

浙江省不同水稻亚种上稻瘟病菌种群分布及生理小种组成

郝中娜 邱海萍* 毛雪琴 柴荣耀 张震 王艳丽 王教瑜*

(浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 浙江省国家农作物品种抗性鉴定站, 杭州 310021)

摘要: 为明确浙江省稻瘟病菌 *Magnaporthe grisea* 种群发生动态及不同水稻亚种上种群分布与生理小种组成结构, 对 2014—2023 年该省分离、筛选的 434 株稻瘟病菌单孢菌株进行生理小种鉴定。结果显示: 浙江省稻瘟病菌优势种群为籼型种群 ZA 和 ZB, 出现频率分别为 34.3% 和 31.3%, 种群发生动态相对稳定; 籼型优势小种数量明显超过粳型优势小种, ZA₁ 和 ZB₁ 小种出现频率最高, 其次是 ZB₁₃ 和 ZC₁₅ 小种; 共鉴别出 3 个籼型种群 50 个籼型小种和 4 个粳型种群 11 个粳型小种, 稻瘟病菌种群和生理小种组成均呈现多样化趋势; 源自籼稻的菌株(籼菌)中优势种群为 ZB 和 ZA, 出现频率分别为 40.2% 和 27.5%, 优势小种为 ZB₁、ZA₁ 和 ZB₁₃, 其次是 ZB₅ 和 ZC₁₅ 小种; 源自粳稻的菌株(粳菌)中优势种群为 ZA 和 ZB, 出现频率分别为 38.2% 和 25.4%, 优势小种为 ZA₁, 其次是 ZB₁ 和 ZE₃ 小种; 源自籼粳杂交稻的菌株(籼粳菌)中优势种群为 ZA 和 ZB, 出现频率分别为 43.0% 和 22.2%, 优势小种为 ZA₁。表明不同水稻亚种上稻瘟病菌种群分布及优势种群、生理小种组成及优势小种均有差异, 但均表现为籼型种群和籼型小种占优势, 这个特点在籼菌中更为突出。

关键词: 浙江省; 稻瘟病菌; 水稻亚种; 种群; 生理小种

Population distribution and physiologic race composition of rice blast fungus *Magnaporthe grisea* isolates on different rice subspecies in Zhejiang Province

Hao Zhongna Qiu Haiping* Mao Xueqin Chai Rongyao Zhang Zhen Wang Yanli Wang Jiaoyu*

(Zhejiang National Test Station for Resistance Identification of Crop Variety, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, Zhejiang Province, China)

Abstract: To understand the population dynamics of rice blast fungus *Magnaporthe grisea*, as well as the population distribution and physiological race composition of *M. grisea* on different rice subspecies, 434 single-spore isolates of *M. grisea* isolated from Zhejiang Province from 2014 to 2023 were identified for physiological races. The results showed that the dominant populations in Zhejiang Province were the *indica*-type ZA and ZB groups, with occurrence frequencies of 34.3% and 31.3%, respectively, and the population dynamics of *M. grisea* was relatively stable. The numbers of the dominant *indica*-type races were significantly higher than those of the dominant *japonica*-type races, and the occurrence frequencies of the *indica*-type races ZA₁ and ZB₁ were the highest, followed by ZB₁₃ and ZC₁₅. A total of 50 *indica*-type races were identified from three *indica*-type populations and 11 *japonica*-type races were identified from four *japonica*-type populations, and the population and physiological race composition of *M. grisea* showed a diversified trend in Zhejiang Province. The dominant populations of strains derived

基金项目: 浙江省水稻新品种选育重大科技专项(2021C02063-3), 国家重点研发计划(2023YFD1400200)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: qiuhaiping@163.com, wangjiaoyu78@sina.com

收稿日期: 2024-04-03

from *indica* rice cultivars (*indica* strains) were ZB and ZA, with occurrence frequencies of 40.2% and 27.5%, respectively, and the dominant races were ZB₁, ZA₁, and ZB₁₃, followed by ZB₅ and ZC₁₅. In the strains derived from *japonica* rice cultivars (*japonica* strains), the dominant populations were ZA and ZB, with occurrence frequencies of 38.2% and 25.4%, respectively, and the dominant race was ZA₁, followed by ZB₁ and ZE₃. Among the strains derived from *indica-japonica* hybrid rice cultivars (*indica-japonica* strains), the dominant populations were ZA and ZB, with occurrence frequencies of 43.0% and 22.2%, respectively, and the dominant race was ZA₁. The results suggested that the distribution of *M. grisea* populations, dominant populations, physiologic race composition, and dominant races varied between rice subspecies. However, the *indica*-type population and race were more dominant in Zhejiang Province, which was more pronounced in the *indica* strains than in the *japonica* and *indica-japonica* strains.

Key words: Zhejiang Province; *Magnaporthe grisea*; rice subspecies; population; physiologic race

由稻瘟病菌 *Magnaporthe grisea* 引起的稻瘟病是世界水稻生产上最具毁灭性的病害之一,全球各地时有稻瘟病暴发的报道(Couch & Kohn, 2002; Pak et al., 2021)。稻瘟病菌是研究病原菌与寄主互作的模式真菌,关于该病菌种群分布及生理小种组成已有较多研究报道。肖丹凤等(2013)总结了我国水稻主要产区稻瘟病菌种群的分布状况,东北、华东、华中和华南稻区的优势种群分别为ZF、ZD、ZE、ZA种群,ZB、ZG、ZC、ZA种群,ZA、ZB、ZE、ZC种群和ZB、ZC种群。肖宇龙等(2018)将江西省126株稻瘟病菌菌株划分为6个种群25个生理小种,优势种群为ZB,出现频率为57.9%,稻瘟病菌群体以中等致病力菌株为主。邓云等(2019)于2017—2018年将福建省126株稻瘟病菌菌株划分为6个种群32个生理小种,优势种群为ZA,出现频率为41.6%。房文文等(2020)将山东省57株稻瘟病菌菌株划分为6个种群33个生理小种,优势种群为ZA和ZC,其次是ZB和ZE种群,优势小种为ZE₃,其次是ZG₁小种。稻瘟病菌易发生变异,同一水稻产区稻瘟病菌的种群分布及生理小种组成经常发生变化,使得新选育的抗病品种往往推广3~5年后抗性水平就下降甚至丧失,因此研究稻瘟病菌种群及生理小种的发生动态非常必要(肖丹凤等,2013)。

