

# 柑橘属植物果皮精油抑菌作用研究进展

崔佳韵, 梁建芬

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

**摘要:**柑橘属植物果皮精油主要由单萜化合物、倍半萜化合物及含氧衍生物构成。柑橘属植物果皮精油不仅安全、风味较好,还具有广谱抑菌性能,因而可以作为化学杀菌剂的天然替代物。柑橘属植物果皮精油抑菌效果同其萜烯类物质的含氧衍生物有密切关系。精油通过破坏细菌和真菌的细胞结构、影响代谢途径等方式起到抑菌效果。柑橘属植物果皮精油可广泛应用于食品保藏、果蔬真菌病害防治等方面,可采用直接添加、熏蒸或与其他抑菌手段协同使用等方法使其达到抑菌效果。综述了柑橘属植物果皮精油抑菌效果、抑菌机理以及应用等方面,为其在食品中的进一步应用提供参考。

**关键词:**柑橘属植物果皮精油; 最小抑菌浓度; 抑菌机理; 抑菌成分

**中图分类号:**TS 209   **文献标识码:**A   **文章编号:**1007-7561(2018)01-0035-05

## Research progress of antibacterial effects of citrus peel essential oils

CUI Jia - yun, LIANG Jian - fen

(College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

**Abstract:** Citrus peel essential oil is consisted of monoterpene, sesquiterpene and containing oxygen derivatives, which is not only harmless to human and has good smell, but also has antimicrobial activity as substitution of chemical bactericide. The antimicrobial effect of citrus peel essential oil is closely related to the containing oxygen derivatives in its terpenes. Citrus peel essential oil can destroy the cell structure and affect metabolic pathways to inhibit micro-organisms. Citrus peel essential oil can be used in food preservation and fungi hazard control of garden stuff by different methods, such as direct addition, fumigation or coordinated use with other methods. The antimicrobial effects, mechanisms and application of citrus peel essential oil are summarized in order to provide a reference for further application in food industry.

**Key words:** citrus peel essential oil; minimal inhibitory concentration; antimicrobial mechanism; antimicrobial components

柑橘属(*Citrus L.*)植物属芸香科柑橘亚科,原产于亚洲东南部及南部,现多种植于热带及亚热带地区,常见植物包括橙子、柚子、椪柑、柠檬等。我国是世界上栽培柑橘属植物最早的国家,有4 000多年的栽培历史,同时也是柑橘属植物重要的产地之一,栽培面积和产量都位居世界前列。柑橘属植物果实经加工或鲜食后会产生25%~40%的皮渣,可以用于提取精油、果胶、黄酮等。合理利用其皮

渣,不仅减少资源浪费、降低环境污染,还有较高的经济价值和较广阔的市场前景。

柑橘属植物果皮精油主要存在于外表皮的油包层中,约占果皮鲜重的0.5%~2%<sup>[1]</sup>。该类精油由单萜烯、倍半萜烯及含氧衍生物组成,常见的组分为萜烯类(如柠檬烯、月桂烯、松油烯、蒎烯、蒈烯等)和含氧衍生物(如柠檬醛、橙花醛、芳樟醛等),其中柠檬烯是最主要的化学成分<sup>[2]</sup>。精油常用提取方法主要有压榨法、溶剂萃取法、水蒸气蒸馏法、超临界CO<sub>2</sub>流体萃取法、微波提取法等<sup>[3]</sup>。柑橘属植物果皮精油因风味较好,并被美国FDA认证

收稿日期:2017-07-31

基金项目:国家绿肥产业技术体系(CARS-22)

作者简介:崔佳韵,1994年出生,女,硕士研究生。

通讯作者:梁建芬,1970年出生,女,副教授。

GRAS (Generally Recognized As Safe, 一般认为安全), 现已广泛应用于食品、化妆品、烟酒制品、肥皂、医药制品等行业。

研究发现柑橘属植物果皮精油具有较好的抑制细菌和真菌效果。精油可以直接作用达到抑菌效果,也可以使用熏蒸等方法通过精油蒸汽进行抑菌<sup>[4]</sup>。本文将从柑橘属植物果皮精油抑菌效果、抑菌机理以及应用等方面对其抑菌性能进行综述,为其在食品中的进一步应用提供参考。

