

植物精油缓控释技术研究进展及在化妆品中应用的前景

罗点, 张胜*

(中南林业科技大学化学与化工学院, 湖南长沙, 410004)

摘要: 植物精油存在易挥发、作用时间短、水溶性差等缺点, 故在化妆品应用中受限。缓控释技术为解决上述问题提供了新的方法和途径, 此外, 缓控释技术还可以调控植物精油的释放行为。文章综述了微胶囊、纳米胶囊、Pickering乳液、脂质体、水凝胶、金属有机框架材料(MOF)及静电纺丝纳米纤维等缓控释技术的原理、负载植物精油的应用, 并讨论了技术的优劣势, 分析了植物精油缓控释技术在化妆品应用前景中面临的问题及挑战。

关键词: 植物精油; 缓控释技术; 化妆品

作者简介: 罗点, 中南林业科技大学材料与化工学科在读硕士研究生, 从事天然活性成分在化妆品中的研究和应用, E-mail: 652693713@qq.com。

通讯作者简介: 张胜, 博士, 中南林业科技大学化学与化工学院教授, 从事天然活性成分在日用化工中的研究和应用, E-mail: gingshen123@126.com。



精油又称为挥发油, 是一类具有芳香气味、在常温下能挥发的油状液体的总称^[1]。植物精油迄今为止已发现3000余种^[2], 主要成分是萜类、脂肪族、芳香族等。植物精油在化妆品应用很广, 主要用途是舒缓^[3]、美白^[4]、去屑^[5]、祛痘^[6]、促进其它成分吸收等。但是植物精油易挥发, 作用时间短、水溶性差, 成为其在化妆品中应用的瓶颈问题。因此, 如何让植物精油延长使用期限, 增加溶解性能是解决该瓶颈问题的主要思路。缓控释技术是源自药物递送制剂的常用手段, 通过缓控释技术增加植物精油的作用持续时间, 并提供受控释放的功能, 提高植物精油的稳定性和水溶性。文章介绍了微胶囊技术、纳米胶囊、Pickering乳液、脂质体、水凝胶、MOF材料及静电纺丝纳米纤维等缓控释技术的原理、负载植物精油应用案例, 分析了各种技术目前的优劣势, 最后指出了植物精油缓控释技术所面临的问题与挑战, 以期为进一步开发植物精油化妆品提供借鉴。

1. 微胶囊

微胶囊又称微囊, 属于微粒递送系统, 系指生物活性物质与生物可降解材料经过一定的分散包埋技术制得的微小胶囊, 通常粒径在1 ~ 250 μm之间的称微囊, 而粒径在0.1 ~ 1.0 μm之间的称亚微囊, 粒径在10 ~ 100nm之间的称纳米囊^[7]。

1.1 原理

微胶囊技术就是将固体、液体或者气体包裹在一个微小密闭的胶囊之中。具体来说是指将某一目的物(芯或内相)用各种天然的或合成的高分子化合物连续薄膜(壁或

外相)完全包覆起来, 而对目的物的原有化学性质丝毫不损, 然后逐渐地通过某些外部刺激或缓释作用使目的物的功能再次在外部呈现出来, 或者依靠囊壁的屏蔽作用起到保护芯材的作用^[8], 影响微胶囊技术的主要因素有原料特性, 生产工艺参数, 壁材与芯材的相互选择性。

1.2 微胶囊技术在负载植物精油中的应用

山苍子精油主要成分是柠檬醛, 对痤疮丙酸杆菌有显著抑菌作用^[9], 可作为祛痘功效化妆品原料进行开发应用。付红军等人以山苍子精油为芯材, 以海藻酸钠、B型牛骨明胶为壁材, 采用复合凝聚法制备了山苍子精油微胶囊。该微胶囊克服了山苍子精油易挥发的缺点, 当贮存至18天仍具有缓释性能^[9]。茶树精油对斑马鱼体内黑色素合成和活性氧(ROS)的生成具有较好的抑制作用, 表现出良好的美白抗氧化功效^[10]。张玉荣等人以茶树精油为芯材、海藻酸钠为壁材, 采用离子凝胶法制备茶树精油微胶囊, 测定48 h后剩余精油量为78.4%, 144 h后微胶囊中剩余精油量为58.9%, 结果表明对茶树精油具有良好的缓释效果^[11]。百里香精油的主要成分是百里酚。Satooka等人发现百里酚可以有效抑制黑色素合成途径中的氧化还原反应, 同时百里香精油对自由基的清除能力消耗了黑色素合成需要的自由电子, 抑制了黑色素的产生^[12], 暗示百里香精油具有美白作用。Chung等人^[13]使用三聚氰胺-甲醛预聚物作为壁材, 通过原位聚合制备了含有百里香精油的微胶囊, 在微胶囊中实现了百里香油78%的负载效率并增加了百里香精油的作用持续时间。

