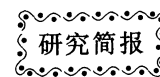


DOI: 10.3724/SP.J.1006.2008.00530



水稻条纹叶枯病抗性育种研究

王才林 张亚东 朱 镇 赵 凌 陈 涛

(江苏省农业科学院粮食作物研究所/江苏省优质水稻工程技术研究中心, 江苏南京 210014)

摘 要: 利用日本育成的抗条纹叶枯病优质粳稻品种, 与江苏高产品种杂交, 将其条纹叶枯病抗性导入江苏高产粳稻品种, 达到有利基因的聚合, 改良现有粳稻品种的条纹叶枯病抗性。结果表明, 在充分发病的自然条件下对条纹叶枯病抗性选择的效果十分明显, 只要具有一定的选择压, 很容易选择到抗性好的株系。关东 194 是一个优良的条纹叶枯病抗源亲本, 在粳稻条纹叶枯病抗性改良和品质改良中值得加以利用。通过连续 3 年的定向选择, 已经获得一批抗条纹叶枯病的优良品种(系)。其中“宁 4009”已于 2007 年 1 月通过江苏省审定, 定名为“南粳 44”。

关键词: 水稻; 条纹叶枯病; 抗性; 育种

Rice Breeding for Resistance to Stripe Virus Disease

WANG Cai-Lin, ZHANG Ya-Dong, ZHU Zhen, ZHAO Ling, and CHEN Tao

(Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences / Jiangsu High Quality Rice R & D Center, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

Abstract: In order to improving the resistance to rice stripe virus disease of *japonica* rice, *japonica* varieties with high yield developed in Jiangsu province were crossed with Japanese varieties with resistance to rice stripe virus disease and good quality. The results showed that the resistance gene controlling rice stripe virus disease could be easily transferred from one variety to another one. It was effective to select resistant lines under natural conditions suitable for occurrence of stripe virus disease. Kantou 194 was a good parent for improving resistance to rice stripe virus disease and grain quality. Some breeding lines resistance to stripe virus have been developed through orientated selection for three generations and “Ning 4009” has been registered as “Nanjing 44” in Jiangsu province in 2007.

Keywords: Rice (*Oryza sativa* L.); Stripe virus disease; Resistance; Breeding

水稻条纹叶枯病(rice stripe disease)是由灰飞虱(*Laodelphax striatellus* Fallen.)传播的条纹叶枯病毒(rice stripe virus, RSV)引起的水稻病毒病, 1998 年以来在江苏省的发生呈猛烈上升的趋势, 2000 年首次在苏北地区暴发, 至 2007 年已连续 8 年在江苏省流行, 成为影响江苏省粳稻产量的重大病害之一^[1-2], 近年在上海、浙江、安徽、山东、河南等省(市)也呈流行趋势^[3-7]。

水稻条纹叶枯病之所以在江苏省大范围暴发, 有气候变化特别是连续多年的暖冬造成病毒传播媒介灰飞虱越冬虫量增加, 以及水稻早播早栽、麦田套播等耕作制度造成越冬灰飞虱迁入秧田基数增加等原因。然而, 笔者认为, 缺乏抗病品种也是水稻条纹叶枯病暴发的主要原因之一^[2]。国内外抗病育种的经验表明, 选育抗病品种是控制水稻病害最经济有效的方法。近年水稻条纹叶枯病虽然在江苏省大范围发生, 造成严重的产量损失, 但一些抗

(耐)病品种的应用, 使条纹叶枯病的暴发势头得到了有效控制。本文报道笔者近年来在水稻条纹叶枯病抗性育种方面的部分研究结果, 供育种工作者参考。

1 材料与方法

1.1 材料

选用引进的优质或具某些高产特性的粳稻品种(系)与江苏高产粳稻品种(系)武运粳 7 号、武粳 13、武香粳 14、武粳 15 等作为杂交亲本。引进的粳稻品种(系)可大体分为 3 类, 第一类是具有条纹叶枯病抗性基因的日本优质粳稻如关东 194、关东 203、爱知 106 等; 第二类是不具抗性基因的日本优质粳稻如北陆 159、关东 183、关东 188、Hitomebore 等; 第三类是条纹叶枯病抗性基因不明的来自籼粳杂交后代的粳稻材料如 IRRISR(J)、R161、HP121 等。

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD01A01); 农业部农业结构调整重大技术研究专项项目(05-01-05B); 江苏省高技术研究项目(BG2004304, BG2005301)

作者简介: 王才林(1959-), 男, 江苏无锡人, 博士, 研究员, 主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: clwang@jaas.ac.cn; Tel: 025-84390307

Received(收稿日期): 2007-06-08; Accepted(接受日期): 2007-09-19.