## 1 柑橘属植物果皮精油的抑菌成分

柑橘属植物果皮精油的抑菌性能与其中化学成分的组成及含量密切相关,其成分组成及含量不仅受柑橘品种的影响<sup>[2]</sup>,还与柑橘栽培的地理位置、植株的生长阶段、生长条件及柑橘的贮藏时间有关<sup>[5]</sup>。有研究显示,随着采收期的延长,新会陈皮(种植于广东新会的柑橘属植物橘的干燥果皮)精油单萜烯类化合物含量先增加后降低,总含氧化合物含量先降低后升高,幼果与其他时期采收的橘皮差异较大<sup>[6]</sup>。近期有研究表明,随着新会陈皮贮藏年份的增加, $\beta$ -月桂烯和2-甲氨基-苯甲酸甲酯含量会增加,但其他成分未发现有显著变化<sup>[7]</sup>。

柑橘属植物果皮精油中萜烯类物质的含氧衍生物具有更好的抑菌效果。Laura E. 等<sup>[8]</sup>比较了柠檬、橙子和橘子精油抗多种细菌活性,发现橘子精油抗菌能力更强,分析三种精油成分后发现橘子精油的单萜烯含氧衍生物含量显著高于另两种,从而推测单萜烯成分含氧衍生物具有更好的抑制细菌效果。Tao N. G. 等<sup>[9]</sup>研究椪柑精油及其中的主要成分对青霉菌的抑制作用时发现,精油中含量较高的柠檬烯在精油最小抑菌浓度(MIC)对应浓度下对指状青霉菌的生长有促进作用,而精油中含量较低的萜烯类含氧衍生物反而有较好的抑菌效果。

柑橘属植物果皮精油中不同化学成分单独或协同作用会有不同的抑菌效果<sup>[9-10]</sup>。王华等<sup>[11]</sup>研究柑橘精油对青霉菌的抑制作用,结果表明,0.04% (*v/v*) 柠檬醛和0.107% (*v/v*)  $\beta$ -芳樟醇能显著抑制菌核青霉菌丝体生长,而0.16% (*v/v*) 辛醛和0.06% (*v/v*) 壬醛对青霉菌丝体生长有轻微促进作用。Perez-Alfonso C. O. 等<sup>[12]</sup>研究发现香芹酚和麝香草酚混合物( $V_{\text{香芹酚}}:V_{\text{麝香草酚}}=4:1$ )对指状青霉菌和意大利青霉菌的抑制作用效果要强于两个物质分别单独作用的效果。陶能国等<sup>[13]</sup>研究发现柠

檬醛和辛醛混合物( $V_{\text{柠檬醛}}:V_{\text{辛醛}}=4:1$ )抑制指状青霉MIC为0.25% (*v/v*),其中辛醛有效浓度为0.05% (*v/v*),柠檬醛有效浓度为0.2% (*v/v*),均小于其各自单独作用时的MIC[分别为0.063% (*v/v*) 和0.25% (*v/v*)]。这些结果说明精油中不同物质混合会产生协同的抑菌作用,这可能是由于不同成分具有不同的分子性质,抑菌效果作用靶点和机理不同。

## 2 柑橘属植物果皮精油的抑菌效果

柑橘属植物果皮精油及其常见组分,如柠檬烯、柠檬醛、辛酸等,对细菌和真菌都有较好的抑制作用。评价其抑菌性能常用MIC来表示,目前MIC尚未形成固定的定义。常见定义主要有三种,即可以抑制接种物发生可见生长的最低浓度<sup>[14]</sup>,保持或降低接种物的生存力的最低浓度<sup>[15]</sup>,杀死90%以上的初始接种物的精油浓度<sup>[16]</sup>。评价指标和评价方式不同,精油抑菌效果的实验结果可能也不同。

