

马军韬,张国民,张丽艳,等. 黑龙江省不同积温带水稻品种抗穗颈瘟能力分析[J]. 江苏农业科学,2022,50(13):13-19.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.13.003

# 黑龙江省不同积温带水稻品种抗穗颈瘟能力分析

马军韬<sup>1</sup>, 张国民<sup>1</sup>, 张丽艳<sup>1</sup>, 邓凌韦<sup>1</sup>, 王永力<sup>1</sup>, 高洪儒<sup>1</sup>, 王南博<sup>1</sup>, 宫秀杰<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院生物技术研究所,黑龙江哈尔滨 150028; 2. 黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所,黑龙江哈尔滨 150028)

**摘要:**为明确黑龙江省不同积温带水稻品种的抗穗颈瘟能力,以 69 份水稻品种为寄主,210 株稻瘟病菌菌株为接种体,按照积温带通过人工接种方式完成鉴定。结果显示,以抗性频率 80.00% 为阈值,共筛选到松 836、中科 804 等抗穗颈瘟品种 11 份。应用联合抗病性分析,共预测出中科 804 & 中科发 5 号、中科发 5 号 & 松 836 等 10 个组合适合搭配种植。以相似系数 0.70 为阈值,黑龙江省第一积温带、第二积温带和第三积温带及以上品种分别划分为 3、2、3 个抗性类群;各积温带抗性相似度最高的品种分别为中科 804 和中科发 5 号、绥粳 8 和龙粳 21、龙粳 3047 和龙粳 3407。

**关键词:**水稻品种;穗颈瘟;人工接种;抗性频率;联合抗病性

**中图分类号:** S435.111.4<sup>+</sup>1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)13-0013-07

水稻稻瘟病是由稻瘟病菌 (*Magnaporthe oryzae*) 引起的一种世界性水稻病害<sup>[1]</sup>,也是黑龙江省的主要病害之一,严重制约着当地水稻生产。其中,穗颈瘟造成的产量损失最为直接和严重。2005 年、2006 年黑龙江省水稻稻瘟病大面积发生,其绝大部分损失是由穗颈瘟造成的<sup>[2]</sup>。近年来,随着植保无人机技术的普遍推广及农民防病意识的提高,大规模、多频次的药剂防控措施得以实现,杀菌剂的使用量猛增,在控制住稻瘟病大流行的同时,也对环境造成了巨大污染,过度用药现象频繁,并不

是病害的最佳解决途径。综合研究表明,合理利用品种的自身抗性可以有效控制病害,且操作轻简、生态环保。而品种合理利用的前提条件则是对其抗穗颈瘟能力进行区域化精准鉴定。

关于水稻品种的抗稻瘟病鉴定,从鉴定类型来说,多数研究是进行的苗期叶瘟鉴定,如徐志健等的研究<sup>[3-5]</sup>。少数研究进行的是成株期穗颈瘟鉴定,韩豪杰等于 2018—2019 年应用田间自然感病的鉴定方式分析了 24 个水稻品种在鄂西南 10 个地点的抗穗颈瘟情况,结果显示,24 个品种中,只有荣优华占 2 年在不同地点都没有发生穗颈瘟;只有荣优华占和中 9 优恩 66 2 年在不同地点的抗、感反应型表现一致<sup>[6]</sup>。王小秋等应用注射接种混合菌株的鉴定方式分析了江苏省 158 份粳稻新品种/系的抗穗颈瘟情况,结果显示,158 份品种中,病级在 7 级

收稿日期:2021-08-18

基金项目:黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(编号:HNK2019CX14);国家重点研发计划(编号:2018YFD0200202-5)。

作者简介:马军韬(1979—),男,吉林东丰人,硕士,副研究员,主要从事水稻病害及抗病育种研究。E-mail:mmmjjt@163.com。

[22] 张述宽. 广西玉米育种目标及种质改良对策[J]. 广西农业科学,2004,35(2):108-110.

[23] 时成俏. 广西玉米生产发展历程、存在问题及对策[J]. 中国种业,2019(4):24-29.

[24] 邹成林,谭 华,郑德波,等. 广西玉米品种开花期抗旱性鉴定与评价[J]. 干旱地区农业研究,2019,37(2):136-143.

[25] 邹成林,翟瑞宁,钦 洁,等. 不同浓度 PEG 模拟干旱胁迫对玉米种子萌发特性的影响[J]. 玉米科学,2021,29(6):68-75.

[26] Zhao X Q, Peng Y L, Zhang J W, et al. Identification of QTLs and meta-QTLs for seven agronomic traits in multiple maize populations under well-watered and water-stressed conditions[J]. Crop Science, 2018, 58(2):507-520.

[27] Betrán F J, Beck D, Bänziger M, et al. Secondary traits in parental

inbreds and hybrids under stress and non-stress environments in tropical maize[J]. Field Crops Research, 2003, 83(1):51-65.

[28] 成 锴,苏晓慧,栗建枝,等. PEG-6000 胁迫下玉米品种萌发期抗旱性鉴定与评价[J]. 玉米科学,2017,25(5):85-90.

