

马军韬,张国民,邓凌韦,等. 水稻纹枯病离体接种鉴定技术因子量化试验[J]. 江苏农业科学,2022,50(21):127-135.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.21.019

# 水稻纹枯病离体接种鉴定技术因子量化试验

马军韬<sup>1</sup>,张国民<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>,肖明钢<sup>1</sup>,赵北平<sup>1</sup>,任洋<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:**为建立精准的水稻纹枯病离体叶片接种鉴定技术,在实验室内完成接种鉴定相关技术因子的量化试验。结果表明,接种后 72 h 发病基本完全,可以进行数据调查;以菌丝块为接种体,供试水稻发病速度适中,品种间抗感性差别明显;接种叶片长度为 30 cm,各水稻品种病斑面积占比介于 13.78%~22.56%,可以满足病斑扩展需求;叶片背面接种发病偏慢,仅为同期正面接种病斑面积的 24.28%~32.09%;接种温度 30℃最利于发病,病斑面积占比介于 13.98%~22.55%;接种相对湿度 85%最利于发病,病斑面积占比介于 13.91%~23.07%;接种光照时间 14 h 最利于发病,病斑面积占比介于 13.52%~22.97%。此外,本文还应用田间嵌入接种鉴定技术对供试水稻品种的抗性进行了复检,二者的试验结论趋势一致。

**关键词:**水稻;纹枯病;离体叶片接种;接种体类型

**中图分类号:**S435.111.4<sup>+</sup>2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)21-0127-08

黑龙江省是北方水稻生产大省,是国家粮食安全的“压舱石”和口粮基地,国计民生意义重大。水稻纹枯病是由立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani* Kühn)引起的一种世界性水稻病害,也是黑龙江省水稻生产中的主要病害之一,每年必发,常年减产 5.00%~10.00%,严重时可达 50.00%<sup>[1-2]</sup>。水稻纹枯病属于典型的土传病害<sup>[3-4]</sup>,在东北主要以菌核为初侵染源,侵染水稻后也主要危害植株的中下部。喷洒化学药剂是生产中的主要防治措施,由于药剂较难到达靶标,防控效果经常不佳,反而污染环境、增加成本<sup>[5]</sup>。秋季深翻和灌水、春季打捞菌核等农业措施也对病害防控有一定的作用,但受人力缺乏、限时给水等条件限制,经常难以完成<sup>[6]</sup>。选用抗性品种可以在一定程度上减轻病害的威胁,且操作轻简,关注度越来越高。虽然水稻对纹枯病的抗性属于数量性状,缺乏免疫或高抗的品种<sup>[7]</sup>,但中抗水平的品种还是占有一定比例,只需要通过科学的方式将其筛选出来,也可在生产中发挥重要作用。因此,通过何种方式对水稻品种的纹枯病抗性进行准

确、快捷的鉴定便成为一项重要工作。

关于水稻品种的纹枯病抗性鉴定方法很多,常用的是通过田间自然感病的方式进行鉴定,如王道泽等均进行过相关研究<sup>[8-10]</sup>。这种方式虽操作轻简,但耗时过长,结果易受当地菌群、气候条件的影响,可重复性较差。相对而言,通过接种方式进行品种抗性鉴定,其结果的科学性、准确性均要好一些,可重复性也较好。接种鉴定的方法也很多,主要分为两大类,第 1 类为田间条件下的接种鉴定,如撒施法<sup>[11]</sup>、捆扎法<sup>[12]</sup>、注射法<sup>[13]</sup>、嵌入法<sup>[14]</sup>、外贴法<sup>[15]</sup>等,以成株期鉴定为主。王子斌等应用牙签嵌入法,以纹枯病 RH-9 为接种体,对 Lemont、武育梗 3 号、特青、Jasmine 85 和 YSBR1 等 5 份水稻品种的纹枯病抗性进行了分析,结果显示,其病级均值分别为 6.96、6.54、5.59、4.96、2.42,均彼此差异极显著<sup>[16]</sup>。王爱民等应用牙签嵌入法,对江苏省 101 份水稻品种的纹枯病抗性进行了分析,结果显示,供试水稻抗性总体偏差,抗病品种 3 份,占比 2.97%;中抗品种 6 份,占比 5.94%,其他均为中感以上品种<sup>[17]</sup>。罗霄凤等应用撒施法,以纹枯病 PJ-10 为接种体,对四川省 187 份水稻品种的纹枯病抗性进行分析,结果表明,12.30%的品种平均病级介于 5.1~6.0,72.70%的品种平均病级介于 6.1~7.0,发病较重<sup>[18]</sup>。田间条件下的各类接种鉴定,嵌入法应用较为广泛,其结果的认可度也较高。第 2 类为受控条件下的接种鉴定,依据接种环境的不同主要

收稿日期:2021-12-08

基金项目:黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”(编号:HNK2019CX14);黑龙江省农业科学院科技攻关项目(编号:2021YYF017)。

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。Tel:(0451)51127853;E-mail:mmmjjttt@163.com。

分为温室法鉴定<sup>[19]</sup>、微室法鉴定<sup>[20]</sup>、雾室法鉴定<sup>[21]</sup>等,以苗期鉴定<sup>[22]</sup>为主。依据接种植株的不同,又可分为活体鉴定<sup>[23]</sup>、离体鉴定<sup>[24]</sup>等。Nelson 等利用“雾室接种法”与“微室接种法”接种鉴定 197 个 DH 系,通过 111 个 SSR 标记检测,发现 4 个抗性 QTLs 来自抗病亲本 MCR10277,总共可解释 47% 遗传变异;最大效应的 QTL 命名为 *qsbr\_9.1*<sup>[25]</sup>。郭田等利用“雾室接种法”接种纹枯病菌株 GD-118,在此基础上完成 PS04 菌株对水稻纹枯病的防效分析,发现 PS04 菌株发酵液对水稻苗期纹枯病兼具保护性和治疗性,其防效分别达 93.65%、92.02%<sup>[26]</sup>。关于离体叶片接种鉴定技术,研究和应用的学者相对偏少<sup>[27-29]</sup>,对各技术因子进行量化分析和比较的更少。马晨燕等对水稻纹枯病离体叶片接种方法进行了改进,对接种条件进行了更精确的控制,量化了病情调查方法,结果显示抗病品种和感病品种相对病斑面积差异显著,与大田接种及苗期“微室”接种结果一致<sup>[30]</sup>。

