

长沙地区南瓜白粉病病原菌及种质资源抗性的鉴定

严佳丽, 楚箫, 黎豪, 梁少华, 孙小武

(园艺作物种质创新与新品种选育教育部工程研究中心·湖南农业大学园艺学院 长沙 410128)

摘要:为鉴定湖南省长沙市芙蓉区金山基地南瓜白粉病病原菌种类及生理小种,运用显微形态观察、分子生物学鉴定及国际通用的13个甜瓜生理小种鉴别寄主和鉴别标准体系等方法,对该地区的南瓜白粉病病原菌进行鉴定,并对90份南瓜种质资源的抗病性进行鉴定。结果表明,长沙地区南瓜白粉病病原菌为单囊壳白粉菌(*Podosphaera xanthii*),生理小种为2France;筛选出9份高抗种质,均为中国南瓜类型;筛选出20份高感种质,其中7份为中国南瓜类型,13份为印度南瓜类型。明确了长沙地区的白粉病病原菌种类及其生理小种,筛选出高抗白粉病的南瓜种质资源,为选育抗白粉病的南瓜新品种及抗病基因定位研究奠定了基础。

关键词:南瓜;白粉病;生理小种鉴定;抗病种质

中图分类号:S642.1 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2022)04-020-07

Identification of squash powdery mildew pathogen in Changsha and resistance germplasm screening

YAN Jiali, CHU Xiao, LI Hao, LIANG Shaohua, SUN Xiaowu

(College of Horticulture, Hunan Agricultural University/Engineering Research Center for Horticultural Crop Germplasm Creation and New Variety Breeding, Ministry of Education, Changsha 410128, Hunan, China)

Abstract: To identify powdery mildew physiological races at Jinshan station of Furong District, Changsha City, Hunan Province, the pathogens of squash powdery mildew were assayed by means of micromorphological observation, molecular biology identification and differential host testing, the 13 international commonly used melon differentials. Ninety squash accessions, both *Cucurbita moschata* and *Cucurbita maxima*, were tested for resistance to the pathogen. Our results suggested that the squash powdery mildew pathogen in this area was *P. xanthii* race 2France. Among the tested accessions 9 were highly resistant and were *C. moschata*. Of the 20 highly susceptible accession 7 were *C. moschata* and 13 were *C. maxima*. Our research determined the squash powdery mildew pathogen in Changsha and identified resistance germplasm. This laid foundation for resistant squash breeding and gene localization.

Key words: Pumpkin; Powdery mildew; Physiological race identification; Resistant germplasm

南瓜是葫芦科南瓜属(*Cucurbita*)一年生蔓生草本植物,是我国重要的瓜类作物,也是栽培最早的蔬菜作物之一,主要分为五大栽培种,即中国南瓜(*C. moschata*)、印度南瓜(*C. maxima*)、美洲南瓜(*C. pepo*)、黑籽南瓜(*C. ficifolia*)及灰籽南瓜(*C. mixta*)^[1]。南瓜具有极高的经济价值、营养价值、药用价值、饲用价值和观赏价值^[2-5],深受广大消费者喜爱,在我国广泛种植。南瓜在我国农业种植结构调整和经济增收中起到了重要作用。自20世纪70

年代以来,随着人们食物结构的改善和对南瓜营养成分及其保健价值的深入研究,南瓜种植面积逐年扩大,南瓜生产过程中各种病害也逐年加重。白粉病是南瓜生产中的主要病害之一,白粉病具有潜伏久、发病快、蔓延迅速等特点,防治不当,轻则减产20%~30%,重则造成植株死亡,严重影响南瓜的产量和品质^[6]。

目前,引起瓜类白粉病的病原菌主要有3个属:白粉病菌属(*Erysiphe*)、内丝白粉病菌属(*Leveil-*

收稿日期: 2021-08-09;修回日期: 2022-01-31

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0100700);湖南省重点项目(2020NK2038)

作者简介:严佳丽,女,在读硕士研究生,主要从事蔬菜栽培生理。E-mail: YanJLii@163.com

通信作者:孙小武,男,教授,主要从事蔬菜栽培生理和园艺产业经济与文化研究。E-mail: sun0070@139.com

lula) 及单囊壳属(*Podsphaera*),6个种分别是 *E. cichoracearum*、*E. polygoni*、*E. polyphage*、*E. communis*、*L. taurica* 和 *P. xanthii*。*P. xanthii* 报道最多,其次为 *E. cichoracearum*^[7]。*P. xanthii* 已发现有 11 个生理小种,分别是生理小种 0、1、2US、2France、3、4、5、N1、N2、N3 和 N4^[8]。