[29] 王艺陶,周宇飞,李丰先,等. 基于主成分和 SOM 聚类分析的高粱品种萌发期抗旱性鉴定与分类[J]. 作物学报,2014,40(1):110-121.

[30] 吴文荣. 玉米不同品种芽苗期抗旱性及指标的研究[D]. 北京:中国农业科学院,2008:12.

[31] 兰巨生,胡福顺,张景瑞. 作物抗旱指数的概念和统计方法[J]. 华北农学报,1990,5(2):20-25.

[32] 鲁晓民,曹丽茹,张 新,等. PEG 胁迫下玉米自交系苗期抗旱性鉴定及评价[J]. 河南农业科学,2017,46(5):39-44.

或以上的品种达到了 72% ,病级在 3 级以下的品种只有 35 份<sup>[7]</sup>。此外,张善磊等开展的类似试验也都应用的是注射接种混合菌株的鉴定方式<sup>[8-9]</sup>。

从水稻穗颈瘟的鉴定方式来说,田间自然感病鉴定方式应用较多,如黄凌洪等的研究<sup>[10-13]</sup>。该类鉴定方式虽操作轻简,但受环境条件影响较多,准确性不好把握。相对而言,人工接种鉴定的准确性则好很多,但具体选用哪种人工接种鉴定方式其结果也有明显差别。汪真等应用注射接种、带穗剪颖接种、喷雾接种、吸管滴液接种等方式完成了 2 份水稻品种的抗性鉴定试验,结果显示,4 种接种方式下,供试品种的发病率平均值分别介于 82. 90% ~ 88. 45%、7. 95% ~ 9. 85%、29. 15% ~ 33. 30% 和 29. 35% ~ 41. 50% 之间,注射接种效果最佳<sup>[14]</sup>。此外,贺闽等分别对人工注射接种的实验流程及注意事项进行了详细描述<sup>[15-16]</sup>。

有鉴于此,本研究以人工注射接种为鉴定方式,以一批采集自黑龙江省不同积温带的稻瘟病菌菌株为独立接种体,完成其适宜种植区水稻品种抗穗颈瘟能力的定量分析,以期品种自身抗性的充分利用提供数据支撑,帮助解决生产现实问题。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试水稻:2019 年供试水稻品种 69 份,其中,第一积温带、第二积温带和第三积温带及以上品种分别为 28、10、31 份,品种名称及适宜种植区信息见表 1。2020 年供试水稻品种 33 份,其中,第一积温带、第二积温带和第三积温带及以上品种分别为 10、7、16 份,为 2019 年试验中筛选到的抗穗颈瘟能力较好的品种,品种名称及适宜种植区信息略。

表 1 2019 年供试水稻品种名称及适宜种植区信息

品种名称	适宜种植区	品种名称	适宜种植区	品种名称	适宜种植区
松粳 9	第一积温带	龙稻 21	第一积温带	龙粳 64	第三积温带及以上
松粳 12	第一积温带	龙稻 25	第一积温带	龙粳 65	第三积温带及以上
松粳 14	第一积温带	中科 804	第一积温带	龙粳 1437	第三积温带及以上
松粳 16	第一积温带	中科发 5 号	第一积温带	龙粳 1525	第三积温带及以上
松粳 18	第一积温带	五优稻 4 号	第一积温带	龙粳 1624	第三积温带及以上
松粳 19	第一积温带	绥粳 8	第二积温带	龙粳 2305	第三积温带及以上
松粳 20	第一积温带	绥粳 14	第二积温带	龙粳 2401	第三积温带及以上
松粳 21	第一积温带	绥粳 18	第二积温带	龙粳 3001	第三积温带及以上
松粳 22	第一积温带	绥粳 21	第二积温带	龙粳 3007	第三积温带及以上
松粳 28	第一积温带	龙粳 21	第二积温带	龙粳 3033	第三积温带及以上
松粳 29	第一积温带	垦稻 12	第二积温带	龙粳 3040	第三积温带及以上
松粳 34	第一积温带	龙粳 2 号	第二积温带	龙粳 3047	第三积温带及以上
松粳 35	第一积温带	龙庆稻 6	第二积温带	龙粳 3099	第三积温带及以上
松粳 48	第一积温带	牡丹江 32	第二积温带	龙粳 3100	第三积温带及以上
松粳香 1 号	第一积温带	齐粳 10 号	第二积温带	龙粳 3407	第三积温带及以上
松粳 201	第一积温带	龙粳 29	第三积温带及以上	龙粳 3767	第三积温带及以上
松粳 204	第一积温带	龙粳 31	第三积温带及以上	空育 131	第三积温带及以上
松粳 202	第一积温带	龙粳 43	第三积温带及以上	田裕 9861	第三积温带及以上
松粳 206	第一积温带	龙粳 50	第三积温带及以上	龙粳 47	第三积温带及以上
松 836	第一积温带	龙粳 51	第三积温带及以上	龙粳 48	第三积温带及以上
松 845	第一积温带	龙粳 52	第三积温带及以上	三江 1 号	第三积温带及以上
龙稻 18	第一积温带	龙粳 59	第三积温带及以上	黑粳 10	第三积温带及以上
龙稻 20	第一积温带	龙粳 63	第三积温带及以上	绥粳 15	第三积温带及以上

