

贺 雄,丁朝辉,胡立冬,等. 湖南 48 个水稻栽培品种抗瘟性评价及抗性基因鉴定[J]. 江苏农业科学,2020,48(1):108–113.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.01.019

# 湖南 48 个水稻栽培品种抗瘟性评价及抗性基因鉴定

贺 雄<sup>1</sup>, 丁朝辉<sup>2</sup>, 胡立冬<sup>2</sup>, 任佐华<sup>1</sup>, 周 珣<sup>1,3</sup>, 朱华琚<sup>1,3</sup>, 李俊俊<sup>1</sup>, 丁宇倩<sup>1</sup>, 戴良英<sup>1,3</sup>, 刘二明<sup>1,3</sup>

(1. 湖南农业大学植物保护学院/植物病虫害生物学与防控湖南省重点实验室, 湖南长沙 410128;

2. 湖南省桃江县农业局, 湖南益阳 413400; 3. 南方粮油作物协同创新中心, 湖南长沙 410128)

**摘要:**为了明确 48 个湖南种植品种的抗瘟性和抗瘟基因型, 选用 10 株已明确其无毒基因组成的稻瘟病单孢菌株对湖南稻区 48 个水稻品种进行离体接种试验; 分析菌株对 48 个水稻品种的毒力频率, 并作出其抗瘟性评价和抗瘟基因型的初步推定。结果表明, 48 个品种对 10 株菌株抗瘟性存在较大差异, 毒力频率在 0~60% 之间, 供试菌株对丰两优 4 号 (VF=60%)、粤禾丝苗 (VF=50%)、隆两优 534 (VF=50%) 为较强毒力, 对 34 个水稻品种中等毒力 (20% ≤ VF < 50%), 占试验总数的 70.83%, 对 11 个品种表现为弱毒力 (VF < 20%), 占试验总数的 22.92%。在相似系数 0.70 水平上, 可将 48 个品种划分为 31 谱系; 通过稻瘟病菌与品种“基因对基因”关系的推断, 抗瘟基因型 *Pi-1*、*Pi-a*、*Pi-7*、*Pi-3*、*Pi-i*、*Pi-11*、*Pi-19* 普遍存在于各水稻谱系中, 出现频率高; *Pi-5*、*Pi-t*、*Pi-k* 抗性基因出现频率比较低; 抗性基因 *Pi-ta* 出现频率最低。

**关键词:** 稻瘟病菌; 水稻品种; 毒力频率; 抗瘟基因型

**中图分类号:** S435.11.4<sup>+</sup>1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)01-0108-06

水稻稻瘟病是由稻梨孢丝状真菌 (有性态为 *Magnaporthe oryzae*, 无性态为 *Pyricularia oryzae*) 侵染引起, 是一种水稻灾害性病害<sup>[1]</sup>。选育和推广高效的抗病品种, 是防治稻瘟病最经济、最有效、最安全的方法<sup>[2]</sup>。选育和推广抗病品种, 不仅对稻瘟病有优良的防治效果, 而且能减少化学农药的使用, 降低生产成本, 减少环境污染; 但是, 同一个抗病品种大面积种植所形成的选择压极易导致稻瘟病菌发生变异, 产生新的生理小种, 从而使推广的水稻抗病品种在 3~5 年就可能丧失抗病性<sup>[2-3]</sup>。因此, 不断监测稻瘟病菌的变异程度与水稻抗性品种的抗病性, 及时筛选新的抗性品种对稻瘟病的防治十分重要<sup>[4]</sup>。

稻瘟病菌与水稻品种之间的特异性互作符合 Flor 的“基因对基因”假说<sup>[5]</sup>。本研究利用 10 株具有代表性的已知无毒基因的稻瘟病菌单孢菌株, 对

湖南种植的 48 个水稻品种进行抗瘟性评价和抗瘟基因型进行初步鉴定, 以期对湖南水稻栽培品种合理布局防控稻瘟病提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试菌株