1.3 微胶囊技术的优劣势

微胶囊能有效保护内部物质免受外界环境的影响。但

微胶囊在包埋植物精油中的应用主要还存在以下问题：一是使用单一壁材往往出现未充分嵌入、包封效果差、稳定性和释放受限制；二是植物精油微胶囊渗透皮肤的作用机制不明确，大的颗粒不能够穿过生物膜进入细胞、组织和器官中，不能直接渗透进皮肤^[14]。因此，除了寻找新的囊壁材料外，对已用材料的改性也是解决问题的有效途径^[7]。

2. 纳米胶囊

胶囊化处理是使用特殊聚合物包被活性物质的技术，其中用于包被的聚合物材料称为载体剂或壁材，被包被的物质称为芯材，粒径在1 ~ 1000nm称为纳米级胶囊化^[15]。

2.1 原理

纳米胶囊结构是由壳层结构（包裹在纳米胶囊核心外部的一层或多层保护层）为高分子材料形成的载体，内部可负载活性物质、基因或者具有光响应、温度响应的应激性分子。载体外部可以修饰靶向分子或增加纳米颗粒负载率、生物相容性以及稳定性的表面基团^[16]。影响纳米胶囊技术的主要因素有对材料的选择，制备工艺及操作条件。

2.2 纳米胶囊技术在负载植物精油中的应用

牛至精油的主要成分是香芹酚^[17]。Lee等人证明了香芹酚通过诱导人皮肤成纤维细胞产生胶原蛋白具有抗皱作用^[18]，因此牛至精油可能是具有抗皱功效的化妆品原料。Valcourt制备了牛至精油纳米胶囊，通过表征证明具有纳米尺度以及高载药量；抗菌试验表明，牛至精油纳米胶囊抑菌效果稳定^[19]。肉桂精油能显著抑制酪氨酸酶活性^[20]，提示可能具有美白的功效。李鑫玲等人以壳聚糖(chitosan,CS)为壁材，采用离子凝胶法制备肉桂精油-壳聚糖纳米胶囊。制备的肉桂精油纳米胶囊在90 h后，精油的累积释放率达到62.50%，缓释作用明显^[21]。迷迭香精油能减少促炎因子TNF- α 、IL-1和IL-6的释放，抑制NF- κ B信号通路的转录^[22]，因此可作为舒缓功效化妆品原料进行开发应用。Skalickova S构建了基于壳聚糖-瓜尔胶结构的pH响应的迷迭香精油纳米胶囊具有较好的缓释性能和抗菌活性^[23]。

2.3 纳米胶囊技术的优劣势

纳米胶囊可以实现对包含成分的控制释放。然而纳米胶囊技术还处于初步研发阶段，要制备出纳米级微囊且不影响活性物质使用效果的方法仍是有限。纳米颗粒的尺寸

常受到搅拌速度、有机相的流速、有机相与水相的比例、表面活性剂和聚合物浓度等因素的限制^[24]。因此研究可从淀粉、壳聚糖、其它聚合物的修饰改性出发，筛选出适合纳米胶囊技术的材料。

3. Pickering乳液

Pickering乳液是以固体颗粒代替传统乳化剂（例如小分子表面活性剂）而稳定的乳液。而这些固体颗粒可以是无机或是有机的，通过吸附在油水界面上防止液滴聚结。Pickering乳液中，固体颗粒在油水界面上不可地吸附形成的颗粒膜通常比传统乳化剂分子膜厚，且固体颗粒自身具有刚性和可调的浸润性，为更好地负载和缓释功效成分提供了条件^[25]。

