

# 植物精油在包装领域的研究应用进展

李莫涵, 焦利勇\*

(大连工业大学轻工与化学工程学院, 辽宁大连 116034)

**摘要:** 近年来, 人们对在食品中使用天然抗菌剂代替化学防腐剂的兴趣日益增加。就此而言, 精油这种具有挥发性且安全无害的天然植物次生代谢产物无疑将会在食品功能包装领域得到广泛的研究和应用。目前大量研究表明, 加入精油后的食品包装可增强食品的抗菌和抗氧化活性、减缓酶促褐变、改变食品周围的气体环境以及水蒸气渗透等效果。本文特以此为切入点, 介绍了植物精油的生物学效应, 以及植物精油作为一种活性成分在当前的研究、开发和应用。因此, 开发植物精油用作生物基食品包装, 将精油本身与纳米乳液纳入活性或智能包装中, 加入到产品或包装表面涂层、充入气调包装中、在包装内添加小袋和加入到包装膜上等, 无疑可以用来改善产品品质的影响, 减少食品行业的浪费。该研究还涵盖了植物精油在食品包装中的常见技术应用, 如可降解的生物薄膜、微胶囊包埋、纳米乳液和静电纺丝等, 以期植物精油在包装领域的应用提供新途径。

**关键词:** 植物精油; 功能包装; 抗菌活性; 抗氧化性

文章编号: 1673-9078(2023)10-341-348

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.10.0934

## Application of Plant Essential Oils in Packaging

LI Mohan, JIAO Liyong\*

(College of Light Industry and Chemical Engineering, Dalian Polytechnic University and Chemical Engineering,  
Dalian 116034, China)

**Abstract:** Recently, using natural antibacterial agents instead of chemical preservatives in foods has garnered increasing attention. Accordingly, essential oils have been widely studied and applied in the functional packaging of food products as these liquid secondary plant metabolites are volatile, natural, and safe. Several studies have shown that, following the addition of essential oils, food packaging can enhance the antibacterial and antioxidant activities of foods and slow enzymatic browning; moreover, it alters the gaseous environment surrounding the food product and reduces water vapor penetration. This article introduces the biological mechanisms of plant essential oils and summarizes the current research, development, and applications regarding their utilization as an active ingredient. Indeed, myriad applications of essential oils have been shown to improve product quality and reduce associated waste: use in food packaging; introduction to active or intelligent packaging; addition to the surface coating of products or packaging; filling atmosphere packaging; introduction of small packaging bags to ordinary packaging; addition to packaging films. The common techniques used in plant essential oil application, including biodegradable biofilms, microcapsules, nanoemulsions, and electrospinning, are also described. The primary aim of this article was to provide a resource to inform the development of new applications of plant essential oils in the packaging field.

**Key words:** plant essential oil; functional packaging; antibacterial activity; antioxidant activity

引文格式:

李莫涵, 焦利勇. 植物精油在包装领域的研究应用进展[J]. 现代食品科技, 2023, 39(10): 341-348

LI Mohan, JIAO Liyong. Application of plant essential oils in packaging [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(10): 341-348

近年, 包装食品的消费量大幅上升。在全球包装食品市场中以 5% 的年增长率增长, 从 2020 年的价值为 1.9 万亿美元, 预计到 2030 年将达到 3.4 万亿美元<sup>[1,2]</sup>。

收稿日期: 2022-07-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1830127)

作者简介: 李莫涵 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 绿色包装材料、食品包装, E-mail: 18340822356@163.com

通讯作者: 焦利勇 (1973-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 绿色包装材料的研发、智能包装和食品包装, E-mail: jiaoly@dlpu.edu.cn

食品包装能够保持食品质量安全, 提高食品的保质期, 防止食品浪费, 同时避免在食品供应链中可能出现的污染<sup>[3]</sup>。包装除作为屏障的功能外, 还创造了食品和消费者之间的媒介, 提供食品的基本信息并为消费者提供产品的第一印象。尽管传统的塑料基包装有这些好处, 人们仍然担心其在食品包装中的整个生命周期和对环境的影响, 对人体健康也带来不可低估的危害<sup>[4]</sup>。因此, 开发食品功能包装的需求日益增加, 绿色包装材料已成为当前的研究热点, 抗菌抗氧化的可

降解活性包装技术<sup>[5]</sup>, 含标签指示剂、信息溯源的智能包装技术相继而至<sup>[6]</sup>。

天然植物精油是一种有特殊香味且富含酚类和醛酮类物质, 具有穿透力强、分子质量低、抑菌效果好、易于吸收和不易产生耐药性等特性<sup>[7]</sup>。较传统化学类抗氧化剂而言, 天然植物精油对人体造成潜在危害的副作用小, 被认为是人工食品添加剂的合适替代品, 常以调味料和防腐剂等应用于食品工业生产, 在食品包装领域更是有着不俗的应用<sup>[1,2]</sup>。迄今为止, 植物精油在抗菌和保鲜包装方面的应用已得到广泛关注。食品行业的研究者正试图将成分和功能多样的精油作为活性包装成分混合到聚合物基质中, 通过控制活性成分释放的方式来延长其作用的时间, 从而达成制备一种新的活性包装材料

料并将其成功应用于实际工业化的目的。

因此, 本文综述了近年来有关植物精油用于食品领域的研究, 并且按基本性质进行了分类, 重点介绍了植物精油在包装中的应用。最后对植物精油在包装中的应用的未来研究方向进行了展望。

1 植物精油的概述

植物精油也称为挥发油, 是一种从植物的根、叶、果实等部位提取的次生代谢产物, 由亲脂性和高挥发性化合物的复杂混合物组成。其大致含有 20~60 种不同的化学成分<sup>[8]</sup> (表 1), 具有强挥发性和芳香味。其中, 萜类化合物含量最多, 其次是芳香族化合物。近年来, 相关研究表明植物精油有抗氧化、抗菌等生物学活性<sup>[9]</sup>。