2017 年于湖南省桃江县稻瘟病病圃采集多个水稻品种稻瘟病样, 通过多倍变焦体视显微镜挑取单孢, 分离得到 49 个稻瘟病单孢菌株后经无毒基因鉴定筛选出具有代表性的菌株 10 株 (表 1)。

### 1.2 供试水稻

供试水稻共 48 个品种 (由湖南省益阳市桃江县植保站统一收集提供), 对照为笔者所在课题组繁殖的高感品种丽江新团黑谷 (LTH) (表 2)。

### 1.3 孢子悬液制备及水稻育苗

利用马铃薯葡萄糖琼脂培养基将保藏于高粱粒中的稻瘟病菌单孢菌株活化后, 再将其接种到番茄燕麦培养基上, 于培养箱中 28℃ 光暗交替培养 (光—暗周期为 12 h—12 h), 待稻瘟病菌菌丝长满整个平板后, 加入 1 mL 无菌水, 用灭菌棉棒将表面菌丝刮断, 再用移液枪将洗脱的菌液转移到新的番茄燕麦培养基上, 并用涂布器涂布均匀, 28℃ 培养至新的番茄燕麦培养基平板上长满菌丝, 再用含 0.1% Tween-20 的无菌水洗脱孢子, 并利用血球计

收稿日期: 2018-11-06

基金项目: 国家重点研发计划 (编号: 2016YFD0300700); 中央财政专项 (编号: 2014ZX0800102B); 公益性行业 (农业) 科研专项 (编号: 201203014); 湖南省“十二五”重点学科项目 (编号: 0904)。

作者简介: 贺 雄 (1995—), 男, 湖南攸县人, 硕士研究生, 主要从事水稻病虫害综合防治研究。E-mail: 1049539886@qq.com。

通信作者: 刘二明, 博士, 教授, 主要从事植物与病原物互作及作物抗病性遗传多样性利用研究。E-mail: ermingliu@163.com。

表 1 10 株供试菌株包含的无毒基因

菌株号	无毒基因
3	<i>Avr - Pi - z</i> 、 <i>Avr - Pi - z<sup>5</sup></i> 、 <i>Avr - Pi - l</i> 、 <i>Avr - Pi - 3</i> 、 <i>Avr - Pi - l2</i> 、 <i>Avr - Pi - l9</i>
4	<i>Avr - Pi - k</i> 、 <i>Avr - Pi - ta</i> 、 <i>Avr - Pi - sh</i> 、 <i>Avr - Pi - 3</i>
6	<i>Avr - Pi - i</i> 、 <i>Avr - Pi - sh</i> 、 <i>Avr - Pi - l</i> 、 <i>Avr - Pi - 3</i> 、 <i>Avr - Pi - 5</i> 、 <i>Avr - Pi - 7</i> 、 <i>Avr - Pi - l2</i>
7	<i>Avr - Pi - a</i> 、 <i>Avr - Pi - i</i> 、 <i>Avr - Pi - k</i> 、 <i>Avr - Pi - k<sup>p</sup></i> 、 <i>Avr - Pi - z</i> 、 <i>Avr - Pi - t</i> 、 <i>Avr - Pi - l</i> 、 <i>Avr - Pi - 3</i> 、 <i>Avr - Pi - 5</i> 、 <i>Avr - Pi - l2</i>
8	<i>Avr - Pi - a</i> 、 <i>Avr - Pi - z</i> 、 <i>Avr - Pi - z<sup>5</sup></i> 、 <i>Avr - Pi - 3</i> 、 <i>Avr - Pi - l1</i>
9	<i>Avr - Pi - a</i> 、 <i>Avr - Pi - k</i> 、 <i>Avr - Pi - k<sup>p</sup></i> 、 <i>Avr - Pi - z</i> 、 <i>Avr - Pi - t</i> 、 <i>Avr - Pi - l</i> 、 <i>Avr - Pi - 3</i> 、 <i>Avr - Pi - 7</i> 、 <i>Avr - Pi - l9</i> 、 <i>Avr - Pi - l1</i>
10	<i>Avr - Pi - a</i> 、 <i>Avr - Pi - i</i> 、 <i>Avr - Pi - z</i> 、 <i>Avr - Pi - l</i> 、 <i>Avr - Pi - 3</i> 、 <i>Avr - Pi - l9</i> 、 <i>Avr - Pi - l1</i>
12	<i>Avr - Pi - i</i> 、 <i>Avr - Pi - ta</i> 、 <i>Avr - Pi - l</i> 、 <i>Avr - Pi - 7</i> 、 <i>Avr - Pi - l1</i>
14	<i>Avr - Pi - i</i> 、 <i>Avr - Pi - k<sup>p</sup></i> 、 <i>Avr - Pi - 3</i> 、 <i>Avr - Pi - 7</i> 、 <i>Avr - Pi - l2</i> 、 <i>Avr - Pi - l9</i>
16	<i>Avr - Pi - a</i> 、 <i>Avr - Pi - i</i> 、 <i>Avr - Pi - z</i> 、 <i>Avr - Pi - l</i> 、 <i>Avr - Pi - 3</i> 、 <i>Avr - Pi - l1</i>

