

# 植物精油微胶囊在食品保鲜中的应用研究进展

李佳敏<sup>1</sup>, 孙飞龙<sup>1\*</sup>, 史宇<sup>1</sup>, 罗如梦<sup>1</sup>, 贾光峰<sup>2</sup>

(1. 西安工程大学环境与化学工程学院, 陕西西安 710600)

(2. 陕西哈默生物科技有限公司, 陕西西安 710032)

**摘要:** 食品在运输和储存期间容易受到病原菌的污染影响食品品质, 进而威胁人体健康。因此, 开发安全高效的天然保鲜剂是当前保鲜食品的重要研究方向之一。植物精油的天然抗菌性和抗氧化活性使其在食品保鲜方面有着广泛的应用前景, 而微胶囊技术能够改善精油气味, 保持其化学稳定性, 减少氧化挥发, 且具有缓释作用, 可以更好地发挥食品保鲜的效能。该文综述了植物精油微胶囊的制备材料、制备方法、保鲜机理、释放机理及其在果蔬、肉制品等食品中的保鲜应用, 以为植物精油微胶囊在食品保鲜方面进一步的研究和应用提供参考。

**关键词:** 植物精油; 微胶囊; 制备; 食品保鲜; 应用

文章编号: 1673-9078(2024)01-332-339

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.1.1531

## Research Progress on the Application of Plant Essential Oil Microcapsules in Food Preservation

LI Jiamin<sup>1</sup>, SUN Feilong<sup>1\*</sup>, SHI Yu<sup>1</sup>, LUO Rumeng<sup>1</sup>, JIA Guangfeng<sup>2</sup>

(1. School of Environmental and Chemical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710600, China)

(2. Shaanxi Hamer Biotechnology Co. Ltd., Xi'an 710032, China)

**Abstract:** Food is easy to be contaminated by pathogenic bacteria during transportation and storage, which will affect food quality and threaten human health. Therefore, at present, the development of safe and effective natural preservatives is one of the important research directions for food preservation. The inherent antibacterial activity and antioxidant activity of plant essential oils make them have a broad application prospect in food preservation, and microencapsulation technology can improve the flavor of essential oils, maintain their chemical stability, reduce oxidative volatilization, while offering a slow-release effect, which can allow more effective food preservation. This paper reviews the preparation materials, preparation methods, preservation mechanism, and release mechanism of plant essential oil microcapsules and their applications in the preservation of fruits, vegetables, meat products, and other food products, to provide a reference for further research and application of plant essential oil microcapsules in food preservation.

**Key words:** plant essential oils; microcapsules; preparation; food preservation; application

引文格式:

李佳敏, 孙飞龙, 史宇, 等. 植物精油微胶囊在食品保鲜中的应用研究进展[J]. 现代食品科技, 2024, 40(1): 332-339.

LI Jiamin, SUN Feilong, SHI Yu, et al. Research progress on the application of plant essential oil microcapsules in food preservation [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(1): 332-339.

收稿日期: 2022-12-02

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2023-YBNY-167); 西安市科技计划高校院所科技人员服务企业项目 (22GXFW0040); 陕西省大学生创新训练项目 (S202210709103); 校企合作项目 (2022KJ-176)

作者简介: 李佳敏 (1997-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 果蔬保鲜, E-mail: 934421526@qq.com

通讯作者: 孙飞龙 (1975-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬保鲜, E-mail: sunfeilong@xpu.edu.cn

近年来,食源性疾病已经成为全球关注的公共卫生问题之一,食品在运输和储存期间容易被细菌、真菌、病毒和其他污染物感染,这些污染物可能导致食物变质或产生致病性,进而影响人类健康。为了抑制微生物繁殖,延长食品保质期,人们通常采用加热、冷冻、干燥等传统的保鲜方法以及化学防腐剂进行保鲜<sup>[1]</sup>。由于传统的保鲜方法是通过破坏致病性和腐败性微生物的活性来抑制微生物生长,在加工处理过程中可能会对食品本身的感官和理化性质产生一定的影响,化学合成防腐剂又对人体具有潜在的毒害作用,存在一定的安全和环保风险<sup>[2]</sup>,因而使用天然保鲜剂被认为是改善食品质量和提高微生物安全性的积极有效的替代方案。近年来,随着对天然保鲜剂的不断开发研究,植物精油微胶囊进入消费者视野,天然植物精油因其安全无毒且具有较好的抗菌抗氧化活性等优点,在食品保鲜方面受到广泛关注,但精油类物质大多成分复杂、不溶于水、具有强烈气味、易挥发、稳定性差且易氧化变质,这使得它的应用大大受限,而通过微胶囊技术将植物精油包埋封装,在精油和壁材之间形成稳定的功能屏障,可以有效保护精油的活性成分免受外部环境影响而引起物理或化学降解,或者使活性成分在所需条件下得到控制或持续性的释放,从而延长食品保质期<sup>[3]</sup>。随着对植物精油微胶囊研究的日益深入,其在食品保鲜方面的应用也越发广泛。本文将针对植物精油微胶囊的材料、制备方法、保鲜机理、释放机理和实际应用现状进行综述分析,以期为今后的研究和开发提供有益借鉴。

