

海南普通野生稻稻瘟病抗性鉴定与评价

翟李楠¹, 唐清杰^{1,2}, 周世圳¹, 周帮纪¹, 云勇^{1,2}, 王惠艰¹, 韩义胜¹, 邢福能², 严小微^{1,2}

(¹海南省农业科学院粮食作物研究所/海南省农作物遗传育种重点实验室, 海口 571100; ²海南省农业科学院三亚研究院, 三亚 572025)

摘要: 为了对海南普通野生稻稻瘟病叶瘟、穗颈瘟的抗性进行综合鉴定与评价, 2022-2023年连续两年对来自海南省11个不同市县的2002份普通野生稻材料进行苗期叶瘟人工接种和田间自然抗病鉴定, 并对995份已经抽穗的普通野生稻材料进行穗颈瘟人工接种抗性鉴定。结果表明: 2002份叶瘟鉴定材料中, 人工接种抗叶瘟材料为494份(占24.68%), 其中免疫7份, 高抗17份; 田间自然状态下抗叶瘟材料1160份(占57.94%), 其中免疫24份, 高抗233份。995份穗颈瘟人工接种鉴定材料中, 抗穗颈瘟材料506份(占50.85%), 其中免疫23份, 高抗136份。由结果可知, 海南普通野生稻普遍抗叶瘟或穗颈瘟, 这些抗性资源的生长习性大多为半直立型或倾斜型, 少数为直立型或匍匐型; 高抗叶瘟的材料在抽穗后也普遍抗穗颈瘟, 免疫或高抗穗颈瘟的材料也普遍抗叶瘟。经过鉴定和评价, 筛选出双抗叶瘟、穗颈瘟的普通野生稻材料共有128份。本研究为海南普通野生稻资源抗稻瘟病研究和育种利用提供参考。

关键词: 海南普通野生稻; 稻瘟病; 抗性; 鉴定; 分析

Identification and Evaluation of Resistance to Rice Blast in *Oryza rufipogon* Griff. in Hainan Province

ZHAI Linan¹, TANG Qingjie^{1,2}, ZHOU Shizhen¹, ZHOU Bangji¹, YUN Yong^{1,2}, WANG Huijian¹, HAN Yisheng¹, XING Funeng², YAN Xiaowei^{1,2}

(¹Cereal Crops Institute, Hainan Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Genetics and Breeding of Hainan Province, Haikou 571100; ²Sanya Institute, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Sanya 572025)

Abstract: In order to comprehensively evaluate and analyze the resistance of Hainan common wild rice to leaf blast and ear neck blast, 2002 accessions collected from 11 different cities/counties in Hainan province were artificially inoculated with leaf blast at the seedling stage in the field for two consecutive years in 2022 and 2023. In addition, 995 accessions that had been pumped were artificially inoculated for ear neck blast resistance. 494 (24.68%) were identified to be resistant to leaf blast, among which 7 were immune and 17 were highly resistant. In the field, 1160 (57.94%) were resistant to leaf blast, of which 24 were immune and 233 were highly resistant. Out of 995 accessions that were tested for ear neck plague, 506 were resistant accounting for 50.85%, among which 23 were immune and 136 were highly resistant. The results showed that common wild rice accessions in Hainan were generally resistant to leaf blast or ear neck blast. The plant architecture in most of resistant germplasms was semi-erect or inclined, and a few showed upright or creeping. Accessions with high leaf distemper resistance were generally resistant to ear neck distemper after heading, and accessions with high immune or ear neck distemper resistance were generally resistant to leaf distemper. A total of 128 common wild

收稿日期: 2023-05-23 修回日期: 2023-06-23 网络出版日期: 2023-08-04

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230523003>

第一作者研究方向为野生稻种质资源的鉴定与评价, E-mail: zhailn868@163.com; 唐清杰为共同第一作者

通信作者: 严小微, 研究方向为野生稻资源研究与水稻遗传育种, E-mail: 13078994838@163.com

邢福能, 研究方向为野生稻资源研究与水稻遗传育种, E-mail: Xfn6653@163.com

基金项目: 海南省重点研发计划科技合作方向(ZDYF2020221); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-01-92); 海南省重点研发项目(ZDYF2022XDNY260); 国家重点研发计划项目(2021YFD1200100)

Foundation projects: Hainan Province Key R&D Plan Science and Technology Cooperation Direction(ZDYF2020221); The Earmarked Fund for China Agriculture Research System(CARS-01-92); Key R&D Project of Hainan Province(ZDYF2022XDNY260); China Key R&D Program Project(2021YFD1200100)

rice materials with resistance to both leaf blast and ear neck blast were identified and evaluated. Collectively, this study provided a reference for the academic research and breeding utilization of rice blast resistance in Hainan wild rice.

Key words: Hainan common wild rice; rice blast; resistance; identification; analysis

水稻(*Oryza sativa* L.)是全球近一半人的主要粮食,水稻产量的高低,直接决定着世界人民的温饱问题^[1]。而有着“水稻癌症”之称的稻瘟病,一直是制约水稻产量的主要因素之一^[2-4],我国几乎所有水稻栽培地区都有稻瘟病害的发生,尤其是南方稻区的高温高湿气候,更有利于水稻稻瘟病的流行,多次出现稻瘟病大面积暴发事件,严重危害我国粮食生产安全。而在实际生产中主要采用化学防治、抗性品种选育、生物防治、栽培管理等方法进行稻瘟病防治^[5]。其中化学防治不仅破坏了农田生态环境,而且对人体健康造成危害^[6],而常规的抗病品种选育主要依赖于育种家的经验和表型数据分析,存在着育种周期长、选择效率低、准确性差等缺点^[7]。因此,利用抗病基因培育抗性品种是防治水稻稻瘟病最经济、有效、环保的手段^[8-11],而发掘和利用新型抗稻瘟病资源是关键^[12-13]。普通野生稻与栽培稻最近缘,蕴藏着大量抗病等优良基因,是水稻育种重要的遗传资源^[14]。我国著名水稻专家丁颖教授在1926-1933年以广东普通野生稻为亲本创制的中山1号,直至20世纪80年代依然在生产上利用;袁隆平院士和朱英国院士以在海南发现的野生稻选育的生产上广泛应用的野败型和红莲型杂交稻,为解决当时国内的饥饿问题做出了重大贡献。

