

潘争艳,邱福林,吕桂兰,等. 辽星系列水稻品种稻瘟病抗性基因鉴定与抗性分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(7):87-90.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.07.022

辽星系列水稻品种稻瘟病抗性基因鉴定与抗性分析

潘争艳,邱福林,吕桂兰,马秀芳,王艳华,高虹,李小婉,李睿

(辽宁省水稻研究所,辽宁沈阳 110101)

摘要:利用采自辽宁省 4 个稻区的 20 株稻瘟病菌对辽星系列水稻品种进行抗病性鉴定,苗期发病级数为 0~5 级,穗期发病级数为 1~7 级。苗期和穗期抗性频率均大于等于 85% 的有 2 个品种,抗性频率均小于等于 35% 的有 4 个品种。利用已开发的 10 个抗稻瘟病基因的分子标记对 21 份辽星系列水稻品种进行抗性基因分子检测,21 份辽星系列品种含有的抗性基因数量在 2~5 个之间。这些品种中均不含 *Pi9*、*Pi40* 基因,而 *Pik-h*、*Pil* 和 *Pib* 基因较广泛地分布在辽星系列水稻品种中。随着抗性基因位点数量的增多,品种表现出中等抗病性。

关键词:稻瘟病;辽星水稻品种;抗性基因

中图分类号:S435.111.4⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)07-0087-04

由子囊菌 *Magnaporthe grisea* (Hebert) Barr 引起的稻瘟病广泛发生在世界各稻区,是最具毁灭性的水稻病害之一,严重阻碍水稻高产与稳产。抗性基因的利用是控制稻瘟病的关键措施之一。自 20 世纪 60 年代日本开展水稻抗稻瘟病基因的遗传研究以来,已陆续发现约 100 个抗性基因^[1]。这些基因成簇地分布于除水稻第 3 染色体外的所有染色体上,其中 27 个稻瘟病抗性基因已被克隆。

Piz 和 *Pik* 是水稻中目前报道含有广谱高抗稻瘟病最多的 2 个位点^[2],抗瘟基因 *Pi9* 是国际上第一个被克隆的广谱抗病基因,对来自世界各地的稻瘟病生理小种表现出极高的广谱抗性^[3-5]。到目前为止,至少有 9 个稻瘟病抗性基因 (*Pi2*、*Piz*、*Piz-t*、*Pi40*、*Pigm*、*Pi9*、*Pi26*、*Pi50*、*Pi2-2*) 已经被定位在水稻第 6 染色体短臂端的 *Pi2/9* 基因簇内,其中 *Pi9*、*Pi2* 以及 *Piz-t* 已经被成功克隆^[4,6]。

收稿日期:2016-09-08

基金项目:辽宁省农业领域青年科技创新人才项目(编号:2014023);
辽宁企业博士后项目。

作者简介:潘争艳(1980—),女,黑龙江鹤岗人,博士,助理研究员,主要从事水稻抗病育种研究(辽宁省农业科学院博士后在站研究)。
E-mail:pzhyma@126.com。

Pik-p 等是等位基因,其中 *Pik-h* 基因在稻种资源中存在较多^[7-8],且对印度不同地区的稻瘟病菌株表现出很高的抗性。抗性基因 *Pita* 及 *Pib* 在水稻种质资源中出现频率也较高,且 *Pita* 基因极少在高感品种中出现^[9]。

本研究选取与抗性基因 *Pita*、*Pib*、*Pik-h*、*Pil*、*Pik-m*、*Pi9*、*Pi2*、*Piz-t*、*Pigm* 和 *Pi40* 紧密连锁的标记对辽星系列水稻品种进行抗性基因分析,结合苗期和穗期接种鉴定,明确这些品种携带的抗性基因,以拓宽抗病遗传基础,提高水稻品种抗性。

1 材料与方法

1.1 供试材料

21 份辽星系列品种,由辽宁省水稻研究所培育审定。

1.2 DNA 提取及 PCR 扩增

利用 CTAB 法提取总 DNA。以总 DNA 为模板,按下列反应体系进行 PCR。PCR 反应体系 (20 μ L) 为 2 μ L DNA 模板,上下游引物各 2 μ L,10 μ L *Taq* 酶,加 ddH₂O 至 20 μ L,引物序列如表 1 所示。

PCR 反应程序:95 $^{\circ}$ C 预变性 5 min,95 $^{\circ}$ C 变性 30 s,退火,72 $^{\circ}$ C 延伸,35 个循环,72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min。PCR 产物在含

[13]徐建龙,薛庆中,罗利军,等. 近等基因导入系定位水稻抗稻曲病数量性状位点的研究初报[J]. 浙江农业学报,2002,14(1):14-19.