## 1 植物精油微胶囊

植物精油微胶囊是指以植物精油为芯材,以聚合物薄膜为壁材制成的小胶囊。微胶囊技术是将活性物质嵌入成膜材料中的技术<sup>[4]</sup>。将植物精油封装在微胶囊中不仅能够防止由水分、金属离子、氧气和热等引发的氧化,还能提高材料的稳定性和可溶性,有效调节活性物质的释放速率,从而有助于延长产品的保质期<sup>[5]</sup>。

### 1.1 植物精油微胶囊芯材

微胶囊的芯材是一些具有高生物活性的植物精油。植物精油是从植物组织中提取和纯化的一类挥发性芳香物质的总称,植物精油成分复杂多样,其

中具有抑菌、抗氧化和抗病毒等作用的主要是醇类、醛酮类、酚类物质<sup>[6]</sup>。植物精油中具有抑菌作用的醇类物质主要是单萜醇,包括芳樟醇、香茅醇等;醛类物质主要有柠檬醛、肉桂醛等,醛类物质中的甲酰基结构具有较强的破坏霉菌细胞壁的能力,因而具有较好的杀菌作用;酮类物质主要是单萜酮,可利用酮类物质具有毒性的特点,通过控制植物精油的浓度和用量达到杀菌的目的;酚类物质主要有百里香酚、丁香酚等,酚类物质能够破坏蛋白质结构,抑制孢子萌发和生长,从而有效抑制真菌的繁殖<sup>[7]</sup>。

天然植物精油来源广泛,毒性小,对非靶标生物几乎没有作用,具有较高的安全性能,已被广泛研究和应用于各个领域。精油作用机制复杂,会产生多个作用靶点,使得靶标物难以产生抗性,通常多种活性成分会同时发生协同作用,保证应用效果的同时也减少了使用量,降低了精油的应用成本<sup>[8]</sup>。研究表明,植物精油对于易引起食品腐败的细菌和真菌有较强的抑制作用<sup>[9]</sup>,但植物精油通常成分复杂,有强烈气味、具有很强的亲脂性和挥发性,易氧化分解,这也限制了其在食品保鲜中的应用<sup>[10]</sup>,而利用微胶囊包封的方法可以有效解决这一问题,提高精油利用率,从而获得较好的食品保鲜效果。

### 1.2 植物精油微胶囊壁材

壁材的选择在微胶囊化过程中起着至关重要的作用,微胶囊壁材不仅能起到保护芯材的作用,而且会影响芯材的封装速率、溶解度、渗透性和缓释效率<sup>[11]</sup>。微胶囊化过程中选用的壁材一般具有安全性、无毒性、不与芯材物质发生反应且能够包裹和保持活性物质的特性,多采用的是生物降解性和融合性较好的天然聚合物,常用的壁材主要有碳水化合物类、蛋白质类和亲水胶体类(表1)<sup>[12]</sup>。

微胶囊壁材的选择会直接影响到微胶囊化产品的质量和性能,良好的壁材能赋予芯材较好的生物利用度,延长芯材半衰期,减缓芯材释放,也可以使芯材免受外部环境因素破坏,通常情况下壁材分子量越大,芯材释放速度越缓慢<sup>[22]</sup>。壁材的选择一般需依据不同精油特性或微胶囊产品的性能要求而定,采用单一壁材或多种壁材进行复配,从而达到提高微胶囊化系统稳定性,改善芯材缓释性能的目的。

表 1 微胶囊壁材分类总结

Table 1 Summary of microencapsulation wall material classification

壁材种类	具体物质	壁材特性	优点	缺点	文献
碳水化合物类	变性淀粉、壳聚糖、麦芽糊精等	固体含量较高时仍保持较低的黏度	黏度低、溶解度高、易获取、价格低廉	界面聚合特性差，单独使用包埋率低	[13-15]
蛋白质类	乳清蛋白、明胶、大豆蛋白等	良好的乳化性能和成膜性	能够促进乳状液形成，减少界面张力，形成保护膜，稳定乳状液	乳化效果易受到 pH 值的影响，不适用于接近等电点的低 pH 值范围	[16-18]
亲水胶体类	阿拉伯树胶、果胶、黄原胶等	能溶解于水，并在一定条件下水化形成胶状溶液	来源广泛，能溶解于水，具有突出的乳化性能	单体胶差异较大，易影响产品性质，需要与其他种类壁材复配使用	[19-21]

### 1.3 植物精油微胶囊的保鲜机理

植物精油微胶囊的保鲜主要依靠包埋的植物精油来实现，壁材大多是作为保护壳，起到保护精油、维持其稳定性和缓释性的作用。植物精油微胶囊对食品的保鲜机理主要分为两个方面：一是抑菌机理，二是抗氧化机理。