3.1 原理

Pickering乳液中的固体颗粒（Pickering乳化剂）由于具有较高的界面能^[26]（由固体颗粒稳定在油水界面的能量），可以快速吸附到油水界面上，极大程度的降低油水界面张力，并在界面上形成致密的物理屏障，所以，能够抑制乳液分散相的聚结。此外，已经吸附到界面上的固体颗粒因具有极大的解吸能而不会轻易脱落^[27]。影响Pickering乳液的主要因素有界面张力，粒子粒径，油水相体积比等。

3.2 Pickering乳液在负载植物精油中的应用

牛至精油主要成分是香芹酚，显著抑制RAW264.7细胞中TNF- α 、IL-6和NO的分泌，同时减少CuSO₄诱导的斑马鱼中性粒细胞迁移，具有明显的抗炎作用^[28]。因此牛至精油是舒缓功效的潜在原料。Yan Zhou等人制备了牛至精油Pickering乳液，乳液所使用的固体颗粒为纤维素纳米晶，这些纳米晶由微晶纤维素通过选择性氧化过硫酸铵制成。通过测量液滴尺寸和Zeta电位，研究和分析影响OEO-Pickering乳液稳定性的因素，结果表明，乳液在较高的纤维素纳米晶浓度和pH值下，或在较低的油水比和盐浓度下牛至Pickering乳液具有良好的稳定性^[29]。肉桂精油的主要成分为肉桂醛，对羟自由基均有一定的清除作用，且羟自由基清除率均随浓度增加而升高^[30]，是潜在的抗皱功效原料。以羧甲基纤维素和 β -环糊精为乳化稳定剂，山茶油和肉桂精油为油相，采用高速剪切法制得克林乳液，得到的Pickering乳液在30天内具有较好的储存稳定性^[31]。

3.3 Pickering乳液技术的优劣势

Pickering乳液较传统乳液稳定性更好。但固体乳化剂粒子的制备过程较复杂,制备成本较高,生产能力较小,乳化剂粒子的重复使用率较低,乳液制备技术还不够完善,缺乏工业规模的应用等^[32]。因此还需要开发纯度高、生物来源的Pickering乳化剂及可重复利用的Pickering乳化剂。

4. 脂质体

脂质体是指将有效成分包封于类脂质双分子层薄膜中间所制成的超微球形载体制剂。按照结构,脂质体通常可分为单层脂质体、多层脂质体和多囊脂质体。按照所带电荷性质,脂质体可分为中性脂质体、阴离子脂质体和阳离子脂质体^[33]

4.1 原理

脂质体分子所形成的球形囊泡由亲水头部和疏水尾部组成,头部暴露于水溶液中,尾部则聚集形成疏水的空间。当两性分子(如磷脂)在水相中分散时,疏水尾部为避开水相倾向于聚集在一起,形成尾对尾的结构;而亲水头部暴露在水相中,形成头对头的结构,这样的聚集方式就形成了具有双分子层结构的中空囊泡,就可以利用中空囊泡的结构进行装载活性成分^[34]。完整的脂质体可携带活性成分在水合梯度及由此产生的渗透压差的驱动下,完整穿过比自身小数倍的皮肤孔道从而进入体内参与血液循环^[35]。影响脂质体的形成和稳定性的主要因素有磷脂的选择、胆固醇的含量、有机溶剂的选择和去除过程。

4.2 脂质体在负载植物精油中的应用

鼠尾草精油主要活性成分是萜类成分,具有舒缓功效^[36]。Risaliti L等人以磷脂、胆固醇和鼠尾草植物精油为材料,制备了负载鼠尾草精油负载纳米脂质体,并评价了该脂质体抗氧化、抗炎和抗菌功效。结果表明纳米脂质体在一个月是稳定的^[22]。詹轶雯等人采用薄膜水化超声法制备茶树精油(互叶白千层精油)纳米脂质体。制备条件为卵磷脂和胆固醇质量比3.7:1,茶树精油浓度0.5%,经优化后的茶树精油纳米脂质体在90 h内一直处于持续缓慢释放的趋势^[37]。

