

江香薷活性成分香芹酚对指状青霉的抑菌作用

戚雯雯¹, 沈玉婷¹, 陈楚英¹, 陈金印^{1,2}, 万春鹏¹

(1. 江西农业大学农学院, 江西省果蔬保鲜与无损检测重点实验室/江西省果蔬采后处理关键技术与质量安全协同创新中心, 江西南昌 330045) (2. 萍乡学院, 江西萍乡 337055)

摘要:以指状青霉菌(*Penicillium digitatum*)为供试菌, 研究江香薷活性成分香芹酚的抑菌活性及其抑菌机理。本文采用二倍稀释法测定其最小抑菌浓度(MIC)和最小杀菌浓度(MFC), 以此评价香芹酚对指状青霉菌的抑菌效果; 并通过研究香芹酚对指状青霉菌的菌丝形态变化、孢子萌发率、细胞膜渗透性和菌体内可溶性糖含量, 阐述香芹酚对指状青霉菌的抑菌机理。结果表明: 香芹酚对指状青霉菌的 MIC、MFC 分别为 0.125 mg/mL 和 0.25 mg/mL; 经不同浓度香芹酚处理后的指状青霉, 菌丝形态发生明显改变, 孢子萌发率显著降低, 细胞膜渗透性增强, 菌体内可溶性糖含量降低。说明香芹酚能有效抑制指状青霉菌的孢子萌发, 破坏细胞膜结构完整性, 内含物外渗, 降低营养物质含量, 影响病原菌正常生长发育, 从而发挥抑菌效果。

关键词: 江香薷; 香芹酚; 指状青霉菌; 抑菌机理

文章编号: 1673-9078(2018)11-65-69

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.11.011

Antifungal Mechanisms of the Active Ingredients Carvacrol of *Mosla*

Chinensis 'Jiangxiangru' against *Penicillium Digitatum*

QI Wen-wen¹, SHEN Yu-ting¹, CHEN Chu-ying¹, CHEN Jin-yin^{1,2}, WAN Chun-peng¹

(1. College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Jiangxi Key Laboratory for Post-harvest Technology and Nondestructive Testing of Fruits & Vegetables/Collaborative Innovation Center of Post-harvest Key Technology and Quality Safety of Fruits and Vegetables in Jiangxi Province, Nanchang 330045, China)

(2. Pingxiang University, Pingxiang 337055, China)

Abstract: *Penicillium digitatum* was used as the test fungal species in this study to investigate the antifungal mechanism of the active ingredients of *Mosla chinensis* 'Jiangxiangru', namely carvacrol. Antifungal activity was evaluated by determination of the minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC), measuring the antifungal activity of a series of doubling dilution carvacrol samples. The acting mechanism of carvacrol was elucidated by evaluating its effects on mycelial morphology, spore germination, cell membrane permeability, soluble sugar content. Results showed that the MIC and the MFC of carvacrol were 0.125 mg/mL and 0.25 mg/mL, respectively; the morphological changes of mycelium were appeared by treatment with different concentrations carvacrol; furthermore, a lower spore germination rate, elevated cell membrane permeability, reduced soluble sugar were also observed by treatment with different concentrations carvacrol. The antifungal activity of carvacrol may be related to inhibit spore germination in *Penicillium digitatum*, damage the structure of its cell membrane, facilitate leakage of intracellular contents, reduce nutrient content. Thus, carvacrol exerts an inhibitory effect by inhibiting normal growth and reproduction of mycelia.