白粉病菌生理小种种类繁多,分化快。不同作物之间的白粉病生理小种相差甚远,同一作物在不同地区栽培,白粉病生理小种也不尽相同。准确预测和鉴定南瓜白粉病病原菌种类,并检测其生理小种的分化是解决南瓜白粉病防治难题的基础。2006 年刘秀波等^[9]对黑龙江地区侵染南瓜白粉病生理小种进行了鉴定,确定其为单囊壳白粉菌(*P. xanthii*),而 2009 年马鸿艳等^[10]研究表明该地区的的优势生理小种由 2France 转变为 race1。随着现代分子生物技术的高速发展,基因序列比对等技术被应用于物种鉴定等相关领域,白粉病病原菌的鉴定方式也由最初的显微观察向分子鉴定方向逐步发展。包海青等^[11]、王娟等^[12]、咸丰等^[13]利用显微观察和白粉病生理小种鉴别体系的方法分别对来自海南三亚地区、北京地区、陕西关中地区的南瓜白粉病菌进行鉴定,确定白粉病病原菌为单囊壳白粉菌(*P. xanthii*),其生理小种是 2France。屈淑平等^[14]、綦聪^[15]通过形态观察、分子鉴定及白粉病生理小种鉴别体系的方法,鉴定出黑龙江省哈尔滨市香坊区南瓜白粉病病原菌为单囊壳白粉菌(*P. xanthii*),生理小种为 2France。李书颉等^[16]利用形态学和分子生物学的方法对内蒙古不同地区籽用美洲南瓜白粉病病原菌种类进行鉴定,确定内蒙古地区白粉病为单囊壳白粉菌(*P. xanthii*),初步确定存在小种 4、2F、1 和 1 个未知小种;夏伟伟等^[17]通过形态观察、ITS 序列比对以及生理小种鉴别体系推断安徽省合肥市长丰地区的南瓜白粉病为单囊壳病菌,生理小种是 race1。

湖南作为南瓜的重要产区之一,目前关于湖南地区的南瓜白粉病鉴定和抗病种质筛选的研究较少,笔者以湖南省长沙地区为例,通过对湖南省长沙市金山基地南瓜白粉病病原菌的形态结构进行观察、扩增该白粉病病原菌 ITS 序列并进行比对,鉴定该地区的白粉病病原菌种类;其次采用国际通用的甜瓜白粉病生理小种鉴别寄主明确该地区的白粉病菌的生理小种,对 90 份南瓜种质资源进行白粉病抗性鉴定,筛选出高抗白粉病的种质资源,为南瓜白粉病的抗病基因定位及培育抗白粉病新品种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

2 份易感病自交系和 90 份种质资源鉴定材料由湖南农业大学园艺学院瓜类工程技术研究中心和湖南雪峰种业有限公司提供。易感病自交系为新土佐父本(*C. maxima* Duch.)和蜜本(*C. moschata* Duch.),90 份南瓜种质资源为 36 份中国南瓜类型和 54 份印度南瓜类型。2019 年 4 月在长沙市芙蓉区湖南农业大学旁金山基地大棚种植南瓜自交系新土佐父本和蜜本,用于病原菌分离、鉴定及白粉病接种体系优化,2019 年 4 月在邵东县九龙岭镇湖南农业大学南瓜实验基地大棚种植 90 份种质资源鉴定材料,用于抗性鉴定。

国际通用鉴别寄主:Iran H、Top Mark、Védrantais、PMR 45、PMR 5、WMR 29、Edisto 47、PI 414723、MR-1、PI 124111、PI 124112、PMR 6、Nantais Oblong,由北京大学现代农业研究院张兴平教授惠赠。甜瓜鉴别寄主均在人工气候箱中培养,用于白粉病生理小种鉴定。