4.3 脂质体技术的优劣势

脂质体具有保护有效成分活性、提高有效成分的生物利用率、掩盖不愉悦气味、延长有效成分保质期、定向靶

向释放等优点^[34]。但是脂质体产品的体外释放试验方法缺少规范。因此,研究人员需要自行开发体外释放方法来评价脂质体的释放行为,这些自行开发的方法可能存在重复性差、针对性不强等问题^[38]。脂质体还缺少透皮吸收理论机制支持,导致负载化妆品功效成分的脂质体在构建设计方面还存在不确定性。因此应开发和优化体外释放试验方法的标准,探究透皮吸收理论机制,包括水合作用、穿透作用和渗透压驱动作用等是脂质体技术研究的方向。

5. 水凝胶

水凝胶是一种具有三维网络结构的高分子材料,由亲水聚合物链在水中发生交联后形成^[39]。水凝胶由天然或合成高分子材料制成,常用天然高分子材料如壳聚糖、明胶等;常用合成高分子材料如聚乙烯醇、聚丙烯酸钠等。

5.1 原理

水凝胶缓控释主要通过物理结构控制和化学相互作用两方面完成。物理结构控制:水凝胶的三维网络结构可以包埋活性成分,通过调节网络的孔隙大小和交联密度,可以控制活性分子的扩散速率,从而实现控释。化学相互作用:水凝胶与药物分子之间可以通过化学键(如氢键、离子键、共价键等)相互作用,这种相互作用可以增强活性分子在水凝胶中的保留时间,实现控制释放^[40]。不同的高分子材料会影响水凝胶的生物相容性,交联类型和制备工艺条件通常是影响其稳定的主要因素。

5.2 水凝胶在负载植物精油中的应用

柠檬草精油具有良好的抑制酪氨酸酶活性^[41],是美白功效的潜在原料。Barbosa I T F等人制备的水凝胶是用一定浓度的聚乙烯吡咯烷酮(PVP, 7.5%wt)、聚乙二醇(P.E.G., 3%wt)和琼脂(1%wt)制备的,结果显示柠檬草精油水凝胶能够持久释放精油,降低精油刺激性^[42]。罗勒精油的主要抑菌成分为丁香酚^[43]。单孔荣等人研究了1%罗勒精油对3种痤疮致病菌抑菌持续效果达8~12 h,结论罗勒精油对痤疮丙酸杆菌具有持久抑菌活性^[44],是祛痘功效的潜在原料。徐密等人采用纳米沉淀法制备了罗勒精油水凝胶。然后将其负载在以聚乙烯吡咯烷酮(PVP)和聚乙烯醇(PVA)为基材的水凝胶上,通过冻融循环形成了BEO@Zcin/PVPPVA水凝胶伤口敷料,结果表现出优异的缓释抑菌性能^[45]。

5.3 水凝胶技术的优劣势

天然原料制备的水凝胶虽然生物相容性好，但稳定性差，易降解。而合成的水凝胶稳定性好，但需要确保其降解产物对皮肤安全性尚需评估。在响应性和可控性方面，一些水凝胶的可控性、响应和驱动能力较弱，例如封装效率低，易于泄漏已经负载的活性成分，缺乏可控性^[46]。因此选择合适的原料进行共混形成复合物水凝胶，提高水凝胶的生物相容性和生物可降解性是至关重要的，可通过纳米材料与水凝胶结合，提高水凝胶的功能性和负载能力。

6. MOF 技术

金属有机框架 (metal-organic framework, MOF) 是一类以金属离子为核心，与有机配体通过配位键形成的多维孔道网络结构的晶体材料^[47]。

6.1 原理

MOF 由不同的金属离子或金属簇与有机配体连接而成，通过改变金属离子与有机配体的组成，可设计出不同结构、不同孔径大小和表面积的 MOF 载体。在金属离子与有机配体的配位过程中，通过引入其他金属离子和有机配体，增加原体系中的金属离子与配位基团之间的竞争性配位能力，以调节旧键断裂和新键形成之间的平衡，从而暴露出更多的活性位点，增加载体对活性成分的负载和缓释性能^[48]。影响 MOF 材料的主要因素有金属与配体的物料比例、有机配体的类型和功能化基团对 MOF 的孔径大小的影响以及溶剂的选择。