上述各类鉴定技术互有优势,也各有局限性。本研究力图通过相关技术因子的量化分析,改进离体叶片接种鉴定技术,在发挥其轻简、快捷、适宜规模化鉴定等优势的同时,提高其鉴定的准确性。同时,本研究还应用认可度较高的田间嵌入接种鉴定方式对离体叶片接种鉴定结果进行复评,以确保技术真实可信。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试水稻 3 份,分别为五优稻 4 号、龙稻 18、松粳 22,均为黑龙江省第一积温带推广品种。

供试纹枯病菌株 1 份,编号为 19-62,为黑龙江省第一积温带代表性菌株,致病力中等强度,由黑龙江省农业科学院生物技术研究所提供。

试验时间为 2019 年 5—9 月;试验地点为哈尔滨市道外区民主镇,黑龙江省农业科学院试验基地。

### 1.2 试验方法

1.2.1 离体叶片接种鉴定技术 在前期定性试验的基础之上,完成相关试验因子的定量分析。本试验中应用的离体接种鉴定技术的框架方法为铁盘内平铺浸湿的双层面巾纸,选取充分展开的心叶(叶龄为 6 叶)剪成 30 cm 叶段,正面朝上放置于面巾纸上,将直径 6 mm 的纹枯病菌丝块接种在叶片正面的中间部位,喷水保持微环境相对湿度 85% 左

右,封口膜密封,于 28 ℃,光照 14 h/黑暗 10 h 条件下共培养,分别于接种后 24、48、72、96、120 h 进行数据调查。每个处理接种 5 个叶段,3 次重复。

叶片黄化抑制试验,仅接种无菌水,不接种纹枯病菌,在叶段两端切口处分别加入 0.5 mL 供试溶液,共设置 0.005 g/mL 氯化钠、0.000 1 g/mL 苯并咪唑和清水 3 个处理;接种体类型筛选试验,共设置菌核、菌悬液、菌丝块 3 个处理;叶片长度筛选试验,共设置 5、10、20、30 cm 等 4 个处理;叶片层面筛选试验,共设置叶片正面和叶片背面 2 个处理;接种最佳温度筛选试验,共设置 22、25、28、30 ℃ 等 4 个处理;接种相对湿度筛选试验,共设置相对湿度 65%、75%、85%、95% 等 4 个处理;接种光照时间筛选试验,共设置光照时间 8、10、12、14、16 h 等 5 个处理。上述所有试验,除自身设置的处理外,其他具体操作同框架方法。

1.2.2 田间嵌入接种鉴定技术 将木质牙签剪成 0.8~1.0 cm 小段,均匀铺在玻璃培养皿底部,加入 PDB 液体培养基浸没牙签,灭菌后接种新鲜纹枯病菌块,28 ℃ 暗培养 3~5 d,待牙签表面密布菌丝即可用于接种。在水稻分蘖末期,用镊子将带菌牙签嵌入水稻倒 3 叶叶鞘内侧,接种后叶鞘抱茎状态基本不变。每个品种接种 10 个主分蘖,3 次重复,接种后田间保持 2~5 cm 浅水层<sup>[31]</sup>。

1.2.3 鉴定标准 离体叶片接种鉴定标准<sup>[32]</sup>,接种后 24、48、72、96、120 h 进行发病调查,将 5 个接种叶段作为 1 个整体调查病斑面积占比,具体分级标准如下:0 级,叶片无病斑;1 级,0<病斑面积≤12.50% 叶片面积;2 级,12.50% 叶片面积<病斑面积≤25.00% 叶片面积;3 级,25.00% 叶片面积<病斑面积≤50.00% 叶片面积;4 级,50.00% 叶片面积<病斑面积≤75.00% 叶片面积;5 级,病斑面积>75.00% 叶片面积。

田间嵌入接种鉴定标准<sup>[33]</sup>,水稻黄熟期植株发病完全后开始调查,每个接种的主分蘖均需进行调查,具体分级标准如下:0 级,全株无病;1 级,基部叶片叶鞘发病;2 级,第 3 叶片以下各叶鞘或叶片发病(自顶叶算起,下同);3 级,第 2 叶片以下各叶鞘或叶片发病;4 级,顶叶叶鞘或顶叶发病;5 级,全株枯死。

1.2.4 数据分析 应用 Excel 2010 软件进行统计分析。应用 DPSv14.10 分析软件,以 SNK 法进行样本差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 叶片黄化抑制试验

由表 1 可知,接种后 24、48、72 h 调查,氯化钠、苯并咪唑和清水处理无差别,叶片均未黄化。接种后 96 h 调查,清水处理下五优稻 4 号叶片略有黄化,黄化面积约占接种叶片总面积的 0.87%,其他处理叶片均未黄化。接种后 120 h 调查,清水处理下五优稻 4 号、龙稻 18 和松粳 22 叶片黄化均较明显,黄化面积占比分别为 3.66%、2.52%、2.29%;

氯化钠处理下五优稻 4 号、龙稻 18 和松粳 22 叶片均略有黄化,黄化面积占比分别为 1.25%、0.93%、1.04%;苯并咪唑处理下五优稻 4 号、龙稻 18 和松粳 22 叶片均略有黄化,黄化面积占比分别为 1.43%、1.22%、1.10%。此外,差异显著性分析表明,在 0.05 水平上,接种后 120 h 清水处理与氯化钠处理、苯并咪唑处理均差异显著,氯化钠处理与苯并咪唑处理差异不显著,3 个水稻品种结果一致。综合对比,氯化钠对叶片黄化抑制效果最好。

