

鱼腥草丁香普鲁兰多糖复配保鲜剂对柑橘青霉病及贮藏品质的影响

黄娇丽^{1,2}, 刘嘉欣¹, 易有金^{1*}, 刘汝宽^{3*}, 朱树清⁴, 邓后勤¹

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410000) (2. 百色学院农业与食品工程学院, 广西百色 533000)

(3. 湖南省林业科学院省部共建木本油料资源利用国家重点实验室, 湖南长沙 410000)

(4. 汝城县繁华食品有限公司, 湖南郴州 424100)

摘要: 为开发新型安全的植物源柑橘保鲜剂, 对 5 种中草药水提液进行抑菌试验, 筛选出对柑橘青霉菌有较好抑制作用的中草药, 并探讨鱼腥草丁香普鲁兰多糖复配保鲜剂对柑橘采后青霉菌抑制效果。丁香和鱼腥草水提液对柑橘青霉菌有较好抑制作用, 抑菌率分别为 73.45% 和 49.85%, 对柑橘青霉菌的 MIC 分别为 0.60 mg/mL 和 1.20 mg/mL, 丁香和鱼腥草混合水提液抑制毒性较单一水提液的高, EC₅₀ 为 0.36 mg/mL。复配保鲜剂可有效抑制柑橘的发病率, 在柑橘贮藏第 9 d, 比对照组 CK 发病率降低 16.67% ($p < 0.05$), 但对失重率抑制效果不显著 ($p > 0.05$)。复配保鲜剂组有效延缓了果实可溶性固形物含量和可滴定酸度含量的增加, 维持了较稳定的抗坏血酸含量, 抑制了柑橘的呼吸强度。总之, 丁香和鱼腥草水提液能有效抑制柑橘青霉菌菌丝体生长和孢子萌发, 鱼腥草丁香普鲁兰多糖复配保鲜剂能提高柑橘对柑橘青霉病的抗性, 该研究为开发新型安全的植物源柑橘保鲜剂提供理论支持。

关键词: 鱼腥草; 丁香; 柑橘; 普鲁兰多糖; 柑橘青霉菌; 采后保鲜

文章编号: 1673-9078(2021)12-120-126

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.12.0414

Effect of *Houttuynia cordata* and *Syzygium aromaticum* and Pullulan Polysaccharide Compound Preservative on *Penicillium italicum* and Storage Quality of *Citrus reticulata*

HUANG Jiaoli^{1,2}, LIU Jiabin¹, YI Youjin^{1*}, LIU Rukuan^{3*}, ZHU Shuqing⁴, DENG Houqin¹

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410000, China)

(2. College of Agriculture and Food Engineering, Baise University, Baise 533000, China)

(3. State Key Laboratory of Utilization of Woody Oil Resource, Hunan Academy of Forestry, Changsha 410000, China)

(4. Rucheng Fanhua Food Co. Ltd., Chenzhou 424100, China)

Abstract: In order to develop a new plant-resource *Citrus reticulata* preservative, the inhibitory effects of water extracts from five plants were evaluated by antibacterial test, and the inhibition effects of *Houttuynia cordata* and *Syzygium aromaticum* and pullulan polysaccharide

引文格式:

黄娇丽, 刘嘉欣, 易有金, 等. 鱼腥草丁香普鲁兰多糖复配保鲜剂对柑橘青霉病及贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2021, 37(12): 120-126, +135

HUANG Jiaoli, LIU Jiabin, YI Youjin, et al. Effect of *Houttuynia cordata* and *Syzygium aromaticum* and Pullulan polysaccharide compound preservative on *Penicillium italicum* and storage quality of *Citrus reticulata* [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 120-126, +135

收稿日期: 2021-01-14

基金项目: 长株潭国家自主创新示范区专项 (2018XK2006-2); 湖南农业大学第三批重大科研项目 (创新团队培育工程 2019); 湖南农业大学“双一流”学科建设项目 (SYL2019061); 长沙市科技计划项目 (kq1901035); 湖南省科技创新领军人才 (2020RC4026)

作者简介: 黄娇丽 (1988-), 女, 博士研究生, 研究方向: 果蔬贮藏与加工, E-mail: 512505524@qq.com; 刘嘉欣 (1996-), 女, 本科, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: 1041847983@qq.com