前人们对不同省份普通野生稻的稻瘟病抗性也做了很多研究,主要是通过自然接种鉴定和人工接种鉴定。陈灿等^[15]采用人工接种鉴定方法分别在苗期和孕穗期对广西野生稻进行接种抗性鉴定,结果显示贵港和梧州等地是广西野生稻抗稻瘟病材料最多的地区,但抗穗颈瘟或兼抗叶瘟、穗颈瘟的资源较匮乏。杨雅云等^[16]对云南药用野生稻7个不同居群进行稻瘟病抗性鉴定,结果表明除勐海药用野生稻表现为感病外,其他6个居群均为抗病。江川等^[17]采用自然诱发对福建漳浦普通野生稻2个居群(石湖潭和古糖)67份材料的苗瘟、叶瘟和穗瘟进行抗性鉴定评价,表明不同时期病级差异明显,筛选出3份表现中抗(3级)的材料。王韵茜等^[18]通过注射接种法对疣粒野生稻进行系统的稻瘟病抗性鉴定,发现疣粒野生稻对接种的所有稻瘟病菌株都感病。

海南岛位于我国热带地区,雨林茂密,光、热资源丰富,风、旱、涝等气候灾害频繁,促使海南普通野生稻形成了丰富的遗传多样性和特异性,其遗传多样性高于广东、广西、福建、湖南、江西和云南等地的普通野生稻^[19],具有很高的开发利用价值。本研究为了对海南普通野生稻稻瘟病叶瘟、穗颈瘟的抗性进行综合评价和分析,于2022年和2023年连续两年对来自海南省11个不同市县的2002份普通野生稻材料进行苗期叶瘟人工接种和大田自然抗病鉴定,并对995份已经抽穗的普通野生稻材料进行穗颈瘟人工接种抗性鉴定,以挖掘抗稻瘟病种质资源,为水稻育种提供可靠的抗源材料。

1 材料与方法

1.1 试验材料和稻瘟病原

供试材料为2002-2010年收集于海南海口、文昌等11个市(县)共2002份普通野生稻资源(表1),用于苗期叶瘟鉴定的为2002份、抽穗期穗颈瘟鉴定的为995份。以种茎保存在海南省野生稻异位保存圃。苗期叶瘟、抽穗期穗颈瘟抗性诱发鉴定病原菌取自严重感染海南稻瘟病优势种群YF群小种的水稻新鲜病叶及穗部。

表1 海南普通野生稻来源及数量

Table 1 Source and quantity of common wild rice in Hainan

序号 No.	采集市县 Collect cities and counties	数量 Number
1	海口	857
2	文昌	405
3	万宁	376
4	东方	119
5	澄迈	66
6	乐东	55
7	琼海	36
8	儋州	34
9	三亚	27
10	临高	15
11	陵水	12
总计 Total		2002

1.2 试验方法

供试材料于2022年、2023年在海南省农业科学院澄迈永发实验基地进行人工接种抗性鉴定和田间叶瘟抗性调查。所有资源连续鉴定2年,分别于2022年3月11日、2023年3月31日将野生稻的种茎再生苗移栽到鉴定圃盆栽种植,田间管理按照常规大田进行。设置感病对照秋九B,抗病对照久久香。材料的抗性以2年中病级高的数据为最终稻瘟病抗性进行综合评价。

苗期叶瘟人工接种抗性鉴定:野生稻种茎再生苗长至3~5叶龄时用配好的稻瘟病菌YF群生理小种,浓度为 $2 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ 个/mL的孢子悬浮液进行人工喷雾接种,100株约用20 mL菌液,喷雾重复3次,接种后用遮光膜覆盖,26~28 °C保湿24 h后揭膜^[15],

之后控温控湿促进发病。接菌处理7~10 d后调查各野生稻的发病情况。

抽穗期穗颈瘟人工接种抗性鉴定:在普通野生稻孕穗期后期,用培养好的稻瘟病菌生理小种YF群小种接种,接种菌液浓度 $2 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ 个/mL的孢子悬浮液,喷雾接种100株约用20 mL菌液,喷雾重复3次,后续处理同苗期叶瘟人工接种抗性鉴定。

田间叶瘟自然抗病调查:在周围水稻田叶瘟发病较重的情况下,在永发野生稻鉴定圃对收集保存的备份普通野生稻材料,调查自然状态下叶瘟发病及抗性情况^[13]。

抗性评价标准:参照《野生稻种质资源描述规范和数据标准》^[20]进行抗性评价(表2、表3)。

表2 野生稻苗期稻瘟病抗性评价标准

Table 2 Evaluation criteria for rice blast resistance at the seedling stage of wild rice

病级 Disease grade	病害状况 Disease condition	苗期叶瘟抗性 Resistance to rice blast at seedling stage
0	无病	免疫
1	仅有针尖大小的褐点	高抗
2	稍大的褐点	抗
3	稍大褐点,圆形稍长的灰色小病斑,边缘褐色,病斑直径约1~2 mm	
4	典型纺锤形病斑,长1~2 mm,通常局限于两条主脉之间,为害面积占比 $\leq 2\%$	中抗
5	典型病斑为害叶面积占比2.0%~10%,含10%	感
6	典型病斑为害叶面积占比10.0%~25.0%,含25.0%	
7	典型病斑为害叶面积占比25.0%~50.0%,含50%	
8	典型病斑为害叶面积占比 $> 50\%$	高感
9	全部叶片枯死	

表3 野生稻种质资源穗颈瘟评价标准

Table 3 Evaluation criteria for panicle neck blast of wild rice germplasm resources

病级 Disease grade	病害状况 Disease condition	穗颈瘟抗性 Neck blast resistance
0	无病	免疫
1	发病率 $\leq 1.0\%$	高抗
3	$1.0\% < \text{发病率} \leq 5.0\%$	抗
5	$5.0\% < \text{发病率} \leq 25.0\%$	中抗
7	$25.0\% < \text{发病率} \leq 50.0\%$	感
9	发病率 $> 50.0\%$	高感