表 1 不同处理下水稻品种叶片黄化情况

调查时间	五优稻 4 号叶片黄化面积占比(%)			龙稻 18 黄化面积占比(%)			松粳 22 黄化面积占比(%)		
	清水	0.005 g/mL 氯化钠	0.000 1 g/mL 苯并咪唑	清水	0.005 g/mL 氯化钠	0.000 1 g/mL 苯并咪唑	清水	0.005 g/mL 氯化钠	0.000 1 g/mL 苯并咪唑
24 h	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
48 h	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
72 h	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
96 h	0.87±0.08	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
120 h	3.66±0.31a	1.25±0.04b	1.43±0.11b	2.52±0.23a	0.93±0.10b	1.22±0.14b	2.29±0.14a	1.04±0.12b	1.10±0.12b

注:同行数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

2.2 最佳调查时间试验

由表 2 可知,接种后 24、48 h 各水稻品种纹枯病发病均不够完全,五优稻 4 号接种后 24、48 h 的病斑面积占比分别为 4.43%、10.35%,只相当于接种后 72 h 病斑面积占比的 19.35%、45.22%;龙稻 18 接种后 24、48 h 的病斑面积占比分别为 3.85%、9.30%,只相当于接种后 72 h 病斑面积占比的 21.97%、53.08%;松粳 22 接种后 24、48 h 的病斑面积占比分别为 3.40%、6.69%,只相当于接种后 72 h 病斑面积占比的 24.55%、48.30%;调查结果误差较大,在 0.05 水平上与接种后 72 h 均差异显著,均不是最佳调查时间。而接种后 72 h 各水稻品种纹枯病发病基本完全,其调查结果与接种后 96、120 h 调查结果差别很小,病斑持续扩展趋势不明显,在 0.05 水平上均差异不显著,且 3 个水稻品种结果一致。综合对比,初步认为接种后 72 h 调查即可。

表 2 不同调查时间下水稻品种病斑扩展情况

调查时间 (h)	病斑面积占比(%)		
	五优稻 4 号	龙稻 18	松粳 22
24	4.43±0.33c	3.85±0.38c	3.40±0.23c
48	10.35±0.34b	9.30±0.23b	6.69±0.37b
72	22.89±0.88a	17.52±0.87a	13.85±0.61a
96	23.06±0.60a	17.98±0.52a	13.85±0.72a
120	23.34±0.58a	18.16±0.64a	14.21±0.81a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 3~表 4、表 6~表 10 同。

种发病均过重,接种后 72 h 病斑面积占比分别为 55.68%、53.91%、52.84%,品种间几乎无差别,在 0.05 水平上差异均不显著,不利于品种的抗性鉴定。以菌丝块为接种体,3 个水稻品种发病速度适中,接种后 72 h 病斑面积占比分别为 22.97%、17.79%、13.95%,品种间抗感性差别明显,在 0.05 水平上五优稻 4 号与龙稻 18、松粳 22 均差异显著,适宜抗性鉴定。

2.3 接种体类型筛选试验

由表 3 可知,以菌核为接种体,3 个水稻品种发病速度均偏慢,接种后 72 h 逐步发病且病斑面积占比很低,分别为 3.53%、3.06%、2.73%;接种后 120 h 发病接近完全,病斑面积占比为 22.57%、17.57%、14.02%。以菌悬液为接种体,3 个水稻品

2.4 叶片长度筛选试验

由表 4 可知,接种后 72 h,3 个水稻品种叶片长度 5 cm 的处理中,其病斑面积占比介于 82.71%~97.35%,占比均很高,病斑极有可能受到叶片长度的限制而没有扩展完全,造成严重误差甚至错误,不

表 3 不同接种体接种后水稻品种病斑扩展情况

接种体类型	病斑面积占比(%)				
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
五优稻 4 号/菌核	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	3.53 ± 0.32a	15.92 ± 1.13	22.57 ± 2.04
龙稻 18/菌核	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	3.06 ± 0.32a	13.65 ± 1.56	17.57 ± 1.26
松粳 22/菌核	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	2.73 ± 0.39a	10.54 ± 0.64	14.02 ± 1.18
五优稻 4 号/菌悬液	7.79 ± 0.78	24.08 ± 1.78	55.68 ± 4.30a	60.36 ± 6.02	62.29 ± 4.02
龙稻 18/菌悬液	7.25 ± 0.52	24.26 ± 1.31	53.91 ± 4.61a	59.52 ± 3.78	61.83 ± 3.14
松粳 22/菌悬液	7.51 ± 0.41	23.93 ± 2.15	52.84 ± 4.71a	59.07 ± 3.02	60.68 ± 3.48
五优稻 4 号/菌丝块	4.51 ± 0.52	10.30 ± 0.69	22.97 ± 3.24a	23.17 ± 1.75	23.54 ± 2.21
龙稻 18/菌丝块	3.76 ± 0.34	9.47 ± 0.73	17.79 ± 1.26b	18.13 ± 1.65	18.32 ± 1.35
松粳 22/菌丝块	3.31 ± 0.38	6.77 ± 0.56	13.95 ± 1.84b	14.08 ± 1.71	14.33 ± 1.41

表 4 不同叶片长度下水稻品种病斑扩展情况

叶片长度	病斑面积占比(%)				
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
五优稻 4 号/5 cm	25.77 ± 2.07	61.59 ± 3.05	97.35 ± 2.74a	98.57 ± 1.26	98.78 ± 1.26
五优稻 4 号/10 cm	13.72 ± 1.20	31.24 ± 2.76	69.34 ± 6.65b	69.72 ± 4.04	70.26 ± 3.21
五优稻 4 号/20 cm	6.76 ± 0.50	15.13 ± 1.00	34.26 ± 2.98c	34.62 ± 2.55	35.11 ± 3.53
五优稻 4 号/30 cm	4.29 ± 0.59	10.18 ± 0.96	22.56 ± 2.52d	22.73 ± 1.87	23.05 ± 2.23
龙稻 18/5 cm	23.25 ± 2.18	56.07 ± 3.14	98.09 ± 1.63a	98.74 ± 0.93	99.06 ± 0.93
龙稻 18/10 cm	11.72 ± 0.76	28.14 ± 1.77	52.73 ± 2.56b	54.08 ± 3.03	54.69 ± 3.16
龙稻 18/20 cm	22.19 ± 2.21	13.82 ± 1.26	26.20 ± 1.93c	27.13 ± 1.96	27.34 ± 1.92
龙稻 18/30 cm	3.98 ± 0.45	9.61 ± 1.01	18.09 ± 1.14d	18.27 ± 0.95	18.46 ± 2.10
松粳 22/5 cm	19.89 ± 1.44	39.87 ± 2.66	82.71 ± 5.13a	83.36 ± 3.39	84.68 ± 4.28
松粳 22/10 cm	10.45 ± 0.75	20.31 ± 2.57	41.89 ± 4.56b	42.22 ± 2.76	43.09 ± 3.81
松粳 22/20 cm	5.22 ± 0.55	10.26 ± 1.21	21.03 ± 2.10c	21.27 ± 1.95	21.53 ± 1.57
松粳 22/30 cm	3.24 ± 0.41	6.45 ± 0.78	13.78 ± 1.14d	13.97 ± 1.48	14.41 ± 1.02