通讯作者: 易有金 (1968-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 微生物资源开发与利用, E-mail: yiyoujin@163.com; 刘汝宽 (1981-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 木本油料功能脂质, E-mail: liurukuan@gmail.com

composite on *Penicillium italicum* after harvest were studied. The results showed that the *Syzygium aromaticum* and *Houttuynia cordata* water extracts had better inhibitory effect on *Penicillium italicum*, the inhibition ratios were 73.45% and 49.85% respectively, and the MIC were 0.60 mg/mL and 1.20 mg/mL respectively. The mixed *Syzygium aromaticum* and *Houttuynia cordata* water extracts had higher inhibitory toxicity than that of single water extracts, and the EC_{50} was 0.36 mg/mL. The decay rate of the compound preservative was 16.67% lower than that of CK group ($p < 0.05$), but the inhibition effect on weight loss rate was not significant ($p > 0.05$) after 9 days storage. The compound preservative could effectively delayed the increase of soluble solid content and titratable acidity content, maintained stable ascorbic acid content and inhibited the respiration intensity. The experimental results indicated that *Syzygium aromaticum* and *Houttuynia cordata* water extracts could inhibit spore germination and mycelial growth in *Penicillium italicum*; the compound preservative of *Houttuynia cordata* and *Syzygium aromaticum* and pullulan polysaccharide could improve the resistance of *Penicillium italicum* of *Citrus reticulata*. This study provides theoretical support for the development of new safe preservative of *Citrus reticulata*.

Key words: *Houttuynia cordata*; *Syzygium aromaticum*; *Citrus reticulata*; pullulan polysaccharide; *Penicillium italicum*; postharvest fresh-keeping

柑橘为芸香科柑橘亚科柑橘属植物^[1], 柑橘是世界上最重要的农作物之一, 全球产量超过 1.4×10^9 t。我国是柑橘主产国, 柑橘产地主要集中在南方亚热带地区, 柑橘的栽培面积与年产量均居世界首位^[2]。柑橘属非呼吸跃变型果实, 成熟后采收, 采摘期集中, 在贮运中易受真菌浸染而腐烂, 造成严重的经济损失, 阻碍柑橘产业的发展。柑橘青霉病是柑橘果实采后危害最大的病害^[3-4]。目前, 柑橘采后保鲜多以化学防腐保鲜剂处理为主^[5-6]。其中, 抑霉唑、咪鲜胺等化学防腐保鲜剂虽能适当抑制柑橘青霉病的扩散, 但易使柑橘青霉菌产生抗药性, 且化学试剂多有毒性和化学残留, 对消费者健康带来安全隐患^[7]。因此, 选择低毒低污染、非化学的、抗药性程度低的植物源活性保鲜剂已成为国内外研究的热点^[8]。

植物提取物主要来源为药用植物或香料植物, 已有研究其对柑橘采后保鲜效果良好^[9-10]。不同植物水提取物或有机溶剂提取物因其含有次生代谢产物, 可以抑制柑橘的腐烂, 其有效活性成分主要包括酚、醌、醛、生物碱与萜类等^[11-12]。植物源保鲜剂较化学防腐保鲜剂更安全, 但单一的提取物抑菌范围窄, 效果一般, 植物提取物之间复配或与多糖、淀粉等复配成可食性涂膜应用于果蔬保鲜, 更有利于果实品质的保持。

以可食性涂膜剂为成膜基质, 植物提取物为抑菌剂, 实现优势互补制备植物提取物复合涂膜剂已成为果蔬保鲜领域研究热点。本文主要以鱼腥草、广藿香、丁香、厚朴、蛇床子 5 种中草药作为试验材料, 通过平板抑菌试验初步筛选出对柑橘青霉菌抑菌效果较好的中草药, 并测定其最小抑菌浓度 (minimum inhibitory concentration, MIC), 研究鱼腥草丁香普鲁兰多糖复配保鲜剂对柑橘的保鲜效果, 旨在为寻找安全、高效的植物源柑橘保鲜剂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鱼腥草、广藿香、丁香、厚朴、蛇床子, 购于湖南农业大学千金大药房; 柑橘, 于长沙当地果园采摘; 咪鲜胺, 江苏剑牌农化股份有限公司。

柑橘青霉菌 (*Penicillium italicum*), 由湖南农业大学食品科学技术学院微生物实验室提供。

1.2 仪器与设备

智能人工气候箱 (GZ-400-GSII), 韶关市广智科技设备有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 柑橘青霉菌致病性检测

菌种活化: 将湖南农业大学食品科学技术学院微生物实验室提供的柑橘青霉菌接种至 PDA 培养基中, 置于 28 ± 1 °C 培养箱中培养, 经活化后备用。

柑橘青霉菌孢子悬浮液的制备: 将柑橘青霉菌菌丝接种于 PDA 培养基上, 28 ± 1 °C 培养 7 d, 加入 10 mL 带有玻璃珠 PDB 培养液, 洗下柑橘青霉菌孢子到无菌锥形瓶中, 摇匀, 使孢子悬浮液终浓度为 1×10^6 CFU/mL, 4 °C 保存备用。

挑选无病害无创伤的柑橘果实为试材, 用无菌针头在柑橘赤道部位刺两个 2 mm 深, 2 mm 宽的伤口, 每个伤口接种 $10 \mu\text{L}$ 终浓度 1×10^6 CFU/mL 的孢子悬浮液, 将柑橘置于保鲜袋内, 28 ± 1 °C 条件下贮藏。处理 30 个果实, 逐日观察发病状态。

