

研究报告

采前喷施水杨酸与硝普钠对玛瑙红樱桃致病菌的抑制效果及不同抑菌剂的毒力分析

聂华丽¹, 吉宁^{*1}, 王瑞¹, 张妮¹, 刘仁婵¹, 李昱昕¹, 陶秋运²¹ 贵阳学院 食品科学与工程学院, 贵州 贵阳 550005² 贵州多彩田园农业开发有限公司, 贵州 开阳 550300

聂华丽, 吉宁, 王瑞, 张妮, 刘仁婵, 李昱昕, 陶秋运. 采前喷施水杨酸与硝普钠对玛瑙红樱桃致病菌的抑制效果及不同抑菌剂的毒力分析[J]. 微生物学通报, 2025, 52(4): 1617-1631.

NIE Huali, JI Ning, WANG Rui, ZHANG Ni, LIU Renchan, LI Yuxin, TAO Qiuyun. Inhibitory effects of salicylic acid and sodium nitroprusside sprayed before harvest on pathogenic fungi of 'Manahong' cherry and toxicity of different fungicides[J]. Microbiology China, 2025, 52(4): 1617-1631.

摘要:【背景】玛瑙红樱桃在贵州种植数量庞大且深受消费者喜爱, 其由于微生物侵染而造成的果实损失已成为人们的关注焦点之一。【目的】为贵州省玛瑙红樱桃病原菌防治及产业发展提供理论支持。【方法】从采前喷施水杨酸(salicylic acid, SA)和硝普钠(sodium nitroprusside, SNP)处理的玛瑙红樱桃果实组织中分离并纯化病原真菌。通过形态学特征、致病性试验以及分子生物学方法(rDNA-ITS 序列分析)等来确定致病菌, 并在体外环境中探究 SA 和 SNP 对致病菌的抑制效果, 同时评估室内杀菌剂对致病菌的影响。【结果】玛瑙红樱桃的 2 株致病菌为香港间坐壳菌(*Diaporthe hongkongensis*)和藤仓镰刀菌(*Fusarium fujikuroi*)。采前喷施 SA 和 SNP 能够维持樱桃果实的品质, 能有效抑制果实表面微生物的生长, 但对致病菌香港间坐壳菌(*Diaporthe hongkongensis*)和藤仓镰刀菌(*Fusarium fujikuroi*)的抑制作用并不明显。然而, 室内毒力实验表明, 多种药剂对这 2 种致病菌显示出较好的抑制效果, 特别是 50%咯菌腈对香港间坐壳菌的抑制效果最好, 其 EC_{50} 值达到 0.80×10^{-7} $\mu\text{g/mL}$; 而 43%戊唑醇对藤仓镰刀菌的抑制效果最佳, EC_{50} 值为 0.0945 $\mu\text{g/mL}$ 。【结论】推荐使用 50%咯菌腈和 43%戊唑醇作为田间防治药剂, 并结合采前喷施水杨酸和硝普钠,

资助项目: 贵阳市科技人才计划(筑科合同[2023]48-20 号); 贵阳学院博士启动基金(GYU-KY-[2025]); 贵州省大学生创新创业训练计划(S202210976002); 贵阳市科技计划(筑科合同[2021]3-21 号); 贵州省基础研究(自然科学)项目[黔科合基础 MS(2025)088]; 贵州省生态特色食品新质化加工与贮藏全省重点实验室项目(黔科合平台 ZSYS[2025]023)

This work was supported by the Guiyang Science and Technology Talent Program (ZhuKeHeTong [2023]48-20), the Doctoral Startup Fund of Guiyang University (GYU-KY-[2025]), the College Student Innovation and Entrepreneurship Training Program of Guizhou Province (S202210976002), the Guiyang Science and Technology Program (ZhuKeHeTong[2021]3-21), the Guizhou Provincial Basic Research Program (Natural Science) [QianKeHe Basic MS(2025)088], and the Program of Guizhou Key Laboratory of New Quality Processing and Storage of Ecological Specialty Food (QianKeHe Platform ZSYS[2025]023).

*Corresponding author. E-mail: jining552100@163.com

Received: 2024-07-08; Accepted: 2024-10-14; Published online: 2024-11-11

为玛瑙红樱桃产业的发展提供理论支持。

关键词：玛瑙红樱桃；水杨酸；硝普钠；杀菌剂；室内毒力

Inhibitory effects of salicylic acid and sodium nitroprusside sprayed before harvest on pathogenic fungi of ‘Manaohong’ cherry and toxicity of different fungicides

NIE Huali¹, JI Ning^{*1}, WANG Rui¹, ZHANG Ni¹, LIU Renchan¹, LI Yuxin¹, TAO Qiuyun²

1 College of Food Science and Engineering, Guiyang University, Guiyang 550005, Guizhou, China

2 Guizhou Colorful Tianyuan Agricultural Development Company with Limited Liability, Kaiyang 550300, Guizhou, China

Abstract: [Background] ‘Manaohong’, a cherry variety widely cultivated in Guizhou, is popular among consumers. However, fruit losses due to microbial infection have aroused wide concern in large-scale production. [Objective] To provide theoretical support for the control of pathogenic microorganisms during the large-scale cultivation of ‘Manaohong’ in Guizhou. [Methods] Prior to harvest, salicylic acid (SA) and sodium nitroprusside (SNP) were applied as foliar sprays. Pathogenic fungi were subsequently isolated from the fruits of ‘Manaohong’. The fungi were identified based on morphological characteristics, molecular evidence (rDNA-ITS sequence), and pathogenicity tests. The inhibitory effects of SA and SNP on pathogenic fungi were assessed *in vitro*, and the effects of chemical fungicides on the two pathogens were examined in the laboratory. [Results] Two pathogenic fungal species in ‘Manaohong’ were identified as *Diaporthe hongkongensis* and *Fusarium fujikuroi*. Preharvest treatments with SA and SNP helped maintain fruit quality and exhibited inhibitory effects on surface microbial growth, while they showcased limited inhibitory effects on *D. hongkongensis* and *F. fujikuroi*. Laboratory tests revealed that several chemical fungicides displayed strong inhibitory effects on the two pathogens. Among them, 50% fludioxonil showed the strongest inhibitory effect on *D. hongkongensis*, with the median effective concentration (EC_{50}) of 0.80×10^{-7} $\mu\text{g/mL}$, while 43% tebuconazole had the strongest effect on *F. fujikuroi*, with the EC_{50} of 0.094 5 $\mu\text{g/mL}$. [Conclusion] According to the findings, we recommended 50% fludioxonil and 43% tebuconazole as field control agents, in conjunction with preharvest foliar applications of SA and SNP. This integrated approach serves as a potential strategy for managing pathogenic fungi and supports the sustainable development of the ‘Manaohong’ cherry industry.

Keywords: ‘Manaohong’ cherry; salicylic acid; sodium nitroprusside; fungicide; indoor toxicity

玛瑙红樱桃作为1995年2月在贵州省纳雍县培育出的优良品种，经过贵州省农作物品种审定委员会的认证，被正式命名为‘玛瑙红’^[1]。玛瑙红樱桃因富含多种营养成分，广受消费者

喜爱^[2]。该品种具有较强的生态适应性，目前在贵州省的多个地区均有种植^[3]。然而，玛瑙红樱桃因果皮薄且汁液充沛，非常容易遭受微生物的侵袭，果实腐烂现象极易产生^[4]。目前，

已有研究报告指出,影响樱桃的主要致病菌有间坐壳菌(*Diaporthe*)、胶孢炭疽菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)、交链孢霉(*Alternaria alternata*)、砖红镰刀菌(*Fusarium lateritium*)等^[5-8]。这些病菌不仅破坏樱桃的质地和营养价值,而且严重降低了其商业价值。因此,开发有效的防治措施,抵御微生物病害侵蚀,延长樱桃果实的贮藏期限,就显得尤为重要。

病害是导致果蔬品质下降并造成经济损失的重要原因之一,果实的微生物性侵染主要靠杀菌剂进行防治。目前,关于防治樱桃果实真菌的杀菌剂研究较少,但常用于果蔬防腐的药剂有代森锰锌、甲基硫菌灵、苯醚甲环唑、戊唑醇、腈菌唑、吡噻菌胺、咯菌腈、己唑醇、四氟醚唑、啉菌环胺、寡糖链蛋白、苯菌灵、啉菌酯等^[9-17]。研究发现,杀菌剂对茎腐病菌、赤叶枯刺盘孢菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)等病原体有显著的抑制作用^[18]。水杨酸(salicylic acid, SA)和一氧化氮(nitric oxide, NO)是植物体内广泛存在的 2 种核心活性成分,它们不仅参与多种生理生化反应,而且对调节植物采后的呼吸代谢过程发挥重要作用。适量的外源水杨酸能有效抑制果蔬采后乙烯的生成,从而延缓衰老进程^[19]。作为一种 NO 的供体,硝普钠(sodium nitroprusside, SNP)在果蔬保鲜领域也得到了广泛的应用^[20-21]。研究表明,SA 和 SNP 对于维持采摘后果蔬的品质具有显著效果,同时适宜浓度的外源 NO 能显著提高果实采后的抗病性,进而延长其贮藏期^[22-29]。

