

雷国凤,李至敏,王小琴,等.柑橘果实采后绿霉病防治研究进展[J].江苏农业科学,2018,46(21):27-30.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.006

柑橘果实采后绿霉病防治研究进展

雷国凤¹,李至敏²,王小琴¹,李志敏¹

(1.江西农业大学生物科学与工程学院,江西南昌 330045; 2.江西农业大学理学院,江西南昌 330045)

摘要:柑橘类水果的采后病害在贮藏和运输期间会造成相当大的损失。绿霉病是柑橘类水果主要的采后疾病。综述植物源提取物、微生物保鲜剂、天然化合物、食品添加剂、公认安全化合物等物质在柑橘果实采后绿霉病防治中的应用情况。2种或多种方法的联合使用将是柑橘绿霉病防治的发展方向之一。

关键词:柑橘;指状青霉;植物源提取物;天然化合物;食品添加剂;拮抗菌

中图分类号: S436.661.1⁺9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)21-0027-04

柑橘是芸香科(Rutaceae)柑橘亚科(Aurantioideae)柑橘族(Citreae)柑橘亚族(Citrinae)真正的柑橘果树类植物的总称。我国是世界上最早栽培柑橘,也是最重要的栽培国家之一,有甜橙、柚、柑、橘、葡萄柚、柠檬等重要栽培类型。柑橘果实外形美观,味道鲜美,营养丰富,是世界上最重要的水果之一,在国际农产品贸易中占有非常重要的地位^[1]。柑橘类果实采后极易感染腐败菌,导致果实腐烂变质,造成严重的经济损失而阻碍柑橘产业的发展。柑橘果实在贮藏期间由于腐烂

造成的经济损失非常严重,以青霉菌属(*Penicillium*)真菌引起的病害最为严重,该病害在贮藏期造成的损失一般为10%左右,有的甚至超过30%,引起柑橘采后腐烂的青霉菌主要为意大利青霉(*P. italicum* Wehmer)和指状青霉(*P. digitatum* Sacc.)^[2]。指状青霉可以导致柑橘采后绿霉病,绿霉病是一种主要的柑橘采后疾病,可造成严重的经济损失,一般采用抑霉唑、噻苯唑、邻苯基苯酚钠等化学杀菌剂来控制^[3-4]。化学杀菌剂的使用不仅会造成抗药性,还会导致一定的化学残留和环境污染,从而对人体有潜在的风险,因此各国研究人员努力研究相应的替代方法来控制柑橘绿霉病,并取得了一定的成果。柑橘采后绿霉病的替代防治研究主要包括植物源提取物、微生物保鲜剂、天然化合物、食品添加剂、公认安全(generally recognized as safe,简称GRAS)化合物等5个方面及其联合使用的策略。本文对上述方法进行归纳分析,并对柑橘绿霉病防治的研究发展趋势进行展望。

收稿日期:2017-06-13

基金项目:国家自然科学基金(编号:31400054,31560250);江西省青年科学基金重大项目(编号:20161ACB21012);江西省教育厅科技研究重点项目(编号:GJJ160353)。

作者简介:雷国凤(1994—),男,江西上饶人,硕士研究生,主要从事果蔬保鲜及其机制研究。E-mail:leiguofengx@163.com。

通信作者:李志敏,博士,副教授,主要从事酶催化反应机制研究。E-mail:zmlizm@126.com。

便堆肥多组分含量[J].光谱学与光谱分析,2007,27(11):2203-2207.

[45]段旭光,曾雷,付美云,等.红外光谱对有机废弃物堆肥的监测研究[J].湖南农业科学,2009(5):74-76,80.

[46]Domezel M, Khalil A, Prudent P. UV spectroscopy: a tool for monitoring humification and for proposing an index of the maturity of compost[J]. Bioresource Technology, 2004, 94(2):177-184.

[47]郭烽,张传存,姚杰,等.三维荧光光谱结合荧光区域指数分析方法评估堆肥腐熟度[J].环境科学研究,2012,25(12):1410-1415.