1.3.2 不同中草药水提液抑菌率测定

中草药水提液制备^[13]: 分别将丁香、厚朴、鱼腥草、广藿香、蛇床子 5 种中草药进行粉碎, 过 40 目筛,

称取 120 g 于 1000 mL 烧杯中, 加入 500 mL 无菌水, 先 100 °C 煮沸 10 min, 再 90 °C 熬制 15 min, 后 75 °C 水浴 120 min, 无菌纱布过滤取滤液, 10000 r/min、4 °C 离心 10 min, 取上清液, 将上清液浓缩至 80 mL, 定容至 100 mL。即得浓度为 1.20 g/mL (中草药粉末质量与水提液定容体积比) 的中草药水提液, 4 °C 密封保存备用。按照植物源活性成分与培养基 1:9(0.84 mL 1.3.2 水提液+15 mL 培养基) 的比例, 将配制好的 5 种中草药水提液分别加入 PDA 培养基中配成带药培养基 (浓度为 0.60 mg/mL), 混匀, 倒入培养皿, 静置凝固。将分离纯化的柑橘青霉菌进行活化。采用菌丝生长速率法^[14], 从柑橘青霉菌菌落边缘上取直径 5 mm 的菌块置于平板中央, 带菌丝的一面向下, 以无菌水为空白对照, 每个处理重复 3 次, 28±1 °C 下培养 7 d。用十字交叉法测各组菌落直径并计算抑菌直径、抑菌率^[15]。

$$\text{抑菌直径(mm)} = \text{对照组菌落直径(mm)} - \text{处理组菌落直径(mm)} \quad (1)$$

$$\text{抑菌率/\%} = \frac{\text{对照组菌落直径} - \text{处理组菌落直径}}{\text{对照组菌落直径}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.3 不同中草药水提液 MIC 测定

采用二倍稀释法^[16], 根据 1.3.2 中 5 种中草药水提液对柑橘青霉菌抑菌效果, 筛选出抑菌效果较好的中草药水提液进行梯度稀释(1.20、0.60、0.30、0.15 g/mL), 并按 1.3.2 方法制成带药培养基, 将柑橘青霉菌接种于各带药培养基中心, 28±1 °C 培养 48 h, 以无菌生长的培养皿的含药浓度为 MIC。每个处理重复 3 次。

1.3.4 不同中草药水提液对柑橘青霉菌孢子萌发的影响

根据 1.3.2 试验结果筛选出的抑菌效果较好的中草药水提液, 采用二倍稀释法将中草药水提液分别稀释成五个浓度(1.20、0.60、0.30、0.15、0.075 mg/mL)。取 50 μL 终浓度 1×10⁶ CFU/mL 孢子悬浮液与 50 μL 上述不同浓度中草药水提液分别混匀于凹玻片上(鱼腥草丁香复合体积比例为 1:1, 总中药水提液体积为 50 μL), 28±1 °C 保湿培养 24 h。无菌水为空白对照组, 每个处理重复 3 次。观察孢子萌发, 计算孢子萌发抑制率^[17], 将孢子萌发抑制率换算成机率值(y), 将中草药水提液浓度换算成对数值(x), 根据机率值和对数值用回归法得到毒力回归方程(y=ax+b), 最终求得 EC₅₀ 和 EC₉₀。孢子萌发抑制率计算方法如下:

$$\text{孢子萌发抑制率/\%} = \frac{\text{镜检孢子数} - \text{孢子萌发数}}{\text{镜检孢子数}} \times 100\% \quad (3)$$

1.3.5 鱼腥草丁香普鲁兰多糖复配保鲜剂制备

称取 7.5 g 普鲁兰多糖粉末于 1000 mL 烧杯中,

加 450 mL 无菌水, 65 °C 水浴 1 h, 充分搅拌溶解。待其完全溶解后, 分别加入 1.00 mL 鱼腥草水提液和 0.50 mL 丁香水提液, 搅拌均匀后定容至 500 mL 备用, 即得鱼腥草丁香普鲁兰多糖复配保鲜剂(1.20 mg/mL 鱼腥草+0.60 mg/mL 丁香+1.5%普鲁兰多糖)。

1.3.6 复配保鲜剂对柑橘采后青霉菌抑制作用研究

柑橘果实用体积分数 75%乙醇擦洗后, 无菌水冲洗, 待果实表面水分自然风干后, 用直径 2 mm 无菌针头在各组柑橘赤道表面刺两个 2 mm 深、2 mm 宽伤口, 以先于无菌水中浸泡 1 min 后于伤口接种 10 μL 青霉孢子悬浮液为阴性对照组 CK, 以先于 0.225 g/L 咪鲜胺溶液中浸泡 1 min 后于伤口接种 10 μL 青霉孢子悬浮液为阳性对照组, 以先于鱼腥草丁香普鲁兰多糖复配保鲜剂中浸泡 1 min 后于伤口接种 10 μL 青霉孢子悬浮液为保鲜剂组, 接种后置于 28±1 °C、相对湿度 75%条件下贮藏, 每隔 3 d 测定果肉各项指标, 每组 15 个果实, 3 组平行。