Key words: *Mosla chinensis* 'Jiangxiangru'; carvacrol; *Penicillium digitatum*; antifungal mechanisms

柑橘果实组织柔嫩多汁并且富含糖分, 在贮藏和运输过程中容易发生采后病害, 绿霉病是引起柑橘果实腐烂的主要病害之一, 其病原菌为指状青霉

收稿日期: 2018-07-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(31760598); 江西省柑橘产业技术体系(JXARS-07); 江西省“赣鄱英才555工程”(2012)

作者简介: 戚雯雯(1995-), 女, 在读研究生, 研究方向: 果蔬采后生理与贮藏技术

通讯作者: 万春鹏(1983-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 天然产物化学

(*Penicillium digitatum*)。目前, 我国控制柑橘采后病害的方法主要是采用化学杀菌剂如多菌灵, 抑霉唑和咪鲜胺等处理果实, 但这很容易导致病原菌产生抗药性, 且果实残留量大, 对人体健康以及环境造成一定的危害。因此, 为了保证果实产品的卫生和安全, 众多学者都在积极探索能代替化学药物的保鲜新技术, 从植物中筛选, 发现具有抗菌活性的天然产物, 研发水果防腐保鲜剂来控制果实采后病害将是今后的发展方向和研究热点^[1~3]。

江香薷为唇形科植物江香薷(*Mosla chinensis* 'jiangxiangru')的干燥地上部分,是2005版《中国药典》收录的正品香薷之一,江西省新余市渝水区和分宜县以及宜春等地是该药材的道地产区^[4]。江香薷性辛,微温,无毒,为常用治疗感冒的中药,现代研究表明,江香薷中主要含有挥发油类和黄酮类成分^[4],为两类常见的抑菌活性成分。江香薷及其挥发油提取物对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和枯草芽孢杆菌等常见细菌有较好的抑菌活性^[5,6]。百里香酚和香芹酚是江香薷挥发油的主要成分,其中香芹酚的相对含量为22.24%^[6]。香芹酚对一些果蔬植物病原菌具有很好的抑制作用,香芹酚可以抑制杨梅致病菌的生长^[7],还可以抑制桃软腐病病原菌—葡枝根霉^[8],5%香芹酚水剂可以有效防治辣椒白粉病,减少化学农药的使用^[9];香芹酚包合物对莲雾采后有较好的保鲜效果^[10]。课题组前期基于抑制指状青霉和意大利青霉筛选柑橘植物源保鲜剂发现江香薷对两种病原菌均有抑制作用。江香薷提取物对指状青霉的最低抑菌浓度(MIC)为12.5 mg/mL,最小杀菌浓度(MBC)为25.0 mg/mL;而对意大利青霉的MIC和MBC值分别为25.0 mg/mL和50.0 mg/mL。表明江香薷对指状青霉更敏感,抑菌活性更强。本文进一步研究其主要活性成分香芹酚对指状青霉的抑菌机理。

1 材料与amp;方法

1.1 原料

指状青霉菌(*Penicillium digitatum*),江西农业大学农学院植物病理实验室提供;香芹酚(化学纯99%),购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司;PDA培养基(马铃薯200 g,葡萄糖20 g,琼脂20 g,水1 L);PDB培养液(即不加琼脂的PDA培养基);葡萄糖,琼脂粉,萘酚,乙酸乙酯,浓H₂SO₄,草酸,醋酸铅,95%的乙醇等试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器设备

移液器,上海赛默飞世尔仪器有限公司;血球计数板,上海市求精生化试剂仪器有限公司;JY202电子天平,上海浦春计量仪器有限公司;5804R冷冻离心机,德国Eppendorf;DDS-307A电导率仪,上海精密科学仪器有限公司;IS-RDH1卧式恒温振荡器,美国精骐有限公司;YXQ-LS-70A立式压力蒸汽灭菌器,上海博迅实业有限公司;DK-S28电热恒温水浴锅,上海精宏实验设备有限公司;MIR-254恒温培养箱,日本三洋公司;显微镜,尼康;T6新悦紫外可

见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司;HS-1300U洁净工作台,苏净集团苏州安泰有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 菌悬液的制备

无菌条件下,将指状青霉菌接种到PDA培养基上,于28℃恒温培养箱中培养一周,4℃保存备用(菌种活化),用无菌水将指状青霉菌洗入三角瓶,过滤,滤液摇匀在显微镜下用血球计数板计数,菌液浓度为10⁷ cfu/mL。

