DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2024.0268

西瓜炭疽病的苗期抗性鉴定

刘枫楠[1,2],孙超毅[1,3],郭 珍[1,4],刘莉铭[1],吴会杰[1],古勤生[1],康保珊[1,2]

(1.中国农业科学院郑州果树研究所•河南省果树瓜类生物学重点实验室 郑州 450009;
2.中国农业科学院中原研究中心 河南新乡 453500; 3.南京农业大学园艺学院 南京 210095;
4.天水师范学院生物工程与技术学院 甘肃天水 741001)

摘 要:西瓜炭疽病对产业稳定发展构成严重威胁,是西瓜种植中急待解决的关键病害。为了鉴定西瓜炭疽病病原菌 *Colletotrichum orbiculare* 对不同西瓜种质资源的抗性,通过分离纯化自江苏盐城的西瓜病瓜中的病原菌,利用多种培养基进行产孢培养,筛选出最优产孢培养基为燕麦培养基。通过点滴法和喷雾法接种不同浓度的孢子悬浮液,确定了喷雾法及 1×10^5 个•mL^{-1} 为最佳的接种方法和浓度。最后,对 18 份不同来源的西瓜种质资源进行苗期接种鉴定,筛选出高抗资源 1 份,抗病资源 5 份。研究结果在西瓜抗病育种中具有潜在的应用价值。

关键词:西瓜;炭疽病;抗性;苗期

中图分类号:S651 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-2871(2024)12-054-06

Evaluation of watermelon for resistance to anthracnose at seedling stage

LIU Fengnan[1,2], SUN Chaoyi[1,3], GUO Zhen[1,4], LIU Liming[1], WU Huijie[1], GU Qinsheng[1], KANG Baoshan[1,2]

(*1. Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Henan Key Laboratory of Fruit and Cucurbit Biology, Zhengzhou 450009, Henan, China; 2. Zhongyuan Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453500, Henan, China; 3. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China; 4. College of Bioengineering and Biotechnology, Tianshui Normal University, Tianshui 741001, Gansu, China*)

Abstract: Watermelon anthracnose poses a critical challenge to the stable development of the watermelon industry, and is a key disease that urgently needs to be addressed. The aims of this study is to identify the resistance of different watermelon varieties to the watermelon anthracnose pathogen, *Colletotrichum orbiculare*. By isolating and purifying the pathogen from diseased watermelon fruits in Yancheng, Jiangsu, and using various culture media for sporulation, the optimal sporulation medium was determined to be oat medium. Through inoculation with different concentrations of spore suspensions using both the drop method and spray method, the spray method with a concentration of 1×10^5 spores · mL^{-1} was determined as the best inoculation method and concentration. Finally, 18 watermelon germplasm resources from different sources were inoculated at the seedling stage, and 1 highly resistant resource and 5 resistant resources were screened out. The research results have potential application value in watermelon disease-resistant breeding.

Key words: Watermelon; Anthracnose; Resistance; Seedling stage

炭疽病,作为西瓜生产中的重要真菌性病害,其病原主要归属于半知菌亚门刺盘孢属真菌。炭疽病的侵袭范围广泛,能够侵染西瓜的所有地上部分,包括至关重要的果实,一旦发生,不仅会在西瓜植株的叶片和茎蔓上形成黑褐色病斑,果实表面出现轮纹病斑,而且随着病斑的不断扩大,最终可能引发植株的干枯死亡或果实腐烂,从而严重影响西瓜的产量和品质[1]。此外,在西瓜的贮运过程中,炭疽病病菌使果实变得更为脆弱,易于腐败,进而引发大批果实腐烂变质,失去其食用价值[2]。

目前,在西瓜的实际生产过程中,对炭疽病的防治仍主要依赖于化学药剂。然而,长期使用化学药剂不仅可能导致病原菌产生抗药性,而且容易引发农残含量超标的问题,且这些问题正日益凸显。因此,为了从根本上解决炭疽病的威胁,选育具有抗性的西瓜品种显得尤为重要。通过深入研究西

收稿日期:2024-04-19;**修回日期:**2024-08-27

基金项目:国家自然科学基金联合项目(U21A20229);中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2022-ZFRI-09)

