

滁菊精油纳米乳的构建、特性与应用研究进展

李心心¹, 韦文斌¹, 赵银达¹, 张微微^{1*}, 刘晓翠², 王 玥¹, 蔡 艳¹

¹滁州学院生物与食品工程学院, 安徽 滁州

²安徽华粮液国粹生物药业科技有限公司, 安徽 滁州

收稿日期: 2025年9月11日; 录用日期: 2025年10月9日; 发布日期: 2025年10月21日

摘 要

滁菊精油富含多种活性成分, 具备抑菌、抗炎、抗氧化等多种生理功能, 但其亲脂性强、水分散性差、稳定性低及生物利用度有限等问题, 严重制约了其进一步开发与应用。纳米乳作为一种高效的递送系统, 能够显著改善精油的水分散性和稳定性, 提高其生物活性, 拓宽应用前景。本文系统综述了滁菊精油的生物活性, 并重点介绍了精油纳米乳的制备方法、理化特性及最新研究进展, 以期对相关领域的深入研究和实际应用提供理论依据与技术参考。

关键词

精油, 纳米乳, 生物活性, 滁菊

Research Progress on the Construction, Properties, and Applications of Chrysanthemum Oil Essential Oil Nanoparticle Emulsions

Xinxin Li¹, Wenbin Wei¹, Yinda Zhao¹, Weiwei Zhang^{1*}, Xiaocui Liu², Yue Wang¹, Yan Cai¹

¹College of Biological and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou Anhui

²Hualiangye Guocui Biopharmaceutical Technology Co., Ltd., Chuzhou Anhui

Received: September 11, 2025; accepted: September 9, 2025; published: October 21, 2025

Abstract

Chrysanthemum essential oil is abundant in diverse bioactive components and exhibits a wide

*通讯作者。

文章引用: 李心心, 韦文斌 赵银达, 张微微, 刘晓翠, 王玥, 蔡艳. 滁菊精油纳米乳的构建、特性与应用研究进展[J]. 食品与营养科学, 2025, 14(6): 713-718. DOI: 10.12677/hjfn.2025.146077

range of physiological activities, including antibacterial, anti-inflammatory, and antioxidant effects. Nevertheless, its inherent characteristics—such as high lipophilicity, poor water dispersibility, insufficient stability, and limited bioavailability—have posed significant barriers to its further development and practical application. As an efficient delivery system, nanoparticle emulsions can remarkably enhance the water dispersibility and stability of essential oils, boost their biological activity, and expand their application prospects. This paper systematically reviews the biological activities of chrysanthemum essential oil, with a specific focus on the preparation methods, physicochemical properties, and latest research progress of essential oil-based nanoparticle emulsions. The objective is to provide a theoretical foundation and technical reference for in-depth research and practical applications in relevant fields.

Keywords

Essential Oil, Nanoparticle Emulsion, Biological Activity, Chrysanthemum

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

植物精油是植物通过次生代谢产生的一类挥发性芳香化合物, 可通过水蒸气蒸馏、溶剂萃取等技术从植物种子、果实、根茎或叶片中提取, 因具备杀虫、抑菌、抗氧化等多元生物功能, 在食品、化妆品、制药及畜牧兽医领域备受关注[1]。随着消费者对“天然、安全、健康”产品的需求升级, 相较于化学合成制剂, 植物精油的低毒性、高相容性及环境友好性优势愈发凸显, 成为健康产业的研究热点。

滁菊位列中国四大名菊之首, 与杭白菊、黄山贡菊和亳菊齐名。其精油成分复杂, 含有黄酮类、挥发油、萜类、酚酸类、多糖类等成分[2]。这些成分共同赋予滁菊精油抗菌、抗炎、抗氧化等核心功能。但与多数植物精油类似, 滁菊精油的强亲脂性使其难以在水相体系中分散, 且对温度、光照等环境因素敏感, 易发生氧化降解, 导致其生物利用度低、应用场景受限[1]。