2 结果与分析

2.1 苗期叶瘟人工接种抗性鉴定结果

两年的苗期叶瘟人工接种鉴定结果表明,2002份海南普通野生稻材料中,抗叶瘟材料494份(占

2.40%),其中,免疫7份(占0.35%),高抗17份(占0.85%),抗470份(占23.48%)。感病材料共306份(占15.28%),其中,感258份(占12.89%),高感48份(占2.4%)(表4、图1)。从这些数据可以看出海南普通野生稻普遍中抗苗期叶瘟。

表4 苗期叶瘟人工接种抗性鉴定结果

Table 4 Identification results of artificial inoculation resistance to leaf blast at seedling stage

材料 Materials	抗性 Resistance						抗病 R	感病 S	平均抗性级数 Average resistance level	变异系数 (%)CV
	免疫IM	高抗HR	抗R	中抗MR	感S	高感HS				
份数 Number	7	17	470	1202	258	48	494	306	4.29±1.25	29.17
占比(%) Percentage	0.35	0.85	23.48	60.04	12.89	2.40	24.68	15.28		

IM:Immunity;HR:High resistance;R:Resist;MR:Medium resistance;S:Sensibility;HS:High sensibility;The same as below

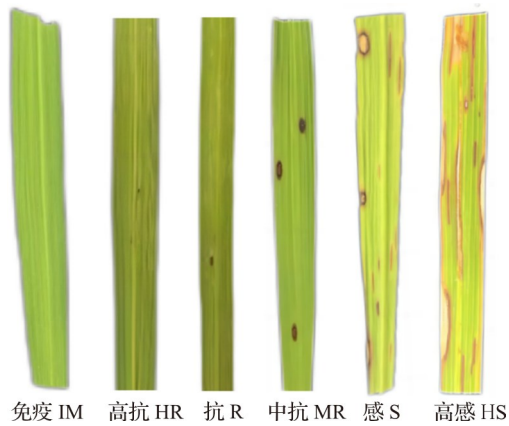


图1 供试材料的抗感反应

Fig.1 Antisensitivity of test material

免疫及高抗叶瘟材料中,有16份材料如2-14、25-27、11-3等的生长习性分别为半直立、倾斜、匍匐等,有8份如1-32等的生长习性为直立(表5)。按生长习性来划分,2002份海南普通野生稻材料中共有直立型338份,半直立型977份,倾斜型436份,匍

匐型251份。其中直立型抗性材料78份占23.08%,半直立型抗性材料261份占26.71%,倾斜型抗性材料113份占25.92%,匍匐型抗性材料42份占16.73%。可以看出半直立型抗性材料占比最高,匍匐型抗性材料占比最低。而普通野生稻的生长习性为茎秆生长的集散状况,以茎秆角度衡量,小于15°为直立型,15°~30°为半直立型,30°~60°为倾斜型,60°以上为匍匐型^[20],半直立型叶片随着茎秆分散较为适中,表现出的抗性较好,而匍匐型茎秆之间的角度较大,有些叶片贴近地面或水面,这给稻瘟病孢子的萌发创造了条件,表现出的抗性较差。

这些高抗叶瘟及免疫的资源中有8份资源抽穗,其中2份显示高抗穗颈瘟、2份抗穗颈瘟、4份中抗穗颈瘟,说明高抗叶瘟的材料大部分抽穗了之后也同样抗穗颈瘟。人工接种感病对照品种秋九B病级为6,感病;人工接种抗病对照品种久久香病级为3,抗(表5)。对照品种病级稳定,说明试验数据可靠。

表5 苗期叶瘟人工接种免疫及高抗资源

Table 5 Resources of immunity and high resistance to leaf plague in seedling stage

序号 No.	编号 ID	来源 Origin	生长习性 Growth habit	2022年病级	2023年病级	最高病级 Highest disease grade	叶瘟抗性 Leaf blast resistance	穗颈瘟及评价 Spike neck blast grade and rating
				2022 disease grade	2023 disease grade			
1	1-32	海口	直立	0	0	0	免疫	/
2	1-43	海口	直立	0	0	0	免疫	/
3	2-14	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
4	24-26	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
5	24-28	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
6	25-27	文昌	倾斜	0	0	0	免疫	/
7	76-6	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
8	5-4	海口	半直立	1	1	1	高抗	/
9	5-10	海口	半直立	1	1	1	高抗	/
10	11-3	海口	匍匐	1	1	1	高抗	/

表5 (续)

序号 No.	编号 ID	来源 Origin	生长习性 Growth habit	2022年病级 2022 disease grade	2023年病级 2023 disease grade	最高病级 Highest disease grade	叶瘟抗性 Leaf blast resistance	穗颈瘟及评价 Spike neck blast grade and rating
11	24-29	海口	半直立	1	1	1	高抗	/
12	25-23	文昌	倾斜	1	1	1	高抗	/
13	52-14	海口	半直立	1	1	1	高抗	中抗
14	52-26	海口	半直立	1	1	1	高抗	高抗
15	56-6	万宁	直立	1	1	1	高抗	中抗
16	56-16	万宁	直立	0	1	1	高抗	/
17	56-19	万宁	直立	0	1	1	高抗	/
18	58-5	万宁	直立	1	1	1	高抗	抗
19	62-4	万宁	直立	1	1	1	高抗	中抗
20	70-4	东方	半直立	0	1	1	高抗	中抗
21	71-21	澄迈	直立	0	1	1	高抗	/
22	72-14	海口	半直立	0	1	1	高抗	/
23	73-9	乐东	半直立	0	1	1	高抗	高抗
24	79-22	海口	半直立	1	1	1	高抗	抗
25	秋九B	海口	直立	6	6	6	感	感
26	久久香	海口	直立	3	3	3	抗	抗

/:未抽穗,下同

/:Unheading, the same as below

2.2 田间叶瘟自然抗病调查鉴定结果

2002份海南普通野生稻材料中抗病材料1160份,占57.94%,其中免疫24份(占1.2%),高抗233份(占11.64%),抗903份(45.10%);感病材料共214份,占10.69%,其中感197份(占9.84%),高感17份(占0.85%)(表6、表7)。从田间自然受害的情况可以看出海南普通野生稻普遍抗叶瘟。

田间叶瘟自然抗病中表现免疫的材料共24份,其中有16份资源如2-14、22-12的生长习性为半直立型或倾斜型,8份资源如1-1、62-18等的生长习性表现为直立型,免疫资源没有匍匐型(表7)。2002

