

徐兵划,汪国莲,仲秀娟,等.瓜类白粉病菌生理小种鉴定及抗白粉病甜瓜品种筛选[J].江苏农业科学,2022,50(23):102-109.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.23.015

瓜类白粉病菌生理小种鉴定及抗白粉病甜瓜品种筛选

徐兵划^{1,2},汪国莲¹,仲秀娟¹,黄大跃^{1,2},顾妍^{1,2},张朝阳^{1,2},程瑞^{1,2},孙玉东^{1,2}

(1.江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所,江苏淮安 223001; 2.淮安市设施蔬菜重点实验室,江苏淮安 223001)

摘要:为明确白粉病菌优势生理小种及其类型,从江苏淮安、南京、常熟、连云港,浙江杭州,上海青浦区、金山区分别采集不同瓜类作物的白粉病菌样品,对 13 个甜瓜白粉病菌生理小种鉴别寄主进行接种。结合形态学和分子生物学进行鉴定和分析,病原菌形态和分子 ITS 鉴定结果均为单囊壳白粉病菌,淮安地区病原菌 ITS4 序列与单囊壳白粉病菌的同源性达到 98.83%。鉴别寄主接种鉴定结果表明,7 个地区不同瓜类作物上的白粉病菌生理小种类型均为单囊壳白粉病生理小种 2France。对江苏地区 8 个甜瓜品种进行白粉病抗性鉴定,玉姑、西州密 25、苏甜 2 号表现为中感白粉病(SR),苏乾 1 号中抗白粉病(MR),苏乾 4 号、苏乾 5 号、1911ME133、1911ME134 等品种为抗白粉病品种。并对 8 个品种进行白粉病侵染后的生理生化指标测定,结果表明接种后 MDA 含量及 SOD、POD 活性均表现出先上升后下降的趋势,且 MDA 含量表现为抗白粉病品种(苏乾 4 号、苏乾 5 号、1911ME133、1911ME134) < 中抗白粉病品种(苏乾 1 号) < 感白粉病品种(玉姑、西州密 25、苏甜 2 号);而 SOD、POD 活性则相反,表现为抗白粉病品种 > 中抗白粉病品种 > 感白粉病品种。

关键词:甜瓜;白粉病;生理小种性鉴定;防御酶活性;抗性筛选

中图分类号:S652.034;S436.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)23-0102-08

瓜类白粉病是一种在甜瓜、黄瓜、南瓜、西瓜等瓜类作物上广泛发生的重要病害。在发病期,白粉病菌呈指数增长,且迅速传播,植株叶片大面积枯死,导致产量减产,造成严重的经济损失^[1]。江苏地区甜瓜多为大棚设施栽培,加之高温高湿气候条件,成为白粉病的高发区^[2]。

在我国致使葫芦科作物发病的主要是单囊壳白粉菌 [*Sphaerotheca fuliginea* (syn. *Podosphaera xanthii*)] 与二孢白粉菌 [*Erysiphe cichoracearum* (syn. *Golovinomyces cichoracearum*)]。单囊壳白粉菌(*Px*)分化出 0、1、2F、2US 等 11 个生理小种,二孢白粉菌(*Gc*)分化出 0 号、1 号 2 个生理小种^[3]。白粉病生理小种众多,分化演替快,研究各地区白粉病生理小种的演变对葫芦科白粉病的防治与白粉

病抗性育种具有重要意义^[4]。

通过采集江苏淮安、南京、常熟、连云港,浙江杭州,上海青浦区、金山区等地区的甜瓜、南瓜、黄瓜等感染白粉病的叶片,利用 13 份甜瓜白粉病鉴别寄主鉴定这些地区白粉病生理小种类型,并对 8 个甜瓜品种进行苗期白粉病接种鉴定,以筛选出抗白粉病的甜瓜品种,并对接种后不同时间不同抗性品种植株中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、丙二醛(MDA)等的变化进行跟踪测定,研究不同抗性甜瓜材料生理生化机制。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 白粉病菌生理小种鉴定材料 采用国际通用的 13 份甜瓜白粉病菌生理小种鉴定的鉴别寄主(表 1),分别为 Iran-H、Topmark、Vedrantais、PMR 45、PMR 6、Edisto 47、PI 124112、PI 414723、PMR 5、MR-1、Nantais Oblong、WMR 29、PI 124111,由北京市农林科学院蔬菜研究中心提供。

1.1.2 抗白粉病甜瓜品种筛选 甜瓜品种玉姑(T1)、西州密 25(T2)由市场购入,苏甜 2 号(T3)由江苏省农业科学院蔬菜研究所提供,苏乾 4 号(T4)、苏乾 5 号(T5)、1911ME133(T7)、1911ME134

收稿日期:2022-01-22

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(编号:CARS-25);江苏省第五期“333 工程”项目(编号:BRA2018239);江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室项目(编号:17HZHL027)。

作者简介:徐兵划(1987—),女,河南开封人,硕士,助理研究员,主要从事西甜瓜育种及栽培技术研究。E-mail:2014469994@qq.com。
通信作者:孙玉东,研究员,主要从事蔬菜育种研究。E-mail:751665242@qq.com。