6.2 MOF 技术在负载植物精油中的应用

百里香精油主要成分为百里香酚，百里香精油通过与自由基结合产生稳定的化合物，抑制自由基对油脂类组织的氧化作用，保护皮肤免于光损伤^[49]，因此百里香精油是可能具有防晒功效的化妆品原料。Wu Y 等人首次将 MOF 作为精油的载体。以六水合硝酸锌和 2-氨基对苯二甲酸为原料，在 N,N-二甲基甲酰胺 (DMF) 中合成锌金属有机骨架 (Zn@MOF)，然后将百里香精油装入 Zn@MOF，对精油能持续释放 24 小时^[50]。

6.3 MOF 技术的优劣势

MOF 材料具有高比表面积、可控制的孔径形态及大小、可调节结构稳定性、易修饰等特点。但合成出来的大部分 MOF 的稳定性不好。MOF 作为活性成分的载体，不仅要求负载率高，重要的是生物安全性要高，但大多数 MOF 合成时所

应用到的有机材料具有一定毒性且较难清除，因此对有机材料的清除和选择具有极大的挑战；高结晶度的 MOF 材料的制备往往需要有机溶剂和高温条件。这导致合成 MOF 的能耗较大、产率较低^[51]。因此开发新型或再生的 MOF 材料对于减少环境污染且保持其生物活性是至关重要的。

7. 静电纺丝纳米纤维技术

静电纺丝纳米纤维是由天然聚合物，如壳聚糖、胶原蛋白等或合成聚合物在高压电场的作用下，聚合物溶液或者熔体在喷嘴处形成泰勒锥并以设定的流速形成射流，在到达接收器的过程中，溶剂挥发形成的纳米尺度的纤维^[52]。

7.1 原理

由于静电纺丝可以针对纳米纤维的孔隙率、孔隙尺寸等进行灵活控制，同时可以根据不同需求在溶液中加入不同的活性物质，通过调控纳米纤维的直径来控制活性物质的释放^[52]。影响其制备的主要因素有纺丝液的性质，包括聚合物的分子量等，操作的工艺条件：如电压、喷丝口针头形状等。

7.2 静电纺丝纳米纤维技术在负载植物精油中的应用

薰衣草精油对 UVB 诱导的皮肤屏障损伤具有一定的保护效果，主要通过抑制 UVB 诱导的白介素 1 α 、肿瘤坏死因子 α 和前列腺素 E2 表达量增加及 ROS 水平上升 ($P < 0.05$)。以上结果表明薰衣草精油在减少皮肤屏障紫外损伤方面具有较大的应用前景^[53]，因此薰衣草精油是防晒功效的潜在原料。马勇等人通过离心静电纺丝技术将抗菌材料薰衣草精油微胶囊负载在聚丙烯腈 (PAN) 纳米纤维中，制备了纳米纤维膜。通过高聚物 PAN 负载薰衣草精油微胶囊制备的抗菌纳米纤维膜在 35 天后纳米纤维膜中精油保持率为 57.2%^[54]。

7.3 静电纺丝纳米纤维技术的优劣势

静电纺丝纳米纤维具有高比表面积和多孔结构，适合用于活性物质缓释系统。但纳米纤维与皮肤是否会引发免疫反应，以及纤维结构如何影响活性成分释放等还有待解决。纳米纤维的生物相容性不高，可能会引起免疫反应或组织损伤；纤维直径分布不均，可能会影响活性成分递送效果；生产效率较低、部分纳米纤维材料的安全性尚需进一步验证^[54]。可以通过材料复合设计将不同材料进行共混或交联等处理，提高静电纺丝纳米纤维生物相容性及负载物的生物活性^[55]。

8. 结语

消费者对天然植物来源化妆品的需求与日俱增,因此植物精油的应用开发成为一个机遇。通过本文所搜集的文献报道及分析可以发现缓控释技术是解决植物精油在化妆品应用过程中易挥发,持续效果时间短,水溶性差的合理途径。然而,缓控释材料负载植物精油也面临一些重要的问题和挑战:一是如何选择更适用于化妆品的缓控释材料;二是缓控释载体与皮肤的生物相容性尚有待进一步论证;三是缓控释精油产品在皮肤上的缓释机制以及促渗机制未能深入探讨。因此,负载植物精油的缓控释材料在化妆品中应用可以从以下几个方面进行探究:一是通过皮肤刺激性试验、斑马鱼模型试验等来评估缓控释材料对皮肤的生物相容性。二是在化妆品应用场景下缓控释材料的分解变化规律,以确保缓控释体能适应化妆品的保质期。三是运用分子模拟等计算化学方法揭示植物精油活性成分通过缓控释材料在皮肤表皮层释放以及促渗的机制。因此,安全性更高、包封效果更好、作用更持久的植物精油缓控释产品将会成为未来化妆品研究的热点。