份海南普通野生稻材料田间叶瘟自然调查表明,直立型抗叶瘟材料235份,占69.53%,半直立型634份,占64.89%,倾斜型216份,占49.54%,匍匐型75份,占29.88%,结果同样是匍匐型表现出的抗性较差。

对叶瘟免疫的24份材料有6份抽穗,穗颈瘟人工接种抗性鉴定结果为1份免疫、1份高抗、2份抗、2份中抗,同样显示高抗叶瘟的材料大部分抽穗之后也同样抗穗颈瘟。感病对照秋九B和抗病对照久久香在田间的表现分别为6级感病、3级抗病(表7),对照品种表现稳定,说明田间普通野生稻叶瘟自然抗病调查数据可靠。

表6 田间叶瘟自然抗病调查鉴定结果

Table 6 Investigation and identification results of natural resistance to leaf blast in the field

材料 Materials	抗性 Resistance						抗病 R	感病 S	平均抗性级数 Average resistance level	变异系数 (%) CV
	免疫 IM	高抗 HR	抗 R	中抗 MR	感 S	高感 HS				
份数 Number	24	233	903	628	197	17	1160	214	3.34±1.66	49.83
占比(%) Percentage	1.20	11.64	45.10	31.37	9.84	0.85	57.94	10.69		

表 7 田间苗期叶瘟自然抗病免疫资源

Table 7 Natural disease resistance and immunity resources of leaf distemper at seedling stage in field

序号 No.	编号 ID	来源 Origin	生长习性 Growth habit	2022年病级 2022 disease grade	2023年病级 2023 disease grade	最高病级 Highest disease grade	叶瘟抗性 Leaf blast resistance	穗颈瘟抗性 Neck blast resistance
1	1-1	海口	直立	0	0	0	免疫	抗
2	1-2	海口	直立	0	0	0	免疫	抗
3	1-16	海口	直立	0	0	0	免疫	/
4	1-21	海口	直立	0	0	0	免疫	/
5	1-31	海口	直立	0	0	0	免疫	/
6	1-34	海口	直立	0	0	0	免疫	/
7	1-43	海口	直立	0	0	0	免疫	/
8	2-14	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
9	2-15	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
10	5-13	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
11	5-18	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
12	5-19	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
13	5-24	海口	半直立	0	0	0	免疫	免疫
14	5-25	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
15	5-39	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
16	22-12	海口	倾斜	0	0	0	免疫	中抗
17	24-25	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
18	24-26	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
19	24-28	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
20	24-29	海口	半直立	0	0	0	免疫	/
21	42-6	临高	倾斜	0	0	0	免疫	/
22	42-7	临高	倾斜	0	0	0	免疫	/
23	55-2	万宁	半直立	0	0	0	免疫	高抗
24	62-18	万宁	直立	0	0	0	免疫	中抗
25	秋九B	海口	直立	6	6	6	感	感
26	久久香	海口	直立	3	3	3	抗	抗

田间叶瘟自然抗病表现免疫的24份材料在人工接种鉴定时有4份表现免疫,1份表现为高抗,12份表现抗,6份表现中抗,1份表现感。两种鉴定方法免疫及高抗资源不尽相同,从变异系数来看,人工接种的抗稻瘟病变异系数为29.17%,田间自然抗病的变异系数为49.83%,说明人工接种的抗性相对比较集中。田间自然调查叶瘟表现免疫及高抗的资源份数远远多于苗期叶瘟人工接种的资源(图2),这可能是田间自然感病不充分导致的差异。

2.3 抽穗期穗颈瘟人工接种抗性鉴定结果

本次鉴定的海南普通野生稻材料共有995份抽

穗,其中,免疫23份(占2.31%),高抗136份(占13.67%),抗347份(占34.87%),中抗305份(占30.65%),感183份(占18.39%),高感1份(占0.10%)。合计抗病材料506份(占50.85%),感病材料共184份(占18.49%)(表8)。可以看出海南普通野生稻普遍抗稻瘟病穗颈瘟。

穗颈瘟表现免疫的材料全部来自海口,生长习性都是半直立型或匍匐型(表9)。995份抽穗的海南普通野生稻材料,其中生长习性为直立型共有247份,抗性材料113份,占45.75%;半直立型共532份,抗性材料278份,占52.26%;倾斜型共167份,抗

性材料 92 份, 占 55.09%; 匍匐型共 49 份, 抗性材料 23 份, 占 46.94%。在生长习性方面, 从穗颈瘟抗性总体表现结果来看, 倾斜型和半直立型中抗性材料占比较高, 直立型和匍匐型占比较低, 这跟人工接种叶瘟结果相同。表明普通野生稻茎秆角度在 15°~60°之间, 抽出来的穗距离相对合适, 延缓穗颈瘟的传播速度; 而直立型茎秆角度小于 15°, 穗相对集中, 加快穗颈瘟传播速度; 匍匐型由于茎秆角度较大, 有些穗甚至贴近水面, 给穗颈瘟孢子的萌发创造条件, 导致抗性较差。

穗颈瘟表现免疫的材料, 苗期人工接种叶瘟鉴定显示有 13 份资源抗叶瘟, 10 份中抗叶瘟; 田间自然叶瘟抗性显示 1 份资源对叶瘟达到免疫、1 份高抗、11 份抗、10 份中抗(表 9)。可以看出对穗颈瘟达到免疫的资源有 50% 对叶瘟显示抗, 也有一半的资源对叶瘟不抗, 存在差异。穗颈瘟人工接种感病对照品种秋九 B 病级为 7, 感病; 抗病对照品种久久香病级为 3, 抗病。对照品种病级稳定, 说明试验数据可靠。