作者简介:刘枫楠,男,在读硕士研究生,研究方向为葫芦科作物抗病遗传。E-mail:82101225373@caas.cn

通信作者:康保珊,女,副研究员,研究方向为葫芦科作物抗病遗传。E-mail:kangbaoshan@caas.cn

瓜的抗病种质资源，可以为培育高效、安全的抗性品种奠定坚实基础，从而为西瓜产业的可持续发展提供有力保障。

美国在19世纪末便着手西瓜抗炭疽病的育种研究，至20世纪50年代初便成功选育出Charleston Gray和Fairfax等既抗炭疽病又抗枯萎病的西瓜品种，以及仅抗炭疽病的Congo品种，这些品种迅速得到推广与应用。20世纪80年代，美国又相继培育出具有炭疽病抗性的西瓜多抗品种，如Au-Producer、Au-Jubilant和Icebox等[3]，为西瓜产业的健康发展做出了重要贡献。

我国自1986年西瓜抗病育种协作小组成立以来，也积极投身于抗病品种的选育工作。经过不懈努力，先后育成了京抗2号、京抗3号、抗病948等优质抗性品种[4]，有效缓解了炭疽病对我国西瓜产业的威胁。然而，炭疽病病原菌种类繁多且易于变异，突破了一些西瓜品种的抗性，进而在生产中造成严重危害。因此，为了应对这一挑战，必须不断加强品种及种质资源的抗性鉴定工作，以丰富抗源，为培育出更多抗病新品种奠定坚实基础。这不仅是确保西瓜产业持续健康发展的必然要求，也是维护我国农业生态安全的重要举措。

关于西瓜炭疽病的抗性鉴定，多数研究主要依赖于苗期喷雾接种法[5-8]。此外，还有滴液法、菌饼打孔法、叶片涂刷接种法以及离体接种法等多种方法[9]。崔召明等[6]及罗婷[8]在鉴定西瓜炭疽病抗性时，均采用了浓度为1×10^6个•mL^{-1}的孢子液，且均在西瓜苗达到2片真叶时进行接种，抗性调查则在接种后的7~10 d内进行。孙玉燕等[10]则运用点滴法，对西瓜离体叶片进行炭疽病抗性鉴定，接种时孢子液浓度为1×10^6个•mL^{-1}，且选用4片真叶期的离体叶片，接种后5 d进行抗性评价。Sowell等[11]将孢子液浓度设定为2×10^4个•mL^{-1}，接种后7 d进行抗性评估。Bhatta等[5]选择接种浓度为1×10^5个•mL^{-1}的孢子液，同样在接种后7 d进行抗性评价。而Boyhan等[12]则使用浓度为5×10^4个•mL^{-1}的孢子液接种西瓜幼苗，在接种15 d后进行抗性评价。

然而，由于前人研究中采用的接种方法不同，因此鉴定结果存在差异，进而影响了抗性资源的有效交流和利用。因此，笔者致力于通过比较不同苗期接种方法和孢子液浓度，探索出最适合西瓜苗期炭疽病抗性鉴定的接种方法，同时调查不同西瓜种质的抗性表现，旨在为西瓜炭疽病抗性品种的选育提供参考。

1　材料与方法

1.1　材料

西瓜炭疽病病原菌：*Colletotrichum orbiculare*分离纯化自2020年采集的江苏盐城西瓜病瓜，保存于中国农业科学院郑州果树研究所西瓜甜瓜病虫害防控课题组。

供试西瓜种质资源：PI 244019、PI 482322、PI 482261、PI 500303、PI 482312、PI 595200、PI 386018、PI 542117、PI 357709、Sugarlee为野生种，由中国农业科学院郑州果树研究所西甜瓜种质资源中期库提供；Z21-05、Z21-06、Z21-07、Z21-09、090为杂交种，由中国农业科学院郑州果树研究所西瓜甜瓜病虫害防控课题组提供；金城五号、西农八号、早佳、华欣为F_1代杂交种，购置于安徽荃银高科瓜菜种子有限公司；红和平为感病对照品种，购置于浙江浙农种业有限公司。试验过程中使用90 mm一次性营养钵进行栽培。

1.2　方法

试验于2022年8月在中国农业科学院郑州果树研究所综合实验室进行。

1.2.1　*培养基*　配制9种不同的培养基，其中参照罗婷[8]的方法配制PDA培养基、胡萝卜培养基、菜豆培养基、西瓜皮培养基、西瓜汁培养基；参照唐爽爽[13]的方法配置西瓜茎叶煎汁培养基、番茄燕麦片培养基、燕麦片琼脂培养基；燕麦培养基购置于索莱宝公司。