表 2 48 个供试水稻品种及对照

品名	来源
创两优茉莉占	湖南农大金农种业有限公司
Y 两优 900	湖南袁创超级稻技术有限公司
两优 383	湖南大唐种业
两优 363	武汉惠华三农种业
C 两优 343	湖南桃花源农业科技股份有限公司
湘两优 900	湖南年丰种业
N 两优 2 号	湖南年丰种业
湘两优 143	湖南年丰种业
兆优 5431	湖南神农大丰种业
Y 两优 7 号	广东伟丰达农业发展有限公司
株两优 729	湖南神农大丰种业
中早 39	农户自留种
荆两优 1189	湖南活力种业
农香优 676	广西兆和种业
Y 两优 1998	湖南希望种业
粤禾丝苗	四川台沃种业
丰两优香 1 号	合肥丰乐种业
徽两优丝苗	安徽省皖农种业
T 两优 168	合肥丰乐种业
丰两优 4 号	合肥丰乐种业
鄂糯 7 号	湖北江汉平原农业高科技研究发展中心
H 优 7601	湖南神农大丰种业
二优 371	合肥乐丰种业
青优 109	湖南神农大丰种业
内五优玉香 1 号	湖南神农大丰种业
两优 6206	合肥乐丰种业
益优 701	湖南省正隆农业科技有限公司
T 优 259	湖南农大金农种业有限公司
荣优 390	优至种业
深两优 5814	隆平高科
隆两优 534	隆平种业有限公司
Y 两优 1 号	隆平种业有限公司
叁两优 1813	湖南优至种业
威优 227	湖南潭农花园种业
深优 9520	湖南民生种业
淮两优 608	隆平种业有限公司
T 优 100	湖南潭农花园种业
荃优丝苗	安徽荃银高科种业
吉优 353	广西恒茂种业
丰源优华占	隆平种业有限公司

表 2(续)

品名	来源
玉香优	湖南金源种业
泰优 390	湖南优至种业
徽两优 898	安徽荃银高科种业
徽两优 882	安徽荃银高科种业
恒丰优华占	广西兆和种业
甬优 4149	宁波市种子有限公司
天优华占	北京金色农华种业
C 两优 018	湖南洞庭湖高科种业
丽江新团黑谷(LTH)	课题组自留种(对照)