[14]李余生,张亚东,朱镇,等. 利用重组自交系分析水稻稻曲病抗性位点及效应[J]. 中国水稻科学,2008,22(5):472-476.

[15]李余生,杨娟,黄胜东. 水稻对稻曲病致病菌株 *Pi-1* 抗病位点检测及效应分析[J]. 华北农学报,2014,29(5):1-4.

[16]李余生,朱镇,张亚东,等. 水稻稻曲病抗性的主基因+多基因混合遗传模型分析[J]. 作物学报,2008,34(10):1728-1733.

[17]Tang Y X, Jin J, Hu D W, et al. Elucidation of the infection process of *Ustilaginoidea virens* (teleomorph: *Villosiclava virens*) in rice spikelets[J]. Plant Pathology, 2013, 62(1):1-8.

[18]龚金龙,邢志鹏,胡雅杰,等. 粳、粳超级稻生产力及其形成的生态生理特征(摘要)[J]. 中国稻米,2013(4):139-139.

[19]罗林广,翟虎渠,万建民. 水稻抽穗期的遗传学研究[J]. 江苏农业学报,2001,17(2):119-126.

[20]沈圣泉,朱军. 粳粳杂种主要性状的遗传及其与环境互作效应[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),1997,23(2):217-222.

[21]Sun X Y, Kang S, Zhang Y J, et al. Genetic diversity and population structure of rice pathogen *Ustilaginoidea virens* in China[J]. PLoS One, 2013, 8(9):e76879.

[22]王舒婷,林廷邦,甘林,等. 中国部分地区稻曲病菌培养特性及其遗传多样性分析[J]. 植物保护学报,2012,39(3):217-223.

[23]姜元华,张洪程,赵可,等. 长江下游地区不同类型水稻品种产量及其构成因素特征的研究[J]. 中国水稻科学,2014(6):621-631.

表 1 抗性基因分子标记信息

基因	引物序列	目的片段长度 (bp)	参考文献
<i>Pita</i>	YL155;AGCAGGTTATAAGCTAGGCC;YL187;CTACCAACAAGTTCATCAAA	1 042	[10]
	YL183;AGCAGGTTATAAGCTAGCTAT;YL187;CTACCAACAAGTTCATCAAAAS	1 042	[10]
<i>Pib</i>	Pibdom - F;GAACAATGCCCAAACCTTGAGA;Pibdom - R;GGGTCCACATGTCAGTGAGC	365	[11]
	Lys145 - F;TCGGTGCCTCGGTAGTCACT;Lys145 - R;GGGAAGCGGATCCTAGGTCTS	803	[12]
<i>Pik - h</i>	Pi54 MAS - F;CAATCTCCAAAGTTTTTCAGG;Pi54 MAS - R;GCTTCAATCACTGCTAGACC	216/359	[13]
<i>Pi9</i>	Pi9SNP - F;CGCCGGTTGATAAGTAAAAGCT;Pi9SNP - R;CAAGAACTAATATCTACCCATGG	126	[14]
<i>Pi2</i>	Pi2 - F;CAGCGATGGTATGAGCACAA;Pi2 - R;CGTTCTATACTGCCACATCG	450/282	[15]
<i>Piz - t</i>	Pizt PA - F;ATGTGGATGCTGTGTAT;Pizt PA - R;TAGTTTGTGCTCAATAAGTA	176	[14]
<i>Pi1</i>	RM144 - F;TGCCCTGGCGCAAATTTGATCC;RM144 - R;GCTAGAGGAGATCAGATGCTAGTGCATG	234	[16]
<i>Pigm</i>	ZJ58.7 - F;ACTTGTCTGGGAGAAGGATT;ZJ58.7 - R;AGTTCGTACTTTTCAGGCT	236	[17]
<i>Pik - m</i>	Dkm1 - F;CTGGAGAGCCTTCGTGTCGAC;Dkm1 - R;TCTTCACGACCTCAATCCTCCC	223	[18]
	Dkm2 - F;GTTGTTCCTCCGTATCTACTACGTC;Dkm2 - R;TTCCTCCGTGATCTCACCAACG	291	[18]
<i>Pi40</i>	P2 - F;CAACAAACGGGTCGACAAAGG;P2 - R;CCCCCAGTCTGATACCTTC	560	[19 - 20]