为突破上述瓶颈, 科研人员开展了大量技术探索, 其中纳米乳递送系统因具备分散均匀、热力学动力学稳定、生物利用度高等优势, 成为关键解决方案。纳米乳可通过包裹疏水性精油, 实现其在水相中的稳定分散, 同时保护活性成分免于氧化降解, 并通过缓释作用延长功效[3]。基于此, 本文在梳理前人研究成果的基础上, 系统总结滁菊精油的生物活性机制, 全面概述纳米乳的制备工艺、配方筛选方法及应用进展, 为滁菊精油纳米乳的后续研究与产业化提供理论支撑。

2. 滁菊精油的生物活性

2.1. 抑菌性

滁菊精油对多种细菌具有抑制效果。韩晓芳[4]等研究表明菊花挥发油对金黄色葡萄球菌具有一定的抑制作用。李志宏[5]等报道滁菊精油对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌有显著抑菌效果。林琳[6]等进一步研究表明滁菊精油对单核细胞增生李斯特菌有较强的杀菌作用, 最小抑菌浓度(MIC)为 2.5 mg/mL, 将其封装于纳米纤维中可用于肉制品保鲜。朱建坤[7]等研究表明不同产地的菊花(济菊、杭菊、怀菊、滁菊)挥发油对变形杆菌、金黄色葡萄球菌、肺炎球菌等均有一定的抑制作用, 其中对金黄色葡萄球菌的抑菌作用

最为明显。

2.2. 抗炎作用

炎症是机体对于刺激的一种防御反应，通常表现为红肿热痛和功能障碍。众多研究证明滁菊精油具有良好的抗炎作用。毛超一[8]发现菊花提取物对 LPS 诱导的 RAW264.7 炎症细胞模型的炎症反应具有较好的抑制作用，其中滁菊的抗炎效应较差，亳菊次之，贡菊的胎菊对炎性介质的抑制效应最佳。陈炜莉[9]等研究表明菊花萜类化合物中的倍半萜内酯具有较好的抗炎和免疫调节等生物活性。Lee [10]等认为菊花提取物可通过调节肌肉腺苷酸活化蛋白激酶 - 沉默信息调节因子(AMPK-SIRT1)通路来改善肥胖大鼠肥胖相关炎症，这可能与菊花中含有丰富的绿原酸、木犀草素、芹菜素等多酚类物质有关。El-Dein [11]等研究发现菊花提取物通过清除自由基可以起到较好的抗炎作用。

2.3. 抗氧化性

滁菊精油黄酮及其多糖组分均表现出较强的自由基清除能力。张易[12]等通过测定滁菊的氧化还原能力等实验得出滁菊具有体外抗氧化活性特征。董艺凝[13]等研究发现低度滁菊浸泡酒总黄酮含量高，体外抗氧化活性显著。于士军[14]等研究表明滁菊茎叶精油对 DPPH 和 ABTS 自由基的 IC₅₀ 分别为 46.99、2.42 mg/mL，且抗氧化能力随精油浓度的增加而提升。吴冕[15]等研究表明滁菊总黄酮和滁菊多糖 2:3 配伍体外抗氧化活性最强，体内实验亦证实该比例配伍抗氧化活性具有协同作用。李楠[16]等通过对菊花精油成分分析及抗氧化活性研究，证明菊花精油对 DPPH 自由基、羟基自由基、ABTS 自由基具有一定的清除能力，且与精油质量浓度呈正相关。除此之外，Yang 等[17]研究发现滁菊多糖对 DPPH 自由基、羟基自由基和超氧阴离子自由基具有一定的清除作用。

3. 纳米乳研究进展

3.1. 纳米乳液概念

纳米乳(nanoemulsion)是由水相、油相、表面活性剂和助表面活性剂按适当的比例形成粒径为 50~500 nm，能够进一步提高精油的稳定性、分散性和缓释性能的透明分散体系[18]-[22]，主要有以下三种类型：1) 油分散在连续水相中的水包油型纳米乳(O/W)；2) 水滴分散在连续油相中的油包水型纳米乳(W/O)；3) 双连续型纳米乳(W/O/W 或 O/W/O)。与微乳液相比，纳米乳具有更好的动力学稳定性[23]。