白粉病病原菌取自 2019 年 4 月种植于湖南农业大学南瓜试验基地自然发病的南瓜植株叶片。

1.2 方法

1.2.1 白粉病病原菌分离纯化 2019 年 5 月收集自然发病南瓜叶片白粉病单菌落,滴入 2 滴吐温 20,制成 $2.5 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5$ 个·mL⁻¹ 孢子悬浮液,喷施于南瓜健康幼苗植株叶片上,后置于 28 °C、湿度 80%、光照度 30 000 lx、光周期为 12 h 的人工气候箱中培养,经过 5 次分离纯化后利用易感病品种新土佐父本植株扩繁,活体保存,用于后续试验。

1.2.2 白粉病病原菌形态观察 参照马鸿艳等^[10]的方法,利用 KOH 溶液观察纤维状体,取白粉病病原菌的分生孢子于载玻片上,滴加 1 滴 3% KOH 溶液,盖上盖玻片,在 10×40 倍光学显微镜下观察白粉病孢子中是否存在纤维状体。二孢白粉菌 *G. cichoracearum* 的分生孢子呈细长圆柱形,没有纤维状体。单囊壳白粉菌 *P. xanthii* 的分生孢子呈椭圆形,有发达的纤维状体。

1.2.3 白粉病病原菌分子鉴定 白粉病病原菌 DNA 提取:用真菌 DNA 小量提取试剂盒(天漠生物)提取白粉病病原菌的 DNA。

ITS 序列 PCR 扩增引物与程序:利用真菌核糖体 ITS 区段通用引物 ITS 1、ITS 4,序列为:ITS 1 (5' - TCCGTAGGTGAAACCTGCGG- 3') 和 ITS 4

(5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')。PCR 体系为 50 μL 体系:DNA 模板 1.25 μL, 上下引物各 2.5 μL, 2×Rapid Taq Master Mix (Vazyme) 25 μL, ddH₂O 18.75 μL。PCR 反应条件为: 预变性 94 °C 5 min; 变性 94 °C 30 s, 退火 50 °C 30 s, 延伸 72 °C 45 s, 35 个循环; 再延伸 72 °C, 10 min。

凝胶电泳检测:取 5 μL PCR 产物, 核酸染料染色, 1%琼脂糖凝胶电泳检测, 通过琼脂糖凝胶成像系统观察成像结果。

PCR 产物测序:将 PCR 产物原液送至北京擎科生物有限公司进行正反双向测序。

序列分析:将南瓜白粉病病原菌 ITS 序列在 NCBI 核酸数据库中 BLAST 比对, 使用 DNAMAN 软件进行序列对比分析, 构建系统发育树。

1.2.4 白粉病病原菌生理小种鉴定 采用国际通用的 13 个甜瓜白粉病生理小种鉴别寄主。通过寄主分析不同白粉病病原菌生理小种抗感反应以区别本试验中感染白粉病病原菌的生理小种, 寄主对不同生理小种抗感反应表现见表 1, 每个鉴别寄主种植 10 株。待寄主材料第 3 片真叶展开时即可接种, 取分离纯化后南瓜白粉病病原菌于清水中, 滴加 2 滴吐温 20, 制成浓度为 $2.5 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5$ 个·mL⁻¹ 的悬浮液, 用毛刷蘸取菌液, 匀涂抹在寄主叶片正面。接种后保持昼/夜温度 26 °C/16 °C, 相对湿度 75%。接种后切忌在叶片上浇水, 浇水和施肥从穴盘底部进行。接种 10 d 后调查发病情况, 接种叶片出现白色分生孢子层的为感病; 接种叶片无症状或出现褐色坏死病斑的为抗病。

表 1 甜瓜白粉病生理小种鉴别寄主及其抗感反应

鉴别寄主	单囊壳白粉菌												二孢白粉菌	
	Race 0	Race 1	Race 2France	Race 2US	Race 3	Race 4	Race 5	N 1	N 2	N 3	N 4	Race 0	Race 1	
Iran H	S	S	S	S	-	S	S	-	S	-	-	S	S	
Top Mark	R	S	S	S	S	S	S	-	S	-	-	S	S	
Védrantais	R	S	S	S	S	S	S	-	S	-	-	R	S	
PMR 45	R	R	S	S	S	S	S	R	S	R	R	R	S	
PMR 5	R	R	R	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R	
WMR 29	R	R	R	H	-	S	S	R	R	R	R	R	S	
Edisto 47	R	R	R	S	R	R	S	R	R	S	S	R	S	
PI 414723	R	R	R	S	R	R	R	S	S	S	R	R	R	
MR-1	R	R	R	R	R	R	R	-	R	-	-	R	R	
PI 124111	-	R	R	R	R	-	-	-	R	-	-	-	-	
PI 124112	R	R	R	R	R	R	R	-	R	-	-	R	R	
PMR 6	R	R	R	R	S	-	-	-	R	-	-	-	-	
Nantais Oblong	R	S	S	S	-	S	S	-	S	-	-	R	R	