#### 1.3.1 植物精油微胶囊的抑菌机理

植物精油微胶囊可通过植物精油的缓慢释放来长期抑制微生物的生长繁殖，其对微生物的抑制机理主要有以下几个方面<sup>[23-26]</sup>。

(1) 通过改变细胞磷脂双分子层的完整性或干扰活性转运蛋白来破坏微生物细胞膜的基本结构，造成细胞膜表面的损伤并增强渗透性，打破渗透平衡，从而致使离子和其他细胞内容物泄漏，导致细胞死亡；(2) 通过抑制真菌中几丁质、麦角甾醇等物质的合成，破坏细胞分裂和细胞生长而影响细胞壁成熟，导致细胞的渗透和代谢不稳定，影响繁殖和细胞感染活性；(3) 破坏 DNA 结构，阻碍 DNA 合成与转化，从而对微生物遗传信息合成和生长繁殖产生不利影响；(4) 破坏线粒体的膜结构，抑制  $\beta$ -半乳糖苷酶、线粒体脱氢酶等酶的活性，从而影响有氧呼吸作用、氧化还原系统以及能量代谢系统；(5) 减少和遏制微生物体内分生孢子的生成与萌发，或破坏分生孢子的受精作用，从而影响其后代的生长；(6) 影响微生物的群体感应活性，植物精油能够抑制信息分子合成，阻断荧光假单胞菌群体感应系统，影响细胞间通信，改变其生理活动和基因表达 (图 1)。

#### 1.3.2 植物精油微胶囊的抗氧化机理

食品的成熟和腐败大多伴随着氧化劣变，而植

物精油微胶囊中的活性成分能够直接或间接地对抗食品氧化，有效延缓食物衰变<sup>[27]</sup>。

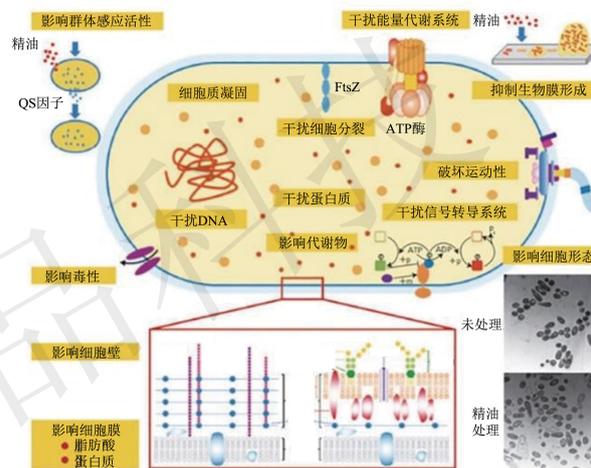


图 1 精油及其成分对病原微生物的抗菌机理

Fig.1 Antimicrobial mechanisms of essential oils and their components against pathogenic bacteria

注：QS：群体感应 (Quorum Sensing)；FtsZ：丝状温度敏感蛋白 (Filamentous Temperature-sensitive Protein Z)。

(1) 直接抗氧化作用：a. 植物精油中的酚类物质能淬灭单线态氧，阻止自由基链式反应，能与过氧自由基产生反应，通过氢原子转移提供活性质子清除自由基；b. 与金属离子螯合，抑制油脂氧化，降低金属离子对氧化作用的催化，防止金属诱导的自由基的形成。

(2) 间接抗氧化作用：a. 酚羟基在脂肪氧化时可充当过氧自由基供养体，使过氧化羟基不能产生，阻滞过氧化链式反应，抑制脂质过氧化；b. 调节抗氧化酶水平，通过氧化还原作用清除过氧化自由基。

### 1.4 植物精油微胶囊的释放机理

植物精油微胶囊的释放机理主要有三类：一是微胶囊的渗透作用，由于内外环境存在浓度差，芯

材会随着外界液体的渗入发生溶解扩散；二是通过加热或用水、溶剂浸渍等方法使得微胶囊壁材被降解，导致芯材释放；三是芯材既靠壁材降解释放，又靠微胶囊的渗透和扩散释放<sup>[28]</sup>。微胶囊芯材的释放取决于多种因素，如壁材厚度、芯材物质、微胶囊的几何形态、温度、pH值以及微胶囊的制备方法等<sup>[29]</sup>。植物精油微胶囊对食品的保鲜主要是通过芯材的控制释放来实现，控制释放是指通过控制温度、湿度、溶解度、pH值等因素使得芯材能够在特定条件下以一定的速率稳定释放<sup>[30]</sup>。

## 2 植物精油微胶囊的制备方法

随着微胶囊技术的不断发展，与之对应的新型材料和制备方法也不断出现，在生物医学、纳米材料以及食品等领域均得到了广泛应用。本文介绍了四种常用的制备方法，包括喷雾干燥法、复凝聚法、Pickering乳液模板法、分子包埋法。