水稻根据亚种可划分为籼稻、粳稻和籼粳杂交稻,中国水稻品种类型丰富多样,由于气候与地理条件的差异导致不同地域种植的水稻亚种也有所不同(Zhu et al., 2018)。长江流域以北主要种植粳稻,以南主要种植籼稻,浙江省地处长江中下游流域,该流域则籼稻、粳稻和籼粳杂交稻均有种植(肖丹凤等, 2013; Zhu et al., 2018)。目前,关于从不同水稻亚种上分离的稻瘟病菌致病性与生理小种差异的研究在

国内外偶见报道。郝中娜等(2006)发现源自籼稻的菌株(简称籼菌)侵染籼稻后表现为中度发病和重度发病的品种比例均高于侵染粳稻后中度发病和重度发病的品种比例;源自粳稻的菌株(简称粳菌)侵染粳稻后表现为重发病的品种比例显著高于侵染籼稻后重发病的品种比例。Hao et al.(2021)对23个籼菌和23个粳菌进行生理小种测定,发现籼菌中以籼型小种为主,粳菌中籼型小种和粳型小种各约占一半。

浙江省属于典型的多种水稻亚种混栽区,其种植类型在中国是非常丰富的,因此稻瘟病菌生理小种遗传特性更复杂,变异更易发生,开展不同水稻亚种上稻瘟病菌种群分布与生理小种组成的研究具有重要的现实意义(Zhu et al., 2018; 施俊生等, 2019; 董丽英等, 2023)。本研究对2014—2023年从浙江省14个市区籼稻、粳稻和籼粳杂交稻品种上分离、筛选的434株稻瘟病菌菌株进行生理小种鉴定,实时、准确地掌握浙江省稻瘟病菌种群发生动态及不同水稻亚种上种群分布与生理小种组成结构,以期抗病品种的选育、合理布局和更换提供有效指导,为稻瘟病防治提供重要参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试病标样:2014—2023年在浙江省不同生态环境种植区、不同水稻亚种上采集穗颈瘟标样,采集地由北至南为湖州、海宁、杭州、诸暨、嵊州、绍兴、宁波、衢州、金华、永康、临海、台州、丽水和温州共14个市区,不同年度根据稻瘟病发生情况采集地略有不同;采集水稻类型为早籼稻、单季杂交籼稻、连作杂交晚籼稻、单季晚粳稻、连作晚粳稻和籼粳杂交稻,几乎包含本省种植的所有水稻类型。每年采集穗颈瘟标样约200份。

供试水稻品种:菌株生理小种鉴定所用水稻为7个中国稻瘟病菌生理小种鉴别品种,包括3个籼稻特特普、珍龙13、四丰43和4个粳稻东农363、关东51、合江18、丽江新团黑谷。所有品种均由浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所繁育、保存。

供试培养基:水琼脂培养基成分为琼脂粉20 g、蒸馏水1 000 mL;酵母固体培养基成分为可溶性淀粉10 g、酵母浸出膏2 g、琼脂粉20 g、蒸馏水1 000 mL;大麦粒培养基制作时将煮熟的大麦粒80 g置于容积为500 mL的三角瓶内,121 °C湿热灭菌15 min。

试剂及仪器:本试验中所有试剂均为国产分析纯。CX31RBSFA生物显微镜,奥林巴斯株式会社;SPX-250B-Z生化培养箱,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;RXZ-500E智能人工气候箱,宁波江南仪器厂。

1.2 方法

1.2.1 稻瘟病菌分离与产孢

采用分生孢子振落法对穗颈瘟标样进行病原菌分离,将标样上新萌发的分生孢子振落至水琼脂培养基上,在生物显微镜下挑取单个分生孢子至酵母固体培养基上进行单孢分离并保存(汪文娟等,2020)。参照Hao et al.(2021)方法根据菌株的水稻亚种来源、采集地和分子孢子产生能力对分离菌株进行筛选和分类。利用大麦粒培养基制备稻瘟病菌分生孢子悬浮液,将活化7 d的新鲜菌丝块置于500 mL三角瓶中的大麦粒表层中央,在28 °C生化培养箱中黑暗培养17 d。将培养好的大麦粒倒在双层医用脱脂纱布上,用蒸馏水将麦粒上的分生孢子洗脱,配制成浓度为 2×10^5 个/mL的孢子悬浮液。麦粒连带纱布的水分被挤掉并充分甩干,将麦粒在垫有一层纱布的25 cm×35 cm铝盘中均匀摊开,厚度为一层麦粒,铝盘上反盖1个大小相同的铝盘,置于28 °C生化培养箱中继续黑暗培养产生分生孢子。每间隔48 h洗脱1次孢子,方法同第1次洗脱方法,每瓶麦粒可根据试验要求重复洗脱6次(Hao et al.,2022)。

1.2.2 筛选菌株生理小种鉴定

将7个中国稻瘟病菌生理小种鉴别品种催芽,分别穴播于长25 cm、宽15 cm、高5 cm的育秧盆中,每个品种播10~15粒种子,待水稻苗长至3~4叶期时,采用人工喷雾接种法进行稻瘟病菌菌株生理小种鉴定。参考1.2.1方法配制分生孢子悬浮液进行接种,每盆接种用菌液量20 mL,接种后将稻苗放置于28 °C智能人工气候箱中黑暗保湿24 h,然后将人

工气候箱调光照条件至L 16 h:D 8 h继续培养,在光照期间每间隔2 h定时喷雾保湿,接种7 d后按照国际水稻所0~9级稻瘟病级标准进行调查(IRRI,2002;肖丹凤等,2013;Hao et al.,2021)。试验设3次重复。稻瘟分级标准为:0级,无任何病斑;1级,仅有针点状病斑;2级,有稍大褐色点状病斑,0.50≤病斑直径<1.00 mm;3级,圆形至椭圆形灰色病斑,边缘褐色,1.00≤病斑直径<2.00 mm;4级,2条叶脉之间椭圆形或狭长纺锤形病斑,病斑面积占叶面积的比例<2%;5级,典型稻瘟病斑,2%≤受害叶面积所占比例<10%;6级,典型稻瘟病斑,10%≤受害叶面积所占比例<25%;7级,典型稻瘟病斑,25%≤受害叶面积所占比例<50%;8级,典型稻瘟病斑,50%≤受害叶面积所占比例<75%;9级,典型稻瘟病斑,受害叶面积所占比例≥75%。每个鉴别品种取发病最重的3片叶病级数值,将3次试验的所有数值取平均值,并参考Hao et al.(2021)方法对各品种进行抗性评价。抗性评价标准为:0级为高抗;1、2级为抗病;3级为中抗;4、5级为中感;6、7级为感病;8、9级为高感。通过7个鉴别品种在各菌株上抗病(表现为高抗、抗或中抗)或感病(表现为中感、感病或高感)反应确定菌株所属稻瘟病菌种群及生理小种,ZA、ZB和ZC种群小种为籼型小种,即在籼稻鉴别品种上表现为感病反应;ZD、ZE、ZF和ZG种群小种为粳型小种,即在粳稻鉴别品种上表现为感病反应;ZH群小种在全部鉴别品种上均表现为抗病反应(孙漱元等,1986;凌忠专等,2004)。