近年来,微生物的侵染导致玛瑙红樱桃品质下降,严重影响了当地农民的经济收入。在防治果蔬病害方面,杀菌剂被广泛认为是一种有效的手段。尽管 SA 和 SNP 已被证实能够维持果实品质,但它们是否能有效抑制病害微生物生长尚无确凿研究报告。本研究对玛瑙红樱

桃进行采前喷施 SA 和 SNP 处理,并对其病原微生物进行分离和鉴定,另外筛选安全且高效的杀菌剂,以期为控制玛瑙红樱桃病害、减少微生物侵害、延长果实的贮藏期提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品

玛瑙红樱桃,采自贵州省开阳县樱桃种植基地(107°0'14"E, 26°57'24"N)。

1.2 培养基

马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)培养基,青岛高科技工业园海博生物技术有限公司^[30]。

1.3 主要试剂和仪器

水杨酸,天津市科密欧化学试剂有限公司;硝普钠,上海麦克林生化科技有限公司;80%代森锰锌可湿性粉剂,江西中迅农化有限公司;70%甲基硫菌灵可湿性粉剂,深圳诺普信农化股份有限公司;50%苯菌灵可湿性粉剂,江苏蓝丰生物化工股份有限公司;40%腈菌唑悬浮剂,上海悦联生物科技有限公司;20%吡噻菌胺悬浮剂,三井化学 AGRO 株式会社;5%己唑醇悬浮剂,山东东合生物科技有限公司;40%苯醚甲环唑悬浮剂,山东百信生物科技有限公司;4%四氟醚唑水乳剂,意大利赛格公司;50%啉菌环胺水分散粒剂、50%咯菌腈可湿性粉剂、43%戊唑醇悬浮剂,先正达(苏州)作物保护有限公司;6%寡糖链蛋白可湿性粉剂,河北中保绿农作物科技有限公司;25%啉菌酯悬浮剂,山东邹平农药有限公司;DNA 提取试剂盒,生工生物工程(上海)股份有限公司。凝胶成像系统,成都百乐科技有限公司。

1.4 玛瑙红樱桃采前处理

随机选择基地 12 棵健康果树,并将其分为 4 个组。具体分组如下^[30]: SA (A)处理组,浓

度为 1 mmol/L 的 SA; SNP (N)处理组, 浓度为 0.25 mmol/L 的 SNP; SA 和 SNP 联合处理组 (AN), 1 mmol/L SA 与 0.25 mmol/L SNP 的混合溶液; 对照组(CK)则使用清水进行处理。每组处理重复 3 次。在果树的 4 个生长阶段, 共 5 个时期(幼果期: 3 月 17 日; 果实膨大期: 4 月 6 日、4 月 13 日; 果实变色期: 4 月 20 日, 果实成熟期: 4 月 27 日)均进行了喷施, 每个阶段的处理均匀施加于 3 棵树上。最后一次喷施在采收前 7 d, 即开花后 45 d。为保证实验的一致性和可比性, 选取大小均匀、无机械损伤且成熟度基本一致的果实。每次喷施 7 d 后进行取样采摘, 在 3 h 内运回实验室。

1.5 玛瑙红樱桃病原菌的分离纯化

从不同时期不同处理喷施后运回实验室的玛瑙红樱桃中随机挑选 10 颗表皮无机械损伤的果实, 采用组织块分离法进行分离纯化^[31]。将樱桃自然发病部位的组织放入 PDA 培养基中央, 随后将培养基以倒置方式放置于设定温度为 28 °C、湿度恒定的培养箱内进行培育。每 24 h 检查 1 次菌落扩展的情况。待培养基表层菌落生长至大约 3 cm 直径时, 从菌落边缘挑取适量的菌丝体, 移至新的 PDA 培养基上, 以进行更深层次的纯化培养。这一操作需重复 4–5 次, 直至获得由单一孢子衍生而来的纯化病原菌菌株。

1.6 病原菌的形态学观察

经过纯化处理后, 将菌株接种在 PDA 培养基上, 并将其放置于 28 °C 恒温恒湿的培养箱中进行培养 5 d, 然后利用光学显微镜观察病原菌在 PDA 平板上的形态, 并记录菌丝和孢子的形态学特征^[32]。

1.7 病原菌的分子生物学鉴定

刮取适量纯菌丝并加入液氮充分研磨至粉末状, 将研磨好的样品装入无菌离心管, 按

照 DNA 提取试剂盒的步骤提取 DNA。以提取的基因组 DNA 为模板, 选用真菌通用引物 ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') 和 ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')进行 PCR^[33]。PCR 扩增完成后进行琼脂糖凝胶电泳检测并用凝胶成像系统分析 PCR 样品。将 PCR 扩增后的样品送至生工生物工程(上海)股份有限公司测序, 序列在 NCBI 数据库中进行比对, 采用 MEGA 11 软件^[34]用邻接(neighbor-joining, NJ)法构建系统发育树。

1.8 病原菌致病性的测定

首先选取健康、无虫害的樱桃果实, 使用无菌水进行彻底清洁后将果实浸入 75%浓度的乙醇溶液中保持 30 s, 随后再用无菌水反复冲洗 3 次, 让果实在超净工作台上自然沥干。在果实的赤道区域, 使用已经过灭菌处理的接种针, 精准地制造出一个直径为 3 mm 的微小伤口。接着, 遵循柯赫法则^[35]对分离纯化得到的病原菌进行回接试验, 具体操作为: 向每个伤口内精准注入 10 μ L 含有 1×10^8 CFU/mL 的真菌孢子悬浮液, 并且每株不同的病原菌分别接种于 3 个果实上。完成接种步骤后, 将果实小心地移至无菌培养皿内, 并使用密封膜将其妥善封闭。随后, 将这些培养皿放置于设定温度为 25 °C、湿度为 95%的恒温恒湿培养箱中进行培养。在此期间, 每天观察果实的发病状况。

1.9 不同浓度 SA 和 SNP 的离体抑菌效果

将适量的 SA 和 SNP 分别加入已灭菌且冷却至 60 °C 的 PDA 培养基中, 使 SA 的终浓度分别达到 0.1、0.5 和 1.0 mmol/L; 使 SNP 的终浓度分别调整至 0.025、0.250 和 0.500 mmol/L, 同时设立无菌水处理作为对照^[30]。将各成分混合均匀后, 将培养基倾注到培养皿中。待其完全凝固, 在每个培养皿的中央位置接种上病原

真菌的菌饼,每个处理均进行3次重复实验以确保准确性。随后,将这些培养皿放入28℃的恒温恒湿培养箱中培养5 d。其间采用十字交叉法来测量并记录每个菌落的直径。

1.10 杀菌剂对病原菌的毒力测定

采用菌丝生长速率法^[36]测定药物活性。首先,将80%代森锰锌可湿性粉剂、70%甲基硫菌灵可湿性粉剂、50%苯菌灵可湿性粉剂、40%腈菌唑悬浮剂、20%吡唑菌胺悬浮剂、5%己唑醇悬浮剂、40%苯醚甲环唑悬浮剂、4%四氟醚唑水乳剂、50%嘧菌环胺水分散粒剂、50%咯菌腈可湿性粉剂、43%戊唑醇悬浮剂、6%寡糖链蛋白可湿性粉剂、25%嘧菌酯悬浮剂等药剂用无菌水配制成 10^4 μg/mL的药物母液,再将各药物的母液分别用无菌水稀释制备5个不同浓度梯度的药液,进行紫外线消毒30 min后备用。配制45 mL的PDA培养基并在灭菌完成后冷却至约55℃,随后分别加入5种不同浓度梯度的药液并混合均匀。将混合后的培养基分别倒入3个培养皿中,每种浓度重复操作4次,形成含有不同浓度药液的培养基,同时设立无菌水作为对照。

使用无菌打孔器在纯化的病原菌培养基中精确截取直径为5 mm的菌块,并将其放置于培养基中央。随后,将培养基倒置放入28℃的恒温恒湿培养箱中进行培养。一旦观察到空白对照组的菌落直径达到40–60 mm时,即停止培养过程。采用十字交叉法测量菌落直径,并据此计算出不同药剂对病原菌的抑菌率。建立一个直线方程,该方程以药剂质量浓度的对数(设为自变量 x)与抑菌率转换得到的概率值(设为因变量 y)之间的关系为基础,即“药剂质量浓度对数与抑制率概率”的直线方程。通过此方法计算出各供试药剂的 EC_{50} 值及相关系数 R^2 ,以评估药剂的抑菌效果和数据的可靠性。