表 1 植物精油的主要成分<sup>[8]</sup>

Table 1 Main components of plant essential oils<sup>[8]</sup>

| 类别       | 植物精油的主要成分                                                                     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 芳香族化合物   | 苯丙烷类衍生物, 植物精油具有独特的芳香气味能祛邪和扶正功效, 如玫瑰油中的苯乙醇, 互叶白千层茶树精油的 4-异丙基甲苯 <sup>[10]</sup> |
| 萜类衍生物    | 按其基本结构, 可以分为三类: 熏衣草烯等单萜衍生物、油杉醇等二萜衍生物、广藿香酮等倍半萜衍生物                              |
| 含氮含硫类化合物 | 含硫存在于许多辛辣的芳香油中, 如大蒜中蒜素、茉莉、存在于玳玳油中的吲哚                                          |
| 脂肪族化合物   | 几乎所有精油中都含有小分子量化合物, 但如橘子, 香茅等精油的异戊醛含量极少, 沉香精油中的白木香树中也富含脂肪酸类物质 <sup>[11]</sup>  |

2 植物精油的基本性质

2.1 植物精油抑菌活性

微生物污染及营养物质缺失往往是造成食物腐败变质的主要因素, 且营养物质含量越高的食物就越易受到有害微生物污染<sup>[12]</sup>。微生物利用食物中的养分供给自身的生长和增殖, 引起食物的腐败变质。食用此类食物后易引起多种食源性疾病, 危害人体健康<sup>[13]</sup>。天然植物精油有较好的抑菌作用, 且对人体相对安全。因此, 探究植物精油的抗菌机制对于开发新型抑菌剂至关重要。

植物精油抗菌机理主要可分为以下四点:

(1) 植物精油能够影响细菌的能量代谢, 限制其生命活动。精油可穿透细菌菌体产生活性氧类化合物, 引起细菌呼吸、代谢紊乱及氧化损伤, 抑制 ATP 酶相关亚基的表达, 从而导致菌体死亡<sup>[14]</sup> (见图 1a)。Li 等<sup>[15]</sup>发现罗勒精油增加磷脂尾烷基链的紊乱, 对细菌呼吸代谢的抑制作用是通过  $\alpha$ -佛手柑素与磷酸果糖激酶和丙酮酸激酶的氨基酸残基间疏水作用实现的。

(2) 植物精油可破坏细菌细胞壁, 引起菌体形态改变。当细胞内外浓度差异较大时, 细胞胀破死亡<sup>[16]</sup> (见图 1b)。杜松精油对灰霉病孢子萌发和菌丝生长

的抑制呈浓度依赖性, 当其用量超过 10  $\mu\text{L/mL}$  时表现出较强的抑制作用, 使菌丝发生皱缩、扭曲和变形<sup>[17]</sup>。

(3) 植物精油能破坏细菌细胞膜结构, 通过与菌体细胞膜和线粒体中的脂质相互作用的方式增强其通透性, 使细胞内容物大量泄漏, 引起菌体死亡<sup>[14]</sup> (见图 1c)。Wang 等<sup>[18]</sup>研究表明山苍子精油破坏灰霉菌细胞膜的完整性, 导致细胞质中可溶性还原糖、蛋白质、麦角甾醇等发生变化, 随山苍子精油浓度的增加, 灰霉菌细胞膜中的麦角甾醇含量显著降低。

(4) 植物精油具有抑制 DNA 合成或造成 DNA 损伤的功能。植物精油能使菌体发生核糖体功能障碍和真菌的线粒体扰动, 从而抑制菌体生长与繁殖<sup>[19]</sup>。Wang 等<sup>[20]</sup>证实了姜科精油抑制编码细胞膜相关蛋白和 DNA 代谢相关酶的基因表达。使青霉素结合蛋白和乙酰葡萄糖胺烯醇丙酮酸还原酶基因下调。除上述机制外, 有关植物精油中的某些化合物还通过其他方式抑制菌体活性。如 Misharina 等<sup>[21]</sup>的研究表明, 香芹酚可导致菌体内钾离子外泄, 影响质子运动、ATP 合成和细胞膜的通透性。Clemente 等<sup>[22]</sup>的研究表明, 异硫氰酸类硫化物能引起菌体发生细胞周期阻滞, 使细菌形成丝状, 限制菌体的流动达到抑制其生长, 延缓腐烂的作用。