1.2.3 种群和生理小种分析

根据2014—2023年各年度试验菌株数量,将每2年研究结果合并分析稻瘟病菌种群分布和生理小种组成情况,划分为2014—2015、2016—2017、2018—2019、2020—2021和2022—2023共5个年份段,各年份段的菌株数量分别为62、127、58、68和119株。计算各年份段稻瘟病菌菌株中各种群出现频率和各生理小种出现频率,种群出现频率=表现为该种群的菌株数/鉴定菌株总数×100%;生理小种出现频率=表现为该生理小种的菌株数/鉴定菌株总数×100%。在浙江省稻瘟病菌整体研究中,将出现频率超过5.0%且出现次数超过4次及以上的生理小种定为优势小种;在不同水稻亚种上病菌群体的研究中,将出现频率超过5.0%且出现次数超过3次及以上的生理小种定为优势小种;优势种群均为出现频率超过20.0%的种群(肖丹凤等,2013)。

2 结果与分析

2.1 浙江省稻瘟病菌种群

2014—2023年共分离获得2 182株稻瘟病菌单孢菌株,根据菌株的水稻亚种来源、采集地和分子孢子产生能力从中筛选获得434株稻瘟病菌代表菌株,包含189株籼菌、173株粳菌和72株籼粳菌。共鉴别出ZA种群有24个小种,ZB种群有17个小种,ZC种群有9个小种,ZD种群有5个小种,ZE种群有3个小种,ZF种群有2个小种,ZG种群有1个小种,

合计为3个籼型种群50个籼型小种和4个粳型种群11个粳型小种。籼型种群ZA、ZB和ZC在5个年份段中均有出现,并且该类型种群在4个年份段中合计出现频率均超过80.0%;ZA和ZB种群为4个年份段的优势种群,10年间合计出现频率分别为34.3%和31.3%;ZC种群在2个年份段中为优势种群。粳型种群ZE和ZG虽在所有年份段中均有出现,但只在2018—2019年份段为优势种群;粳型种群ZD和ZF出现频率相对较低,尤其是ZF种群,在2014—2015年份段和2022—2023年份段均未出现(表1)。

表1 浙江省稻瘟病菌种群组成、出现频率及优势种群

Table 1 Population composition, occurrence frequency, and dominant population of *Magnaporthe oryzae* in Zhejiang Province

采集年份 Year	籼型种群出现频率 Occurrence frequencies of the <i>indica</i> -type populations/%				粳型种群出现频率 Occurrence frequencies of the <i>japonica</i> -type populations/%					优势种群 Dominant population
	ZA	ZB	ZC	合计 Total	ZD	ZE	ZF	ZG	合计 Total	
	2014—2015	43.5	29.0	16.1	88.6	3.2	6.5	0.0	1.6	
2016—2017	36.2	21.3	22.8	80.3	3.1	8.7	5.5	2.4	19.7	ZA, ZC, ZB
2018—2019	15.5	15.5	12.1	43.1	12.1	20.7	1.7	22.4	56.9	ZG, ZE
2020—2021	22.1	45.6	23.5	91.2	0.0	1.5	2.9	4.4	8.8	ZB, ZC, ZA
2022—2023	43.7	42.9	4.2	90.8	5.0	3.4	0.0	0.8	9.2	ZA, ZB
2014—2023	34.3	31.3	15.5	81.1	4.4	7.4	2.3	4.8	18.9	ZA, ZB

2.2 浙江省稻瘟病菌生理小种

2014—2015、2016—2017、2018—2019、2020—2021和2022—2023年份段稻瘟病菌优势小种发生着阶段性变化,分别为ZA₁、ZB₁、ZC₁₅小种,ZA₁、ZC₁₃、ZB₁₃、ZC₁₅小种,ZG₁、ZE₃、ZD₃小种,ZB₁、ZC₁、ZB₁₃、ZA₃₃小种和ZB₁、ZA₁、ZB₅、ZA₂₅小种。在4个年份段中所有优势小种均为籼型小种,其中ZA₁和ZB₁为3个年份段的优势小种,ZB₁₃和ZC₁₅在2个年份段中为优势小种。粳型小种ZG₁、ZE₃和ZD₃虽在

2018—2019年为优势小种,但在其他年份段的出现频率均较低,研究鉴别出的另外8个粳型小种也均为零星出现。籼型小种ZA₁、ZA₉、ZA₃₃、ZA₄₉、ZB₁、ZB₉、ZB₁₃、ZC₅和粳型小种ZG₁共9个小种在所有年份段均有出现,但出现频率差异较大,其中ZA₉、ZA₄₉、ZB₉和ZC₅小种并不是优势小种;ZA₁₅、ZA₃₇、ZA₄₅、ZA₄₇、ZA₅₁、ZA₆₁、ZA₆₃、ZB₆、ZB₁₂、ZB₁₄、ZB₂₉、ZB₃₂、ZC₂、ZC₃、ZD₄、ZD₅和ZE₂共17个小种均只在1个年份段出现(表2)。

表2 浙江省稻瘟病菌生理小种组成、出现频率及优势小种

Table 2 Composition, occurrence frequency, and dominant race of physiological races of *Magnaporthe oryzae* in Zhejiang Province

生理小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%				
	2014—2015	2016—2017	2018—2019	2020—2021	2022—2023
ZA ₁	16.1	11.0	3.4	4.4	15.1
ZA ₃	—	0.8	—	1.5	0.8
ZA ₅	—	3.1	1.7	—	3.4
ZA ₉	3.2	3.1	3.4	2.9	2.5
ZA ₁₁	—	0.8	—	—	1.7
ZA ₁₃	3.2	1.6	—	—	4.2
ZA ₁₅	1.6	—	—	—	—
ZA ₁₇	—	0.8	—	—	4.2
ZA ₁₈	—	—	—	—	0.8
ZA ₁₉	1.6	0.8	—	—	0.8
ZA ₂₅	—	—	—	—	5.0
ZA ₂₉	—	—	—	—	1.7