表 1 甜瓜白粉病菌生理小种的鉴别寄主及其抗感反应

| 鉴别寄主 | 对单囊壳白粉菌的抗感反应 | | | | | | | | | | | 对二孢白粉菌的抗感反应 | |
|----------------|--------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|----|----|----|----|-------------|-------|
| | Race0 | Race1 | Race2 | | Race3 | Race4 | Race5 | N1 | N2 | N3 | N4 | Race0 | Race1 |
| | | | 2US | 2France | | | | | | | | | |
| Iran – H | S | S | S | S | ND | S | S | S | S | ND | ND | S | S |
| Topmark | S | S | S | S | S | S | S | S | S | ND | ND | S | S |
| Vedrantais | R | S | S | S | S | S | S | S | S | ND | ND | 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 | H | R | ND | S | S | R | R | R | R | R | S |
| Edisto 47 | R | R | S | R | R | R | S | R | R | S | S | R | S |
| PI 414723 | R | R | S | R | R | R | R | S | S | S | R | R | R |
| MR – 1 | R | R | R | R | R | R | R | R | R | ND | ND | R | R |
| PI 124111 | ND | R | R | R | R | ND | ND | R | R | ND | ND | ND | ND |
| PI 124112 | R | R | R | R | R | R | R | R | R | ND | ND | R | R |
| PMR 6 | R | R | R | R | S | ND | ND | R | R | ND | ND | ND | ND |
| Nantais Oblong | R | S | ND | S | ND | S | S | S | S | ND | ND | R | R |

注：S—感病；R—抗病；MR—中抗；SR—中感；HS—高感；H—杂合；ND—目前无数据。下表同。

(T8)、苏乾 1 号(T9)由江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所提供。

1.2 试验方法

1.2.1 白粉病菌的生理小种鉴定 2020 年 9 月 20 日,甜瓜白粉病菌鉴别寄主在淮安市农业科学院科研创新基地育苗,播种于 50 孔穴盘。10 月 10—12 日从江苏淮安、南京、常熟、连云港,浙江杭州,上海青浦区、金山区等地区分别采集甜瓜、南瓜、黄瓜等感染白粉病的叶片(表 2),分别用毛笔刷下叶片上白粉病菌孢子至无菌蒸馏水中,高速旋转,打散孢子团^[5]。在 40 倍光学显微镜下观察,在血球计数板上计算分生孢子数,测算浓度,调整孢子浓度值为 10⁵ 个/mL,加入 Tween-20,搅拌均匀。10 月 13 日,采用喷雾接种,每个处理接种 10 株,3 次重复。接种后,放入人工气候箱,黑暗 24 h,之后光照 12 h/黑暗 12 h,温度为 28 ℃,湿度为 80%。接种后第 12 天观察发病情况,计算病情指数(DI)。

表 2 感染白粉病叶片的采集详情

| 编号 | 采集地 | 作物种类 |
|----|-------|------|
| 1 | 淮安 | 甜瓜 |
| 2 | 南京 | 黄瓜 |
| 3 | 常熟 | 黄瓜 |
| 4 | 连云港 | 甜瓜 |
| 5 | 浙江杭州 | 甜瓜 |
| 6 | 上海青浦区 | 南瓜 |
| 7 | 上海金山区 | 黄瓜 |

1.2.2 病原菌形态学及分子鉴定 分别取 7 个地区的白粉病病原菌无性世代分生孢子于载玻片上,盖上盖玻片,显微镜下观察分生孢子形态,有纤维状体的为单囊壳白粉菌,无纤维状体的为二孢白粉菌^[6]。

将叶片表面的菌丝与孢子混合物刷到 1.5 mL 离心管中,用十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)法提取白粉病菌 DNA,1% 琼脂糖凝胶检测 DNA 样品,合格后进行 PCR 反应,PCR 反应试剂是 SanTaq Plus PCR Master Mix(Sangon Biotech; B532081),引物采用通用引物 ITS4。PCR 产物经 1.5% 琼脂糖凝胶电泳检测,合格的 PCR 产物送至生工生物工程(上海)股份有限公司进行测序。将测序序列在 GenBank 数据库(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)中进行比对分析。

1.2.3 抗白粉病甜瓜品种筛选 2021 年 3 月 20 日,8 个甜瓜品种在淮安市农业科学院科研创新基地玻璃温室育苗,播种于 50 孔穴盘。4 月 12 日,3 叶至 4 叶 1 心时接种,病原菌为纯化的 2France,每个材料接种 50 株,2 次重复。接种后 5、7、10 d 观察发病情况,第 12 天时统计病情指数。

1.2.4 生化指标的测定 于接种 0 h 和接种后 24、72、120、168 h 取植株的从上到下第 3 张完全展开的叶片,测定其丙二醛含量,超氧化物歧化酶和过氧化物酶等抗氧化酶活性的变化,每个材料 3 次生物学重复。MDA 含量采用硫代巴比妥酸法^[7]测定,SOD 活性采用氮蓝四唑法^[7]测定,POD 活性采用愈

创木酚法^[7]测定。

1.2.5 白粉病病情分级 接种 12 d 时待植株充分发病后,调查发病情况。病情分级标准参考耿丽华等的方法^[8]并加以改进,共分 6 级:0 级,整株无病斑;1 级,仅子叶上有很少量病斑或茎上有少量病斑,白粉模糊,占整株的比例在 10% 以下;2 级,仅叶片上有较多白粉或子叶上有白粉,茎上有少量白粉,白粉明显,占整株的比例为 10% ~ 20%;3 级,叶片上有很多白粉,茎上有少量白粉,白粉厚,连片,占整株的比例为 21% ~ 50%;4 级,叶片和茎上布满白粉,白粉浓厚,占整株的比例为 51% ~ 80%;5 级,植株死亡。依据上述分级标准调查病情,并计算病情指数。按病情指数进行抗、感分级,分级标准:抗病(R)为 $DI < 20\%$;中抗(MR)为 $20\% \leq DI < 40\%$;