1.3.2 香芹酚对指状青霉抑菌活性的测定

无菌条件下,吸取10 mL孢子悬浮液于90 mL PDA培养基中,混匀,倒入平板冷凝后,采用牛津杯法,观察江香薷提取物香芹酚对指状青霉抑菌活性,药剂浓度分别为2 mg/mL、4 mg/mL、6 mg/mL、8 mg/mL、10 mg/mL,以95%的乙醇作为对照,每种浓度重复三次,密封好后将平板放在28℃恒温培养箱中培养,3 d后采用十字交叉法测量抑菌圈直径。

1.3.3 最低抑菌浓度及最小杀菌浓度的测定

在无菌条件下,采用二倍稀释法^[11],将不同浓度的香芹酚加到融化的PDA培养基中,摇匀,制成终浓度在0.0625~10 mg/mL之间的含药培养基,空白对照为不加香芹酚的PDA培养基,重复三次。用直径8 mm打孔器打取边缘菌块,并用接种环转接到不同浓度的含药培养基中央,使带菌丝的一面充分接触培养基,密封好后将放置于28℃恒温培养箱培养。2 d后观察,以无菌生长的培养皿的最低含药浓度为最小抑菌浓度(MIC),将无菌生长的培养皿继续培养7 d后观察,以无菌生长的培养皿的最低含药浓度为最小杀菌浓度(MFC)。

1.3.4 香芹酚对指状青霉孢子萌发率的影响

无菌条件下,用PDB将指状青霉孢子洗下,过滤,使菌液浓度为10⁷ CFU/mL。将孢子悬浮液与不同浓度的香芹酚溶液用按9:1比例滴入凹玻片凹槽中,使其作用终浓度分别为0.125 mg/mL、0.25 mg/mL、0.5 mg/mL、1.0 mg/mL和2.0 mg/mL,对照组加入等量95%的乙醇,每个处理重复三次,置于28℃恒温培养箱培养,12 h后镜检,观察孢子萌发情况,每个处理在显微镜下统计100个左右孢子,计算孢子萌发率和抑制率。

$$\text{萌发率}(\%) = 100 \times \text{萌发个数} / \text{总孢子个数}$$

$$\text{抑制率}(\%) = 100 \times (\eta_0 - \eta_1) / \eta_0$$

式中: η_0 为对照组萌发率, η_1 为处理组萌发率。

1.3.5 香芹酚对指状青霉菌丝形态的影响

无菌条件下,用PDB将指状青霉孢子洗下,过滤,

使菌液浓度为 10^7 CFU/mL。将孢子悬浮液与不同浓度的香芹酚溶液用按 9:1 比例滴入凹玻片凹槽中,使其作用终浓度为 0.125 mg/mL、0.25 mg/mL、0.5 mg/mL、1.0 mg/mL 和 2.0 mg/mL, 对照组加入等量 95% 的乙醇, 每个处理重复三次, 置于 28 °C 恒温培养箱培养, 2 d 后在 40 倍显微镜下观察菌丝的生长情况。

1.3.6 香芹酚对指状青霉细胞膜渗透性的测定

无菌条件下, 将 1 mL 孢子悬浮液接种于 99 mL PDB 培养液中, 摇床培养 2 d (200 r/min, 28 °C)。称取等量菌丝分别放入装有不同浓度的香芹酚和 95% 的乙醇的三角瓶中, 在摇床上继续培养, 在处理 0、30、60、90、120、150 min 取样, 4000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 测定电导率。最后将菌丝沸水浴 10 min, 待冷却至室温后测定其电导率, 每个处理重复三次, 用相对电导率来表示细胞膜透性。