### 2.1 喷雾干燥法

喷雾干燥法是目前制备微胶囊最常用的方法，它的制备原理是将溶解后的芯材和壁材按一定比例均匀分布，形成稳定均匀的乳化液，通过雾化将乳化液分散成小液滴，热风干燥后溶剂蒸发使得液滴收缩形成微胶囊<sup>[31]</sup>。喷雾干燥法制备的微胶囊分散性好、溶解度高、便于储存和运输，但包埋率低，芯材可能会附着在微胶囊颗粒表面，进而影响产品的质量<sup>[32]</sup>。Nguyen等<sup>[33]</sup>以麦芽糊精为壁材，柑橘精油为芯材，对喷雾干燥法制备微胶囊的工艺进行了优化，得到喷雾干燥的最适参数为麦芽糊精质量分数（30%，*m/m*），柑橘精油质量分数（1.5%，*m/m*），入口温度（140℃）和进料速率（120 mL/h），微胶囊化的所有指标均得到改善，精油的化学成分未被破坏。罗旭洸等<sup>[34]</sup>针对广佛手精油微胶囊的制备工艺进行了优化，有效改善了此法制备的微胶囊的品质性能。Marjana等<sup>[35]</sup>以酪蛋白和麦芽糊精为壁材，利用喷雾干燥法包埋百里香精油，包封率可达88.9%，且制备的微胶囊具有较好的热稳定性和抗菌抗氧化活性，其在汉堡肉制品中充当天然防腐剂有着较好的应用前景。大量研究表明喷雾干燥的制备工艺参数会直接影响微胶囊的包封率以及稳定性，且不同精油适用的工艺参数有所差异，因而，喷雾干燥技术的应用需持续开发新型喷雾干燥设备，并对其工艺参数进行优化。

### 2.2 复凝聚法

复凝聚法是将芯材置于两种电荷相对的壁材中，通过控制温度、pH值、溶液浓度等条件，使得两种壁材因电荷相对的作用力导致溶液溶解度降低，凝结成壳，然后形成微胶囊<sup>[36]</sup>。复凝聚法是一种经典的、简单易行的制备方法，扩展性较高，已广泛应用于亲油性材料的封装<sup>[37]</sup>。Dai等<sup>[38]</sup>用复凝聚法制备的冷榨芝麻油微胶表现出了较好的耐热性，微胶囊化过程不仅对芝麻油中脂肪酸和芝麻素含量的影响微乎其微，还显著地提高了冷榨芝麻油的氧化稳定性。Yuan等<sup>[39]</sup>利用羧甲基纤维素和明胶为原料，对香菇精油进行复合凝聚包埋，结果表明，该方法可成功封装香菇精油，并具有较高的负载效率。在pH值4.0和羧甲基纤维素/明胶比为0.15 g/g的最佳络合条件下，凝聚产率为85.35%，复合凝聚提供的物理屏障能够增加对香菇精油氧化和风味释放的保护，有效改善了香菇精油的氧化稳定性和气味衰减效果。秦亚南等<sup>[40]</sup>利用明胶和阿拉伯胶复合凝聚包埋葡萄籽油，包埋率可达86.41%，且制备的微胶囊产品具有较好的感官品质和溶解性。目前复凝聚法大多采用亲水胶体复合作为壁材，成本较高，但部分研究采用碳水化合物或变性淀粉与蛋白质复配，此法不仅降低了成本，且两者精油包埋率相差无几。

### 2.3 Pickering乳液模板法

大多数微胶囊是由乳化剂稳定的乳液制备的，但由于小分子乳化剂在油水界面的动态吸附作用，会使乳液的稳定性下降，特别是在高温聚合过程中，乳化剂稳定的乳液不能满足制备要求<sup>[41]</sup>，而Pickering乳液是由固体颗粒稳定，固体颗粒在两种不同的溶液之间产生不可逆吸附，因此Pickering乳液具有优异的乳液液滴稳定性，并可在分散相周围形成弹性屏障，防止脂肪液滴接触和液滴聚结<sup>[42]</sup>。Pickering乳液模板法加工条件温和，不仅可以控制微胶囊的大小和渗透性，而且制备的微胶囊还具有更高的机械强度。Wang等<sup>[43]</sup>以羟基磷灰石稳定的乳液模板和羟基磷灰石/壳聚糖季铵盐/海藻酸钠为壳制备了香茅油的复合微胶囊。Li等<sup>[44]</sup>采用二氧化硅纳米粒子作为乳化剂，以肉桂精油为油相形成水包油型（O/W）Pickering乳液，以二氧化硅/聚三聚氰胺-甲醛为壁材制备了肉桂精油的复合微胶囊，制备的微胶囊在热稳定性和抗菌活性方面都表

现出了较好的效果。目前 Pickering 乳液模板法多采用纳米粒子作为乳化剂,多种壁材复配的方式进行精油包埋,能够很好地控制制备出的微胶囊的粒径、负载率和缓释性能等,在近几年受到了广泛的关注。

## 2.4 分子包埋法

分子包埋法又称分子包囊法,该法是以 $\beta$ -环糊精作为壁材,利用其中空且内部疏水外部亲水的结构特点,使得疏水性芯材以形成包结络合物的方式形成微胶囊。 $\beta$ -环糊精是淀粉经酶解环化生成的产物,安全无毒、稳定性强、有较好的络合性能,是一种优良的微胶囊壁材,广泛应用于食品、医药和纺织工业<sup>[45]</sup>。殷诚等<sup>[46]</sup>以 $\beta$ -环糊精为壁材,通过分子包埋法制备了牛至精油微胶囊,包埋率为55.14%。Piletti等<sup>[47]</sup>利用 $\beta$ -环糊精包封大蒜油,制备出的微胶囊具有较好的热稳定性,即使在60℃下热处理1h,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌依然有较好抑制效果。分子包埋法制备精油微胶囊具有操作简便、吸湿性低、热稳定性好、可以长期保存等优点,但是存在负载量低、产率低的问题,在以后的研究中可与其他制备方法相结合,开发出更高收率、性能更好的精油微胶囊。