参考文献

- [1] 高锦明. 植物化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [2] Barbosa L C A, Filomeno C A, Teixeira R R. Chemical Variability and Biological Activities of Eucalyptus spp. Essential Oils [J]. *Molecules* (Basel, Switzerland), 2016, 21(12).
- [3] Wells R, Truong F, Adal A M, et al. Lavandula Essential Oils: A Current Review of Applications in Medicinal, Food, and Cosmetic Industries of Lavender [J]. *Natural Product Communications*, 2018, 13(10): 1403-17.
- [4] Fiocco D, Arciuli M, Arena M P, et al. Chemical composition and the anti-melanogenic potential of different essential oils [J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2016, 31(3): 255-61.
- [5] Lin T-K, Zhong L, Santiago J L. Anti-Inflammatory and Skin Barrier Repair Effects of Topical Application of Some Plant Oils [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2018, 19(1).
- [6] 陈静, 张佳宁, 田红茹, 等. 山苍子精油对痤疮丙酸杆菌生物膜破坏及毒力酶释放的影响 [J]. *中成药*, 2024, 46(01): 315-8.
- [7] 宁德山, 罗其昌, 陈阳, 等. 生物活性物质微胶囊化应用研究进展 [J]. *食品研究与开发* 2024, 45(14): 193-200.
- [8] 杨小兰, 袁娅, 谭玉荣, 等. 纳米微胶囊技术在功能食品中的应用研究进展 [J]. *食品科学* 2013, 34(21): 359-68.
- [9] 付红军, 李亚萍, 王艳, 等. 响应面法优化山苍子精油微胶囊的制备工艺及其缓释性能研究 [J]. *中国粮油学报*: 1-12.
- [10] 李亚军, 陶萍芳, 李秀英, 等. 澳洲茶树精油的成分分析及美白抗氧化功效研究 [J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(04): 75-8.
- [11] 张玉荣, 倪浩然, 吴琼, 等. 茶树精油微胶囊包埋工艺优化及表征 [J]. *河南工业大学学报 (自然科学版)* 2021: 1-14.
- [12] Satooka H, Kubo I. Effects of Thymol on Mushroom Tyrosinase-Catalyzed Melanin Formation [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(16): 8908-14.
- [13] Kyun C S, Yeon S J, Hoon L J, et al. Microencapsulation of essential oil for insect repellent in food packaging system. [J]. *Journal of food science* 2013, 78(5): E709-14.
- [14] 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(01): 332-9.
- [15] 刘孟哲, 张岩, 欧念涛, 等. 植物精油的纳米胶囊化及其在畜禽生产中的应用 [J]. *动物营养学报* 2024, 36(07): 4191-200.
- [16] 刘天群, 赵迪, 李雪婷, 等. 包覆紫外线吸收剂奥克林的纳米胶囊的制备及其性能 [J]. *功能高分子学报* 2018, 31(02): 175-80.
- [17] Laothaweerungsawat N, Sirithunyalug J, Chaiyana W. Chemical Compositions and Anti-Skin-Ageing Activities of Origanum vulgare L. Essential Oil from Tropical and Mediterranean Region [J]. *Molecules*, 2020, 25(5): 25051101
- [18] Lee J, Jung E, Yu H, et al. Mechanisms of carvacrol-induced expression of type I collagen gene [J]. *Journal of dermatological science*, 2008, 52(3): 160-9.
- [19] Valcourt C, Saulnier P, Umerska A, et al. Synergistic interactions between doxycycline and terpenic components of essential oils encapsulated within lipid nanocapsules against gram negative bacteria [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2016, 498(1-2): 23-31.
- [20] 路露, 束成杰, 葛翎, 等. 肉桂精油和肉桂醛的抑菌、抗氧化和酪氨酸酶抑制活性研究 [J]. *林产化学与工业* 2022, 42(03): 105-10.
- [21] 李鑫玲, 康怀彬, 张慧芸. 肉桂精油纳米胶囊制备表征及体外抗菌抗氧化能力 [J]. *食品与发酵工业* 2019, 45(23): 121-7.
- [22] Risaliti L, Kehagia A, Daoutzi E, et al. Liposomes loaded with Salvia triloba and Rosmarinus officinalis essential oils: In vitro assessment of antioxidant, anti-inflammatory and antibacterial activities [J]. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2019, 51: 493-8.
- [23] Skalickova S, Aulichova T, Venusova E, et al. Development of pH-Responsive Biopolymeric Nanocapsule for Antibacterial Essential Oils [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(5).
- [24] 吴述平, 马俊杰, 陶江涛. 生物基纳米胶囊的合成与应用研究进展 [J]. *应用化工* 2022, 51(12): 3619-24.
- [25] Teagasc Food Research Centre M, Fermoy, Co. Cork, Ireland, Food S o, Nutritional Sciences U C C, Cork, Ireland, et al. Preparation, structure-property relationships and applications of different emulsion gels: Bulk emulsion gels, emulsion gel particles, and fluid emulsion gels [J]. *Trends in Food Science & Technology* 2020, 102(prepublish): 123-37.
- [26] 殷俊荣, 武俊文, 王金冉, 等. 响应型 Pickering 乳液研究进展 (I) [J]. *精细石油化工* 2024, 41(05): 75-80.
- [27] 王然. 辛烯基琥珀酸纳米淀粉酯颗粒的制备及其食品级 Pickering 乳液的特性 [J]. *食品科学* 2019, 40(20): 94-9.