$$\text{相对电导率}(\%) = 100 \times (C_t - C_0) / (C_d - C_0)$$

式中: C_0 为 0 min 时的电导率, C_t 为不同时刻电导率, C_d 为沸水浴后电导率。

1.3.7 香芹酚对指状青霉菌体可溶性糖含量的测定

无菌条件下, 将 1 mL 孢子悬浮液接于 99 mL PDB 培养液中, 摇床培养 2 d (200 r/min, 28 °C), 加入不同浓度的香芹酚溶液, 对照组加入等量 95% 的乙醇, 继续培养 3 d 后过滤, 用无菌水冲洗菌丝体 3 遍并用滤纸吸干, 称取 0.5 g 菌丝, 于研钵中研磨至糊状, 用蒸馏水将其转入三角瓶中, 于沸水浴中计时 15 min 后取出, 待冷却至室温后定容至 250 mL, 再向其中加入 2.5 mL 10% 醋酸铅溶液, 摇匀, 以沉淀其中的蛋白质, 待反应完全后, 加入 0.5 g 草酸, 以除去过量的醋酸铅溶液, 摇匀后过滤。各取 2 mL 滤液于试管中, 加入 0.5 mL 蒽酮和 5 mL 浓硫酸, 震荡后于沸水浴 10 min, 快速冷却后于 620 nm 波长的分光光度计下测定并记录其吸光值, 重复测定 3 次, 以葡萄糖原液作标准曲线 ($y = -0.0057x - 0.0114$, $R^2 = 0.9936$), 按如下公式计算可溶性糖含量:

$$\text{可溶性糖含量}(\%) = 100 \times (A \times V) / (V_s \times W \times 10^6)$$

式中: A 为在标准曲线上查得的含糖量 (μg); V 为总体积 (mL); V_s 为测定取样体积 (mL); W 为样品重量 (g)。

1.4 数据处理与分析

用 Excel 2010 软件进行数据统计处理, 并绘制图表; 用 DPS7.05 软件绘制毒力测定的标准曲线, 求得毒力回归方程、相关系数 r、有效浓度及其置信区间; 采用 SPSS 17.0 进行差异显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 香芹酚对指状青霉的抑菌效果

江香薷活性成分香芹酚对指状青霉有较好的抑菌效果, 抑菌圈直径与香芹酚浓度呈正相关, 香芹酚浓度越高对病原菌的抑菌效果越好。这与许晴晴^[12]在研究香芹酚对蓝莓采后青霉菌病害抑制作用中结果一致。不同浓度处理之间及其与对照组之间的差异均极显著。上述浓度为香芹酚对指状青霉抑菌机理的研究做了初步筛选。

表 1 香芹酚对指状青霉的抑菌效果

Table 1 Antifungal effect of carvacrol on *Penicillium digitatum*

香芹酚浓度/(mg/mL)	抑菌直径/mm
2	14.82±0.28 Aa
4	25.68±0.41 Bb
6	32.63±0.25 Cc
8	37.28±0.51 Dd
10	60.15±0.34 Ee
0 (95%乙醇)	0 Ff

注: 上述表中数据为平均数±标准差。不同大、小写字母表示经 Duncan 氏多重检验方法分别在 $p < 0.01$ 和 $p < 0.05$ 水平差异极显著或显著 (下同)。

2.2 香芹酚对指状青霉菌的 MIC 及 MFC

试验测得, 香芹酚对指状青霉的 MIC 和 MFC 分别为 0.125 mg/mL、0.25 mg/mL, 上述浓度为后续进一步研究江香薷活性成分香芹酚对指状青霉抑菌机理提供参考。

2.3 香芹酚对指状青霉菌孢子萌发率的影响

由表 2 可知, 香芹酚对指状青霉菌的孢子萌发具有显著的抑制作用, 且随香芹酚处理浓度的增加, 孢子萌发数逐渐减少, 抑制作用增强。不同浓度的处理均与对照组之间的差异极显著 ($p < 0.01$)。

香芹酚最大供试浓度 2.0 mg/mL 时, 可完全抑制病原菌的孢子萌发。1.0 mg/mL 的香芹酚处理病原菌时, 对其孢子萌发抑制率可高达 97.79%。香芹酚处理浓度对数与其孢子萌发抑制率的几率值之间呈线性关系, 其毒力回归方程为 $Y = 7.7711 + 5.6695x$, $r = 0.96$, 香芹酚处理的 EC_{50} 、 EC_{95} 为 0.3245 mg/mL 和 0.6329 mg/mL。