[48]祝虹煜,何小松,吴修所,等.荧光光谱技术在堆肥腐熟度评价中的应用[J].环境污染与防治,2010,32(6):69-73,80.

[49]Sironi S, Capelli L, Céntola P, et al. Development of a system for the continuous monitoring of odours from a composting plant: focus on training, data processing and results validation methods[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2007, 124(2):336-346.

[50]Casas O, López M, Quilez M, et al. Wireless sensor network for smart composting monitoring and control[J]. Measurement, 2014, 47:483-495.

[51]López M, Martínez - Farre X, Casas O, et al. Intelligent composting

assisted by a wireless sensing network[J]. Waste Management, 2014, 34(4):738-746.

[52]陈朝旭,曾庆东,韦建吉.基于ZigBee技术的堆肥控制系统设计[J].现代农业装备,2014(4):29-32,41.

[53]邓志辉,张西良.基于蓝牙技术的堆肥发酵仓参数检测系统的设计[J].农机化研究,2013(11):211-214.

[54]王永江,黄光群,韩鲁佳.猪粪麦秸反应器好氧堆肥水分平衡模型研究[J].农业机械学报,2012,43(6):102-106.

[55]Petric I, Selimbašić V. Development and validation of mathematical model for aerobic composting process[J]. Chemical Engineering, 2008, 139(2):304-317.

[56]Sole - Mauri F, Illa J, Magri A, et al. An integrated biochemical and physical model for the composting process[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(17):3278-3293.

[57]Higgins C W, Walker L P. Validation of a new model for aerobic organic solids decomposition: simulations with substrate specific kinetics[J]. Process Biochemistry, 2001, 36(8/9):875-884.

[58]Das K, Keener H M. Numerical model for the dynamic simulation of a large scale composting system[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(4):1179-1189.

1 植物源提取物

植物是自然界最丰富的生物资源之一,超过 1 340 种植物被认为是抗菌化合物的潜在来源,大约 10 000 种植物的次级代谢物被定义为抗菌剂^[5-6],且植物源提取物被认为对动物是安全的。利用植物源提取物来进行柑橘采后疾病的防治具有较大的潜力。目前,用于柑橘采后防治的植物源提取物主要包括精油和植物粗提物。

精油也被称为挥发油,是存在于植物体中的一类可随水蒸气蒸馏,在常温下能挥发,且具有一定香味的挥发性油状液体的总称。许多植物精油杀菌谱广,对革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌、病原真菌等均有一定的杀菌活性^[7]。关于植物精油的抑菌机制说法多种多样,且目前没有定论,普遍认为植物精油的抑菌活性与其结构中的特殊官能团、衍生或嵌入的各种基团有着密切关系,主要是通过破坏细胞膜或影响能量代谢途径达到抑菌作用^[2]。植物精油和植物粗提物含有许多生物活性物质,比如茉莉酸。茉莉酸可以诱导植物产生抗性从而抵御病原菌^[8]。解淑慧等运用丁香(*Eugenia caryophyllata* Thunb.)精油对柑橘绿霉病原菌指状青霉进行体外抑菌试验,发现丁香精油对指状青霉有较好的抑制效果,抑制中浓度(EC₅₀)为 2.51 mL/L,最小抑菌浓度(minimum inhibitory concentration,简称 MIC)为 6 mL/L^[9]。Musto 等研究发现,龙葵(*Solanum nigrum*)叶片粗提物含有生物碱、单宁等生物活性物质,在体外试验中对指状青霉表现出显著的抑制活性,且在 4 ℃保存 60 d 的粗提物仍然有体外抑制作用;在柠檬体内试验中,7 d 内对指状青霉的抑制活性仍然可以达到 100%^[10]。邓利珍等研究了川芎提取液在离体和活体条件下对采后脐橙的主要致病菌指状青霉和意大利青霉的抑制作用,结果显示在离体条件下,川芎(*Ligusticum chuanxiong* Hort.)提取液对 2 种供试菌种有显著的抑制作用($P < 0.05$),最低抑菌质量浓度均为 25.00 mg/mL;在活体条件下,川芎提取液能有效抑制 2 种病原菌在脐橙上的生长,且质量分数为 4% 时效果较好^[11]。戴素明等为筛选能应用于柑橘保鲜的药用植物提取物,测定了博落回(*Macleaya cordata*)和虎杖(*Polygonum cuspidatum*)提取物对柑橘绿霉菌的抑菌活性以及对柑橘保鲜的效果,结果表明博落回和虎杖提取物均能抑制柑橘绿霉菌的生长,二者的有效中质量浓度分别为 184.32、538.48 mg/L,博落回的抑菌效果比虎杖好;与清水对照相比,2 种提取物处理柑橘的腐烂率均显著降低^[12]。由以上结论可以看出,植物精油及植物粗提物确实对绿霉病有较好的防治效果,可以通过对中药材粗提物的研究获取更多用于柑橘绿霉病防治的植物精油及植物粗提物。