2 结果与分析

2.1 玛瑙红樱桃的分离鉴定结果

表1为2022年3月17日至2022年4月27日间,5个不同时期对玛瑙红樱桃果实进行的分离鉴定结果。数据显示了樱桃在幼果期共分离得到8株菌,而在成熟期分离出5株菌,其病菌的数量和种类均存在变化。通过形态学和分子生物学方法鉴定,从玛瑙红樱桃上分离得到共13株病原真菌,分别确定为胶孢炭疽菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)、裂褶菌(*Schizophyllum commune*)、枝孢霉属(*Cladosporium*)、烟管菌(*Bjerkandera adusta*)、多孔菌(*Polyporaceae*)、镰刀菌属(*Fusarium*)、甜樱间坐壳菌(*Diaporthe eres*)、交链孢霉(*Alternaria alternata*)、白囊耙齿菌(*Irpex lacteus*)、炭角菌(*Xylariaceae* sp.)、黄曲霉(*Aspergillus flavus*)、粪壳菌目(*Sordariales*)和黑孢霉属(*Nigrospora*)。

结果显示,不同处理后的病原菌种类普遍少于处理前,并且所有处理组的玛瑙红樱桃果实病原菌种类均少于对照组。此外,随着喷施次数的增加,各处理组的病原菌种类逐步减少。这表明玛瑙红樱桃果实的抗病性与喷施SA和SNP的频率呈正相关,即喷施频率越高,果实的抗病性越强。同时,4种处理均检出间坐壳菌,而镰刀菌仅在幼果期检出。间坐壳菌的数量明显少于对照组,水杨酸处理的果实在成熟期检出间坐壳菌,而水杨酸和硝普钠联合处理的果实在膨大期检出间坐壳菌。这些发现表明,采前喷施虽可以延缓间坐壳菌和镰刀菌的出现,但无法完全抑制这2株病菌对果实的侵染。

2.2 致病性测定结果

经科赫法则回接得出,有2株病原菌为玛瑙红樱桃致病菌,将其编号为T1、T2。结果显示,接种菌株T1的樱桃果实在培养3 d后出现

表 1 玛瑙红樱桃不同时期不同处理的真菌鉴定结果

Table 1 Pathogen identification results of ‘Manahong’ cherry at different periods and under different treatments

Group	March 17th	April 6th	April 13th	April 20th	April 27th
CK	<i>Colletotrichum</i>	<i>Colletotrichum</i>	<i>Colletotrichum</i>	<i>Colletotrichum</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>
	<i>gloeosporioides</i>	<i>gloeosporioides</i>	<i>gloeosporioides</i>	<i>gloeosporioides</i>	<i>Diaporthe eres</i>
	<i>Schizophyllum</i>	<i>Diaporthe eres</i>	<i>Diaporthe eres</i>	<i>Diaporthe eres</i>	<i>Schizophyllum commune</i>
	<i>commune</i>	<i>Sordariales</i>	<i>Xylariaceae</i> sp.	<i>Schizophyllum commune</i>	<i>Alternaria alternata</i>
		<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Irpex lacteus</i>
A		<i>Nigrospora</i> sp.		<i>Irpex lacteus</i>	
	<i>Cladosporium</i>	<i>Colletotrichum</i>	<i>Colletotrichum</i>	<i>Schizophyllum commune</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>
	<i>Bjerkandera</i>	<i>gloeosporioides</i>	<i>gloeosporioides</i>	<i>Colletotrichum</i>	<i>Diaporthe eres</i>
	<i>adusta</i>	<i>Sordariales</i>	<i>Xylariaceae</i> sp.	<i>gloeosporioides</i>	<i>Alternaria alternata</i>
		<i>Aspergillus flavus</i>			<i>Schizophyllum commune</i>
N	<i>Nigrospora</i> sp.	<i>Colletotrichum</i>	<i>Diaporthe eres</i>	<i>Colletotrichum</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>
	<i>Fusarium</i>	<i>gloeosporioides</i>		<i>gloeosporioides</i>	<i>Alternaria alternata</i>
		<i>Nigrospora</i> sp.		<i>Alternaria alternata</i>	
AN	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Colletotrichum</i>	<i>Diaporthe eres</i>	<i>Colletotrichum</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>
	<i>Polyporaceae</i>	<i>gloeosporioide</i>		<i>gloeosporioides</i>	<i>Alternaria alternata</i>

病症，并在第 5 天开始发生溃烂(图 1A)；而接种菌株 T2 的樱桃果实在培养 5 d 后出现病症，且在刺伤部位可见到菌丝生长(图 1B)。通过对表现病症的果实组织进行分离纯化，获得的分离物性状与原病原菌一致，从而证实 T1 和 T2 这 2 种菌株均为玛瑙红樱桃的致病菌。此外，比较两者的致病性，发现菌株 T1 的致病性强于菌株 T2。

2.3 致病菌的形态学特征

菌株 T1：在 PDA 培养基上培养(图 2A、图 2B)，菌落基质显示灰棕色，外观平坦，菌丝最初为白色丝绒状，后期转为灰棕色，并且不产生渗出液。显微镜下观察，分生孢子为透明无隔膜，呈簇状排列(图 2C)。根据这些病原菌培养和形态学特征，初步判断该菌株可能属于甜樱间坐壳菌(*Diaporthe eres*)。

菌株 T2：在 PDA 培养基上培养(图 2D、2E)，菌落的外层为米黄色，内层为黄棕色，菌丝初



图 1 病原菌致病性结果 A：菌株 T1；B：菌株 T2。

Figure 1 Pathogenic results of pathogenic fungi. A: Strain T1; B: Strain T2.

期为白色绒毛状，后期变为浅黄色，并且生长速度较慢。显微镜下观察到菌丝具有分隔，分生孢子呈弯曲且类似镰刀形(图 2F)。根据其培养和形态学特征，初步判断该菌株可能为镰刀菌属(*Fusarium*)。

2.4 分子生物学鉴定结果

分子生物学鉴定结果如图 3 所示。利用真菌通用的 ITS1 和 ITS2 引物对 2 株致病菌的 rDNA-ITS 序列进行了 PCR 扩增。采用琼脂糖凝胶电泳方法对扩增产物进行检测。检测结果显示,这 2 株致病菌的 ITS 序列长度均在 500–750 bp (图 3A)。序列在 NCBI 网站上进行了 BLAST 同源性序列比对。利用 MEGA 11 软件构建了系统发育树。分析结果表明,菌株 T1 和 T2 分别与香港间坐壳菌(*Diaporthe hongkongensis*)和藤仓镰刀菌(*Fusarium fujikuroi*)位于同一分支上,相似度均为 99% (图 3B、3C)。综合考虑形态特征,这 2 株菌分别被鉴定为香港间坐壳菌(*Diaporthe hongkongensis*)和藤仓镰刀菌(*Fusarium fujikuroi*)。

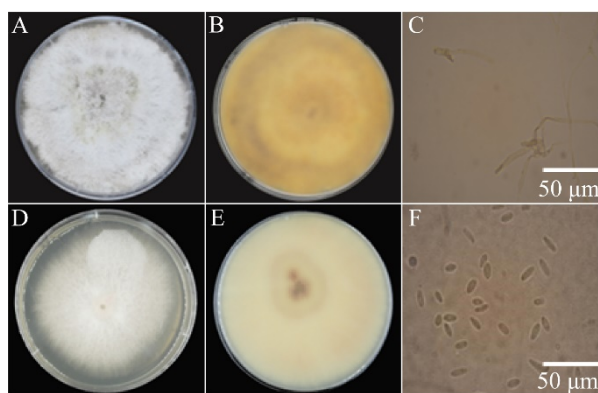


图 2 两株致病菌形态学特征 A–C 分别为菌株 T1 菌落正面图、背面图、分生孢子图; D–F 分别为菌株 T2 菌落正面图、背面图、分生孢子图。

Figure 2 Morphological characteristics of the two pathogenic fungi. A–C are the front, back and conidial colony maps of strain T1, respectively; D–F are the front, back and conidial colony maps of strain T2, respectively.

