

枯萎病病原菌对不同西瓜品种抗病性及生理特性的影响

余海洋, 石慧文, 高青海, 段海明

(安徽科技学院农学院 安徽凤阳 233100)

摘要:为探究枯萎病病原菌对不同西瓜品种的抗病性及生理特性的影响,选取 10 个西瓜品种为材料,通过人工接种病原菌孢子悬浮液(浓度为 10^6 CFU·mL⁻¹)处理,以清水为对照,测定发病率、病情指数及相关生理指标。结果表明,不同西瓜品种对枯萎病的抗性差异显著,其中 gg-6 的抗病性最高,发病率和病情指数为 15.00% 和 8.51,表现为高抗;而中兴红 4 号和早佳(8424)的抗病性最差,发病率和病情指数分别为 88.33%、84.14 和 90.00%、90.36。与感病品种相比,高抗品种 gg-6 在病原菌侵染后表现出较高的 SOD、POD、CAT 和 PPO 活性,显著高于感病品种早佳(8424),能更有效地清除活性氧,表现为 O₂⁻产生速率、相对电导率、过氧化氢含量和 MDA 含量均较低,高抗品种的酶活性峰值出现早且持续时间长。综上所述,gg-6 可作为抗枯萎病栽培品种在生产中推广应用。

关键词:西瓜;枯萎病;抗病性;抗性酶;发病率;病情指数

中图分类号:S651

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)04-082-07

Effects of *Fusarium* wilt pathogens on disease resistance and physiological characteristics of different watermelon varieties

YU Haiyang, SHI Huiwen, GAO Qinghai, DUAN Haiming

(College of Agricultural, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, Anhui, China)

Abstract: To explore the effect of the *Fusarium* wilt pathogen on disease resistance and physiological characteristics of different watermelon varieties, 10 watermelon varieties were selected as materials. The plants were artificially inoculated with a pathogen spore suspension (at a concentration of 10^6 CFU·mL⁻¹), with water treatment as the control. The incidence rate, disease index, and related physiological indicators of each variety were measured. The results showed significant differences in resistance to *Fusarium* wilt disease among different watermelon varieties. Among them, gg-6 exhibited the strongest resistance, with an incidence rate of 15.00% and a disease index of 8.51, indicating high resistance. In contrast, Zhongxinghong No. 4 and Zaojia (8424) showed the poorest resistance, with incidence rates and disease indices of 88.33%, 84.14 and 90.00%, 90.36, respectively. Compared with the susceptible variety, the highly resistant variety gg-6 exhibited higher SOD, POD, CAT, and PPO activity after pathogen infection, which were significantly higher than those of susceptible varieties Zaojia (8424), enabling more effective elimination of reactive oxygen species. Additionally, gg-6 had lower O₂⁻ production rate, relative electrical conductivity, hydrogen peroxide content, and MDA content. Furthermore, the peak enzyme activity in gg-6 appeared earlier and lasted longer. In conclusion, gg-6 can be promoted and utilized as a *Fusarium* wilt resistant variety in production, while Zhongxinghong No. 4 and Zaojia (8424) are susceptible varieties.

Key words: Watermelon; *Fusarium* wilt; Disease resistance; Resistance enzyme; Disease incidence rate; Disease index

枯萎病是由尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, FON)引起的一种土传维管束病害,严重威胁全球西瓜产业的可持续发展^[1]。西瓜枯萎病菌有 4 个生理小种 0、1、2、3,其中 1 号生理小种在我国存在范围最广,危害最重,是优势小种。该

病原菌侵染植株后,通过阻塞导管和分泌毒素破坏水分及养分运输,导致叶片萎蔫、植株枯死,造成的产量损失在 30%~80%^[2]。目前,国内外对西瓜枯萎病尚无有效的防治药剂。西瓜嫁接栽培防治效果较好,但增加了生产成本并会影响西瓜品质,因此选用

收稿日期:2025-06-03;修回日期:2025-12-24

基金项目:安徽省科技重大专项(202003b06020029)

作者简介:余海洋,男,在读硕士研究生,研究方向为西瓜抗病栽培。E-mail:3063712581@qq.com

通信作者:高青海,男,教授,主要从事西瓜高产栽培研究。E-mail:gaoqh1977@163.com

抗病品种仍是防治枯萎病最经济、环保的方法^[3]。

前人研究发现,植物体在受病原菌侵染后会激活一系列防御反应,包括活性氧(ROS)的爆发和抗氧化酶系统的激活^[4]。丙二醛(MDA)含量、过氧化氢含量、超氧阴离子(O₂⁻)产生速率、相对电导率以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和多酚氧化酶(PPO)等酶活性出现显著变化。如丁九敏等^[5]在霜霉病菌侵染黄瓜试验中发现,抗病品种黄瓜叶片的SOD活性极显著高于感病品种,叶片的SOD活性与霜霉病抗性呈正相关。刘泰等^[6]在甜瓜抗枯萎病资源筛选试验中发现,CAT、SOD和POD活性与发病率呈极显著负相关;丙二醛含量、相对电导率与发病率呈极显著正相关。由此可见,植物的抗(耐)病性与其体内的防