## 3 植物精油微胶囊在食品保鲜中的应用

### 3.1 植物精油微胶囊在果蔬保鲜中的应用

新鲜水果和蔬菜因营养丰富而备受青睐。果蔬产品碳水化合物含量高,蛋白质含量低,pH值为中性或微酸,有利于腐败微生物的生长,在加工和储存过程中容易受到病原菌和腐败的影响,采后的新鲜果蔬由于呼吸作用和内源乙烯的释放会加速其成熟老化,感官质量大大降低,保质期缩短<sup>[48]</sup>。针对这种情况,出现了多种果蔬保鲜方法,植物精油微胶囊作为果蔬保鲜剂的研究也越来越多。目前植物精油微胶囊多用于热带水果的保鲜,Wang等<sup>[49]</sup>研究了丁香精油微胶囊对脐橙抗菌活性的影响,结果表明,在25℃下贮藏5d,丁香精油微胶囊对脐橙的病损和腐烂有良好的抑制作用,可有效抑制霉菌和真菌的衍生,对孢子萌发和生长也有较强的抑制作用。Cai等<sup>[50]</sup>采用模压法制备了含百里香精油微胶囊的淀粉薄膜,并分析了薄膜对芒果品质和理化性质的影响,结果表明,添加百里香精油微胶囊的薄膜具有较好的渗透性和机械性能,可有效减缓

芒果的成熟腐败,减少抗坏血酸的流失,同时能对芒果果实表面的腐败菌产生一定的抑制作用。目前植物精油微胶囊在果蔬保鲜中的应用大多是利用一些抗菌包装实现的,包括食用涂膜、复合纸基保鲜材料和复合薄膜等,因而开发研究与微胶囊相结合的更为安全经济的生物保鲜材料仍然是当前重要的研究方向之一。

### 3.2 植物精油微胶囊在肉制品保鲜中的应用

肉制品中富含蛋白质、脂质等多种营养物质,它们为肉类中腐败微生物和常见食源性病原体的生长提供了理想环境。因此,必须采用适当的保鲜方式来保持其安全性和质量<sup>[51]</sup>。常用的肉类保鲜方法有冷冻、电离辐射、气调保鲜等,但这些方法存在能耗大、保鲜效果差等缺点,而利用精油微胶囊保鲜不仅能够克服这些缺点,且具有更高的安全环保性。目前,植物精油微胶囊在肉制品保鲜中的应用大多集中在猪肉、牛肉等产品上。例如 Brilliana等<sup>[52]</sup>研究发现肉桂精油微胶囊可以抑制碎牛肉中微生物的生长,抑制产品脂质氧化和变色,且微胶囊添加量越高,保鲜效果越好。Ma等<sup>[53]</sup>研究发现10%牛至精油微胶囊膜包裹的冷鲜猪肉新鲜度最好,能够最大限度地抑制猪肉的风味劣变。利用植物精油微胶囊对肉制品进行保鲜,具有较好的保鲜效果和工业应用价值,并且能够在猪肉、牛肉等的基础上对鸡、鸭等禽类肉制品的保鲜进行研究,应用前景广阔。

### 3.3 植物精油微胶囊在水产品保鲜中的应用

水产品中含有丰富的优质蛋白、脂肪酸、维生素等物质,具有较高的营养价值,但死亡后容易发生肉质劣变,新鲜度和营养价值都大打折扣,因而对它的保鲜尤为重要<sup>[54]</sup>。姚洁玉等<sup>[55]</sup>研究了柑橘精油微胶囊对凡纳滨对虾保鲜的影响,结果表明,在4℃冷藏温度下,微胶囊能够有效抑制蛋白质变质、脂肪酸败和微生物增长,延缓产品腐败,延长凡纳滨对虾货架期3~4d。唐海兵等<sup>[56]</sup>研究了以 $\beta$ -环糊精为壁材,佛手柑精油与山苍子精油为芯材制备的精油微胶囊活性抑菌保鲜垫对草鱼保鲜的影响,结果表明,在(4±1)℃冷藏条件下,保鲜垫处理可有效减缓草鱼腐败变质,延长草鱼货架期2~3d。利用植物精油微胶囊对水产品进行保鲜,能够有效提高冷藏保鲜效率,减少能耗和资源浪费。