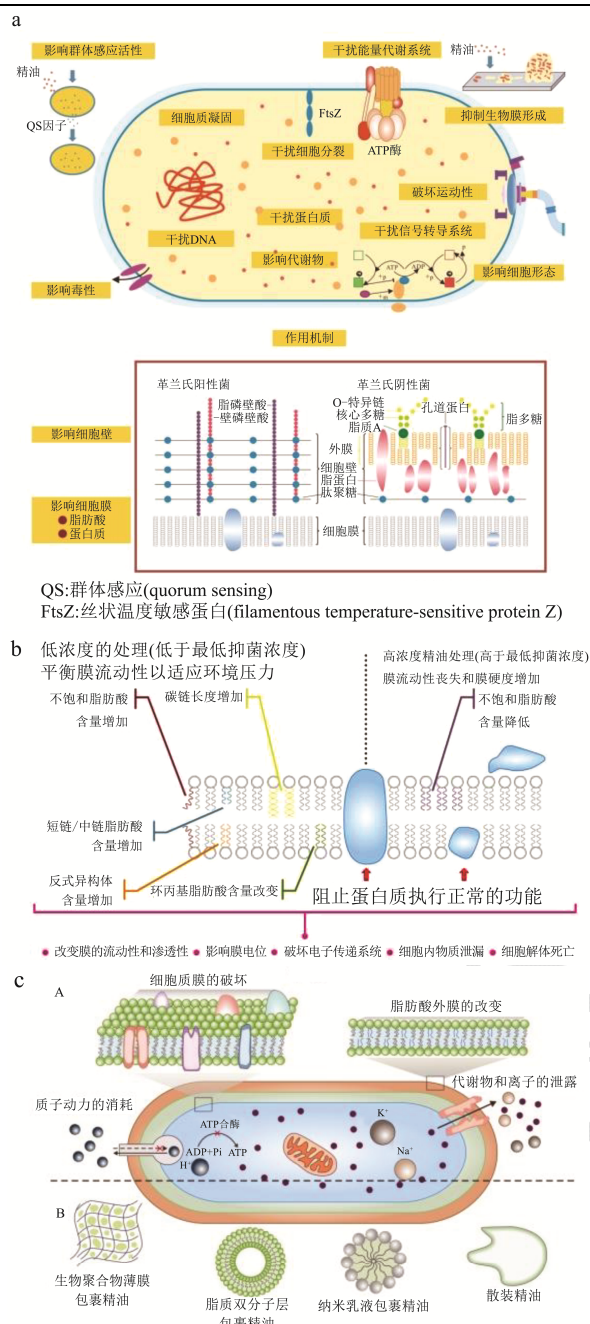


图1 (a) 植物精油对微生物的抑菌机制, (b) 植物精油对细菌细胞壁的破坏, (c) 植物精油的抑菌作用的包埋方式

Fig.1 (a) Antibacterial mechanism of plant essential oil on microorganisms, (b) Mechanism of disruption of bacterial cell wall by plant essential oils, (c) Embedding method of antibacterial effect of plant essential oil

## 2.2 植物精油抗氧化活性

食物氧化是食品降解重要的原因之一, 它会导致食物保质期变短、感官标准降低、营养价值减少和潜在有毒成分产生。在食品加工或贮藏过程中的氧化可通过颜色变化和异味的出现来识别, 而脂质的氧化并不是明显的。脂质经过缓慢氧化而腐败变质的问题使

消费者无法接受。添加适量抗氧化剂可以在相对浓度较低下阻止、改变或终止氧化反应。抗氧化包装中的一些活性物质可以增加材料的密度, 减少聚合物的孔隙率, 并通过与基体的交联反应提高阻氧性。Maria等<sup>[23]</sup>将百里香精油添加到多糖, 壳聚糖和糊精构建的凝胶薄膜中, 通过与聚合物基质形成的氢键改变了氧气的渗透路径, 百里香精油填充于基体孔隙中, 提高了凝胶薄膜的阻隔性。负载精油凝胶薄膜的弹性模量为3.00 MPa, 比不含精油的多糖薄膜(弹性模量仅为0.07 MPa)提高了40多倍。Wang等<sup>[24]</sup>发现牛至精油可以均匀分布到淀粉/聚乙烯醇基体的孔隙中, 降低了膜层的水蒸气渗透率和氧气渗透率。其次, 植物精油含有丰富的酚类物质, 包括可溶性游离态酚、不溶性结合态酚和酯化态酚。相关研究表明, 酚类物质可以减少自由基、抑制氧化应激酶活性并促进抗氧化剂发挥作用, 免疫细胞由细菌吞噬的作用产生大量活性氧, 从而降低了与炎症相关组织的氧化损伤, 具有抗氧化和抗癌等功效<sup>[25]</sup>。因此, 植物精油在开发天然高效抗氧化剂方面有着巨大的前景。

精油抗氧化的研究被国内外学者广泛报道。牛至精油能有效地清除机体有氧代谢过程中的含氧类自由基, 可调控细胞的凋亡、自噬和坏死周期, 从而对肉制品的质量产生一定的影响。同时还能直接侵入脂质、核酸、蛋白质等生物大分子, 使肉的颜色、嫩度、风味发生变化<sup>[26]</sup>。Khodaei等<sup>[27]</sup>探究了38种精油的化学成分和抗氧化性能, 对此开发了用于预测抗氧化特性的数学模型, 其拟合系数 $R^2$ 分别为0.865和0.79, 为数字化筛选具有优良抗氧化性能的精油提供了解决方案。Christaki等<sup>[28]</sup>采用精油提取物作为防腐剂和抗氧化剂加入奶酪产品中发现具有良好的抑菌效果, 可有效减少重量损失, 避免奶酪脱水。Jonušaitė等<sup>[29]</sup>对比了三种精油与丁基羟基甲苯的抗氧化能力, 结果表明两种精油对2,6-二叔丁基对甲酚的 $IC_{50}$ 和脂质过氧化抑制率相似, 当使用牛至精油和黑接骨木花提取物的组合作用的汉堡冷藏14 d后的微生物计数最低。

## 2.3 植物精油药理活性

目前, 植物精油已被广泛地用于止痛镇静剂、消炎剂、解痉药及局部麻醉, 包括驱虫、防腐、香料、防病等。此外植物精油还具有抗疲劳、抗抑郁和降低胆固醇等功效<sup>[30]</sup>。植物精油能杀死麻点璃眼蜉饥饿幼虫和饥饿成蜉, 其中可以推测植物精油较高含量的邻苯二甲酸二乙酯是趋避作用的有效成分<sup>[31]</sup>。姜科植物的提取物能够防止心肌酶的耗竭, 而且其对自由基的半抑制质量浓度分别为0.54 g/L和10.03 g/L<sup>[32,33]</sup>。软