续表2 Continued

生理小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%				
	2014—2015	2016—2017	2018—2019	2020—2021	2022—2023
ZA ₃₃	3.2	4.7	3.4	7.4	0.8
ZA ₃₅	1.6	0.8	—	1.5	0.8
ZA ₃₇	—	0.8	—	—	—
ZA ₄₁	—	0.8	—	1.5	—
ZA ₄₅	1.6	—	—	—	—
ZA ₄₇	—	0.8	—	—	—
ZA ₄₉	1.6	3.1	3.4	2.9	0.8
ZA ₅₁	1.6	—	—	—	—
ZA ₅₇	—	1.6	—	—	0.8
ZA ₅₉	4.8	1.6	—	—	—
ZA ₆₁	1.6	—	—	—	—
ZA ₆₃	1.6	—	—	—	—
ZB ₁	6.5	3.1	1.7	13.2	19.3
ZB ₃	—	—	—	4.4	3.4
ZB ₅	4.8	3.1	—	—	10.1
ZB ₆	—	0.8	—	—	—
ZB ₇	1.6	—	1.7	4.4	—
ZB ₉	4.8	1.6	1.7	4.4	1.7
ZB ₁₁	—	—	1.7	2.9	—
ZB ₁₂	—	—	—	—	0.8
ZB ₁₃	4.8	8.7	1.7	10.3	1.7
ZB ₁₄	—	—	—	—	1.7
ZB ₁₅	4.8	2.4	—	4.4	—
ZB ₁₇	—	—	1.7	—	0.8
ZB ₂₁	—	0.8	—	—	1.7
ZB ₂₅	1.6	—	1.7	—	0.8
ZB ₂₉	—	—	—	1.5	—
ZB ₃₁	—	0.8	1.7	—	0.8
ZB ₃₂	—	—	1.7	—	—
ZC ₁	—	2.4	—	11.8	0.8
ZC ₂	—	—	—	—	0.8
ZC ₃	3.2	—	—	—	—
ZC ₅	1.6	1.6	1.7	2.9	1.7
ZC ₇	—	0.8	—	1.5	—
ZC ₉	—	2.4	—	2.9	0.8
ZC ₁₁	1.6	0.8	—	—	—
ZC ₁₃	3.2	9.4	5.2	4.4	—
ZC ₁₅	6.5	5.5	5.2	—	—
ZD ₁	1.6	—	1.7	—	0.8
ZD ₃	1.6	3.1	6.9	—	—
ZD ₄	—	—	—	—	0.8
ZD ₅	—	—	—	—	2.5
ZD ₇	—	—	3.4	—	0.8
ZE ₁	1.6	3.9	5.2	—	1.7
ZE ₂	—	—	—	—	1.7
ZE ₃	4.8	4.7	15.5	1.5	—
ZF ₁	—	4.7	1.7	1.5	—
ZF ₂	—	0.8	—	1.5	—
ZG ₁	1.6	2.4	22.4	4.4	0.8

优势小种：在各年份段稻瘟病菌菌株中出现频率超过5.0%且出现次数超过4次及以上的生理小种。Dominant race: Physiological races with the occurrence frequency exceeding 5.0% and that appear more than four times or more in *Magnaporthe oryzae* strains in various year ranges.

2.3 不同水稻亚种上稻瘟病菌种群及生理小种

2.3.1 籼菌

2014—2023年共鉴定了189个籼菌的生理小种,鉴别出ZA种群有18个小种,ZB种群有13个小种,ZC种群有7个小种,ZD种群有4个小种,ZE种群有2个小种,ZF和ZG种群均有1个小种,合计为3个籼型种群38个籼型小种和4个粳型种群8个粳型小种。籼型种群ZA、ZB和ZC在所有年份段均有出现,其中ZB种群为4个年份段的优势种群,10年

间合计出现频率为40.2%,是籼菌中出现频率最高的种群;其次是ZA和ZC种群,均在3个年份段为优势种群,10年间合计出现频率分别为27.5%和17.5%;籼型种群在其中4个年份段合计出现频率均超过80.0%,在2020—2021年份段更是达到100.0%。在2018—2019年份段粳型种群ZE出现频率为27.8%,是所有鉴定籼菌中唯一的粳型优势种群。ZD、ZF和ZG种群在籼菌中出现频率均较低,尤其是ZF种群,在3个年份段未出现(表3)。

表3 不同水稻亚种上稻瘟病菌种群组成、出现频率及优势种群

Table 3 Population composition, occurrence frequency, and dominant population of *Magnaporthe oryzae* on different rice subspecies

菌株类型 Type of isolate	采集年份 Year	籼型种群出现频率 Occurrence frequencies of the <i>indica</i> -type populations/%				粳型种群出现频率 Occurrence frequencies of the <i>japonica</i> -type populations/%					优势种群 Dominant population
		ZA	ZB	ZC	合计 Total	ZD	ZE	ZF	ZG	合计 Total	
籼菌	2014—2015	44.4	33.3	15.6	93.3	0.0	4.4	0.0	2.2	6.7	ZA, ZB
Isolates from <i>indica</i> rice	2016—2017	33.3	24.1	25.9	83.3	3.7	7.4	1.9	3.7	16.7	ZA, ZC, ZB
	2018—2019	5.6	16.7	22.2	44.4	11.1	27.8	5.6	11.1	55.6	ZE, ZC
	2020—2021	5.3	68.4	26.3	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	ZB, ZC
	2022—2023	22.6	60.4	5.7	88.7	9.4	1.9	0.0	0.0	11.3	ZB, ZA
	2014—2023	27.5	40.2	17.5	85.2	4.8	6.3	1.1	2.6	14.8	ZB, ZA
粳菌	2014—2015	45.5	18.2	18.2	81.8	18.2	0.0	0.0	0.0	18.2	ZA
Isolates from <i>japonica</i> rice	2016—2017	44.9	14.3	18.4	77.6	4.1	10.2	6.1	2.0	22.4	ZA
	2018—2019	24.2	12.1	9.1	45.5	9.1	15.2	0.0	30.3	54.5	ZG, ZA
	2020—2021	27.5	37.5	22.5	87.5	0.0	2.5	5.0	5.0	12.5	ZB, ZA, ZC
	2022—2023	50.0	40.0	5.0	95.0	2.5	2.5	0.0	0.0	5.0	ZA, ZB
	2014—2023	38.2	25.4	14.5	78.1	4.6	6.9	2.9	7.5	21.9	ZA, ZB
籼粳菌	2014—2015	33.3	16.7	16.7	66.7	0.0	33.3	0.0	0.0	33.3	ZA, ZE
Isolates from <i>indica-japonica</i> hybrid rice	2016—2017	25.0	29.2	25.0	79.2	0.0	8.3	12.5	0.0	20.8	ZB, ZA, ZC
	2018—2019	0.0	28.6	0.0	28.6	28.6	28.6	0.0	14.3	71.4	ZB, ZD, ZE
	2020—2021	33.3	33.3	22.2	88.9	0.0	0.0	0.0	11.1	11.1	ZA, ZB, ZC
	2022—2023	76.9	11.5	0.0	88.5	0.0	11.5	0.0	0.0	11.5	ZA
	2014—2023	43.0	22.2	12.5	77.7	2.8	12.5	4.2	2.8	22.3	ZA, ZB

