水稻品种对褐飞虱的田间抗性及其生态学机制*

陈桂华[1] 张发成[1] 盛仙俏[1] 郑许松[2] 徐红星[2] 吕仲贤[2]**

(1. 浙江省金华市植物保护站 金华 321017; 2. 浙江省农业科学院 植物保护与微生物研究所 杭州 310021)

摘 要 评价了7个水稻品种(浙粳22、宜香845、中组14、秀水123、二优倍九、感虫对照品种TN1和抗虫对照品种IR36)在田间成株期对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)的抗性表现,并初步分析了它们的抗性机制。结果表明,在田间网室人工诱发条件下,浙粳22、宜香845、秀水123和中组14等4个品种的抗性水平与抗虫品种IR36相同,均小于3级,表现为抗虫,而二优培九则与感虫品种TN1相同,表现为感虫。在自然发生条件下的水稻分蘖期至乳熟期,宜香845和中组14上褐飞虱数量仅为TN1上的7.84%~24.44%,秀水123和浙粳22则为TN1上的30.19%~60.27%。在4个抗性品种上褐飞虱的产卵量和卵孵化率明显减少,而若虫存活率仅为TN1上的20%~30%。与IR36相同,4个抗性品种上褐飞虱的若虫存活率和种群增长倍数均显著低于TN1上,说明他们对褐飞虱的抗性主要表现为抗生性。

关键词 褐飞虱,水稻品种,抗性表现,抗性机制,抗生性

The ecological mechanisms of resistance of rice varieties to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, in paddy fields

CHEN Gui-Hua[1] ZHANG Fa-Cheng[1] SHENG Xian-Qiao[1]

ZHENG Xu-Song[2] XU Hong-Xing[2] LV Zhong-Xian[2]**

(1. Jinhua Plant Protection Station, Jinghua 321017, China; 2. Institute of Plant Protection & Microbiology of Zhejiang Academy of Agriculture Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract The resistance of 7 rice varieties, including Zhejing 22, Yixiang 845, Xiushui123, Zhongzu 14, Eryoupeijiu, susceptible rice variety TN1 and resistant rice variety IR36, to the rice brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål), were evaluated in adult plants in paddy fields and a preliminary exploration of the mechanisms of resistance conducted. The results show that susceptibility of the Zhejing 22, Yixiang 845, Xiushui123 and Zhongzu 14 strains were less than 3, the same level as that of the IR36 strain, implying high resistance in fields artificially infested with BPH. Susceptibility of the Eryoubeijiu strain was more than 7, the same as the highly susceptible TN1 strain. The abundance of BPH on the Zhongzu 14 and Yixiang 845 strains was 7.84% – 24.44% that on the TN1 strain during the rice tillering and milky stages, whereas abundance on the Xiushui123 and Zhejing 22 strains was 30.19% – 60.27% that on the TN1 strain. The fecundity and egg hatchability of BPH on the 4 resistant varieties was obviously reduced, and their nymph survival and population growth rates were significantly lower than that of BPH populations on TN1. This implies that the resistance mechanism of the 4 resistant varieties may be chemical in nature.

Key words *Nilaparvata lugens*, rice variety, resistant performance, resistant mechanism, antibiosis

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH)是亚洲国家水稻上的主要害虫,造成水稻产量严重损失(程家安等,2008; Catindig *et al.*,2009)。20世纪60—70年代,随着绿色革命的兴起和高产作物品种的推广,水稻种植制度和栽培技术发生了极大的改变,鼓励农民使用农药控制害虫以达到高产的目的(Heong, 2009)。由于在水稻生长前期广泛使用广谱杀虫剂,在控制害虫的同时也大量

* 资助项目:国家"973"计划资助项目(2010CB126200)、公益性行业(农业)科研专项(200803003)、浙江省自然科学基金重点项目(Z3080437)。

** 通讯作者,E-mail: luzxmh2004@yahoo.com.cn

收稿日期:2011-08-05,接受日期:2011-08-23

杀伤了天敌,破坏了水稻生态系统中节肢动物食物网及其生态平衡(Cohen *et al.*, 1994; Matteson, 2000; Symondson *et al.*, 2002; George *et al.*, 2010)。目前对褐飞虱的防治仍然依赖于高效化学杀虫剂的使用,导致再增猖獗和抗药性等严重的生态问题(王彦华等,2009; Matsumura, *et al.*, 2009),降低了生态系统的自然控制能力(Way and Heong, 1994)。许多 IPM 专家从根本上认识到杀虫剂并不总是必需的,他们强调通过减少农药使用、保护生物多样性和应用生态工程技术,建立健康的稻田生态系统,增强天敌的自然控制能力以达到减少稻飞虱的为害(Gurr, 2009; Heong, 2009; Way and Heong, 1994)。

