

中国水稻抗虫性的研究及其应用:回顾与展望

刘光杰¹ 沈君辉¹ 寒川一成²

(¹ 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; ² 日本国际农林水产业研究中心, 日本 筑波 305-8686)

Varietal Resistance to Insect Pests in Rice and Its Application in China: History and Prospects

LIU Guang-jie¹, SHEN Jun-hui¹, SOGAWA Kazushige²

(¹ Chinese National Center for Rice Improvement, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; E-mail: liug@mail. hz. zj. cn; ² Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba 305-8686, Japan)

Abstract: The history of research on varietal resistance to insect pests of rice in China in recent 30 years was briefly reviewed with an emphasis on rice planthopper resistance study, and it could be classified as four developmental periods, i. e. exploitation and evaluation of rice germplasms to insect pests, introduction and utilization of resistant rice varieties, mechanisms in resistant rice varieties and ecological effects, and molecular biology and biotechnology in varietal resistance. The problems and obstacles remained in the research and utilization of resistant rice varieties to insect pests and the prospects of varietal resistance to insect pests in rice were discussed.

Key words: insect pest; varietal resistance; rice; history

摘要: 简要地回顾了近 30 年来我国水稻抗虫性,特别是抗稻飞虱研究及其应用的历史,并将它划分为 4 个发展时期:水稻抗虫种质资源发掘与评价期、水稻抗虫品种的外引和推广期、水稻品种抗虫机理和抗性生态研究期,以及水稻抗虫分子生物学和抗虫基因工程研究时期。还讨论了水稻抗虫品种的研究与应用中仍然存在的难题和障碍,并展望其发展前景。

关键词: 害虫; 抗性; 水稻; 历史

中图分类号: S433.1; S511.04

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2003)增刊-0001-06

我国水稻害虫种类繁多,但以稻螟、稻飞虱和稻纵卷叶螟发生面积广,为害严重,对水稻的高产和稳产威胁大,是我国各主要稻区的三大害虫。过去防治这些害虫基本依赖于化学杀虫剂,在生产实践上带来了许多问题,如杀伤害虫天敌、增加成本、增大稻谷中的残留量、污染农田和环境等。此外,连续和重施农药还会使害虫产生抗药性而导致更严重的为害,这在国内外已有不少报道^[1,2,29,41]。尤其是近年来,随着生活质量和环保意识的提高,人们对农业生产带来的环境污染和食品中有害物质的含量问题变得十分关心。选育和应用抗虫品种可减少投入、简便操作、不伤害天敌,对环境无污染,能与其他技术协调使用。因而,以抗性品种为基础的水稻虫害可持续治理技术的研究与开发倍受关注。国际水稻研究所(IRRI)自创建以来,已广泛开展了水稻品种抗虫性的改良,包括抗虫稻种资源的筛选、抗虫机理研究和抗性遗传等研究。随后,我国也大规模地开展了稻种资源抗虫性的筛选和外引、抗虫品种的选育和种植,以及进一步的抗性机理及其生理生化基础、抗性遗传与基因定位等多方面的研究。我国在水稻抗稻飞虱(褐飞虱和白背飞虱)研究方面,进行了大量系统而深入的研究,在不同的时期具有明显

的研究重点和特点。虽然我国在水稻抗虫性研究及其应用上取得了长足的发展,抗性品种为基础的水稻虫害可持续治理的应用前景也十分美好,但是,当前水稻抗虫品种的研究与应用仍然存在着许多困难、障碍和问题。因此,水稻抗虫性的研究及其应用仍任重道远。

1 水稻抗虫性研究的回顾

1.1 水稻抗虫种质资源发掘与评价时期(20世纪70年代末~80年代中后期)

20世纪70年代末,我国的许多水稻科技工作者在IRRI参加了“稻种资源的评价与利用(GEU)”

收稿日期:2003-03-28。

基金项目: JIRCAS 国际合作研究项目(B3333101); 国家“十五”科技攻关项目(2001BA509B02-03); 浙江省“十五”科技攻关项目(011102202); 国家自然科学基金资助项目(30270818); 浙江省自然科学基金资助项目(302373); 国家 863 计划资助项目(2001AA241025)。