供试稻瘟病菌菌株:2019 年供试稻瘟病菌菌株 60 株,采自黑龙江省第一积温带、第二积温带和第三积温带及以上地区的水稻病株上,每个积温带均为 20 株;2020 年供试稻瘟病菌菌株 150 株,

采自黑龙江省第一积温带、第二积温带和第三积温带及以上地区的水稻病株上,每个积温带均为 50 株;上述菌株均由黑龙江省农业科学院生物技术研究所提供。

## 1.2 试验方法

1.2.1 接种鉴定方法 供试稻瘟病菌菌株的分离、扩繁和产孢等参照周江鸿等的方法<sup>[17]</sup>。待大量分生孢子形成后,配制成  $3 \times 10^5$  个孢子/mL 的孢子悬浮液备用。

黑龙江省水稻品种抗穗颈瘟能力分析参照马军韬等的人工注射接种法<sup>[16]</sup>完成,每个品种只接种来源于适宜种植区的稻瘟病菌菌株。选择环境条件易于发病的田块,每个品种设置 2 行区,每行 30 蔸,单本插秧。水稻种植全过程不施用任何杀菌剂,在水稻始穗期用医用注射器将合格的孢子悬浮液注入水稻穗苞中下部,接种量为 1 mL/穗,每个处理接种 3 穗,1 穗以上明显发病则记为感病反应型。

水稻黄熟期植株发病完全后,按下列标准进行调查<sup>[18]</sup>,病情分为 6 级:0 级,无病;1 级,每穗损失 5.0% 及以下,或个别枝梗发病;2 级,每穗损失 5.1% ~ 20.0%,或 1/3 左右枝梗发病;3 级,每穗损失 20.1% ~ 50.0%,或穗颈或主轴发病;4 级,每穗损失 50.1% ~ 70.0%,或穗颈发病,大部分秕谷;5 级,每穗损失 70.0% 以上,或穗颈发病造成白穗。统计分析时,将 0 ~ 2 级归为抗病反应型,3 ~ 5 级归为感病反应型。

1.2.2 指标评价方法 黑龙江省水稻品种抗穗颈瘟能力优劣用抗性频率高低表示:抗性频率 = 非致病菌株数/总菌株数  $\times 100\%$ 。

选取综合抗性频率较好的水稻品种,用联合抗病性方式<sup>[19]</sup>评价其搭配后在适宜种植区可能的抗穗颈瘟能力,3 个积温带共设计 45 个水稻品种组合。联合抗病性包括联合抗病性系数和联合致病性系数 2 个评价指标,以联合抗病性系数最大且联合致病性系数最小为最佳标准。联合抗病性系数 = 组合中共同抗病菌株数/总菌株数;联合致病性系数 = 组合中共同致病菌株数/总菌株数。

互补抗病性是以多个水稻品种抗性互补后的百分率高为抗穗颈瘟能力优劣的评价标准,3 个积温带共设计 45 个水稻品种组合。互补抗病性 = (总菌株数 - 组合中共同致病菌株数)/总菌株数  $\times 100\%$ 。

用水稻品种抗穗颈瘟相似度聚类分析方式评价水稻品种抗穗颈瘟遗传分化情况,品种间抗穗颈瘟相似度高低用抗性相似系数大小表示,相似系数 =  $1 - \text{相异系数}$ 。利用 DPS 14.10 分析软件,将水稻品种与穗颈瘟的反应型作为性状,抗病反应型记

为“1”,感病反应型记为“0”,以不加权算术平均法 (UMPGA 法) 完成聚类分析<sup>[20]</sup>。本研究共完成 33 份水稻品种的抗穗颈瘟相似度聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻品种抗穗颈瘟接种鉴定结果

2019 年数据(表 2)显示,第一积温带供试品种抗性频率介于 20.00% ~ 95.00% 之间,平均值为 56.07%;其中,抗性频率  $\geq 70.00\%$  的品种有 10 份,占供试品种的 35.71%,分别为中科发 5 号、中科 804、松 836、松粳 16、松粳 18、松粳 19、松粳 20、松粳 35、龙稻 18 和五优稻 4 号。第二积温带供试品种抗性频率介于 50.00% ~ 90.00% 之间,平均值为 71.50%;其中,抗性频率  $\geq 70.00\%$  的品种有 7 份,占供试品种的 70.00%,分别为绥粳 14、齐粳 10 号、龙粳 21、绥粳 8、龙粳 2 号、龙庆稻 6 和绥粳 21;第三积温带及以上供试品种抗性频率介于 0.00 ~ 95.00% 之间,平均值为 64.52%;其中,抗性频率  $\geq 70.00\%$  的品种有 16 份,占供试品种的 51.61%,分别为龙粳 3767、龙粳 51、龙粳 1437、龙粳 1624、龙粳 2305、龙粳 3407、龙粳 50、龙粳 52、龙粳 3040、龙粳 3100、龙粳 43、龙粳 3047、龙粳 3099、龙粳 3007、三江 1 号和龙粳 3001。