各培养基高温灭菌后分装倒入平板备用。接种15 d后观察分生孢子的生长情况。

1.2.2　*接种孢子悬浮液的制备*　挑取保存在4 ℃PDA斜面培养基上的瓜类刺盘孢菌至PDA平板上于27 ℃培养，待菌丝长出后，从菌丝边缘用打孔器切取直径0.5 cm的菌块置于产孢培养基上，然后放置于27 ℃培养箱中黑暗培养，待产生分生孢子后，用无菌水清洗分生孢子，并经灭菌擦镜纸过滤，用血球计数板镜检计数，分别制成浓度为1×10^6、1×10^5、1×10^4个•mL^{-1}的分生孢子悬浮液。

1.2.3　*接种方法*　（1）点滴法：西瓜幼苗生长到3~4片真叶期时，使用移液枪分别将10 μL不同浓度的孢子悬浮液滴在西瓜真叶上，每片叶对称接种4~6个点，每株接种2片真叶，每个浓度处理5株。接种后将西瓜植株放置于培养箱中黑暗培养24 h，温度27 ℃，湿度100%，然后在培养箱中正常生长管理，培养条件为：25~27 ℃，黑暗10 h/光照14 h，湿

度100%，接种后7~10 d测量每个接种点病斑的最大长度和最大宽度，记作纵径和横径。病斑直径为所有接种点病斑横径和纵径的平均值，计算病情指数。

（2）喷雾法：西瓜幼苗生长到3~4片真叶期时，采用喷雾接种法将炭疽病孢子悬浮液均匀喷洒到西瓜真叶上，放置于培养室中黑暗培养24 h，温度27 ℃，湿度100%；然后在培养室中正常生长管理，培养条件为：25~27 ℃，黑暗10 h/光照14 h，湿度100%，7~10 d后调查植株的病情指数。每个浓度处理5株，设3个重复。

1.2.4　不同西瓜种质资源的苗期人工接种鉴定试验　根据1.2.3结果中筛选出的最优接种方法对供试的18份西瓜种质资源以完全随机的试验方法，进行苗期人工接种鉴定，每份种质接种15~20株，重复3次，10 d后调查植株病情指数。

1.2.5　病情指数与抗性评价　采用点滴法接种的植株，病情分级标准在孙玉燕等[10]的方法上稍作调整，具体如下：根据病斑直径将植株抗性划分为6个级别（图1），0级：病斑直径=0 mm；1级：病斑直径≤0.50 mm；3级：0.50 mm＜病斑直径≤1.50 mm；5级：1.50 mm＜病斑直径≤2.00 mm；7级：2.00 mm＜病斑直径≤3.00 mm；9级：病斑直径＞3.00 mm。采用钢质尺测量病斑直径。每个叶片的病情级别为所有接种点病情级别的平均数。