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。

培训之后,就开始进行了我国稻种资源抗虫性的大规模筛选与评价工作。“六五”和“七五”期间,国家在科技攻关项目中组建了稻种资源和新品种新组合抗病虫鉴定协作组,中国水稻研究所、广东、广西、福建、湖南、湖北、四川、贵州、江西、浙江、江苏、安徽、上海等科研院所协作,主要在褐飞虱、白背飞虱和稻瘰蚊等害虫的抗性鉴定和评价方面开展了研究。按发表的文献统计,已鉴定出95 583份稻种资源的抗虫性,筛选出7 495份中抗水平以上的抗虫资源供作育种亲本选用^[12]。江苏省农业科学院对8 000余份稻种资源进行了褐稻虱抗性筛选,其中国内资源5 000余份^[10],从云南稻中筛选出一个抗褐稻虱品种科砂3号和一个耐虫品种沧源齐头白谷,在江苏地方品种中发现一个中抗褐飞虱的品种小尖稻。浙江省农业科学院从国内地方品种中发现大田茶帕禾这一品种对稻纵卷叶螟有抗性,其抗性强度与IRRI作为抗性对照的W1263相仿。由此可见,我国确实存在有丰富的稻种抗虫资源。

1.2 水稻抗虫品种的外引和推广时期(20世纪80年代中期~90年代初期)

随着抗稻飞虱水稻抗源材料的不断发掘,各地先后育成了许多抗稻飞虱并兼抗病害的水稻品种或品系,如浙丽1号^[32]等。粳稻品种秀水620和秀水644在太湖流域稻区的种植面积达5万~7万hm²。湖南育成的中熟早粳品种“湘早粳3号”,抗褐飞虱、白背飞虱和稻瘟病、白叶枯病,累计推广面积约70万hm²^[30]。佛山市农业科学研究所育成的水稻早粳新品种“粳粳89”推广面积已达40万hm²^[11]。江苏省选育出的88B122推广面积已达13万hm²。中国水稻研究所育成的“中86-44”抗白背飞虱和褐飞虱,兼抗稻瘟病,在南方稻区年推广面积已达20万hm²^[14]。江西省也选育出抗白背飞虱兼抗稻瘟病的水稻新品种“赣早粳28号”,推广面积已达3万hm²^[35]。

1.3 水稻品种抗虫机理和抗性生态研究时期(20世纪80年代~90年代)

在这一时期,广大水稻科技工作者广泛而深入地开展了抗虫品种的抗虫机理及其生理生化基础、抗性遗传方式、害虫与环境的相互作用等多方面的研究。因此,这一时期发表的有关水稻抗虫性研究的文献数量也是1985年前的数倍。关于国内外水稻品种对多种害虫^[12,17]、白背飞虱^[18,39]、褐飞虱^[13,18]、稻螟^[25]和稻纵卷叶螟^[22]抗性研究的综述性文章也相继问世。

许多学者均认为水稻对昆虫的抗性是多形式、多方面的,可能是拒抗性、抗生性或耐害性中的一种或共同作用的结果。抗虫稻株对稻飞虱的负作用表现为影响其对寄主的趋性、摄食、食物的消化、生长、成若虫的存活、产卵能力与卵孵化率等行为反应。在接虫2~5h内抗感稻株上的成若虫在数量上无明显差异,但在接虫24~48h后稻飞虱成、若虫均对抗性品种表现出趋避性。褐飞虱在感虫品种上排泄的蜜露是抗虫品种上的3~10倍,食物的同化率较高,飞虱的体重增加,飞虱在抗感品种稻株上的取食量均随秧龄的增加而降低^[38]。褐飞虱在抗虫品种上的若虫存活率低、发育历期延长、虫体偏轻、羽化率低、种群增长指数小等。涂巨民等研究了稻株内过氧化物同工酶的酶带和酶带迁移率与水稻抗感品种的关系^[27]。许多学者认为温度和光照与品种抗性关系密切^[28,40]。巫国瑞等认为抗白背飞虱稻株的抗性随秧龄的增加而加强,低温(25℃以下)不利于抗性品种的抗性表现^[31]。刘春茂等报道随着光照强度的减弱,稻株的长势也随之减弱,导致补偿力下降,造成品种对褐稻虱的抗性下降^[15]。陈建明等研究证实抗性品种会对飞虱的为害作出某些防御性的生理反应^[7]。如稻株受害后其光合速率和叶绿素含量均下降、稻株受害后保护酶活性和游离氨基酸成分发生变化。许跃等对稻株内游离氨基酸含量进行分析,认为抗虫品种丙氨酸的含量比感虫品种的低,故认为丙氨酸可能具有刺激白背飞虱产卵的作用^[33]。刘光杰等认为在白背飞虱体内可能存在着两种独立的、可控制食物的摄入及摄入食物的消化和吸收的机制^[16]。