常见评价精油MIC的方法有滤纸片法、琼脂稀释法和肉汤稀释法。滤纸片法中起主要抑菌效果的是水溶性成分,其次是在琼脂表面沉积的其他挥发性成分<sup>[17]</sup>,这种方法得到的结果还与培养基厚度、接菌量等有关,结果不适合定量。琼脂稀释法是将菌接种至溶有精油的培养基,以观察不到细菌可见生长时的最低精油浓度为MIC<sup>[9-10]</sup>。肉汤稀释法通过光密度、目视浑浊度或培养计数来得到MIC<sup>[14,18-19]</sup>,也可通过加入氯化三苯基四氮唑来反应微生物的抑制效果<sup>[6]</sup>。评价MIC时最主要的问题是柑橘精油具有疏水性,因此要使用乳化剂或有机试剂来辅助其溶于培养基。常用的乳化剂有吐温20和吐温80,常用有机试剂有丙酮、二甲基亚砜等<sup>[20]</sup>,但乳化剂或有机试剂的添加可能会影响精油的抑菌效果,有研究发现吐温80可以保护增生性李斯特单胞菌抵抗精油的抑菌效果<sup>[21]</sup>。

### 2.1 柑橘属植物果皮精油抑制细菌效果

柑橘属植物果皮精油对常见革兰氏阴性菌和革兰氏阳性菌都具有较好的抑制作用。Luca S. 等<sup>[22]</sup>采用肉汤二倍稀释法研究了柚子、葡萄柚、橙子、金橘、柑橘、柠檬6种柑橘属植物果皮精油对食源性病原菌(43株增生李斯特单胞菌、35株金黄色葡萄球菌和14株沙门氏菌)的抑制作用,结果发现6种精油均对革兰氏阳性菌更有效,其中抑菌效果最好的是柠檬精油对沙门氏菌,其MIC为0.0019% (*v/v*)。Chanthaphon S. 等<sup>[23]</sup>采用微量肉汤稀释法

研究发现,柑橘皮精油有较好的广谱抗革兰氏阳性菌活性,对金黄色葡萄球菌、蜡状芽孢杆菌、增生李斯特单胞菌等都有较好的抑制作用。

研究人员还对柑橘属植物果皮精油中主要化合物的单一组分的抑菌效果进行了研究。李巧巧等<sup>[24]</sup>采用滤纸片扩散法研究发现,柑橘精油的主要成分 D-柠檬烯对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌三种细菌的 MIC 为 0.05% ~ 0.1% (v/v)。Fisher K.<sup>[25]</sup>等发现柑橘精油的成分芳樟醇和柠檬醛可抑制空肠弯曲杆菌、大肠杆菌 O157、单核细胞增生李斯特氏杆菌、蜡状芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌,其中芳樟醇 MIC 为 0.06% ~ 0.125% (v/v), 柠檬醛 MIC 为 0.03% ~ 0.06% (v/v)。

## 2.2 柑橘属植物果皮精油抑制真菌效果

柑橘属植物果皮精油对霉菌有较好的抑制作用。Viuda - Martos M.<sup>[10]</sup>等使用琼脂稀释法研究了柠檬精油、柑橘精油、葡萄柚精油和橙子精油对黑曲霉、黄曲霉、产黄青霉和青霉菌的抑制作用,结果发现所有精油都显示出较好的抑制霉菌活性。橙子精油对黑曲霉抑制效果最好,柑橘精油对黄曲霉抑制效果最好。

柑橘属植物果皮精油对其他类型真菌也有较好的抑制作用。Chutia M. 等<sup>[26]</sup>研究发现柑橘精油对烟草赤星病菌、立枯丝核菌、尖孢镰孢菌几种植物病原真菌都具有抑制作用,并得到对前两种真菌的 MIC 分别为 0.2% (v/v), 对后一种真菌的 MIC > 0.2% (v/v)。李悦<sup>[27]</sup>等采用滤纸片扩散法研究发现柑橘类水果柑桔、柠檬、葡萄柚精油对酵母菌具有较好的抑制作用, MIC 分别为 2% (v/v)、1% (v/v)、2% (v/v)。王华<sup>[11]</sup>采用污染食品技术法研究了椪柑精油对指状青霉菌丝体的抑制作用及对孢子萌发的抑制作用,结果发现精油体积分数高于 5% 时,对孢子萌发和菌丝体生长均表现出较强的抑制作用。