合理利用抗性品种是害虫可持续治理的重要组成部分,也是水稻害虫防治最经济有效的手段(Panda and Khush, 1995; George *et al.*, 2010)。抗稻飞虱水稻品种的利用已成为抑制稻飞虱种群数量和减少使用农药的关键措施之一,也是保证水稻安全生产的重要基础(Heong, 2009; Du *et al.*, 2009)。然而,在我国目前大面积推广的主栽水稻品种中,对稻飞虱具有抗性的品种不多,稻田生态系统基本失去了抵御稻飞虱入侵的第一道天然"屏障",抗性品种的严重缺乏已成为稻飞虱连续暴发的重要原因之一(程家安等,2008)。为此,本文评价了 7 个水稻品种在人工接虫和田间自然条件下的抗性表现,并初步分析了它们的抗性机制,以期为不同抗性水稻品种的农药减量使用技术奠定基础。

1　材料与方法

1.1　材料

供试抗褐飞虱水稻品种浙粳 22(粳)、秀水 123(粳)、宜香(籼)845 和中组 14(籼)分别由浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所、嘉兴市农业科学研究院、温州市农业科学研究院和中国水稻研究所提供,二优培九为浙江农科种业有限公司提供,感虫对照品种 TN1 和抗虫对照品种 IR36 均由国际水稻研究所提供。

褐飞虱田间种群采自中国水稻研究所稻田,在养虫室内用感虫品种 TN1 苗连续饲养,若虫或成虫供试验用。

1.2　田间网室人工诱发条件下不同水稻品种对褐飞虱的成株期抗性测定

试验在尼龙网(60 目)大棚内进行,每个大棚面积 8 m×40 m。每小区面积为 1.5 m×3 m,每品种各 3 次重复。小区四周种 2 行感虫水稻品种 TN1 作为保护行,水稻品种之间种 1 行 TN1 以诱发褐飞虱种群。整个生育期不使用任何农药。在水稻分蘖初期将褐飞虱成虫接入各小区间的 TN1 水稻上,任其繁殖并随机扩散。每个小区间均匀接 5 丛 TN1 水稻,每丛 5 对褐飞虱成虫。当 70% 处理小区内的 TN1 植株死亡时,调查每一品种的植株死亡情况。当 TN1 植株 100% 死亡时,调查每一品种的植株死亡率以确定品种的抗性水平。参考国际水稻研究所 IRRI(2002)推荐的标准确定抗性级别。

1.3　田间自然发生条件下不同水稻品种上褐飞虱的种群数量

试验在金华市单季稻上进行。每小区面积为 3 m×10 m,每个品种设 3 次重复。试验区周围种植当地主栽品种中浙优 1 号作为保护行。水稻生长前期,在试验区周围的保护行重施氮肥(200 kg/hm^2)以诱发稻飞虱发生。由于水稻生长前期稻纵卷叶螟为害,选择对褐飞虱影响较小的 18% 杀虫双水剂防治。以后不再施用农药,以利褐飞虱发生和天敌的自然控制。分别于苗期、分蘖盛期、孕穗期和乳熟期用盆拍法调查褐飞虱的数量。

1.4　水稻品种对褐飞虱的抗性机制

将水稻种子催芽后播种,2 叶期移栽到小盆钵(Φ14 cm)中,每盆 4 株。移入尼龙网(60 目)室中,正常水肥管理。在移栽后 30 d,除去分蘖和外叶鞘,用自来水清洗后罩上透明的 PVC 笼罩。每盆接入 12 h 内孵化的褐飞虱若虫 30 头或 24 h 内羽化的成虫 2 对。在接初孵若虫的水稻上,当褐飞虱开始羽化后,每天考察成虫数并鉴定性别。在接成虫的水稻上,褐飞虱产在稻株上的卵开始孵化后,每天考察初孵若虫数,当连续 3 d 没有若虫孵化时在解剖镜下考察未孵化的卵量。计算若虫存活率、每雌产卵量、卵孵化率和种群增长情况。

1.5 数据统计与分析

数据分析采用 SPSS 18.0 进行,在分析前先对百分数数据进行反正弦转换,用 Tukey 法进行方差分析。

2　结果与分析

2.1　田间网室人工诱发条件下的抗性表现

在田间网室人工诱发条件下，当 TN1 达到 9 级时，浙粳 22、宜香 845、秀水 123、中组 14 和 IR36 均少于 3 级，表现为抗虫。而二优培九的抗级达到 7 级以上，与 TN1 一样表现为感虫(图 1)。