御酶活性密切相关,防御酶活性是衡量植物抗病性的重要生理指标^[7-9]。然而,不同西瓜品种在生理特性上与抗病性的关系尚未被系统阐明。为此,笔者选取10个常见西瓜品种,通过人工接种枯萎病病原菌,分析其发病率、病情指数、抗性等级及关键生理指标的变化,旨在探究不同西瓜品种对枯萎病的抗性差异及其生理机制,为西瓜抗病品种选育和绿色安全生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以10个西瓜品种为材料(详见表1),均由安徽科技学院农学院西瓜课题组提供。病原菌分离自安徽科技学院种植园内发病西瓜茎基部,经分离、

表1 供试10个西瓜品种基本信息

Table 1 The basic information of 10 watermelon varieties tested

编号 No.	品种名称 Variety name	来源 Source	果形 Fruit shape	果皮颜色 Peel color
1	申抗 998 Shenkang 998	上海农科种子种苗有限公司 Shanghai Agricultural Science Seeds and Seedlings Co., Ltd.	椭圆 Oval	浅绿色 Light green
2	绿力 6 号 Lüli No. 6	河南中升农业科技有限公司 Henan Zhongsheng Agricultural Technology Co., Ltd.	椭圆 Oval	浅绿色 Light green
3	gg-6	安徽科技学院 Anhui University of Science and Technology	椭圆 Oval	翠绿色 Green
4	京彩 4 号 Jingcai No. 4	京研益农种业科技有限公司 Jingyan Yinong Seed Technology Co., Ltd.	圆 Round	绿色 Green
5	中兴红 4 号 Zhongxinghong No. 4	民蔬种业有限公司 Minshu Seed Industry Co., Ltd.	圆 Round	绿色 Green
6	早佳(8424) Zaojia(8424)	新疆现代种业有限公司 Xinjiang Modern Seed Industry Co., Ltd.	圆 Round	绿色 Green
7	重茬王 Chongchawang	济南学超种业有限公司 Jinan Xuechao Seed Industry Co., Ltd.	椭圆 Oval	黑绿色 Black green
8	京欣 8 号 Jingxin No. 8	北京凤鸣雅世科技发展有限公司 Beijing Fengming Yashi Technology Development Co., Ltd.	椭圆 Oval	绿色 Green
9	美都 Meidu	宁波微萌种业有限公司 Ningbo Weimeng Seed Industry Co., Ltd.	圆至椭圆 Round to oval	绿色 Green
10	绿小帅 Lüxiaoshuai	寿光欣欣然园艺有限公司 Shouguang Xinxinran Horticulture Co., Ltd.	圆 Round	绿色 Green

纯化和鉴定为尖孢镰刀菌西瓜专化型生理小种 1。

1.2 方法

本试验于2024年1—6月在安徽科技学院农学院种植园和实验室内进行,选择饱满、大小一致的西瓜种子于3月2日利用育苗盘育苗,在西瓜2叶1心期时移栽到上盆口直径10 cm的栽培盆中,参考闫闻等^[10]的方法待幼苗生长至3叶1心期时采用灌根法接种病原菌,每个品种选取60株,每株灌根浓度为10⁶ CFU·mL⁻¹的尖孢镰刀菌孢子悬浮液50 mL,在发病第10天开始调查不同西瓜

品种的发病情况,每间隔2 d重复调查发病率并记录发病等级,3次重复。了解各品种对西瓜枯萎病的抗性,选取4个不同抗病性的品种进行灌根处理,每个品种20株,各对照20株并采用清水灌根,每株50 mL。采用完全随机试验,处理后的2、4、6、8、10 d随机取样(3个重复),并测量其生理指标。

1.3 测定项目

采用氮蓝四唑(NBT)法测定SOD活性^[11];采用愈创木酚法测定POD活性^[12];参照张志良等^[13]的方法

测定 CAT 活性;参照廖滔等^[14]的方法测定 PPO 活性;采用电导率仪测定相对电导率;参考 Wang 等^[15]的方法测定 O₂产生速率;采用硫代巴比妥酸法测定 MDA 含量^[16];参照牛蒙亮^[17]方法测定 H₂O₂ 含量。

在发病第 10 天时开始调查不同西瓜品种发病情况,每间隔 2 d 重复调查发病率并记录发病等级。计算其发病率和病情指数。

发病率/%=病级数为 3 级以上的发病植株之

和/调查总株数×100;