数板将孢悬液的孢子浓度调节至  $2 \times 10^5$  个/mL,供接种使用<sup>[6]</sup>。

水稻育苗土壤为肥沃的稻田土,置于育苗盘(30 cm × 20 cm × 7 cm)备用。种子在室温下用清水浸泡 24 h,沥干水分再置于恒温箱 32 ℃催芽 12 h 至种子破胸露白,28 ~ 30 ℃催芽 24 h,至芽长约 0.2 cm,播种到育苗盘;在秧苗 1 叶 1 心、3 叶 1 心、接种前 3 d 各追施尿素 1 次,每次每盘施尿素 1 g。

1.4 离体接种

当水稻苗长至 5 叶期,剪取叶片,进行针刺离体接种<sup>[6]</sup>。接种后的稻苗置于 28 ℃、湿度为 95% 的环境中暗处理 24 h,随后光暗交替(光—暗周期为 12 h—12 h)培养,期间随时观察发病情况,4 ~ 6 d 后记录发病情况。

1.5 数据统计

稻瘟病菌群体的毒力频率(virulence frequency, VF) = 对测试水稻品种有毒力的菌株数/所有菌种菌株数 × 100%;当 VF ≥ 70% 时病菌群体表现强毒力,50% ≤ VF < 70% 时为较强毒力,20% ≤ VF < 50% 时为中等毒力,VF < 20% 时为弱毒力<sup>[7]</sup>。

接种叶片上仅有黑褐色坏死斑或没有病斑时为抗病反应型;当病斑中央灰褐色、病斑比较大并有黄色发病圈时为感病反应型。通过数据分析软

件 DPS 7.05,利用 0-1 Nei & Li 最长聚类法进行聚类分析<sup>[8]</sup>。并根据 10 株菌株对已知抗性基因的 24 个近等基因系水稻品种的接种鉴定结果,对供试水稻品种进行抗瘟基因的推导与分析。

2 结果与分析

2.1 10 株稻瘟病单孢菌株对 48 个水稻品种的毒力分析

利用已明确其无毒基因的 10 株稻瘟病单孢菌株对 48 个水稻品种进行苗期离体接种试验。结果表明,10 株供试菌株接种于 48 个不同水稻品种后,各品种表现出的抗病能力存在较大差异,其对应的毒力频率在 0~60% 之间(表 3)。在 48 个水稻品种中,表现出较强毒力的品种有丰两优 4 号(VF = 60%)、粤禾丝苗(VF = 50%)、隆两优 534(VF = 50%),以上 3 个品种抗谱窄,在湖南地区种植抗稻瘟病效果较差,应避免在湖南稻瘟病多发地区种植;有 34 个水稻品种毒力频率为中等毒力(20% ≤ VF < 50%),占试验总数的 70.83%,此 34 个水稻品种抗谱较广,抗稻瘟病效果一般,具有一定的抗病能力,但是随着时间的推移,有抗病能力衰减甚至丧失的风险,应慎重使用;属弱毒力(VF < 20%)的

表 3 10 株稻瘟病菌株对 48 个水稻品种的毒力频率

水稻品种	毒力频率 (%)	水稻品种	毒力频率 (%)
创两优茉莉占	10	内五优玉香 1 号	30
Y 两优 900	20	两优 6206	10
金两优 383	40	益优 701	10
两优 363	30	T 优 259	10
C 两优 343	20	荣优 390	10
湘两优 900	20	深两优 5814	20
N 两优 2 号	10	隆两优 534	50
湘两优 143	10	Y 两优 1 号	20
兆优 5431	30	叁两优 1813	30
Y 两优 7 号	20	威优 227	40
株两优 729	30	深优 9520	40
中早 39	30	淮两优 608	40
荆两优 1189	30	T 优 100	30
农香优 676	20	茎优丝苗	20
Y 两优 1998	40	吉优 353	10
粤禾丝苗	50	丰源优华占	40
丰两优香 1 号	0	玉香优	20
徽两优丝苗	10	泰优 390	30
T 两优 168	40	徽两优 898	30
丰两优 4 号	60	徽两优 882	0
鄂糯 7 号	20	恒丰优华占	20
H 优 7601	20	甬优 4149	30
二优 371	20	天优华占	20
青优 109	30	C 两优 018	30