进一步研究抗性稻株认为这些稻株具有某些化学成分:挥发性次生物质和非挥发性次生物质。若为挥发性次生物质则主要影响昆虫对寄主的趋性反应,若为非挥发性次生物质则决定昆虫着落在寄主上之后是否继续取食、生长发育、产卵等,另外,稻株的营养物质和对昆虫酶活性的抑制剂,可影响昆虫的正常生长和发育速度等。氨基酸中的甘氨酸、酪氨酸、赖氨酸对褐稻虱的生存率、发育进度、翅型分化和生殖力均有明显的影响^[42,43]。俞晓平等认为稻株内的总氮和游离氨基酸(以亮氨酸和丙氨酸为主)的含量与品种对白背飞虱的抗性呈显著的负相关^[36],而曾玲等人研究证明为正相关^[37]。有些学者认为,抗性品种中所含的草酸、反乌头酸和水杨酸等化学物质可能影响虫体内蛋白质的代谢与合成。

水稻抗稻纵卷叶螟的抗性鉴定、抗性机制等方

面的研究表明,野生稻抗稻纵卷叶螟的抗性机制是叶片狭长、质地为革质、主脉较粗、刚直平坦,幼虫无法将叶片纵卷^[45]。水稻抗二化螟和三化螟鉴定初步认为叶鞘细胞的硅化程度与水稻对螟虫的抗性有很大的关系。

在以往的研究中,昆虫学家主要关注害虫与寄主的相互关系。然而,在这个时期,昆虫学家和化学家更多地关注着害虫之间的种间竞争和害虫-寄主-天敌三者的化学联系。赵伟春等的研究结果认为,褐飞虱和白背飞虱都喜欢取食对方取食后的稻株;而飞虱取食诱导稻株中游离氨基酸总量的上升以及各种氨基酸含量的变化与以后取食的稻飞虱的寄主选择无必然的联系^[44]。戴华国等报道褐飞虱和白背飞虱共栖时,具有营养和空间的种间竞争,褐飞虱为优势种群^[9]。娄永根较为深入地研究了水稻品种、稻飞虱及其卵寄生蜂稻虱缨小蜂三者间的相互关系,发现稻虱缨小蜂利用稻株挥发性强的物质进行远距离的寄主定向,而利用弱挥发性物质进行近距离的寄主选择^[21]。在寄主卵的选择上,物理信息,如卵壳是否外露可能起主要的作用。

1.4 水稻抗虫分子生物学和抗虫基因工程研究时期(20世纪90年代中期以来)

随着分子生物学和生物技术的快速发展,DNA分子标记增多及其逐渐发展完善,分子标记技术已广泛用于作物品种鉴定、基因定位等领域,为水稻抗性机理的研究深入到分子遗传的水平,进行抗性基因定位提供了良好的条件。美国和日本开展这方面的研究较早,定位了多个抗褐飞虱基因和抗稻瘰蚊基因。目前在水稻中广泛应用的标记有:RFLP、RAPD和微卫星等标记。谭玉娟等报道抗稻瘰蚊生物型1和4的品种“多抗1”的抗性受显性单基因GM-6(*t*)控制,并定位于水稻第4染色体上,位于标记RG214和RG163之间^[26]。来自非洲野生稻*O. eichingeri*的抗褐飞虱基因*Bph11(t)*也是显性遗传,并位于分子标记RM240(6.1 cM)和RM250(5.5 cM)之间^[3]。刘志岩将ARC10239携带的抗白背飞虱基因*Wbph2*初步定位于水稻第6染色体上,与标记RZ667的遗传距离为25.6 cM^[19],并发现抗白背飞虱品种Rathu Heenati的抗性基因是受显性单基因控制的^[20]。马良勇等将抗白背飞虱基因*Wbph6(t)*定位于第11染色体短臂,与标记RM167的遗传距离为21.2 cM^[23]。