病情指数（DI）计算公式：DI=Σ（各病情级别代表数值×各病情级别的叶片数）/（调查总叶片数×最高病情级别的代表数值）×100。

抗性分级标准为：DI=0，免疫；0＜DI≤10，高抗；10＜DI≤35，抗病；35＜DI≤55，中抗；55＜DI≤75，感病；DI＞75，高感。

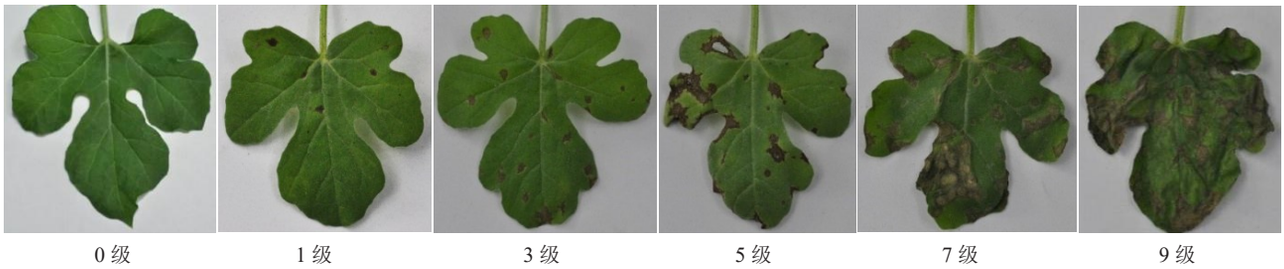


图1　西瓜幼苗叶片病情分级

Fig. 1　Disease classification of watermelon seedling leaves

发病率/%=发病点/总接种点×100。

采用喷雾法接种的植株，病情分级及抗性评价标准参考农业行业标准《黄瓜棒孢叶斑病、蔓枯病、炭疽病抗病性鉴定技术规程》[14]的方法进行，具体如下：以幼苗叶片出现病斑为感病指标，调查每个单株叶片病情级别，按照以下标准进行分级，0级：无病斑；1级：病斑面积小于5%；3级：病斑面积≥5%~10%；5级：病斑面积＞10%~25%；7级：病斑面积＞25%~50%；9级：病斑面积＞50%。

病情指数（DI）计算公式和抗性分级标准同点滴法。发病率/%=发病株数/总接种株数×100。

1.3　数据分析

采用SPSS 16.0软件进行统计分析，应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

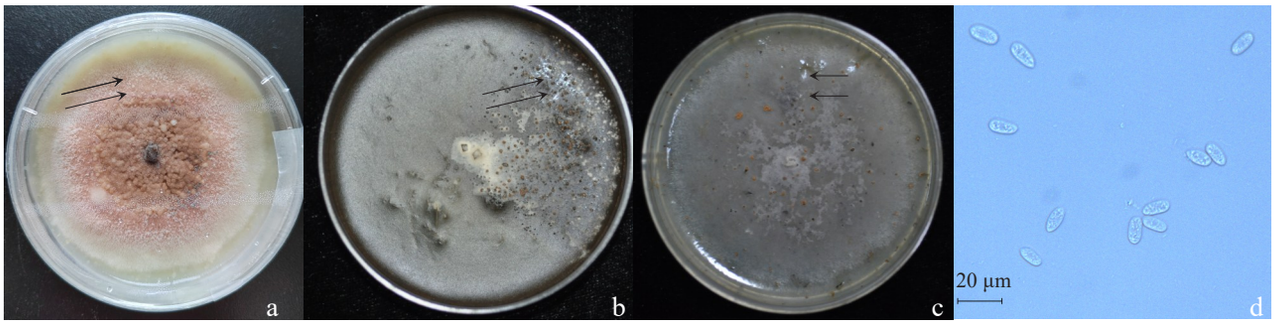
2　结果与分析

2.1　产孢培养基的筛选

C. orbiculare 菌在PDA培养基上不能产生分生孢子，为获得足够多的孢子接种液，笔者在本试验中设置了9种不同的培养基，以期筛选出具有产孢能力的培养基。病原菌在培养基上生长20 d后，观察菌丝生长及产孢情况，结果表明，菌丝在9种培养基上均可正常生长，状态均匀致密，在燕麦培养基、西瓜茎叶煎汁培养基和西瓜汁培养基上产生橘红色分生孢子团，在其余培养基上均不能产生，其中燕麦培养基产生的孢子量远大于其余两种培养基（图2），刮取少量孢子镜检观察，发现分生孢子呈现出 *C. orbiculare* 菌的典型特征，即无色，圆柱形或棒状，一端圆形另一端较钝，表明燕麦培养基可以作为 *C. orbiculare* 的产孢培养基。

2.2　最适接种孢子液浓度筛选

采用喷雾法接种感病西瓜品种红和平，7 d后接种浓度为1×10^4个•mL^{-1}的植株发病率不足50%，表明此浓度不是有效接种浓度；而孢子浓度为1×10^6和1×10^5个•mL^{-1}的植株发病率均达到100%，且接种叶片的病情指数差异不大，但孢子浓度越高，



注：a. 燕麦培养基；b. 西瓜茎叶煎汁培养基；c. 西瓜汁培养基；d. *C. orbiculare* 菌孢子。黑色箭头标志位置为分生孢子团。

Note: a. Oat agar medium; b. Watermelon stem and leaf decoction medium; c. Watermelon juice medium; d. *C. orbiculare* spore. The black arrow-marked position indicates the spore clusters produced by the fungus *C. orbiculare*.