中感(SR)为 $40\% \leq DI < 60\%$;感病(S)为 $60\% \leq DI < 80\%$;高感(HS)为 $DI \geq 80\%$ 。

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{各级病株数} \times \text{各级代表值})}{\text{植株总数} \times \text{最高级代表值}} \times 100。$$

1.2.6 数据分析 采用 Excel 及 SPSS 软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 显微镜下白粉病菌形态

在显微镜下观察白粉病菌分生孢子均为椭圆形(图 1-A),应为单囊壳白粉病菌,分生孢子产生的菌丝有发达的纤维状体(图 1-B),而二孢白粉病菌分生孢子为细细长长的圆柱形状,因此可确定 7 份白粉病菌均为单囊壳白粉病菌。

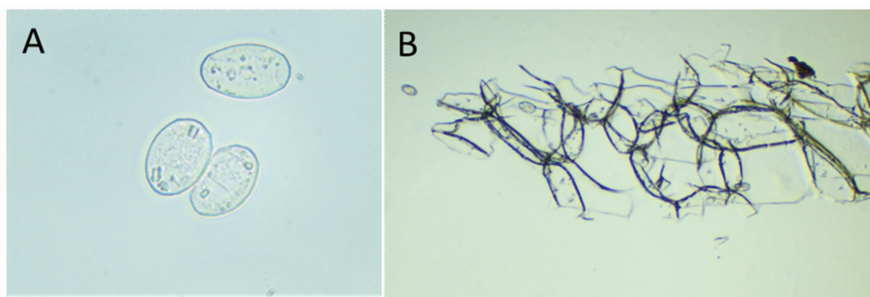


图1 白粉病菌分生孢子及纤维状体

2.2 白粉病菌内源转录间隔区(ITS)序列

利用通用引物 ITS4 进行 PCR 扩增获得的目的片段以及基因组 DNA 进行琼脂糖凝胶电泳检测,随后测序,测序获得长度为 514 bp 的碱基序列(图 2),与单囊壳白粉病菌序列进行比对,相似度达到 98.83% (508/514),空白序列(Gap)为 5.51% (30/544)。

2.3 白粉病菌生理小种鉴定

接种后 5 d, Iran - H、Topmark、PMR 45 的叶片即出现白粉病病斑,接种后 7 d Vedrantaïs、Nantais Oblong 的叶片开始出现白粉病病斑。第 12 天统计的结果(图 3、表 3)显示, PMR6、Edisto 47、PI 124112、PI 414723、PMR 5、MR - 1、WMR 29、PI 124111 的叶片和茎部均无白粉病病斑,表现为抗病, Iran - H、Topmark、Vedrantaïs、PMR 45、Nantais Oblong 的叶片均布满白粉,个别单株茎部有白粉,均表现为感白粉病。Iran - H、Topmark、Vedrantaïs、PMR 45、Nantais Oblong 表现为感病, PMR6、Edisto 47、PI 124112、PI 414723、PMR 5、MR - 1、WMR 29、PI 124111 的发病指数为 0,表现为抗病,根据表 1 中

13 个鉴别寄主对白粉病不同生理小种的抗、感反应对比,即可确定优势生理小种为单囊壳白粉菌 Race2 中的 2France(表 4)。

2.4 抗白粉病甜瓜品种的筛选

接种后 5 d,玉姑、苏甜 2 号的叶片即出现白粉病病斑;接种后 7 d,西州密 25 叶片开始出现白粉病病斑,苏乾 1 号叶片也出现点状病斑。第 12 天时调查统计的发病情况及病情指数(图 4、表 5)显示,玉姑、西州密 25、苏甜 2 号的病情级别处于 1 ~ 4 级,病情指数分别为 56.37、49.04、58.54,表现为感白粉病(SR);T9(苏乾 1 号)发病级别为 1 ~ 2 级,病情指数为 23.67,表现为中抗白粉病(MR),苏乾 4 号(T4)、苏乾 5 号(T5)、1911ME133(T7)、1911ME134(T8)等 4 个品种的叶片、茎部均未发现白粉病病斑,表现为抗白粉病(R)。