2014—2015、2016—2017、2018—2019、2020—2021和2022—2023年份段籼菌优势小种发生着阶段性变化,分别为ZA₁、ZB₁、ZB₅、ZB₁₃、ZC₁₅小种,ZC₁₃、ZB₁₃、ZA₅、ZB₁、ZA₁、ZC₁₅小种,ZE₃小种,ZB₁、ZB₁₃小种和ZB₁、ZB₅、ZA₁、ZB₃、ZD₅小种。2018—2019和2022—2023年份段分别出现1个粳型优势小种,其他优势小种均为籼型,其中ZB₁小种在4个年份段、ZA₁和ZB₁₃小种在3个年份段为优势小种,其次是ZB₅和ZC₁₅小种。粳型小种ZE₃在2018—2019年份段为优势小种,但粳型小种在籼菌中出现频率较低(表4)。

2.3.2 粳菌

2014—2023年共鉴定了173个粳菌的生理小

种,鉴别出ZA种群有18个小种,ZB种群有16个小种,ZC种群有6个小种,ZD种群有3个小种,ZE种群有2个小种,ZF种群有2个小种,ZG种群有1个小种,合计为3个籼型种群40个籼型小种和4个粳型种群8个粳型小种。籼型种群ZA在所有年份段均为优势种群,10年间合计出现频率为38.2%,是籼菌中出现频率最高的种群;其次是ZB种群,10年间合计出现频率为25.4%;籼型种群在其中4个年份段合计出现频率均超过75.0%,在2022—2023年份段更是达到95.0%。在2018—2019年份段粳型种群ZG出现频率为30.3%,是所有鉴定粳菌中唯一的粳型优势种群。ZD、ZE和ZF种群在粳菌中出现频率均较低,尤其是ZF种群,在3个年份段未出现(表3)。

表4 不同水稻亚种上稻瘟病菌生理小种组成、出现频率及优势小种

Table 4 Composition, occurrence frequency, and dominant race of physiological races of *Magnaporthe oryzae* on different rice subspecies

菌株类型 Type of isolate	2014—2015		2016—2017		2018—2019		2020—2021		2022—2023	
	小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%	小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%	小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%	小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%	小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%
籼菌 Isolates from <i>indica</i> rice	ZA ₁	22.2	ZA ₁	5.6	ZA ₃₃	5.6	ZA ₃₃	5.3	ZA ₁	7.5
	ZA ₉	4.4	ZA ₅	7.4	ZB ₇	5.6	ZB ₁	15.8	ZA ₃	1.9
	ZA ₁₃	4.4	ZA ₉	3.7	ZB ₁₃	5.6	ZB ₃	5.3	ZA ₅	1.9
	ZA ₃₃	4.4	ZA ₁₃	1.9	ZB ₃₂	5.6	ZB ₇	5.3	ZA ₉	1.9
	ZA ₄₅	2.2	ZA ₁₉	1.9	ZC ₁₃	11.1	ZB ₉	10.5	ZA ₁₁	1.9
	ZA ₄₉	2.2	ZA ₃₃	3.7	ZC ₁₅	11.1	ZB ₁₁	10.5	ZA ₁₇	3.8
	ZA ₅₉	2.2	ZA ₃₅	1.9	ZD ₃	11.1	ZB ₁₃	15.8	ZA ₁₈	1.9
	ZA ₆₁	2.2	ZA ₃₇	1.9	ZE ₁	5.6	ZB ₁₅	5.3	ZA ₂₉	1.9
	ZB ₁	6.7	ZA ₄₇	1.9	ZE ₃	22.2	ZC ₁	10.5	ZB ₁	22.6
	ZB ₅	6.7	ZA ₄₉	1.9	ZF ₁	5.6	ZC ₅	5.3	ZB ₃	7.5
	ZB ₇	2.2	ZA ₅₉	1.9	ZG ₁	11.1	ZC ₇	5.3	ZB ₅	18.9
	ZB ₉	4.4	ZB ₁	7.4			ZC ₁₃	5.3	ZB ₉	3.8
	ZB ₁₃	6.7	ZB ₁₃	11.1					ZB ₁₃	1.9
	ZB ₁₅	4.4	ZB ₁₅	3.7					ZB ₁₇	1.9
	ZB ₂₅	2.2	ZB ₃₁	1.9					ZB ₂₁	3.8
	ZC ₃	2.2	ZC ₁	1.9					ZC ₂	1.9
	ZC ₅	2.2	ZC ₅	1.9					ZC ₅	3.8
	ZC ₁₃	4.4	ZC ₁₃	16.7					ZD ₄	1.9
	ZC ₁₅	6.7	ZC ₁₅	5.6					ZD ₅	5.7
	ZE ₁	2.2	ZD ₃	3.7					ZD ₇	1.9
	ZE ₃	2.2	ZE ₁	3.7					ZG ₁	1.9
	ZG ₁	2.2	ZE ₃	3.7						
			ZF ₁	1.9						
			ZG ₁	3.7						
粳菌 Isolates from <i>japonica</i> rice	ZA ₁₉	9.1	ZA ₁	14.3	ZA ₁	6.1	ZA ₁	7.5	ZA ₁	7.5
	ZA ₃₅	9.1	ZA ₃	2.0	ZA ₅	3.0	ZA ₃	2.5	ZA ₅	2.5
	ZA ₅₁	9.1	ZA ₉	4.1	ZA ₉	6.1	ZA ₉	2.5	ZA ₉	5.0
	ZA ₅₉	9.1	ZA ₁₁	2.0	ZA ₃₃	3.0	ZA ₃₃	5.0	ZA ₁₃	5.0
	ZA ₆₃	9.1	ZA ₁₃	2.0	ZA ₄₉	6.1	ZA ₃₅	2.5	ZA ₁₇	5.0
	ZB ₁	9.1	ZA ₁₇	2.0	ZB ₁	3.0	ZA ₄₁	2.5	ZA ₁₉	2.5
	ZB ₉	9.1	ZA ₃₃	6.1	ZB ₁₁	3.0	ZA ₄₉	5.0	ZA ₂₅	12.5
	ZC ₁₁	9.1	ZA ₄₁	2.0	ZB ₁₇	3.0	ZB ₁	10.0	ZA ₂₉	2.5
	ZC ₁₅	9.1	ZA ₄₉	6.1	ZB ₂₅	3.0	ZB ₃	5.0	ZA ₃₅	2.5
	ZD ₁	9.1	ZA ₅₇	4.1	ZC ₅	3.0	ZB ₇	2.5	ZA ₄₉	2.5
	ZD ₃	9.1	ZB ₅	2.0	ZC ₁₃	3.0	ZB ₉	2.5	ZA ₅₇	2.5
			ZB ₆	2.0	ZC ₁₅	3.0	ZB ₁₃	10.0	ZB ₁	22.5
			ZB ₉	4.1	ZD ₃	3.0	ZB ₁₅	5.0	ZB ₅	5.0
			ZB ₁₃	2.0	ZD ₇	6.1	ZB ₂₉	2.5	ZB ₁₂	2.5
			ZB ₁₅	2.0	ZE ₁	6.1	ZC ₁	10.0	ZB ₁₃	2.5
			ZB ₂₁	2.0	ZE ₃	9.1	ZC ₅	2.5	ZB ₁₄	2.5