建议应用;叶片长度 10 cm 的处理中,其病斑面积占比介于 41.89% ~ 69.34%,结果稍好,但占比依然偏高,也不建议应用;叶片长度 20 cm 的处理中,其病斑面积占比介于 21.03% ~ 34.26%,基本可以满足病斑扩展的空间需求,但鉴于试验选用菌株致病力强度中等这一前提,也不是最佳选择;叶片长度 30 cm 的处理中,其病斑面积占比介于 13.78% ~ 22.56%,可以满足病斑扩展的空间需求,初步确定为最佳选择。此外,接种后 72 h,不同叶片长度各处理在 0.05 水平上均彼此差异显著,3 个水稻品种结果一致。

2.5 叶片层面筛选试验

由表 5 可知,3 个水稻品种叶片背面接种的处理中,发病明显偏慢,接种后 48 h 内均不发病;接种后 72 h 逐步发病且病斑面积占比很低,分别为 7.32%、4.33%、3.59%,仅为同期正面接种各处理

病斑面积的 24.28% ~ 32.09%;接种后 120 h 病斑扩展近完全,其病斑面积占比分别为 22.14%、16.69%、14.03%,仅与正面接种 72 h 各处理的病斑面积占比持平或略低。综合对比,叶片正面接种试验效果较好。

2.6 接种温度筛选试验

由表 6 可知,五优稻 4 号接种后 72 h,接种温度 22、25、28、30 ℃ 各处理病斑面积占比分别为 14.76%、18.67%、22.08%、22.55%,接种温度 30 ℃ 处理病斑面积占比最高,接种温度 28 ℃ 处理次之,但二者差别很小;接种温度 22 ℃ 处理病斑面积占比最低,仅为接种温度 30 ℃ 处理的 65.45%,在 0.05 水平上与其他 3 个温度处理均差异显著。龙稻 18 接种后 72 h,接种温度 22、25、28、30 ℃ 各处理病斑面积占比分别为 12.74%、14.97%、16.92%、17.04%,接种温度 30 ℃ 处理病斑面积占

表 5 不同叶片层面下水稻品种病斑扩展情况

叶片层面	病斑面积占比(%)				
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
五优稻 4 号/正面	4.46 ± 0.47	10.59 ± 0.54	22.81 ± 1.84	23.21 ± 2.04	23.28 ± 2.19
五优稻 4 号/背面	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	7.32 ± 0.63	13.86 ± 1.22	22.14 ± 1.60
龙稻 18/正面	3.89 ± 0.27	9.15 ± 0.59	17.83 ± 1.59	18.10 ± 1.24	18.26 ± 1.43
龙稻 18/背面	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	4.33 ± 0.33	8.95 ± 0.73	16.69 ± 1.28
松粳 22/正面	3.48 ± 0.36	6.94 ± 0.52	13.96 ± 1.14	14.17 ± 1.41	14.42 ± 1.47
松粳 22/背面	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	3.59 ± 0.38	7.27 ± 0.92	14.03 ± 1.23

比最高,接种温度 28 ℃ 处理次之;接种温度 22 ℃ 处理病斑面积占比最低,仅为接种温度 30 ℃ 处理的 74.77%,在 0.05 水平上分别与接种温度 28、30 ℃ 处理差异显著,与接种温度 25 ℃ 处理差异不显著。松粳 22 接种后 72 h,接种温度 22、25、28、30 ℃ 各处理病斑面积占比分别为 9.63%、12.13%、13.87%、

13.98%,接种温度 30 ℃ 处理病斑面积占比最高,接种温度 28 ℃ 处理次之;接种温度 22 ℃ 处理病斑面积占比最低,仅为接种温度 30 ℃ 处理的 68.88%,在 0.05 水平上与接种温度 28、30 ℃ 处理差异显著,与接种温度 25 ℃ 处理差异不显著。综合对比,接种温度 30、28 ℃ 试验效果均较好。

表 6 不同接种温度下水稻品种病斑扩展情况

接种温度	病斑面积占比(%)				
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
五优稻 4 号/22 ℃	2.74 ± 0.32	6.58 ± 0.38	14.76 ± 0.59b	14.91 ± 1.61	15.22 ± 1.17
五优稻 4 号/25 ℃	3.82 ± 0.32	8.39 ± 0.75	18.67 ± 1.01a	18.73 ± 1.72	19.11 ± 1.22
五优稻 4 号/28 ℃	4.27 ± 0.43	10.04 ± 0.94	22.08 ± 2.11a	22.31 ± 1.31	22.65 ± 1.35
五优稻 4 号/30 ℃	4.39 ± 0.43	10.21 ± 0.47	22.55 ± 2.37a	22.96 ± 1.33	23.10 ± 1.36
龙稻 18/22 ℃	2.62 ± 0.17	6.37 ± 0.34	12.74 ± 1.26b	13.02 ± 1.27	13.21 ± 1.17
龙稻 18/25 ℃	3.21 ± 0.26	8.45 ± 0.77	14.97 ± 1.32ab	15.13 ± 0.97	15.33 ± 1.32
龙稻 18/28 ℃	3.66 ± 0.19	9.03 ± 0.75	16.92 ± 1.16a	17.20 ± 1.50	17.49 ± 1.33
龙稻 18/30 ℃	3.71 ± 0.35	9.16 ± 0.93	17.04 ± 1.54a	17.47 ± 1.31	17.73 ± 1.37
松粳 22/22 ℃	2.49 ± 0.31	4.73 ± 0.35	9.63 ± 0.56b	10.05 ± 0.93	10.11 ± 0.82
松粳 22/25 ℃	2.98 ± 0.33	5.77 ± 0.54	12.13 ± 1.57ab	12.25 ± 0.95	12.40 ± 1.28
松粳 22/28 ℃	3.64 ± 0.34	6.95 ± 0.45	13.87 ± 1.44a	13.96 ± 0.78	14.23 ± 0.92
松粳 22/30 ℃	3.51 ± 0.23	6.84 ± 0.45	13.98 ± 1.63a	14.12 ± 1.13	14.31 ± 0.75