### 3.4 植物精油微胶囊在粮食作物保鲜中的应用

在粮食作物储存中,除了呼吸引起的质量减少和寻求吸湿平衡引起的水分流失外,还有营养物质的流失和霉菌毒素的感染<sup>[57]</sup>。虽然加热、冷冻、脱水等保鲜技术有一定的作用,但会引起食物感官和营养特性的不良变化。而利用微胶囊保鲜可以有效提高粮食作物的贮存品质,对粮食作物的贮藏保鲜具有重要意义。Girardi等<sup>[58]</sup>发现波尔多精油微胶囊能够增强花生种子的抗真菌作用,提高花生贮藏期质量。邓靖等<sup>[59]</sup>以 $\beta$ -环糊精为壁材,大蒜精油与肉桂精油为芯材制备复合微胶囊,并研究了其对大米的保鲜效果,结果表明复合精油微胶囊对黄曲霉抑制效果显著,通过加速货架期实验发现复合精油微胶囊处理的大米贮藏期可达415 d,未处理大米仅可存放122 d。利用精油微胶囊对粮食作物保鲜,不仅能够达到较好的保鲜效果,且具有绿色、安全和环保的优点,有着良好的应用前景。

### 3.5 植物精油微胶囊在乳制品保鲜中的应用

乳制品的腐败变质包括三个方面:一是自身的生理性腐败;二是由外界环境引发的化学腐败;三是腐败菌生长引起的变质。利用植物精油微胶囊进行保鲜,可以降低乳制品中微生物的生长繁殖,使乳制品中的营养物质免受破坏。Christaki等<sup>[60]</sup>对精油提取物作为奶酪防腐剂的综述表明,封装后的精油可最大限度地保留其抗菌抗氧化活性。含有精油微胶囊的薄膜可以在贮存期间有效控制奶酪水分和质量损失,保持较好的感官品质,有效延长奶酪保质期。Fernandes等<sup>[61]</sup>研究了迷迭香精油微胶囊对米纳斯湿奶酪货架期的影响,结果表明微胶囊不会改变迷迭香精油的化学成分,且能有效控制奶酪的酸度,抑制微生物生长,延长产品保质期。

## 4 植物精油微胶囊研究现状和方向分析

目前,植物精油微胶囊在食品保鲜中的应用主要存在以下问题:一是使用单一壁材往往出现未充分嵌入、包封效果差、稳定性和释放受制的问题;二是植物精油微胶囊在一些特殊食品中的应用仍然有限,例如,果蔬类的研究主要集中在芒果、苹果、荔枝等水果上,对猕猴桃等浆果类的研究较少;三是对于新型生物保鲜材料的开发力度不够,制备成本较高。在未来的研究中,应考虑壁材选择的多元化,将多种壁材复合使用,加强对变性淀粉等新型

囊壁材料的应用,增加对浆果类水果、大豆谷物等的保鲜研究。另外,可针对植物精油微胶囊保鲜的缓释作用对其具体的缓释动力学以及保鲜机理进行更深入的探究,不断进行植物精油微胶囊制备工艺的技术优化,降低制作成本和加工工艺的难度,使其能够在保鲜领域普及使用,最后还可加强对可食用精油微胶囊薄膜、微胶囊纸基材料或其他形式的包装材料的研究,进一步扩大科技成果的应用和推广。

## 5 结语

在过去的几年里,消费者对安全、天然产品的追求推动了保鲜行业的发展。天然植物精油也受到了广泛的关注,精油微胶囊化成为改善精油品质、维持其稳定性的重要手段,精油微胶囊化为保护精油活性,提高其抑菌和抗氧化活性提供了重要思路。本文针对植物精油微胶囊在应用中的主要内容和问题进行了阐述,提供了未来植物精油微胶囊的研究重点和方向,以期为其在更多食品保鲜中的应用提供理论基础。

## 参考文献

- [1] DELSHADI R, BAHRAMI A, ASSADPOUR E, et al. Nano/microencapsulated natural antimicrobials to control the spoilage microorganisms and pathogens in different food products [J]. Food Control, 2021, 128: 108180.
- [2] EL-SABER BATIHA G, HUSSEIN D E, ALGAMMAL A M, et al. Application of natural antimicrobials in food preservation: Recent views [J]. Food Control, 2021, 126: 108066.
- [3] ZHU Y, LI C, CUI H, et al. Encapsulation strategies to enhance the antibacterial properties of essential oils in food system [J]. Food Control, 2021, 123: 107856.
- [4] 臧芳波,李冲,韩雪,等.香茅精油微胶囊的制备及表征分析[J].中国调味品,2023,48:191-195.
- [5] JULAEHA E, NURZAMAN M, WAHYUDI T, et al. The development of the antibacterial microcapsules of citrus essential oil for the cosmetotextile application: A review [J]. Molecules, 2022, 27(22): 8090.
- [6] 李德海,蒋沙沙.植物精油对病原微生物作用机制及在浆果保鲜上的研究进展[J].现代食品科技,2022,38(8):352-360,26.
- [7] 张鑫,耿庆何,郭超,等.植物精油在粮油食品抑菌中的应用[J].粮油食品科技,2021,29:180-186.
- [8] 刘德赞,李文茹,谢小保.植物精油的抗菌性能及其应用研究进展[J].工业微生物,2021,51:53-57.
- [9] ARASU M V, VIAYARAGHAVAN P, ILAVENIL S, et al. Essential oil of four medicinal plants and protective properties in plum fruits against the spoilage bacteria and