续表4 Continued

菌株类型 Type of isolate	2014—2015		2016—2017		2018—2019		2020—2021		2022—2023	
	小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%	小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%	小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%	小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%y	小种 Race	出现频率 Occurrence frequency/%
			ZC ₁	4.1	ZG ₁	30.3	ZC ₉	5.0	ZB ₂₅	2.5
			ZC ₅	2.0			ZC ₁₃	5.0	ZB ₃₁	2.5
			ZC ₉	2.0			ZE ₃	2.5	ZC ₁	2.5
			ZC ₁₃	4.1			ZF ₁	2.5	ZC ₉	2.5
			ZC ₁₅	6.1			ZF ₂	2.5	ZD ₁	2.5
			ZD ₃	4.1			ZG ₁	5.0	ZE ₁	2.5
			ZE ₁	4.1						
			ZE ₃	6.1						
			ZF ₁	6.1						
			ZG ₁	2.0						
籼粳菌 Isolates from <i>indica</i> - <i>japonica</i> hybrid rice	ZA ₁₅	16.7	ZA ₁	16.7	ZB ₉	14.3	ZA ₉	11.1	ZA ₁	42.3
	ZA ₅₉	16.7	ZA ₃₃	4.2	ZB ₃₁	14.3	ZA ₃₃	22.2	ZA ₅	7.7
	ZB ₁₅	16.7	ZA ₅₉	4.2	ZD ₁	14.3	ZB ₁	22.2	ZA ₁₁	3.8
	ZC ₃	16.7	ZB ₅	12.5	ZD ₃	14.3	ZB ₇	11.1	ZA ₁₃	11.5
	ZE ₃	33.3	ZB ₁₃	16.7	ZE ₃	28.6	ZC ₁	22.2	ZA ₁₇	3.8
			ZC ₇	4.2	ZG ₁	14.3	ZG ₁	11.1	ZA ₂₅	3.8
			ZC ₉	8.3					ZA ₃₃	3.8
			ZC ₁₁	4.2					ZB ₁	7.7
			ZC ₁₃	4.2					ZB ₁₄	3.8
			ZC ₁₅	4.2					ZE ₁	3.8
			ZE ₁	4.2					ZE ₂	7.7
			ZE ₃	4.2						
			ZF ₁	8.3						
			ZF ₂	4.2						

优势小种: 在各年份段稻瘟病菌菌株中出现频率超过5.0%且出现次数超过3次及以上的生理小种。Dominant race: Physiological races with the occurrence frequency exceeding 5.0% and that appear more than three times or more in *Magnaporthe oryzae* strains in various year ranges.

在2014—2015年份段粳菌中没有优势小种; 2016—2017、2018—2019、2020—2021和2022—2023年份段粳菌优势小种发生着阶段性变化,分别为ZA₁、ZA₃₃、ZA₄₉、ZC₁₅、ZE₃、ZF₁小种,ZG₁、ZE₃小种,ZB₁、ZB₁₃、ZC₁、ZA₁小种和ZB₁、ZA₂₅、ZA₁小种。2016—2017和2018—2019年份段分别出现2个粳型优势小种,其他优势小种均为籼型,其中ZA₁在3个年份段为优势小种,其次是ZB₁小种。粳型小种ZE₃在2个年份段为优势小种,但粳型小种在粳菌中出现频率仍较低(表4)。

2.3.3 籼粳菌

本研究共鉴定了72个籼粳菌的生理小种,鉴别出ZA种群有11个小种,ZB种群有8个小种,ZC种群有7个小种,ZD种群有2个小种,ZE种群有3个小种,ZF种群有2个小种,ZG种群有1个小种,合计

为3个籼型种群26个籼型小种和4个粳型种群8个粳型小种。籼型种群ZA出现在4个年份段并均为优势种群,10年间合计出现频率为43.0%,是籼粳菌中出现频率最高的种群;ZB种群在所有年份段均出现并为3个年份段的优势种群,10年间合计出现频率为22.2%;其次是ZC种群,在2个年份段为优势种群;籼型种群在4个年份段合计出现频率均超过65.0%。粳型种群ZE在2014—2015年份段、ZD、ZE种群在2018—2019年份段为优势种群,但ZD、ZF和ZG种群在籼粳菌中整体出现频率较低,尤其是ZD和ZF种群,在4个年份段未出现(表3)。

有3个年份段籼粳菌中没有优势小种;在2016—2017年份段和2022—2023年份段优势小种均为籼型小种,其中ZA₁在这2个年份段均是优势小种,在2022—2023年份段出现频率达到42.3%(表4)。