枣猕猴桃精油能有效抑制肿瘤细胞生长, 且其抑制能力与浓度呈正相关关系<sup>[34]</sup>。在 0.60  $\mu\text{L/mL}$  用量以上的柑橘精油对肝癌细胞和结肠癌细胞的生存率都小于 15%<sup>[35]</sup>。刘慧等<sup>[36]</sup>证实, 迷迭香油中的迷迭香酸能极显著降低黑色素细胞的活性 ( $P<0.01$ ), 调整机体的氧化-抗氧化平衡, 并能有效地预防氧化性肺损伤。Hosseini 等<sup>[37]</sup>探究了大蒜和迷迭香中提取的两种精油抑制若虫菌丝生长的和分生孢子萌发特性, 其研究结果表明, 大蒜精油对该菌的杀灭效果优于迷迭香精油和药用黄蓍草精油 (对照组), 且暴露于两种精油的病原菌菌体结构的畸形表现均为菌丝萎缩、塌陷和膨胀。Lee 等<sup>[38]</sup>采用棒涂层和胶黏复合工艺, 制备含八角茴香精油和百里酚涂层的多层膜, 包装面包在 14 d 的储存中没有观察到明显真菌生长, 且在储存过程中既能阻止昆虫靠近, 又能抑制面包内微生物的生长。Kim 等<sup>[39]</sup>采用麦芽糖糊精、 $\beta$ -环糊精和聚乙烯醇对肉桂精油进行玉米淀粉基包封, 开发抗虫胶粘剂, 并将其应用于纸板包装系统, 使防虫粘合剂中的精油缓慢释放, 对白蛉虫的抑制作用可持续长达 40 d。

### 3 植物精油在包装中的应用形式

在消费者日益关注的食品及包装的时代背景下, 抵制人工和有害化学品, 满足对具有清洁和安全形象的优质食品的需求是食品行业面临的一项挑战。由于天然且无毒的形象、各种生物活性以及作为化学防腐剂的安全替代品的潜力, 植物精油在最近引起了越来越多学者的兴趣。迄今为止, 植物精油在包装行业 (保存果蔬、粮食、肉类以及其他食品) 有多种应用。也取得了一定的成果。例如: 降低化学合成添加剂相关的食品安全风险、强化食品生产中的生物和营养效应、减少使用许多影响健康相关的化学品等。因此, 在确保食品安全的前提下, 合理开发利用植物精油, 进一步开拓市场, 扩展抗菌包装的应用范围无疑是很有前景的选择。

#### 3.1 植物精油在果蔬包装中的应用

新鲜果蔬在采摘、加工、运输和储存中容易遭到微生物的污染, 导致果蔬的营养价值降低, 货架期缩短。在过去的几年中, 由于普遍消费者对通常用于控制食品中微生物生长的亚硫酸盐、合成添加剂苯甲酸或其衍生物盐的排斥, 用于食品保鲜的天然抗菌剂引起了越来越多的关注。为了提高产品的质量和安全性, 同时保持其良好的营养和感官特性, 植物精油由于其丰富的生物活性化合物来源, 在果蔬保鲜行业展现出了出色的应用潜力。

植物精油在果蔬包装中最为常用的形式有多种, 如纸基保鲜形式、膜基保鲜形式、熏蒸处理、浸泡处理等。刘光发等<sup>[40]</sup>优选出百里香精油和丁香罗勒精油, 结合聚乙烯醇制得抗菌纸, 维持了草莓感官品质、减少腐烂率和抑制菌落总数。赵亚珠等<sup>[41]</sup>也对此进行研究, 将百里香精油用在 A 型包装纸板上制作了一种具有抗菌性的纸箱, 可以使草莓的货架寿命延长 1~2 d。但是由于精油易挥发且稳定性差, 在应用过程中精油很容易在前期释放快, 导致在后期果蔬贮藏受到限制。研究表明静电纺丝技术可有效解决该问题<sup>[42]</sup>。

静电纺丝技术具有比表面积大、孔隙率高、纤维形态在纳米到微米范围内, 利于有效成分从包装膜持续释放到食品表面。Hosseini 等<sup>[43]</sup>研究发现, 迷迭香精油在静电纺醇溶蛋白纤维中的包封率均接近 100%。2.5%、5% 和 10% ( $V/V$ ) 的迷迭香精油负载的静电纺丝纤维包封率分别高达 99.5%、99.7% 和 99.3%。可作为活性食品包装涂层, 控制释放并向食品和胃肠道输送迷迭香精油。周云令等<sup>[44]</sup>研制出以羧甲基壳聚糖为外层, 以丁香罗勒精油为核心的乳液静电纺丝薄膜, 减小了车厘子的失重率和可溶性固形物含量, 有较好的保鲜作用。同时, 静电纺丝技术也存在扩大生产和安全相关的问题, 产品的产率低且静电纺丝过程需高电压, 可能对工人造成潜在危险。

在商业化背景下, 微胶囊包埋技术所需设备简单, 可用来提高精油的稳定性、水溶性以及精油的抗菌性能。Cai 等<sup>[45]</sup>采用共沉淀法制得百里香精油微胶囊包埋率为 87.61%, 释放率为 53%, 能够抑制金黄色葡萄球菌和炭疽杆菌的生长, 配合使用在食品包装中具有潜在的潜力。Cai 等<sup>[46]</sup>还证实了百里香精油微胶囊的淀粉薄膜对芒果品质和理化性质的影响, 使芒果在 25  $^{\circ}\text{C}$  下的保质期达 10 d, 证明了开发百里香精油微胶囊用于水果保鲜的潜力。精油的微胶囊包埋技术还可以使用乳化、喷雾干燥、冷冻干燥、复合凝聚和熔融挤出等不同的方法进行生产。Li 等<sup>[47]</sup>采用喷雾干燥法制备牛至精油微胶囊, 并通过熔体共混和挤压铸造法将牛至精油添加到聚乙烯膜中, 增强膜的透湿性和透气性, 有效地调节草莓的呼吸, 延缓包装中  $\text{CO}_2$  的积累和  $\text{O}_2$  的释放。宋文龙等<sup>[48]</sup>制备聚乙烯-生姜精油微胶囊的活性包装, 采用壳聚糖-明胶、生姜精油为芯材, 喷雾干燥法制得生姜精油微胶囊, 相较于对照组薄膜能有效调控包装袋中气体含量, 该产品能明显延缓秋葵的品质下降、硬度下降、丙二醛含量下降、保持其结合水分含量、延缓秋葵老化过程、保持其良好的感官品质、延长秋葵货架寿命。