1.3.7 果实生理相关指标的测定

发病率测定方法: 采用计数法, 按照公式(4)计算果实发病率。

$$\text{发病率/\%} = \frac{\text{发病个数}}{\text{果实总数}} \times 100\% \quad (4)$$

失重率测定方法: 采用称重法, 按照公式(5)计算果实的失重率。

$$\text{失重率/\%} = \frac{\text{贮前果实质量} - \text{贮后果实质量}}{\text{贮前果实质量}} \times 100\% \quad (5)$$

参照曹建康^[18]的方法, 采用静置法测定呼吸强度, 手持折光仪测定可溶性固形物, 2,6-二氯酚靛酚法测定抗坏血酸含量, 氢氧化钠溶液滴定法测定可滴定酸含量。

1.4 数据处理

数据采用 Origin 2019 软件作图, 数据采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析, 采用 Duncan 多重比较进行显著性分析, $p < 0.05$ 表示组间差异显著。

2 结果与讨论

2.1 柑橘青霉菌致病力检测

柑橘贮藏 2 d, 开始有发病迹象, 柑橘创伤口表现水浸渍状, 出现白色霉层, 不整齐圆形生长, 粉末状; 贮藏 3 d 柑橘创伤口处中央开始出现青色的霉层, 呈不规则圆形扩展, 发病到全果腐烂需要 12 d, 有浓重青霉味。

表 1 不同中草药水提液对柑橘青霉菌的抑制作用 (浓度 0.60 mg/mL)

Table 1 Inhibition effect of *Penicillium italicum* in different herbal extracts (0.60 mg/mL)

抑菌指标	丁香	鱼腥草	广藿香	蛇床子	厚朴
抑菌直径/mm	24.52±1.01	16.28±0.92	3.12±0.23	1.20±0.13	6.34±0.39
抑菌率/%	73.45±3.01	49.85±2.81	8.85±0.65	2.01±0.22	19.38±1.19

注: n=3, 数据为均值±标准偏差 (Means±SD)。

表 2 丁香和鱼腥草水提液对柑橘青霉菌孢子萌发的抑制作用

Table 2 Inhibitory effect of *Syzygium aromaticum* and *Houttuynia cordata* extract on spore germination of *Penicillium italicum*

中草药水提液	毒力回归方程	相关系数	EC ₅₀ (95% FL, mg/mL)	95%置信区域	EC ₉₀ (95% FL, mg/mL)	95%置信区域
丁香	y=6.0270+2.4943x	0.9329	0.39(0.32~0.47)		1.26(1.05~1.51)	
鱼腥草	y=5.1416+2.1584x	0.9838	0.86(0.68~1.08)		3.36(2.67~4.24)	
鱼腥草丁香复合	y=6.5696+3.5629x	0.9875	0.36(0.31~0.42)		0.82(0.71~0.96)	

2.2 不同中草药水提液的抑菌活性筛选结果

2.2.1 不同中草药水提液抑菌作用

5 种中草药水提液对柑橘青霉菌有不同程度的抑菌活性 (如表 1)。其中丁香和鱼腥草对柑橘青霉菌的抑菌效果最佳, 平均抑菌圈直径分别达 24.52 mm 和 16.28 mm; 抑菌率分别为 73.45%和 49.85%。其次是厚朴, 抑菌圈直径为 6.34 mm, 抑菌率为 19.38%。而广藿香和蛇床子水提液处理对柑橘青霉菌的抑菌效果不佳。因此初步筛选出丁香和鱼腥草作为试验材料进行 MIC 测定。

2.2.2 鱼腥草和丁香水提液 MIC 测定

试验结果显示, 丁香水提液浓度大于或等于 0.60 mg/mL 时, 完全抑制柑橘青霉菌生长; 鱼腥草水提液浓度为 1.20 mg/mL 时, 几乎完全抑制柑橘青霉菌生长。因此丁香、鱼腥草水提液 MIC 分别为 0.60 mg/mL 和 1.20 mg/mL。

2.3 鱼腥草和丁香水提液对柑橘青霉菌孢子萌发影响

萌发影响

鱼腥草和丁香水提液对柑橘青霉菌孢子萌发的抑制作用见表 2 所示。在相同处理时间内, 柑橘青霉菌孢子对两种中草药提取液的敏感度不同。柑橘青霉菌孢子对丁香水提液的敏感性较鱼腥草水提液强, 丁香和鱼腥草两者水提液复合使用对青霉菌孢子萌发抑制效果最佳。丁香水提液主要成分可能是丁香酚, 丁香酚具有较强的抗真菌活性, 通过破坏菌体细胞壁和细胞膜, 改变细胞膜完整性和通透性, 干扰菌体生长代谢起抑菌的效果^[19]。天然化合物之间存在协同效应, 不同植物提取物复配比单一使用效果更佳^[20-21]。这种协同作用的机理可能是通过增强菌体细胞膜透性, 促进其他活性物质渗透入菌体, 增加有效浓度累积, 造