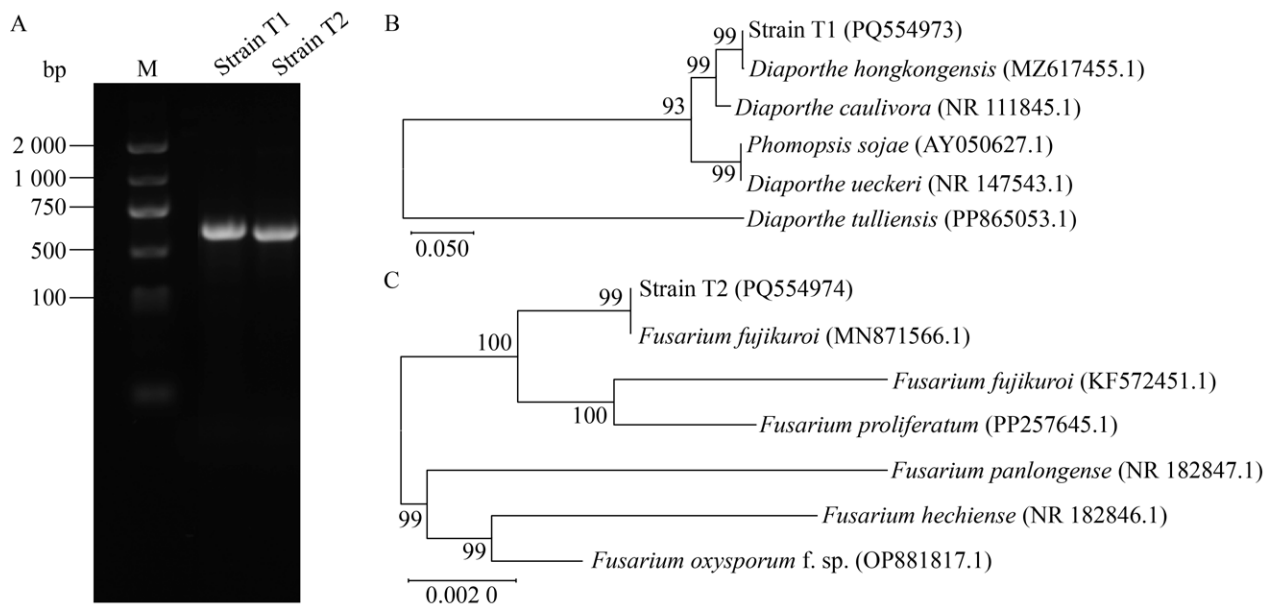


图 3 玛瑙红樱桃 2 株病原菌的 rDNA-ITS 序列 PCR 电泳图(A)及系统发育树(B) 各菌株后括号内序号为该菌株 GenBank 登录号; 各分支点数字代表此分支的可信度; 距离标尺代表序列间差异数值的单位长度。M: DNA marker。

Figure 3 rDNA-ITS sequence PCR (A) and phylogenetic tree (B) of two pathogenic strains of 'Manahong' cherry. The GenBank accession numbers of these strains are shown after the strains in parentheses; The numbers at each branch point represent the reliability of the branch; The distance scale represents the unit length of the difference in value between sequences. M: DNA marker.

2.5 不同浓度 SNP、SA 对 2 株致病菌菌落直径的影响

从图 4 中可以观察到,香港间坐壳菌的生长在高浓度 SNP 溶液中(0.25 mmol/L 和 0.50 mmol/L)受到抑制,而在浓度为 0.025 mmol/L 时则得到促进,其直径超过对照组(图 4A)。在离体培养

条件下对藤仓镰刀菌的菌落直径进行测定后发现,培养初期不同 SNP 处理组间的菌落直径没有显著差异。在第 2、3、4 天,各处理组的菌落直径普遍高于对照组,这表明在所测试的浓度范围内,SNP 对玛瑙红樱桃的致病菌(藤仓镰刀菌)并无显著的抑制作用(图 4B)。在培养初期,

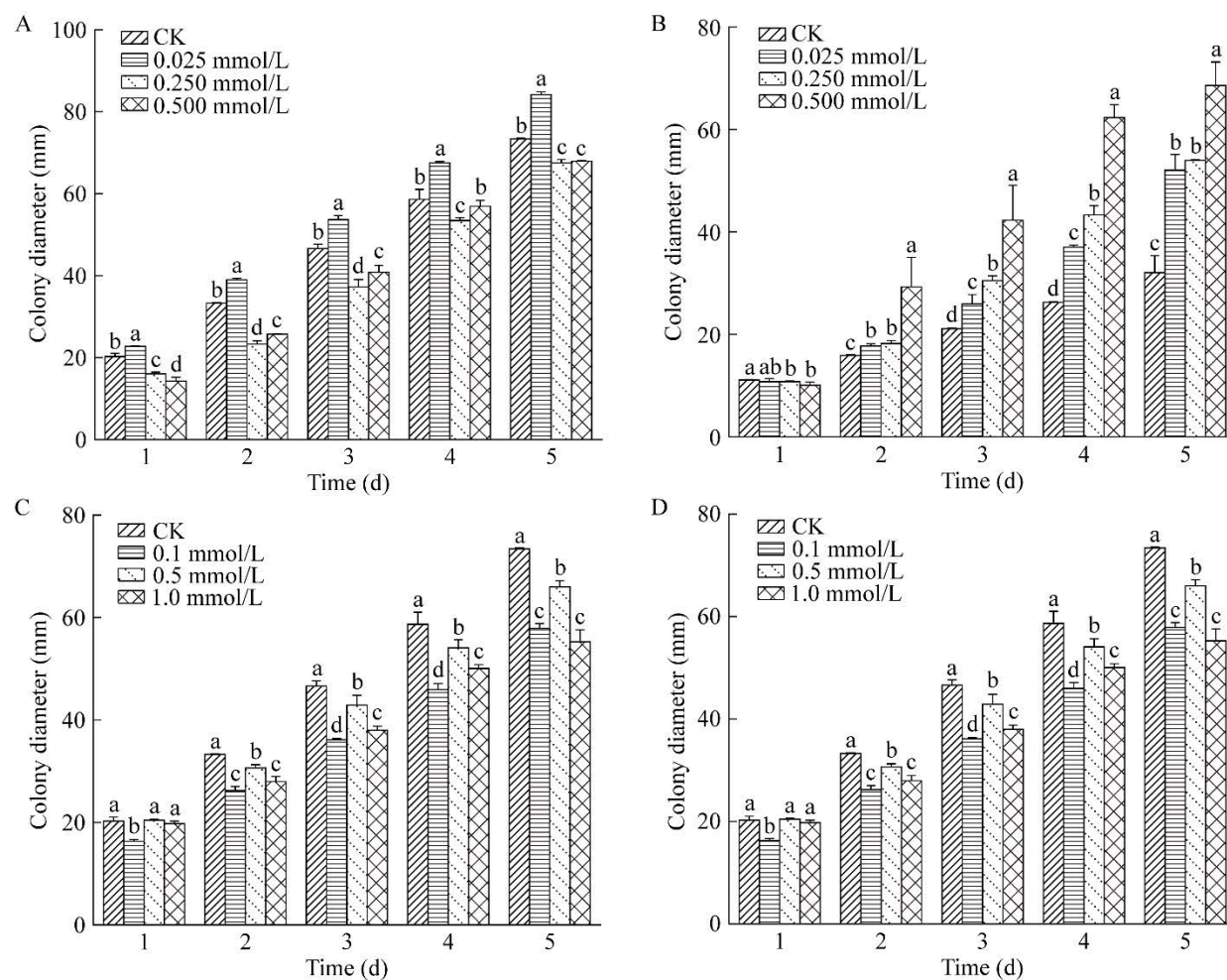


图 4 不同浓度 SNP、SA 对香港间坐壳菌和藤仓镰刀菌生长的影响 A: SNP 处理对香港间坐壳菌的影响; B: SNP 处理对藤仓镰刀菌的影响; C: SA 处理对香港间坐壳菌的影响; D: SA 处理藤仓镰刀菌的影响。同一处理不同组别小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Figure 4 Effects of different concentrations of SNP and SA on the growth of *Diaporthe hongkongensis* and *Fusarium fujikuroi*. A–B are SNP treatments; C–D indicates SA processing. A: The effect of SNP treatment on *Diaporthe hongkongensis*; B: The effect of SNP treatment on *Fusarium fujikuroi*; C: The impact of SA treatment on *Diaporthe hongkongensis*; D: The impact of SA treatment on *Fusarium fujikuroi*. Different lowercase letters in the same treatment group indicate significant differences ($P<0.05$).

含有不同浓度 SA 的 PDA 培养基中, 香港间坐壳菌菌落直径无显著差异($P>0.05$); 然而, 生长后期各处理组的菌落直径均显示出被抑制, 尤其是含 0.1 mmol/L SA 的 PDA 培养基中菌落直径最小(图 4C)。这表明在所测试的浓度范围内, SNP 与 SA 溶液浓度越高, 对香港间坐壳菌的抑制效果越明显。另外, 从图 4D 中可以看出, 相较于对照组, 经不同浓度 SA 处理的菌丝直径均受到抑制。

2.6 不同杀菌剂对香港间坐壳菌的室内毒力

通过菌丝生长抑制试验分析了 13 种杀菌剂对香港间坐壳菌的毒力, 各种杀菌剂对香港间座壳菌的抑制效果如图 5 所示, 并计算出了

回归方程、 EC_{50} 值及相关系数, 结果见表 2。在测试的 13 种药剂中, 50%咯菌腈、40%苯醚甲环唑、50%苯菌灵、5%已唑醇、4%四氟醚唑显示出较好的抑制效果, 其 EC_{50} 值分别为 0.80×10^{-7} 、 0.56×10^{-2} 、 2.93×10^{-2} 、 5.00×10^{-2} 和 12.12×10^{-2} $\mu\text{g/mL}$, 其中 50%咯菌腈的毒力最为显著。相反地, 20%吡唑菌胺对香港间坐壳菌的毒力最弱, 其 EC_{50} 值高达 47.45×10^4 $\mu\text{g/mL}$ 。

2.7 不同杀菌剂对藤仓镰刀菌的室内毒力

通过菌丝生长抑制试验分析了 13 种杀菌剂对藤仓镰刀菌的毒力, 各种杀菌剂对藤仓镰刀菌的抑制效果如图 6 所示, 并计算得出了回归方程、 EC_{50} 值及相关系数, 结果见表 3。在 13 种