水稻品种共有 11 个,占试验总数的 22.92%,其中徽两优 882、丰两优香 1 号毒力频率甚至低至 0,这种现象可能是由于本试验菌株数量太少造成,此 11 个水稻品种抗性基因谱宽,抗病效果强,可结合水稻品种产量、气候等各方面因素进行推广种植。

2.2 48 个供试水稻品种抗瘟基因型分类

根据 48 个水稻品种与 10 株已知无毒基因的稻瘟病菌株的亲反应类型结果,利用 DPS 7.05 数据软件建立 0-1 数据库,并通过 0-1 Nei & Li 最长聚类法进行聚类分析。结果表明,在相似系数 0.70,即差异系数 0.30 水平上,可将 48 个水稻品种划分为 31 类(图 1)。

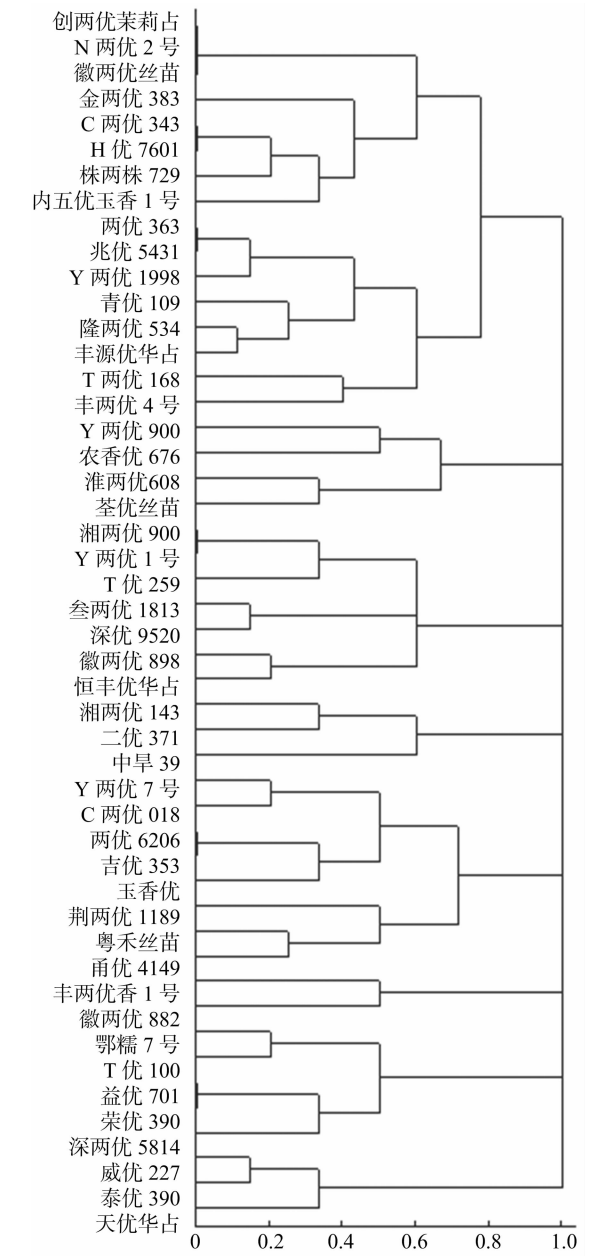


图1 10 个菌株对 48 个水稻品种的抗瘟基因型聚类分析

统计每一类别内水稻品种表现抗性所关联的菌株,从而推导出供试水稻品种所含有的抗瘟基因谱(表 4),结果表明,本试验的 48 个供试品种抗病性都较强(图 2),抗瘟基因  $Pi-1$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-7$ 、

$Pi-3$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-19$  等普遍存在于各水稻谱系中,出现频率高; $Pi-5$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-k^p$  抗瘟基因出现频率比较低;抗性基因  $Pi-ta$  出现频率最低。