## 3 柑橘属植物果皮精油的抑菌机理

关于柑橘属植物果皮精油的抑菌机理,目前尚未有完整的理论,对于其中的分析主要集中在精油成分对微生物细胞结构的破坏及对代谢途径的影响两方面。

研究发现,柑橘属植物果皮精油会破坏真菌和细菌的细胞结构,导致其表面形态学发生变化<sup>[9,28]</sup>。Fisher K. 等<sup>[28]</sup>在观察柑橘精油对肠球菌的作用时发现肠球菌的表面会发生变化,出现凹陷。Tao N.

G. 等<sup>[9]</sup>通过扫描电子显微镜观察椪柑精油对指状青霉和意大利青霉表面形态的影响,发现二者菌丝体会出现不规则分支、受到破坏。

柑橘属植物果皮精油对微生物细胞结构具有破坏作用,一方面是因为其组分大多数为脂溶性,可以渗透微生物的细胞壁和细胞膜<sup>[6]</sup>,导致细胞膜稳定性、完整性发生改变,另一方面是因为它会干扰细胞膜成分的合成。Khan A. 等<sup>[29]</sup>研究发现圣罗勒精油会破坏真菌细胞膜麦角固醇的生物合成,从而影响细胞膜的完整性。不同种微生物细胞膜和细胞壁结构不同,受精油抑制程度也不同。一般来说,革兰氏阳性菌比革兰氏阴性菌对精油敏感度更高,这就与二者细胞壁结构不同有关,革兰阴性菌细胞膜成分更复杂<sup>[22]</sup>。但也有研究认为,精油对革兰阴性菌的作用具有一定的时间推迟性,足够的作用时间下精油对革兰阴性菌和革兰阳性菌的作用效果相同<sup>[25]</sup>。

膜稳定性和完整性被破坏,渗透性也会发生变化,会诱导细胞内容物渗出<sup>[30]</sup>。细胞膜的完整性破坏、膜内外离子稳态遭到破坏,微生物物质转运、细胞毒素合成等都受到影响<sup>[31]</sup>,从而影响微生物的正常生命活动。Tao N. G. 等<sup>[9]</sup>发现椪柑精油典型抗菌成分柠檬醛会破坏意大利青霉菌细胞膜,改变其流动性、增加其通透性,导致细胞内容物渗出。

柑橘属植物果皮精油还能作用于真菌线粒体膜,改变其渗透性、流动性和膜结构<sup>[32]</sup>,进而可能会影晌真菌呼吸链,影响真菌细胞代谢途径。Jing G. X. 等<sup>[33]</sup>选取橘皮精油中已有抗菌功效的成分柠檬醛,研究其对指状青霉菌线粒体的作用,结果表明柠檬醛对指状青霉菌线粒体有损害作用,损害了指状青霉菌电子传递链,并对 TCA 循环有抑制作用。陶能国等<sup>[34]</sup>进一步研究发现柠檬醛不仅对 TCA 有抑制作用,同时对 EMP 途径也有影响,会降低己糖激酶活性,增加 6-磷酸果糖激酶和丙酮酸激酶活性,增加葡萄糖和丙酮酸含量。

## 4 柑橘属植物果皮精油的抑菌应用

柑橘属植物果皮精油对食品中常见病原菌和腐败菌都具有很好的抑制作用,可应用于食品保藏中,延长食品货架期。将其应用于抑制真菌引起的果蔬腐烂也有很好的前景,可用于控制果蔬真菌疾病或代替化学杀真菌剂控制果蔬采后腐败<sup>[35]</sup>。在实际应用中,使用精油进行抑菌的方式随产品特性、添加目的的不同而有所差别。除了单独添加柑橘属植物果皮精油进行抑菌,还可将其与其他方法