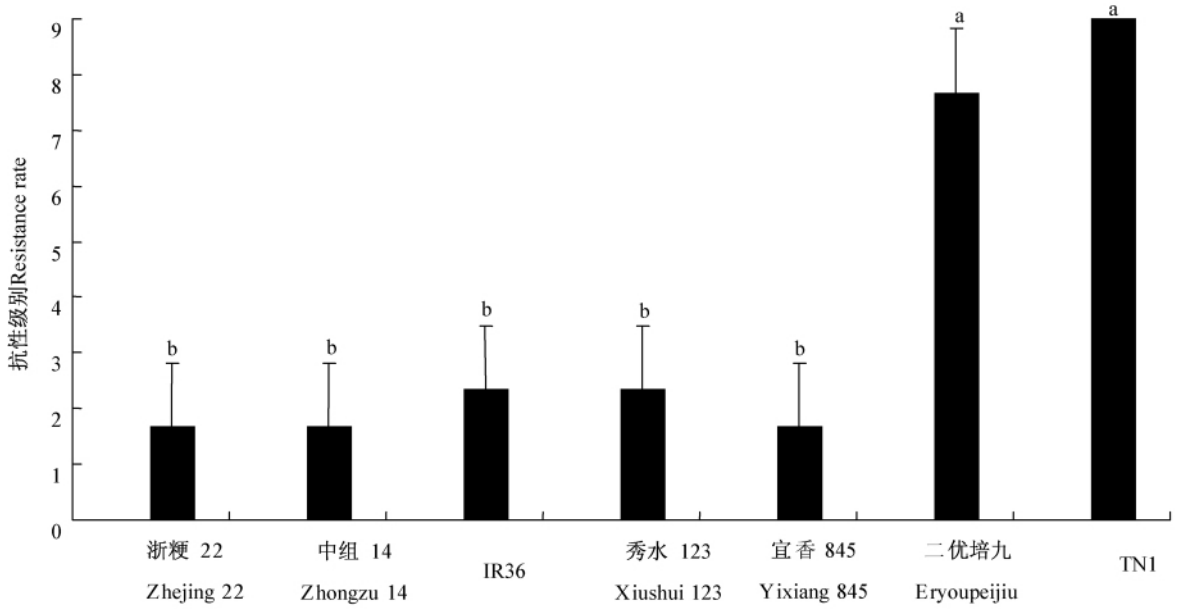

图 1 水稻品种在人工诱发条件下的抗性级别

Fig. 1 Resistance rates of different rice varieties in field with artificially infested BPH population

柱上不同字母表示不同品种间有显著差异($P < 0.05$)。

Different letters above bars indicate significantly different among varieties($P < 0.05$).

2.2 在自然发生条件下不同品种上的褐飞虱种群数量

在水稻苗期，各个品种上的褐飞虱数量都较低，且无明显差异，但从分蘖期开始不同品种上的褐飞虱种群数量显示出显著差异(表 1)。宜香 845、中组 14 和 IR36 上的褐飞虱数量最少，分蘖期以后这 3 个品种上的褐飞虱数量与 TN1 上褐飞虱数量的比率较为稳定，只有同期 TN1 上褐飞虱数量的 7.84% ~24.44%。其次为秀水 123 和浙粳 22，在不同水稻生育期褐飞虱数量为 TN1 上的 30.19% ~60.27%，且在不同生育期有较大差异，其中在分蘖期褐飞虱的种群数量相对较高。在孕穗期以后，二优培九和 TN1 上的褐飞虱数量最多，两者比较接近且均显著高于其他品种。

表 1 不同生长期水稻上的褐飞虱种群数量

Table 1 Abundance of BPH population in different rice growth stages

品种 Variety	苗期 Seedling stage	分蘖期 Tiller stage	孕穗期 Booting stage	乳熟期 Milky stage
秀水 123 Xiushui 123	2.60 ± 0.44a	38.03 ± 5.18ab	86.63 ± 6.22c	63.13 ± 9.75bc
浙粳 22 Zhejing 22	1.77 ± 1.27a	31.17 ± 9.11bc	85.37 ± 9.05c	67.20 ± 11.28b
宜香 845 Yixiang 845	1.43 ± 0.78a	12.00 ± 3.89cd	26.93 ± 4.50e	14.83 ± 3.01d
中组 14 Zhongzu 14	2.23 ± 1.36a	9.27 ± 1.62d	67.33 ± 4.04cd	37.43 ± 6.56bcd
二优培九 Eryoupeijiu	2.23 ± 1.03a	43.67 ± 11.71ab	195.80 ± 20.32b	165.77 ± 28.26a
IR36	1.47 ± 0.57a	14.07 ± 2.96cd	22.17 ± 9.96e	18.67 ± 2.24cd
TN1	1.80 ± 0.50a	63.10 ± 5.94a	282.77 ± 42.48a	153.17 ± 31.15a