3 讨论

浙江省北部以种植粳稻为主,中部为籼稻和粳稻混栽,南部主要种植籼稻,籼粳杂交稻在全省也有较大的种植面积,因此浙江省属于典型的不同亚种混栽区,其种植类型在中国很丰富(Zhu et al., 2018; 郝中娜等, 2019; 施俊生等, 2019)。中国稻瘟病菌生理小种鉴别品种包括3个籼稻和4个粳稻,多年的应用结果表明,其分别对籼稻区和粳稻区的生理小种有较高的鉴别能力,与其他鉴别品种相比,更适用于浙江省稻瘟病菌种群和生理小种的研究(凌忠专等, 2000; 2004)。本研究从434株稻瘟病菌菌株中共鉴别出3个籼型种群50个籼型小种和4个粳型种群11个粳型小种,表明本试验所用的鉴别品种对浙江省稻瘟病菌菌株有较强的生理小种鉴别能力(孙漱元等, 1986; 肖丹凤等, 2013)。相比于福建、江西和山东等省鉴别的稻瘟病菌生理小种数量,浙江省稻瘟病菌生理小种的组成呈现多样化趋势,资源也更为丰富(肖宇龙等, 2018; 邓云等, 2019; 房文文等, 2020)。

本研究发现,在2014—2023年浙江省稻瘟病菌种群发生动态相对稳定,优势种群为籼型种群ZA和ZB,其次是ZC种群,籼型种群在该省处于绝对优势地位,这与我国西南稻区、华南稻区和西北稻区情况相近,与东北稻区和华北稻区情况相反,可能由不同地域种植水稻类型差异所致(肖丹凤等, 2013)。接种稻瘟病菌籼型种群后表现为感病的鉴别品种数量整体上较接种粳型种群后表现为感病的品种数量多,因此籼型种群的致病性普遍较粳型种群强(孙漱元等, 1986)。浙江省稻瘟病菌优势小种为籼型小种ZA₁和ZB₁,其次是小种ZB₁₃和ZC₁₅,籼型优势小种的数量明显超过粳型优势小种。接种ZA₁小种后7个鉴别品种均表现为感病反应,该小种是致病性最强的小种;接种ZB₁小种后除特特普外其他6个鉴别品种均表现为感病反应,该小种致病性也很强,说明浙江省稻瘟病菌菌株的致病性整体呈现出较强的态势(孙漱元等, 1986; 肖丹凤等, 2013)。

不同水稻亚种上稻瘟病菌种群和生理小种有所差异,通常籼稻品种上采集的菌株多数属于籼型小种,粳稻品种上采集的菌株以粳型小种为主(孙漱元等, 1986)。但是,本研究所筛选出的菌株不完全符合这个现象,在籼菌中籼型种群和籼型小种占优势,虽然在粳菌和籼粳菌中仍是籼型种群和籼型小种更占优势,但出现了个别优势粳型种群和粳型小

种。籼粳杂交稻品种根据遗传背景分为中间类型、偏籼型和偏粳型,浙江省的籼粳杂交稻品种以偏粳型居多(林建荣等, 2016; 阮晓亮等, 2016; Xu et al., 2022),这可能是籼菌与粳菌的研究结果较相似的原因。

籼粳杂交稻是浙江省水稻育种和种植的特色,近些年,在浙江省种子管理总站组织的水稻品种试验中该类型水稻参试品种数量迅速增加,审定品种数量也逐年增多(阮晓亮等, 2016)。籼粳杂交稻综合性状优良,尤其是产量优势较为显著,因此这些年在浙江省的推广种植面积逐年加大,并且该类型品种抗病性特别是稻瘟病抗性普遍较好,所以在本研究中采集、分离到的菌株偏少一些,但结果仍可说明部分问题。本研究从72株籼粳菌中共鉴别出3个籼型种群26个籼型小种和4个粳型种群8个粳型小种,表明籼粳菌生理小种组成也较为丰富,并且在籼粳菌中有4个优势种群,是优势种群最多也是唯一有粳型优势种群的菌株类型。相比于籼菌和粳菌,籼粳菌的种群和生理小种更具特色。

本研究筛选出的稻瘟病菌菌株除了可用于研究浙江省不同水稻亚种上种群分布及生理小种组成外,还为该省水稻新品种稻瘟病抗性鉴定试验提供备选接种菌株,因此挑选出的菌株均为分生孢子产生能力较强的菌株,这导致研究结果可能存在局限性。目前,本试验只是对浙江省籼菌、粳菌和籼粳菌的种群分布及优势种群、生理小种组成及优势小种进行了初步的研究,之后仍需进一步通过分子生物学手段研究不同类型菌株差异的分子机理,以便更好地明确源自不同水稻亚种上稻瘟病菌差异的原因。

参 考 文 献 (References)

- Couch BC, Kohn LM. 2002. A multilocus gene genealogy concordant with host preference indicates segregation of a new species, *Magnaporthe oryzae*, from *M. grisea*. *Mycologia*, 94(4): 683–693
- Deng Y, Su Y, Xie DR, Rao RH, Liu LQ, Xu Q, Lian S, Wu JJ. 2019. Evaluation of the resistance of rice variety resources to blast pathogen population in Fujian. *Fujian Science and Technology of Rice and Wheat*, 37(1): 12–15 (in Chinese) [邓云, 苏妍, 谢冬容, 饶溶晖, 刘龙钦, 许卿, 连珊, 吴娟娟. 2019. 福建省稻瘟病生理小种及品种资源抗性鉴定. *福建稻麦科技*, 37(1): 12–15]
- Dong LY, Liu SF, Tian WK, Zhou WM, Zhang XW, Li XD, Yang QZ. 2023. Pathogenicity and mating type of rice blast fungus *Magnaporthe oryzae* isolates in Yunnan Province. *Journal of Plant Protection*, 50(2): 316–324 (in Chinese) [董丽英, 刘树芳, 田维遑,