2.5 白粉病菌对不同抗性甜瓜材料生理生化指标的影响

2.5.1 丙二醛含量的动态变化 由图 5 可知,接种白粉病菌后,MDA 含量均表现出先升后降的趋势,在 72 ~ 120 h 达到峰值,且在 168 h 植株中 MDA 含

```

1      ..... AGGGGTTCCTACCCTGATCCGAGGTCATCCAAAGACTGGGGTTC TGCGCG
      ||| ||| |||||
1      TTAAGTTCAGCGGGTATCCCTACCTGATCCGAGGTCATCCAAAGACTGGGGTTC TGCGCG
81
51     GTGCCGTCGCCACTCTGTCGCGAGATACATGACTACGCGGAGAGCACACCAGCACCGCCA
      |||||
61     GTGCCGTCGCCACTCTGTCGCGAGATACATGACTACGCGGAGAGCACACCAGCACCGCCA
      |||||
111    CTGCGTTTAGGGGCCGCCGAGCCGGCGAGCCCCAAGACCAAGCTAGGCTTGAGGGGTGTT
      |||||
121    CTGCGTTTAGGGGCCGCCGAGCCGGCGAGCCCCAAGACCAAGCTAGGCTTGAGGGGTGTT
      |||||
171    CTGACGCTCGAACAGGCATGCCCTCGGAATGCCGGGGGGCGCAATGTGCGTTCAAAGAT
      |||||
181    CTGACGCTCGAACAGGCATGCCCTCGGAATGCCGGGGGGCGCAATGTGCGTTCAAAGAT
      |||||
231    TCGATGATTCACTAAATTCGCAATTCACATTACTTATCGCATTTTCGTGCGTTCTTCAT
      |||||
241    TCGATGATTCACTAAATTCGCAATTCACATTACTTATCGCATTTTCGTGCGTTCTTCAT
      |||||
291    CGATGCCAGAGCCAAGAGATCCGTTGTTGAAAGTTTACTAATTCCACATTTCTCAGAC
      |||||
301    CGATGCCAGAGCCAAGAGATCCGTTGTTGAAAGTTTACTAATTCCACATTTCTCAGAC
      |||||
351    AACACTCACAGCACGAGTTGGGGCTTCTCTGACGGGCACCTCGCCAGCCGAGCCGGCAGG
      |||||
361    AACACTCACAGCACGAGTTGGGGCTTCTCTGACGGGCACCTCGCCAGCCGAGCCGGCAGG
      |||||
411    TCGAGCCCGGCCGCCCAAAGCAACAGATAAGAGTTCACACGGGTGGAGGGTCAACCGCG
      |||||
421    TCGAGCCCGGCCGCCCAAAGCAACAGATAAGAGTTCACACGGGTGGAGGGTCAACCGCG
      |||||
471    CAGCGCGTGCGCGCTGCGGGGCTCGCGCTCAGTAATGATCCTTCCGCAGGTTCACCTAC
      |||||
481    CAGCGCGTGCGCGCTGCGGGGCTCGCGCTCAGTAATGATCCTT.....
531    GGAA
525    ....

```

上排序列——淮安白粉病病原菌，下排序列——单囊壳白粉病菌
图2 淮安白粉病病原菌与单囊壳白粉病菌 ITS 核酸序列比对

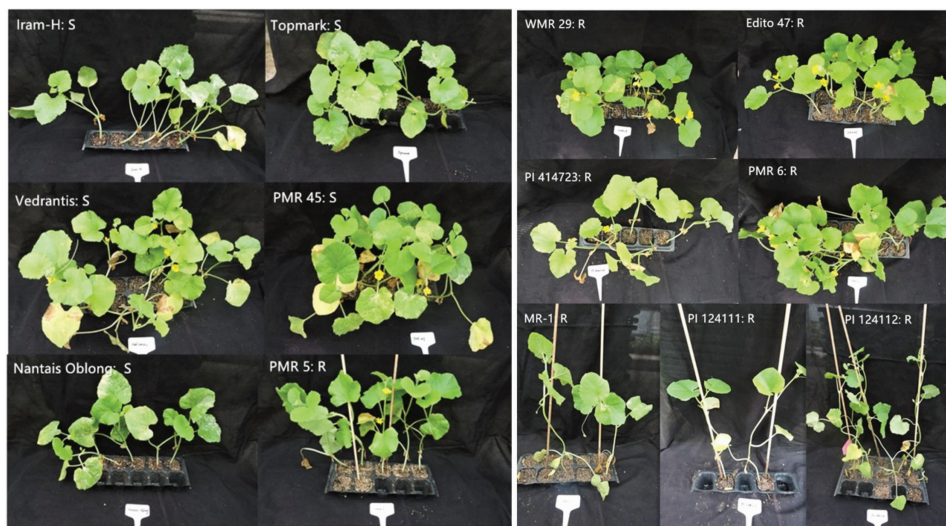


图3 13个甜瓜白粉病鉴别寄主接种鉴定表型

量均高于接种前的水平,4 个抗病品种(苏乾 4 号、苏乾 5 号、1911ME133、1911ME134)较 0 h 平均增加 33.33%,中抗品种苏乾 1 号增加 37.5%,3 个感病

品种(玉姑、苏甜 2 号、西州密 25) 平均增加 60.96%;不同抗性材料的 MDA 含量表现为抗病品种(苏乾 4 号、苏乾 5 号、1911ME133、1911ME134) <

表 3 甜瓜白粉病菌鉴别寄主病情指数及抗感表型

| 鉴别寄主 | 病情指数 | | | | | | | | 表型 |
|----------------|------|----|----|-----|----|------|------|-------|----|
| | 淮安 | 南京 | 常熟 | 连云港 | 杭州 | 上海青浦 | 上海金山 | 平均值 | |
| Iran - H | 62 | 58 | 60 | 56 | 58 | 54 | 60 | 58.29 | SR |
| Topmark | 60 | 62 | 64 | 58 | 60 | 56 | 64 | 60.57 | S |
| Vedrantais | 50 | 60 | 66 | 56 | 62 | 60 | 62 | 59.43 | SR |
| PMR 45 | 52 | 60 | 60 | 60 | 64 | 66 | 64 | 60.86 | S |
| PMR 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | R |
| WMR 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | R |
| Edisto 47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | R |
| PI 414723 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | R |
| MR - 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | R |
| PI 124111 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | R |
| PI 124112 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | R |
| PMR 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | R |
| Nantais Oblong | 72 | 64 | 64 | 60 | 62 | 64 | 66 | 64.57 | S |