病情指数=Σ(各个级别病株数×病级数)/(总株数×最高级)。

参考 Smarty 和 Bruton 提出的标准^[18],评价抗性水平,详见表 2。

1.4 数据统计处理

采用 Excel 2019 统计各指标数据并作图,采用 SPSS 27.0 进行单因素方差分析,并运用 Duncan's

表 2 枯萎病抗性分级标准

Table 2 Grading criteria for *Fusarium* wilt resistance

抗性 Resistance	发病率 Incidence rate/%	病株分级标准 Grading criteria for diseased plants	植株特征 Plant characteristics
高抗(HR)	≤20	1	1 片或 2 片子叶轻微变黄,生长正常 One or two cotyledons are slightly yellow, growth is normal
中抗(MR)	20~50	2	1~2 片子叶黄化,或者 1 片子叶出现死坏斑 1-2 cotyledons are yellowed, or one cotyledon appears dead spots
轻抗(SR)	50~80	3	真叶明显萎焉,子叶枯死,植株的生长受阻 The true leaves are visibly wilted, the cotyledons die, and the growth of the plant is stunted
感病(S)	>80	4	全株严重萎焉,叶片枯黄 The whole plant is severely wilted, and the leaves are yellow
		5	整株枯萎,甚至死亡 The whole plant is wilted, or even died

检验法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 病原菌侵染对不同西瓜品种苗期发病的影响

由表 3 可知,将 10 个不同西瓜品种供试材料通过西瓜枯萎病原菌灌根处理后,不同西瓜品种的抗性表现差异较大,其中高抗品种为 gg-6,发病率和病情指数最低,分别为 15.00%、8.51;中抗品种 2 个,为申抗 998 和重茬王,其发病率和病情指数为

45.00%、45.21 和 40.00%、34.94;轻抗品种 3 个,分别为京欣 8 号、绿力 6 号和绿小帅,其发病率和病情指数分别为 70.00%、61.66, 51.66%、45.36 和 75.00%、45.62;感病品种 4 个,分别为京彩 4 号、中兴红 4 号、早佳(8424)和美都,发病率均高于 80%,早佳(8424)的病情指数最高,达到 90.36。由此说明,供试西瓜品种对枯萎病抗性具有明显差异,其中 gg-6 为高抗品种,京彩 4 号、中兴红 4 号、早佳(8424)和美都为感病品种。

表 3 病原菌侵染对不同西瓜品种发病的影响及抗性评价

Table 3 Impact of pathogenic bacteria infection on disease occurrence in different watermelon varieties and resistance evaluation

品种 Variety	总株数 Total	病株数 Number of diseased plants	发病率 Incidence rate/%	病情指数 Disease index	最高级 Superlative	抗性 Disease resistance
申抗 998 Shenkang 998	60	27	45.00	45.21±2.02 d	4	中抗 Moderate resistance
绿力 6 号 Lüli No. 6	60	31	51.66	45.36±2.29 c	4	轻抗 Light resistance
gg-6	60	9	15.00	8.51±0.34 f	2	高抗 High resistance
京彩 4 号 Jingcai No. 4	60	49	81.67	83.83±2.43 ab	5	感病 Susceptible resistance
中兴红 4 号 Zhongxinghong No. 4	60	53	88.33	84.14±1.33 b	5	感病 Susceptible resistance
早佳(8424) Zaojia (8424)	60	54	90.00	90.36±1.06 a	5	感病 Susceptible resistance
重茬王 Chongchawang	60	24	40.00	34.94±0.94 e	5	中抗 Moderate resistance
京欣 8 号 Jingxin No. 8	60	42	70.00	61.66±3.23 b	5	轻抗 Light resistance
美都 Meidu	60	50	83.33	81.47±1.16 b	5	感病 Susceptible resistance
绿小帅 Lüxiaoshuai	60	45	75.00	45.62±1.32 d	4	轻抗 Light resistance