注:S=感病;R=抗病;“-”=无数据;H=混杂。

1.2.5 南瓜种质资源白粉病抗性鉴定 2019 年 6 月在湖南农业大学瓜类工程技术研究中心邵阳基地大棚中种植南瓜材料, 在成株期对 90 份南瓜种质资源喷施浓度为 $2.5 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5$ 个·mL⁻¹ 的白粉病孢子悬浮液, 接种后 15 d 对南瓜病情划分等级, 计算病情指数, 根据病情指数计算结果判断种质资源抗性表现。鉴定标准见表 2, 病情指数(DI)计算如下^[16]:

$$DI = \sum (s_i n_i) \times (5N)^{-1} \times 100.$$

式中, s_i 为发病等级, n_i 为相应发病等级植株数目, N 为调查总株数观测量。

$0 < DI \leq 20$ 时为高抗材料; $20 < DI \leq 40$ 时为抗病材料; $40 < DI \leq 60$ 时为中间型材料; $60 \leq DI \leq 80$ 是为感病材料; $DI \geq 80$ 为高感材料。

表 2 植株抗感白粉病情况鉴定标准

病级	病情
0	叶片干净, 无病斑
1	仅有 1~2 片病叶, 病叶仅有极少量病斑
2	整株有 2~3 片病叶, 病叶生有少量病斑, 白粉较为明显
3	病斑面积占叶面积的 1/3, 白粉层明显, 开始出现连片现象, 病叶数占 1/3
4	白粉层较厚, 连片, 病叶数占叶片总数 2/3
5	白粉层覆盖全部叶片, 几乎全株叶片均有白粉层

2 结果与分析

2.1 南瓜白粉病病原菌形态特征

由图 1 可知, 取分离纯化后南瓜白粉病病原菌在 10×40 倍的电子显微镜下观察分生孢子和纤维

状体,显示分生孢子呈椭圆形。病原菌分生孢子内均含明显纤维状体。通过形态特征观察初步判断,此白粉病菌为单囊壳白粉菌(*Podosphaera xanthii*)。

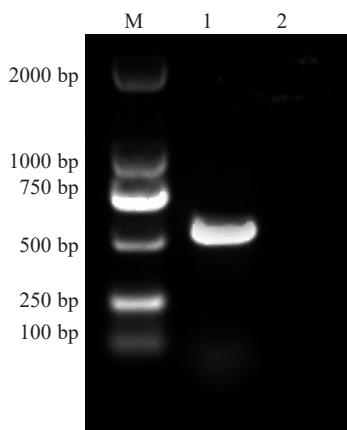


注:分生孢子形态结构,箭头所指为纤维状体。

图1 南瓜白粉病病原菌形态观察

2.2 南瓜白粉病病原菌分子鉴定

利用真菌 DNA 提取试剂盒(天漠生物)提取白粉病病原菌的 DNA,利用通用引物 ITS 1、ITS 4 扩增得到长度为 522 bp DNA 片段(图 2)。运用



注:M. 分子质量标记;1. PCR 产物;2. 空白对照。

图2 南瓜白粉病病原菌 DNA 扩增结果

DNAMAN 6.0(LynnonBiosoft)将序列与已报道侵染瓜类白粉病病原菌其他序列对比(图 3),结果表明,长沙地区的白粉病病原菌与 *Podosphaera xanthii* 序列一致性高达 99%;构建系统发育树(图 4),结果表明南瓜白粉病病原菌 ITS 序列相较于 *E. cichoracearum*、*E. polygoni*、*L. taurica* 而言,与单囊壳白粉病(*Podosphaera xanthii*)同源关系更近。通过分子鉴定的方法,更进一步验证了湖南省长沙市湖南农业大学金山基地南瓜白粉病病原菌种类为单囊壳白粉菌(*Podosphaera xanthii*)。