### 3.2 植物精油在粮食食品的应用

消费者需要来自农业食品行业的天然、更安全、更绿色的产品,以及可持续的食品技术。然而,根据绿色化学方法,需要在满足消费者的期望和实现工业生产最大效率之间取得平衡。许多植物产品在农业食品工业中的潜在应用已经得到了广泛的研究。其中,具有高抗菌潜力、高抗氧化活性,且对不同的杂草均含有植物毒性的植物精油无疑具有巨大的应用潜力。

精油通过与多糖、蛋白和脂质相结合的可食性薄膜生成的生物可降解薄膜或利用有益成分开发复合薄膜或多组分膜应用于食品包装领域。Hossain 等<sup>[49]</sup>利用百里香和牛至精油组合成为一种生物杀虫剂,对抗储藏产品害虫。与辐照相结合控制包装大米中的稻象甲。将百里香和牛至精油加入到含壳聚糖、甲基纤维素和聚乳酸复合薄膜中,复合膜可在暴露 14 d 后形成扩展的扩散基质,导致 32%至 51%的稻象甲死亡。仅 200 灰度的辐照就造成了 79%的死亡率,当与含有牛至、百里香纳米乳剂的壳聚糖复合膜结合时,死亡率增加到 100%。

气调包装安全无毒、操作简单,在果蔬行业中广泛应用,但长期暴露在密闭环境易使果蔬表面滋长微生物。Tang 等<sup>[50]</sup>研究了气相香叶醇和柠檬醛精油和改性气调包装的联合作用,结果表明,柠檬醛和香叶醇精油与改性气调包装的联合使用( $\varphi=75\%$   $\text{CO}_2$  和  $\varphi=25\%$   $\text{N}_2$ ),可在控制谷物曲霉感染方面产生协同效应,为利用天然生物活性物质提高谷物货架期提供了一种替代保存方法。除上述技术外,Bhavya 等<sup>[51]</sup>发现罗勒精油作为粮食保护剂对储藏豆类害虫鞘翅虫的防治效果,熏蒸活性研究表明,精油的毒性受浓度和时间的影响显著( $P<0.05$ )。在不含食品的熏蒸毒性试验里,细叶荆芥精油和丁香酚的  $\text{LC}_{50}$  在 1 h 的接触分别为 278.6 和 256.5  $\mu\text{L/L}$ 。此外,细叶荆芥通过抑制乙酰胆碱酯酶活性表现出熏蒸毒性。在空气浓度为 250  $\text{L/L}$  的条件下,细叶莲子种子经处理 24 h 后,黄斑病死亡率达到了 70%。

### 3.3 植物精油在肉制品保鲜中的应用

肉类和肉制品因具有较高的水分活度、脂质和蛋白质含量,而极易腐烂。其主要腐败机制是由微生物生长引起的蛋白质变质和脂质氧化<sup>[52]</sup>(见图 2)。因此,人们正在努力确保食品安全并延长保质期的同时,开发低成本、创新、环保的包装方法。作为化学合成防腐剂清洁标签的替代品,精油无疑是最佳的选项。

植物精油肉桂<sup>[53]</sup>、丁香<sup>[54]</sup>、香菜<sup>[55]</sup>、牛至<sup>[56]</sup>、迷

迭香<sup>[57]</sup>、鼠尾草<sup>[58]</sup>、百里香<sup>[59]</sup>等作为抗微生物剂对抗肉和肉制品中的食源性致病菌和腐败菌已显示出巨大的潜力。近年来,纳米材料和纳米技术在食品保鲜中的应用日益受到重视,无机纳米材料常作为一种新兴的材料来降低包装材料的氧气透过率。Wang 等<sup>[60]</sup>采用静电纺丝技术的方法,以聚乳酸和紫苏精油为原料制备新型共混膜,发现负载 2%的紫苏精油、20 kV 电压和 640 W 超声功率的工艺条件下制备的薄膜能使冷冻鸡肉的保质期延长至 12 d。Xavier 等<sup>[61]</sup>探讨了以玉米醇溶蛋白为壁材将肉桂精油纳米胶囊化,在壳聚糖基质中应用,制成具有纳米颗粒的玉米醇溶蛋白的活性包装,在保存碎牛肉、稳定变质反应和保持颜色方面是有效的。Noori 等<sup>[62]</sup>对基于生姜精油纳米乳液的食用酪蛋白酸钠涂层的组合进行了评估,结果含有  $\varphi=6\%$  精油的纳米乳液基可食用涂料在 12 d 内显著降低了冷冻鸡肉片中的需氧嗜冷菌总数。溶液浇铸法是制备纳米复合材料之一,与其他方法相比较,其操作方便且流程简单<sup>[63]</sup>。Kang 等<sup>[64]</sup>研究表明丁香花精油为抗氧化物质,山梨糖醇为增塑剂采用溶液浇铸法制备的膜,可最大限度地减少五花肉的脂质氧化作用。Alizadeh-Sani 等<sup>[65]</sup>发现,用迷迭香精油作为抗氧化剂,溶液浇铸法生产出了一种由乳清蛋白和纳米纤维素纤维组成的复合膜,能够有效地减少羊肉的油脂氧化,降低油脂的降解速度,减少微生物的数量,提高产品的保质期至 15 d。乳液将疏水性精油组分掺入亲水性基质中,是最广泛的封装手段之一。但溶液浇铸法尚未完全解决费时的问题。