综上所述, 香芹酚在一定浓度范围能有效抑制指状青霉菌的孢子萌发。

表 2 香芹酚对指状青霉菌孢子萌发率的影响

Table 2 Inhibitory effect of carvacrol on spore germination in *Penicillium digitatum*

香芹酚浓度/(mg/mL)	萌发率/%	抑制率/%	毒力回归方程 (y)	有效浓度/(mg/mL)	置信区间/(mg/mL)
0 (95% 乙醇)	90.48±0.46	0.00% ^{Ff}			
0.125	86.85±0.33	4.01±0.75 ^{Ee}	Y=7.7711+5.6695x r=0.96	EC ₅₀ :0.3245	0.2758~0.3818
0.25	84.74±0.70	6.34±1.23 ^{Dd}			
0.5	5.19±0.65	94.26±0.75 ^c			
1	2.00±0.74	97.79±0.82 ^b		EC ₉₅ :0.6329	0.5432~0.7375
2	0	100 ^a			

2.4 香芹酚对指状青霉菌菌丝形态的影响

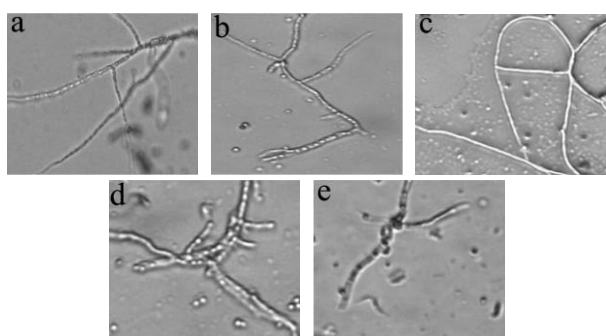


图 1 香芹酚对指状青霉菌菌丝形态的影响

Fig.1 Effect of carvacrol on the morphology of *Penicillium digitatum*

注: a 为对照处理; b 为 0.125 mg/mL 香芹酚处理; c 为 0.25 mg/mL 香芹酚处理; d 为 0.5 mg/mL 香芹酚处理; e 为 1.0 mg/mL 香芹酚处理。

本试验用显微镜观察经香芹酚处理 2 d 后的指状青霉菌菌丝形态 (图 1), 对照组的菌丝细长平滑, 表面平整 (图 1a), 经不同浓度香芹酚处理过的指状青霉菌菌丝都呈现出不同的形态。处理浓度为 0.125 mg/mL 时, 菌丝表面较为平滑 (图 1b); 处理浓度为 0.25 mg/mL (MFC) 时, 菌丝表面凸起, 相互缠绕 (图 1c); 处理浓度为 0.5 mg/mL 时, 菌丝膨大缠绕, 有部分中空分支增多 (图 1d); 处理浓度为 1.0 mg/mL 时, 菌丝缠绕扭结, 表面皱缩, 菌丝大部分空腔 (图 1e)。

2.5 香芹酚对指状青霉菌细胞膜渗透性的影响

菌体细胞质膜形成一道屏障, 可允许 K⁺、Na⁺、H⁺ 等小分子物质通过, 这些小分子在维持胞膜功能、酶活性和菌体正常代谢方面起到至关重要的作用。这种对小分子物质的渗透作用受控于膜结构和成分^[13]。

由图 2 可看出, 随香芹酚处理时间的延长, 经不同浓度处理的指状青霉相对电导率都呈先上升后下降

趋势, 但都显著大于对照组。说明香芹酚破坏了病原菌的细胞膜, 使细胞膜的稳定性发生变化, 致使通透性增强, 菌体内的电解质渗出, 使营养液电导率升高。处理的浓度越高, 相对电导率值的最大值越大, 这与 Yang^[14] 等在研究提取物对意大利青霉菌抑菌机理中有相似结论。相对电导率最大值出现的时间与处理浓度有关, 0.125 mg/mL 处理的先达到峰值, 随后电导率逐渐降低, 其他不同浓度处理在达到峰值后也都下降。