1.2 选育过程

1999 年在海南用日本优质粳稻与江苏高产粳稻杂交配组，共配制杂交组合 80 多个。2000 年在南京种植 F₁，同年冬在海南种植 F₂，按组合混收，2001 年在南京种植 F₃，按组合混收，2002—2003 年在南京种植 F₄、F₅，成熟后选择单株。2004—2006 年在南京分别种植 F₆、F₇、F₈ 株系，以感条纹叶枯病的品种武运 7 号为对照。成熟后根据条纹叶枯病自然发病情况调查结果，只在抗性表现好的小区选择单株。

1.3 抗性鉴定方法与分级标准

单株选择材料每年正季种植于江苏省农业科学院粮食作物研究所试验田(南京)，5 月 15—18 日播种，秧田设置在灰飞虱虫源丰富的小麦田边。6 月 15—18 日移栽。每个株系种植 40~50 株，2 行或 4 行区，行株距 17 cm×17 cm，小区间空 1 行。田间管理按常规方法进行，秧田期和

移栽后 30 d 内不防治灰飞虱。30 d 后调查条纹叶枯病的自然发病情况。参照 Washio 等^[8]制定的抗性鉴定标准，即 A、B、Bt、Cr、C 和 D 级，将 A、B 和 Bt 作为感病，Cr、C、D 和未出现症状的作为抗病，按小区中感病植株的比例计算发病率。将发病率分成一级(<4.9%)、二级(5.0%~9.9%)、三级(10.0%~19.9%)、四级(20.0%~39.9%)和五级(≥40.0%)。根据系谱关系统计不同发病率单株后代出现各级单株的比例，据此评价抗性选择效果。

2 结果与分析

2.1 不同年份条纹叶枯病自然发病情况

2004—2006 年，分别种植 F₆~F₈ 单株 1 324、1 699、1 685 个，移栽后 30 d 调查条纹叶枯病的自然发病情况，结果列于表 1。

表 1 2004—2006 年选种材料条纹叶枯病自然发病情况
Table 1 Disease occurrence of stripe virus of breeding selections in 2004—2006

发病等级 Disease score	2004		2005		2006	
	株系数 No. of lines	所占比例 Proportion (%)	株系数 No. of lines	所占比例 Proportion (%)	株系数 No. of lines	所占比例 Proportion (%)
一级(0~4.9%) Score I	301	22.7	557	32.8	880	52.2
二级(5.0%~9.9%) Score II	291	22.0	315	18.5	335	19.9
三级(10.0%~19.9%) Score III	494	37.3	508	29.9	381	22.6
四级(20.0%~39.9%) Score IV	223	16.8	306	18.0	87	5.2
五级(≥40.0%) Score V	15	1.1	13	0.8	2	0.1
合计 Total	1324	100	1 699	100	1685	100

2004—2006 年是江苏省条纹叶枯病的重发生年，发病面积均在 100 万 hm² 以上，其中 2004 年达到 157 万 hm²，占水稻总面积的 79%。本研究采用的感病对照武运 7 号 3 年的最高自然发病率分别为 53%、48%和 41%，均为五级。表明本试点条纹叶枯病的发病较充分，且 3 年的自然发病率较为接近。

从表 1 可以看出，该批选种材料中，条纹叶枯病自然发病率在 20% 以下的一、二、三级材料居多，3 年分别占 82%、81%、95%，其中自然发病率在 10% 以下的一、二级材料分别占 45%、51%、72%，自然发病率在 20% 以上的四、五级材料较少，表明从总体上看，该批材料对条纹叶枯病的抗性表现较好。

2.2 抗性选择效果分析

从表 1 还可以看出，经连续 3 年在自然发病条件下的抗性选择，选种材料的抗性不断提高，尤其是自然发病率在 5% 以下(一级)的材料明显增加，从 2004 年的 23% 提高到 2006 年的 52%，而自然发病率在 10% 以上(三、四、五级)的材料则逐年减少，从 2004 年的 55% 下降到 2006 年的 28%，表明在充分发病的自然条件下对条纹叶枯病的抗性选择是有效的。