表 4 48 个水稻品种抗性基因类别推定

谱系	水稻品种	抗菌编号	可能含有的抗性基因
1	创两优茉莉占、N 两优 2 号、徽两优丝苗	3、4、6、7、8、10、12、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-11$
2	金两优 383	3、6、8、10、14、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-k^p$
3	C 两优 343、H 优 7601、株两优 729	6、7、8、10、12、14、16	$Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-z$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-ta$
4	内五优玉香 1 号	6、7、8、10、12、16	$Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-z$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-ta$
5	两优 363、兆优 5431、Y 两优 1998	3、4、6、8、12、14	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-k^p$
6	青优 109、隆两优 534、丰源优华占	3、4、6、7、12	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-11$
7	T 两优 168	3、4、8、12、14、16	$Pi-i$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-z$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-11$
8	丰两优 4 号	7、12、14、16	$Pi-i$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-z$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-5$
9	Y 两优 900	4、7、8、9、10、12、14、16	$Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-z$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-19$
10	农香优 676	4、6、7、8、9、10、14、16	$Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-z$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-19$
11	淮两优 608	6、7、8、9、12、14	$Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-z$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-ta$
12	荃优丝苗	6、7、8、9、10、12、14、16	$Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-z$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-ta$
13	湘两优 900、Y 两优 1 号	3、4、6、7、9、10、12、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-11$
14	T 优 259	3、4、6、7、8、9、10、12、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-11$
15	叁两优 1813、深优 9520	3、6、7、9、10、12	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-ta$
16	徽两优 898、恒丰优华占	3、6、7、8、12	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-ta$
17	湘两优 143	3、4、6、7、8、9、10、12、14	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-11$
18	二优 371	3、4、6、7、9、10、12、14	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$
19	中早 39	3、4、6、8、9、10、14	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$
20	Y 两优 7 号、C 两优 018	3、4、6、9、12、14、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-k^p$
21	两优 6206、吉优 353	3、4、6、7、8、9、12、14、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-11$

表 4(续)

谱系	水稻品种	抗菌编号	可能含有的抗性基因
22	玉香优	3、4、6、7、9、12、14、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-3$
23	荆两优 1189	3、4、6、7、8、9、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-t$
24	粤禾丝苗、甬优 4149	3、6、7、14、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-11$
25	丰两优香 1 号	3、4、6、7、8、9、10、12、14、16	$Pi-a$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-zt$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-11$
26	徽两优 882	3、4、6、7、8、9、10、12、14、16	$Pi-a$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-zt$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-11$
27	鄂糯 7 号、T 优 100	3、7、8、9、10、12、14	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-ta$
28	益优 701、荣优 390	3、6、7、8、9、10、12、14、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$
29	深两优 5814	3、7、8、9、10、12、14、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-5$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-ta$
30	威优 227、泰优 390	3、4、9、10、12、14	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-k^p$
31	天优华占	3、4、7、9、10、12、14、16	$Pi-z$ 、 $Pi-z^5$ 、 $Pi-1$ 、 $Pi-3$ 、 $Pi-12$ 、 $Pi-19$ 、 $Pi-k$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-sh$ 、 $Pi-a$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-7$ 、 $Pi-11$ 、 $Pi-i$ 、 $Pi-k^p$ 、 $Pi-5$

