthoppers at the most injurious generation using a contingency table method. *Fujian Agric Sci & Tech*, 1989, (3):11-12.]
- 34 林裕正. 广东汕头 1992-93 年稻飞虱发生概况. 见: 稻飞虱研究技术报告——中日关于东亚季风区水稻迁飞性害虫大范围迁移动态共同研究. 北京: 农业部全国植物保护总站, 1994. 54-56. [Lin Y Z. 1992-93 rice planthopper occurrence in Shantou, Guangdong. In: Proceedings of Rice Planthopper Study - Reports for China-Japan Cooperative Research on Long-Distance Migratory Rice Insect Pests in East Asia. Beijing: National Plant Protection Station, Ministry of Agriculture, P. R. China, 1994. 54-56.](in Chinese)
- 35 刘光杰, 付志红, 沈君辉, 张亚辉. 水稻品种对稻飞虱抗性鉴定方法的比较研究. *中国水稻科学*, 2002, 16(1):52-56. [Liu G J, Fu Z H, Shen J H, Zhang Y H. Comparative study on evaluation methods for resistance to rice planthoppers (Homoptera: Delphacidae) in rice. *Chinese J Rice Sci*, 2002, 16(1):52-56.](in Chinese with English abstract)
- 36 刘光杰, 黄和平, 谢秀芳, 桂丽琴, 方蔚然. 早稻品种对二化螟的抗性及其生化基础研究. *西南农业大学学报*, 1998, 20(5):512-515. [Liu G J, Huang H P, Xie X F, Gui L Q, Fang W R. Study on the mechanisms of the resistance in early-season rice varieties to the striped stemborer (*Chilo suppressalis*) and its biochemical basis. *J Southwest Agric Univ*, 1998, 20(5):512-515.](in Chinese with English abstract)
- 37 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):22,17. [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):22,17.](in Chinese)
- 38 彭兆普, 石健波, 江建云, 雷惠质, 罗崇善. 水稻三系资源抗白背飞虱鉴定. *杂交水稻*, 1991, 6(3):35-37. [Peng Z P, Shi J B, Jiang J Y, Lei H Z, Luo C S. Identification of resistance to whitebacked planthoppers in the three line materials for hybrid rice. *Hybrid Rice*, 1991, 6(3):35-37.](in Chinese)
- 39 阮技红. 天台县白背稻虱发生规律研究. *浙江病虫测报*, 1983, (2):1-13. [Ruan J H. Studies on the occurrence patterns of whitebacked planthopper in Tiantai County. *Zhejiang Forecasting of Plant Diseases and Insect Pests (Zhejiang Bingchong Cebao)*, 1983, (2):1-13.](in Chinese)
- 40 阮技红. 杂交籼稻——汕优 6 号对褐飞虱的抗性开始出现衰退现象的调查. *浙江病虫测报*, 1986, (1-2):45-46. [Ruan J H. Examination of declining resistance to brown planthopper in hybrid rice Shanyou 6. *Zhejiang Forecasting of Plant Diseases and Insect Pests (Zhejiang Bingchong Cebao)*, 1986, (1-2):45-46.](in Chinese)
- 41 石健波, 雷惠质. 白背飞虱在杂交水稻与常规稻上发生特点的初步观察. *植物保护学报*, 1992, 19(3):236-242. [Shi J B, Lei H Z. Preliminary observation on the character of the whitebacked planthopper, with conventional or hybrid rice as plants. *Acta Phytophyla Sin*, 1992, 19(3):236-242.](in Chinese with English abstract)
- 42 谭荫初. 杂交稻病虫害防治. 北京: 中国农业科技出版社, 1987. 110. [Tan Y C. Control of Diseases and Insect Pests of Hybrid Rice. Beijing: China Agricultural Scientific and Technical Publishing House, 1987. 110.](in Chinese)