近年来,我国在水稻转抗虫基因方面的研究也进展较快。舒庆尧等报道用农杆菌介导法成功地将

启动子经过优化的Bt基因*cry1Ab*导入到多个水稻品种中^[24],从粳稻品种秀水11的转基因植株后代中获得Bt基因稳定遗传且对二化螟等7种鳞翅目害虫表现高抗的Bt水稻“克螟稻”^[8,34]。Ye等报道了克螟稻的两个品系KMD1和KMD2对二化螟和三化螟^[4]及稻纵卷叶螟^[6]均具有明显的田间抗性,转基因稻株免受螟虫的为害。Ye等还发现转Bt基因*cry1Ab/cry1Ac*的IR72株系TT9-3和TT9-4在田间条件下高抗二化螟、大螟、稻纵卷叶螟和稻螟蛉^[5]。

2 水稻抗虫品种应用所面临的难题和障碍

纵观我国近30年来在水稻抗虫性的研究和应用上的发展过程,可以发现我们在基础研究和应用开发上取得了很大的进展。但是,目前水稻生产的现状仍然是抗虫品种少、应用面积小,水稻害虫的防治仍然依靠杀虫剂。形成这样的局面,应该说有两方面的原因,一是许多技术难关还没有攻破,二是由于人为因素的影响,直接影响了我国以水稻抗虫品种为基础的害虫可持续治理的发展与成功。

技术上的难题与未来的研究方向:

- 抗虫因子与抗虫基因的关系;
- 抗虫基因的精确定位及分子标记辅助选择抗虫育种;
- 抗虫性与水稻优质、高产、抗病性等优良农艺性状的协调与平衡;
- 抗虫性的稳定性和抗性基因的多样性;
- 抗虫品种的快速、精准鉴定技术;
- 与其他治理措施的相互协调等。

在人为因素影响方面,由于我国目前经济实力有限,农业科研,特别是水稻抗虫性基础研究及其相关的应用研究的立项都非常困难,已有项目的研究经费严重不足,这就直接影响到研究的深度和广度。目前已有的抗虫品种的应用也十分局限,我们认为主要受以下诸多因素的影响。首先,由于各级政府部门及官员、基层农技人员和农户对抗虫性品种缺乏足够的了解和信心,没有给予此项事业足够的支持和协助。其二,推广抗虫品种后,杀虫剂的使用将会明显减少,这将明显影响当前以销售杀虫剂为主要收入来源或补贴的农技员的收入。第三,农户根除害虫的传统思想根深蒂固,他们对抗虫品种不能百分之百的免受害虫为害表示非常担心。第四,农户小规模种植水稻,每户稻农拥有的稻田面积为1/15~1/5 hm²,他们不比较水稻的生产成本和劳

力,表现出对抗虫品种没有足够的兴趣。第五,稻农普遍受教育程度低、生活水平也不高,对于杀虫剂对农田和生活环境的破坏还没有足够的认识。

3 展望

在过去的30年里,我国在水稻抗虫性研究上有了长足的发展,已有部分抗虫品种在生产上推广应用。但由于种种原因,在全国范围内种植水稻抗虫品种的面积比例还很小,抗虫品种在水稻害虫可持续治理中的重要作用还未充分体现。但是抗虫品种的应用必将是水稻害虫可持续治理策略的基石,因为它潜藏着巨大的经济效益、社会效益和环境效益,定将倍受人们的关注和支持。我国经济的飞速发展、对农业投资的加大、基层科技人员待遇的改善、稻农受教育程度的提高、水稻规模化种植的普及等,都将为以抗虫品种为基础的水稻害虫可持续治理技术的应用提供有利条件。因此,随着试验技术的不断改进和更新,通过水稻育种家、昆虫学家和生物技术专家的密切合作,在不久的将来,一定会有许多抗病虫害,且优质、高产的水稻品种育成,并在可持续农业发展上发挥重要的作用。只有人们生活质量和自身素质的提高以及环保意识的加强,各级政府部门和基层农技人员的大力支持与协助,无污染或减量农药的大米在市场上得到价格的体现,稻农既增产又增收,以大面积推广和应用抗虫品种为基础的水稻害虫可持续管理技术才可能实现。