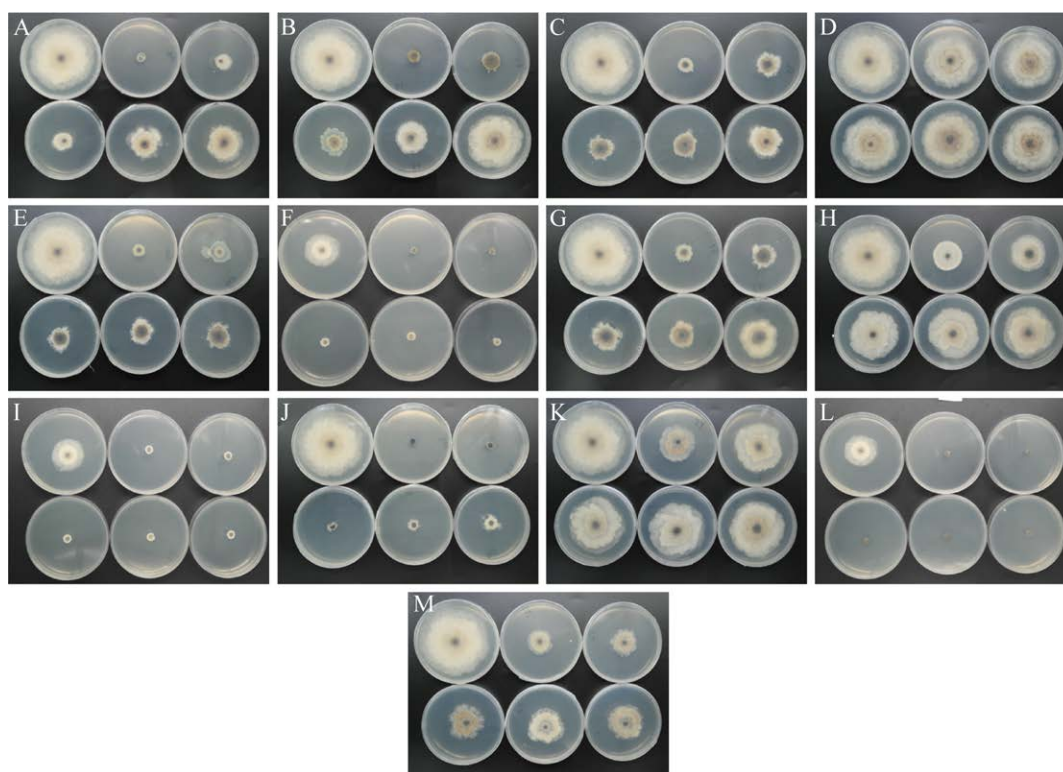


图 5 13 种药剂对香港间坐壳菌的抑制效果 A-M 分别对应于表 2 中的各药剂; 每个小图中的 6 个图表示为除对照组外(左上角), 从左至右, 从上至下, 杀菌剂浓度越大菌落直径越小。

Figure 5 Inhibitory effects of 13 kinds of fungicides on *Diaporthe hongkongensis*. A-M correspond to the agents in Table 2, respectively; The six graphs in each inset represent the colony diameter as a function of the concentration of the fungicide from left to right and top to bottom, except for the control (top left).

表 2 13 种杀菌剂对玛瑙红樱桃香港间坐壳菌菌丝生长的毒力试验结果

Table 2 Results of virulence test of 13 fungicides on mycelium growth of *Diaporthe hongkongensis* in 'Manahong' cherry

Pharmaceutical name	Virulence regression equation	Correlation coefficient (R^2)	EC_{50} value ($\mu\text{g/mL}$)
80% mancozeb (A)	$y=1.793\ 2x+4.835\ 5$	0.907 6	1.235 2
70% methylthiobacillam (B)	$y=1.920\ 6x+4.220\ 8$	0.830 2	2.545 1
40% nitrilazole (C)	$y=0.485\ 7x+5.291\ 4$	0.711 5	0.251 2
20% pyriithiamine (D)	$y=0.294\ 7x+3.621\ 9$	0.663 6	47.45×10^4
5% hexazolol (E)	$y=1.238\ 4x+6.610\ 9$	0.922 1	0.050 0
40% phenoxyconazole (F)	$y=0.863\ 1x+6.946\ 8$	0.939 1	0.005 6
4% teflurazole (G)	$y=0.777\ 8x+5.712\ 8$	0.926 8	0.121 2
50% cyclopyrimidine (H)	$y=1.251\ 8x+2.929\ 2$	0.975 6	45.108 4
50% fludioxonil (I)	$y=0.145\ 1x+6.028\ 8$	0.861 4	$0.800\ 0\times 10^{-7}$
43% tebuconazole (J)	$y=2.205\ 2x+5.762\ 6$	0.842 1	0.451 0
6% oligosaccharide protei(K)	$y=0.828\ 2x+3.444\ 0$	0.944 3	75.643 8
50% benzodiazepam (L)	$y=1.170\ 0x+6.793\ 2$	0.875 0	0.029 3
25% pyrimidin (M)	$y=0.517\ 0x+4.563\ 4$	0.861 0	6.990 2

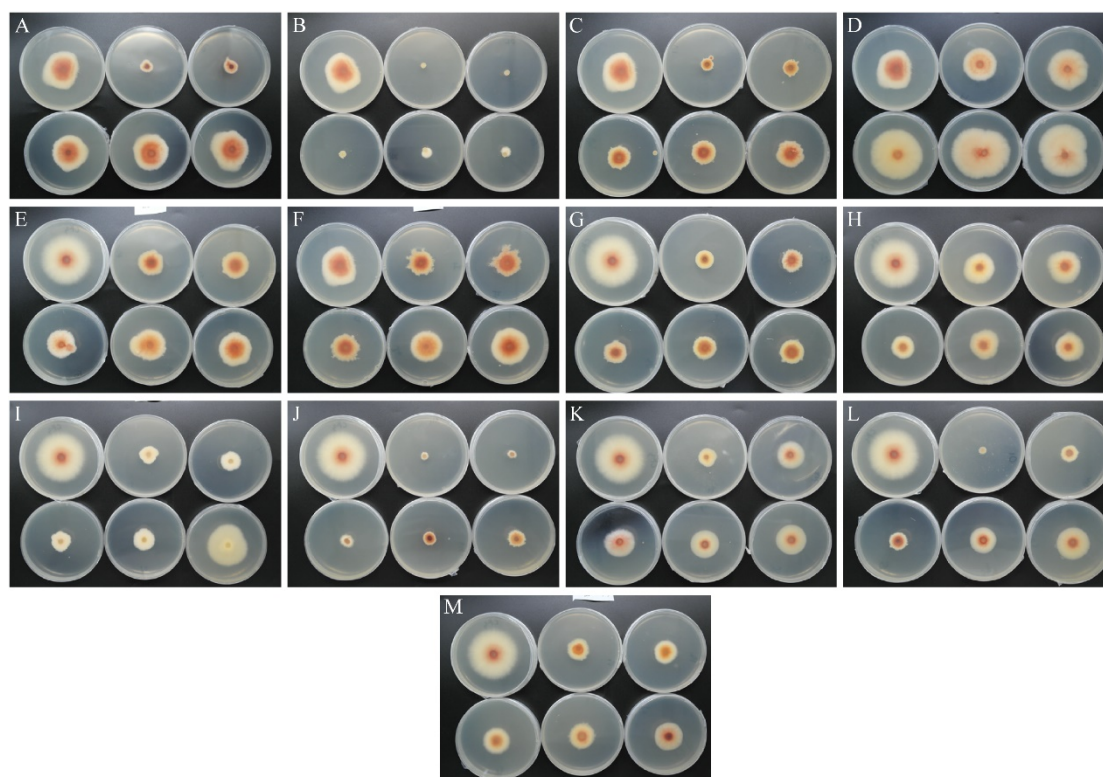


图 6 13 种药剂对藤仓镰刀菌的抑制效果 A-M 分别对应于表 3 中的各药剂; 每个小图中的 6 个图表示为除对照组(左上角), 从左至右, 从上至下, 杀菌剂浓度越大菌落直径越小。

Figure 6 Inhibitory effects of 13 fungicides on *Fusarium fujikuroi*. A-M correspond to each fungicide in Table 3, respectively; The six graphs in each inset represent the diameter of the colonies as a function of the concentration of the fungicide, from left to right and top to bottom, except for the control (upper left corner).