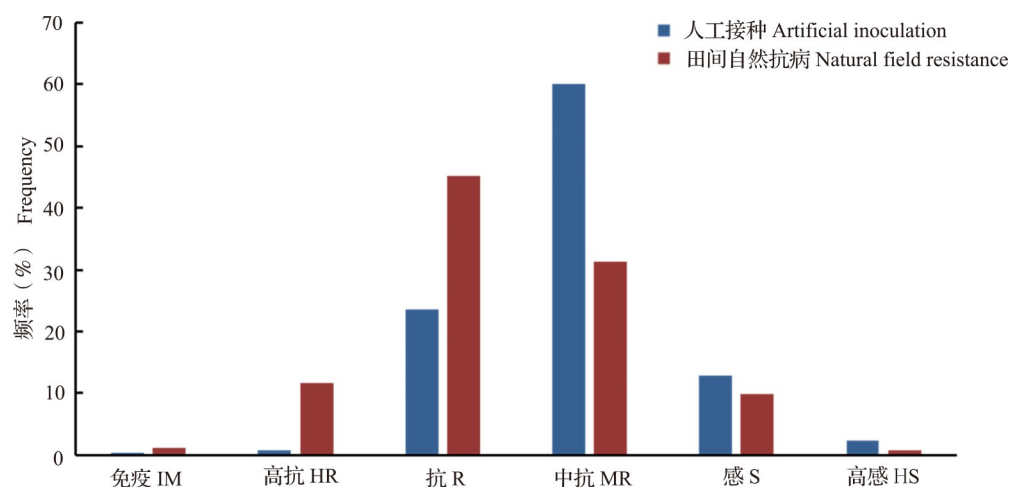


图 2 大田自然叶瘟及人工接种叶瘟抗性对比

Fig. 2 Comparison of resistance to natural leaf blast and artificial inoculation

表 8 人工接种穗颈瘟鉴定结果

Table 8 Identification results of artificially inoculated spike neck blast

材料 Materials	抗性 Resistance						抗病 R	感病 S	平均抗性级数 Average resistance level	变异系数 (%) CV
	免疫 IM	高抗 HR	抗 R	中抗 MR	感 S	高感 HS				
份数 Number	23	136	347	305	183	1	506	184	4.01±1.98	49.38
占比(%) Percentage	2.31	13.67	34.87	30.65	18.39	0.10	50.85	18.49		

表 9 人工接种鉴定穗颈瘟免疫资源

Table 9 Immune resources of artificially inoculated spike neck blast

序号 No.	编号 ID	来源 Origin	生长习性 Growth habit	病级 Disease grade	抗性 Resistance	人工接种叶瘟抗性 Artificial inoculation of leaf blast resistance	大田叶瘟自然抗性 Natural resistance to leaf blast
1	5-24	海口	半直立	0	免疫	抗	免疫
2	5-12	海口	半直立	0	免疫	抗	抗
3	5-27	海口	半直立	0	免疫	抗	抗
4	12-12	海口	匍匐	0	免疫	中抗	中抗
5	12-16	海口	匍匐	0	免疫	抗	中抗
6	28-2	海口	半直立	0	免疫	抗	抗

表9 (续)

序号 No.	编号 ID	来源 Origin	生长习性 Growth habit	病级 Disease grade	抗性 Resistance	人工接种叶瘟抗性 Artificial inoculation of leaf blast resistance	大田叶瘟自然抗性 Natural resistance to leaf blast
7	28-3	海口	半直立	0	免疫	抗	抗
8	28-6	海口	半直立	0	免疫	抗	高抗
9	28-7	海口	半直立	0	免疫	抗	抗
10	28-8	海口	半直立	0	免疫	抗	抗
11	28-9	海口	半直立	0	免疫	抗	抗
12	28-11	海口	半直立	0	免疫	抗	抗
13	28-16	海口	半直立	0	免疫	中抗	中抗
14	28-19	海口	半直立	0	免疫	中抗	中抗
15	28-20	海口	半直立	0	免疫	中抗	中抗
16	28-22	海口	半直立	0	免疫	中抗	中抗
17	28-26	海口	半直立	0	免疫	中抗	中抗
18	28-28	海口	半直立	0	免疫	中抗	中抗
19	28-31	海口	半直立	0	免疫	中抗	中抗
20	28-35	海口	半直立	0	免疫	抗	抗
21	28-36	海口	半直立	0	免疫	抗	抗
22	28-39	海口	半直立	0	免疫	中抗	中抗
23	28-43	海口	半直立	0	免疫	中抗	抗
24	秋九B	海口	直立	7	感	感	感
25	久久香	海口	直立	3	抗	抗	抗

2.4 双抗叶瘟及穗颈瘟材料

结合两年人工接种、大田自然抗性鉴定,共筛选出 128 份双抗叶瘟、穗颈瘟的材料,其中生长习

性为半直立型的 91 份、倾斜型的 18 份、直立型的 19 份(表 10),同样表明半直立型和倾斜型的抗性高于直立型和匍匐型。

表 10 双抗叶瘟及穗颈瘟材料

Table 10 Double resistance to leaf blast and ear neck blast

序号 No.	编号 ID	来源 Origin	生长习性 Growth habit	人工接种叶瘟抗性 Artificial inoculation of leaf blast resistance	大田叶瘟自然抗性 Natural resistance to leaf blast	人工接种穗颈瘟抗性 Artificial inoculation of spike neck blast resistance
1	1-7	海口	直立	抗	抗	抗
2	3-3	澄迈	半直立	抗	抗	抗
3	5-3	海口	半直立	抗	抗	抗
4	5-12	海口	半直立	抗	抗	免疫
5	5-24	海口	半直立	抗	免疫	高抗
6	5-27	海口	半直立	抗	抗	免疫
7	5-37	海口	半直立	高抗	高抗	抗
8	20-4	海口	半直立	抗	抗	抗
9	20-33	海口	半直立	抗	抗	抗
10	25-22	文昌	倾斜	抗	高抗	高抗
11	25-24	文昌	倾斜	抗	抗	高抗

表 10 (续)