纳米乳中油可以是任何类型的，如大豆油、玉米油、椰子油、亚麻籽油等。油和水的混合物可能形成一种暂时的粗乳状液，当它凝固时，由于分散水珠的结合，它将分成两个不同的相，而表面活性剂正好能使这类体系稳定。表面活性剂的来源可以分为天然表面活性剂(如卵磷脂、某些蛋白质等)以及合成表面活性剂(如聚甘油酯、聚丙烯酰胺、吐温 80 等)。

纳米乳粒径小、分散均匀，具有更大的表面积自由能和更好的稳定性，是动力学稳定体系，微小的颗粒通过布朗运动克服重力作用，减少贮存中沉降、絮凝等不稳定现象的发生[24]。因此，它可以使精油等疏水化合物更加稳定和生物利用率更高，其已被广泛用作多种疏水性物质的载体，是解决精油“水溶性差”问题的有效方法，还能够防止功能营养成分被氧化，并提高其水溶性和生物利用率[25]。

3.2. 纳米乳制备方法

纳米乳的形成需要外界提供机械能。目前，纳米乳的制备方法主要有两大类：高能乳化法、低能乳化法。常见的高能乳化法包括高压均质法、微射流法和超声波法。常见的低能乳化法包括相转变温度法、相转变组分法和微乳液稀释法三种方法。其中相转变法操作简单，成本低，但粒径大小以及分散均匀性

可能较差，而超声波法可以更好地剪切纳米颗粒，有效的解决了这个问题。

3.2.1. 相转变法(相转变组分法)

通过改变乳液体系分散相比比例，诱导体系发生相转变从而形成纳米乳。一般是向混合油相和乳化剂中滴加水相，体系经过油包水(W/O)型的微乳区、双连续型区，最终通过相转变形成水包油(O/W)型的纳米乳。除此之外，可向混合的水相和乳化剂中滴加油相来制备粒径较大的纳米乳。在相反转点附近的油水界面的界面张力非常低，并且能够利用较低的能量，生成具有较高比表面积乳液小液滴。

3.2.2. 超声波法

台式超声仪由压电探头组成，探头尖端会产生强烈的击穿力。这个方法的原理是当探头在样品中浸泡时，超声波会产生空化泡，这些空化泡会持续增长直到内爆。内爆会产生激波，激波反过来又会产生周围液体的喷射流，对分散的液滴施加压力，从而导致液滴尺寸减小，同时液滴尺寸随着超声时间和输入功率的增加而减小。它主要应用于所需乳液粒径低至 0.2 μm 的实验中。超声方法依赖于高频声波(20 kHz 及以上)，与其他高能量的方法相比，超声乳化所消耗的能量最少。之前也有研究利用超声制备柠檬精油纳米乳乳液稳定性较高[26]。

3.3. 纳米乳配方筛选

纳米乳常见的筛选方法包括响应面法、单因素法、实验对比法、伪三元相图法等，其中伪三元相图法直观，准确和实验效率高，所以本文采用伪三元相图法筛选滁菊精油纳米乳的最佳配方。

伪三元相图法是筛选纳米乳配方的常用方法，通过固定部分组分比例，优化油相、水相和表面活性剂的比例，确定最佳成乳区域[27]。此外，需通过丁达尔效应、动态光散射(DLS)和稳定性试验等手段对纳米乳品质进行鉴定[28]。

3.4. 纳米乳应用

在食品行业中，纳米乳可以保护生物活性物质免于与其他食物成分发生一系列生化反应，有效地防止了生物活性物质的降解，从而确保了食品的质量和营养，同时还可以改善食品的物化稳定性，延长其货架期[29]。在生物医药领域，纳米乳可用于增加疏水性或油性药物的溶解性，以增加药物在生物体中的局部吸收；可以掩盖药物的不同口味及气味，以提高相关药物的适口性；可以改善亲脂药物的水分散性和生物利用度；还可以保护易水解和氧化的药物，延长药物的作用时间等[30]。在美容领域，纳米乳可更好的渗透皮肤，减少衰老皮肤厚度、改善角质化，具有较佳的抗皮肤衰老效果[31]。

纳米乳在食品、医药和美容领域的广泛应用，不仅提升了产品的质量和效果，也为人类健康和美容事业做出了重要贡献。随着纳米技术的不断发展，纳米乳的应用前景将更加广阔，为相关领域的发展注入新的活力。