2.3 南瓜白粉病病原菌生理小种鉴定

甜瓜鉴别寄主 Iran H、Top mark、Védrantais、PMR 45、Nantais Oblong 接种 10 d 叶片出现明显白粉病斑;20 d 后植株叶片及茎干出现浓厚白粉层。而寄主 PMR 5、WMR 29、Edisto 47、MR-1、PI 124111、PI 124112、PMR 6 无白粉病侵染情况,寄主 PI 414723 出现极少数褐色坏死病斑,表现出较强抗病特征。对比表 3 抗感反应,确认湖南省长沙市湖南农业大学金山基地白粉病病原菌生理小种为单囊壳白粉病菌中的 2France。

表3 鉴别寄主对南瓜白粉病菌抗感反应

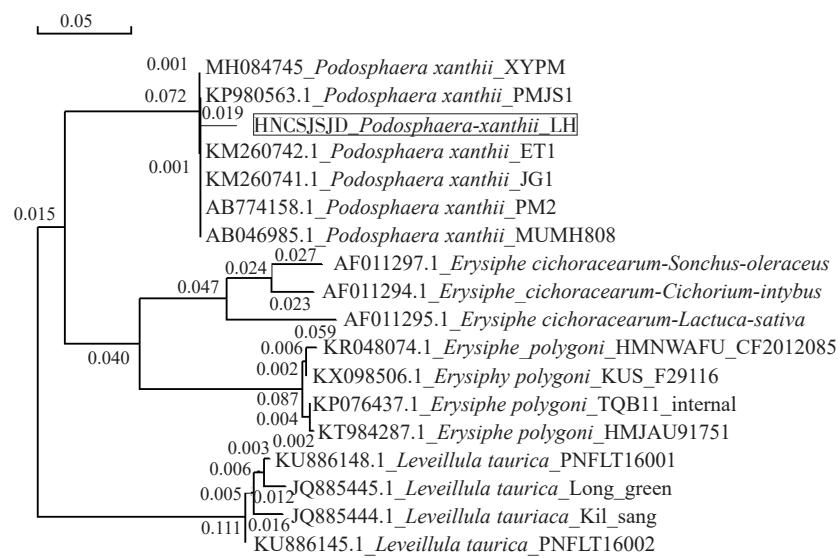
鉴别寄主	鉴别寄主抗感反应
Iran H	S
Top Mark	S
Védrantais	S
PMR 45	S
PMR 5	R
WMR 29	R
Edisto 47	R
PI 414723	R
MR-1	R
PI 124111	R
PI 124112	R
PMR 6	R
Nantais Oblong	S

2.4 南瓜抗白粉病种质资源的筛选

由表 4 可以看出,从 90 份种质资源中筛选出 9 份高抗种质、11 份抗病种质、30 份中间型种质、20 份感病种质以及 20 份高感材料。其中,9 份高抗种质全为中国南瓜类型;11 份抗病种质包含 3 份中国南瓜类型以及 8 份印度南瓜类型;30 份中间型种质包含 8 份中国南瓜类型以及 22 份印度南瓜类型;20 份感病种质包含 9 份中国南瓜类型以及 11 份印度南瓜类型;20 份高感种质包含 7 份中国南瓜类型以及 13 份印度南瓜类型。

3 讨论与结论

瓜类作物白粉病病原菌在无性形态上不易区分,可通过分生孢子是否具有纤维状体区分 *P. xanthii* 和 *E. cucurbitacearum*,臧全宇^[18]通过有无纤维状体的方法鉴定出杭州甜瓜白粉病菌属于 *P. xanthii*。rDNA 序列克隆分析手段已经广泛应用于病原菌的分类,其中的 ITS 序列进化速度快,具有保守性,在不同的科、属、种的水平上具有特异性,因此,通过设计引物比对分析病原菌 ITS 序列可有效