2.7 接种相对湿度筛选试验

由表 7 可知,五优稻 4 号接种后 72 h,接种相对湿度 65%、75%、85%、95% 各处理病斑面积占比分别为 3.66%、7.26%、23.07%、14.43%,接种相对湿度 85% 处理病斑面积占比最高,接种相对湿度 95% 处理次之;接种相对湿度 65% 处理病斑面积占比最低,仅为接种相对湿度 85% 处理的 15.86%,在 0.05 水平上与其他 3 个处理均差异显著。龙稻 18 接种后 72 h,接种相对湿度 65%、75%、85%、95% 各处理病斑面积占比分别为 2.67%、7.13%、17.86%、12.60%,接种相对湿度 85% 处理病斑面积占比最高,接种相对湿度 95% 处理次之;接种相

对湿度 65% 处理病斑面积占比最低,仅为接种相对湿度 85% 处理的 14.95%,在 0.05 水平上与其他 3 个处理均差异显著。松粳 22 接种后 72 h,接种相对湿度 65%、75%、85%、95% 各处理病斑面积占比分别为 2.71%、5.57%、13.91%、9.76%,接种相对湿度 85% 处理病斑面积占比最高,接种相对湿度 95% 处理次之;接种相对湿度 65% 处理病斑面积占比最低,仅为接种相对湿度 85% 处理的 19.48%,在 0.05 水平上与其他 3 个处理均差异显著。综合对比,接种相对湿度 85% 试验效果最好。

2.8 接种光照时间筛选试验

由表 8 可知,五优稻 4 号接种后 72 h,接种光照

表 7 不同接种相对湿度下水稻品种病斑扩展情况

接种相对湿度	病斑面积占比(%)				
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
五优稻 4 号/65%	0.00±0.00	0.52±0.04	3.66±0.24d	8.75±0.51	16.13±0.68
五优稻 4 号/75%	0.00±0.00	3.19±0.23	7.26±0.68c	11.54±0.72	19.18±0.57
五优稻 4 号/85%	4.49±0.49	10.43±0.89	23.07±1.98a	23.18±1.55	23.50±1.52
五优稻 4 号/95%	2.87±0.27	5.79±0.29	14.43±0.81b	19.76±1.14	20.21±0.98
龙稻 18/65%	0.00±0.00	0.16±0.02	2.67±0.28d	5.64±0.50	12.25±0.77
龙稻 18/75%	0.00±0.00	2.86±0.26	7.13±0.53c	9.62±0.37	15.31±0.87
龙稻 18/85%	3.92±0.28	9.43±0.78	17.86±1.57a	17.86±1.32	18.09±0.99
龙稻 18/95%	1.69±0.10	5.83±0.47	12.60±0.57b	15.44±0.81	15.76±1.01
松粳 22/65%	0.00±0.00	0.00±0.00	2.71±0.41d	5.28±0.34	9.50±1.00
松粳 22/75%	0.00±0.00	2.45±0.22	5.57±0.65c	7.69±0.33	11.28±0.88
松粳 22/85%	3.30±0.37	6.54±0.76	13.91±1.66a	14.04±0.97	14.32±0.83
松粳 22/95%	0.97±0.08	4.55±0.58	9.76±0.72b	11.58±0.98	11.89±0.94

时间 8、10、12、14、16 h 各处理病斑面积占比分别为 21.50%、21.78%、22.66%、22.97%、22.84%，接种光照时间 14 h 处理病斑面积占比最高，接种光照时间 16 h 处理次之；接种光照时间 8 h 处理病斑面积占比最低，为接种光照时间 14 h 处理的 93.60%，在 0.05 水平上与其他 4 个处理差异均不显著。龙稻 18 接种后 72 h，接种光照时间 8、10、12、14、16 h 各处理病斑面积占比分别为 17.19%、17.31%、17.59%、17.83%、17.91%，接种光照时间 16 h 处理病斑面积占比最高，接种光照时间 14 h 处理次之；接种光照时间 8 h 处理病斑面积占比最低，为接

种光照时间 16 h 处理的 95.98%，在 0.05 水平上与其他 4 个处理均差异不显著。松粳 22 接种后 72 h，接种光照时间 8、10、12、14、16 h 各处理病斑面积占比分别为 12.85%、13.10%、13.24%、13.52%、13.44%，接种光照时间 14 h 处理病斑面积占比最高，接种光照时间 16 h 处理次之；接种光照时间 8 h 处理病斑面积占比最低，为接种光照时间 14 h 处理的 95.04%，在 0.05 水平上与其他 4 个处理差异均不显著。综合对比，接种光照时间对试验效果影响偏小，接种光照时间 14 h 试验效果最好。