协同使用,从而达到更好的抑菌效果。

柑橘属植物果皮精油可应用于多种食品的保藏过程中。Mahamoud B. S. M.<sup>[36]</sup>等研究发现柠檬醛和芳樟醇对鲤鱼皮、鳃、肠道中分离得到的微生物有抑制作用,其中2%(*v/v*)的芳樟醇对这些微生物就有很有效的抑制作用,1%(*v/v*)的柠檬醛就可以起到良好的抑制作用。Salim - ur - Rehaman等<sup>[37]</sup>研究发现,将柑橘果皮精油喷洒在面包切片上可以起到很好的抑制霉菌和细菌生长的效果,从而延长面包保质期。

柑橘属植物果皮精油对多种果蔬致病真菌都有抑制作用。Chutia M. 等<sup>[26]</sup>研究发现柑橘精油对烟草赤星病菌、立枯丝核菌、曲霉菌、尖孢镰孢菌和米曲霉菌5种植物病原真菌都具有抑制作用。Danial L. R. Simas等<sup>[2]</sup>研究发现几种柑橘属植物果皮精油对青霉菌、绿色木霉和灰葡萄孢三种典型水果采后致病真菌都有抑制作用,对灰葡萄孢的抑制效果最好。

柑橘属植物果皮精油在实际应用中有很多施加方式。常见且简单的方式是直接添加到食品中或喷洒在食品表面起到抑菌效果,但柑橘属植物果皮精油成分大多具有挥发性,且表现较好抑菌效果的萜烯类氧化衍生物是香气活性物质<sup>[38]</sup>,直接在食品中添加精油进行抑菌会影响食品的感官品质<sup>[37]</sup>。近年来,为避免直接向食品中加入精油,研究了其他方式对食品中有害细菌进行控制,如将柑橘属植物果皮精油用作洗涤剂、使用其抑制食品包装上微生物生长、用精油蒸汽代替直接使用液态精油抑制食品细菌生长或将作用于食品原材料等方式。Chia M. L. 等<sup>[39]</sup>发现橘皮精油作为洗涤剂对接种在不锈钢和塑料样品表面的副溶血弧菌、鼠伤寒沙门氏菌和大肠杆菌都有抑制作用,研究说明可以将橘皮精油用作食品包装表面杀菌剂来代替直接使用在食品上,从而避免交叉感染,也减小对食品感官品质的影响。由于高浓度的柑橘属植物果皮精油对食品感官会产生影响,Maria J. V. 等<sup>[4]</sup>研究了橘皮蒸汽对黄曲霉的抑制作用,结果表明相比直接添加液态精油,在密闭环境中使用气相橘皮精油对黄曲霉具有更有效的抑制作用。这个结果说明可以选择熏蒸等方法使精油达到抑菌效果,尽可能减少其对食品感官品质的影响。

柑橘属植物果皮精油和热处理、冷冻处理等多种手段协同使用均可起到较好的抑菌效果。Laura E. 等<sup>[8]</sup>研究发现,轻微热处理(54℃)和精油联合

使用,抗菌性大大增加,因而可以将精油抑菌应用于杀菌技术中,代替传统高热杀菌方法,降低对食品感官品质和营养品质的破坏。Cressy H. K. 等<sup>[21]</sup>研究发现冷冻处理和精油联合使用后可以更显著地降低增生性李斯特单胞菌细胞的数量。Rojas - Grau M. A. 等<sup>[40]</sup>研究发现将橘皮精油成分——柠檬醛加入到苹果的海藻酸钠可食膜后对大肠杆菌O157:H7具有抑制作用,且可食性涂膜的水蒸气和氧气渗透性能并没有发生明显改变。

## 5 展望

柑橘属植物果皮精油作为一种天然抗菌剂,不仅来源广泛、而且安全有效,因而在食品工业中具有广泛应用,但其在食品中的应用还存在一些局限性。柑橘属植物果皮精油具有较强烈的果皮香气,常常在MIC下就会对食品感官产生不利影响,因而还需要研究合理方式,在不影响食品感官品质的同时使其达到抑菌效果。此外,对其抑菌性的机理研究大多是假设,并未完全确定,因而对其还需要进一步研究。为使柑橘属植物果皮精油能够安全应用于食品中达到抑菌功效,还应该进一步研究其作用于食品的方式、剂量、安全性、对肠道微生物的作用等。