注:框中为样本。

图4 根据ITS序列构建南瓜白粉病病原菌系统发育树

表4 90份不同品系南瓜抗病性鉴定

编号	南瓜类型	病情指数	抗感结果	编号	南瓜类型	病情指数	抗感结果	编号	南瓜类型	病情指数	抗感结果
1	中国南瓜	82	高感	31	中国南瓜	66	感病	61	印度南瓜	60	感病
2	中国南瓜	68	感病	32	中国南瓜	68	感病	62	印度南瓜	82	高感
3	中国南瓜	76	感病	33	中国南瓜	88	高感	63	印度南瓜	52	中间型
4	中国南瓜	56	中间型	34	中国南瓜	16	高抗	64	印度南瓜	82	高感
5	中国南瓜	68	感病	35	中国南瓜	12	高抗	65	印度南瓜	54	中间型
6	中国南瓜	12	高抗	36	中国南瓜	60	感病	66	印度南瓜	24	抗病
7	中国南瓜	64	感病	37	印度南瓜	88	高感	67	印度南瓜	24	抗病
8	中国南瓜	72	感病	38	印度南瓜	86	高感	68	印度南瓜	54	中间型
9	中国南瓜	50	中间型	39	印度南瓜	82	高感	69	印度南瓜	56	中间型
10	中国南瓜	24	抗病	40	印度南瓜	72	感病	70	印度南瓜	52	中间型
11	中国南瓜	76	感病	41	印度南瓜	60	感病	71	印度南瓜	52	中间型
12	中国南瓜	22	抗病	42	印度南瓜	48	中间型	72	印度南瓜	60	感病
13	中国南瓜	10	高抗	43	印度南瓜	60	感病	73	印度南瓜	56	中间型
14	中国南瓜	86	高感	44	印度南瓜	60	感病	74	印度南瓜	82	高感
15	中国南瓜	84	高感	45	印度南瓜	50	中间型	75	印度南瓜	62	感病
16	中国南瓜	16	高抗	46	印度南瓜	90	高感	76	印度南瓜	50	中间型
17	中国南瓜	10	高抗	47	印度南瓜	24	抗病	77	印度南瓜	28	抗病
18	中国南瓜	50	中间型	48	印度南瓜	82	高感	78	印度南瓜	50	中间型
19	中国南瓜	10	高抗	49	印度南瓜	56	中间型	79	印度南瓜	84	高感
20	中国南瓜	14	高抗	50	印度南瓜	40	抗病	80	印度南瓜	50	中间型
21	中国南瓜	54	中间型	51	印度南瓜	30	抗病	81	印度南瓜	52	中间型
22	中国南瓜	54	中间型	52	印度南瓜	50	中间型	82	印度南瓜	24	抗病
23	中国南瓜	26	抗病	53	印度南瓜	46	中间型	83	印度南瓜	86	高感
24	中国南瓜	48	中间型	54	印度南瓜	50	中间型	84	印度南瓜	60	感病
25	中国南瓜	54	中间型	55	印度南瓜	60	感病	85	印度南瓜	50	中间型
26	中国南瓜	82	高感	56	印度南瓜	82	高感	86	印度南瓜	62	感病
27	中国南瓜	50	中间型	57	印度南瓜	40	抗病	87	印度南瓜	88	高感
28	中国南瓜	82	高感	58	印度南瓜	42	中间型	88	印度南瓜	52	中间型
29	中国南瓜	84	高感	59	印度南瓜	50	中间型	89	印度南瓜	54	中间型
30	中国南瓜	18	高抗	60	印度南瓜	84	高感	90	印度南瓜	60	感病

鉴定病原菌。张怡等^[19]采集河南周口地区的白粉病病原菌分析其ITS序列,鉴定出该地区的瓜类白粉病菌属于单囊壳白粉菌(*P. xanthii*)。本试验中电子显微镜下的南瓜白粉病病原菌的分生孢子为椭圆形,3%的KOH溶液着色效果下,孢子内含有纤维状体,初步判断其属于单囊壳白粉菌(*P. xanthii*)。通过ITS序列比对分析可知,长沙地区南瓜白粉病病原菌(图3中HNCSJSJD_Podosphaera_xanthii_LH)与*Podosphaera xanthii* XYPM、*Podosphaera xanthii* PMJSI、*Podosphaera xanthii* ETI、*Podosphaera xanthii* JG1、*Podosphaera xanthii* PM 2及*Podosphaera xanthii* MUMH 808的ITS序列高度同源,通过系统发育树分析可知,本试验中白粉病病原菌(图4中HNCSJSJD_Podosphaera_xanthii_LH)与*Podosphaera xanthii*聚类在同一分支,进一步确定长沙地区南瓜白粉病病原菌属于单囊壳白粉菌(*P. xanthii*)。采用国际通用的甜瓜白粉病生理小种鉴别寄主明确鉴定出2019年湖南省长沙地区金山基地大棚南瓜白粉病菌的生理小种为2France。