成细胞膜的破裂, 导致菌体死亡^[22]。综上所述, 丁香和鱼腥草水及其复合水提液在一定范围内能有效抑制柑橘青霉菌的孢子萌发。

2.4 鱼腥草丁香普鲁兰多糖复配保鲜剂对柑橘采后青霉菌抑制效果的影响

橘采后青霉菌抑制效果的影响

2.4.1 复配保鲜剂对柑橘失重率和发病率的影响

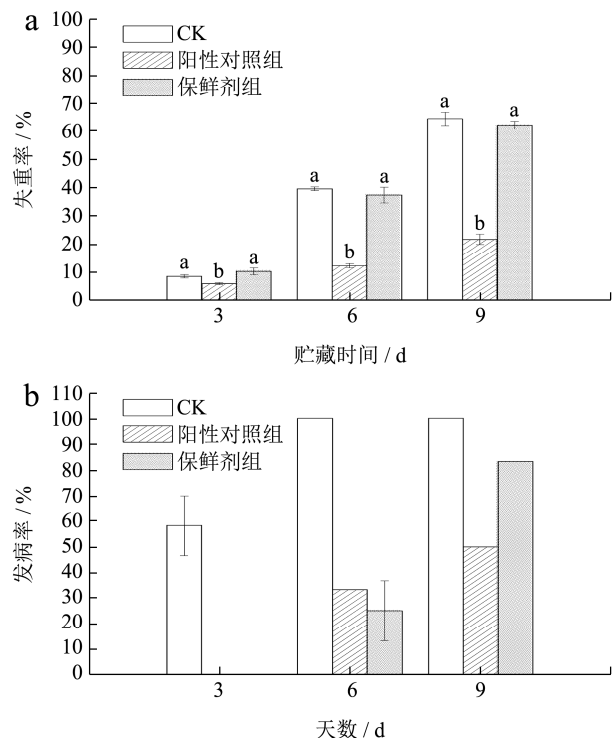


图 1 复配保鲜剂对柑橘失重率(a)和发病率(b)的影响

Fig.1 Effect of composite coating on weight loss rate (a) and incidence rate (b) in *Citrus reticulata*

由图 1a 所示, 当柑橘损伤接种青霉菌时, 在整个贮藏过程中, 所有处理组柑橘失重率随贮藏时间的延长而增加, 保鲜剂组与对照组 CK 的失重率无显著差

异 ($p>0.05$), 阳性对照组在整个贮藏过程中失重率最低, 且与其他处理组差异显著 ($p<0.05$)。果蔬在采收后由于蒸腾和呼吸过程往往会失水减重^[23], 而保鲜剂组处理的柑橘对阻止柑橘贮藏过程中的失重效果不明显, 该结果与 Hadar 等^[24]的研究结果类似, 可能是由于以多糖为基础的可食性涂层不能形成有效的水蒸气屏障^[25]。可见, 保鲜剂组处理的柑橘不能有效降低柑橘贮藏过程中的失重率。

由图 1b 所示, 贮藏至第 3 d, 对照组 (CK) 发病率分别达 58.34% 和 55.56%, 而阳性对照组和保鲜剂组均未发病; 当贮藏至第 6 d 时, 对照组发病率达 100%, 保鲜剂组和阳性对照组发病率无显著差异 ($p>0.05$), 分别为 25.00% 和 33.33%; 当贮藏至第 9 d 时, 保鲜剂组虽发病率为 83.33%, 但与 CK 相比, 发病率降低了 16.67%。与 CK 相比 (柑橘的发病率在贮藏第 3 d 出现), 保鲜剂组处理的柑橘果实发病率延迟到第 6 d。鱼腥草丁香普鲁兰多糖复合涂膜保鲜剂组能提高果实采后的抗病性, 控制青霉病的发病率。

综上所述, 保鲜剂处理组不能有效降低柑橘贮藏过程中的失重率, 但可有效抑制柑橘的发病率。

2.4.2 复配保鲜剂对柑橘营养品质的影响

由图 2a 所示, 总体上各处理组柑橘在整个贮藏过程中, 可溶性固形物含量呈上升趋势, 而保鲜剂组柑橘的可溶性固形物含量在各组中最低, 贮藏至第 6 d, 保鲜剂组可溶性固形物均显著低于其它各处理组 ($p<0.05$)。可能是由于感染柑橘青霉菌的果实开始腐烂, 果实细胞壁中的原果胶转化为可溶性糖^[26]。同时, 随着贮藏时间的延长, 果实中的水分逐渐散失, 导致可溶性固形物含量增加。保鲜剂组处理推迟了贮藏期间可溶性固形物含量的增加, 可能是由于延迟了果实成熟和衰老过程。