参考文献:

- Chelliah S A, Heinrichs E A. Factors affecting insecticide induced resurgence of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* on rice. *Environ Entomol*, 1980, (9):773-777.
- Heinrichs E A, Mochida O. From secondary to major pest status: the case of insecticide-induced rice brown planthopper *Nilaparvata lugens* resurgence. *Prot Ecol*, 1984, (7):201-218.
- Liu G Q, Yan H H, Fu Q, Qian Q, Zhu L H. RFLP and SSR mapping of a new gene for brown planthopper resistance introgressed from *O. eichingeri* into cultivated rice (*O. sativa* L.). *Chinese Rice Res Newsl*, 2000, 8(1):2.
- Ye G Y, Shu Q Y, Yao H W, Cui H R, Cheng X Y, Hu C, Xia Y W, Gao M W, Altosaar I. Field evaluation of resistance of transgenic rice containing a synthetic *cryIAb* gene from *Bacillus thuringiensis* Berliner to two stem borers. *J Econ Entomol*, 2001, 94(1):271-276.
- Ye G Y, Tu J M, Hu C, Datta K, Datta S K. Transgenic IR72 with fused Bt gene *cryIAb/cryIAc* from *Bacillus thuringiensis* is resistant against four Lepidopteran species under field conditions. *Plant Biotech*, 2001, 18(2):125-133.
- Ye G Y, Yao H W, Shu Q Y, Cheng X, Hu C, Xia Y W, Gao M W, Altosaar I. High levels of stable resistance in transgenic rice with a *cryIAb* gene from *Bacillus thuringiensis* Berliner to rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) under field conditions. *Crop Prot*, 2003, 22:171-178.
- 陈建明,俞晓平,葛秀春,吕仲贤,程家安,颜红岚,刘光杰,郑许松,陶林勇,孔令军. 水稻植株防御白背飞虱为害的某些生理反应. 中国水稻科学, 2000, 14(1):43-47. [Chen J M, Yu X P, Ge X C, Lu Z X, Cheng J A, Yan H L, Liu G J, Zheng X S, Tao L Y, Kong L J. Some physiological change of rice plants infested by the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera*. *Chinese J Rice Sci*, 2000, 14(1):43-47.] (in Chinese with English abstract)
- 崔海瑞,舒庆尧,项友斌,叶恭银,谢加华,吴殿星,夏英武,高明尉,成雄鹰,Altosaar I. 转 *cryIAb* 基因水稻的田间表现. 见:朱睦元,李亚南. 生命科学探索与进展. 杭州:杭州大学出版社, 1998. 810-816. [Cui H R, Shu Q Y, Xiang Y B, Ye G Y, Xie J H, Wu D X, Xia Y W, Gao M W, Cheng X Y, Altosaar I. Field performances of transgenic rice with a *cryIAb* gene. In: Zhu M Y, Li Y N. Investigation and Advances in Life Sciences. Hangzhou: Hangzhou University Press, 1998. 810-816.] (in Chinese)
- 戴华国,王荣富,武淑文. 褐飞虱和白背飞虱共栖时的竞争关系. 见:张广学,李典谟. 走向21世纪的中国昆虫学. 北京:中国科学技术出版社,2000. 498-503. [Dai H G, Wang R F, Wu S W. Competitive relationship of co-habitation between *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*. In: Zhang G X, Li D M. Chinese Insect Sciences in the 21 Century. Beijing: Chinese Scientific and Technical Publishing House, 2000. 498-503.] (in Chinese)
- 顾正远. 稻种资源抗虫性研究概况. 作物品种资源, 1986, (3):25-26. [Gu Z Y. A review on the resistance in rice germplasm to insect pests. *Crop Germplasm Resource*, 1986, (3):25-26.] (in Chinese)
- 何明,顾正远. 水稻主要病虫害综合防治技术体系的新发展. 西南农业学报, 1995, 8(增):1-6. [He M, Gu Z Y. On new development of integrated pest control (IPC) in rice. *Southwest China J Agric Sci*, 1995, 8(Suppl):1-6.] (in Chinese with English abstract)
- 胡国文,刘光杰. 我国水稻抗虫性研究进展. 见:万方浩,康乐. 昆虫生态学研究. 北京:中国科学技术出版社,1992. 22-31. [Hu G W, Liu G J. Recent advancement of varietal resistance to insect pests in China. In: Wan F H, Kang L. Transactions of the Ecological Society of Chinese Youths. Beijing: Chinese Scientific and Technical Publishing House, 1992. 22-31.] (in Chinese)
- 黄富,潘学贤,阴国大. 水稻品种对褐稻虱抗性机制. 昆虫知识, 1990, 27(4):242-245. [Huang F, Pan X X, Yin G D. Studies on the resistance mechanism to brown planthopper by the varieties of rice. *Entomol Knowl*, 1990, 27(4):242-245.] (in Chinese)