目前,国内报道的南瓜抗白粉病种质资源鉴定研究主要以美洲南瓜类型为主。张旭业^[20]从28份美洲南瓜材料中筛选出10份抗病材料。屈淑平等^[14]从64份美洲南瓜材料中筛选出13份高抗资源和15份高感材料。笔者对收集的90份南瓜种质资源进行白粉病抗性鉴定,得到9份高抗种质、11份抗病种质、30份中间型种质、20份感病种质以及20份高感材料。其中,高抗种质均为中国南瓜类型,感病材料多为印度南瓜类型,初步推断,可能中国南瓜在白粉病抗性方面优于印度南瓜,但仍需进一步扩大样本量进行深入研究。本试验为抗白粉病种质资源的挖掘、抗病基因定位研究以及抗病新品种的创制奠定了一定基础。

参考文献

- [1] 林德佩.南瓜植物的起源和分类[J].中国西瓜甜瓜,2000(1):36-38.
- [2] 胡立玉.超微粉碎对南瓜营养成分提取率及抗氧化能力的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2013.
- [3] 彭红,黄小茉,欧阳友生,等.南瓜多糖的提取工艺及其降糖作用的研究[J].食品科学,2002,23(8):260-263.
- [4] 王昱,李海燕,张世忠.南瓜功能性成分的研究及其发展[J].天津农业科学,2010,16(5):133-135.
- [5] 陈威.饲用南瓜的特点及其栽培技术[J].现代畜牧科技,2019(3):42-43.
- [6] 魏照信,李波,荆爱霞.南瓜白粉病的主要影响因素及防治技术[J].中国蔬菜,2012(7):28-29.
- [7] VAKALOUNAKIS D J, KLIRONOMOU E, PAPADAKIS A. Species spectrum host range and distribution of powdery mildews on Cucurbitaceae in Grete[J]. Plant Pathology, 1994, 43(5):813-818.
- [8] 王娟,邓建新,宫国义,等.甜瓜抗白粉病育种研究进展[J].中国瓜菜,2006,19(1):33-36.
- [9] 刘秀波,崔崇士.黑龙江省南瓜白粉病病原菌鉴定及抗性鉴定方法研究[J].中国瓜菜,2006,19(1):10-13.
- [10] 马鸿艳,魏尊苗,祖元刚,等.2009—2010年黑龙江省主要瓜类作物白粉病菌生理小种鉴定[J].植物保护学报,2011,38(3):287-288.
- [11] 包海清,许勇,杜永臣,等.海南三亚地区葫芦科作物白粉病菌生理小种分化的鉴定[J].长江蔬菜,2008(1):49-51.
- [12] 王娟,宫国义,郭绍贵,等.北京地区瓜类蔬菜白粉病菌生理小种分化的初步鉴定[J].中国蔬菜,2006(8):7-9.
- [13] 咸丰,张勇,马建祥,等.陕西关中地区瓜类白粉病菌生理小种的鉴定[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(10):115-120.
- [14] 屈淑平,綦聪,王云莉,等.南瓜白粉病病原菌及种质资源抗性鉴定[J].东北农业大学学报,2018,49(12):9-17.
- [15] 綦聪.美洲南瓜白粉病病原菌鉴定及抗病基因的精细定位[D].哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [16] 李书颉,王萍,杨永升,等.籽用美洲南瓜白粉病病原菌生理小种鉴定及抗性遗传分析[J].中国蔬菜,2020(11):72-79.
- [17] 夏伟伟,邓竹根,戴祖云,等.长丰地区南瓜白粉病病原菌生理小种鉴定[J].中国瓜菜,2021,34(11):24-29.
- [18] 臧全宇.网纹甜瓜白粉病的抗性遗传研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- [19] 张怡,徐克东,陈佩佩,等.河南省周口地区瓜类白粉病的分子鉴定与分析[J].华中师范大学学报(自然科学版),2013,47(6):830-835.
- [20] 张旭业.美洲南瓜4CL基因和抗白粉病相关性研究[D].兰州:甘肃农业大学,2015.