由图 2b 所示, 随着贮藏时间的延长, 各组柑橘果实的可滴定酸含量呈现上升趋势, 阳性对照组柑橘果实的可滴定酸含量始终最低。贮藏至第 6 和第 9 d, 保鲜剂组的可滴定酸含量显著低于 CK 组 ($p<0.05$)。可滴定酸主要是果实中的有机酸, 一般果实发育完成时可滴定酸含量最高, 随着果实的成熟与衰老, 其含量逐渐下降。而本实验中, 可滴定酸含量随着贮藏时间增加而上升, 原因可能是由于果实的呼吸作用和柑橘青霉菌分解作用而产酸导致^[27]。

由图 2c 所示, 在贮藏过程中, CK 组的 Vc 含量一直呈现上升趋势, 而保鲜剂组和阳性对照组的 Vc 含量呈现先上升后下降的趋势, 阳性对照组和保鲜剂组 Vc 含量在整个贮藏过程中的变化相对于 CK 组较小。Vc 是柑橘果实中重要的营养品质之一。在本实验

中, 柑橘经损伤接种青霉菌后贮藏, 随着贮藏时间的延长 Vc 含量逐渐上升, 原因可能是接种青霉菌后的柑橘, 在贮藏过程中, 果实发病腐烂, 破坏细胞壁的完整性, 从而导致细胞壁释放 D-半乳糖醛酸^[28], 促进 Vc 的合成, 从而呈现 Vc 含量上升的现象, 而保鲜剂处理组可以在柑橘贮藏过程中保持果实细胞壁的完整性, 从而影响 Vc 的合成。该结果与 Gao^[29]研究结果一致。因此可以推测鱼腥草丁香复配保鲜剂可抑制沙糖橘因青霉病引起的腐烂, 延缓其衰老, 延长果实保鲜期。

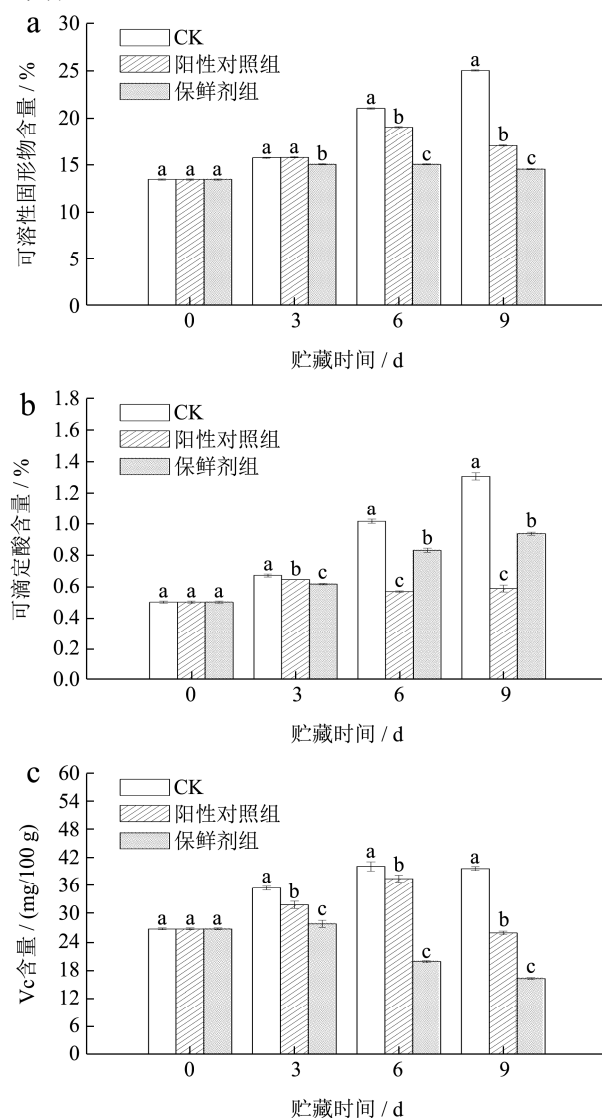


图 2 复配保鲜剂对柑橘营养品质的影响

Fig.2 Effect of composite coating on nutritional quality of *Citrus reticulata*

2.4.3 复配保鲜剂对柑橘呼吸强度的影响

由图 3 可知, 柑橘在贮藏 6 d 过程中, 各组果实的呼吸强度一直上升, 阳性对照组柑橘果实呼吸强度在整个贮藏过程中始终最低, 其次是保鲜剂组。贮藏至第 3 d 和第 6 d, 保鲜剂组柑橘果实呼吸强度显著低