注:限制性内切酶为 *Hind*。

有溴化乙锭(EB)的 1.5% 琼脂糖凝胶中电泳 1.5 h,在凝胶成像系统下拍照。抗性基因 *Pi9* 的检测在 3% 琼脂糖凝胶电泳上进行。

1.3 供试菌株

20 份稻瘟病菌菌株分别来自辽宁省 4 个稻区,均由辽宁省农业科学院植物保护研究所提供,详细信息如表 2 所示。

表 2 20 份供试稻瘟病菌菌株信息

菌株	来源	侵染单基因系	Avi 数量
1	东港市	<i>Pik - h</i> / <i>Piz5</i> / <i>Pi5</i> / <i>Pi19</i>	4
2	东港市	<i>Pii</i> / <i>Pik - 5</i> / <i>Pik - p</i> / <i>Pi1</i> / <i>Pi5</i> / <i>Pi19</i> / <i>Pi9</i> / <i>Pik - m</i>	8
3	东港市	<i>Pik - 5</i> / <i>Piz - t</i> / <i>Pi1</i> / <i>Pi12</i>	4
4	东港市	<i>Pii</i> / <i>Pik - 5</i> / <i>Piz - t</i> / <i>Pi5</i> / <i>Pi19</i> / <i>Pi20</i> / <i>Pita - 2</i>	7
5	东港市	<i>Pia</i> / <i>Pi20</i>	2
6	盘锦市	<i>Pik - 5</i> / <i>Pik</i> / <i>Pib</i> / <i>Pit</i> / <i>Pi1</i> / <i>Pi3</i> / <i>Pi5</i>	7
7	盘锦市	<i>Pia</i> / <i>Pik</i> / <i>Piz</i> / <i>Piz - t</i> / <i>Pi12</i> / <i>Pi20</i> / <i>Pi11</i>	7
8	盘锦市	<i>Pia</i> / <i>Pik</i> / <i>Pik - h</i> / <i>Piz</i> / <i>Piz - t</i> / <i>Pit</i> / <i>Pi3</i> / <i>Pi19</i> / <i>Pi20</i>	9
9	盘锦市	<i>Pik5</i> / <i>Pik</i> / <i>Piz</i> / <i>Piz - t</i> / <i>Pi7</i> / <i>Pi19</i>	6
10	盘锦市	<i>Pi1</i> / <i>Pi19</i> / <i>Pi20</i> / <i>Pi11</i>	4
11	开原市	<i>Pi1</i> / <i>Pi12</i> / <i>Pi20</i>	3
12	开原市	<i>Piz - t</i> / <i>Pita</i> / <i>Pi1</i> / <i>Pi5</i> / <i>Pi20</i> / <i>Pi11</i>	6
13	开原市	<i>Pik5</i> / <i>Piz</i> / <i>Piz5</i> / <i>Pish</i> / <i>Pi1</i>	5
14	开原市	<i>Pi1</i> / <i>Pi20</i>	2
15	开原市	<i>Pii</i> / <i>Pik</i> / <i>Pik - p</i> / <i>Pish</i> / <i>Pi1</i> / <i>Pi5</i> / <i>Pi7</i> / <i>Pik - m</i> / <i>Pi20</i>	9
16	沈阳市	<i>Pia</i> / <i>Pib</i> / <i>Pi12</i> / <i>Pi20</i>	4
17	沈阳市	<i>Pik - 5</i> / <i>Pik</i> / <i>Pik - h</i> / <i>Piz5</i> / <i>Pi1</i> / <i>Pi5</i> / <i>Pi7</i> / <i>Pi19</i> / <i>Pi12</i>	9
18	沈阳市	<i>Pii</i> / <i>Piz - t</i> / <i>Pib</i> / <i>Pi1</i> / <i>Pi5</i> / <i>Pi19</i> / <i>Pi20</i>	7
19	沈阳市	<i>Pik5</i> / <i>Pik</i> / <i>Pik - h</i> / <i>Pish</i> / <i>Pi1</i> / <i>Pi12</i> / <i>Pi9</i> / <i>Pi11</i>	8
20	沈阳市	<i>Pia</i> / <i>Piz - 5</i> / <i>Pit</i> / <i>Pi1</i> / <i>Pi5</i> / <i>Pi9</i> / <i>Pita - 2</i>	7