表 8 不同接种光照下水稻品种病斑扩展情况

光照时间	病斑面积占比(%)				
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
五优稻 4 号/8 h	3.92±0.28	9.63±0.82	21.50±1.39a	21.87±1.28	22.13±1.67
五优稻 4 号/10 h	4.04±0.20	9.77±0.90	21.78±1.11a	22.15±1.22	22.46±1.81
五优稻 4 号/12 h	4.15±0.43	10.08±0.60	22.66±1.29a	23.03±0.93	23.15±0.98
五优稻 4 号/14 h	4.33±0.43	10.39±0.55	22.97±1.16a	23.16±1.53	23.29±1.13
五优稻 4 号/16 h	4.27±0.38	10.53±0.50	22.84±1.49a	23.11±1.29	23.20±1.65
龙稻 18/8 h	3.70±0.38	8.87±0.60	17.19±0.50a	17.19±0.90	17.34±1.02
龙稻 18/10 h	3.73±0.40	9.14±0.62	17.31±0.78a	17.54±1.18	17.63±0.80
龙稻 18/12 h	3.79±0.39	9.27±0.48	17.59±0.94a	17.92±1.10	18.06±1.11
龙稻 18/14 h	3.96±0.36	9.44±0.80	17.83±0.60a	18.10±0.86	18.24±1.17
龙稻 18/16 h	4.09±0.29	9.36±0.65	17.91±0.69a	18.23±0.68	18.37±0.96
松粳 22/8 h	3.04±0.35	5.91±0.29	12.85±0.66a	13.16±0.76	13.29±0.39
松粳 22/10 h	3.08±0.38	6.04±0.45	13.10±1.00a	13.22±0.47	13.47±0.51
松粳 22/12 h	3.14±0.18	6.28±0.52	13.24±0.63a	13.60±0.75	13.83±0.76
松粳 22/14 h	3.26±0.32	6.45±0.45	13.52±0.52a	13.74±0.77	14.09±0.90
松粳 22/16 h	3.19±0.32	6.38±0.64	13.44±0.45a	13.60±1.03	13.96±1.16

2.9 2 种鉴定技术对比试验

综合前述各技术因子定量分析结果,初步认为纹枯病离体叶片接种技术流程如下,选取 6 叶期充分展开的心叶,长度为 30 cm,正面朝上放置于面巾纸上,将直径 6 mm 的纹枯病菌丝块接种在叶片正面的中间部位,不需加入黄化抑制剂,喷水保持微环境相对湿度 85% 左右,封口膜密封,于 28 ℃,光

照 14 h/黑暗 10 h 条件下共培养,72 h 后进行数据调查。由表 9 可知,每个处理接种 5 个叶段,3 次重复。在此条件下,五优稻 4 号、龙稻 18 和松粳 22 的病斑面积占比平均值分别为 22.89%、17.52%、13.85%,在 0.05 水平上彼此差异显著。其中,松粳 22 抗性最好,五优稻 4 号抗性最差。从发病级别来看,3 个品种都是 2 级。

表 9 接种后 72 h 离体叶片接种下水稻品种发病情况

品种名称	病斑面积占比(%)				发病级别			
	处理 I	处理 II	处理 III	平均值	处理 I	处理 II	处理 III	平均值
五优稻 4 号	24.12	22.44	22.11	22.89a	2	2	2	2
龙稻 18	16.34	17.83	18.39	17.52b	2	2	2	2
松粳 22	13.27	13.59	14.69	13.85c	2	2	2	2

田间嵌入接种鉴定结果显示,五优稻 4 号、龙稻 18 和松粳 22 的平均发病级别分别为 2.60、2.20、1.90 级,在 0.05 水平上,五优稻 4 号的平均发病级

别与龙稻 18、松粳 22 均差异显著。其中,松粳 22 抗性最好,五优稻 4 号抗性最差(表 10)。

表 10 田间嵌入接种下水稻品种发病情况

品种名称	接种主分蘖发病级别										平均值
	分蘖 1	分蘖 2	分蘖 3	分蘖 4	分蘖 5	分蘖 6	分蘖 7	分蘖 8	分蘖 9	分蘖 10	
五优稻 4 号	3	2	3	2	3	3	2	3	3	2	2.60a
龙稻 18	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2.20b
松粳 22	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1.90b

3 讨论与结论

从叶片黄化角度分析,水稻品种间虽有一定差别,但整体趋势一致,是否添加黄化抑制剂主要取决于设定的调查时间,如果在接种后 72 h 内完成数据调查,则不需添加;如果在接种后 120 h 以上进行调查,建议添加一定的氯化钠。此外,本试验是在接种体为无菌水的前提下获得的结果,如果接种体变为纹枯病菌,受病菌侵染影响,叶片黄化可能会更严重一些。

从病斑相对扩展速度角度分析,在认为接种后 72 h 即发病完全的前提下,虽然松粳 22 整体抗性最强,但在侵染前期(接种后 24 h 以内)病斑相对扩展速度却最快,即接种后 24 h 病斑面积占比与接种后 72 h 病斑面积占比的比值最高,本研究所有试验中最佳处理下的数据均表现出这一趋势;依此原则,在侵染中期(接种后 24 ~ 48 h)病斑相对扩展速度最快的是龙稻 18;在侵染后期(接种后 48 h 以上)病斑相对扩展速度最快的是五优稻 4 号。上述情况的出现,可能与品种自身的抗性机制有一定的关

系,尚需通过各类组学研究方可得出进一步结论。从接种体类型角度分析,菌悬液不能有效分辨品种间的抗感性差别,明显不适用;菌核虽能分辨品种间的抗感性差别,但发病偏慢,影响试验效率,后期可能出现的叶片黄化也会对调查结果造成一定干扰,易产生误差,也不是最佳的接种体;菌丝块接种后发病速度和发病效果均较适中,是较为理想的接种体。

从接种叶片层面角度分析,无论叶片正面接种,还是背面接种,均可使纹枯病发病完全,理论上均可行。但在实际操作中,叶片背面接种发病偏慢,试验效率偏低,后期可能出现的叶片黄化也会对调查结果造成一定干扰,易产生误差,不是最佳选择。因此,建议叶片正面接种。

从接种温度角度分析,接种温度 30、28 ℃ 处理较适宜发病且二者差别很小,接种温度 22 ℃ 处理发病较差,不建议应用。此外,依据病斑面积占比的相对变化,在认为接种温度 30 ℃ 处理发病完全的前提下,接种温度 22 ℃ 处理下五优稻 4 号仅发病 65.45%,是 3 个水稻品种中最低的,也侧面说明五