- [28] 梅早菊, 吴信浪, 曲丽萍. 云南腾冲牛至精油成分及其抗炎和抗衰老活性特征 [J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(04): 192–200.
- [29] Zhou Y, Sun S, Bei W, et al. Preparation and antimicrobial activity of oregano essential oil Pickering emulsion stabilized by cellulose nanocrystals [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112: 7–13.
- [30] 闫红秀, 马晓冉, 陆培演, 等. 肉桂精油及其主要成分的羟自由基清除能力、抗脂质过氧化活性及抑菌效果研究 [J]. 黑龙江畜牧兽医 2022, (06): 99–104+9.
- [31] 柴向华, 王文莉, 吴克刚, 等. 羧甲基纤维素/ β -环糊精皮克林乳液荷载肉桂精油的稳定性及抗菌性分析 [J]. 粮食与油脂 2023, 36(06): 48–52.
- [32] 齐亚兵, 吴子波, 杨清翠. Pickering乳液制备及稳定性研究进展 [J]. 化工进展 2024, 43(04): 2017–30.
- [33] 王程鑫, 兰欣悦, 顾家璇, 等. 功能化脂质体及其在植物源天然产物递送中的应用 [J]. 功能高分子学报 1–17.
- [34] 王兴芝, 代英辉, 王东凯. 脂质体的制备方法及应用的研究进展 中国药理学杂志 (网络版) [J]. 2024, 22(01): 14–24.
- [35] 颜红, 官思璠, 于亮, 等. 脂质体作为药物载体的最新研究进展 [J]. 药物生物技术 2023, 30(03): 325–30.
- [36] 屈英薇 李, 王淑月. 鼠尾草属植物的化学成分及药理活性 [J]. 河北医科大学学报 2005, (06): 311–2.
- [37] 詹轶雯, 李金贵. Box-behken响应面法优化茶树精油纳米脂质体的制备及其表征与抑菌活性分析 [J]. 中国兽医学报 2023, 43(01): 144–51.
- [38] 高冬旭, 赵源, 陆伟根, 等. 脂质体体外释放方法的研究进展 [J]. 中国医药工业杂志 2024, 55(04): 445–55.
- [39] 杜佳强, 张彦峰, 成一龙. 聚硫辛酸基多功能水凝胶的构建及在感染皮肤伤口修复中的应用 [J]. 高分子学报 2024, 55(05): 624–36.
- [40] 蔡紫焯, 张斌, 姜丽阳, 等. 智能响应型水凝胶药物控释体系及其应用 [J]. 化学进展 2019, 31(12): 1653–68.
- [41] Saeio K, Chaiyana W, Okonogi S. Antityrosinase and antioxidant activities of essential oils of edible Thai plants [J]. Drug discoveries & therapeutics, 2011, 5(3): 144–9.
- [42] Barbosa I T F, Oliveira B, Rocha G, et al. Characterization of Hydrogels Containing Mandelic Acid Nanoemulsions and Different Essential Oils [J]. Materials Research–Ibero–American Journal of Materials, 2023, 26.
- [43] 丁华, 王建清, 王玉峰, 等. 罗勒精油成分分析及抑菌性研究 [J]. 中国调味品 2017, 42(02): 43–8.
- [44] 单孔荣, 王红丽, 姚乃捷, 等. 薰衣草精油与罗勒精油对痤疮致病菌的体外抑菌作用研究 [J]. 广东药科大学学报 2017, 33(05): 677–80.
- [45] 徐密, 张良, 何志仙. 纳米罗勒精油/聚乙烯吡咯烷酮-聚乙烯醇水凝胶伤口敷料制备及性能表征 [J]. 复合材料学报 2024, 41(02): 748–60.
- [46] Zhu H, Zheng J, Oh X Y, et al. Nanoarchitecture-Integrated Hydrogel Systems toward Therapeutic Applications [J]. Acs Nano, 2023, 17(9): 7953–78.