图 2　炭疽菌 *C. orbiculare* 在不同培养基上生长 20 d 后的状态及分生孢子形态

Fig. 2　The state and conidia morphology of *C. orbiculare* after 20 d in different mediums

植株的茎蔓及叶柄发病越快，浓度为 1×10^6 个·mL^{-1} 时，茎蔓和叶柄在 5 d 时即溢缩腐烂（图 3），最后导致叶片干枯，植株萎蔫，无法准确评估叶片的病情指数；而浓度为 1×10^5 个·mL^{-1} 时，茎蔓及叶柄的病情发展相对较慢，叶片的病情指数不受茎蔓和叶柄病情的影响，可真实地反映植株抗性水平，因此采用喷雾法接种西瓜炭疽病病菌的最适孢子浓度为 1×10^5 个·mL^{-1}。

图 3　红和平植株接种孢子浓度为 1×10^6 个·mL^{-1} 5 d 时的发病情况

Fig. 3　Incidence of Hongheping plants inoculated with spore concentration of $1\times10^6\cdot mL^{-1}$ for 5 d

采用点滴法接种时，3 个浓度中只有 1×10^6 个·mL^{-1} 浓度的孢子液可以产生病斑，1×10^5 个·mL^{-1} 和 1×10^4 个·mL^{-1} 浓度几乎不产生病斑，因此点滴法中接种的最适孢子浓度为 1×10^6 个·mL^{-1}。

2.3　最适接种方法

植株生长到 3~4 片真叶时，在喷雾法接种中，金城五号和 090 两个品种发病率都为 100%，抗性表现分别为感病（S）和高感（HS），而在点滴法接种中，两个品种的发病率均未达到 100%，其中金城五号的发病率为 83.33%，表现为感病，而 090 的发病率为 62.50%，表现为中抗（MR）（表 1）。在两种接种方法中，090 的病情指数具有显著差异。采用点滴法接种时，同一叶片每个接种点的病情等级差异较大，发病率不稳定，可能导致抗性评价结果与实际抗性产生较大偏差。在抗病品种选育过程中，要避免接种方法对抗性结果的影响，喷雾法的发病率更加稳定，因此后续选择喷雾法进行接种。

2.4　不同西瓜品种资源的苗期鉴定试验

根据上述试验结果，在接种孢子浓度为 1×10^5 个·mL^{-1} 条件下，采用喷施法对供试的 18 份西瓜资源进行苗期接种鉴定。结果表明，接种后 5 d 感

表 1　采用不同方法接种后植株的发病情况

Table 1　Incidence of two watermelon varieties using spray method and point method

接种方法 Inoculation method	品种 Variety	发病率 Incidence rate/%	病情指数 Disease index（DI）	抗性 Resistance
喷雾法 Spray method	金城五号 Jincheng 5	100.00±0.00 a	68.75±2.91 a	S
	090	100.00±0.00 a	75.66±5.40 a	HS
点滴法 Drop method	金城五号 Jincheng 5	83.33±11.78 b	71.60±7.43 a	S
	090	62.50±5.10 c	49.07±2.62 b	MR

注：MR. 中抗；S. 感病；HS. 高感。不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: MR. Moderate resistance; S. Susceptibility; HS. High susceptibility. Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

病对照品种红和平叶片开始出现病斑，7 d 时病情达到感病级别，10 d 时病情指数为 63.70，与 7 d 时的抗性水平一致。供试资源中大部分资源在接种 7 d 后病情发展变缓，但个别品种如西农八号在 7 d 时病情指数仅为 35.00，但到第 10 天时病情指数达到 70.79（图 4）。为保证所有资源的病情能充分发展，笔者选择在接种后 10 d 调查植株的发病情况，结果如表 2 所示，不同资源对西瓜炭疽病病菌 *C. orbiculare* 的抗性不同。18 份供试材料中，未发现对炭疽病免疫的资源，其中 PI 244019 表现高抗，PI 482261、PI 386018、PI 500303、PI 482312 和华欣表现抗病，Sugarlee、PI 482322、PI 595200、Z21-05、Z21-06 和 Z21-07 表现中抗，西农八号、PI 542117、PI 357709 和 Z21-09 表现感病，早佳表现高感。从表 2 数据中可以发现，栽培品种的表现比较多样，既有抗病的华欣、Z21-06，中抗的 Z21-05、Z21-07 和 Sugarlee，也有感病的早佳、西农八号、Z21-09。PI 244019、PI 482322、PI 482261、PI 500303、PI 482312、PI 595200、PI 386018、PI 542117、PI 357709、Sugarlee 均为野生种，抗病表现比较稳定，除了 PI 542117 和 PI 357709 表现为感病外，其余资源均表现为中抗或抗病。