序号 No.	编号 ID	来源 Origin	生长习性 Growth habit	人工接种叶瘟抗性 Artificial inoculation of leaf blast resistance	大田叶瘟自然抗性 Natural resistance to leaf blast	人工接种穗颈瘟抗性 Artificial inoculation of spike neck blast resistance
12	25-25	文昌	倾斜	抗	高抗	高抗
13	25-33	文昌	倾斜	抗	高抗	高抗
14	25-37	文昌	倾斜	抗	抗	抗
15	25-39	文昌	倾斜	抗	抗	抗
16	25-41	文昌	倾斜	抗	抗	高抗
17	25-42	文昌	倾斜	抗	抗	高抗
18	25-48	文昌	倾斜	抗	抗	高抗
19	25-49	文昌	倾斜	抗	抗	抗
20	26-1	文昌	半直立	抗	高抗	高抗
21	26-9	文昌	半直立	抗	高抗	高抗
22	26-10	文昌	半直立	抗	高抗	高抗
23	26-18	文昌	半直立	抗	高抗	高抗
24	26-26	文昌	半直立	抗	高抗	高抗
25	26-34	文昌	半直立	抗	高抗	高抗
26	27-2	海口	倾斜	抗	抗	抗
27	27-3	海口	倾斜	抗	抗	抗
28	27-5	海口	倾斜	抗	抗	抗
29	27-7	海口	倾斜	抗	抗	抗
30	27-8	海口	倾斜	抗	抗	抗
31	28-2	海口	半直立	抗	抗	免疫
32	28-3	海口	半直立	抗	抗	免疫
33	28-6	海口	半直立	抗	高抗	免疫
34	28-7	海口	半直立	抗	抗	免疫
35	28-8	海口	半直立	抗	抗	免疫
36	28-9	海口	半直立	抗	抗	免疫
37	28-10	海口	半直立	抗	抗	抗
38	28-11	海口	半直立	抗	抗	免疫
39	28-30	海口	半直立	抗	抗	抗
40	28-35	海口	半直立	抗	抗	免疫
41	28-36	海口	半直立	抗	抗	免疫
42	28-37	海口	半直立	抗	抗	抗
43	29-1	文昌	倾斜	抗	抗	高抗
44	35-13	儋州	倾斜	抗	抗	抗
45	35-32	儋州	倾斜	抗	抗	抗
46	44-3	三亚	直立	抗	抗	抗
47	52-19	海口	半直立	抗	高抗	高抗
48	52-21	海口	半直立	抗	高抗	高抗
49	52-23	海口	半直立	抗	抗	高抗
50	52-24	海口	半直立	抗	抗	高抗

表 10 (续)

序号 No.	编号 ID	来源 Origin	生长习性 Growth habit	人工接种叶瘟抗性 Artificial inoculation of leaf blast resistance	大田叶瘟自然抗性 Natural resistance to leaf blast	人工接种穗颈瘟抗性 Artificial inoculation of spike neck blast resistance
51	52-25	海口	半直立	抗	抗	高抗
52	52-26	海口	半直立	抗	高抗	高抗
53	54-12	万宁	半直立	抗	抗	高抗
54	57-1	万宁	直立	抗	抗	抗
55	58-3	万宁	直立	抗	抗	抗
56	58-4	万宁	直立	抗	抗	抗
57	58-5	万宁	直立	高抗	高抗	抗
58	58-11	万宁	直立	抗	高抗	抗
59	58-13	万宁	直立	抗	高抗	抗
60	58-16	万宁	直立	抗	抗	抗
61	58-18	万宁	直立	抗	抗	抗
62	58-19	万宁	直立	抗	抗	抗
63	58-20	万宁	直立	抗	抗	抗
64	63-3	万宁	直立	抗	抗	抗
65	63-11	万宁	直立	抗	抗	抗
66	63-30	万宁	直立	抗	抗	抗
67	63-34	万宁	直立	抗	抗	抗
68	63-37	万宁	直立	抗	抗	抗
69	66-6	乐东	直立	抗	抗	高抗
70	66-8	乐东	直立	抗	抗	高抗
71	69-54	东方	半直立	抗	抗	抗
72	69-57	东方	半直立	抗	抗	抗
73	70-9	东方	半直立	抗	抗	抗
74	70-22	东方	半直立	抗	高抗	抗
75	70-29	东方	半直立	抗	高抗	抗
76	71-14	澄迈	半直立	抗	抗	抗
77	71-23	澄迈	半直立	抗	抗	抗
78	71-26	澄迈	半直立	抗	抗	抗
79	71-27	澄迈	半直立	抗	抗	抗
80	71-28	澄迈	半直立	抗	抗	抗
81	72-1	海口	半直立	抗	抗	抗
82	72-2	海口	半直立	抗	抗	抗
83	72-3	海口	半直立	抗	抗	抗
84	72-10	海口	半直立	抗	抗	抗
85	72-13	海口	半直立	抗	抗	抗
86	72-17	海口	半直立	抗	高抗	抗
87	72-23	海口	半直立	抗	高抗	抗
88	72-25	海口	半直立	抗	高抗	抗
89	72-29	海口	半直立	抗	高抗	抗

表 10 (续)

序号 No.	编号 ID	来源 Origin	生长习性 Growth habit	人工接种叶瘟抗性 Artificial inoculation of leaf blast resistance	大田叶瘟自然抗性 Natural resistance to leaf blast	人工接种穗颈瘟抗性 Artificial inoculation of spike neck blast resistance
90	72-30	海口	半直立	抗	抗	抗
91	72-33	海口	半直立	抗	抗	抗
92	72-35	海口	半直立	抗	高抗	抗
93	72-36	海口	半直立	抗	高抗	抗
94	72-38	海口	半直立	抗	高抗	抗
95	72-39	海口	半直立	抗	高抗	抗
96	72-40	海口	半直立	抗	高抗	抗
97	72-41	海口	半直立	抗	高抗	抗
98	72-42	海口	半直立	抗	高抗	抗
99	73-1	乐东	半直立	抗	抗	高抗
100	73-5	乐东	半直立	抗	高抗	高抗
101	73-6	乐东	半直立	抗	高抗	高抗
102	73-7	乐东	半直立	抗	抗	高抗
103	73-9	乐东	半直立	抗	高抗	高抗
104	73-10	乐东	半直立	抗	高抗	高抗
105	73-11	乐东	半直立	抗	高抗	高抗
106	76-13	海口	半直立	抗	抗	高抗
107	77-8	万宁	半直立	抗	高抗	抗
108	77-12	万宁	半直立	抗	抗	抗
109	77-13	万宁	半直立	抗	高抗	抗
110	78-2	海口	半直立	抗	抗	高抗
111	78-4	海口	半直立	抗	抗	抗
112	79-1	海口	半直立	抗	抗	抗
113	79-5	海口	半直立	抗	高抗	抗
114	79-7	海口	半直立	抗	高抗	抗
115	79-9	海口	半直立	抗	抗	抗
116	79-10	海口	半直立	抗	高抗	抗
117	79-13	海口	半直立	抗	抗	抗
118	79-17	海口	半直立	抗	抗	抗
119	79-19	海口	半直立	抗	抗	抗
120	79-20	海口	半直立	抗	抗	抗
121	79-21	海口	半直立	抗	抗	抗
122	79-22	海口	半直立	抗	高抗	抗
123	79-25	海口	半直立	抗	抗	抗
124	79-30	海口	半直立	抗	抗	抗
125	79-31	海口	半直立	抗	抗	抗
126	79-33	海口	半直立	抗	抗	抗
127	79-34	海口	半直立	抗	抗	抗
128	79-40	海口	半直立	抗	抗	抗