- 43 谭荫初. 杂交水稻中的螟虫初步研究. *昆虫知识*, 1987, 24(5):311-313. [Tan Y C. Preliminary studies on rice stem borers in hybrid rice. *Entomol Knowl*, 1987, 24(5):311-313.](in Chinese)
- 44 汤金仪, 胡伯海, 王建强. 我国水稻迁飞性害虫猖獗成因及其治理对策建议. *生态学报*, 1996, 16(2):167-173. [Tang J Y, Hu B H, Wang J Q. Outbreak analysis of rice migratory pests in China and management strategies recommended. *Acta Ecol Sin*, 1996, 16(2):167-173.](in Chinese with English abstract)
- 45 汤金仪. 1991 年稻飞虱大发生及其原因浅析. *病虫测报*, 1992, 12(2):16-20. [Tang J Y. Rice planthopper outbreak in 1991 and preliminary analysis of its causes. *Plant Pest Forecasts*, 1992, 12(2):16-20.](in Chinese)
- 46 唐健, 胡国文, 马巨法, 沈卫新. 水稻品种对白背飞虱的拒异性和抗生性测定研究. *昆虫知识*, 1992, 29(5):260-262. [Tang J, Hu G W, Ma J F, Shen W X. Studies on the antibiosis and antixenosis level of rice varieties to *Sogatella furcifera*

- (Horváth). *Entomol Knowl*, 1992, 29(5):260-262.](in Chinese)
- 47 唐启义, 胡国文, 唐健, 胡阳, 程家安. 白背飞虱猖獗频率增加与杂交稻面积增加的关系分析. 西南农业大学学报, 1998, 20(5):456-459. [Tang Q Y, Hu G W, Tang J, Hu Y, Cheng J A. Relationship between outbreak frequency of *Sogatella furcifera* and growing area of hybrid rice. *J Southwest Agric Univ*, 1998, 20(5):456-459.](in Chinese with English abstract)
- 48 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)
- 49 王建军, 俞晓平, 吕仲贤, 陶林勇, 石守璠, 董文其. 籼型杂交水稻抗褐飞虱育种研究. 中国水稻科学, 1999, 13(4):242-244. [Wang J J, Yu X P, Lu Z X, Tao L Y, Shi S Y, Dong W Q. Breeding of resistance to brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) in indica hybrid rice. *Chinese J Rice Sci*, 1999, 13(4):242-244.](in Chinese with English abstract)
- 50 王建军, 俞晓平, 陶林勇, 吕仲贤, 石守璠, 董文其. 杂交水稻的褐飞虱抗性研究. 浙江农业学报, 1999, 11(4):163-166. [Wang J J, Yu X P, Tao L Y, Lu Z X, Shi S Y, Dong W Q. Study on resistance to brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) in indica hybrid rice. *Acta Agric Zhejiang*, 1999, 11(4):163-166.](in Chinese with English abstract)
- 51 王兆民, 樊坪升, 朱友根. 二代白背飞虱对杂交籼稻危害损失及防治指标研究. 江苏农业科学, 2000, (1):37-38. [Wang Z M, Fan P S, Zhu Y G. Study on damage of the second generation's whitebacked planthopper to hybrid indica rice and its indexes for control. *Jiangsu Agric Sci*, 2000, (1):37-38.](in Chinese)
- 52 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)
- 53 夏松云, 李宜铿, 田际榕, 罗盛富. 中国杂交稻之病虫害问题. 见: 湖南杂交水稻研究中心. 杂交水稻国际学术讨论会论文集. 北京: 学术期刊出版社, 1988. 135-142. [Xia S Y, Li X K, Tian J R, Luo S F. Disease and insect pest problems of Chinese hybrid rice, In: Hunan Hybrid Rice Research Center. Proceedings of International Symposium on Hybrid Rice. Beijing: Academic Periodical Press, 1988. 135-142.](in Chinese)