中抗品种(苏乾 1 号) < 感病品种(玉姑、苏甜 2 号、西州密 25)。说明抗白粉病品种抗膜脂过氧化作用的能力要强于感病品种,且在 168 h 后细胞膜结构和功能已经恢复接近正常水平。

2.5.2 白粉病菌对超氧化物歧化酶活性的影响
由图 6 可知,接种白粉菌前感病品种(玉姑、苏甜 2 号、西州密 25)的 SOD 活性低于抗病品种(苏乾 4 号、苏乾 5 号、1911ME133、1911ME134),接种后,不同抗性品种中的 SOD 活性均升高,在 72 h 时达到高峰,之后逐渐降低;在 72 h 时,4 个抗病品种的 SOD 活性平均值是感病品种(玉姑、苏甜 2 号、西州密 25)的 1.34 倍,是中抗品种苏乾 1 号的 1.19 倍;抗病品种的 SOD 活性上升幅度较大,在 72 h 时,4 个抗病品种的 SOD 活性平均值较接种前增加了 33.84%,而感病品种接种后其 SOD 活性的上升和下降趋势均较平缓,在 72 h 时,3 个感病品种的 SOD

表 4 瓜类白粉病优势生理小种类型的判定结果

| 鉴别寄主 | 对单囊壳白粉菌的抗感反应 | | | | | | | | | | | | 对二孢白粉菌的抗感反应 | |
|----------------|--------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|----|----|----|----|-------|-------------|--|
| | Race0 | Race1 | Race2 | | Race3 | Race4 | Race5 | N1 | N2 | N3 | N4 | Race0 | Race1 | |
| | | | 2US | 2France | | | | | | | | | | |
| Iran – H | S | S | S | S | ND | S | S | S | S | ND | ND | S | S | |
| Topmark | S | S | S | S | S | S | S | S | S | ND | ND | S | S | |
| Vedrantais | R | S | S | S | S | S | S | S | S | ND | ND | 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 | H | R | ND | S | S | R | R | R | R | R | S | |
| Edisto 47 | R | R | S | R | R | R | S | R | R | S | S | R | S | |
| PI 414723 | R | R | S | R | R | R | R | S | S | S | R | R | R | |
| MR – 1 | R | R | R | R | R | R | R | R | R | ND | ND | R | R | |
| PI 124111 | ND | R | R | R | R | ND | ND | R | R | ND | ND | ND | ND | |
| PI 124112 | R | R | R | R | R | R | R | R | R | ND | ND | R | R | |
| PMR 6 | R | R | R | R | S | ND | ND | R | R | ND | ND | ND | ND | |
| Nantais Oblong | R | S | ND | S | ND | S | S | S | S | ND | ND | R | R | |

活性平均值较接种前增加了 20.98%。表明接种白粉菌后,为尽快减少病菌对植株造成的损害,抗病品种植株中的 SOD 活性被迅速激活,直至 168 h 时仍处于较活跃的状态以保护植株。

2.5.3 白粉病菌对过氧化物酶活性的影响
由图 7 可知,接种后,不同抗性品种 POD 活性均呈现先上升后降低的趋势。在 72 h 时达到最高峰,此时 4 个抗病品种(苏乾 4 号、苏乾 5 号、1911ME133、1911ME134)的 POD 活性平均值是感病材料的 1.38 倍,是中抗品种苏乾 1 号的 1.18 倍;感病品种(玉

姑、苏甜 2 号、西州密 25)的 POD 活性下降趋势 > 中抗品种 > 抗病品种,在 168 h 时,抗病品种 POD 活性平均值较 72 h 高峰期下降 36.41%,感病品种下降 50.38%。在接种 0 ~ 24 h,抗病品种(苏乾 4 号、苏乾 5 号、1911ME133、1911ME134)的 POD 活性略高于感病品种(玉姑、苏甜 2 号、西州密 25),而在接种后 72 ~ 168 h,两者的 POD 活性数值差距明显增大,表明在受到白粉病菌侵染后,细胞组织受到损伤,为修复细胞壁损伤,POD 活性迅速升高,以促进细胞愈合;抗病品种的 POD 反应更强且更持久,