于CK组 ($p < 0.05$), 贮藏至第6 d时, 保鲜剂柑橘果实的呼吸强度比CK组低46.54%。结果表明, 保鲜剂组较CK组可有效延缓果实呼吸强度的升高。柑橘果实在贮藏过程中呼吸强度上升, 原因可能是柑橘果实在损伤接种青霉菌后, 为抑制青霉菌的感染, 其果实组织通过加强呼吸来抵御伤害, 呼吸强度越高, 说明果实感染青霉菌的程度越深, 该结果与Aghdam^[30]研究结果基本相符。

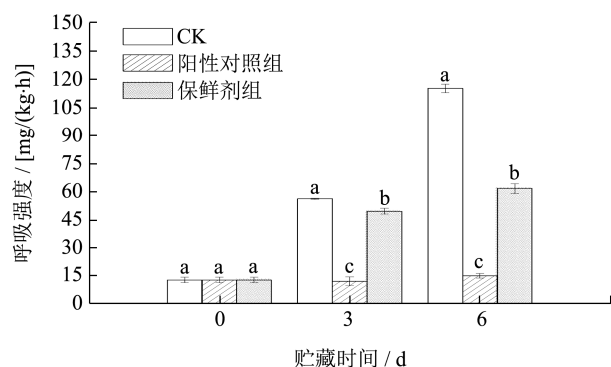


图3 复配保鲜剂对柑橘呼吸强度的影响

Fig.3 Effect of composite coating on respiration intensity in *Citrus reticulata*

3 结论

本实验研究了丁香、厚朴、鱼腥草、广藿香、蛇床子5种中草药水提液对柑橘青霉的抑菌活性。初步结果表明, 丁香和鱼腥草水提液对柑橘青霉菌菌丝生长表现较强的抑制活性, 同时可有效抑制柑橘青霉菌孢子的萌发。鱼腥草丁香普鲁兰多糖复合涂膜保鲜剂(1.20 mg/mL 鱼腥草+0.60 mg/mL 丁香+1.50%普鲁兰多糖)处理柑橘能提高果实采后的抗病性, 控制青霉病的发病率, 保持果实的营养品质, 延长果实保鲜期。

参考文献

- [1] 李世忠, 黄建国, 李治玲, 等. 柑橘皮渣降解菌的筛选及特性[J]. 食品科学, 2014, 35(23): 188-192
LI Shizhong, HUANG Jianguo, LI Zhiling, et al. Screening of two bacterial strains capable of degrading citrus pomace and their characteristics [J]. Food Science, 2014, 35(23): 188-192
- [2] 毛加梅, 付小猛, 王自然, 等. 我国柑橘园病虫害有机防控现状和展望[J]. 中国果树, 2018, 2: 44-47
MAO Jiamei, FU Xiaomeng, WANG Ziran, et al. Present state and perspectives of organic pest control in citrus orchards in China [J]. China Fruits, 2018, 2: 44-47
- [3] Konstantinos Papoutsis, Matthaios M Mathioudakis, Joaquín H Hasperué, et al. Non-chemical treatments for preventing

- the postharvest fungal rotting of citrus caused by *Penicillium digitatum* (green mold) and *Penicillium italicum* (blue mold) [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 86: 479-491
- [4] Kellerman M, Joubert J, Erasmus A, et al. The effect of temperature, exposure time and pH on imazalil residue loading and green mould control on citrus through dip application [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 121: 159-164
- [5] JING Jiayi, ZHANG Hongyan, XUE Yaobi, et al. Effects of INA on postharvest blue and green molds and anthracnose decay in citrus fruit [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(5): 1396-1406
- [6] Mareli Kellerman, Elbie Liebenberg, Ncumisa Njombolwana, et al. Postharvest dip, drench and wax coating application of pyrimethanil on citrus fruit: residue loading and green mould control [J]. Crop Protection, 2018, 103: 115-129
- [7] Nicolopoulou Stamati P, Maipas S, Kotampasi C, et al. Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture [J]. Frontiers in Public Health, 2016, 4: 148
- [8] Pangallo S, Li Destri Nicosia M G, Raphael G, et al. Elicitation of resistance responses in grapefruit and lemon fruits treated with a pomegranate peel extract [J]. Plant Pathology, 2017, 66(4): 633-640
- [9] Li Destri Nicosia M G, Pangallo S, Raphael G, et al. Control of postharvest fungal rots on citrus fruit and sweet cherries using a pomegranate peel extract [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 114: 54-61
- [10] 陈楚英, 韩舒睿, 周梦娇, 等. 凤仙透骨草提取液复合涂膜对“新余蜜橘”常温保鲜效果的影响[J]. 果树学报, 2014, 31(3): 468-476
CHEN Chuying, HAN Shurui, ZHOU Mengjiao, et al. Effect of edible compound coating enriched with aqueous extract of jewelweed stems on postharvest fruit quality and physiology of “Xinyu tangerine” under ambient temperature storage [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(3): 468-476
- [11] 包志碧, 陈仁伟, 刘旺景, 等. 植物提取物的防腐作用及其机理研究进展[J]. 饲料工业, 2018, 12: 65-66
BAO Zhibi, CHEN Renwei, LIU Wangjing, et al. Research progress of the preservative effect of plant extracts on food and its mechanism [J]. Feed Industry, 2018, 12: 65-66
- [12] Lucia da Cruz Cabral, Virginia Fernández Pinto, Patriarca A. Application of plant derived compounds to control fungal spoilage and mycotoxin production in foods [J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 166(1): 1-14