- fungi [J]. *Industrial Crops and Products*, 2019, 133: 54-62.
- [10] JU J, CHEN X, XIE Y, et al. Application of essential oil as a sustained release preparation in food packaging [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 92: 22-32.
- [11] LI T, TENG D, MAO R, et al. Recent progress in preparation and agricultural application of microcapsules [J]. *J Biomed Mater Res A*, 2019, 107(10): 2371-2385.
- [12] 章智华,钟舒睿,彭飞,等.微胶囊壁材及制备技术的研究进展[J]. *食品科学*,2020,41:246-253.
- [13] ZHANG C, XIE Y, ZOU J. Effect of the viscoelastic properties of modified starch as a wall material on the surface morphology of microcapsules [J]. *J Sci Food Agric*, 2019, 99(10): 4725-4730.
- [14] LI X, ZHANG Z H, QIAO J, et al. Improvement of betalains stability extracted from red dragon fruit peel by ultrasound-assisted microencapsulation with maltodextrin [J]. *Ultrason Sonochem*, 2022, 82: 105897.
- [15] QIAN J, CHEN Y, WANG Q, et al. Preparation and antimicrobial activity of pectin-chitosan embedding nisin microcapsules [J]. *European Polymer Journal*, 2021, 157: 110676.
- [16] SHAKOURY N, ALIYARI M A, SALAMI M, et al. Encapsulation of propolis extract in whey protein nanoparticles [J]. *LWT-Food science and Technology*, 2022, 158: 113138.
- [17] OLIVEIRA W Q D, WURLITZER N J, ARAÚJO A W D O, et al. Complex coacervates of cashew gum and gelatin as carriers of green coffee oil: The effect of microcapsule application on the rheological and sensorial quality of a fruit juice [J]. *Food Research International*, 2020, 131: 109047.
- [18] YUAN Y, KONG Z, SUN Y, et al. Complex coacervation of soy protein with chitosan: Constructing antioxidant microcapsule for algal oil delivery [J]. *Lwt*, 2017, 75: 171-179.
- [19] RUNGWASANTISUK A, RAIBHU S. Application of encapsulating lavender essential oil in gelatin/gum-arabic complex coacervate and varnish screen-printing in making fragrant gift-wrapping paper [J]. *Progress in Organic Coatings*, 2020, 149: 105924.
- [20] 马航宇,张士凯,张可欣,等.果胶微胶囊技术研究及应用进展[J]. *饮料工业*,2021,24:71-78.
- [21] 王远一飞,丁武,宋莹莹,等.壳聚糖黄原胶鼠李糖乳杆菌微胶囊的制备及其特性的研究[J]. *食品工业科技*, 2017,38:229-233.
- [22] 陈彬,王宗抗,张敏,等.微胶囊壁材的研究进展[J]. *磷肥与复肥*,2020,35:50-52.
- [23] NAZZARO F, FRATIANNI F, COPPOLA R, et al. Essential oils and antifungal activity [J]. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2017, 10(4): 86.
- [24] HU W, LI C, DAI J, et al. Antibacterial activity and mechanism of *Litsea cubeba* essential oil against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) [J]. *Industrial Crops and Products*, 2019, 130: 34-41.
- [25] 冯可,胡文忠,徐永平,等.植物精油的抑菌活性及在鲜切果蔬中的应用[J]. *食品工业科技*,2015,36:382-385,9.
- [26] 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*,2020,41:285-294.
- [27] 龙娅,胡文忠,李元政,等.植物精油的抗氧化活性及其在果蔬保鲜上的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2019, 40:343-348.
- [28] 郭艳珍.基于界面聚合法的乙草胺微胶囊研制及其释放机理研究[D].重庆:西南大学,2014.
- [29] DIMA C, PATRASCU L, CANTARAGIU A, et al. The kinetics of the swelling process and the release mechanisms of *Coriandrum sativum* L. essential oil from chitosan/alginate/inulin microcapsules [J]. *Food Chem*, 2016, 195: 39-48.
- [30] 周建军,刘咏,王保明,等.微包埋缓控释技术开发及释放机理研究进展[J]. *应用化工*,2019,48:184-187.
- [31] EUN J B, MARUF A, DAS P R, et al. A review of encapsulation of carotenoids using spray drying and freeze drying [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2020, 60(21): 3547-3572.
- [32] BAKRY A M, ABBAS S, ALI B, et al. Microencapsulation of oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications [J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2016, 15(1): 143-182.
- [33] NGUYEN P T N, NGUYEN H T A, HOANG Q B, et al. Influence of spray drying parameters on the physicochemical characteristics of microencapsulated orange (*Citrus sinensis* L.) essential oil [J]. *Materials Today: Proceedings*, 2022, 60: 2026-2033.
- [34] 罗旭洗,杨慧,刘晓娟,等.广佛手精油微胶囊制备工艺优化及其品质分析[J]. *现代食品科技*,2019,35:198-205,67.
- [35] RADUNZ M, DOS SANTOS HACKBART H C, CAMARGO T M, et al. Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products [J]. *Int J Food Microbiol*, 2020, 330: 108696.
- [36] TIMILSENA Y P, AKANBI T O, KHALID N, et al. Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 121: 1276-1286.
- [37] OZKAN G, FRANCO P, DE MARCO I, et al. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications [J]. *Food Chem*, 2019, 272: 494-506.
- [38] DAI H H, LI X D, WEI A C, et al. Characterization and oxidative stability of cold-pressed sesame oil microcapsules prepared by complex coacervation [J]. *J Oleo Sci*, 2020,