为了进一步明确抗性选择的效果，对 2004—2006 年在南京种植的 F₆、F₇、F₈ 株系，统计了上一世代选择的不同抗性等级单株在下一世代的抗性表现，即不同抗性等级株系的比例，结果分别列于表 2、表 3 和表 4。

表 2 2004 年选择的不同等级条纹叶枯病抗性单株在 2005 年的抗性表现
Table 2 Disease score in 2005 of the plants with different stripe virus disease occurrence grade selected in 2004

2004 年条纹叶枯病发病等级 Stripe virus disease score in 2004	株系数 No. of lines	2005 年不同发病等级比例 Percentage of disease score in 2005 (%)				
		一级 Score I	二级 Score II	三级 Score III	四级 Score IV	五级 Score V
一级(0~4.9%) Score I	357	59.1	15.4	16.0	9.5	0.0
二级(5.0%~9.9%) Score II	428	35.5	19.9	28.3	16.4	0.0
三级(10.0%~19.9%) Score III	498	11.4	14.7	42.6	29.7	1.6
四级(20.0%~39.9%) Score IV	128	29.7	10.2	30.5	28.1	1.6
五级(≥40.0%) Score V	6	66.7	0.0	33.3	0.0	0.0

表 3 2005 年选择的不同等级条纹叶枯病抗性单株在 2006 年的抗性表现

Table 3 Disease score in 2006 of the plants with different stripe virus disease occurrence grade selected in 2005

2005 年条纹叶枯病发病等级 Stripe virus disease score in 2005	株系数 No. of lines	2006 年不同发病等级比例 Percentage of disease score in 2006 (%)				
		一级 Score I	二级 Score II	三级 Score III	四级 Score IV	五级 Score V
一级(0–4.9%) Score I	547	81.4	8.6	7.3	2.6	0.2
二级(5.0%–9.9%) Score II	178	45.5	33.1	18.5	2.2	0.6
三级(10.0%–19.9%) Score III	184	27.2	23.4	42.4	7.1	0.0
四级(20.0%–39.9%) Score IV	204	21.1	29.4	40.7	8.8	0.0
五级(≥40.0%) Score V	5	0.0	0.0	60.0	40.0	0.0

表 4 2006 年选择的不同等级条纹叶枯病抗性单株的抗源分析

Table 4 Analysis of the origin of resistant gene of stripe virus disease for the plants selected in 2006 with different disease score

发病等级 Stripe virus disease score	有抗源 Originated from resistant parent		无抗源 Originated from non-resistant parent		抗源不明 Resistance origin unknown		合计 Total	
	株数 No. of plants	所占比例 Proportion (%)	株数 No. of plants	所占比例 Proportion (%)	株数 No. of plants	所占比例 Proportion (%)	株数 No. of plants	所占比例 Proportion (%)
一级(0–4.9%) Score I	421	24.99	191	11.34	268	15.91	880	52.23
二级(5.0%–9.9%) Score II	84	4.99	174	10.33	77	4.57	335	19.88
三级(10.0%–19.9%) Score III	51	3.03	298	17.69	32	1.90	381	22.61
四级(20.0%–39.9%) Score IV	21	1.25	63	3.74	3	0.18	87	5.16
五级(≥40.0%) Score V	2	0.12	0	0.00	0	0.00	2	0.12
合计 Total	579	34.36	726	43.09	380	22.55	1 685	100.00

从表 2~表 4 可以看出, 上一世代条纹叶枯病自然发病率较低的株系, 其后代绝大多数株系的自然发病率仍然较低。如 2004 年条纹叶枯病自然发病率低于 5% 的一级株系, 2005 年有 74.5% 的株系自然发病率在 10% 以下(一、二级), 其中 59.1% 的株系仍然为一级(表 2)。同样, 2005 年条纹叶枯病自然发病率低于 5% 的一级株系, 2006 年有 89.9% 的株系自然发病率在 10% 以下, 其中 81.4% 的株系仍然低于 5%(表 3)。

以上结果表明, 在自然发病条件下对条纹叶枯病抗性选择的效果是十分明显的, 只要具有一定的选择压, 很容易选到抗性好的株系。

2.3 抗性来源分析

对 2006 年选择的 1685 个单株的发病等级与抗性来源的关系进行分析的结果表明, 来自条纹叶枯病抗源亲本杂交后代的共 579 株, 绝大部分单株的抗性表现较好, 有 421 株的发病等级在 5% 以下, 占 25%(表 4)。而来自非抗源亲本杂交后代的共有 726 株, 发病等级较低单株的比例明显减少。必须指出的是, 来自抗源不明亲本杂交后代的有 380 株, 其中绝大部分单株的抗性表现也较好, 发病等级在 5% 以下的单株有 268 个, 占 16% 左右, 这些组合的亲本之一多为籼粳交后代, 如 IRRISR(J)、R161、HP121 等, 其抗源可能来自籼稻。