2020 年进一步增加接种菌株数量,对 2019 年抗性频率高于 70.00% 的 33 份水稻品种进行再次鉴定。数据(表 3)显示,33 份水稻品种抗性频率介于 40.00% ~ 90.00% 之间,平均值为 69.64%;抗性频率  $\geq 70.00\%$  的品种有 19 份。其中,第一积温带品种抗性频率介于 40.00% ~ 86.00% 之间,平均值为 68.80%;其中,抗性频率  $\geq 70.00\%$  的品种有 6 份,占供试品种 60.00%,分别为松粳 20、松粳 35、松 836、中科 804、中科发 5 号和五优稻 4 号。第二积温带品种抗性频率介于 42.00% ~ 82.00% 之间,平均值为 71.71%;其中,抗性频率  $\geq 70.00\%$  的品种有 6 份,占供试品种数的 85.71%,分别为绥粳 8、绥粳 14、绥粳 21、龙粳 21、龙粳 2 号和龙庆稻 6;第三积温带及以上品种抗性频率介于 48.00% ~ 90.00% 之间,平均值为 69.25%;抗性频率  $\geq 70.00\%$  的品种有 7 份,占供试品种数的 43.75%,分别为龙粳 50、龙粳 51、龙粳 1624、龙粳 3047、龙粳 3100、龙粳 3407 和龙粳 3767。

将 2019 年、2020 年的接种鉴定结果进行综合分析,数据(表 4)显示,33 份水稻品种对 70 株稻瘟

表 2 2019 年 69 份水稻品种在适宜种植区抗穗颈瘟鉴定结果

品种名称	抗性频率(%)	品种名称	抗性频率(%)	品种名称	抗性频率(%)
松粳 9	25.00	松粳 12	30.00	松粳 14	25.00
松粳 16	85.00	松粳 18	85.00	松粳 19	80.00
松粳 20	80.00	松粳 21	65.00	松粳 22	40.00
松粳 28	55.00	松粳 29	60.00	松粳 34	30.00
松粳 35	80.00	松粳 48	25.00	松粳香 1 号	35.00
松粳 201	50.00	松粳 202	55.00	松粳 204	20.00
松粳 206	30.00	松 836	90.00	松 845	55.00
龙稻 18	75.00	龙稻 20	25.00	龙稻 21	50.00
龙稻 25	60.00	中科 804	90.00	中科发 5 号	95.00
五优稻 4 号	75.00	绥粳 8	75.00	绥粳 14	90.00
绥粳 18	50.00	绥粳 21	70.00	龙粳 21	80.00
垦稻 12	50.00	龙桦 2 号	75.00	龙庆稻 6	75.00
牡丹江 32	60.00	齐粳 10 号	90.00	龙粳 29	10.00
龙粳 31	50.00	龙粳 43	80.00	龙粳 50	85.00
龙粳 51	95.00	龙粳 52	85.00	龙粳 59	40.00
龙粳 63	65.00	龙粳 64	45.00	龙粳 65	60.00
龙粳 1437	90.00	龙粳 1525	15.00	龙粳 1624	90.00
龙粳 2305	90.00	龙粳 2401	65.00	龙粳 3001	75.00
龙粳 3007	80.00	龙粳 3033	55.00	龙粳 3040	85.00
龙粳 3047	80.00	龙粳 3099	80.00	龙粳 3100	85.00
龙粳 3407	90.00	龙粳 3767	95.00	空育 131	0.00
田裕 9861	30.00	龙粳 47	50.00	龙粳 48	60.00
三江 1 号	80.00	黑粳 10	35.00	绥粳 15	60.00

表 3 2020 年 33 份水稻品种在适宜种植区抗穗颈瘟鉴定结果

品种名称	抗性频率(%)	品种名称	抗性频率(%)	品种名称	抗性频率(%)
松粳 16	46.00	松粳 18	60.00	松粳 19	68.00
松粳 20	76.00	松粳 35	72.00	松 836	78.00
龙稻 18	40.00	中科 804	84.00	中科发 5 号	86.00
五优稻 4 号	78.00	绥粳 8	82.00	绥粳 14	78.00
绥粳 21	70.00	龙粳 21	76.00	龙桦 2 号	76.00
龙庆稻 6	78.00	齐粳 10 号	42.00	龙粳 43	64.00
龙粳 50	70.00	龙粳 51	74.00	龙粳 52	48.00
龙粳 1437	58.00	龙粳 1624	78.00	龙粳 2305	68.00
龙粳 3001	64.00	龙粳 3007	54.00	龙粳 3040	62.00
龙粳 3047	88.00	龙粳 3099	66.00	龙粳 3100	90.00
龙粳 3407	88.00	龙粳 3767	76.00	三江 1 号	60.00