- [47] 王宇轩, 谢雯佳, 高会乐, 等. 金属有机框架纳米药物载体胞吞途径的研究进展 [J]. 药学报 2024, 59(05): 1196–209.
- [48] 戚晨雨, 周杰, 张耀伟, et al. 金属有机框架材料纳米载体的制备及其在农药缓控释中的研究进展 [J]. 农药学报 2023, 25(01): 51–61.
- [49] 马永鹏, 张红霞, 杜芝芝. 云南高原芳香植物精油在化妆品中的应用 [J]. 天然产物研究与开发 2018, 30(01): 146–54.
- [50] Wu Y, Luo Y, Zhou B, et al. Porous metal-organic framework (MOF) Carrier for incorporation of volatile antimicrobial essential oil [J]. Food Control, 2019, 98: 174–8.
- [51] 付巧芳, 吴璞. 磁性金属-有机框架复合材料作为抗癌药物载体的研究进展 [J]. 中国兽医杂志 2024, 60(04): 104–10.
- [52] 叶佩雯, Su-ying W, 魏凤环. 静电纺丝载药纤维及其在经皮递药系统中的研究进展 [J]. 中国药理学杂志 2019, 54(24): 2034–42.
- [53] 刘菲, 王倩, 韩婷婷, 等. 薰衣草精油对皮肤屏障紫外损伤的保护机制研究 [J]. 生物学杂志 2024, 41(01): 46–53.
- [54] 马勇, 孙哲茹, 楼朱玉双, 等. 离心静电纺薰衣草精油抗菌纳米纤维膜的制备及表征 [J]. 化工新型材料 2024, 52(06): 269–73.
- [55] 杨海贞, 魏肃桀, 马闯, 等. 静电纺丝纳米纤维在药物输送领域的应用 [J]. 现代纺织技术 2024: 1–11.

Research Progress on Sustained and Controlled Release of Plant Essential Oils and Their Application in Cosmetics

Luo Dian, Zhang Sheng*

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan, 410004)

Abstract : The use of plant essential oil is limited in the application of cosmetics, for it has shortcomings such as easy volatilization, short duration time, and poor water solubility. Sustained and controlled release technology not only provides new approaches to solve the above problems, but also can regulate the release behavior of plant essential oils. This article reviews the principles and applications of sustained and controlled release technologies, including microcapsules, nanocapsules, pickering emulsions, liposomes, hydrogels, metal organic framework materials (MOF), electrospun nanofibers, and loaded plant essential oils. Besides, it also discusses the limitations, problems, and challenges faced by the sustained and controlled release technology of plant essential oils when applied in cosmetics.

Keywords : plant essential oil; slow and controlled release technology ; cosmetics