注：表中数据为平均数 ± 标准误(SE)，同一列中具有不同字母的表示有显著差异($P < 0.05$)。下表同。

The data in the table are mean ± SE, and those followed by different letters in the same column are significantly different at 0.05 level. The same for Table 2.

2.3 水稻品种对褐飞虱的抗性机制

与感虫品种 TN1 比较,秀水 123、浙粳 22 和 IR36 等抗性品种上褐飞虱的产卵量和卵孵化率均有明显降低,其中在 IR36 上降低最显著(表 2)。而秀水 123、浙粳 22、宜香 845、中组 14 和 IR36 上的若虫存活率和种群增长倍数则显著低于 TN1 和二优培九。说明这 4 个水稻品种对褐飞虱表现为抗生性。

表 2　褐飞虱在不同水稻品种上的生态适应性参数

Table 2　Ecological fitness of BPH on different rice varieties

品种 Variety	产卵量 Fecundity (egg/female)	孵化率 Hatchability (%)	若虫存活率 Nymphal survival (%)	种群增长倍数 Multiple of population increased
秀水 123 Xiushui 123	288.1ab	87.4 a	26.7 b	33.6 b
浙粳 22 Zhejing 22	256.2 ab	76.7 a	19.5 b	19.2 b
宜香 845 Yixiang 845	320.8 a	91.5 a	17.8 b	26.1 b
中组 14 Zhongzu 14	317.4 a	83.4 a	21.4 b	28.3 b
二优培九 Eryoupeijiu	342.7 a	97.4 a	75.6 a	126.2 a
IR36	133.5 b	73.4 a	25.7 b	12.6 b
TN1	351.6 a	95.4 a	87.5 a	146.8 a

3　讨论

目前对水稻品种(系)抗飞虱鉴定主要采用苗期筛选法,即在水稻苗期进行水稻品种对稻飞虱的抗性评价,以苗期的抗性水平作为水稻品种对稻飞虱的抗性指标(IRRI, 2002; 刘光杰等, 2002)。但是许多事实已表明,水稻在苗期和成株期对稻飞虱的抗性水平并不一定一致,有的品种在苗期表现不好,但成株期的抗性可能增强,同样的在苗期抗性较好的品种,到了成株期抗性表现一般,甚至完全没有抗性(陈峰等,2009; 盛仙俏等,2010; 陶林勇等,1999)。更重要的是,在生产实践中水稻往往在成株期才真正遭受稻飞虱的严重危害。因此,对水稻品种的成株期进行稻飞虱的田间抗性评价才是合理的,其抗性水平才能真正指导生产(Horgan, 2009)。

稻飞虱与水稻之间的相互关系,即稻飞虱对稻株的致害能力、稻株对稻飞虱种群的抑制以及稻株对稻飞虱危害的防御和恢复水平三者之间的关系,决定了不同水稻品种对稻飞虱抗性的田间表现,田间的抗性结果是三者的综合结果。稻株受害后死亡或存活只是结果、表象,稻株受害后的防御(抗生性)和恢复能力(耐虫性)才是抗性的主要特性。稻飞虱在田间的种群数量有一个逐代累积的过程,在苗期阶段由于稻飞虱的数量极少,加上天敌的自然控制,产生危害的可能性不高,由此许多学者认为移栽后 30 d 之内没有必要使用任何农药(Heong 2009; George *et al.*, 2000)。本文结果表明,由于浙粳 22、宜香 845、秀水 123 和中组 14 等水稻品种在田间均具有较高的抗性,成株期主要表现为对褐飞虱的抗生性,在自然条件下褐飞虱的种群增长率显著低于感虫的二优培九和 TN1,在褐飞虱中等或大发生的情况下可以考虑期减少农药 2 ~ 3 次,而不会明显降低水稻的产量(未发表资料)。