4. 总结与展望

本文系统综述了滁菊精油的生物活性及其纳米乳化的研究进展。通过采用超声波辅助相转变技术制备纳米乳，并结合伪三元相图法优化配方，有望开发出稳定性高、生物利用度增强的滁菊精油纳米乳产品，为其在食品、医药和日化等领域的应用开辟新途径。未来研究应进一步聚焦于作用机理的深入探索、制备工艺的优化以及多学科技术的交叉融合，以推动滁菊精油实现更高附加值利用。总体而言，滁菊精油纳米乳兼具“天然活性”与“先进剂型”的双重优势，随着相关技术的持续突破，有望在健康产业中实现规模化应用，为天然植物资源的高值化开发提供新范式。

基金项目

安徽省教育厅重大基金项目(NO. 2022AH040154)、校级重点研究项目(NO. 2022XJZD22)、滁州学院博士后项目(NO. 2020BSH002)。

参考文献

- [1] 乔省, 张帅兵, 王艳艳, 等. 植物精油提取技术、生物活性及其在食品贮藏保鲜中的应用进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2024, 45(5): 121-130.
- [2] 汪玉玲, 吴晨曦, 徐心如, 等. 滁菊化学成分、药理作用及质量标志物预测分析[J]. 中药新药与临床药理, 2025, 36(2): 307-316.
- [3] 刘敏, 曹思源, 何悦, 等. 柠檬醛纳米乳的制备及其对砂糖桔保鲜效果的研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(24): 37-45.
- [4] 韩晓芳, 郭彪辉, 李丽雪, 等. 菊花挥发油对金黄色葡萄球菌抑制作用的研究[J]. 绿色科技, 2022, 24(14): 263-266, 273.
- [5] 李志宏, 王等福, 彭梦阳, 等. 滁菊酵素发酵工艺优化及生物活性功能探究[J]. 食品与营养科学, 2024, 13(3): 337-347.
- [6] Lin, L., Gu, Y., Sun, Y. and Cui, H. (2019) Characterization of Chrysanthemum Essential Oil Triple-Layer Liposomes and Its Application against *Campylobacter jejuni* on Chicken. *LWT*, **107**, 16-24.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.079>
- [7] 朱建坤, 凌爱丽, 朱建富, 等. 含杭白菊活性成分的抗菌洗涤剂[Z]. 浙江永金生物科技有限公司. 2021.
- [8] 毛超一. 基于成分-药效关联的中药菊花质量标准与评价研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国中医科学院, 2020.
- [9] 陈炜莉, 贝翎, 杨扬, 等. 两种生育酚酯衍生物对 D-半乳糖致衰老小鼠的抗衰老作用[J]. 食品科学, 2024, 45(6): 97-104.
- [10] Lee, Y., Lee, J., Lee, M., Chang, E. and Kim, Y. (2021) *Chrysanthemum morifolium* Flower Extract Ameliorates Obesity-Induced Inflammation and Increases the Muscle Mitochondria Content and AMPK/SIRT1 Activities in Obese Rats. *Nutrients*, **13**, Article 3660. <https://doi.org/10.3390/nu13103660>
- [11] Negm El-Dein, S., Hussein, A., Abu-Bakr, M.S., Negm El-Dein, A., Awad, H.M. and Ragab, E.A. (2022) Phytochemical Analysis and Determination of Antioxidant, Anti-Cholesterol, Anti-Inflammatory and Anti-Proliferative Activities of *Gerbera jamesonii* Flowers. *Advances in Traditional Medicine*, **23**, 863-875.
<https://doi.org/10.1007/s13596-022-00659-x>
- [12] 张易, 谢小花, 陈静, 等. 滁菊的功能成分及其体外抗氧化活性研究[J]. 中外食品工业, 2024(16): 39-41.
- [13] 董艺凝, 李煜, 黄开军, 等. 富含黄酮低度滁菊浸泡酒研制及品质分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 220-225.
- [14] 于士军, 赵若涵, 韩彬, 等. 滁菊茎叶精油的提取工艺优化、化学成分及抗氧化活性研究[J]. 中国粮油学报, 2025, 40(7): 131-139.
- [15] 吴冕, 李婷婷, 汪梦圆, 等. 滁菊总黄酮和滁菊多糖配伍体内外抗氧化活性研究[J]. 安徽科技学院学报, 2020, 34(2): 51-56.
- [16] 李楠, 成英. 菊花精油成分分析及抗氧化活性研究[J]. 现代食品, 2017(22): 98-102.
- [17] Yang, J., Hu, J., Zhou, G., Wei, M. and Liu, Y. (2022) The Antioxidant Activity of Chuju Polysaccharide and Its Effects on the Viscera of Diabetic Mice. *Food Science and Technology*, **42**, e77422. <https://doi.org/10.1590/fst.77422>
- [18] 李藤藤, 徐东升, 吴迪, 等. 蛇油纳米乳的制备及稳定性评价[J]. 中国油脂, 2021, 46(11): 21-25, 49.
- [19] 尹玉洁, 李薇, 万欣, 等. 广藿香精油纳米乳液的制备、表征及性能研究[J]. 食品工业科技, 2023, 44(21): 30-36.
- [20] Xu, Y., Chen, H., Zhang, L. and Xu, Y. (2023) Clove Essential Oil Loaded Chitosan Nanocapsules on Quality and Shelf-Life of Blueberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, **249**, Article ID: 126091.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126091>
- [21] Zaineab, T., Uzair, B., Rizg, W.Y., Alharbi, W.S., Alkhalidi, H.M., Hosny, K.M., *et al.* (2022) Synthesis and Characterization of Calcium Alginate-Based Microspheres Entrapped with TiO₂ Nanoparticles and Cinnamon Essential Oil Targeting Clinical *Staphylococcus aureus*. *Pharmaceutics*, **14**, Article 2764.
<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14122764>
- [22] Chen, C., Deng, S., Tian, H., Kou, X., Yu, H., Huang, J., *et al.* (2024) Novel Bioactive Sponge Mats Composed of