- 69(7): 685-692.
- [39] YUAN Y, LI M, CHEN W, et al. Microencapsulation of shiitake (*Lentinula edodes*) essential oil by complex coacervation: formation, rheological property, oxidative stability and odour attenuation effect [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2018, 53(7): 1681-1688.
- [40] 秦亚南,杨华峰,康健,等.复合凝聚法制备葡萄籽油微胶囊 [J].食品科技,2018,43:199-203.
- [41] 张琪,杨宇,王朝阳.Pickering乳液模板法制备有机/无机杂化微胶囊[J].高分子学报,2014,7:997-1001.
- [42] FASIHI H, FAZILATI M, HASHEMI M, et al. Novel carboxymethyl cellulose-polyvinyl alcohol blend films stabilized by Pickering emulsion incorporation method [J]. Carbohydr Polym, 2017, 167: 79-89.
- [43] WANG J, LI X, CHEN M, et al. Fabrication of sustained-release and antibacterial citronella oil-loaded composite microcapsules based on Pickering emulsion templates [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2018, 135(25): 46386.
- [44] LI Y, LIU J, HE X, et al. Preparation of cinnamon oil-loaded antibacterial composite microcapsules by in situ polymerization of pickering emulsion templates [J]. Macromolecular Materials and Engineering, 2020, 305(3): 1900851.
- [45] 周瑜芳,李青云,刘洪博,等. $\beta$ -环糊精与聚乳酸包合物的制备与表征[J].广东化工,2022,49:69-71.
- [46] 殷诚,黄崇杏,张波波,等.牛至精油- $\beta$ -环糊精微胶囊制备工艺研究[J].粮食与油脂,2021,34:51-54.
- [47] PILETTI R, ZANETTI M, JUNG G, et al. Microencapsulation of garlic oil by beta-cyclodextrin as a thermal protection method for antibacterial action [J]. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2019, 94: 139-149.
- [48] 吴秀兰,任诗欣,何俊杰,等.果蔬保鲜技术现状及展望[J].山东化工,2022,51:111-114.
- [49] WANG Y, BIAN W, REN X, et al. Microencapsulation of clove essential oil improves its antifungal activity against *Penicillium digitatum* in vitro and green mould on Navel oranges [J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2017, 93(2): 159-166.
- [50] CAI C, MA R, DUAN M, et al. Effect of starch film containing thyme essential oil microcapsules on physicochemical activity of mango [J]. Lwt, 2020, 131: 109700.
- [51] ZHOU G H, XU X L, LIU Y. Preservation technologies for fresh meat-a review [J]. Meat Sci, 2010, 86(1): 119-128.
- [52] BRILLIANA I N, MANUHARA G J, UTAMI R, et al. The effect of cinnamon bark (*Cinnamomum burmanii*) essential oil microcapsules on vacuumed ground beef quality [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 193: 012057.
- [53] MA Y, YE K, LIU P, et al. Effect of a Konjac glucomannan/chitosan antibacterial composite membrane microencapsulated with oregano essential oil on the quality of chilled pork [J]. Applied Food Research, 2023, 3: 100249.
- [54] 李鑫,许月明,彭常安,等.水产品 and 肉类产品微冻保鲜技术研究进展[J].宜春学院学报,2022,44:108-112.
- [55] 姚洁玉,李苑,江杨阳,等.壳聚糖-柑橘精油微胶囊制备工艺优化及其在凡纳滨对虾保鲜中的应用[J].渔业科学进展,2019,40:203-209.
- [56] 唐海兵,杨春香,任柏成,等. $\beta$ -环糊精-精油微囊活性保鲜垫对草鱼的保鲜效果[J].上海海洋大学学报, 2021, 30:770-776.
- [57] GIRARDI N S, GARCÍA D, PASSONE M A, et al. Microencapsulation of *Lippia turbinata* essential oil and its impact on peanut seed quality preservation [J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2017, 116: 227-233.
- [58] GIRARDI N S, PASSONE M A, GARCÍA D, et al. Microencapsulation of *Peumus boldus* essential oil and its impact on peanut seed quality preservation [J]. Industrial Crops and Products, 2018, 114: 108-114.
- [59] 邓靖,李文,林亲录,等.ASLT法研究复合精油微胶囊对大米保鲜效果[J].现代食品科技,2017,33:196-202.
- [60] 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.
- [61] FERNANDES R V D B, GUIMARÃES I C, FERREIRA C L R, et al. Microencapsulated rosemary (*Rosmarinus officinalis*) essential oil as a biopreservative in minas frescal cheese [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(1): e12759.