## 参考文献:

- [1] 沈妍,傅瑜,陈健初,等. 柑橘精油在食品中的抗菌应用[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 315-318.
- [2] Simas D L R, Silésia H B M, Goulart R V, et al. Citrus species essential oils and their compounds can inhibit or stimulate fungal growth in fruit[J]. Industrial Crops and Products, 2017, 98: 108-115.
- [3] 徐任生. 天然产物化学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 166-167.
- [4] Maria J V, Raul A, Enrique P, et al. Antifungal activity of orange (*Citrus sinesis* var. *Valencia*) peel essential oil applied by direct addition or vapor contact[J]. Food Control, 2013, 31: 1-4.
- [5] Moreira M R, Ponce A G, del Valle C E, et al. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a foodborne pathogen[J]. Food Science and Technology, 2006, 38(5): 565-570.
- [6] 王坚. 柑橘属常用中药材陈皮—青皮次生代谢产物之挥发油成分研究[D]. 成都: 成都医药大学, 2013.
- [7] 胡继藤,赵志敏,唐铁鑫,等. 不同贮藏年份新会陈皮中挥发性成分含量变化[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(9): 62-65.
- [8] Laura E, Maria S, Susana L, et al. Chemical composition of commercial citrus fruit essential oils and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes[J]. Food Control, 2011, 22: 896-902.
- [9] Tao N G, Jia L, Zhou H. Anti-fungal activity of *Citrus reticulata* Blanco essential oil against *Penicillium italicum* and *Penicillium digitatum*[J]. Food Chemistry, 2014, 153: 265-271.
- [10] Viuda - Martos M, Ruiz - Navajas Y, Perez - Alvarez J. Antifungal activity of lemon (*Citrus lemon* L.), mandarin (*Citrus reticulata*