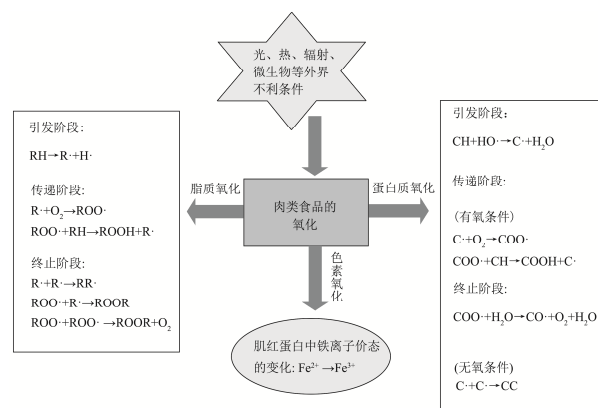


图2 肉类食品中的主要氧化反应

Fig.2 Oxidation reactions occurred in meat

3D 打印技术因其能够快速、准确地制作出个性化的 3D 物体,以及任意设计形状、大小、孔隙结构和孔隙率而备受关注。Ahmed 等<sup>[66]</sup>将氧化锌和丁香精油掺入明胶纳米复合配方制备薄膜,通过商用 3D 打印圆形海藻酸盐薄膜。与传统工艺相比,该技术具有可重复性、随意定制功能和结构、支持不同组织再生的

优势,并用于食品包装和食品印刷等。Li 等<sup>[67]</sup>通过 3D 打印制作桑葚花青素与柠檬草精油的薄膜,延长了冷鲜肉的货架期并对其新鲜度进行了监测。发现含精油的指示膜具有抗氧化和抗菌性能,且精油的释放速率随 pH 值的升高而增加。当冷鲜猪肉变质时,指示膜由红变为灰蓝色,智能手机应用程序可以自动分析 RGB 值来判断猪肉的新鲜度。作为智能包装系统的一部分,最终用于监测低温肉的新鲜度。

## 4 结语

全球对功能性、环保性和高效抗菌食品包装的需求不断增加,开发更有效、可持续、安全的抗菌材料已成为食品包装领域的研究热点。与此同时,食源性微生物引起的食品腐败和浪费、人畜中毒甚至死亡是食品安全领域的广泛关注问题。本文着重论述了植物精油对包装产品的抗菌、抗氧化能力以及药理活性的影响,并根据食品主要变质机制和预期用途以及不同食品的不同包装要求评估了将精油应用于包装领域的可能性。植物精油为新型功能包装材料的开发提供更加安全的替代品。

尽管精油有这些潜在的益处,但在其广泛的商业应用之前必须克服许多有关食品包装材料的有关问题。首先,这类食品包装主要是在研究实验室中进行小规模准备,没有考虑到制造成本。因此,今后需要投入更多的研究以降低未来精油基包装材料的加工制造成本。其次,需要对更多种类的食品(特别是高价值的食品)进行更深层次的应用研究。因为针对这些食品,使用这种功能包装技术的额外成本是比较合理的。理想情况下,未来的精油基包装材料应该满足可重复使用,易于回收,在处置和遗弃后不会对环境造成破坏等条件。目前,有关学者对精油基食品包装的研究仍处于起步阶段,但其抗菌、抗氧化和延长食品的货架期已经得到了充分的验证,我们相信,随着这一领域的发展一定会带来新一代的经济、方便和可持续发展的包装材料。

## 参考文献

- [1] Falleh H, BenJemaa M, Saada M, et al. Essential oils: A promising eco-friendly food preservative [J]. Food Chemistry, 2020, 330: 1-40.
- [2] Kan M, Miller S A. Environmental impacts of plastic packaging of food products [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2022, 180: 106156-106167.
- [3] RodriguesArruda T, CamposBernardes P, RobledoFialho E M A, et al. Natural bioactives in perspective: The future of active packaging based on essential oils and plant extracts themselves and those complexed by cyclodextrins [J]. Food Research International, 2022, 156: 111160-111183.
- [4] Phelan A, Meissner K, Humphrey J, et al. Plastic pollution and packaging: Corporate commitments and actions from the food and beverage sector [J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 331: 129827-129846.
- [5] Wang Q, Chen W, Zhu W, et al. A review of multilayer and composite films and coatings for active biodegradable packaging [J]. Npj Science of Food, 2022, 6(18): 1-16.
- [6] 匡逸凡.水产品活性包装与智能化包装技术浅析[J].江西水产科技,2021,1:33-34.
- [7] 张莉睿,毕洁.植物精油对储藏物害虫防治作用的研究进展[J].中国粮油学报,2023,3:20-27
- [8] 石俊杰,鲁晓翔.植物精油微乳技术及在食品保鲜中的应用[J].食品与发酵工业,2021,47(6):267-273.
- [9] 吴天琳.60种植物精油的抗菌活性筛选及牛至精油的抗菌作用机制研究[D].兰州:兰州大学,2022.
- [10] 王惠芳.引种互叶白千层芳香精油抗病原微生物的研究[D].广州:广州中医药大学,2020.
- [11] Carpena M, Nuñez-estevez B, Soria-lopez A, et al. Essential oils and their application on active packaging systems: A review [J]. Resources, 2021, 10(1): 1-20.
- [12] De Jesus G S, Micheletti A C, Padilha R G, et al. Antimicrobial potential of essential oils from cerrado plants against multidrug-resistant foodborne microorganisms [J]. Molecules, 2020, 25(14): 1-10.
- [13] Ju J, Xie Y, Yu H, et al. Synergistic interactions of plant essential oils with antimicrobial agents: A new antimicrobial therapy [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(7): 1740-1751.
- [14] 萨仁高娃,胡文忠,冯可,等.植物精油及其成分对病原微生物抗菌机理的研究进展[J].食品科学,2020,41(11):285-294.
- [15] Li C, Zhang C, Chen X, et al. The interference mechanism of basil essential oil on the cell membrane barrier and respiratory metabolism of listeria monocytogenes [J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13: 855905-855917.
- [16] Rao J, Chen B, McClements D J. Improving the efficacy of essential oils as antimicrobials in foods: Mechanisms of action [J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2019, 10: 365-387.
- [17] Wu Y X, Zhang Y D, LI N, et al. Inhibitory effect and mechanism of action of juniper essential oil on gray mold in cherry tomatoes [J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13: 100526-100539.