3 讨论

采用人工接种及田间自然抗病调查,2022年和2023年连续两年对收集保存的2002份海南普通野生稻资源进行叶瘟及穗颈瘟抗性进行了鉴定与评价,鉴定出双抗叶瘟、穗颈瘟材料128份,占总资源的6.39%。在叶瘟方面,综合人工接种和大田自然抗病结果来看,人工接种免疫材料占0.35%,高抗占0.85%,抗性材料占23.48%;大田自然抗病结果免疫占1.2%,高抗占11.64%,这跟唐清杰等^[13]研究结果一致。

海南普通野生稻主要生长于平原地区的池塘、溪沟、藕塘、稻田、沟渠、沼泽等低湿地,是多年生沼泽地植物,喜温,感光性强,水生,主要分布在海拔600 m以下的江河流域^[21],其生长习性大多为半直立型、倾斜型或匍匐型,少部分为直立型(普通野生稻的生长习性为茎秆生长的集散状况,以茎秆角度衡量,小于15°为直立型,15°~30°为半直立型,30°~60°为倾斜型,60°以上为匍匐型^[20]),直立型野生稻茎秆相对集中,其叶片和穗也相应集中,半直立型和倾斜型茎秆分散,其叶片及穗也相应分散,当一个叶片或穗部感染稻瘟病菌之后传染到其他叶片或穗颈部的速度相对慢于直立聚集型,这可能也是半直立型和倾斜型海南普通野生稻普遍抗叶瘟及穗颈瘟的原因之一,而匍匐型普通野生稻的茎秆角度分散更大,有些甚至接近90°,其叶片或穗贴于地面或水面,给稻瘟病菌孢子的萌发创造条件,使得匍匐型野生稻的叶瘟及穗颈瘟的抗性相对较差。从本次的研究结果看,苗期叶瘟或抽穗期穗颈瘟达到免疫、高抗或抗的资源中如1-32、1-43、58-9、44-3等这些资源的生长习性均为直立型,更接近于栽培品种的生长习性,因此这些资源将被重点关注,待更深入的研究,为将来选育更抗病水稻品种提供可靠资源。

近几年来,随着全球气候变化,极端恶劣天气时常发生,海南及中国的水稻种植区常发生大面积的稻瘟病、稻飞虱、白叶枯病等危害现象,要实现种业振兴,牢牢端住中国饭碗,加快培育优质抗病水稻品种势在必行。水稻稻瘟病是由多基因控制的,抗性机制复杂,选育对稻瘟病具有广谱、持久性的水稻品种一直是水稻稻瘟病研究的重点和难点。海南气候高温高湿,病害严重,稻瘟病菌生理小种多,通过长期的自然选择,拥有丰富抗病基因,因此充分挖掘和有效利用海南普通野生稻资源意义重

大。本研究通过对收集的海南普通野生稻进行苗期叶瘟、抽穗期穗颈瘟人工接种,以及田间自然抗病调查,筛选到双抗叶瘟、穗颈瘟资源,为育种学家开展抗稻瘟病水稻新品种(组合)选育提供了较好资源。结合鉴定结果,今后将从分子方面更加深入解析定位海南普通野生稻抗稻瘟病主效基因,加快培育抗稻瘟病水稻新品种(组合)的速度。

参考文献

- [1] Khush G. What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030. *Plant Molecular Biology*, 2005, 59:1
- [2] Talbot N J. On the trail of a cereal killer: Exploring the biology of *Magnaporthe grisea*. *Annual Review of Microbiology*, 2003, 57: 177-202
- [3] Dean R A, Talbot N J, Ebbole D, Farman M L, Mitchell T K, Orbach M J, Thon M, Kulkarni R, Xu J R, Pan H, Read N D, Lee Y H, Carbone I, Brown D, Oh Y Y, Donofrio N, Jeong J S, Soanes D M, Djonovic S, Kolomiets E, Rehmeyer C, Li W, Harding M, Kim S, Lebrun M H, Bohnert H, Coughlan S, Butler J, Calvo S, Ma L, Nicol R, Purcell S, Nusbaum C, Galagan J E, Birren B W. The genome sequence of the rice blast fungus *Magnaporthe grisea*. *Nature*, 2005, 434 (7036): 980-986
- [4] Ebbole D J. *Magnaporthe* as a model for understanding host-pathogen interactions. *Annual Review of Phytopathology*, 2007, 45: 437-456
- [5] 温小红,谢明杰,姜健,杨宝灵,邵艳龙,何伟,刘丽,赵毅.水稻稻瘟病防治方法研究进展. *中国农学通报*, 2013, 29(3): 190-195
Wen X H, Xie M J, Jiang J, Yang B L, Shao Y L, He W, Liu L, Zhao Y. Advances in research on control method of rice blast. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(3): 190-195
- [6] 李刚,袁彩勇,曹奎荣,孙祥良,李军,王健,程保山,罗伯祥,徐卫军,唐九友,储成才. 544份水稻种质稻瘟病抗性鉴定及抗性基因的分布研究. *中国农业大学学报*, 2018, 23(5): 22-28
Li G, Yuan C Y, Cao K R, Sun X L, Li J, Wang J, Cheng B S, Luo B X, Xu W J, Tang J Y, Chu C C. Evaluation and distributio of the blast resistance genes of 544 rice materials. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(5): 22-28
- [7] 田大刚,苏军,陈建民,胡昌泉,陈在杰,王锋. 1092份水稻材料稻瘟病抗性鉴定及抗性标记分析. *分子植物育种*, 2012, 10(2): 214-221
Tian D G, Su J, Chen J M, Hu C Q, Chen Z J, Wang F. Evaluation of blast resistance and analysis of resistance markers of 1092 rice materials. *Molecular Plant Breeding*, 2012, 10(2): 214-221
- [8] 刘海涛,徐倩,何炜,魏林艳,张建福,谢华安. 水稻稻瘟病抗性变化及抗性基因克隆的研究进展. *福建农业学报*, 2016, 31(5): 545-552