表 3 13 种杀菌剂对玛瑙红樱桃藤仓镰刀菌菌丝生长的毒力试验结果

Table 3 Results of virulence test of 13 fungicides on *Fusarium fujikuroi* mycelium growth of ‘Manahong’ cherry

Pharmaceutical name	Virulence regression equation	Correlation coefficient (R^2)	EC_{50} value ($\mu\text{g/mL}$)
80% mancozeb (A)	$y=2.344\ 0x+2.073\ 1$	0.896 2	17.760 1
70% methylthiobacillam (B)	$y=1.723\ 8x+4.968\ 4$	0.823 8	1.043 1
40% nitrilazole (C)	$y=1.076\ 2x+3.847\ 4$	0.977 6	11.775 8
20% pyrrithiamine (D)	$y=0.358\ 2x+4.536\ 4$	0.781 9	19.690 1
5% hexazolol (E)	$y=0.721\ 1x+4.744\ 8$	0.967 5	2.258 9
40% phenoxycanazole (F)	$y=1.054\ 2x+4.773\ 5$	0.901 1	1.640 0
4% teflurazole (G)	$y=0.459\ 0x+5.375\ 7$	0.957 2	0.151 9
50% cyclopyrimidine (H)	$y=0.405\ 6x+4.944\ 4$	0.947 5	1.371 1
50% fluomycin (I)	$y=0.874\ 0x+3.956\ 0$	0.964 1	15.649 8
43% tebuconazole (J)	$y=1.082\ 9x+6.109\ 7$	0.888 2	0.094 5
6% oligosaccharide protei (K)	$y=0.862\ 7x+3.923\ 6$	0.939 1	17.689 3
50% benzodiazepam (L)	$y=2.405\ 3x+5.712\ 1$	0.916 0	0.505 8
25% pyrimidin (M)	$y=0.415\ 3x+4.788\ 1$	0.986 0	3.237 7

测试药剂中, 43%戊唑醇、4%四氟醚唑、50%苯菌灵、70%甲基硫菌灵和 50%嘧菌环胺显示了较好的抑制活性, 其 EC_{50} 值分别为 0.094 5、0.151 9、0.505 8、1.043 1 和 1.371 1 $\mu\text{g/mL}$ 。在供试的杀菌剂中, 43%戊唑醇表现出最强的抑制活性。相对而言, 20%吡唑菌胺对藤仓镰刀菌的毒力最弱, 其 EC_{50} 值为 19.690 1 $\mu\text{g/mL}$ 。

3 讨论

微生物污染是导致果蔬采后损失的重要原因之一。研究贵州玛瑙红樱桃果实的致病菌种类及寻求有效且安全的抑菌方法对该地区樱桃产业的发展至关重要^[37]。本研究发现, 采前对樱桃果实进行 SA 和 SNP 处理, 并未显著抑制香港间坐壳菌(*Diaporthe hongkongensis*)和藤仓镰刀菌(*Fusarium fujikuroi*)的生长, 这与何俊瑜等^[27]的研究结果存在差异, 可能存在地区或品种间的差异性。此外, 本研究在 5 个不同生长时期的玛瑙红樱桃果实中共分离出 13 种病原真菌, 确认香港间坐壳菌和藤仓镰刀菌为其主要致病菌。已有研究报告称镰刀菌侵染可导致樱

桃腐烂^[38], 因此明确靶向这些病原菌对防控病害和腐烂具有重要意义。

本文选用 13 种杀菌剂进行毒力测定。其中, 80%代森锰锌为多作用位点杀菌剂, 可通过干扰病原菌遗传物质合成、细胞分裂、能量产生等过程, 影响真菌的生长与繁殖^[39]。70%甲基硫菌灵、50%苯菌灵为苯并咪唑类(benzimidazole, BEN)杀菌剂, 此类杀菌剂通过作用于真菌的 β 微管蛋白, 干扰其细胞分裂, 从而抑制病菌生长和繁殖^[40]。20%吡唑菌胺属于琥珀酸脱氢酶抑制剂类(succinate dehydrogenase inhibitor, SDHI)杀菌剂, 其作用原理是通过干扰呼吸链中的复合体II来阻断能量合成路径, 从而抑制病原菌的生长; 作为一种嘧啶胺类内吸性杀菌剂, 50%嘧菌环胺通过抑制生物体内甲硫氨酸的生物合成以及水解酶的活性, 进而阻止病原菌的穿透并破坏其生长过程^[41]。而 6%寡糖链蛋白则是一种源自生物体的杀菌剂, 它通过诱导植物自身产生抗性蛋白, 来提升植物的免疫力^[42]。25%嘧菌酯属于甲氧基丙烯酸酯类(quinone outside inhibitor, QoI)杀菌剂, 其主要

机制在于阻断细胞色素 b 和 c1 之间的电子传递过程,从而抑制三磷酸腺苷的产生,破坏真菌的能量代谢,并最终影响线粒体呼吸功能,实现抑制或杀死真菌的目的^[43]。50%咯菌腈作为一种苯基吡咯类杀菌剂(phenylpyrrole fungicide, PP),其杀菌作用可能通过靶向由双组分系统组氨酸激酶与促分裂原活化蛋白激酶级联构成的信号转导通路实现^[44]。40%腈菌唑、5%己唑醇、40%苯醚甲环唑、4%四氟醚唑、50%咯菌腈和43%戊唑醇等为麦角甾醇生物合成类(ergosterol biosynthesis inhibitor, EBI)抑制剂,这类抑制剂通过抑制真菌中甾醇的前体-羊毛甾醇或 24-亚甲基二氢羊毛甾醇在 14 位上的脱甲基化反应,进而对麦角甾醇的生物合成过程产生影响,进而影响真菌的正常生理过程^[45]。因此,这些杀菌剂可能是通过影响病菌体内遗传物质合成、阻碍能量产生并干扰其细胞分裂或诱导植物体自身的抗性物质等途径实现抑菌。

根据室内毒力测试的结果,多种杀菌剂均展现出对这 2 株致病菌生长的有效抑制作用,其中以 PP 类抑制剂和 EBI 类抑制剂为最佳:50%咯菌腈作用于香港间坐壳菌,其 EC_{50} 值仅为 $0.80 \times 10^{-7} \mu\text{g/mL}$;而 43%戊唑醇对藤仓镰刀菌的抑制效果最佳, EC_{50} 值为 $0.0945 \mu\text{g/mL}$ 。不同的杀菌剂对这 2 株致病菌的生长具有不同的抑制作用,推测可能是由于不同致病菌的生物学特性不同,例如其细胞壁结构、代谢途径及毒性因子等均可能造成对不同杀菌剂的敏感性不同。其次,不同杀菌剂的化学结构和作用机制也可能在一定程度上决定了对不同病菌的影响有差异的结果。另外,致病菌对环境、抗菌剂剂量及处理时间的适应性也会不同,从而导致不同的响应效果,某些菌种可能需要较高剂量或时间的暴露才能被有效抑制,其具体原因还有待进一步研究证实。

4 结论

尽管采前喷施 SA 和 SNP 可以维护果实品质,但对病原菌的体外抑制效果有限。相反地,使用杀菌剂能有效抑制玛瑙红樱桃间坐壳菌和镰刀菌的生长。毒力测试结果显示,50%咯菌腈对香港间坐壳菌的抑制效果最佳, EC_{50} 值仅为 $0.80 \times 10^{-7} \mu\text{g/mL}$;而 43%戊唑醇对藤仓镰刀菌的抑制效果最佳, EC_{50} 值为 $0.0945 \mu\text{g/mL}$,有助于防控这 2 种致病真菌引起的微生物侵染。因此,结合药剂喷施与水杨酸和一氧化氮的应用,可为玛瑙红樱桃的防腐保鲜及产业发展提供一定的理论依据。

REFERENCES

- [1] 田竹希,龙明秀,李咏富,何扬波,梁倩,石彬,罗其琪.玛瑙红樱桃果实不同发育阶段香气成分分析[J].食品工业科技,2022,43(7): 333-342.
TIAN ZX, LONG MX, LI YF, HE YB, LIANG Q, SHI B, LUO QQ. Study on aroma constituents of Manaohong cherry cultivar at different development stages[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 333-342 (in Chinese).
- [2] 王云香,李文生,常虹,周家华,王宝刚.高浓度 CO_2 处理对樱桃果实贮藏品质的影响[J].北方园艺,2021(12): 101-110.
WANG YX, LI WS, CHANG H, ZHOU JH, WANG BG. Effects of high CO_2 treatment on sweet cherry fruit quality during storage[J]. Northern Horticulture, 2021(12): 101-110 (in Chinese).
- [3] 罗钰清,鲁静芳,周丕东,高鹤淇.从产业扶贫到产业兴旺的特色产业发展策略研究:以纳雍县“玛瑙红”樱桃产业为例[J].热带农业科技,2022,45(3): 43-48.
LUO YQ, LU JF, ZHOU PD, GAO HQ. The challenges and opportunities of specialty industry from national poverty alleviation to thriving business under the background of rural revitalization: a case of Manaohong cherry in Nayong County[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2022, 45(3): 43-48 (in Chinese).
- [4] 孙晶.大樱桃高产优质栽培技术及病虫害防治探究[J].农村实用技术,2020(3): 31.
SUN J. Study on high-yield and high-quality cultivation techniques and pest control of big cherry[J]. Rural Practical Technology, 2020(3): 31 (in Chinese).
- [5] 周悦妍,张玮,李兴红,冀树嫻,韩昌坪,燕继晔.引起我国甜樱桃叶斑病的间座壳菌种类鉴定[J].植物保护学报,2022,49(4): 1077-1084.
ZHOU YY, ZHANG W, LI XH, JI SX, HAN CP, YAN JY. Identification of *Diaporthe* species associated with cherry leaf spot in China[J]. Journal of Plant Protection,