病菌株的抗性频率介于 50.00% ~ 88.57% 之间,平均值为 73.55%,抗性频率≥70.00% 的品种有 22 份,抗性频率≥80.00% 的品种有 11 份。鉴于试验所用菌株数量总体偏少,为确保品种在田间应用的安全性及可靠性,进一步提高抗性阈值,将抗性频率≥80.00% 的水稻品种定为抗穗颈瘟品种。依此

原则,共获得抗穗颈瘟水稻品种 11 份。其中,第一积温带抗穗颈瘟品种有 3 份,分别为松 836、中科 804 和中科发 5 号;第二积温带抗穗颈瘟品种有 2 份,分别为绥粳 8 和绥粳 14;第三积温带抗穗颈瘟品种有 6 份,分别为龙粳 51、龙粳 1624、龙粳 3047、龙粳 3100、龙粳 3407 和龙粳 3767。

表 4 33 份水稻品种在适宜种植区 2 年综合抗穗颈瘟鉴定结果

水稻品种	2 年抗性频率(%)	水稻品种	2 年抗性频率(%)	水稻品种	2 年抗性频率(%)
松粳 16	57.14	松粳 18	67.14	松粳 19	71.43
松粳 20	77.14	松粳 35	74.29	松 836	81.43
龙稻 18	50.00	中科 804	85.71	中科发 5 号	88.57
五优稻 4 号	77.14	绥粳 8	80.00	绥粳 14	81.43
绥粳 21	70.00	龙粳 21	77.14	龙桦 2 号	75.71
龙庆稻 6	77.14	齐粳 10 号	55.71	龙粳 43	68.57
龙粳 50	74.29	龙粳 51	80.00	龙粳 52	58.57
龙粳 1437	67.14	龙粳 1624	81.43	龙粳 2305	74.29
龙粳 3001	67.14	龙粳 3007	61.43	龙粳 3040	68.57
龙粳 3047	85.71	龙粳 3099	70.00	龙粳 3100	87.14
龙粳 3407	88.57	龙粳 3767	81.43	三江 1 号	65.71

2.2 水稻品种联合抗病性和互补抗病性分析

从各积温带选取抗性较好的品种,进行联合抗病性分析,数据显示:供试水稻品种相互搭配后,各积温带均不存在最佳搭配方案,但仍具有一定差别。其中,第一积温带水稻品种的联合抗病性系数和联合致病性系数平均值分别为 0.66、0.05,中科 804 & 中科发 5 号组合联合抗病性系数最高,中科 804 & 松 836 组合和中科发 5 号 & 松 836 组合联合致病性系数最低;如果以联合抗病性系数≥0.70 且联合致病性系数≤0.05 为阈值,则中科 804 & 中科发 5 号和中科发 5 号 & 松 836 共 2 个组合适合搭配种植(表 5)。第二积温带水稻品种的联合抗病性系数和联合致病性系数平均值分别为 0.59、0.06,绥粳 8 & 绥粳 14 组合联合抗病性系数最高,绥粳 8 & 龙桦 2 号组合联合致病性系数最低,无适合搭配种植的组合(表 6)。第三积温带及以上水稻品种的联合抗病性系数和联合致病性系数平均值分别为 0.70、0.02,龙粳 3047 & 龙粳 3407 组合和龙粳 3100 & 龙粳 3407 组合联合抗病性系数最高,龙粳 51 & 龙粳 3407 组合、龙粳 1624& 龙粳 3047 组合和龙粳 1624 & 龙粳 3407 组合联合致病性系数最低;共有龙粳 3047 & 龙粳 3407、龙粳 3100 & 龙粳 3407 等 8 个组合适合搭配种植(表 7)。

表 5 第一积温带部分水稻品种联合抗病性分析

品种	联合系数					
	中科 804	中科发 5 号	五优稻 4 号	松粳 20	松粳 35	松 836
中科 804		0.79	0.71	0.66	0.66	0.67
中科发 5 号	0.04		0.71	0.69	0.67	0.70
五优稻 4 号	0.09	0.06		0.61	0.59	0.63
松粳 20	0.03	0.03	0.07		0.60	0.64
松粳 35	0.06	0.04	0.07	0.07		0.63
松 836	0.00	0.00	0.04	0.06	0.07	

注:表中左下部分数据为联合致病性系数,右上部分数据为联合抗病性系数。表 6、表 7 同。

表 6 第二积温带部分水稻品种联合抗病性分析

品种	联合系数					
	绥粳 8	绥粳 14	绥粳 21	龙粳 21	龙粳 2 号	龙庆稻 6
绥粳 8		0.66	0.54	0.64	0.56	0.64
绥粳 14	0.04		0.56	0.64	0.61	0.63
绥粳 21	0.04	0.06		0.59	0.54	0.56
龙粳 21	0.07	0.06	0.11		0.60	0.59
龙粳 2 号	0.01	0.04	0.09	0.07		0.56
龙庆稻 6	0.07	0.04	0.09	0.04	0.03	