进一步的分析表明, 不同组合抗性单株的出现机率大不相同。从抗性单株出现的绝对数量看, 武粳 13/关东 194 明显多于其他组合, 后代穴发病率在 20% 以下的单株

有 313 个, 其中后代穴发病率在 5% 以下的单株就有 249 个。其次是 992103/IRRISR(J), 后代穴发病率在 20% 以下的单株有 262 个, 其中后代穴发病率在 5% 以下的单株就有 215 个, 该组合的抗源可能来自籼粳交后代 IRRISR(J)。

3 讨论

对条纹叶枯病的抗性鉴定, 最可靠的方法是人工接种鉴定。但人工接种难以满足对大量育种材料鉴定的需要。本研究表明, 对具有抗源的杂交后代在充分发病的自然条件下进行抗性选择, 很容易获得对条纹叶枯病具有稳定抗性的材料。在发病率<4.9% 的株系中选择抗性单株, 获得稳定抗性后代的机率较高。因此, 可将 5% 作为抗性选择的标准。但在低世代, 丰产性与品质较好的株系可将抗性选择标准适当放宽到 10%。笔者利用近年来条纹叶枯病在江苏大流行的自然条件, 通过连续几年的定向选择, 已经育成一批抗条纹叶枯病的优良品种(系), 如“宁 4009”、“宁 5047”、“宁 6111”、“宁 5055”、“宁 5043”、“宁 5059”、“宁 6201”、“宁 7022”、“宁 6301”等, 正在参加江苏省区域试验或预备试验。其中“宁 4009”已于 2007 年 1 月通过江苏省审定, 定名为“南粳 44”。该品种属早熟晚粳, 抗条纹叶枯病, 中抗白叶枯病, 稻米品质达国标三级优质稻谷标准, 适宜在江苏沿江和苏南地区种植^[9]。“宁 5047”2007 年在参加江苏省区域试验的同时, 参加江苏省生产试验。该品系属中熟晚粳, 抗条纹叶枯病和抗白叶枯病, 稻米品质达国标二级优质稻谷标准, 且直

链淀粉含量低(15%), 食味品质优良, 适宜在江苏苏南地区种植。

本研究结果表明, 不同组合后代中获得抗性单株的机率有很大差异。因此, 配组亲本的选择至关重要。选择抗性基因来源明确、品质优良、有一定丰产性的日本品种与综合性状优良、丰产性好的主栽品种杂交, 较易获得抗性、品质与丰产性好的单株。本研究中武粳 13/关东 194 组合后代的抗性单株明显多于其他组合就是一个很好的例证。关东 194 是一个优良的抗源亲本, 其杂交后代不仅条纹叶枯病抗性好的单株出现频率高, 而且外观品质优良的单株出现频率也较高。由于关东 194 为低直链淀粉含量品种, 其杂交后代的食味品质也较好。因此, 该亲本在江苏粳稻条纹叶枯病抗性改良和品质改良中值得加以利用。

据日本学者 Washio 等的研究, 水稻对条纹叶枯病的抗性主要受两对显性互补基因 *Stv-a*、*Stv-b* 或一对显性基因 *Stv-bⁱ* 控制。日本陆稻黑禾、外国稻 Zenith 等品种含有两对显性互补基因 *Stv-a*、*Stv-b*, 而巴基斯坦陆稻 Modan、Surjumkhi、Charnack、Ketan Nanka 等品种则带有一对不完全显性基因 *Stv-bⁱ*^[10-11]。并已将抗性基因 *Stv-a* 和 *Stv-bⁱ* 分别定位于第 6 和第 11 染色体^[8,12-13]。