图 4　部分西瓜资源接种炭疽病病菌 10 d 后的发病情况

Fig. 4　The symptoms of some resources inoculation with *C. orbiculare* for 10 d

表 2　不同西瓜资源对炭疽病 *C. orbiculare* 的苗期抗性鉴定

Table 2　Resistance identification of watermelon resources inoculated with *C. orbiculare*

资源名称 Resource name	发病率 Incidence rate/%	病情指数 Disease index（DI）	抗性 Resistance
早佳 Zaojia	95.68±0.50 b	75.82±3.76 a	HS
西农八号 Xinong 8	100.00±0.00 a	70.79±7.10 ab	S
Sugarlee	100.00±0.00 a	54.29±3.89 cd	MR
华欣 Huaxin	74.67±4.73 cd	29.75±2.77 fg	R
Z21-05	100.00±0.00 a	38.77±4.65 ef	MR
Z21-06	91.23±6.56 ab	42.65±2.52 de	MR
Z21-07	100.00±0.00 a	40.83±3.91 def	MR
Z21-09	100.00±0.00 a	70.37±5.49 ab	S
PI 244019	47.25±7.83 f	8.75±3.18 h	HR
PI 482261	65.69±6.70 de	11.42±3.18 gh	R
PI 386018	56.51±8.14 ef	13.72±6.00 gh	R
PI 500303	43.75±5.10 f	11.81±5.56 gh	R
PI 482312	95.83±5.89 b	31.94±6.94 ef	R
PI 482322	76.67±8.92 cd	41.12±6.76 de	MR
PI 595200	80.29±6.32 bc	35.90±7.72 de	MR
PI 542117	100.00±0.00 a	61.49±4.27 cd	S
PI 357709	100.00±0.00 a	73.50±0.85 ab	S
红和平 Hongheping	100.00±0.00 a	63.70±1.48 bc	S

注：HR. 高抗；R. 抗病。

Note: HR. High resistance; R. Resistance.

3　讨论与结论

西瓜炭疽病的抗性鉴定主要采用室内离体或苗期鉴定法。其中，苗期鉴定法因能排除外部干扰、缩短周期且能精确控制条件，直观展现品系间的抗性差异而备受青睐[15]。喷雾法因其高效、稳定而被研究者广泛采用[7,16-17]。

孢子浓度、菌株致病力等因素可能影响鉴定结果。孢子液浓度的选择存在差异，罗婷[8]发现 10^6 个•mL^{-1} 为最适浓度，而 Shim 等[18]则筛选出 4×10^5 个•mL^{-1} 为最佳浓度。笔者在本研究中发现，孢子浓度 10^5 个•mL^{-1} 能有效侵染西瓜叶片，展示不同资源间抗病性差异。但浓度升至 10^6 个•mL^{-1} 时，茎蔓和叶柄受害严重，难以区分抗性差异。因此，笔者选择 10^5 个•mL^{-1} 为最适接种浓度。接种操作时要避免孢子直接喷于茎蔓和叶柄上，以提高鉴定准确性[19]。

不同研究中接种孢子液浓度的最佳取值差异，可能与病原菌致病力不同有关。在本试验中，西农八号西瓜对炭疽病感病，但罗婷[8]的研究结果表明，西农八号高度抗病，这种差异可能是由不同病原菌的致病性差异造成的[9]。不同炭疽病菌致病力差异显著，*C. nymphaeae* 对叶片侵染弱但对果实侵染强，而 *C. magnum* 在无伤条件下对果实侵染力减弱[20]。

笔者在本试验所筛选出的接种条件，主要是针对 *C. orbiculare* 这一复合种。该复合种在我国是引起西瓜炭疽病的优势种[21]，能够侵染西瓜的整个地上部分，且在西瓜的整个生育期内均具有侵染能力。然而，鉴于西瓜炭疽病病原菌的种类复杂多样，在实际应用中，仍需要根据所使用的具体菌株，对接种条件进行适当优化，以确保获得可靠且准确的试验结果。