1.4 辽星系列水稻品种苗期抗病性鉴定

水稻浸种、催芽后播种于装有肥沃田土的塑料育苗盘内,均设丽江新团黑谷为感病对照,3 次重复。待稻苗长至 3 叶 1 心期时进行喷雾接种,接种 7 d 后(感病对照发病充分)调查发病情况。按农业部行业标准《水稻稻瘟病抗性鉴定技术规程》0~9 级制对供试品种苗期发病情况进行调查并记载病情(记录最高病级)^[21]。

1.5 辽星系列水稻品种田间穗期抗病性鉴定

稻穗破口期对 21 份辽星系列水稻品种采用注射法进行接种(以丽江新团黑谷为感病对照),每个品种接种 20 株,每

株接种 3 穗。蜡熟期按农业部行业标准《水稻稻瘟病抗性鉴定技术规程》调查并记载发病情况(0~3 级为抗病)^[21]。

2 结果与分析

2.1 辽星系列水稻品种抗病性表现

利用采自辽宁省 4 个稻区的 20 株稻瘟病菌对辽星系列水稻品种进行抗病性鉴定,结果如表 3 所示,苗期发病级数为 0~5 级,穗期发病级数为 1~7 级。苗期和穗期抗性频率大于等于 85% 的有辽星 2 号、辽星 6 号和辽星 16 号,其苗期和穗期发病最高级数都在 1 级及以下。其中供试的 20 株菌株

表 3 辽星系列水稻品种抗性表现

品种	苗期抗病性		穗期抗病性	
	抗性频率 (%)	最高发病级数	抗性频率 (%)	最高发病级数
辽星 1 号	35	5	20	7
辽星 2 号	85	1	85	1
辽星 3 号	50	3	60	3
辽星 4 号	70	3	80	3
辽星 5 号	80	2	50	1
辽星 6 号	90	1	90	1
辽星 7 号	35	4	25	5
辽星 8 号	40	1	50	3
辽星 9 号	45	4	30	5
辽星 10 号	50	3	60	3
辽星 11 号	70	2	60	3
辽星 12 号	25	4	0	7
辽星 13 号	40	5	0	7
辽星 14 号	65	4	80	3
辽星 15 号	50	4	20	7
辽星 16 号	85	0	85	1
辽星 17 号	70	3	90	3
辽星 18 号	35	4	15	7
辽星 19 号	55	3	60	3
辽星 20 号	40	3	45	3
辽星 21 号	45	5	35	5

仅有 2 株可以侵染辽星 6 号。抗性频率小于等于 35% 的有辽星 1 号、辽星 7 号、辽星 12 号和辽星 18 号。除辽星 7 号外,其余 3 个品种穗期最高发病级数都达到 7 级。20 株稻瘟病菌菌株均可在穗期侵染辽星 12 号。

2.2 21 个品种抗病基因分型

利用已开发的 10 个抗稻瘟病基因的分子标记对 21 份辽星系列水稻品种进行抗性基因分子检测,结果如表 4 所示,21 份材料中均不含 *Pi9*、*Pi40* 基因,而 *Pik-h*、*Pi1*、*Pib* 基因较广泛地分布在辽星系列水稻品种中。携带 *Pik-h*、*Pi1*、*Pib*、*Pita*、*Pik-m*、*Pi2*、*Piz-t*、*Pigm* 抗性基因的辽星系列品种分别为 16 份 (76.2%)、13 份 (61.9%)、13 份 (61.9%)、10 份 (47.6%)、10 份 (47.6%)、4 份 (19.0%)、3 份 (14.2%)、4 份 (19.0%)。21 份辽星系列品种中没有品种含有全部的 10 个抗性基因,也没有品种不含有任何抗性基因,含有的抗性基因数量在 2~5 个之间,其中辽星 7 号、辽星 12 号和辽星 18 号仅检测到 2 个抗性基因,辽星 14 号和辽星 17 号检测到 5 个抗性基因。