追溯我国已知抗条纹叶枯病品种的系谱可以发现, 抗性基因主要来源于籼稻和日本粳稻^[14], 而日本粳稻的抗性基因多数来自巴基斯坦陆稻品种 Modan, 抗源十分狭窄。本研究采用的条纹叶枯病抗性亲本关东 194、关东 203、爱知 106 等品种的抗性基因均来自 Modan。因此, 加强对新抗源的筛选与鉴定很有必要。本研究在杂交亲本抗源不明的 380 个单株中, 有 268 个单株的发病等级在 5% 以下, 这些单株多来自亲本之一为籼粳交后代的组合, 其抗源可能来自籼稻。如来源于杂交组合 992103/IRRISR(J) 后代的 215 个单株的穴发病率在 5% 以下, 该组合的抗源可能来自籼粳交后代 IRRISR(J), 其抗性是否为新的抗源基因值得进一步研究。

References

- [1] Cheng Z-B(程兆榜), Yang R-M(杨荣明), Zhou Y-J(周益军), Diao C-Y(刁春友), Xiong R-Y(熊如意). New occurrence regulation of rice stripe disease in Jiangsu. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 2002, (1): 39-41 (in Chinese)
- [2] Wang C-L(王才林). Advances in breeding of rice with resistance to rice stripe disease in Jiangsu, China. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 2006, (3): 1-5 (in Chinese)
- [3] Jiang Y-P(蒋耀培), Li J-G(李建刚), Tan X-F(谭秀芳), Pei Q-Z(裴启忠). Preliminary studies on occurrence and control techniques of rice stripe disease in Shanghai. *Shanghai Agric Sci & Tech* (上海农业科技), 2005, (5): 37-38 (in Chinese)
- [4] Zhang G-M(张国鸣), Wang H-D(王华弟), Dai D-J(戴德江). The occurrence and developing tendency of rice stripe disease in Zhejiang and its preventive countermeasures. *China Plant Prot* (中国植保导刊), 2006, 26(7): 20-21 (in Chinese)
- [5] Sun J-M(孙俊铭). The occurrence regulation and control countermeasure of rice stripe disease. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2006, 34(17): 4351-4352 (in Chinese)
- [6] Gao L-C(高苓昌), Song K-Q(宋克勤), Zhang H-R(张洪瑞), Du B-H(杜本怀), Zhu Q-S(朱其松). Pathogeny feature and integrate control of rice strip blight in Huang-Huai rice area. *Shandong Agric Sci* (山东农业科学), 2006, (3): 66-67 (in Chinese)
- [7] Gong L-Y(弓利英), Xia L(夏立), Ma L(马丽), Liu S-T(刘松涛), Hai F(海飞). Occurrence and control of rice stripe disease along the Yellow River Valley. *J Henan Agric Sci* (河南农业科学), 2006, (7): 64-65 (in Chinese)
- [8] Washio O, Ezuka A, Toriyama K, Sakurai Y. Testing method for genetics and breeding for resistance to rice stripe disease. *Bull Chugoku Agric Exp Stat*, 1968, 16: 39-197
- [9] Wang C-L(王才林), Zhang Y-D(张亚东), Zhu-Z(朱镇), Zhao L(赵凌), Zhong W-G(仲维功), Chen Z-D(陈志德), Yang J(杨杰). Characteristics and cultivation techniques for *Japanica* rice variety Nanjing 44 with high quality, high yield and resistance to stripe virus. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 2007, (2): 43-44 (in Chinese)
- [10] Washio O, Ezuka A, Sakurai Y, Toriyama K. Studies on the breeding of rice varieties resistant to stripe disease: II. Genetic study on resistance to stripe disease in Japanese upland rice. *Jpn J Breed*, 1968, 18: 96-101
- [11] Washio O, Toriyama K, Ezuka A, Sakurai Y. Studies on the breeding of rice varieties resistant to stripe disease: III. Genetic studies on resistance to stripe in foreign varieties. *Jpn J Breed*, 1968, 18: 167-172
- [12] Hayano-Saito Y, Tsuji T, Fujii K, Saito K, Iwasaki M, Saito A. Localization of the rice stripe disease resistance gene, *Stv-bⁱ*, by graphical genotyping and linkage analyses with molecular markers. *Theor Appl Genet*, 1998, 96: 1044-1049
- [13] Hayano-Saito Y, Saito K, Nakamura S, Kawasaki S, Iwasaki M. Fine physical mapping of the rice stripe resistance gene locus, *Stvb-i*. *Theor Appl Genet*, 2000, 101: 59-63
- [14] Pan X-B(潘学彪), Liang G-H(梁国华), Chen Z-X(陈宗祥), Zhang Y-F(张亚芳). Breeding strategy on resistance to rice stripe in Jiangsu. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 2005, (5): 22-23 (in Chinese)