优稻 4 号对接种温度的变化可能最为敏感,在一定的温度范围内,更适宜的接种温度会更明显地加速发病;同理,龙稻 18 对接种温度的变化最不敏感,松粳 22 居中。

从接种相对湿度角度分析,相对湿度 85% 各处理发病更快、发病效果最好;相对湿度 65% 各处理发病最慢,接种后 48 h 才开始发病,接种后 120 h 病斑仍在扩展;相对湿度 75% 各处理发病情况与之类似,但发病速度偏快;相对湿度 95% 各处理菌丝生长速度最快,发病速度也较快,在接种后 96 h 发病趋近完全。接种后 72 h 调查,相对湿度 85% 的平均病斑面积占比分别是相对湿度 65%、75%、95% 各处理平均病斑面积占比的 6.04、2.73、1.48 倍。这一结论与王子斌等的研究结论<sup>[23]</sup>一致。此外,依据病斑面积占比的相对变化,侧面说明龙稻 18 对接种相对湿度的变化可能最为敏感,松粳 22 对接种相对湿度的变化最不敏感,五优稻 4 号居中。

从接种光照时间角度分析,光照时间各处理差别均较小。接种后 72 h 调查,五优稻 4 号和松粳 22 在光照时间 14 h 处理下病斑面积占比最高,3 个水稻品种的平均病斑占比也最高,为 18.11%;龙稻 18 在光照时间 16 h 处理下病斑面积占比最高,3 个水稻品种的平均病斑面积占比最高,为 18.06%;在光照时间 8 h 处理下,3 个水稻品种病斑面积占比均最低,平均病斑面积占比为 17.18%,差别同样较小。

从鉴定技术角度分析,离体叶片接种鉴定技术和田间嵌入接种鉴定技术可以相互印证,试验结论整体趋势一致,说明技术本身没有太大问题,这一结论与马晨燕等的研究结论<sup>[30]</sup>一致。但离体叶片鉴定结果必须结合病斑面积占比进行具体分析,因为病情分级标准划分不够精细,品种间抗性的微小差别难以体现,这就需要在后续试验中进一步细化分级标准,以使抗性评价更加科学、准确。

#### 参考文献:

- [1] Groth D E. Effects of cultivar resistance and single fungicide application on rice sheath blight, yield, and quality [J]. Crop Protection, 2008, 27(7): 1125–1130.
- [2] 左示敏, 张亚芳, 陈宗祥, 等. 水稻抗纹枯病遗传育种研究进展 [J]. 中国科学(生命科学), 2010, 40(11): 1014–1023.
- [3] González – Vera A D, Bernardes – de – Assis J, Zala M, et al. Divergence between sympatric rice – and maize – infecting populations of *Rhizoctonia solani* AG – 1 IA from Latin America [J]. Phytopathology, 2010, 100(2): 172–182.
- [4] Ciampi M B, Meyer M C, Costa M J N, et al. Genetic structure of

- populations of, *Rhizoctonia solani*, anastomosis Group – 1 IA from soybean in Brazil [J]. Phytopathology, 2008, 98(8): 932–941.
- [5] 谢剑波, 秦梦圆, 石 杨, 等. 水稻纹枯病内生拮抗菌的分离鉴定及其生防作用 [J]. 湖南农业科学, 2019(4): 73–75.
- [6] 韩贵清. 中国寒地耕稻 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [7] Pinson S R M, Capdevielle F M, Oard J H. Confirming QTLs and finding additional loci conditioning sheath blight resistance in rice using recombinant inbred lines [J]. Crop Science, 2005, 45(2): 503–510.
- [8] 王道泽, 洪文英, 胡选祥, 等. 水稻主栽品种病虫侵害风险及田间抗性综合评价 [J]. 农学学报, 2014, 4(11): 26–33.
- [9] 熊延文, 罗道宏. 广德县水稻主栽品种纹枯病及穗腐病抗性试验 [J]. 安徽农学通报, 2015, 21(5): 78.
- [10] 于艳敏, 来永才, 闫 平, 等. 黑龙江省第一积温带水稻对纹枯病的抗性分析 [J]. 农学学报, 2019, 9(2): 7–10.
- [11] Rush M C, Hoff J J, McIlrath W O. A uniform disease rating system for rice disease in the United States [G]. Louisiana: Proc 16th Rice Tech Working Group, 1976: 64.
- [12] 过崇俭, 陈志谊, 王法明. 水稻纹枯病菌 *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk 致病力分化及品种抗性鉴定技术的研究 [J]. 中国农业科学, 1985, 18(5): 50–57.
- [13] Wasano K, Oro S, Kido Y. The syringe inoculation method for selecting rice plants resistant to sheath blight, *Rhizoctonia solani* kühn [J]. Japanese Journal of Tropical Agriculture, 1983, 27(3): 131–134.
- [14] Eizenga G C, Lee F N, Rutger J N. Screening *Oryza* species plants for rice sheath blight resistance [J]. Plant Disease, 2002, 86(7): 808–812.
- [15] 潘学彪, 陈宗祥, 徐敬友, 等. 不同接种调查方法对抗水稻纹枯病遗传研究的影响 [J]. 江苏农学院学报, 1997, 18(3): 27–32.
- [16] 王子斌, 左示敏, 李 刚, 等. 水稻成株期对纹枯病的抗性表现研究 [J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(2): 144–150, 157.
- [17] 王爱民, 许 明, 陈宗祥, 等. 2007—2013 年江苏省审定的水稻品种纹枯病抗性分析及抗纹枯病育种策略 [J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2014, 35(4): 63–67.
- [18] 罗霄凤, 张重梅, 张 梅, 等. 四川水稻品种对纹枯病抗性的评价 [J]. 西南农业学报, 2016, 29(6): 1315–1322.
- [19] Singh A, Rohilla R, Singh U S, et al. An improved inoculation technique for sheath blight of rice caused by *Rhizoctonia solani* [J]. Canadian Journal of Plant Pathology, 2002, 24(1): 65–68.
- [20] Jia Y, Correa – Victoria F, McClung A, et al. Rapid determination of rice cultivar responses to the sheath blight pathogen *Rhizoctonia solani* using a micro – chamber screening method [J]. Plant Disease, 2007, 91(5): 485–489.
- [21] Correa – Victoria F, Jia Y, Correl J, et al. Sheath blight screening of two breeding populations at CIAT [J]. Rice CAP News, 2007, 3(8): 2–5.
- [22] 徐国娟, 袁正杰, 左示敏, 等. 水稻苗期纹枯病抗性鉴定微室接种技术的改良 [J]. 中国水稻科学, 2015, 29(1): 97–105.
- [23] 王子斌, 左示敏, 李 刚, 等. 水稻抗纹枯病苗期快速鉴定技术研究 [J]. 植物病理学报, 2009, 39(2): 174–182.