2.3 辽星系列水稻品种抗病反应与抗性基因关系

苗期和穗期抗谱大于等于 85% 的辽星 2 号、辽星 6 号和辽星 16 号等 3 个品种中,辽星 2 号携带 3 个抗性基因,分别为 *Pita*、*Pi1*、*Pik-m*; 辽星 6 号携带 4 个抗性基因,分别为

表 4 辽星系列水稻品种抗性基因分子标记检测结果

品种	<i>Pita</i>	<i>Pib</i>	<i>Pik-h</i>	<i>Pi1</i>	<i>Pik-m</i>	<i>Pi9</i>	<i>Piz-t</i>	<i>Pi2</i>	<i>Pigm</i>	<i>Pi40</i>
辽星 1 号	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-
辽星 2 号	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-
辽星 3 号	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-
辽星 4 号	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
辽星 5 号	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-
辽星 6 号	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
辽星 7 号	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
辽星 8 号	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-
辽星 9 号	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
辽星 10 号	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
辽星 11 号	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
辽星 12 号	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
辽星 13 号	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
辽星 14 号	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-
辽星 15 号	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
辽星 16 号	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-
辽星 17 号	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
辽星 18 号	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
辽星 19 号	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
辽星 20 号	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-
辽星 21 号	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-

注:“+”为检测到相应的基因条带,“-”为未检测到相应的基因条带。

Pita、*Pib*、*Pik-h*、*Pi1*; 辽星 16 号携带 4 个抗性基因,分别为 *Pita*、*Pik-h*、*Pi1*、*Pi2*。这 3 个品种中均含有 *Pita*、*Pi1* 抗性基因。抗谱小于等于 35% 的辽星 1 号、辽星 7 号、辽星 12 号和辽星 18 号等 4 个品种含有 2~4 个抗性基因,其中辽星 1 号携带 4 个抗性基因,其余 3 个品种均仅携带 2 个抗性基因。这 4 个品种均不含 *Pita*、*Pi2* 基因。总体上,辽星系列品种随着品种含有的抗性基因位点数量的增多,对稻瘟病的抗性表现中等至高等抗病性。

3 讨论

要针对性地改良品种抗性,在时间和空间上合理布局抗病良种,首先需要了解品种本身的抗性基因型。辽星系列品种是辽宁省水稻研究所经过几代人培育出来的品种,具有一定的代表性。辽宁省地理环境复杂,本试验选择的 20 株稻瘟病菌菌株分属于辽宁省 4 个稻区,对 21 份辽星系列水稻品种进行苗期和穗期接种鉴定,抗性频率均大于等于 85% 的有 3

个品种,分别是辽星 2 号、辽星 6 号和辽星 16 号,表明辽星系列水稻品种蕴含优良的抗源材料。

21 份辽星系列品种含有的抗性基因数量在 2~5 个之间。已有研究表明稻种资源中存在 *Pik-h* 基因材料较多,21 份辽星系列品种中有 16 个品种携带 *Pik-h* 基因。*Pita* 存在辽星系列品种中抗、高抗品种中,不存在高感品种中;*Pi9* 和 *Pi40* 基因分离自野生稻,在辽星系列品种中没有检测到。结合病原菌接种单基因发病情况,仅 1 株可以引起单基因系 *Pita* 致病,有 3 株病原菌可以引起单基因系 *Pi9* 致病,在以后的抗病育种中,可以考虑适当引入 *Pita*、*Pi9*、*Pi40* 等基因。

随着抗性基因位点数量的增多,品种抗病性表现出中等抗病性。这与张羽等的研究结果,随着抗性基因位点数目的增多,品种的抗病性呈上升趋势^[22]不一致,可能辽星系列品种中存在其他未检测的抗性基因,或者这些品种中的抗病性是由多个基因相互制约而成。

参考文献:

- [1] 朱小丽,陶跃之,周波. 水稻抗稻瘟病基因的复等位分布特征及其在基因挖掘中的应用[J]. 浙江农业学报,2015,27(10): 1789-1796.
- [2] 刘辉,孟德龙,查日扬,等. 江苏水稻品种稻瘟病主效抗性基因鉴定及应用评价[J]. 福建农业学报,2015,30(5):452-458.
- [3] Liu G, Lu G, Zeng L, et al. Two broad-spectrum blast resistance genes, *Pi9(t)* and *Pi2(t)*, are physically linked on rice chromosome 6[J]. Molecular Genetics and Genomics, 2002, 267(4):472-480.
- [4] Qu S, Liu G, Zhou B, et al. The broad-spectrum blast resistance gene *Pi9* encodes a nucleotide-binding site-leucine-rich repeat protein and is a member of a multigene family in rice[J]. Genetics, 2006, 172(3):1901-1914.
- [5] Zhu X Y, Chen S, Yang J Y, et al. The identification of *Pi50(t)*, a new member of the rice blast resistance *Pi2/Pi9* multigene family[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2012, 124(7):1295-1304.
- [6] Zhou B, Qu S, Liu G, et al. The eight amino-acid differences within three leucine-rich repeats between *Pi2* and *Piz-t* resistance proteins determine the resistance specificity to *Magnaporthe grisea* [J]. Molecular Plant-microbe Interactions, 2006, 19(11):1216-1228.
- [7] Ramkumar G, Srinivasarao K, Mohan K M, et al. Development and validation of functional marker targeting an InDel in the major rice blast disease resistance gene *Pi54(Pikh)* [J]. Molecular Breeding, 2011, 27(1):129-135.

- [8] Imam J, Alam S, Mandal N P, et al. Molecular screening for identification of blast resistance genes in North East and Eastern Indian rice germplasm (*Oryza sativa* L.) with PCR based makers [J]. Euphytica, 2014, 196(2):199-211.
- [9] Lee S, Jia Y, Jia M, et al. Molecular evolution of the rice blast resistance gene *Pi-ta* in invasive weedy rice in the USA [J]. PLoS One, 2011, 6(10):e26260.
- [10] Jia Y, Wang Z, Singh P. Development of dominant rice blast resistance gene markers [J]. Crop Science, 2002, 42(6):2145-2149.
- [11] Fjellstrom R, Conaway-Bormans C A, McClung A M, et al. Development of DNA markers suitable for marker assisted selection of three genes conferring resistance to multiple pathotypes [J]. Crop Science, 2004, 44(5):1790-1798.
- [12] 刘洋,徐培洲,张红宇,等. 水稻抗稻瘟病 *Pib* 基因的分子标记辅助选择与应用[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1):9-14.
- [13] Zhai C, Lin F, Dong Z, et al. The isolation and characterization of *Pik*, a rice blast resistance gene which emerged after rice domestication [J]. New Phytologist, 2011, 189(1):321-334.
- [14] 华丽霞,汪文娟,陈深,等. 抗稻瘟病 *Pi2/9/z-t* 基因特异性分子标记的开发[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(3):305-310.
- [15] 高利军,高汉亮,颜群,等. 4 个抗稻瘟病基因分子标记的建立及在水稻亲本中的分布[C]//中国科技部,中国农业部,湖南省人民政府. 第 1 届中国杂交水稻大会论文集. 长沙:杂交水稻编辑部, 2009:294-298.
- [16] 李洪亮,李荣田. 稻瘟病抗性基因 *Pil* 和 *Pi2* 的聚合及其育种价值分析[J]. 北方水稻, 2010, 40(5):7-12.
- [17] 于苗苗,戴正元,潘存红,等. 广谱稻瘟病抗性基因 *Pigm* 和 *Pi2* 的抗谱差异及与 *Pil* 的互作效应[J]. 作物学报, 2013, 39(11):1927-1934.
- [18] 戴小军,杨远柱,周亮,等. 抗稻瘟病水稻资源抗性基因 *Pita*、*Pib*、*Pi9* 以及 *Pikm* 的分布研究[J]. 生命科学研究, 2012, 16(4):340-344, 356.
- [19] Jeung J U, Kim B R, Cho Y C, et al. A novel gene, *Pi40(t)*, linked to the DNA markers derived from NBS-LRR motifs confers broad spectrum of blast resistance in rice [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2007, 115(8):1163-1177.
- [20] 王金明,林秀云,刘晓梅,等. 分子标记选择水稻抗稻瘟病基因 *Pi40* 和 *Pib* 聚合体[J]. 华北农学报, 2012, 27(2):218-221.
- [21] 孙振东,刘志恒,徐成楠,等. 近年丹东地区稻瘟病发生动态分析[J]. 辽宁农业科学, 2007(3):9-12.
- [22] 张羽,冯志峰,张先平,等. 5 个稻瘟病抗性基因的基因型分型与抗性评价研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(5):1929-1936.