2 微生物保鲜剂

近年来,越来越多的拮抗菌及其提取物被发现可以用于柑橘采后疾病生物防治,主要包括酵母、细菌、真菌等。比如黏红酵母(*Rhodotorula glutinis*)^[13]、解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)^[14]、寡雄腐霉(*Pythium oligandrum*)^[15]。2 种生物防治试剂 Biosave(*Pseudomonas syringae*)和 Shemer(*Metschnikowia fructicola*)已经商业化应用防治柑橘采后疾病^[16]。拮抗菌的作用机制主要包括 4 种:分泌抗菌物质、重

寄生作用、营养和空间竞争、诱导果蔬抗性^[17]。

王华利等发现柠檬形克勒克酵母(*Kloeckera apiculata*)菌悬液能够有效抑制温州蜜柑尾孢(*Citrus unshiu* Marc. cv. 'Owari')果实绿霉病害的发生^[18]。吴胜等发现了 1 株具有拮抗青绿霉病菌的裸脚菇属菌株 0612-9,其对意大利青霉和指状青霉的 EC₅₀ 分别为 69.25、56.70 g/L,其最小杀菌浓度 250 μg/mL 低于阳性对照物抑霉唑的 500 μg/mL,并且对病原菌菌丝体有一定的毒害作用^[19]。Waewthongrak 等发现,枯草芽孢杆菌及其粗提物在体内或体外试验中均可抑制指状青霉的生长,发病率可以降低 60% 以上^[20]。Niu 等从指状青霉中分离出 1 株真菌病毒 PdV1,利用 PdV1 感染指状青霉菌株 HS-F6 获得菌株 HS-F6V,利用 HS-F6 和 HS-F6V 进行体内和体外试验,结果发现在体内试验中,接种 HS-F6V 的柑橘伤口直径比接种 HS-F6 的小 31.4%;在体外试验中,接种 HS-F6V 的柑橘菌落面积比接种 HS-F6 的小 30.4%。由此可见,真菌病毒 PdV1 有望开发成指状青霉的生物防治试剂^[21]。