表 7 第三积温带部分水稻品种联合抗病性分析

品种	联合系数					
	龙粳 51	龙粳 1624	龙粳 3047	龙粳 3100	龙粳 3407	龙粳 3767
龙粳 51		0.66	0.67	0.69	0.69	0.64
龙粳 1624	0.04		0.67	0.71	0.70	0.66
龙粳 3047	0.01	0.00		0.76	0.77	0.71
龙粳 3100	0.01	0.03	0.03		0.77	0.70
龙粳 3407	0.00	0.00	0.03	0.01		0.74
龙粳 3767	0.01	0.03	0.04	0.01	0.04	

从各积温带选取抗性较好的品种,进行互补抗病性分析,数据显示:第一积温带水稻品种的互补抗病性平均值为 95.14%,中科 804 & 松 836 组合和中科发 5 号 & 松 836 组合互补抗病性最高,中科 804 & 五优稻 4 号组合互补抗病性最低(表 8)。第二积温带水稻品种的互补抗病性平均值为 94.19%,绥粳 8 & 龙粳 2 号组合互补抗病性最高,

绥粳 21 & 龙粳 21 组合互补抗病性最低(表 9)。第三积温带水稻品种的互补抗病性平均值为 97.90%,龙粳 51 & 龙粳 3407 组合、龙粳 1624 & 龙粳 3407 组合和龙粳 1624 & 龙粳 3047 组合互补抗病性最高,龙粳 51 & 龙粳 1624 组合、龙粳 3047 & 龙粳 3767 组合和龙粳 3407 & 龙粳 3767 组合互补抗病性最低(表 10)。

表 8 第一积温带部分水稻品种互补抗病性分析

品种组合	互补抗病性 (%)	品种组合	互补抗病性 (%)	品种组合	互补抗病性 (%)
中科 804 & 中科发 5 号	95.71	中科 804 & 五优稻 4 号	91.43	中科 804 & 松粳 20	97.14
中科 804 & 松粳 35	94.29	中科 804 & 松 836	100.00	中科发 5 号 & 五优稻 4 号	94.29
中科发 5 号 & 松粳 20	97.14	中科发 5 号 & 松粳 35	95.71	中科发 5 号 & 松 836	100.00
五优稻 4 号 & 松粳 20	92.86	五优稻 4 号 & 松粳 35	92.86	五优稻 4 号 & 松 836	95.71
松粳 20 & 松粳 35	92.86	松粳 20 & 松 836	94.29	松粳 35 & 松 836	92.86

表 9 第二积温带部分水稻品种互补抗病性分析

品种组合	互补抗病性 (%)	品种组合	互补抗病性 (%)	品种组合	互补抗病性 (%)
绥粳 8 & 绥粳 14	95.71	绥粳 8 & 绥粳 21	95.71	绥粳 8 & 龙粳 21	92.86
绥粳 8 & 龙粳 2 号	98.57	绥粳 8 & 龙庆稻 6	92.86	绥粳 14 & 绥粳 21	94.29
绥粳 14 & 龙粳 21	94.29	绥粳 14 & 龙粳 2 号	95.71	绥粳 14 & 龙庆稻 6	95.71
绥粳 21 & 龙粳 21	88.57	绥粳 21 & 龙粳 2 号	91.43	绥粳 21 & 龙庆稻 6	91.43
龙粳 21 & 龙粳 2 号	92.86	龙粳 21 & 龙庆稻 6	95.71	龙粳 2 号 & 龙庆稻 6	97.14

表 10 第三积温带部分水稻品种互补抗病性分析

品种组合	互补抗病性 (%)	品种组合	互补抗病性 (%)	品种组合	互补抗病性 (%)
龙粳 51 & 龙粳 1624	95.71	龙粳 51 & 龙粳 3047	98.57	龙粳 51 & 龙粳 3100	98.57
龙粳 51 & 龙粳 3407	100.00	龙粳 51 & 龙粳 3767	98.57	龙粳 1624 & 龙粳 3047	100.00
龙粳 1624 & 龙粳 3100	97.14	龙粳 1624 & 龙粳 3407	100.00	龙粳 1624 & 龙粳 3767	97.14
龙粳 3047 & 龙粳 3100	97.14	龙粳 3047 & 龙粳 3407	97.14	龙粳 3047 & 龙粳 3767	95.71
龙粳 3100 & 龙粳 3407	98.57	龙粳 3100 & 龙粳 3767	98.57	龙粳 3407 & 龙粳 3767	95.71