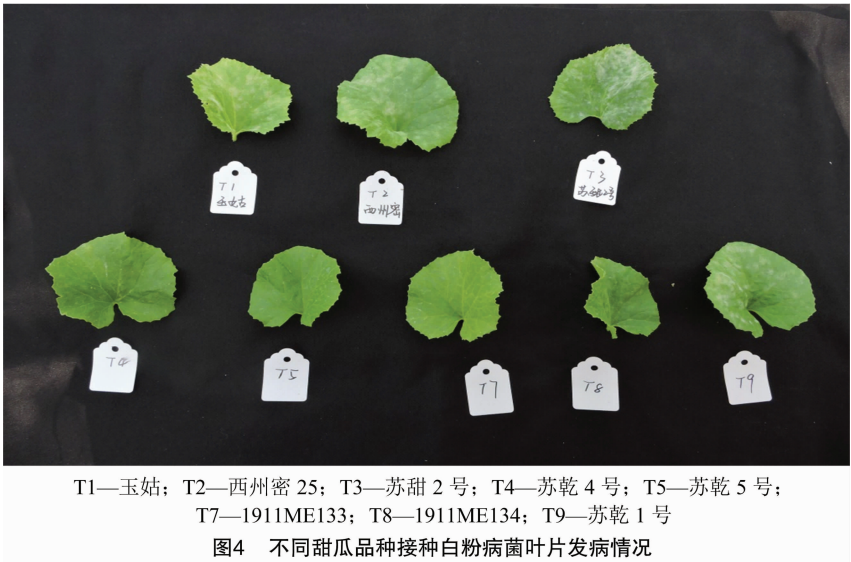
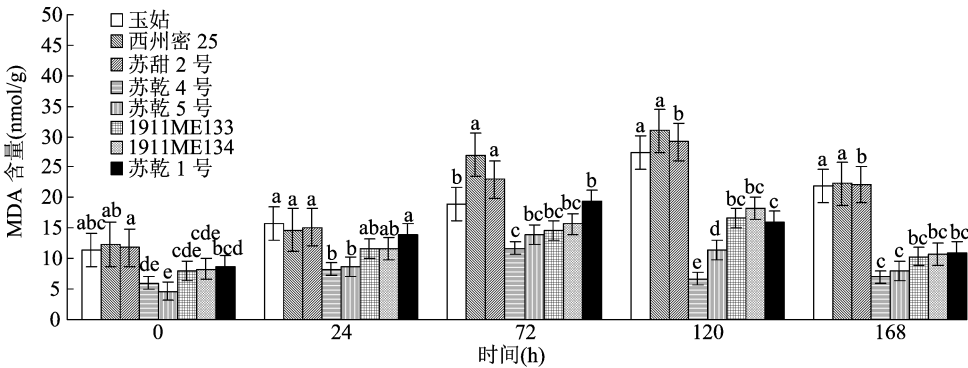


表 5 不同甜瓜品种接种白粉病菌的发病指数及病情鉴定

| 甜瓜品种 | 重复 | 总株数 (株) | 发病株数(株) | | | | | | 病情指数 | 表型 |
|---------------|----|------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|----|
| | | | 0 级 | 1 级 | 2 级 | 3 级 | 4 级 | 5 级 | | |
| T1(玉姑) | 1 | 48 | 0 | 5 | 9 | 23 | 11 | 0 | 56.37 | SR |
| | 2 | 46 | 0 | 3 | 10 | 26 | 7 | 0 | | |
| T2(西州密 25) | 1 | 47 | 0 | 6 | 18 | 21 | 2 | 0 | 49.04 | SR |
| | 2 | 46 | 0 | 5 | 16 | 22 | 3 | 0 | | |
| T3(苏甜 2 号) | 1 | 47 | 0 | 2 | 14 | 23 | 8 | 0 | 58.54 | SR |
| | 2 | 45 | 0 | 0 | 9 | 24 | 12 | 0 | | |
| T4(苏乾 4 号) | 1 | 46 | 46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | R |
| | 2 | 47 | 47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| T5(苏乾 5 号) | 1 | 48 | 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | R |
| | 2 | 46 | 46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| T7(1911ME133) | 1 | 44 | 44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | R |
| | 2 | 46 | 46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| T8(1911ME134) | 1 | 46 | 46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | R |
| | 2 | 47 | 47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| T9(苏乾 1 号) | 1 | 45 | 2 | 32 | 11 | 0 | 0 | 0 | 23.67 | MR |
| | 2 | 48 | 3 | 34 | 11 | 0 | 0 | 0 | | |