3 天然化合物

一些天然化合物具有广谱抗菌性,对病原细菌、病原真菌均有一定的生物抗性。抗真菌天然化合物主要包括萜类、生物碱、皂苷类、环肽类、甾体类、有机酸类及其他类化合物^[22]。研究发现,枯草芽孢杆菌粗提物中的环脂肽^[20]、丁香酚、百里香酚^[23]等均可以抑制青霉菌的生长。壳寡糖又称寡聚氨基葡萄糖、甲壳低聚糖,它是由 2~10 个氨基葡萄糖通过 β -1,4 糖苷键连接而成的低聚糖,也是天然糖中唯一大量存在的碱性氨基多糖^[24]。壳寡糖对于芒果、枣、桃、梨等水果均有较好的保鲜作用^[2]。Waewthongrak 等发现壳聚糖对指状青霉具有较好的抑制效果,柑橘绿霉病的发病率可以降低 90% 以上^[20]。其他的天然化合物也可以抑制绿霉病的发生。陶能国等采用琼脂稀释培养法测定柠檬醛、辛醛以及柠檬醛+辛醛混合物(体积比为 4:1)对指状青霉菌丝体生长的影响,结果表明,柠檬醛+辛醛混合物能明显抑制指状青霉菌丝体生长,其 MIC 和最小杀菌浓度(minimal fungicidal concentration,简称 MFC)均为 2.50 μL/mL,而柠檬醛的 MIC 和 MFC 分别为 2.50、5.00 μL/mL,辛醛的 MIC 和 MFC 分别为 0.63、2.50 μL/mL^[25]。可见将 2 种天然化合物联合使用均大于单独使用的效果。一些天然蛋白质具有抗指状青霉活性。Osman 等利用主要含 β -伴大豆球蛋白的大豆蛋白组分对指状青霉进行体内体外试验,结果表明 β -伴大豆球蛋白的 MIC 和 MFC 分别为 50、1900 mg/L;在体内试验中,250 mg/L β -伴大豆球蛋白在 7 d 内可以完全抑制指状青霉在柑橘表面的生长,21 d 后的发病率和严重程度分别为 22%、25%^[3]。Citores 等研究表明,来源于甜菜(*Beta vulgaris* L.)叶片的核糖体失活蛋白 BE27(8 μg/mL)对指状青霉生长的抑制率可以达到 84%;其具体的作用机制是 BE27 进入指状青霉细胞中对其核糖体大亚基中的核糖体 RNA 进行酶切,使核糖体失活抑制蛋白质合成过程从而导致指状青霉死亡^[26]。因此,研究核糖体失活蛋白对指状青霉的作用可以为开发其他的柑橘绿霉病的控制方法奠定基础。

4 食品添加剂和 GRAS 化合物

食品添加剂是指为改善食品品质,保证色、香、味以及为防腐、保鲜、加工工艺等的需要而加入食品中的人工合成或天然物质^[27]。其中的防腐剂具有抑制微生物生长的作用,在食品行业中被大量使用,并被认为是合适剂量内对人体是安全的。GRAS 化合物是美国食品法律中的一个非常重要、独特和庞杂的食物/食物成分类别。在美国食品法律和法规的位阶上,GRAS 化合物介于常规食物/食物成分和食品添加剂之间^[28]。研究表明,山梨酸钾^[29]、苯甲酸/苯甲酸钠^[30]、丙酸钠^[31]、氯化钙^[32]、碳酸钠^[33]、碳酸氢钠^[34]等均可用于柑橘采后绿霉病的控制。通常认为盐化合物的作用机制包括对质膜的破坏、影响次级代谢、高 pH 值对霉菌的直接作用等^[35]。盖智星等探讨了肉桂酸钾对柑橘意大利青霉、指状青霉生长的抑制作用,采用生长速率法测定肉桂酸钾对致病真菌菌丝生长、产孢及孢子萌发的抑制作用,结果表明肉桂酸钾对 2 种病原真菌表现出不同程度的生长抑制作用,抑制作用由大至小依次为指状青霉、意大利青霉;肉桂酸钾质量浓度为 4 mg/mL 时,2 种病原真菌的菌丝生长抑制率分别为 100.00%、53.88%^[36]。Duan 等研究发现,脱氢乙酸钠可以抑制指状青霉菌菌丝的生长,其 MIC 和 MFC 分别为 0.20、0.40 g/L^[37]。Youssef 等研究表明,碳酸钠和碳酸氢钠可以诱导柑橘组织中的几丁质酶、葡聚糖酶、苯丙氨酸解氨酶的活性增强和植物抗毒素含量的增加,从而增强柑橘对指状青霉的抗性,因此碳酸钠、碳酸氢钠可以作为柑橘采后绿霉病的控制药物^[38]。