- [18] Wang L, Hu W, Deng J, et al. Antibacterial activity of litseacubeba essential oil and its mechanism against botrytis cinerea [J]. RSC Advances, 2019, 9(50): 28987-28995.
- [19] Berthold-pluta A, Stasiak-różańska L, Pluta A, et al. Antibacterial activities of plant-derived compounds and essential oils against cronobacter strains [J]. European Food Research and Technology, 2018, 245(5): 1137-1147.
- [20] Wang X, Shen Y, Thakur K, et al. Antibacterial activity and mechanism of ginger essential oil against escherichia coli and staphylococcus aureus [J]. Molecules, 2020, 25: 3955-3972.
- [21] Misharina T A, Terenina M B, Krikunova N I, et al. Inhibition of autoxidation of polyunsaturated fatty acids by clove and oregano essential oils [J]. Applied Biochemistry and Microbiology, 2019, 55(1): 67-72.
- [22] Clemente I, Aznar M, Silva F, et al. Antimicrobial properties and mode of action of mustard and cinnamon essential oils and their combination against foodborne bacteria [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 36: 26-33.
- [23] Dinu M V, Gradinaru A C, Lazar M M, et al. Physically cross-linked chitosan/dextrin cryogels entrapping thymus vulgaris essential oil with enhanced mechanical, antioxidant and antifungal properties [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 184: 898-908.
- [24] Wang J, Chen C, Xie J. Loading oregano essential oil into microporous starch to develop starch/polyvinyl alcohol slow-release film towards sustainable active packaging for sea bass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. Industrial Crops and Products, 2022, 188: 115679-115692.
- [25] 许晓君, 罗凡, 方学智, 等. 香榧仁油中不同形态酚类物质的提取优化及抗氧化能力评价[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(6): 22-30
- [26] 刘婷, 吴建平, 宫旭胤. 牛至精油对甘肃高山细毛羊肉成及含量和抗氧化性能的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(9): 164-170.
- [27] Khodaei N, Nguyen M M, Mdimagh A, et al. Compositional diversity and antioxidant properties of essential oils: Predictive models [J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 138: 1-9.
- [28] Christaki S, Moschakis T, Kyriakoudi A, et al. Recent advances in plant essential oils and extracts: Delivery systems and potential uses as preservatives and antioxidants in cheese [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 116: 264-278.
- [29] Jonusaite K, Venskutonis P R, Martinez-herandez G B, et al. Antioxidant and antimicrobial effect of plant essential oils and sambucusnigra extract in salmon burgers [J]. Foods, 2021, 10: 776-789.
- [30] 李成慧, 曾阳, 李锦萍, 等. 植物精油的药理作用研究及其对肠道健康的影响[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2020, 36(1): 88-91.
- [31] LI Chenghui, ZENGYang, LI Jinping, et al. Pharmacological effects of plant essential oils and their effects on intestinal health [J]. Journal of Qinghai Normal University (Natural Science Edition), 2020, 36(1): 88-91.
- [32] 高靖尧. 植物精油对两种硬蜱的防治研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2020.
- [33] Wang H H, Li M Y, Dong Z Y, et al. Preparation and characterization of ginger essential oil microcapsule composite films [J]. Foods, 2021, 10: 2268-2285.
- [34] Zhang Y, Yu Y Y, Peng F, et al. Neolignans and diarylheptanoids with anti-inflammatory activity from the rhizomes of alpinia zerumbet [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2021, 69(32): 9229-9237.
- [35] 吴优. 软枣猕猴桃精油和角鲨烯的提取纯化及生物活性研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [36] 邓纬辉. 柚皮精油的提取及生物活性研究[D]. 赣州: 赣南师范大学, 2020.
- [37] 刘慧, 刘康珂, 陈薪宇, 等. 迷迭香功效成分提取及药理作用[J]. 农产品加工, 2020, 16(8): 63-66.
- [38] Hosseini S, Amini J, Saba M K, et al. Preharvest and postharvest application of garlic and rosemary essential oils for controlling anthracnose and quality assessment of strawberry fruit during cold storage [J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11: 1-15.
- [39] Lee J S, Park M A, Yoon C S, et al. Characterization and preservation performance of multilayer film with insect repellent and antimicrobial activities for sliced wheat bread packaging [J]. Journal of Food Science, 2019, 84(11): 3194-3203.
- [40] Kim J, Yoon C S, Lee S E, et al. Development of insect-proof starch adhesive containing encapsulated cinnamon oil for paper box adhesion to inhibit plodia interpunctella larvae infestation [J]. Journal of Food Science, 2020, 85(10): 3363-3371.
- [41] 刘光发, 宋海燕, 罗婉如, 等. 百里香-丁香罗勒精油抗菌纸对草莓的防腐保鲜效果[J]. 包装工程, 2018, 39(19): 91-97.
- [42] 赵亚珠, 郝晓秀, 孟婕, 等. 百里香精油抗菌包装纸箱对草莓保鲜效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(11): 142-148.
- [43] 冯坤, 皇甫露露, 相启森, 等. 静电纺丝技术在食品抗菌保鲜中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(20): 6554-6562.
- [44] Hosseini F, Miri M A, Najafi M, et al. Encapsulation of rosemary essential oil in zein by electrospinning technique [J].