- 周伍民, 张先闻, 李迅东, 杨勤忠. 2023. 云南省稻瘟病菌群体的致病性分析及交配型分布. 植物保护学报, 50(2): 316-324]
- Fang WW, Yang J, Xue F, Wang HF, Guo T, Jin GX, Zhang RH, Liu LJ, Jiang YF, Zhang HX, et al. 2020. Physiological race analysis of some *Pyricularia oryzae* populations in Shandong Province. Shandong Agricultural Sciences, 52(1): 111-114 (in Chinese) [房文文, 杨军, 薛芳, 王海凤, 郭涛, 金桂秀, 张瑞华, 刘丽娟, 姜艳芳, 张焕霞, 等. 2020. 山东省部分稻瘟病菌生理小种分析. 山东农业科学, 52(1): 111-114]
- Hao ZN, Mao XQ, Chai RY, Wang YL, Sun GC. 2019. Analysis of resistance to rice blast in *indica* rice varieties from rice regional trials in the middle and lower reaches of the Yangtze River in China. Chinese Journal of Rice Science, 33(2): 152-157 (in Chinese) [郝中娜, 毛雪琴, 柴荣耀, 王艳丽, 孙国昌. 2019. 国家长江中下游稻区品种区域试验籼稻稻瘟病抗性分析. 中国水稻科学, 33(2): 152-157]
- Hao ZN, Qiu HP, Zhang Z, Chai RY, Wang SZ, Wang YL, Wang JY, Sun GC. 2022. Mass cultivation of conidia of *Pyricularia oryzae*. Journal of Plant Pathology, 104(1): 363-368
- Hao ZN, Zhang HZ, Zhu XD, Yang SH, Tao RX. 2006. Pathogenicity analysis of *Magnaporthe grisea* derive from *indica* and *japonica* rice. Journal of Plant Protection, 33(4): 337-340 (in Chinese) [郝中娜, 张红志, 朱旭东, 杨仕华, 陶荣祥. 2006. 籼、粳稻上分离的稻瘟病菌致病性分析. 植物保护学报, 33(4): 337-340]
- Hao ZN, Zhang Z, Qiu HP, Chai RY, Wang SZ, Wang YL, Wang JY, Sun GC. 2021. Differences in pathogenicity and physiologic races between *Pyricularia oryzae* isolates from *indica* and *japonica* rice varieties. Journal of Plant Pathology, 103(4): 1141-1146
- International Rice Research Institute (IRRI). 2002. Standard evaluation system for rice (SES). Manila: IRRI, pp. 15-16
- Lin JR, Song XW, Wu MG, Cheng SH. 2016. Breeding technology innovation of *indica-japonica* super hybrid rice and varietal breeding. Scientia Agricultura Sinica, 49(2): 207-218 (in Chinese) [林建荣, 宋听蔚, 吴明国, 程式华. 2016. 籼粳超级杂交稻育种技术创新与品种培育. 中国农业科学, 49(2): 207-218]
- Ling ZZ, Lei CL, Wang JL. 2004. Review and prospect for study of physiologic races on rice blast fungus (*Pyricularia grisea*). Scientia Agricultura Sinica, 37(12): 1849-1859 (in Chinese) [凌忠专, 雷财林, 王久林. 2004. 稻瘟病菌生理小种研究的回顾与展望. 中国农业科学, 37(12): 1849-1859]
- Ling ZZ, Mew T, Wang JL, Lei CL, Huang N. 2000. Development of Chinese near isogenic lines of rice and their differentiating ability to pathogenic races of *Pyricularia grisea*. Scientia Agricultura Sinica, 33(4): 1-8 (in Chinese) [凌忠专, Mew T, 王久林, 雷财林, 黄宁. 2000. 中国水稻近等基因系的育成及其稻瘟病菌生理小种鉴别能力. 中国农业科学, 33(4): 1-8]
- Pak D, You MP, Lanoiselet V, Barbetti MJ. 2021. Management of rice blast (*Pyricularia oryzae*): implications of alternative hosts. European Journal of Plant Pathology, 161(2): 343-355
- Ruan XL, Shi JY, Lu YF, Chen YP, Huai Y, Li Y. 2016. Development and prospect of *indica-japonica* hybrid late rice cultivar in Zhejiang Province. China Rice, 22(4): 8-12 (in Chinese) [阮晓亮, 石建尧, 陆永法, 陈叶平, 怀燕, 李燕. 2016. 浙江省籼粳杂交晚稻品种发展与展望. 中国稻米, 22(4): 8-12]
- Shi JS, Wang RB, Yu XM, Li Y. 2019. Character analysis of approval rice varieties in Zhejiang Province. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 60(6): 865-866, 868 (in Chinese) [施俊生, 王仁杯, 郁晓敏, 李燕. 2019. 浙江省水稻审定品种主要性状分析. 浙江农业科学, 60(6): 865-866, 868]
- Sun SY, Jin MZ, Zhang ZM, Tao XL, Tao RX, Fang DF. 1986. Rice blast disease and its prevention and control. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, pp. 26-36 (in Chinese) [孙漱元, 金敏忠, 张志明, 陶心兰, 陶荣祥, 方道法. 1986. 水稻稻瘟病及其防治. 上海: 上海科学技术出版社, pp. 26-36]
- Wang WJ, Su J, Yang JY, Chen S, Lu GD, Zhu XY. 2020. Identification of physiological race and analysis avirulent genes for isolates of rice blast infecting from rice variety of Meixiangzhan 2. Journal of Plant Protection, 47(3): 572-582 (in Chinese) [汪文娟, 苏菁, 杨健源, 陈深, 鲁国东, 朱小源. 2020. 侵染优质稻美香占2号的稻瘟病菌生理小种鉴定及无毒基因分析. 植物保护学报, 47(3): 572-582]
- Xiao DF, Zhang PS, Wang L, Huang SW. 2013. Research progress on populations and physiological race distribution of rice blast pathogen (*Magnaporthe grisea*) in China. Chinese Journal of Rice Science, 27(3): 312-320 (in Chinese) [肖丹凤, 张佩胜, 王玲, 黄世文. 2013. 中国稻瘟病菌种群分布及优势生理小种的研究进展. 中国水稻科学, 27(3): 312-320]
- Xiao YL, Li XM, Yu CY, Lei JG, Wang ZQ, Wang XL, He H, Qiu ZH, Xiao YH. 2018. Pathogenicity of physiological races of rice blast disease in Jiangxi Province, blast-resistant performance and application evaluation of a set of new high-quality rice germplasms. Acta Agriculturae Jiangxi, 30(4): 9-13 (in Chinese) [肖宇龙, 李湘民, 余传元, 雷建国, 王智权, 王晓玲, 何虎, 邱在辉, 肖宇华. 2018. 江西省稻瘟病生理小种致病力测定及1组水稻优质新种质的稻瘟病抗性表现及应用评估. 江西农业学报, 30(4): 9-13]
- Xu D, Zhu Y, Chen ZF, Han C, Hu L, Qiu S, Wu P, Liu GD, Wei HY, Zhang HC. 2020. Yield characteristics of *japonica/indica* hybrids rice in the middle and lower reaches of the Yangtze River in China. Journal of Integrative Agriculture, 19(10): 2394-2406
- Zhu L, Sun J, Wu GC, Wang YN, Zhang H, Wang L, Qian HF, Qi XG. 2018. Identification of rice varieties and determination of their geographical origin in China using Raman spectroscopy. Journal of Cereal Science, 82: 175-182

(责任编辑:王璇)