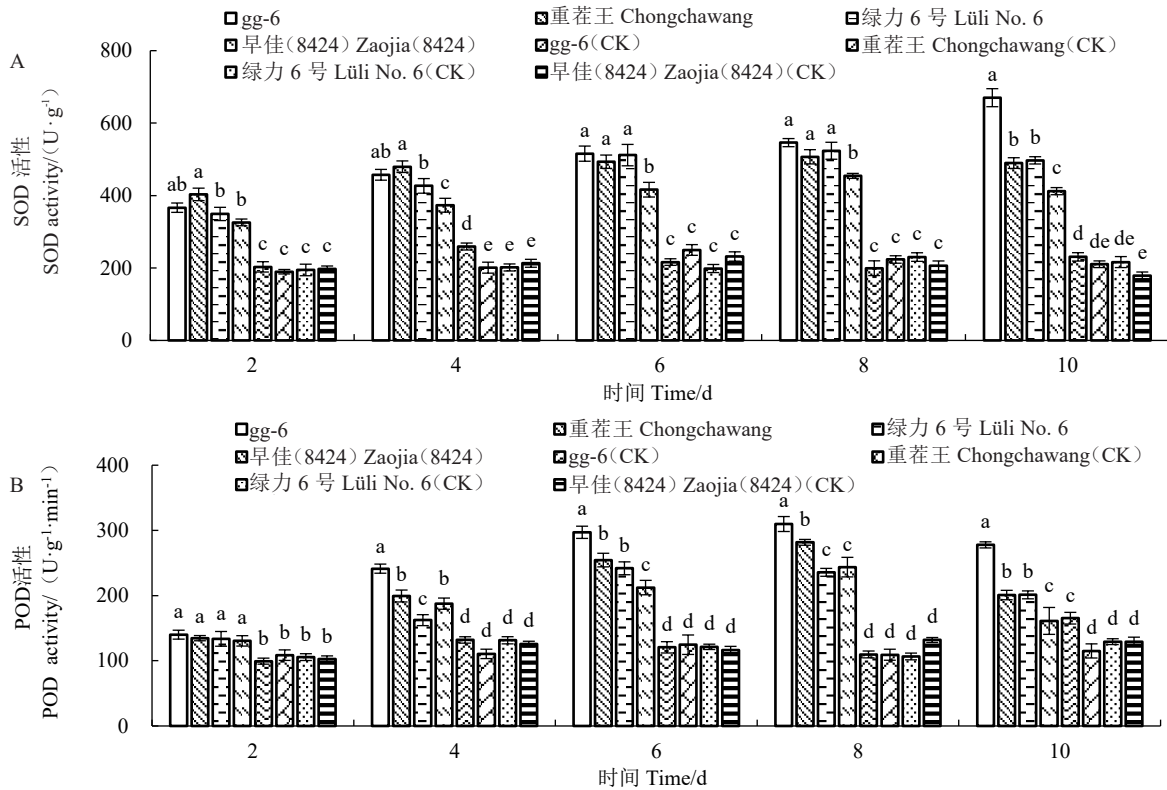
注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level.

2.2 病原菌侵染对不同抗性西瓜品种苗期叶片 SOD 活性和 POD 活性的影响

由图 1-A 可知,枯萎病病原菌灌根处理后,供试西瓜品种叶片 SOD 活性均有显著提升,不同抗性品种之间的 SOD 活性差异显著。高抗品种 gg-6 叶片 SOD 活性在第 10 天达到峰值,比 CK 提升 190.46%,而中抗品种重茬王、轻抗品种绿力 6 号和感病品种早佳(8424)叶片 SOD 活性与 CK 相比分别提升了 132.80%、129.82%和 129.99%。枯萎病病

原菌灌根处理后,不同抗性西瓜品种叶片 POD 活性在处理第 4 天开始迅速上升(图 1-B),此时高抗品种 gg-6 叶片 POD 活性显著高于其他品种,并在处理第 8 天达到峰值 $309.80 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,此时高抗品种 gg-6、中抗品种重茬王、抗病品种绿力 6 号和感病品种早佳(8424)叶片 POD 活性比 CK 分别提升 182.22%、157.74%、120.99 和 84.56%。由此说明,枯萎病病原菌灌根处理后,高抗品种西瓜叶片 SOD、POD 活性提升幅度最大,而感病品种 SOD、



注:不同小写字母表示品种间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase indicate significant difference at 0.05 level among different varieties. The same below.

图 1 病原菌侵染对不同抗性西瓜品种苗期叶片 SOD 活性和 POD 活性的影响

Fig. 1 Effects of pathogen inoculation on SOD and POD activities in seedlings of different watermelon varieties with different resistance

POD 活性提升幅度则较小。

2.3 病原菌侵染对不同抗性西瓜品种苗期叶片 PPO 活性和 CAT 活性的影响

由图 2-A 可知,枯萎病病原菌处理后,随着处理时间延长,各西瓜品种叶片 PPO 活性均呈现先上升后下降的变化趋势。高抗品种 gg-6 叶片 PPO 活性上升最快,在第 8 天达到峰值 $1864.08 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,比 CK 提升 176.41%,而感病品种早佳(8424)的叶片 PPO 活性与对照相比提升 144.12%。由图 2-B 可知,枯萎病病原菌灌根处理后,不同抗性西瓜品

种叶片 CAT 活性显著升高,高抗品种 gg-6 叶片 CAT 活性第 4 天时达到峰值 $17.17 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,相比 CK 提升 225.80%,而此时感病品种早佳(8424)比 CK 提升 194.40%。由此说明枯萎病病原菌处理后,高抗品种叶片 PPO 和 CAT 活性提升幅度明显高于感病品种。