- 14 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)
- 15 刘春茂,吴荣宗. 光照强度和氮肥对水稻品种抗褐稻虱的影响. 华南农业大学学报, 1992, 13(2): 27-33. [Liu C M, Wu R Z. Influence of light intensity and nitrogen fertilizer on resistance to the brown planthopper in rice. *J South China Agric Univ*, 1992, 13(2): 27-33.] (in Chinese with English abstract)
- 16 刘光杰, Wilkins R M, Saxena R C. 白背飞虱对不同抗性稻株糖类物质的利用. 昆虫学报, 1995, 38(4): 421-427. [Liu G J, Wilkins R M, Saxena R C. Utilization of sugars from susceptible and resistant rice varieties by the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae). *Acta Entomol Sin*, 1995, 38(4): 421-427.] (in Chinese with English abstract)
- 17 刘光杰,胡国文. 水稻抗虫性的生化基础研究. 水稻文摘, 1993, 12(4): 5-9. [Liu G J, Hu G W. The biochemical basis of resistance to insect pests in rice. *Rice Rev & Abstr*, 1993, 12(4): 5-9.] (in Chinese)
- 18 刘光杰,胡国文. 水稻品种抗稻飞虱机理研究的最新进展. 昆虫知识, 1995, 32(1): 52-55. [Liu G J, Hu G W. Recent advance of the studies on mechanisms of varieties resistance to rice planthoppers. *Entomol Knowl*, 1995, 32(1): 52-55.] (in Chinese)
- 19 刘志岩,刘光杰,寒川一成,庄杰云,陈深广,沈君辉,郑康乐. 水稻抗白背飞虱基因 *Wbph2* 的初步定位. 中国水稻科学, 2002, 16(4): 311-314. [Liu Z Y, Liu G J, Sogawa K, Zhuang J Y, Chen S G, Shen J H, Zheng K L. Mapping the gene *Wbph2* in ARC10239 resistant to the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* in rice. *Chinese J Rice Sci*, 2002, 16(4): 311-314.] (in Chinese with English abstract)
- 20 刘志岩. 利用 RFLP 标记定位水稻抗白背飞虱基因的研究[硕士学位论文]. 北京: 中国农业科学院研究生院, 2000. [Liu Z Y. Study on mapping the resistant genes to the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* using RFLP markers. Ms. C thesis. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2000.] (in Chinese with English abstract)
- 21 娄永根. 信息化合物在稻虱缨小蜂寄生选择行为中的作用[博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 1999. [Lou Y G. Role of infochemicals in the host selection behavior of parasitoid, *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang. Ph. D thesis. Hangzhou: Zhejiang University, 1999.] (in Chinese with English abstract)
- 22 罗闰良,吴京华. 水稻对稻纵卷叶螟的抗性鉴定和抗性育种. 水稻文摘, 1991, 10(4): 9-12. [Luo R L, Wu J H. Screening and breeding for resistance to rice leaf folder. *Rice Rev & Abstr*, 1991, 10(4): 9-12.] (in Chinese)
- 23 马良勇,庄杰云,刘光杰,闵绍楷,李西明. 水稻抗白背飞虱新基因 *Wbph6(t)* 的定位初报. 中国水稻科学, 2002, 16(1): 15-18. [Ma L Y, Zhuang J Y, Liu G J, Min S K, Li X M. Mapping of a new gene *Wbph6(t)* resistant to whitebacked planthopper (*Sogatella furcifera*) in rice. *Chinese J Rice Sci*, 2002, 16(1): 15-18.] (in Chinese with English abstract)