- 2022, 49(4): 1077-1084 (in Chinese).
- [6] 盘柳依. 樱桃对黑斑病菌(*Alternaria alternata*)侵染的应答机制及抗性相关基因筛选[D]. 杨凌: 西北农林科技大学博士学位论文, 2023.
PAN LY. The response mechanism of cherry to black spot disease (*Alternaria alternata*) infection and resistance-related genes screening[D]. Yangling: Doctoral Dissertation of Northwest A&F University, 2023 (in Chinese).
- [7] 王磊. 青海省樱桃叶斑病杨柳炭疽菌的发生动态、品种抗病性及室内防治药剂筛选[D]. 西宁: 青海大学硕士学位论文, 2022.
WANG L. Occurrence dynamics, variety resistance and screening of indoor control chemicals of *Colletotrichum salicis* of cherry leaf spot in Qinghai Province[D]. Xining: Master's Thesis of Qinghai University, 2022 (in Chinese).
- [8] 焦明镜. 纳他霉素对甜樱桃砖红镰刀菌的抑制作用及机理研究[D]. 济南: 山东师范大学硕士学位论文, 2022.
JIAO MJ. Antifungal activity and mechanism of natamycin against *Fusarium lateritium* on the sweet cherry[D]. Jinan: Master's Thesis of Shandong Normal University, 2022 (in Chinese).
- [9] 张亚男, 王印宝, 陈秀, 罗震宇, 向妙莲, 陈明. 不同杀菌剂对柑橘果实采后炭疽病菌室内毒力测定[J]. 生物灾害科学, 2021, 44(2): 150-152.
ZHANG YN, WANG YB, CHEN X, LUO ZY, XIANG ML, CHEN M. Toxicity tests of different fungicides against *Colletotrichum gloeosporioides* of postharvest *Citrus* fruits[J]. Biological Disaster Science, 2021, 44(2): 150-152 (in Chinese).
- [10] 高立强, 李贤成, 杨家荣. 新疆苹果黑星病菌野生型菌株对腈菌唑的敏感性基线[J]. 菌物学报, 2021, 40(3): 547-556.
GAO LQ, LI XC, YANG JR. Baseline sensitivities of apple scab (*Venturia inaequalis*) to myclobutanil in Xinjiang, northwestern China[J]. Mycosystema, 2021, 40(3): 547-556 (in Chinese).
- [11] 沐杨. 大樱桃灰霉病防治药剂筛选与应用[J]. 中国果业信息, 2023, 40(7): 53.
MU Y. Screening and application of insecticides to control gray mold of big cherry[J]. China Fruit News, 2023, 40(7): 53 (in Chinese).
- [12] 姜莉莉, 田中一久, 孙瑞红, 宫庆涛, 武冲. 草莓灰霉病原菌的分离鉴定及室内毒力测定[J]. 山东农业科学, 2021, 53(8): 102-106.
JIANG LL, Tanaka Kazuhisa, SUN RH, GONG QT, WU C. Isolation and identification of strawberry grey mould pathogen and indoor toxicity measurement[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2021, 53(8): 102-106 (in Chinese).
- [13] 刘刚, 田翠翠, 吕爱芹, 吴桂秋, 陈文英, 李美荣. 四氟醚唑在我国的登记应用进展[J]. 天津农业科学, 2021, 27(4): 68-71.
LIU G, TIAN CC, LÜ AQ, WU GQ, CHEN WY, LI MR. Progress in registration and application of tetrafluoroetherazole in China[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2021, 27(4): 68-71 (in Chinese).
- [14] 王华, 李鹏. 不同杀菌剂对苹果黑星病菌的毒力测定[J]. 现代农药, 2022, 21(6): 55-57.
WANG H, LI P. Toxicity test of different fungicides to *Venturia inaequalis*[J]. Modern Agrochemicals, 2022, 21(6): 55-57 (in Chinese).
- [15] 朱振家, 杨瑞, 秦宝, 薛书浩, 曾钰婷. 3种诱导剂单独和联合使用对草莓灰霉病防治效果比较[J]. 生物化工, 2020, 6(6): 72-74.
ZHU ZJ, YANG R, QIN B, XUE SH, ZENG YT. Comparison of control effect of several inducers alone or in combination on strawberry *Botrytis cinerea*[J]. Biological Chemical Engineering, 2020, 6(6): 72-74 (in Chinese).
- [16] FLORENCIO-ANASTASIO JG, de JESÚS GARCÍA-ÁVILA C, ALARCÓN A, FERRERA-CERRATO R, QUEZADA-SALINAS A, ALMARAZ-SUÁREZ JJ, MORENO-VELÁZQUEZ M, HERNÁNDEZ-RAMOS L. Effectiveness of antagonistic bacteria, commercial fungicides, and fourth generation quaternary ammonium salts, against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race "1 or 2"[J]. European Journal of Plant Pathology, 2022, 163(3): 719-731.
- [17] 刘萍, 何建军, 阳廷密, 丁萍, 唐艳, 邓崇岭. 6种常见杀菌剂用于沙糖桔采后保鲜的效果及其残留[J]. 中国南方果树, 2019, 48(6): 7-11.
LIU P, HE JJ, YANG TM, DING P, TANG Y, DENG CL. Effect of six fungicides for postharvest fresh keeping of shatangju fruits and their residual[J]. South China Fruits, 2019, 48(6): 7-11 (in Chinese).
- [18] 刘晓琳, 于晓丽, 王群青, 田园园, 王丽丽, 王培松, 王英姿. 18种化学杀菌剂对樱桃茎腐病菌的室内毒力测定[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(19): 106-110.
LIU XL, YU XL, WANG QQ, TIAN YY, WANG LL, WANG PS, WANG YZ. Laboratory toxicity test of 18 chemical fungicides to cherry stem rot pathogen[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(19): 106-110 (in Chinese).
- [19] 弓德强, 胡美姣, 高兆银, 李敏, 陈千付, 黄慧俐, 杨谨瑛, 黄台明, 朱世江. 采前水杨酸处理对芒果保鲜效果及其相关机理研究[J]. 中国果树, 2021(7): 56-61.
GONG DQ, HU MJ, GAO ZY, LI M, CHEN QF, HUANG HL, YANG JY, HUANG TM, ZHU SJ. Effect of preharvest salicylic acid treatment on mango preservation and its mechanism[J]. China Fruits, 2021(7): 56-61 (in Chinese).
- [20] KAYA C, ASHRAF M, ALYEMENI MN, AHMAD P. The role of endogenous nitric oxide in salicylic acid-induced up-regulation of ascorbate-glutathione cycle involved in salinity tolerance of pepper (*Capsicum annuum* L.) plants[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2020, 147: 10-20.
- [21] KONG J, ZHANG Y, JU J, XIE YF, GUO YH, CHENG YL, QIAN H, QUEK SY, YAO WR. Antifungal effects of thymol and salicylic acid on cell membrane and mitochondria of *Rhizopus stolonifer* and their application in postharvest preservation of tomatoes[J]. Food Chemistry, 2019, 285: 380-388.
- [22] 张瑜瑜, 陈泽斌, 用成健, 刘佳妮, 姚丽媛, 华金珠, 范志伟. 外源水杨酸处理对蓝莓采后生理及贮藏品质的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35(1): 168-175.
ZHANG YY, CHEN ZB, YONG CJ, LIU JN, YAO LY, HUA JZ, FAN ZW. Effects of exogenous SA treatment on postharvest physiology and storage quality of blueberries[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(1): 168-175 (in Chinese).
- [23] 孙钧政, 李美玲, 唐金艳, 明艳林, 林河通, 陈艺晖.