2.4 病原菌侵染对不同抗性西瓜品种苗期叶片 MDA 含量和相对电导率的影响

从图 3-A 中可以看出,枯萎病病原菌灌根处理后,不同西瓜品种叶片 MDA 含量均呈现快速上升

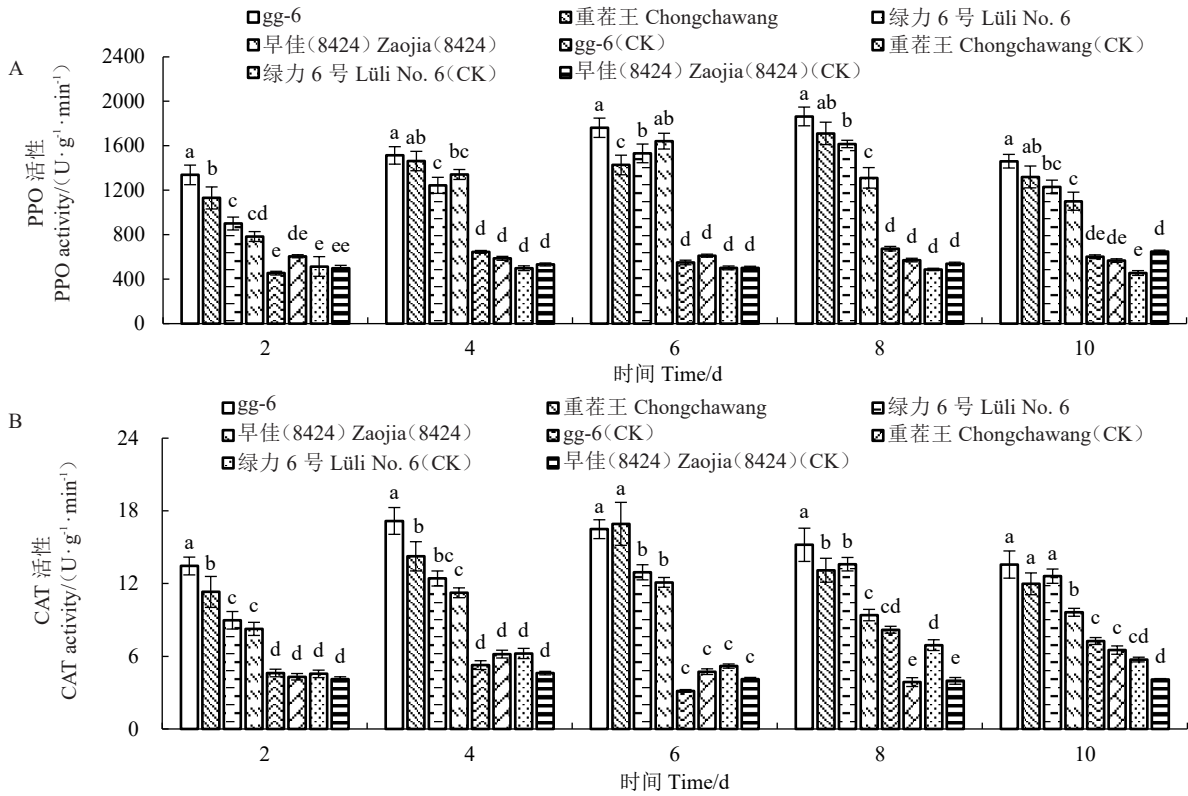


图2 病原菌侵染对不同抗性西瓜品种苗期叶片 PPO 活性和 CAT 活性的影响

Fig. 2 Effects of pathogen inoculation on PPO and CAT activities in seedling leaves of different watermelon varieties with different resistance