- 24 舒庆尧,叶恭银,崔海瑞,项友斌,高明尉. 转基因水稻“克螟稻”选育. 浙江农业大学学报, 1998, 24(6): 579-580. [Shu Q Y, Ye G Y, Cui H R, Xiang Y B, Gao M W. Development of transgenic *Bacillus thuriangiensis* rice resistant to rice stem borers and leaf folders. *J Zhejiang Agric Univ*, 1998, 24(6): 579-580.] (in Chinese)
- 25 谭荫初. 水稻品种抗螟性的研究. 水稻文摘, 1990, 9(1): 1-4. [Tan Y C. A review on varietal resistance to stem borers in rice. *Rice Rev & Abstr*, 1990, 9(1): 1-4.] (in Chinese)
- 26 谭玉娟,张 扬,黄炳超,徐炎康,赵丽霞. 抗稻瘿蚊品种多抗 1 号的抗性遗传分析及抗性基因定位. 植物保护学报, 1996, 23(4): 315-320. [Tan Y J, Zhang Y, Huang B C, Xu Y K, Zhao L X. Analysis of resistance genetics and mapping of resistant gene in a rice variety Duokang 1 to rice gall midge. *Acta Phytophylla Sin*, 1996, 23(4): 315-320.] (in Chinese with English abstract)
- 27 涂巨民,卢兴映,徐运启,彭仲明. 水稻对褐飞虱的抗性与过氧化物酶同工酶的关系. 湖北农业科学, 1988, (7): 11-13. [Tu J M, Lu X Y, Xu Y Q, Peng Z M. Relationship between the resistance in rice to *Nilaparvata lugens*. *Hubei Agric Sci*, 1988, (7): 11-13.] (in Chinese)
- 28 汪茂卿,吴荣宗,张良佑. 光照因素对水稻品种苗期褐稻虱抗性的影响. 中国水稻科学, 1991, 5(3): 97-103. [Wang M Q, Wu R Z, Zhang L Y. Influence of light duration and intensity on the resistance in rice seedling to the brown planthopper. *Chinese J Rice Sci*, 1991, 5(3): 97-103.] (in Chinese with English abstract)
- 29 王荫长,范加勤,田学志. 溴氰菊酯和甲胺磷引起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. Studies on the resurgent question of planthoppers induced by deltamethrin and methamidophos. *Entomol Knowl*, 1994, 31(5): 257-262.] (in Chinese)
- 30 魏子生,李友荣,侯小华,吴清泉. 多抗、优质、丰产、中熟早籼稻新品种的选育. 植物保护学报, 1988, 15(3): 191-194. [Wei Z S, Li Y R, Hou X H, Wu Q Q. Breeding in early rice new variety with multiple resistance, high quality, high yield and medium-growth duration. *Acta Phytophylla Sin*, 1988, 15(3): 191-194.] (in Chinese with English abstract)
- 31 巫国瑞,俞晓平, Saxena R C. 水稻品种对白背飞虱的抗性表现. 植物保护, 1991, 17(4): 15-16. [Wu G R, Yu X P, Saxena R C. Resistance of rice varieties to whitebacked rice planthopper. *Plant Prot*, 1991, 17(4): 15-16.] (in Chinese)
- 32 巫国瑞,陶林勇,陈福云. 多抗性晚籼浙丽 1 号(6202)对几种主要病虫的抗性. 植物保护学报, 1986, 13(1): 17-21. [Wu G R, Tao L Y, Chen F Y. The multiple resistance of Zheli No. 1, a promising indica rice variety, to some major insect pests and disease. *Acta Phytophylla Sin*, 1986, 13(1): 17-21.] (in Chinese with English abstract)