5 绿霉病防治方法联合使用

联合采用不同的防治指状青霉方法会比单一的控制策略更有效。Shao 等进行了壳聚糖-丁香油联合使用防治柑橘绿霉菌的体内和体外试验,结果表明在体外试验中,壳聚糖-丁香油联合使用防治柑橘绿霉病效果比壳聚糖和丁香油单独使用要好,而在体内试验中,壳聚糖-丁香油联合使用效果和壳聚糖单独使用差别不大,但都比丁香油单独使用效果要好^[39]。Fan 等进行了柠檬醛-蜡涂层联合使用控制柑橘采后绿霉病的试验,结果表明在体外试验中,柠檬醛的 MIC 和 MFC 均为 4 000 μ L/L;在体内试验中,蜡涂层联合 1 \times MFC 柠檬醛并不能显著抑制指状青霉在椪柑中的生长,但蜡涂层联合 10 \times MFC 柠檬醛可以显著降低椪柑的绿霉病发病率^[40]。打蜡是柑橘保鲜里常见的技术^[41],壳聚糖和蜡质均可覆盖于柑橘果实的表面,与天然化合物、植物防腐剂或低水平的杀真菌剂联合使用可以延长它们的作用时间,对柑橘采后绿霉病的防治效果更加持久。蜡和壳聚糖与拮抗指状青霉的物质联合用于柑橘采后绿霉病的防治,将会成为一个重要的研究方向。

6 展望

虽然上述方法对柑橘绿霉病有一定的防治效果,但大部分未实现商业化应用且使用时具有一定的局限性。目前,市场上主要使用杀真菌剂对柑橘绿霉病进行防治。研究表明,指状青霉对脱甲基抑制剂杀真菌剂的抗性是由于其杀真菌剂靶基因(*CYP51*)的各种基因突变或外排泵基因(如 *MDR1*、*CDR1* 等)上调导致的。*CYP51* 基因编码固醇 14 α -脱甲基

酶,在真菌甾醇的合成过程中起重要作用^[42]。对抗杀真菌剂菌株抗性机制的研究可为开发出效果更好的杀真菌剂做铺垫,且可以指导杀真菌剂的使用。可以利用上述柑橘绿霉病防治方法与杀真菌剂交替使用,从而延缓抗杀真菌剂指状青霉菌株出现的速率。今后应加强对上述柑橘防治方法机制的研究,从而制定出更加合理的柑橘绿霉病控制策略。

从 2012 年指状青霉全基因组序列^[43]公布以来,从分子水平解释指状青霉致病机制的研究越来越多。研究表明,果胶裂合酶基因(*PnII*)^[44]、pH 信号转录因子基因(*PdpacC*)^[45]、分裂素激活蛋白激酶基因(*PdMpkB*)^[46]等在指状青霉致病过程中发挥着重要作用。对上述基因的深入研究可以为新型杀真菌剂和保鲜剂的开发提供思路。

参考文献:

- [1] 丁晓波,张 华,刘世尧,等. 柑橘果品营养学研究现状[J]. 园艺学报,2012,39(9):1687-1702.
- [2] 熊亚波,闫晓俊,颜 静,等. 新型柑橘贮藏保鲜剂的研究进展[J]. 食品科学,2015,36(9):284-288.
- [3] Osman A, Abbas E, Mahgoub S, et al. Inhibition of *Penicillium digitatum* in vitro and in postharvest orange fruit by a soy protein fraction containing mainly β -conglycinin[J]. Journal of General Plant Pathology, 2016, 82(6):293-301.
- [4] Smilanick J L, Michael I F, Mansour M F, et al. Improved control of green mold of citrus with imazalil in warm water compared with its use in wax[J]. Plant Disease, 1997, 81(11):1299-1304.
- [5] Cowan M M. Plant products as antimicrobial agents[J]. Clinical Microbiology Reviews, 1999, 12(4):564-582.
- [6] Tripathi P, Dubey N K. Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(3):235-245.
- [7] 胡林峰,许明录,朱红霞. 植物精油抑菌活性研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(2):384-391.
- [8] Droby S, Porat R, Cohen L, et al. Suppressing green mold decay in grapefruit with postharvest jasmonate application[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1999, 124(2):184-188.
- [9] 解淑慧,邵兴锋,王 可,等. 柑橘采后腐烂主要致病菌的分离鉴定及丁香精油对其抑制作用研究[J]. 果树学报, 2013, 30(1):134-139, 181.
- [10] Musto M, Potenza G, Cellini F. Inhibition of *Penicillium digitatum* by a crude extract from *Solanum nigrum* leaves[J]. Biotechnologie Agronomie Société Et Environnement, 2014, 18(2):174-180.
- [11] 邓利珍,刘 可,冷飞凡,等. 川芎提取液对脐橙的防腐保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7):296-302.
- [12] 戴素明,曾建国,程 辟,等. 两种药用植物提取物对柑橘保鲜的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38(6):623-625.
- [13] Zheng X D, Zhang H Y, Sun P. Biological control of postharvest green mold decay of oranges by *Rhodotorula glutinis*[J]. European Food Research and Technology, 2005, 220(3/4):353-357.
- [14] 吕 捷,陈 云,朱从一,等. 拮抗菌 Bs43 的鉴定、抑菌机理及其对采后柑橘绿霉病的生防效果[J]. 果树学报, 2014, 31(5):885-892, 4.