- [13] 李滨丞.北五味子与瓜尔豆胶复合涂膜对樱桃番茄采后保鲜研究[D].长沙:湖南农业大学,2017
LI Bincheng. Research of *Schisandra chinensis* and guar bean gum compound coat on fresh-keeping cherry tomato postharvest [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017
- [14] 范昆,张雪丹,余贤美,等.无花果炭疽病菌的生物学特性及8种杀菌剂对其抑制作用[J].植物病理学报,2013,43(1):75-81
FAN Kun, ZHANG Xuedan, YU Xianmei, et al. Biological characteristics of *Colletotrichum gloeosporioides* and inhibitory effects of eight fungicides [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2013, 43(1): 75-81
- [15] 周金伟,周红丽,易有金,等.短短芽胞杆菌对植物病原真菌的抑菌活性和抑菌机理[J].植物保护学报,2016,43(4):600-607
ZHOU Jinwei, ZHOU Hongli, YI Youjin, et al. The antifungal activity and mechanism of *Brevibacillus brevis* on plant pathogenic fungus [J]. Journal of Plant Protection, 2016, 43(4): 600-607
- [16] 陈玉环,万春鹏,彭旋,等.桂枝主要抑菌活性成分对柑橘青霉病菌的作用机制研究[J].现代食品科技, 2016,10:45-51
CHEN Yuhuan, WAN Chunpeng, PENG Xuan, et al. Study on the antifungal mechanisms of the main active ingredients of ramulus cinnamomi against *Penicillium italicum* [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 10: 45-51
- [17] Rasooli I, Rezaei M B, Allameh A. Growth inhibition and morphological alterations of *Aspergillus niger* by essential oils from *Thymus eriocalyx* and *Thymus x-porlock* [J]. Food Control, 2004, 17(5): 359-364
- [18] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].中国轻工业出版社,2007
CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Experiment Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [19] Rui Cai, Miaomiao Hu, Yijun, et al. Antifungal activity and mechanism of citral, limonene and eugenol against *Zygosaccharomyces rouxii* [J]. Food Science and Technology, 2019, 106: 50-56
- [20] 何甜,崔朝宇,郑先能,等.裸脚菇0612-9活性物质对柑橘青、绿霉病的生防效果及其诱导抗性[J].食品科学,2021,42(1): 272-278
HE Tian, CUI Chaoyu, ZHENG Xianneng, et al. Biocontrol effect of active substances from *Gymnopus* sp. 0612-9 on blue and green mold and induced citrus resistance [J]. Food Science, 2021, 42(1): 272-278
- [21] Cháfer M, Sánchez González L, González Martínez C, et al. Fungal decay and shelf life of oranges coated with chitosan and bergamot, thyme, and tea tree essential oils [J]. Journal of Food Science, 2013, 77(8): 182-187
- [22] 刘洪霞,韩址楠,姜咏栋,等.苍耳叶提取物与生物抑菌剂对几种常见食品污染菌的体外协同抑菌作用及其作用机理[J].食品与发酵工业,2013,39(4):17-21
LIU Hongxia, HAN Zhinan, JIANG Yongdong, et al. Synergistic mechanism of *Xanthium sibiricum* leaf and biological antimicrobial agents against several common microorganisms causing food contamination [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(4): 17-21
- [23] Duong Van Hung, Shengnan Tong, Fumihiko Tanaka, et al. Controlling the weight loss of fresh produce during postharvest storage under a nano-size mist environment [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(4): 325-330
- [24] Hadar Arnon, Yana Zaitsev, Ron Porat, et al. Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 87: 21-26
- [25] Silvia A Valencia Chamorro, Lluís Palou, Miguel Ángel del Río, et al. Performance of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible coatings with antifungal food additives during cold storage of 'Clemenules' mandarins [J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 44(10): 2342-2348
- [26] 李保祥,余易琳,何悦,等.壳聚糖-纳米纤维素复合涂膜对沙糖桔贮藏保鲜效果的影响[J].食品科学,2021,42(13):185-192
LI Baoxiang, YU Yilin, HE Yue, et al. Effects of chitosan-nanocrystal cellulose composite coating on the preservation of Shatangju mandarin [J]. Food Science, 2021, 42(13): 185-192
- [27] Neda Maftoonazad, Hosahalli S Ramaswamy, Michelle Marcotte. Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 43(6): 951-957
- [28] Changhong Liu, Huanhuan Zheng, Kangliang Sheng, et al. Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 139: 47-55

(下转第 135 页)