不同小写字母表示不同甜瓜品种间差异显著($P<0.05$)。下图同

图 5 不同抗性甜瓜品种接种后 MDA 含量变化

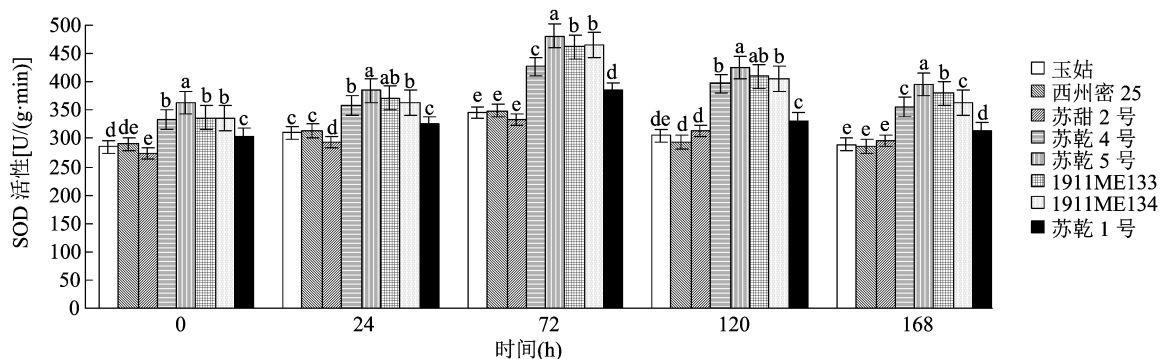


图6 不同抗性甜瓜品种接种白粉病菌后 SOD 活性变化

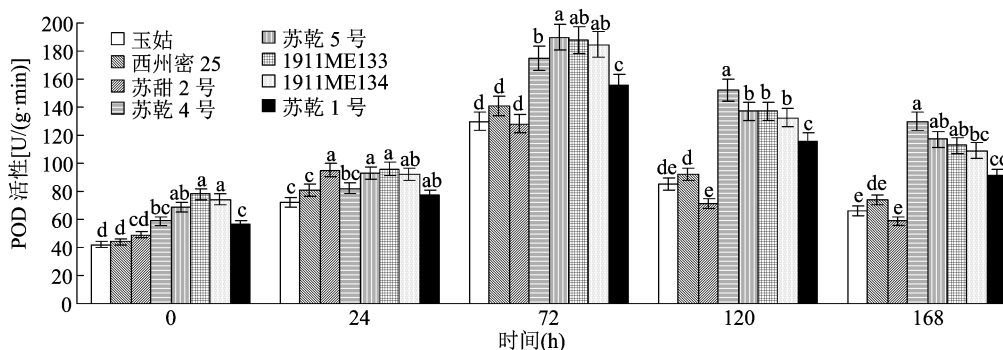


图7 不同抗性甜瓜品种接种白粉病菌后 POD 活性变化

因此抵抗力更强。

3 讨论

3.1 白粉病菌生理小种的鉴定

本试验对采集自江苏及杭州、上海等地区的甜瓜、南瓜、黄瓜等不同瓜类作物上的白粉病菌进行生理小种鉴定,首先利用显微镜观察及 ITS 核酸序列比对,结果证实这些地区不同瓜类作物上的白粉病菌为单囊壳白粉菌。采用国际通用的白粉病菌鉴定体系进行苗期接种鉴定,结果为 *P. xanthii* Race2 2France,未发现其他生理小种类型。

发达国家对瓜类白粉病菌的种类与生理小种有较长时间和较大范围的监控,苏丹中心地区夏季发现了单囊壳白粉菌的生理小种 1,冬季则发现了生理小种 2,并认为在同一地区白粉病流行的生理小种的转变可能受环境条件影响^[9]。在美国东南部香瓜上单囊壳白粉菌族群由生理小种 2 向生理小种 1 演替^[10]。我国地域辽阔,各地白粉菌生理小种类型和优势小种不尽相同,随着环境和种植作物的变化,不断出现新的生理小种类型,且优势小种也会随之不断地发生变化。李苹芳从江浙沪地区甜瓜植株上采集了 9 份白粉病菌进行鉴定,确认这 9 个地区甜瓜白粉病菌为 *P. xanthii* Race1^[11]。顾

海峰等的研究表明,上海地区西瓜、甜瓜上存在 2 个生理小种,即 *P. xanthii* Race 1 和 Race 2 France,且 Race 1 是生产上的优势生理小种^[12]。Xu 等研究认为,*P. xanthii* 生理小种 2 是引起浙江地区甜瓜白粉病的主要小种^[13]。本研究结果与之不尽相同,可能是这些地区白粉菌生理小种类型已逐渐发生变化,*P. xanthii* Race 2 France 目前已成为该地区的优势生理小种。因此,长期监测瓜类蔬菜作物白粉病菌生理小种类型,扩大采样范围及采样作物种类,可以为瓜类抗白粉病育种及生产提供理论依据^[14]。

3.2 不同甜瓜品种白粉病苗期抗性

不同甜瓜品种白粉病苗期抗性试验结果表明,玉姑、苏甜 2 号接种后第 5 天开始发病,第 12 天叶片布满病斑,属于感白粉病品种,在田间生产中要预防白粉病发生,并做好及时防控;西州密 25、苏乾 1 号接种第 7 天叶片出现白粉病病斑,第 12 天时,西州密 25 的发病指数为 49.04%,表现为中感白粉病,苏乾 1 号的发病指数为 23.67%,属于中抗白粉病品种,在设施栽培中均需做好白粉病预防和防治工作;苏乾 4 号、苏乾 5 号、1911ME133、1911ME134 等 4 个品种的叶片、茎部均未发现白粉病病斑,属于抗白粉病品种,可在设施条件下引种试种。