- 54 肖英方, 顾正远, 曲小波, 王林贵, 陈明亮, 陈海新, 王善璞, 胡正明. 江淮稻区白背飞虱暴发特点及预警指针体系. 昆虫知识, 1999, 36(1):1-2. [Xiao Y F, Gu Z Y, Qu X B, Wang L G, Chen M L, Chen H X, Wang S P, Hu Z M. Outbreak characteristics and the early warning system of whitebacked rice planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in Jiangsu and Anhui Province. *Entomol Knowl*, 1999, 36(1):1-2.](in Chinese)
- 55 肖英方, 邱光, 顾正远, 陈海新, 问才干, 丁伦友. 杂交稻新组合抗优80对褐飞虱抗性的初步研究. 植物保护, 1996, 22(1):6-8. [Xiao Y F, Qiu G, Gu Z Y, Chen H X, Wen C G, Ding L Y. Resistance of a new hybrid rice variety "Kangyou 80" to brown planthopper. *Plant Prot*, 1996, 22(1):6-8.](in Chinese with English abstract)
- 56 谢道同, 何金玉, 李桂瑞, 黄以山, 杨政中, 莫启明, 韦旦昌. 杂交水稻三化螟观察研究. 广西农业科学, 1981, (9):24-31. [Xie D T, He J Y, Li G R, Huang Y S, Yang Z Z, Mo Q M, Wei D C. Preliminary study on *Tryporyza incertulas* on hybrid rice. *Guangxi Agric Sci*, 1981, (9):24-31.](in Chinese)
- 57 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”培育的理论与实践. 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)
- 58 谢华安. 中国种植面积最大的水稻良种“汕优63”. III. 光合特性与光能利用率. 福建省农科院学报, 1997, 12(2):1-5. [Xie H A. "Shanyou 63", the variety with the largest cultivated area in China. III. The photosynthetic characteristics and solar energy utilization efficiency. *J Fujian Acad Agric Sci*, 1997, 12(2):1-5.](in Chinese with English abstract)
- 59 徐卫, 贾绍良, 王健敏, 郎林兴, 季海松. 杂交水稻二化螟种群动态及为害损失试验. 浙江病虫测报, 1984, (1):39-46. [Xu W, Jia S L, Wang J M, Lang L X, Ji H S. Studies on the population dynamics and yield losses caused by *Chilo suppressalis* on hybrid rice. *Zhejiang Forecasting of Plant Diseases and Insect Pests (Zhejiang Bingchong Cebao)*, 1984, (1):39-46.](in Chinese)
- 60 严厚永, 杨新军, 汪云好, 李广洋. 安徽寿县1997年稻飞虱大发生原因及防治实践. 江苏农业科学, 1998, (5):41-42. [Yan H Y, Yang X J, Wang Y H, Li G Y. The causes of outbreaks of rice planthoppers in 1997 in Shouxian county, Anhui and its management practice. *Jiangsu Agric Sci*, 1998, (5):41-42.](in Chinese)
- 61 严钦泉. 偏大穗型杂交晚稻金优198的选育与应用. 杂交水稻, 1999, 14(5):12-14. [Yan Q Q. Breeding and application of partial large-panicle late hybrid rice Jinyou 198. *Hybrid Rice*, 1999, 14(5):12-14.](in Chinese with English abstract)
- 62 张良佑, 吴荣宗, 曾玲. 杂交稻对褐飞虱和白背飞虱的抗性研究. 植物保护学报, 1987, 14(2):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 Phytophylax Sin*, 1987, 14(2):99-106.](in Chinese with English abstract)
- 63 周坤炉, 阳和华, 徐秋生. 香型优质高产多抗杂交稻系列组合报道. 杂交水稻, 1997, 12(1):34-35. [Zhou K L, Yang H H, Xu Q S. A brief introduction to the newly-developed quasi-aromatic hybrid rices with good quality, high yield and good pest resistance. *Hybrid Rice*, 1997, 12(1):34-35.](in Chinese with English abstract)