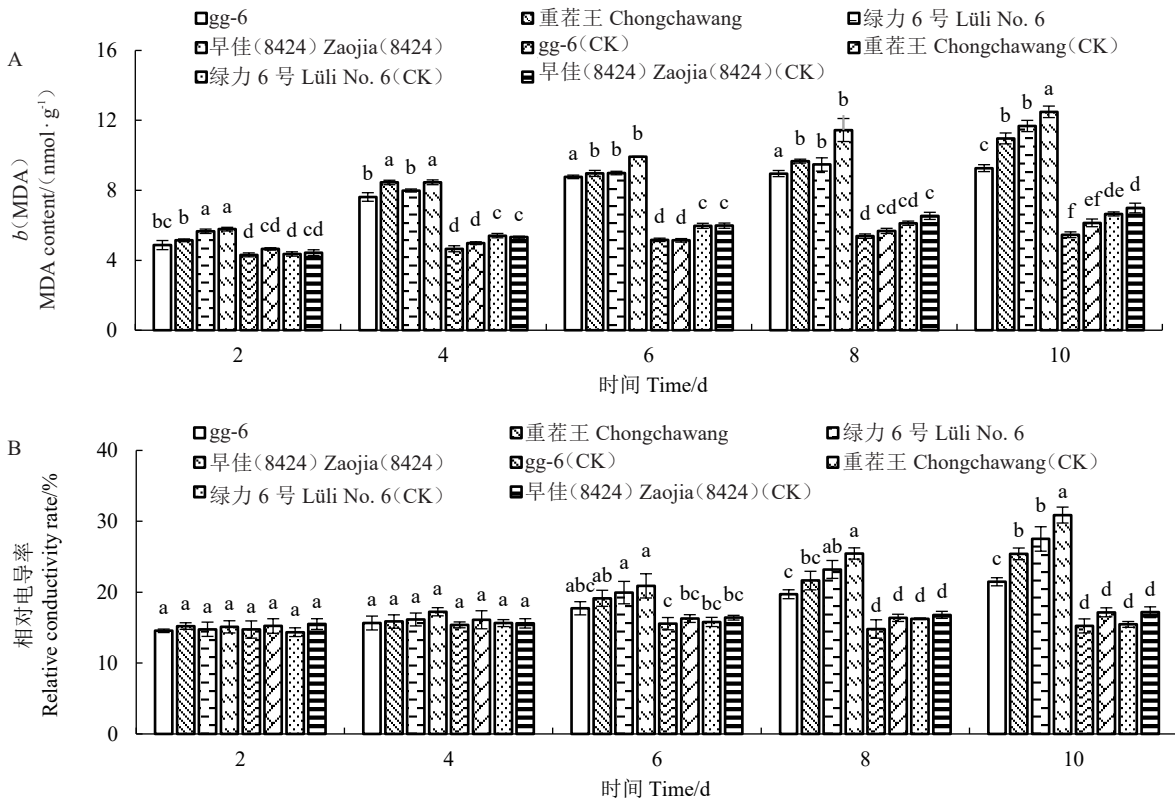


图3 病原菌侵染对不同抗性西瓜品种苗期叶 MDA 含量和相对电导率的影响

Fig. 3 Effects of pathogen inoculation on MDA content and relative conductivity of seedling leaves in watermelon varieties with different resistance

趋势,其中感病品种早佳(8424)的MDA含量上升幅度最大,处理第10天时达到峰值11.90 nmol·mg⁻¹,比CK提升78.68%。高抗品种gg-6的MDA含量在第2天时上升幅度较小,之后缓慢上升,在第10天达到最高值,比CK提升69.78%。经枯萎病病原菌灌根处理后其相对电导率均呈现持续上升趋势(图3-B),而CK变化不明显。其中,感病品种早佳(8424)的相对电导率上升最快,在第10天时达到峰值30.88%,分别比较轻抗品种绿力6号、中抗品种重茬王、高抗品种gg-6的相对电导率高12.25%、21.52%、43.82%。由此说明,枯萎病病原菌灌根处理后,高抗品种叶片的MDA含量和相对电导率较

低,而感病品种则较高。

2.5 病原菌侵染对不同抗性西瓜品种苗期叶片O₂⁻产生速率和过氧化氢含量的影响

从图4-A可知,枯萎病病原菌灌根处理后,不同抗性西瓜品种的超氧阴离子(O₂⁻)产生速率存在差异,均呈现上升趋势,在处理第8天时差异表现显著,在第10天时达到峰值,此时感病品种早佳(8424)O₂⁻产生速率最高,比CK提升203.07%,而高抗品种gg-6相比CK提升了75.63%。图4-B显示,从第4天开始,感病品种早佳(8424)叶片H₂O₂含量快速上升,在第10天时达到峰值20.17 μmol·g⁻¹,显著高于轻抗品种、中抗品种、高抗品种,相比CK