- L.) , grapefruit (*Citrus paradise* L.) and orange (*Citrus sinensis* L.) essential oils[J]. *Food Control*, 2008(19): 1130–1138.
- [11]王华,陶能国,王长锋. 柚柑精油对指状青霉的抑制作用[J]. 食品科学, 2012, 33(13): 130–133.
- [12]Perez-Alfonso C O, Martinez-Romero D, Zapata P J, et al. The effects of essential oils carvarol and thymol on growth of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* involved in lemon decay[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2012, 158(2): 101–106.
- [13]陶能国,段小芳,凡风,等. 柠檬醛和辛醛混合物对指状青霉菌的抑制作用[J]. 现代食品科技, 2015, 31(6): 73–77.
- [14]Delaquis P J, Stanich K, Girard B, et al. Antimicrobial activity of individual and mixed fractions of dill, cilantro, coriander and eucalyptus essential oils[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, 74: 101–109.
- [15]Carson C F, Cookson B D, Farrell H D, et al. Susceptibility of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* to the essential oil of *Melaleuca alternifolia*[J]. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 1995, 35: 421–424.
- [16]Canillac N, Mourey A. Antibacterial activity of the essential oil of *Picea excelsa* on *Listeria*, *Staphylococcus aureus* and coliform bacteria[J]. *Food Microbiology*, 2001, 18: 261–268.
- [17]Inouye S, Uchida K, Maruyama N, et al. A novel method to estimate the contribution of the vapor activity of essential oils in agar diffusion assay[J]. *Japanese Journal of Medical Mycology*, 2016, 47(2): 91–98.
- [18]Luca S, Eristanna P, Valeria G, et al. Inhibition of foodborne pathogen bacteria by essential oils extracted from citrus fruits cultivated in Sicily[J]. *Food Control*, 2012, 26: 326–330.
- [19]李凤清. 植物精油的抑菌评价及其应用[D]. 南京:南京师范大学, 2014.
- [20]Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2004, 94(3): 223–253.
- [21]Cressy H K, Jerrett A R, Osborne C M, et al. A novel method for the reduction of numbers of *Listeria monocytogenes* cells by freezing in combination with an essential oil in bacteriological media[J]. *Journal of Food Protection*, 2003, 66 (3): 390–395.
- [22]Luca S, Eristanna P, Valeria G, et al. Inhibition of foodborne pathogen bacteria by essential oils extracted from citrus fruits cultivated in Sicily[J]. *Food Control*, 2012, 26: 326–220.
- [23]Chanthaphon S, Chanthachum S, Hongpattarakere T. Antimicrobial activities of essential oils and crude extracts from tropical *Citrus* spp. against food – related microorganisms [J]. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 2008, 30: 125–131.
- [24]李巧巧,雷激,唐洁,等. 商品柑橘精油的抑菌性及其应用研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 160–162.
- [25]Fisher K, Phillips C. The effect of lemon, orange and bergamot essential oils and their components on the survival of *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus* in vitro and in food systems[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2006, 101(6): 1232–1240.
- [26]Chutia M, Deka B P, Sarma T C, et al. Antifungal activity and chemical composition of *Citrus reticulate* Blanco essential oil against phytopathogens from North East India[J]. *Food Science and Technology*, 2009, 42: 777–780.
- [27]李悦,候海滨,赵婧. 柑橘类精油抗菌活性的研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(6): 190–192.
- [28]Fisher K, Phillips C. Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer? [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2008, 19: 156–164.
- [29]Khan A, Ahmad A, Akhtar F, et al. *Ocimum sanctum* essential oil and its active principles exert their antifungal activity by disrupting ergosterol biosynthesis and membrane integrity[J]. *Research in Microbiology*, 2010, 161: 816–823.
- [30]Zheng S J, Jing G X, Wang X, et al. Citral exerts its antifungal activity against *Penicillium digitatum* by affecting the mitochondrial morphology and function[J]. *Food Chemistry*, 2015, 178: 76–81.
- [31]Souza E L, Barros J C, Oliveira C E V, et al. Influence of *Origanum vulgare* L. essential oil on enterotoxin production, membrane permeability and surface characteristics of *Staphylococcus aureus*[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2010; 137, 308–311.
- [32]Tao N G, Oyang Q L, Jia L. Citral inhibits mycelial growth of *Penicillium italicum* by a membrane damage mechanism[J]. *Food Control*, 2014, 41: 116–121.
- [33]Jing G X, Tao N G, Zhou H. Influence of terpineol on the growth and morphogenesis of *Penicillium digitatum*[J]. *Botanical Studies*, 2015, 56: 35.
- [34]陶能国,郑世菊,敬国兴,等. 柠檬醛对指状青霉糖酵解的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(12): 172–176.
- [35]Fan F, Tao N G, Jia L, et al. Use of citral incorporated in post-harvest wax of citrus fruit as a botanical fungicide against *Penicillium digitatum*[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 90: 52–55.
- [36]Mahmoud B S M, Yamazaki K, Miyashita K, et al. Bacterial microflora of carp (*Cyprinus carpio*) and its shelf – life extension by essential oil compounds[J]. *Food Microbiology*, 2004, 21 (6): 657–666.
- [37]Salim-ur-Rehaman, Sarfraz H, Haq N. Inhibitory effect of citrus peel essential oils on the microbial growth of bread[J]. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2007, 6(6): 558–561.
- [38]Jorry D, Stefan K, Praveena S, et al. Evaluation of aroma – active compounds in pontianak orange peel oil(*Citrus nobilis* Lour. Var. *microcarpa* Hassk.) by Gas Chromatography – Olfactometry, Aroma Reconstitution, and Omission Test[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57, 239–244.
- [39]Chia-Min L, Shane-Rong S, Shu-Chen H, et al. Determination bactericidal efficacy of essential oil extracted from orange peel on the food contact surfaces[J]. *Food Control*, 2010, 21: 1710–1715.
- [40]Rojas-Grau M A, Avena-Bustillos R J, Olsen C, et al. Effect of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate – apple puree edible films[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 81(3): 634–641. 