- [15] 谭 艳,彭良志,袁 玲,等. 寡雄腐霉发酵液的动物毒性及其对柑橘果实贮藏期青、绿霉病的防治效果[J]. 微生物学报, 2015,55(11):1418–1426.
- [16] Droby S, Wisniewski M, Macarasin D, et al. Twenty years of postharvest biocontrol research: is it time for a new paradigm? [J]. Postharvest Biology and Technology, 2009,52(2):137–145.
- [17] 裴纪莹,王未名,陈建爱,等. 拮抗菌在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2009,30(5):334–336.
- [18] 王华利,戴葵堂,邓伯勋. 柠檬形克勒克酵母对柑橘的防腐保鲜技术试验[J]. 湖北农业科学, 2006,45(3):372–374.
- [19] 吴 胜,霍光华,韩启灿,等. 一株裸脚菇属菌株产抗菌活性物的基础液体培养碳、氮源等优化及其对柑橘青绿霉菌的作用[J]. 中国生物工程杂志, 2016,36(2):51–61.
- [20] Waewthongrak W, Pisuchpen S, Leelasuphakul W. Effect of *Bacillus subtilis* and chitosan applications on green mold (*Penicillium digitatum* Sacc.) decay in citrus fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015,99:44–49.
- [21] Niu Y H, Zhang T F, Zhu Y, et al. Isolation and characterization of a novel mycovirus from *Penicillium digitatum* [J]. Virology, 2016, 494:15–22.
- [22] 徐文晖,李兴从. 抗真菌天然化合物研究进展[J]. 中草药, 2011,42(5):1009–1017.
- [23] Vazquez B I, Fente C, Franco C M, et al. Inhibitory effects of eugenol and thymol on *Penicillium citrinum* strains in culture media and cheese[J]. International Journal of Food Microbiology, 2001,67(1/2):157–163.
- [24] 聂青玉. 壳寡糖在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 山东省农业管理干部学院学报, 2010,27(3):155–156.
- [25] 陶能国,段小芳,凡 风,等. 柠檬醛和辛醛混合物对指状青霉的抑制作用[J]. 现代食品科技, 2015,31(6):73–77.
- [26] Citores L, Iglesias R, Gay C, et al. Antifungal activity of the ribosome – inactivating protein BE27 from sugar beet (*Beta vulgaris* L.) against the green mould *Penicillium digitatum* [J]. Molecular Plant Pathology, 2016,17(2):261–271.
- [27] 王 静,孙宝国. 食品添加剂与食品安全[J]. 科学通报, 2013, 58(26):2619–2625.
- [28] 史晓伟. 美国“公认安全使用物质”(GRAS)法规简介[J]. 中国食品添加剂, 2009(增刊1):42–47.
- [29] D'Aquino S, Fadda A, Barberis A, et al. Combined effects of potassium sorbate, hot water and thiabendazole against green mould of citrus fruit and residue levels[J]. Food Chemistry, 2013,141(2):858–864.
- [30] El – Mougy N S, El – Gamal N G, Abd – El – Kareem F. Use of organic acids and salts to control postharvest diseases of lemon fruits in Egypt [J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2008,41(7):467–476.
- [31] Hall D J. Comparative activity of selected food preservatives as citrus postharvest fungicides [C]//Meeting of the Florida State Horticulture Society, 1989.
- [32] Droby S, Wisniewski M E, Cohen L, et al. Influence of CaCl₂ on *Penicillium digitatum*, grapefruit peel tissue, and biocontrol activity of *Pichia guilliermondii* [J]. Phytopathology, 1997,87(3):310–315.
- [33] Plaza P, Usall J, Torres R, et al. The use of sodium carbonate to improve curing treatments against green and blue moulds on citrus fruits[J]. Pest Management Science, 2004,60(8):815–821.
- [34] Smilanick J L, Margosan D A, Mlikota F, et al. Control of citrus green mold by carbonate and bicarbonate salts and the influence of commercial postharvest practices on their efficacy [J]. Plant Disease, 1999,83(2):139–145.
- [35] Smilanick J L, Mansour M F, Margosan D A, et al. Influence of pH and NaHCO₃ on effectiveness of imazalil to inhibit germination of *Penicillium digitatum* and to control postharvest green mold on citrus fruit[J]. Plant Disease, 2005,89(6):640–648.
- [36] 盖智星,王日葵,贺明阳,等. 肉桂酸钾对柑橘采后主要病原真菌的抑制作用[J]. 食品与发酵工业, 2016,42(3):109–113.
- [37] Duan X F, Jing G X, Fan F, et al. Control of postharvest green and blue molds of citrus fruit by application of sodium dehydroacetate [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016,113:17–19.
- [38] Youssef K, Sanzani S M, Ligorio A A, et al. Sodium carbonate and bicarbonate treatments induce resistance to postharvest green mould on citrus fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014,87(2):61–69.
- [39] Shao X F, Cao B Y, Xu F, et al. Effect of postharvest application of chitosan combined with clove oil against citrus green mold [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015,99:37–43.
- [40] Fan F, Tao N G, Jia L, et al. Use of citral incorporated in postharvest wax of citrus fruit as a botanical fungicide against *Penicillium digitatum* [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014,90(3):52–55.
- [41] 杨 明,王日葵. 柑橘贮藏保鲜研究进展[J]. 农产品加工·学刊, 2011(9):104–107,110.
- [42] Liu J, Wang S Q, Qin T T, et al. Whole transcriptome analysis of *Penicillium digitatum* strains treated with prochloraz reveals their drug – resistant mechanisms [J]. BMC Genomics, 2015,16(1):855.
- [43] Marcet – Houben M, Ballester A R, de la Fuente B, et al. Genome sequence of the necrotrophic fungus *Penicillium digitatum*, the main postharvest pathogen of citrus [J]. BMC Genomics, 2012,13(1):646.
- [44] Lopez – Perez M, Ballester A R, Gonzalez – Candelas L. Identification and functional analysis of *Penicillium digitatum* genes putatively involved in virulence towards citrus fruit [J]. Molecular Plant Pathology, 2015,16(3):262–275.
- [45] Zhang T Y, Sun X E, Xu Q, et al. The pH signaling transcription factor PacC is required for full virulence in *Penicillium digitatum* [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2013,97(20):9087–9098.
- [46] Ma H J, Sun X E, Wang M S, et al. The citrus postharvest pathogen *Penicillium digitatum* depends on the *PdMpkB* kinase for developmental and virulence functions [J]. International Journal of Food Microbiology, 2016,236:167–176.