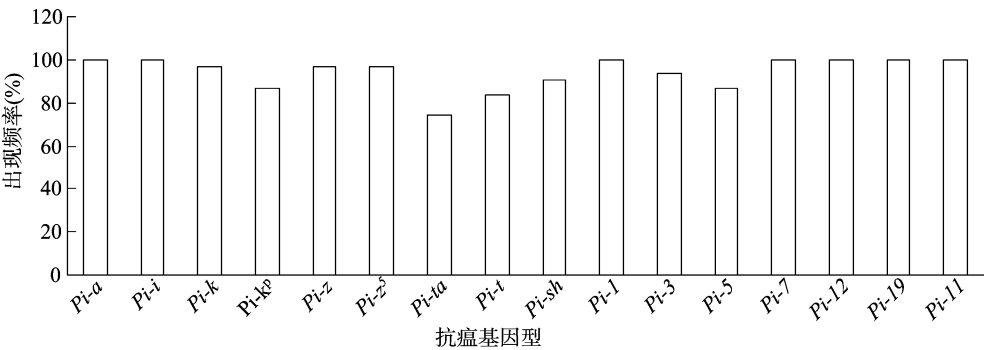


图2 抗性基因在 31 个谱系水稻中的出现频率

3 讨论与结论

实践证明控制水稻稻瘟病最经济有效的手段就是选育和利用抗病品种。近年来,我国各地区、各级种子管理和评审部门对参试水稻品系的稻瘟病抗性严格把控,使得新审定品种均能在中抗以上水平上得到改善<sup>[9]</sup>。但由于稻瘟病生理小种多、变化速度快、致病力差异大等原因,新品种在推广种植 3~5 年后,抗性就会逐渐丧失<sup>[10]</sup>。

本研究利用 10 株已知所含无毒基因的稻瘟病单孢菌株对湖南稻区栽培的 48 个水稻品种进行稻瘟病抗性鉴定,表现高抗水平的品种有 11 个,分别

是徽两优 882、吉优 353、荣优 390、T 优 259、益优 701、两优 6206、徽两优丝苗、丰两优香 1 号、湘两优 143、N 两优 2 号、创两优茉莉占,中等抗病品种 34 个,感病品种 3 个。农技部门在筛选主导品种时,应结合最新的鉴定结果,重点推广农艺性状较好的中、高抗稻瘟病水稻品种。

水稻中存在着一类编码 NBS - LRR 蛋白 (nucleotide binding site - leucine - rich repeats) 的主效抗稻瘟病基因,这类抗病基因介导的抗性表现强烈,传统意义上称之为垂直抗性<sup>[11]</sup>。在育种应用上,抗性基因可操作性强、效果明显,因此开展主效抗性基因的鉴定及其应用研究较多。随着抗性基

因数量的增加,供试材料的抗病性呈上升趋势。品种抗瘟能力与其抗稻瘟病基因型种类密切相关,不同的抗病基因型能针对不同的生理小种产生抗稻瘟病反应<sup>[12]</sup>。

大量与水稻稻瘟病鉴定与抗性基因型的推定研究当中,李刚等利用 14 个菌株鉴定江苏省 49 个水稻品种抗性基因,抗性基因  $Pi-a$ 、 $Pi-k$  的出现频率比较高,达到将近 80%<sup>[13]</sup>。宋兆强等利用抗瘟基因  $Pi-b$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-54$  和  $Pi-km$  的功能标记检测了 60 个育种资源,得出  $Pi-b$ 、 $Pi-ta$  在各水稻品种中出现的频率虽然比较高,但是该抗瘟基因抗性逐渐在减弱<sup>[14]</sup>。周瑚等利用 16 株含已知无毒基因的稻瘟病单孢菌株对湖南地区栽培的 50 个水稻品种进行了稻瘟病抗性鉴定,结果表明,出现频率最高的抗性基因为  $Pi-k$  和  $Pi-20$ ,其次为  $Pi-t$ 、 $Pi-ta$ 、 $Pi-z$  和  $Pi-3$ ;抗瘟基因  $Pi-5$  和  $Pi-19$  的出现频率低于 20%<sup>[15]</sup>。