- 33 许跃,俞晓平. 水稻品系“9101”对白背飞虱产卵的抗性及植株游离氨基酸含量与抗性的关系. 植物保护学报, 1988, 15(1): 61—62. [Xu Y, Yu X P. The resistance of rice strain “9101” to the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* Horváth, and its relation with the quantities of free amino acids in rice plant. *Acta Phytophyla Sin*, 1988, 15(1): 61—62.](in Chinese with English abstract)
- 34 叶恭银,胡萃,舒庆尧,崔海瑞,高明尉. 转苏云金杆菌蛋白基因水稻抗螟性的离体叶片测定法. 植物保护学报, 2000, 27(1): 1—6. [Ye G Y, Hu C, Shu Q Y, Cui H R, Gao M W. The application of detached-leaf bioassay for evaluating the resistance of *Bt* transgenic rice to stem borers. *Acta Phytophyla Sin*, 2000, 27(1): 1—6.](in Chinese with English abstract)
- 35 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 “Ganzaoxian28” to *Sogatella furcifera*. *Acta Agric Jiangxi*, 1993, 5(1): 44—48.](in Chinese with English abstract)
- 36 俞晓平,巫国瑞,胡萃. 水稻品种对白背飞虱的抗性及其与稻株营养成分的关系. 中国水稻科学, 1989, 3(2): 56—61. [Yu X P, Wu G R, Hu C. The rice varietal resistance to whitebacked planthopper and the relation between the nutrients in rice plants and resistance. *Chinese J Rice Sci*, 1989, 3(2): 56—61.](in Chinese with English abstract)
- 37 曾玲,吴荣宗,冯成,李洁群. 水稻品种游离氨基酸含量与抗褐稻虱的关系. 华南农业大学学报, 1992, 13(4): 69—76. [Zeng L, Wu R Z, Feng C, Li J Q. On relationship between the free amino acids content and resistance to *Nilaparvata lugens* in rice varieties. *J South China Agric Univ*, 1992, 13(4): 69—76.](in Chinese with English abstract)
- 38 曾玲,吴荣宗. 水稻品种对褐稻虱的抗性. 昆虫学报, 1984, 27(4): 375—383. [Zeng L, Wu R Z. The resistance of rice varieties to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomol Sin*, 1984, 27(4): 375—383.](in Chinese with English abstract)
- 39 张桂芬,申效诚,赵白鸽. 白背飞虱的国内外研究概况. 昆虫知识, 1988, 25(4): 252—255. [Zhang G F, Shen X C, Zhao B G. Review on studies of whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth). *Entomol Knowl*, 1988, 25(4): 252—255.](in Chinese)
- 40 张良佑,吴荣宗,陈璧. 光温条件影响稻种对褐稻虱抗性的研究. 华南农业大学学报, 1990, 11(3): 64—70. [Zhang L Y, Wu R Z, Chen B. Influence of temperature and light on expression of resistance in rice to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *J South China Agric Univ*, 1990, 11(3): 64—70.](in Chinese with English abstract)
- 41 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实验研究. 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)
- 42 张增全,顾金炎,周爱农. 褐稻虱与水稻的氮素营养关系. 上海农业学报, 1992, 8(3): 51—56. [Zhang Z Q, Gu J Y, Zhou A N. Nitrogen-nutritional relationship between the brown planthopper and rice plant. *Acta Agric Shanghai*, 1992, 8(3): 51—56.](in Chinese with English abstract)
- 43 张增全,顾金炎. 褐稻虱饲料稻株中数种氨基酸的营养效应. 昆虫学报, 1985, 28(1): 15—21. [Zhang Z Q, Gu J Y. The nutritive effect of some amino acids in rice plants on the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Acta Entomol Sin*, 1985, 28(1): 15—21.](in Chinese with English abstract)
- 44 赵伟春,程家安,娄永根,邵伟斌. 褐飞虱和白背飞虱对不同飞虱取食后稻株的选择性. 植物保护学报, 2000, 27(3): 193—198. [Zhao W C, Cheng J A, Lou Y G, Shao W B. On the selectivity of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) for rice plants fed by identical or alternative planthopper species in advance. *Acta Phytophyla Sin*, 2000, 27(3): 193—198.](in Chinese with English abstract)
- 45 朱彭年,刘春芳. 野生稻对稻螟纵卷叶螟抗性的初步研究. 昆虫知识, 1987, 24(3): 136—138. [Zhu P N, Liu C F. Preliminary study on the resistance of wild paddy to rice stem borer and rice leafroller. *Entomol Knowl*, 1987, 24(3): 136—138.](in Chinese)