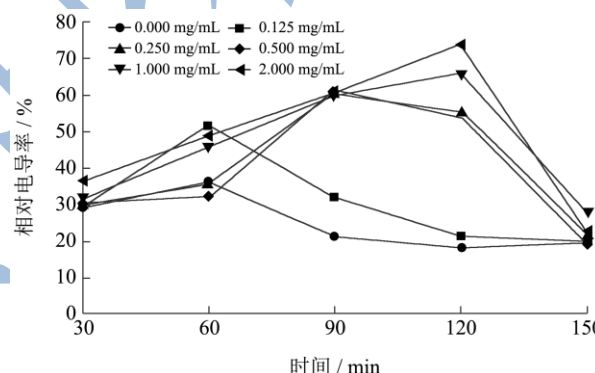


图 2 香芹酚对指状青霉菌细胞膜渗透性的影响

Fig.2 Effect of carvacrol on cell membrane permeability of *Penicillium digitatum*

2.6 香芹酚对指状青霉菌可溶性糖含量的影响

由图 3 可知, 在整个培养期间, 指状青霉菌体内的可溶性糖含量随香芹酚处理浓度的升高呈下降趋势。对照组可溶性糖含量为 0.77%, MIC 浓度 (0.125 mg/mL) 处理后含量为 0.70%, 经 1.0 mg/mL 和 2.0 mg/mL 浓度处理后其含量分别只有 0.47% 和 0.44%。各不同浓度处理均与对照组差异极显著 (p<0.01), 说明一定浓度的香芹酚可以使指状青霉菌菌体内的含糖量降低, 能抑制菌体生长。不同处理之间也存在极显著差异, 表明在一定范围内, 增大香芹酚浓度, 能更好的抑制病原菌生长繁殖, 增强抑菌作用。与周梦娇

[12]等在研究桂枝对柑橘病原真菌的抑菌机理时结果相似。

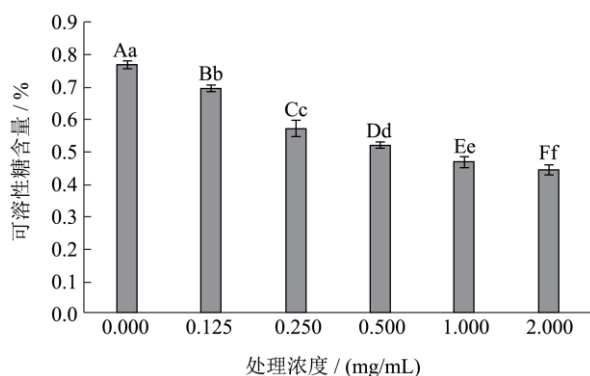


图3 香芹酚对指状青霉菌可溶性糖含量的影响

Fig.3 Effect of carvacrol on soluble sugar content of *Penicillium digitatum*

3 结论

本试验研究结果初步表明,江香薷活性成分香芹酚对指状青霉菌有较明显的抑菌作用。香芹酚可有效降低指状青霉菌的孢子萌发率,影响菌丝正常生长形态,增加菌体细胞膜的渗透性,减少菌体内可溶性糖含量,且香芹酚一定浓度范围内,增大处理浓度,能更加有效抑制孢子萌发,降低营养物质含量,从而提高对病原菌的抑菌作用。其抑菌机理主要可能是,一定浓度的香芹酚可以破坏菌体细胞膜的结构成分,使菌体内电解质渗出,影响菌体正常生长代谢,并且处理后可降低微生物必需营养物质可溶性糖含量,导致病原菌无法满足生命代谢活动所需的能量,从而有效抑制指状青霉菌生长。江香薷内含抑菌成分,是天然植物杀菌剂,具有很好的利用价值和开发前景,研究其活性成分香芹酚对指状青霉菌的抑菌机理,为其在柑橘采后保鲜贮藏方面的应用提供一定参考。