由于田间抗性鉴定容易受到稻飞虱侵入种群数量、非靶标害虫和台风等自然灾害的影响,年度之间的差异较大。建立一套可控性强、操作方便、重复性好的网室大棚接虫鉴定技术和规范化方法对水稻品种成株期抗稻飞虱特性评价意义重大。但是,这在国内外没有先例,需要进行一系列的基础研究,如田间合理设计、最佳接虫时间、稻飞虱的生理状态和最适密度、田间管理与温湿度关系、非靶标害虫和稻飞虱天敌控制、肥料和其他非生物因子对抗性的影响等。要实现抗性水稻品种对病虫害的长效控制,除水稻育种部门所提供的种质材料所本身具有的抗性水平外,还必须有一套比较完善的评价体系来进行比较各品种在田间的具体表现,才能应用于生产发挥其应有的作用。应用网室大棚接虫鉴定技术的结果表明当 TN1 达到 9 级时,各试验品种的抗性水平与田间自然条件下的结果全相符,说明应用尼龙网大棚接虫的

方法来评价水稻品种对褐飞虱的抗性是合理、可行的。

参考文献(References)

Catindig J, Arida GS, Baehaki SE, Bentur JS, Cuong LQ, Norowi M, Rattanakarn W, Sriratanasak W, Xia J, Lu Z, 2009. Situation of planthoppers in Asia//Heong KL, Hardy B (eds.). Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 221—232.

陈峰,傅强,罗举,赖凤香,桂连友,2009. 苗期抗性不同的水稻品种成株期对褐飞虱的抗性. 中国水稻科学,23(2):201—206.

程家安,朱金良,祝增荣,章连观,2008. 稻田飞虱灾变与环境调控. 环境昆虫学报,30(2):176—182.

Cohen JE, Schoenly K, Heong KL, Justo H, Arida G, Barrion AT, 1994. A food web approach to evaluating the effect of insecticide spraying on insect pest population dynamics in a Philippine irrigated rice ecosystem. *J. Appl. Ecol.*, 31(4):747—763.

Du B, Zhang WL, Liu BF, Hu J, Wei Z, Shi ZY, He RF, Zhu LL, Chen RZ, Han B, He GC, 2009. Identification and characterization of *Bph14*, a gene conferring resistance to brown planthopper in rice. *PNAS*, 106(52):22163—22168.

George WL, Heong KL, Johnson D, Savary S, 2010. Rice pest management: issues and opportunities// Pandey S, Byerlee D, Dawe D, Dobermann A, Mohanty S, rozelle S, Hardy B (eds.). Rice in The Globe Economy: Strategic Research and Policy Issues for Food Security. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 297—332.

Gurr GM, 2009. Prospects for ecological engineering for planthoppers and other arthropod pests in rice//Heong KL, Hardy B (eds.). Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 371—388.

Heong KL, 2009. Are planthopper problems caused by a breakdown in ecosystem services? // Heong KL, Hardy B (eds.). Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute. 221—232.

Horgan F, 2009. Mechanisms of resistance: a major gap in understanding planthopper-rice interactions//Heong KL, Hardy B (eds.). Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute. 281—302.

IRRI, 2002. Standard Evaluation System for Rice. 4th edition. International Rice Research Institute. 56.

刘光杰,付志红,沈君辉,张亚辉,2002. 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,16(1):52—56.

Matsumura M, Takeuchi H, Satoh M, Otuka A, Watanabo T, 2009. Current status of insecticide resistance in rice planthoppers in Asia// Heong KL, Hardy B (eds.). 2009. Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute. 233—243.

Matteson PC, 2000. Insect pest management in tropic Asian irrigated rice. *Annu. Rev. Entomol.*, 45:549—574.

Panda N, Khush GS, 1995. Host PLANT RESISTANCE to INsects. CAB International, UK. 67—103.

盛仙俏,张发成,徐红星,郑许松,陈桂华,吕仲贤,2010 水稻品种(组合)对褐飞虱抗性的田间表现. 中国水稻科学,24(5):535—538.

Symondson WOC, Sunderland KD, Greenstone MH, 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annu. Rev. Entomol.*, 47:561—594.

陶林勇,俞晓平,吕仲贤,陈建明,郑许松,1999. 水稻新品种(系)对褐飞虱持抗性的鉴定. 浙江农业学报,11(6):315—320.

王彦华,王强,沈晋良,吴声敢,俞瑞鲜,赵学平,苍涛,吴长兴,陈丽萍,2009. 褐飞虱抗药性研究现状. 昆虫知识,46(4):518—524.

Way MJ, Heong KL, 1994. The role of biodiversity in the dynamics and management of insect pests of tropical irrigated rice-a review. *Bull. Entomol. Res.*, 84: 567—587.