2.3 水稻品种抗穗颈瘟相似度分析

从水稻品种抗穗颈瘟能力的相似度角度分析,第一积温带 10 份水稻品种的抗性相似系数介于 0.58~0.88 之间,平均抗性相似系数为 0.69;其中,中科 804 和中科发 5 号的抗性相似系数最大,松粳 16 和松粳 18 的抗性相似系数最小。以抗性相似系数 0.70 为阈值,供试水稻品种可为划分为 3 个抗性类群,即类群 I:松粳 16;类群 II:龙稻 18;类群 III:松粳 18 及其余品种(图 1)。第二积温带 7 份水稻品种的抗性相似系数介于 0.57~0.78 之间,平均抗性相似系数为 0.68;其中,绥粳 8 和龙粳 21 的抗性相似系数最大,绥粳 8 和齐粳 10 号的抗性相似系数最小。以抗性相似系数 0.70 为阈值,供试水稻品种可为划分为 2 个抗性类群,即类群 I:齐粳 10 号;类群 II:绥粳 8 及其余品种(图 2)。第三积温带及以上 16 份水稻品种的抗性相似系数介于 0.66~0.88 之间,平均抗性相似系数为 0.73;其中,龙粳 3047

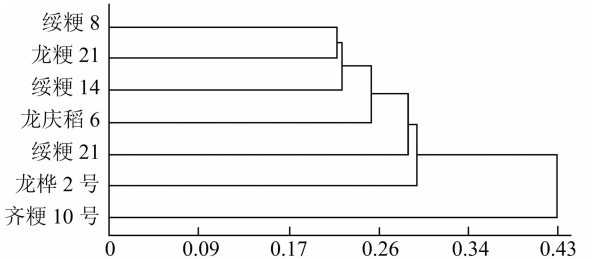


图2 第二积温带7份水稻品种抗穗颈瘟相似度聚类分析结果 (相异系数)

和龙粳 3407 的抗性相似系数最大,龙粳 43 和龙粳 52 的抗性相似系数最小。以抗性相似系数 0.70 为阈值,供试水稻品种可为划分为 3 个抗性类群,即类群 I:龙粳 52;类群 II:龙粳 3007;类群 III:龙粳 43 及其余品种(图 3)。

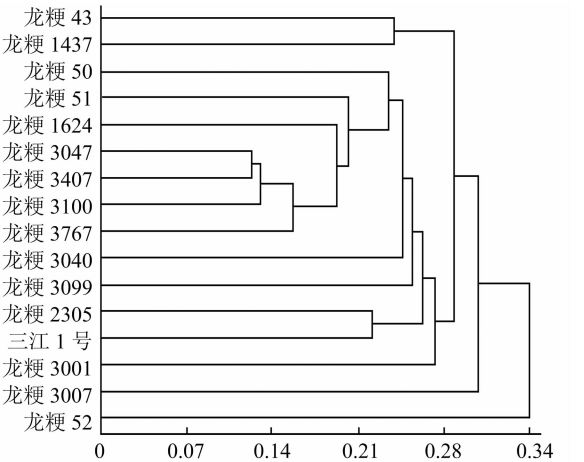


图3 第三积温带 16 份水稻品种抗穗颈瘟相似度聚类分析结果 (相异系数)

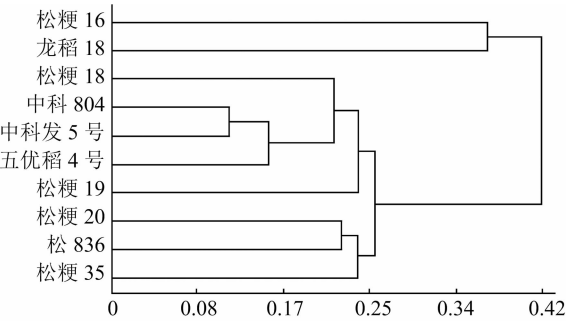


图1 第一积温带 10 份水稻品种抗穗颈瘟相似度聚类分析结果 (相异系数)

### 3 讨论与结论

从品种的抗穗颈瘟角度分析,2019 年应用的接种菌株数量较少,易产生误差,故暂时将抗性频率 $\geq 70.00\%$ 的水稻品种列为抗穗颈瘟候选品种。2020 年在增加接种菌株数量后进行再次鉴定,33 份候选品种抗性频率整体较高,说明试验结果没有问题,同时也验证了该鉴定技术的可靠性。此外,虽然 2020 年应用的接种菌株数量有了大幅提升,但菌株群体依然偏小,故进一步将抗性阈值提高为抗性频率 $\geq 80.00\%$ ,共筛选得到抗穗颈瘟水稻品种 11 份,为病害的绿色防控奠定了资源基础。此外,前人的研究多采用的是田间自然感病或注射接种混合菌株的鉴定方式,接种的菌株理论上来说都属于混合菌株,得到的也多是品种或抗病或感病等一类定性化结果,很多细节受菌株个体间的相互作用而难以看到。而稻瘟病病菌属于“基因-基因”假说<sup>[21]</sup>模式菌,受自身遗传特性影响,致病性分化明显,必须接种足够多的单个菌株,完成品种的抗性频率计算,才能量化明确品种在某一地区的真实抗性,从而使结果更接近生产现实,准确指导田间生产。