参考文献

- [1] Ncama K, Magwaza L S, Mditshwa A, et al. Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 16: 157-167
- [2] Zhang M, Xu L, Zhang L, et al. Effects of quercetin on postharvest blue mold control in kiwifruit [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 228: 18-25
- [3] Gong T, Li C, Bian B, et al. Advances in application of small molecule compounds for extending the shelf life of perishable horticultural products: A review [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 230: 25-34
- [4] 苗琦,方文娟,张晓毅,等.江香薷化学成分及药理作用研究

进展[J].江西中医药大学学报,2015,27(2):117-120

- MIAO Qi, FANG Wen-juan, ZHANG Xiao-yi, et al. The research progress of *M. chinensis-jiangxiangru*'s chemical components and pharmacological effects advances in studies on chemical constituents and pharmacological effects of *elsholtzia chinensis* [J]. Journal of Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, 2015, 27(2): 117-120
- [5] 李知敏,孙彦敏,王妹,等.江香薷不同极性提取物的抗菌活性研究[J].食品工业科技,2014,35(16):115-116,120
- LI Zhi-min, SUN Yan-min, WANG Mei. Study on bacteriostatic activity of *Mosla chinensis* 'Jiangxiangru' extracts [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(16): 115-116,120
- [6] 李知敏,王妹,彭亮.江香薷挥发油的化学成分分析及其对金黄色葡萄球菌生物被膜的抑制作用[J].食品科学,2016, 37(14):138-143
- LI Zhi-min, WANG Mei, PENG Liang. Chemical composition analysis of essential oil from *Mosla chinensis* Maxim. cv. Jiangxiangru and inhibitory activity of the oil and its major constituents on biofilm formation of *staphylococcus aureus* [J]. Food Science, 2016, 37(14): 138-143
- [7] 王双辉,罗林,罗丽娟,等.香芹酚和丁香酚对杨梅致病菌的抑菌作用[J].湖南农业科学,2017,46(3):63-65
- WANG Shuang-Hui, LUO Lin, LUO Li-juan, et al. Inhibition effects of carvacrol and eugenol on bayberry pathogens [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2017, 46(3): 63-65
- [8] Zhou D, Wang Z, Li M, et al. Carvacrol and eugenol effectively inhibit *Rhizopus stolonifer* and control postharvest soft rot decay in peaches [J]. Journal of applied microbiology, 2018, 124(1): 166-178
- [9] 安永学,董芳.5%香芹酚对辣椒白粉病的防治效果[J].兰州交通大学学报,2016,35(4):162-164
- AN Yong-xue, DONG Fang. Control effect of 5% carvacrol SL on powery mildew of pepper [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2016, 35(4): 162-164
- [10] 杨波,王卉,孙宏元,等.香芹酚包合物对莲雾采后保鲜效果的研究[J].食品工业,2016,37(7):47-50
- YANG Bo, WANG Hui, SUN Hong-yuan, et al. Study on the effect of carvacrol inclusion complex on the preservation of postharvest wax-apple (*Syzygium samarangense*) [J]. The Food Industry, 2016, 37(7): 47-50
- [11] 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,2016,32(10):45-51
- CHEN Yu-huan, WAN Chun-peng, PENG Xuan, et al. Study

- on the mechanism of action of main antimicrobial active components of cassia twig on citrus penicillium bacteria [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(10): 45-51
- [12] 许晴晴. 香芹酚对蓝莓采后病害抑制和贮藏品质的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014
- XU Qing-qing. Effects of parsley on postharvest disease inhibition and storage quality of blueberries [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014
- [13] Sean D, Mann, Cindy M, et al. Determining the antimicrobial actions of tea tree oil [J]. *Molecules*, 2001, 6(2): 87-91
- Yang S, Liu L, Li D, et al. Use of active extracts of poplar buds against *Penicillium italicum*, and possible modes of action [J]. *Food Chemistry*, 2016, 196: 610-618

现代食品科技