综上所述，笔者通过筛选产孢培养基、接种孢子悬浮液浓度及接种方法，建立了针对西瓜炭疽病病原菌 *Colletotrichum orbiculare* 的苗期人工接种鉴定体系。喷雾法接种孢子浓度为 1×10^5 个•mL^{-1} 时效果最佳，能准确评估西瓜资源的抗病性，在 18 份供试材料中，鉴定出高抗、抗病、中抗、感病及高感品种。研究结果为西瓜抗病育种奠定了基础。

参考文献

[1] 李明桃.西瓜炭疽病的发生规律及其防治技术探讨[J].园艺与种苗，2013(9)：29-30.

[2] 陈广仕.西瓜病虫害防治技术[J].中国农业信息，2016(19)：104.

[3] CRALL J M，ELMSTROM G W. Florida "icebox" cultivars as a factor in watermelon production in Florida and other producing states[J]. Proceedings，Soil and Crop Science Society of Florida，1986，45：132-134.

[4] 周凤珍.抗枯萎病、炭疽病西瓜新品种京抗 2 号和京抗 3 号的选育[J].中国西瓜甜瓜，1993(4)：4-8.

[5] BHATTA B P，CORREA E，PATEL T，et al. Data on inheritance of race 2 anthracnose resistance in watermelon（*Citrullus* spp.）biparental mapping populations[J]. Data in Brief，2022，44：108546.

[6] 崔召明，陈泉生.西瓜炭疽病苗期不同抗性鉴定方法的研究[J].安徽农学通报，2009，15(15)：135-136.

[7] 刘莉，王鸣.西瓜种质资源苗期对炭疽病抗性的研究[J].中国西瓜甜瓜，1990(1)：9-13.

[8] 罗婷.西瓜苗期炭疽病抗性鉴定方法及其抗病机理研究[D].陕西杨凌：西北农林科技大学，2008.

[9] 郜森，王恩煜，杨小振，等.西瓜炭疽病及抗性育种研究进展[J].中国瓜菜，2021，34(5)：1-7.

[10] 孙玉燕，范敏，何艳军.西瓜炭疽病菌离体叶片接种鉴定技术[J].浙江农业科学，2019，60(8)：1460-1462.

[11] SOWELL G J R，RHODES B B，NORTON J D. New sources of resistance to watermelon anthracnose[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science，1980，105(2)：197-199.

[12] BOYHAN G E，NORTON J D，ABRAHAMS B R，et al. A new source of resistance to anthracnose（Race 2）in watermelon[J]. HortScience，1994，29(2)，111-112.

[13] 唐爽爽，刘志恒，余朝阁，等.辽宁省西瓜炭疽病病原菌鉴定及生物学特性研究[J].植物保护，2014，40(4)：38-44.

[14] 中华人民共和国农业农村部.黄瓜棒孢叶斑病、蔓枯病、炭疽病抗病性鉴定技术规程：NY/T 3864-2021[S].北京：中国农业出版社，2021.

[15] 唐宁安.西瓜抗炭疽病基因的分子标记研究[D].浙江金华：浙江师范大学，2013.

[16] 金岩.西瓜细菌性果斑病研究[D].长春：吉林农业大学，2003.

[17] ZIVANOVIC M，WALCOTT R R. Further characterization of genetically distinct groups of *Acidovorax citrulli* strains[J]. Phytopathology，2017，107(1)：29-35.

[18] SHIM S A，JANG K S，CHOI Y H，et al. Resistance degree of cucurbits cultivars to *Colletotrichum orbiculare*[J]. Korean Journal of Horticultural Science and Technology，2013，31（3）：371-379.

[19] CORREA E，CROSBY K，MALLA S. Optimizing a seedling screening method for anthracnose resistance in watermelon[J]. Plant Health Progress，2021，22(4)：536-543.

[20] 郭珍.西瓜炭疽病病原菌种类多样性及 *Colletotrichum magnum* 致病相关基因分析[D].武汉：华中农业大学，2023.

[21] GUO Z，LUO C X，WU H J，et al. *Colletotrichum* species associated with anthracnose disease of watermelon（*Citrullus lanatus*）in China[J]. Journal of Fungi，2022，8(8)：790.