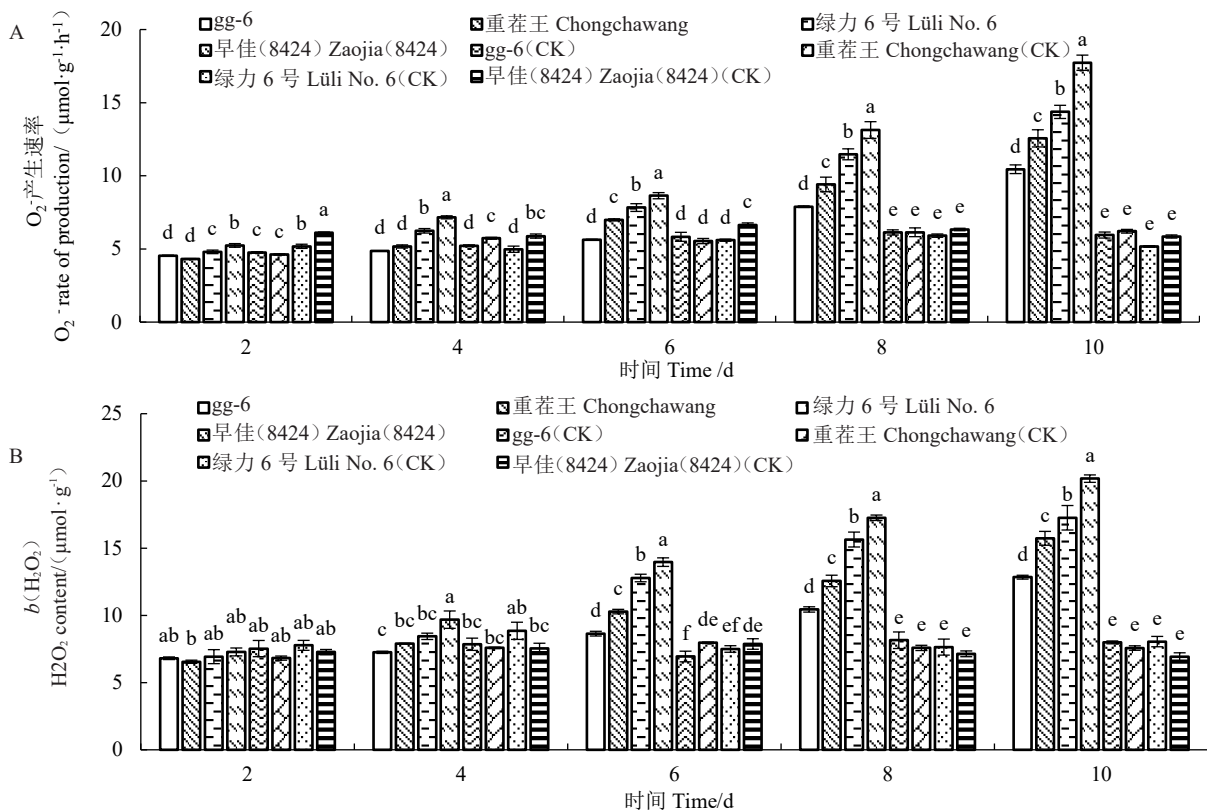


图4 病原菌侵染对不同抗性西瓜品种苗期叶O₂⁻产生速率和过氧化氢含量的影响

Fig. 4 Effects of pathogen infection on the O₂⁻ production rate and hydrogen peroxide content in seedling leaves of watermelon varieties with different resistance

提升191.47%。高抗品种gg-6的H₂O₂含量从第4天时开始缓慢上升,在第6天时显著高于CK,处理第10天达到峰值12.84 μmol·g⁻¹,比CK提升60.70%。由此说明,西瓜品种对枯萎病抗性越高,叶片O₂⁻产生速率和H₂O₂含量越低,反之则越高。

3 讨论与结论

由于作物枯萎病的高致病性和化学防治效果

不佳,因此利用抗病西瓜品种是当前生产中最经济有效的措施,而了解作物品种资源枯萎病抗性尤为重要。龙天宇等^[19]利用人工接种方式对256个棉花品种进行枯萎病抗性鉴定,筛选出5个高抗品种。刘柳等^[20]对44份西瓜种质资源进行枯萎病抗性鉴定,筛选出5份高抗西瓜材料。笔者在本研究中通过人工接种西瓜枯萎病的方式对10个西瓜品种进行枯萎病抗性鉴定,筛选出1个高抗西瓜品种。

植物在正常生理代谢活动中,细胞器、脂膜会产生活性氧物质(ROS)^[21],而在西瓜枯萎病病菌侵入植物后,体内活性氧产生和消除的代谢平衡受到破坏,过剩的活性氧能引发和加剧膜脂过氧化作用,细胞结构被破坏,严重的甚至能导致植株细胞死亡^[22]。刘泰等^[6]研究表明,在枯萎病侵入后其叶片相对电导率和MDA含量与发病率呈现极显著正相关,而关峰等^[23]研究表明,超氧阴离子产生速率和H₂O₂含量与品种抗性呈负相关。本试验结果表明,在枯萎病病原菌灌根处理后,在相对电导率、O₂产生速率、MDA含量和H₂O₂含量指标中,感病品种早佳(8424)显著高于抗性品种,而高抗品种gg-6的叶片相对电导率、O₂产生速率、MDA含量和H₂O₂含量则相对较低,这说明抗性品种在接种后对清除O₂的能力高于感病品种,且抗性越高清除O₂的能力越强。

国内外研究表明,植物体内多种保护酶与植物的防卫反应及抗病性密切相关,可作为衡量植物体内防卫反应的重要指标^[24]。陈亮等^[25]和侯茜等^[26]的研究结果均表明,SOD、POD和CAT活性与西瓜枯萎病抗性呈正相关,与本研究结果一致,在本试验枯萎病病原菌灌根处理后,不同抗性品种叶片SOD、POD、CAT活性相比对照均呈先快速上升而后下降的趋势,但由于抗性程度不同,其活性上升幅度也有所差异,其中高抗品种gg-6在接种处理后上升最快。多酚氧化酶与植物体内酚类物质的转化有关,是系统抗性的关键调节酶^[27]。本研究结果表明,在枯萎病病原菌灌根处理后的第2天,高抗品种西瓜叶片的PPO活性快速上升,上升幅度远远大于感病品种。杨凡等^[28]在黄瓜中也有相似的研究结果。

综上所述,对10个西瓜品种进行抗性评价,得到抗病品种6个,感病品种4个。枯萎病菌胁迫显著影响高抗品种gg-6和感病品种早佳(8424)叶片的防御酶活性、MDA含量、H₂O₂含量、相对电导率及活性氧含量。抗病品种酶活性整体更高,二者生理指标变化趋势存在差异。西瓜在枯萎病胁迫下呈现多生理生化指标协同防御,其具体调控机制仍需深入研究。