- Journal of Food Science, 2021, 86(9): 4070-4086.
- [45] 周云令,娜魏,仇洪涛,等.乳液静电纺丝纤维膜在车厘子保鲜中的应用[J].数字印刷,2021,2:91-96.
- [46] Cai C, Ma R, Duan M, et al. Preparation and antimicrobial activity of thyme essential oil microcapsules prepared with gum Arabic [J]. RSC Advances, 2019, 9(34): 19740-19747.
- [47] Cai C, Ma R, Duan M, et al. Effect of starch film containing thyme essential oil microcapsules on physicochemical activity of mango [J]. LWT - Food Science and Technology, 2020, 131: 1-31.
- [48] Li L, Song W, Shen C, et al. Active packaging film containing oregano essential oil microcapsules and their application for strawberry preservation [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(10): 1-13.
- [49] 宋文龙,李洋洋,郜海燕,等.生姜精油微胶囊薄膜包装对秋葵保鲜效果的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(8):142-148.
- [50] Hossain F, Follett P, Salmieri S, et al. Synergistic effects of nanocomposite films containing essential oil nanoemulsions in combination with ionizing radiation for control of rice weevil *sitophilusoryzae* in stored grains [J]. Journal of Food Science, 2019, 84(6): 1439-1446.
- [51] Tang X, Shao Y L, Tang Y J, et al. Antifungal activity of essential oil compounds (geraniol and citral) and inhibitory mechanisms on grain pathogens (*Aspergillus flavus* and *Aspergillus ochraceus*) [J]. Molecules, 2018, 23(9): 1-18.
- [52] Bhavya M L, Obulaxmi S, Devi S S. Efficacy of *Ocimum tenuiflorum* essential oil as grain protectant against coleopteran beetle, infesting stored pulses [J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(4): 1611-1616.
- [53] 陈茹,李洪军,王俊鹏,等.抗氧化活性包装膜的制备及其在肉类食品中的应用研究进展[J].食品与发酵工业,2021,47(11):287-294.
- [54] Chen X, Chen W, Lu X, et al. Effect of chitosan coating incorporated with oregano or cinnamon essential oil on the bacterial diversity and shelf life of roast duck in modified atmosphere packaging [J]. Food Research International, 2021, 147: 110491-110500.
- [55] Roy S, Priyadarshi R, Rhim J W. Gelatin/agar-based multifunctional film integrated with copper-doped zinc oxide nanoparticles and clove essential oil pickering emulsion for enhancing the shelf life of pork meat [J]. Food Research International, 2022, 160: 111690-111700.
- [56] Pateiro M, Munekata P E S, Sant'ana A S, et al. Application of essential oils as antimicrobial agents against spoilage and pathogenic microorganisms in meat products [J]. International Journal of Food Microbiology, 2021, 337: 1-48.
- [57] M H Jaspal, M Ijaz, Hau Haq, et al. Effect of oregano essential oil or lactic acid treatments combined with air and modified atmosphere packaging on the quality and storage properties of chicken breast meat [J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 146: 111459-111467.
- [58] Piruz S, Khani M. Comparing the effects of thyme (*Zataria multiflora*) and rosemary (*Rosmarinus officinalis*) essential oils on microbiological, physicochemical, and sensory properties of vacuum-packaged and refrigerated chicken breast [J]. Journal of Food Quality, 2022, 2022: 6125731-6125741.
- [59] Ehsani A, Hashemi M, Afshari A, et al. Effect of different types of active biodegradable films containing lactoperoxidase system or sage essential oil on the shelf life of fish burger during refrigerated storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2020, 117: 108633-108641.
- [60] Wang L, Liu T, Liu L, et al. Impacts of chitosan nanoemulsions with thymol or thyme essential oil on volatile compounds and microbial diversity of refrigerated pork meat [J]. Meat Science, 2022, 185: 108706-108718.
- [61] Wang D, Sun Z, Sun J, et al. Preparation and characterization of polylactic acid nanofiber films loading perilla essential oil for antibacterial packaging of chilled chicken [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 192: 379-388.
- [62] Xavier L O, Sganzerla W G, Rosa G B, et al. Chitosan packaging functionalized with cinnamodendroninisii essential oil loaded zein: A proposal for meat conservation [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 169: 183-193.
- [63] Noori S, Zeynali F, Almasi H. Antimicrobial and antioxidant efficiency of nanoemulsion-based edible coating containing ginger (*Zingiber officinale*) essential oil and its effect on safety and quality attributes of chicken breast fillets [J]. Food Control, 2018, 84: 312-320.
- [64] 栾夏雨,郝站华,卢家慧,等.纳米纤维素复合材料在食品包装中的研究进展[J/OL].食品与发酵工业:1-9[2023-04-28].
- [65] Kang J H, Song K B. Characterization of job's tears (*Coix lachryma-jobi* L.) starch films incorporated with clove bud essential oil and their antioxidant effects on pork belly during storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2019, 111: 711-718.
- [66] Alizadeh-sani M, Mohammadian E, McClements D J. Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO<sub>2</sub> and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat [J]. Food Chemistry, 2020, 322: 1-33.
- [67] Ahmed J, Mulla M, Joseph A, et al. Zinc oxide/clove essential oil incorporated type b gelatin nanocomposite formulations: A proof-of-concept study for 3D printing applications [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 98: 105265-105272.