本研究基于 2018 年湖南稻区多个水稻品种分离的稻瘟病菌株鉴定主要抗瘟基因,其中  $Pi-5$ 、 $Pi-t$ 、 $Pi-k^p$  等抗瘟基因出现频率稍低,抗瘟基因  $Pi-ta$  出现频率最低;主要体现在金两优 383、T 两优 168、中早-39、丰两优四号、荆两优 1189 这些水稻品种的抗性基因缺失,导致抗瘟性差,选育时应慎重。杜太宗等在对  $Pi1$ 、 $Pi9$  联合抗病性的研究中发现,抗性基因  $Pi1$ 、 $Pi9$  二者共同作用,能够抵抗单个抗病基因不能抵抗的生理小种,拓宽抗谱,提高水稻抗病性<sup>[16]</sup>。未来在进行抗稻瘟病育种时,可把多个抗病基因聚合在一起,这将是获得持久、高抗稻瘟病品种的重要途径之一。

#### 参考文献:

[1] 朱小蕾. 稻瘟病菌一个新抗药性标记基因的应用研究[D]. 合

肥:安徽农业大学,2016.

- [2] 周 瑚,任佐华,王恒沪,等. 湖南桃江病圃稻瘟病菌的无毒基因及水稻抗瘟单基因联合抗性分析[J]. 微生物学通报,2017,44(10):2353-2360.
- [3] Bryan G T, Wu K S, Farrall L, et al. A single amino acid difference distinguishes resistant and susceptible alleles of the rice blast resistance gene  $Pi-ta$ [J]. Plant Cell, 2000, 12(11):2033-2046.
- [4] 吴建利,庄杰云,李德葆,等. 水稻对稻瘟病抗性的分子生物学研究进展[J]. 中国水稻科学,1999,13(2):123-128.
- [5] Flor H H. Current status of the gene-for-gene concept[J]. Annual Review of Phytopathology, 1971, 9(1):275-296.
- [6] 周 瑚,任佐华,虞选杰,等. 湖南桃江病圃稻瘟病菌对 24 个水稻抗稻瘟基因的毒性分析[J]. 植物保护,2017,43(3):165-170.
- [7] 马军韬,张国民,辛爱华,等. 水稻品种抗稻瘟病分析及基因聚合抗性改良[J]. 植物保护学报,2016,43(2):177-183.
- [8] 杨秀娟,阮宏椿,杜宜新,等. 福建省稻瘟病菌致病性及其无毒基因分析[J]. 植物保护学报,2007,34(4):337-342.
- [9] 温小红,谢明杰,姜 健,等. 水稻稻瘟病防治方法研究进展[J]. 中国农学通报,2013,29(3):190-195.
- [10] 沈 瑛,朱培良,袁筱萍,等. 中国稻瘟病菌的遗传多样性[J]. 植物病理学报,1993,23(4):309-313.
- [11] 李 刚,袁彩勇,曹奎荣,等. 544 份水稻种质稻瘟病抗性鉴定及抗性基因的分布研究[J]. 中国农业大学学报,2018,23(5):22-28.
- [12] Chumpol A, Chankaew S, Saepaisan S A, et al. New sources of rice blast resistance obtained from Thai indigenous upland rice germplasm[J]. Euphytica, 2018, 214(10):183.
- [13] 李 刚,王 健,曹奎荣,等. 江苏水稻主导品种的稻瘟病抗性及其抗性基因遗传多样性[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2017,43(3):238-243.
- [14] 宋兆强,刘 艳,王宝祥,等. 稻瘟病抗性基因  $Pi-ta$ 、 $Pi-b$ 、 $Pi54$  和  $Pi-km$  的育种利用价值评价[J]. 江苏农业学报,2017,33(5):968-974.
- [15] 周 瑚,任佐华,张译允,等. 湖南 50 个水稻栽培品种的抗瘟性及抗瘟基因型推定[J]. 中国植保导刊,2018,38(1):5-11.
- [16] 杜太宗,余显权,朱速松,等. 稻瘟病抗性基因  $Pi1$  与  $Pi9$  聚合材料的抗性鉴定[J]. 贵州农业科学,2015,43(4):35-38.