参考文献

- [1] 刘阳,谢露露,张思远,等.西瓜主要病害抗病育种研究进展[J].中国蔬菜,2022(3):17-28.
- [2] 潘存祥.西瓜抗枯萎病生理生化机理的研究[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
- [3] 李超汉,朱丽华,杨红娟,等.西瓜种质资源的枯萎病抗性鉴定[J].上海农业学报,2020,36(4):37-42.
- [4] 邹芳斌,司龙亭,李新,等.黄瓜枯萎病抗性与防御系统几种酶活性关系的研究[J].华北农学报,2008,23(3):181-184.
- [5] 丁九敏,高洪斌,刘玉石,等.黄瓜霜霉病抗性与叶片中生理生化物质含量关系的研究[J].辽宁农业科学,2005(1):11-13.
- [6] 刘泰,王迪,徐慧春,等.甜瓜抗枯萎病资源筛选及抗病生理指标相关性分析[J].中国瓜菜,2024,37(7):59-66.
- [7] 赵秀娟,唐鑫,程蛟文,等.酶活性、丙二醛含量变化与苦瓜抗枯萎病的关系[J].华南农业大学学报,2013,34(3):372-377.
- [8] SCHNEIDER S, ULLRICH W R. Differential induction of resistance and enhanced enzyme activities in cucumber and tobacco caused by treatment with various abiotic and biotic inducers[J]. Physiological Molecular Plant Pathology, 1994, 45(4):291-304.
- [9] 刘守伟,吴凤芝,马艳玲.枯萎病菌对不同抗性黄瓜品种几种酶活性的影响[J].植物保护,2009,35(1):82-85.
- [10] 闫闻,王喜庆,贾云鹤,等.西瓜枯萎病抗性鉴定技术方案[J].中国瓜菜,2020,33(1):76-78.
- [11] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [12] 张兆英.不同贮藏条件下四种药用植物种子活力的研究[D].河北保定:河北农业大学,2003.
- [13] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导[M].3版.北京:高等教育出版社,2003.
- [14] 廖滔,周磊,刘军平,等.果胶对多酚氧化酶活性及热稳定性的影响[J].中国食品学报,2021,21(5):67-74.
- [15] WANG J, MAO L C, LI X W, et al. Oxalic acid pretreatment reduces chilling injury in Hami melons (*Cucumis melo* var. *reticulatus* Naud.) by regulating enzymes involved in antioxidative pathways[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 241:201-208.
- [16] 张采薇,刘晓娟.干旱胁迫对柳兰幼苗生长和抗逆生理特性的影响[J/OL].草业科学,1-28[2025-09-30].<https://link.cnki.net/urlid/62.1069.S.20250930.1206.006>.
- [17] 牛蒙亮.根源过氧化氢信号介导南瓜砧木嫁接提高黄瓜耐盐性的机制研究[D].武汉:华中农业大学,2018.
- [18] XUEWEI Z, XUESEN H, QINSHENG G, et al. A preliminary report on screening the resistance of watermelon varieties to *Fusarium* wilt[C]/International Symposium on Cultivar Improvement of Horticultural Crops. Part 1: Vegetable Crops 402. 1995: 45-47.
- [19] 龙天宇,邓亚辉,祖倩丽,等.棉花枯萎病室内苗期抗病性鉴定方法及评价[J].新疆农业科学,2023,60(2):416-423.
- [20] 刘柳,南宇航,沙彤芸,等.西瓜种质资源对枯萎病和白粉病的抗性评价[J].北方园艺,2018(11):43-49.
- [21] 周晓慧,JOSEPH N W,李英,等.甜瓜蔓枯病抗性与SOD、CAT和POD活性变化的关系[J].中国瓜菜,2007,20(2):4-6.
- [22] 许勇,王永健,葛秀春,等.枯萎病菌诱导的结构抗性和相关酶活性的变化与西瓜枯萎病抗性的关系[J].果树科学,2004,17(2):123-127.
- [23] 关峰,张景云,石博,等.甜瓜枯萎病抗性鉴定及枯萎病菌胁迫下生理响应差异分析[J].植物生理学报,2019,55(10):1481-1488.
- [24] 辛松林,秦文,孙传红,等.腐皮镰孢霉菌侵染及保鲜剂处理对秋葵相关抗性酶的影响[J].江苏农业学报,2018,34(5):1161-1168.
- [25] 陈亮,陈年来.西瓜叶片防御酶活性与枯萎病抗性的关系[J].河南农业科学,2019,48(1):77-83.
- [26] 侯茜,羊杏平,张曼,等.西瓜幼苗根系防御酶活性变化与枯萎病抗性的关系[J].江苏农业科学,2015,43(12):147-149.
- [27] 陈年来,胡敏,代春艳,等.诱抗处理对甜瓜叶片酚类物质代谢的影响[J].园艺学报,2010,37(11):1759-1766.
- [28] 杨凡,唐艳领,牛莉莉,等.黄瓜穴盘苗期枯萎病抗性鉴定方法及枯萎病胁迫下的生理响应[J].中国瓜菜,2022,35(3):81-85.