- Oxidized Bacterial Cellulose and Chitosan-Gum Arabic Microcapsules Loaded with Cinnamon Essential Oil for Enhancing Meat Preservation. *Food Hydrocolloids*, **148**, Article ID: 109496. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109496>
- [23] Preeti, Sambhakar, S., Malik, R., Bhatia, S., Al Harrasi, A., Rani, C., *et al.* (2023) Nanoemulsion: An Emerging Novel Technology for Improving the Bioavailability of Drugs. *Scientifica*, **2023**, Article ID: 6640103. <https://doi.org/10.1155/2023/6640103>
- [24] 康亚男. 肉桂精油纳米乳液制备及其应用的研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2017.
- [25] 梁蓉, 麻建国, 钟芳. 纳米乳液包埋技术在功能性食品中的研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2013, 32(6): 561-568.
- [26] 刘婷. 柠檬精油纳米乳的制备及其抗大肠杆菌活性研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2023.
- [27] 靳若宁, 钱雪, 赵孔发, 等. 青花椒精油纳米乳的制备及其体外抑菌活性研究[J]. 中国野生植物资源, 2022, 41(10): 36-41, 53.
- [28] 孙小涵. 金华佛手精油的提取、纳米乳制备及活性研究[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2018.
- [29] Gasa-Falcon, A., Odriozola-Serrano, I., Oms-Oliu, G. and Martín-Belloso, O. (2019) Impact of Emulsifier Nature and Concentration on the Stability of β -Carotene Enriched Nanoemulsions during *in Vitro* Digestion. *Food & Function*, **10**, 713-722. <https://doi.org/10.1039/c8fo02069h>
- [30] Vineet, K.R., Nidhi, M. and Kuldeep, S.Y. (2018) Nanoemulsion as Pharmaceutical Carrier for Dermal and Transdermal Drug Delivery: Formulation Development, Stability Issues, Basic Considerations and Applications. *Journal of Controlled Release*, **270**, 203-225.
- [31] 吴涵, 董希瑶, 丛登立, 等. 蒸参水纳米乳抗皮肤衰老作用[J]. 中国老年学杂志, 2024, 44(23): 5738-5742.