杨 眉,田春晖,于凤泉,等. 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫生理指标的响应[J]. 江苏农业科学,2022,50(21):135-139.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.21.020

# 高温胁迫下二化螟不同龄期幼虫生理指标的响应

杨 眉<sup>1</sup>, 田春晖<sup>1</sup>, 于凤泉<sup>1</sup>, 刘欣宇<sup>2</sup>, 孙富余<sup>1</sup>

[1. 辽宁省农业科学院植物保护研究所, 辽宁沈阳 110161; 2. 中国农业大学有机循环研究院(苏州), 江苏苏州 215100]

**摘要:**为明确二化螟各龄幼虫对高温环境胁迫生理指标的响应,通过室内饲养的方式获得 1~6 龄的二化螟幼虫,将其分别在 28、30、33、36、39、42 ℃ 的环境温度下进行 4 h 的处理。以高温处理后能否协调运动作为判断二化螟幼虫存活的标准,将存活的幼虫作为生理指标测定的供试材料。分别采用烘干法、索氏抽提法、萘酚法以及分光光度法测定各龄幼虫的含水量、脂肪含量、总糖含量以及超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶的活性。结果表明,随着环境温度的上升,各龄幼虫的存活率均呈现出显著下降趋势( $P < 0.05$ ),相同环境温度下,低龄幼虫的存活率低于高龄幼虫;低龄幼虫的含水量在相同的环境温度下高于高龄幼虫,随着环境温度的上升,各龄幼虫的含水量均呈现明显下降趋势;低龄幼虫的脂肪含量低于高龄幼虫,而总糖含量高于高龄幼虫,随着环境温度的上升,各龄幼虫的脂肪及总糖含量均呈现先上升后下降的趋势。随着环境温度的上升,3 种抗氧化酶的活性均呈现出先上升后下降的趋势,其中超氧化物歧化酶的活性最高,其次为过氧化物酶,过氧化氢酶的活性最低。36 ℃ 为环境温度临界点,低于 36 ℃ 时,二化螟幼虫体内的 3 种抗氧化酶活性随着温度的上升而提高;高于 36 ℃ 时,3 种抗氧化酶活性随着环境温度的上升而下降。二化螟幼虫可以通过降低含水量,调节脂肪、总糖的代谢以及 3 种抗氧化酶的活性来应对环境高温的胁迫。

**关键词:**高温胁迫;二化螟;不同龄期;生理指标

**中图分类号:**S435.112+.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)21-0135-05

温度是影响昆虫生长发育、繁殖及分布的重要环境因素之一,同时也会诱发昆虫体内的生理反应<sup>[1]</sup>。高于昆虫生存的最佳温度将引起生物体的

热应激反应,在热应激反应下,昆虫体内会产生过量的活性氧(ROS),这将对昆虫造成氧化损伤<sup>[2]</sup>。为应对 ROS 可能造成的损伤,生物体已经进化出了复杂的 ROS 清除保护机制,其中最为关键的组成部分便是抗氧化酶<sup>[3]</sup>,主要的抗氧化酶包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)<sup>[4]</sup>。SOD 能够将 ROS 催化为  $H_2O_2$  和  $O_2$ ,随后  $H_2O_2$  将被 CAT 和 POD 转化为  $H_2O$  和  $O_2$ ,进而解除 ROS 对生物体可能产生的危害<sup>[5]</sup>。同样的,当遭遇高温时,昆虫采用降低自身含水量的方式来降

收稿日期:2021-12-20

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0200200);辽宁省科学技术计划(编号:2020JH2/10200017)。

作者简介:杨 眉(1982—),女,辽宁沈阳人,硕士,助理研究员,主要从事水稻虫害研究。E-mail:yangmei6@163.com。

通信作者:孙富余,硕士,研究员,主要从事水稻虫害综合防控技术研究工作。E-mail:laassfy@163.com。

[24]易润华,朱西儒,周而勋. 水稻纹枯病菌人工接种方法的研究[J]. 广州大学学报(自然科学版),2003,2(3):224-227.

[25]Nelson J C, Oard J H, Groth D, et al. Sheath-blight resistance QTLs in Japonica rice germplasm[J]. Euphytica, 2012, 184(1): 23-34.

[26]郭 田,王刘庆,廖美德. PS04 菌株对水稻纹枯病的防效及对水稻 2 种防御性酶活性的诱导[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(6):98-102.

[27]Jia Y, Singh P, Eizenga G C, et al. In vitro identification of cultivar responses to rice sheath blight pathogen *Rhizoctonia solani*[M]// Norman R J, Meullenet J F. BR Wells Rice research Studies. Arkansas: Univ Arkansas Agric Exp Stn Ser, 2002, 504: 229-236.

[28]曲海艳,袁正杰,潘龙玉,等. 水稻离体叶片纹枯病接种样品菌

量检测方法研究[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(10): 1686-1693.

[29]杨晓贺,魏松红,顾 鑫,等. 东北地区水稻种质资源抗纹枯病研究初报[J]. 植物保护, 2020, 46(6): 205-208, 212.

[30]马晨燕,袁正杰,杨海河,等. 水稻离体叶片抗纹枯病接种方法的研究[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(10): 1730-1737.

[31]贺 闯,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.

[32]王 妍,魏松红,王小哲,等. 水稻主栽品种对纹枯病的抗性鉴定及评价[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(13): 125-128.

[33]左思敏,张亚芳,殷跃军,等. 田间水稻纹枯病抗性鉴定体系的确立与完善[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2006, 27(4): 57-61, 封 3.