- Liu H T, Xu Q, He W, Wei L Y, Zhang J F, Xie H A. Recent progress on the variation of blast resistance and cloning of the resistance genes in rice. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 31(5): 545-552
- [9] 吴建利, 庄杰云, 李德葆, 郑康乐. 水稻对稻瘟病抗性的分子生物学研究进展. *中国水稻科学*, 1999, 13(2): 123-128
Wu J L, Zhuang J Y, Li D B, Zheng K L. Progress on rice molecular biology of resistance to blast fungus. *Chinese Journal of Rice Science*, 1999, 13(2): 123-128
- [10] 梁廷敏, 陈在杰, 陈松彪. 全基因组分析策略应用于水稻抗稻瘟病基因鉴定的研究和进展. *分子植物育种*, 2019, 17(5): 1525-1530
Liang T M, Chen Z J, Chen S B. Research and progress of the application of genome wide analysis strategy in gene identification of rice blast resistance. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17(5): 1525-1530
- [11] 李旭升, 向小娇, 申聪聪, 杨隆维, 陈凯, 王小文, 邱先进, 朱小源, 邢丹英, 徐建龙. 水稻重测序核心种质资源的稻瘟病抗性鉴定与评价. *作物学报*, 2017, 43(6): 795-810
Li X S, Xiang X J, Shen C C, Yang L W, Chen K, Wang X W, Qiu X J, Zhu X Y, Xing D Y, Xu J L. Identification and evaluation of blast resistance for resequenced rice core collections. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43(6): 795-810
- [12] 郭丽颖, 赵宏伟, 王敬国, 刘化龙, 孙健, 宋微, 姜思达, 兴旺, 邹德堂. 黑龙江省稻瘟病菌生理小种鉴定和主栽水稻品种抗病性及遗传多样性分析. *核农学报*, 2015, 29(8): 1444-1454
Guo L Y, Zhao H W, Wang J G, Liu H L, Sun J, Song W, Jiang S D, Xing W, Zou D T. Identification of physiological race of rice blast fungus and disease resistance and genetic diversity analysis on major cultivars in Heilongjiang province. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2015, 29(8): 1444-1454
- [13] 唐清杰, 王效宁, 熊怀阳, 陈健晓, 芮凯, 云勇. 海南普通野生稻稻瘟病抗性资源调查和鉴定. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(5): 821-825
Tang Q J, Wang X N, Xiong H Y, Chen J X, Rui K, Yun Y. Investigation and identification of resistance to rice blast in *Oryza rufipogon* Griff. indigenous to Hainan province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14(5): 821-825
- [14] 庞汉华. 普通野生稻优异种质资源主要特点与利用展望. *种子*, 1998, 95(3): 30-33
Pang H H. Main characteristics and utilization prospects of excellent germplasm resources of common wild rice. *Seed*, 1998, 95(3): 30-33
- [15] 陈灿, 郭辉, 张晓丽, 刘百龙, 秦学毅, 冯锐. 广西野生稻稻瘟病抗性鉴定及抗源地理分布. *南方农业学报*, 2017, 48(11): 1999-2003
Chen C, Guo H, Zhang X L, Liu B L, Qin X Y, Feng R. Blast resistance identification for wild rice from Guangxi and geographical distribution of resistant resources. *Journal of Southern Agriculture*, 2017, 48(11): 1999-2003
- [16] 杨雅云, 张敦宇, 陈玲, 陈越, 殷富有, 蒋春苗, 肖素勤, 柯学, 余腾琼, 王波, 付坚, 钟巧芳, 陈功友, 程在全. 云南药用野生稻对四种水稻主要病害的抗性鉴定. *植物病理学报*, 2019, 49(1): 101-112
Yang Y Y, Zhang D Y, Chen L, Chen Y, Yin F Y, Jiang C M, Xiao S Q, Ke X, Yu T Q, Wang B, Fu J, Zhong Q F, Chen G Y, Chen Z Q. Research on identification of resistance to four main rice diseases of *Oryza officinalis* populations in Yunnan province. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2019, 49(1): 101-112
- [17] 江川, 朱业宝, 陈立喆, 张丹, 王金英. 漳浦野生稻表型遗传多样性分析及稻瘟病抗性评价. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(5): 1170-1177
Jiang C, Zhu Y B, Chen L Z, Zhang D, Wang J Y. Phenotypic diversity analysis and resistance evaluation of rice blast in Zhangpu wild rice. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(5): 1170-1177
- [18] 王韵茜, 苏延红, 杨睿, 李鑫, 李晶, 曾千春, 罗琼. 云南疣粒野生稻稻瘟病抗性. *植物学报*, 2018, 53(4): 477-486
Wang Y Q, Su Y H, Yang R, Li X, Li J, Zeng Q C, Luo Q. Rice blast resistance of wild rice in Yunnan. *Chinese Bulletin of Botany*, 2018, 53(4): 477-486
- [19] 王效宁, 韩东飞, 云勇, 孟卫东, 严小微, 杨庆文. 利用 SSR 标记分析海南普通野生稻的遗传多样性. *植物遗传资源学报*, 2007, 8(2): 184-188
Wang X N, Han D F, Yun Y, Meng W D, Yan X W, Yang Q W. Genetic diversity of *Oryza rufipogon* Griff. in Hainan province with SSR markers. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2007, 8(2): 184-188
- [20] 陈成斌, 潘大建. 野生稻种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 11
Chen C B, Pan D J. Specification and data standard for description of wild rice germplasm resources. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 11
- [21] 范伟雅, 刘自然, 云勇, 唐清杰, 周世圳, 肖晓蓉, 郑晓明, 杨庆文. 海南野生稻白叶枯病抗性种质资源的收集与初步鉴定. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(1): 117-125
Fan W Y, Liu Z R, Yun Y, Tang Q J, Zhou S Z, Xiao X R, Zheng X M, Yang Q W. Collection and preliminary identification of germplasm resources resistant to bacterial blight of wild rice from Hainan province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(1): 117-125