- 水杨酸诱导果实采后抗病性机制研究进展[J]. 亚热带植物科学, 2021, 50(5): 413-420.
- SUN JZ, LI ML, TANG JY, MING YL, LIN HT, CHEN YH. Research progress on mechanisms of harvested fruit disease resistance induced by salicylic acid[J]. Subtropical Plant Science, 2021, 50(5): 413-420 (in Chinese).
- [24] GU ST, XU DY, ZHOU FH, FENG K, CHEN C, JIANG AL. Repairing ability and mechanism of methyl jasmonate and salicylic acid on mechanically damaged sweet cherries[J]. Scientia Horticulturae, 2022, 292: 110567.
- [25] 何庆, 郑素慧, 秦南南, 刘雪艳, 关军锋, 吴斌, 于永春. 采前喷施水杨酸对红地球葡萄采后果实软化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4): 16-23.
- HE Q, ZHENG SH, QIN NN, LIU XY, GUAN JF, WU B, YU YC. Effect of spraying salicylic acid to pre-harvest fruit on softening of postharvest *Vitis vinifera* L. cv. red globe[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4): 16-23 (in Chinese).
- [26] 刘慧, 吕真真, 杨文博, 张强, 刘杰超, 陈大磊, 焦中高. 采后硝普钠处理对桃果实贮藏品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 374-381.
- LIU H, LÜ ZZ, YANG WB, ZHANG Q, LIU JC, CHEN DL, JIAO ZG. Effects of postharvest sodium nitroprusside application on qualities and antioxidant activities of peach fruits during cold storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(19): 374-381 (in Chinese).
- [27] 何俊瑜, 顾津羽, 胡春梅, 宋雅萍, 田丹, 肖桂云, 任艳芳. 水杨酸与硝普钠对采后芒果果实炭疽病抗性和苯丙烷代谢的协同诱导效应[J]. 食品科学, 2022, 43(3): 178-186.
- HE JY, GU JY, HU CM, SONG YP, TIAN D, XIAO GY, REN YF. Synergistic effect of combined salicylic acid and nitric oxide in anthracnose resistance and phenylpropanoid metabolism in mango fruit[J]. Food Science, 2022, 43(3): 178-186 (in Chinese).
- [28] 王斌, 姜红, 韩占红, 郑晓渊, 李志程, 毕阳. 采前硝普钠喷洒增强厚皮甜瓜果实的采后抗病性[J]. 果树学报, 2019, 36(11): 1558-1565.
- WANG B, JIANG H, HAN ZH, ZHENG XY, LI ZC, BI Y. Pre-harvest sodium nitroprusside sprays enhance resistance against diseases in harvested muskmelons[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(11): 1558-1565 (in Chinese).
- [29] 石玲, 吴斌, 敬媛媛, 李亚玲, 李玲, 何欢, 廖海慧, 朱璇. 一氧化氮熏蒸处理对甜瓜采后细胞壁代谢及黑斑病控制的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(23): 239-245.
- SHI L, WU B, JING YY, LI YL, LI L, HE H, LIAO HH, ZHU X. Effects of nitric oxide fumigation on cell wall metabolism and black spot control of postharvest melon[J]. Food Science, 2019, 40(23): 239-245 (in Chinese).
- [30] ZHANG N, JI N, LIU RC, WANG R, CHEN CK, MA C, NIE HL, LEI JQ, TAO QY. Effects of pre-harvest spraying with salicylic acid (SA) and sodium nitroprusside (SNP) on storage quality and pathogenic fungal species in 'Manahong' cherries[J]. Agronomy, 2023, 13(12): 2853.
- [31] 开凯, 毕婉玲, 张卫, 花晨艳, 张丹凤. 番茄酸腐病病原菌分离鉴定和抑菌剂抑制效果[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2021, 44(7): 987-992.
- KAI K, BI WL, ZHANG W, HUA CY, ZHANG DF. Isolation and identification of tomato sour rot pathogens and control effect of bacteriostatic agents[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2021, 44(7): 987-992 (in Chinese).
- [32] 王月霞, 石爱, 韩世明, 杨寒丽. 草莓叶斑病真菌性病原菌的分离与鉴定[J]. 农业技术与装备, 2024(7): 201-204.
- WANG YX, SHI A, HAN SM, YANG HL. Isolation and identification of fungal pathogens from *Xanthomonas fragarice* strawberry leaves[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2024(7): 201-204 (in Chinese).
- [33] 罗冬兰, 雷霖卿, 曹森, 瞿光凡, 朱婷, 陈建业, 范中奇, 巴良杰. 火龙果采后病原菌的分离鉴定及丁香酚抑菌研究[J]. 中国果树, 2022(8): 23-27, 2.
- LUO DL, LEI JQ, CAO S, QU GF, ZHU T, CHEN JY, FAN ZQ, BA LJ. Isolation and identification of postharvest pathogens of pitaya fruit and antifungal effect of eugenol[J]. China Fruits, 2022(8): 23-27, 2 (in Chinese).
- [34] 刘建军, 黄世锋, 代文婷, 翟丹丹, 宗凯. 基于ITS序列构建系统发育树鉴定市售黄芪饮片基源的研究[J]. 中国医院用药评价与分析, 2020, 20(2): 154-157.
- LIU JJ, HUANG SF, DAI WT, ZHAI DD, ZONG K. Original identification of commercial slices of astragali *Radix* by construction of phylogenetic trees based on ITS sequences[J]. Evaluation and Analysis of Drug-Use in Hospitals of China, 2020, 20(2): 154-157 (in Chinese).
- [35] 张秀伟, 张鹏, 李用奇. 金刺梨黑斑病病原菌的分离及鉴定[J]. 中国南方果树, 2019, 48(2): 106-109.
- ZHANG XW, ZHANG P, LI YQ. Isolation and identification of pathogen of *Rosa roxburghii* black spot[J]. South China Fruits, 2019, 48(2): 106-109 (in Chinese).
- [36] 张继, 唐文忠, 唐爱华, 郑元涛, 胡耿彪, 尧金燕. 7种杀菌剂对无花果炭疽病的室内毒力及田间防效[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(15): 152-156.
- ZHANG J, TANG WZ, TANG AH, ZHENG YT, HU GB, YAO JY. Toxicity test and field efficacy of seven fungicides against *Colletotrichum gloeosporioides*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2024, 52(15): 152-156 (in Chinese).
- [37] 安星宇, 李海, 黄露, 李淳, 吴石平. 织金县玛瑙红樱桃褐腐病病原菌的鉴定[J]. 农业与技术, 2021, 41(15): 34-37.
- AN XY, LI H, HUANG L, LI C, WU SP. Identification of pathogen of brown rot of agate red cherry peach in Zhijin county[J]. Agriculture and Technology, 2021, 41(15): 34-37 (in Chinese).
- [38] 高振峰, 冯志宏, 赵佳. 红灯樱桃采后主要病原真菌的鉴定及 *Bacillus velezensis* G-1 天然产物的广谱抑菌效果[J]. 果树学报, 2021, 38(10): 1778-1789.
- GAO ZF, FENG ZH, ZHAO J. Identification of main postharvest pathogenic fungi in Hongdeng cherry and the anti-fungal spectrum of *Bacillus velezensis* G-1 natural product[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(10): 1778-1789 (in Chinese).
- [39] 刘向国. 几种杀菌剂对柑橘炭疽病的田间药效试验[J]. 广西植保, 2021, 34(4): 21-24.
- LIU XG. Field efficacy test of several fungicides

- against citrus anthracnose[J]. Guangxi Plant Protection, 2021, 34(4): 21-24 (in Chinese).
- [40] 施心成, 李涛, 张传清. 山核桃干腐病菌对甲基硫菌灵等 4 种杀菌剂的抗性[J]. 农药学报, 2023, 25(6): 1288-1294.
- SHI XC, LI T, ZHANG CQ. Resistance of *Botryosphaeria dothidea* causing hickory tree canker to four fungicides including thiophanate-methyl[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2023, 25(6): 1288-1294 (in Chinese).
- [41] 李鹏飞. 重庆市草莓灰霉病菌抗药性监测及抗药性机理研究[D]. 重庆: 西南大学硕士学位论文, 2023.
- LI PF. Study on fungicide resistance monitoring and resistance mechanism of strawberry *Botrytis cinerea* in Chongqing[D]. Chongqing: Master's Thesis of Southwest University, 2023 (in Chinese).
- [42] 吴玉星, 王亚娇, 韩森, 栗秋生, 孔令晓. 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与杀菌剂混用防治小麦白粉病的农药减施技术研究[J]. 植物保护, 2023, 49(3): 292-297, 316.
- WU YX, WANG YJ, HAN S, LI QS, KONG LX. Application of oligosaccharins-plant activator protein 6% WP mixed with chemical fungicide to control wheat powdery mildew for the purpose of reducing the pesticide load[J]. Plant Protection, 2023, 49(3): 292-297, 316 (in Chinese).
- [43] 张思杰. 两种 QoI 类杀菌剂啞菌酯和吡唑醚菌酯对稻曲病菌的生物活性研究[D]. 扬州: 扬州大学硕士学位论文, 2023.
- ZHANG SJ. Research on biological activities of two QoI fungicides azoxystrobin and pyraclostrobin against *Ustilaginoidea virens*[D]. Yangzhou: Master's Thesis of Yangzhou University, 2023 (in Chinese).
- [44] 苏欣. 咯菌腈对指状青霉菌和意大利青霉菌的抑制作用研究[D]. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 2023.
- SU X. Inhibitory effects of fludioxonil on *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*[D]. Wuhan: Master's Thesis of Huazhong Agricultural University, 2023 (in Chinese).
- [45] 刘凤华, 马迪成, 张晓敏, 李金, 刘峰, 慕卫. 植物病原真菌对甾醇脱甲基抑制剂类杀菌剂抗性分子机制研究进展[J]. 农药学报, 2022, 24(3): 452-464.
- LIU FH, MA DC, ZHANG XM, LI J, LIU F, MU W. Research progress on molecular resistance mechanism of plant pathogenic fungi to sterol demethylase inhibitors[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2022, 24(3): 452-464 (in Chinese).