近年来,我国甜瓜保护地栽培面积日益扩大,

保护地高温高湿的环境易造成病害流行,白粉病是危害甜瓜保护地栽培的重要病害之一,因此引进和培育抗白粉病甜瓜品种具有重要意义^[15]。

3.3 白粉病菌对抗感材料生理生化指标的影响

植物受到病原菌侵染后,体内会发生一系列复杂的生理生化变化,POD、SOD 等保护酶可以通过分解病原菌、溶解菌丝体、并通过清除自由基减轻膜脂过氧化引起的膜损伤来维持细胞膜的正常生理功能^[16],MDA 的含量可反映细胞脂质过氧化的水平以及生物膜受损伤的程度,是判断膜脂过氧化作用的一个重要指标^[17]。因此,植株体内丙二醛、过氧化物酶、超氧化物歧化酶等防御酶活性的变化,可作为植物抗逆性强弱的一项重要指标^[18]。本试验研究发现,接种白粉病菌后,不同抗性的甜瓜品种 POD、SOD 活性均呈现先上升后下降的趋势,抗性品种植株中的 SOD、POD 活性和增幅均高于感病材料,且在 72 ~ 168 h 时差异显著。与张慧君等对甜瓜、西葫芦等作物接种白粉病菌后抗病品种的 SOD、POD 活性及变化趋势^[18-19]相似。但与王迪对不同抗性甜瓜品种接种白粉病菌后 POD 活性的变化结果^[20]不一致,其发现感病材料(DQ12)的 POD 酶活性一直高于抗病材料(DQ);而 SOD 研究结果相似,均表现为接种后抗感材料中的 SOD 活性上升,且抗病材料中的 SOD 活性大于感病材料。杨瑞平研究表明接种白粉病菌后,抗白粉病材料 Yuntian930 中 SOD、POD 活性升高幅度大于感病材料 0544,且均在 48 h 时达到高峰;而抗病材料 Yuntian 930 的 MDA 含量在接种后呈现先上升后下降再上升的趋势,24 h 时达到峰值,而 0544 的变化趋势是先降低再持续升高,48 h 后持续高于 Yuntian930^[15]。王建明等发现,西瓜苗期感染枯萎病菌后,抗病品种克伦生根部的 MDA 含量在接种后 1 d 时高于感病品种早花,之后迅速下降,显著低于感病品种早花,表明抗病品种克伦生对枯萎病菌的侵染较感病品种更加敏感,但其自我调节、恢复正常状态及抗膜脂过氧化的能力较感病品种强^[22]。

综合前人的研究结果与本研究结果可知,不同植物应对病原菌侵染时表现具有差异,其 SOD、POD 等防御酶活性及 MDA 含量等变化也不尽相同。本研究表明,接种白粉病菌后,抗性材料 POD、SOD 活性与植株的抗性呈正相关,MDA 含量与抗性呈负相关。

参考文献:

- [1] 刘秀波,崔琦,崔崇士. 瓜类白粉病抗性育种研究进展[J]. 东北农业大学学报,2005,36(6):794-798.
- [2] 张成花,林涛,李菊芬,等. 甜瓜白粉病病原鉴定及苗期抗性鉴定[J]. 中国瓜菜,2012,25(2):11-14.
- [3] 吕元佐,崔浩楠,朱强龙,等. 甜瓜白粉病不同生理小种发病环境条件分析[J]. 北方园艺,2018(16):35-40.
- [4] 徐向丽,宫国义,郭绍贵,等. 西瓜对白粉病的抗性鉴定及遗传分析[J]. 华北农学报,2008,23(4):37-40.
- [5] 李晓妮,巩丽,王宝磊,等. 葫芦科作物白粉病菌生理小种鉴定技术方案[J]. 中国瓜菜,2021,34(5):136-138.
- [6] 周萌萌,田丽波,商桑,等. 苦瓜白粉病病原菌和生理小种的鉴定及苦瓜对白粉病的抗性遗传分析[J]. 植物保护学报,2019,46(2):313-322.
- [7] 李小方,张志良. 植物生理学实验指导[M]. 5 版. 北京:高等教育出版社,2016:88,202-211.
- [8] 耿丽华,宋顺华,徐秀兰,等. 葫芦自交系苗期白粉病抗性鉴定[J]. 中国瓜菜,2015,28(1):23-25.
- [9] Mohamed Y F. Causal agents of powdery mildew of cucurbits in Sudan[J]. Plant Disease,1995,79(6):634.
- [10] Sowell G Jr. Population shift of *Sphaerotheca fuliginea* on muskmelon from race 2 to race 1 in the southeastern United States[J]. Plant Disease,1982,66(1):130.
- [11] 李苹芳,朱凌丽,羊杏平,等. 江浙沪甜瓜白粉病菌及其生理小种的鉴定[J]. 中国瓜菜,2015,28(6):16-20.
- [12] 顾海峰,张旭,张文芳,等. 上海地区西甜瓜白粉病菌生理小种的鉴定[J]. 上海农业学报,2010,26(4):155-158.
- [13] Xu Z H, Shou W L, Huang K M, et al. Determination of physiological race of powdery mildew and its virulence to different melon genotypes[J]. Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, 1999;11(5):245-248.
- [14] 邱果,刘柳,李小梅,等. 甜瓜抗枯萎病和白粉病育种研究进展[J]. 生物技术通报,2017,33(8):14-19.
- [15] 杨瑞平,刘长命,莫言玲,等. 两个甜瓜材料对白粉病的抗性差异及其生理生化机制研究[J]. 园艺学报,2016,43(4):724-734.
- [16] Yoshimura K, Miyao K, Gaber A, et al. Enhancement of stress tolerance in transgenic tobacco plants overexpressing *Chlamydomonas* glutathione peroxidase in chloroplasts or cytosol[J]. The Plant Journal,2004,37(1):21-33.
- [17] 李洪杰,王晓鸣,宋风景,等. 中国小麦品种对白粉病的抗性反应与抗病基因检测[J]. 作物学报,2011,37(6):943-954.
- [18] 张慧君. 甜瓜白粉病病原生理小种鉴定及抗白粉病生理生化特性的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2010.
- [19] 张兆辉,卢盼玲,陈春宏,等. 西葫芦抗白粉病的生理生化机制[J]. 分子植物育种,2021,19(9):3074-3080.
- [20] 王迪. 白粉病菌对不同品种甜瓜幼苗生理生化指标的影响[J]. 北方园艺,2013(9):148-151.
- [21] 王建明,张作刚,郭春绒,等. 枯萎病菌对西瓜不同抗感品种丙二醛含量及某些保护酶活性的影响[J]. 植物病理学报,2001,31(2):152-156.