从联合抗病性角度分析,各积温带品种搭配后抗病效果差别较明显,第三积温带及以上水稻品种搭配种植的效果最好,抗穗颈瘟能力最强,同时感病风险最小;第一积温带水稻品种搭配种植的效果次之,第二积温带水稻品种搭配种植的效果最差,不适合搭配。从互补抗病性角度分析,笔者认为,在实际生产中可能达不到上述那么高的抗性频率,因为虽然品种搭配后利用生物多样性的优势将大量减少稻瘟病病菌的寄主,压缩其生存、繁殖空间,但依然有一部分适宜的寄主存在,依然会造成一定的侵染,只有将搭配品种自身携带的抗瘟基因类型摸索清楚,同时将有效的抗瘟基因全部聚合到一个水稻品种体内,才可能达到预期的高抗效果。因此,互补抗病性的分析依然有其理论意义,可为基因发掘及聚合提供现实策略。

从抗穗颈瘟相似度角度分析,各积温带品种的相似度均较高,可能与供试品种来源相对单一、骨干亲本血缘相近、交叉应用相对频繁等有一定关系,也从侧面说明黑龙江省水稻品种的抗穗颈瘟遗传基础相对狭窄,急需引进新型抗源。

### 参考文献:

- [1] Li W T, Chern M, Yin J J, et al. Recent advances in broad-spectrum resistance to the rice blast disease[J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2019, 50: 114-120.
- [2] 雷财林,张国民,程治军,等. 黑龙江省稻瘟病菌生理小种毒力基因分析与抗病育种策略[J]. *作物学报*, 2011, 37(1): 18-27.
- [3] 徐志健,农保选,张宗琼,等. 广西水稻地方品种核心种质抗稻瘟病鉴定及评价[J]. *南方农业学报*, 2020, 51(5): 1039-1046.
- [4] 张文龙,尚刚林,杨勤忠,等. 云南省水稻地方品种的稻瘟病抗性鉴定及抗瘟基因型分析[J]. *分子植物育种*, 2021, 19(23): 7883-7891.
- [5] 邓云,田大刚,苏妍,等. 福建省稻瘟病菌生理小种组成及水稻主栽品种的抗性筛选[J]. *福建农业学报*, 2020, 35(10): 1101-1110.
- [6] 韩豪杰,韩旭晨,谭艳平,等. 鄂西南地区 24 个水稻品种稻瘟病发病比较[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(16): 115-119.
- [7] 王小秋,杜海波,陈夕军,等. 江苏近年育成梗稻新品种/系的稻瘟病抗性基因及穗颈瘟抗性分析[J]. *中国水稻科学*, 2020, 34(5): 413-424.
- [8] 张善磊,孙旭超,陈涛,等. *Pi-ta*、*Pi-5*、*Pi-km* 和 *Pi-b* 基因在梗稻品种(系)中的分布及对穗颈瘟的抗性[J]. *江苏农业学报*, 2018, 34(5): 961-971.
- [9] 刘艳,王宝祥,杨波,等. 黄淮海稻区水稻品种的穗颈瘟抗性[J]. *中国水稻科学*, 2019, 33(4): 377-382.
- [10] 黄凌洪,刘剑青,兰波,等. 始穗期降雨对不同水稻品种穗颈瘟发生的影响[J]. *江西农业学报*, 2011, 23(9): 78-80.
- [11] 胡双全,张楚雄,汪世光,等. 崇阳县水稻主栽品种稻瘟病抗性调查[J]. *湖北植保*, 2012(5): 24-26.
- [12] 赖艳,兰波,杨迎青,等. 江西省主要早稻品种稻瘟病抗性评价[J]. *江西农业学报*, 2013, 25(10): 51-53.
- [13] 郑成海. 不同品种对水稻稻瘟病的抗性评价[J]. *北方水稻*, 2016, 46(1): 25-27, 42.
- [14] 汪真. 穗颈瘟人工接种方法试验[J]. *福建稻麦科技*, 1990(4): 23-24, 19.
- [15] 贺闽,尹俊杰,冯志明,等. 水稻稻瘟病和纹枯病抗性鉴定方法[J]. *植物学报*, 2020, 55(5): 577-587.
- [16] 马军韬,张国民,张丽艳,等. 黑龙江省水稻穗颈瘟人工接种技术研究[J]. *中国植保导刊*, 2021, 41(1): 10-14, 52.
- [17] 周江鸿,王久林,蒋琬如,等. 我国稻瘟病菌毒力基因的组成及其地理分布[J]. *作物学报*, 2003, 29(5): 646-651.
- [18] 中华人民共和国农业部. 稻瘟病测报调查规范: GB/T 15790-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [19] 马辉刚,曹九龙,胡水秀,等. 水稻品种对稻瘟病的抗性分析和利用评价[J]. *江西农业大学学报*, 2006, 28(2): 213-216.
- [20] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析 & 数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [21] Flor H H. Current status of the gene-for-gene concept[J]. *Annual Review of Phytopathology*, 1971, 9: 275-296.