

纳米脂质体的研究进展与展望

苗 数¹, 郭振超^{1*}, 杨新明², 刘佳怡¹, 张新勇¹

¹安徽科技工程大学生物医学与健康学院, 安徽 滁州

²安徽科技工程大学马克思主义学院, 安徽 滁州

收稿日期: 2026年8月6日; 录用日期: 2026年9月4日; 发布日期: 2026年9月15日

摘 要

纳米脂质体是由两亲性磷脂分子组装形成的双分子层纳米囊泡, 因其良好的生物相容性、生物可降解性及高效的药物包载与靶向递送能力, 已成为纳米载体领域的研究热点, 在医学、食品、药学等多学科交叉领域展现出重要的应用价值。本文系统梳理近些年国内外相关研究文献, 重点综述了纳米脂质体的制备工艺(传统工艺优化与新型制备技术应用)、功能化修饰技术(靶向修饰、智能响应修饰、长效循环及复合修饰)及多领域应用进展, 深入剖析了当前研究中存在的制备工艺规模化难度大、作用机制尚未完全明确、临床转化进程缓慢及学科交叉不足等关键问题, 并结合现有研究基础对未来发展方向进行了展望, 旨在为纳米脂质体的后续实验研究、剂型优化开发及产业化临床转化提供精准的理论支撑与实践指引。

关键词

纳米脂质体, 制备工艺, 功能化修饰, 药物递送, 临床转化, 应用进展

Research Progress and Prospect of Nanoliposomes

Shu Miao¹, Zhenchao Guo^{1*}, Xinming Yang², Jiayi Liu¹, Xinyong Zhang¹

¹College of Biomedical and Health Sciences, Anhui Science and Technology University, Chuzhou Anhui

²School of Marxism, Anhui Science and Technology University, Chuzhou Anhui

Received: August 6, 2026; accepted: September 4, 2026; published: September 15, 2026

Abstract

Nanoliposomes are bilayer nanovesicles self-assembled from amphiphilic phospholipid molecules. Owing to their excellent biocompatibility, biodegradability, as well as high-efficiency drug encapsulation and targeted delivery capabilities, nanoliposomes have emerged as a research hotspot in the

*通讯作者。

文章引用: 苗数, 郭振超, 杨新明, 刘佳怡, 张新勇. 纳米脂质体的研究进展与展望[J]. 生物过程, 2026, 16(3): 143-149.
DOI: 10.12677/bp.2026.163016

field of nanocarriers and exhibit significant application potential in interdisciplinary fields including medicine, food science and pharmaceuticals. By systematically collating domestic and international research literature in recent years, this paper mainly reviews the preparation technologies of nanoliposomes (optimization of traditional processes and application of novel preparation techniques) and functional modification strategies (targeted modification, stimuli-responsive modification, long-circulation modification and composite modification), together with their research advances in multiple application scenarios. The study further analyzes the core bottlenecks restricting current research, including difficulties in large-scale production, incomplete clarification of action mechanisms, slow clinical transformation progress and insufficient interdisciplinary integration. Combined with existing research foundations, the future development trends of nanoliposomes are prospected. This review aims to provide solid theoretical reference and practical guidance for subsequent experimental research, dosage form optimization, industrial development and clinical translation of nanoliposomes.

Keywords

Nanoliposome, Preparation Technology, Functional Modification, Drug Delivery, Clinical Translation, Application Progress

Copyright © 2026 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. 引言

随着纳米技术的迅猛发展, 纳米载体材料在生物医药、食品工业等领域应用日益广泛, 其中纳米脂质体凭借优异的生物相容性、可降解性及精准靶向递送能力, 成为纳米载体领域研究重点。纳米脂质体由磷脂双分子层构成, 可包载各类药物及活性物质, 能改善药物溶解性、提高生物利用度、降低毒副作用, 在疾病诊疗、活性物质保护等方面作用突出。近年来, 相关研究成果不断涌现, 但仍存在诸多亟待解决的问题, 亟需系统梳理总结。

国内外学者围绕纳米脂质体开展了大量研究, 赵春霞等[1]探究青蒿琥脂纳米脂质体对肝癌血管内皮生长因子的抑制作用, 为肝癌治疗提供新支撑; 李日升等[2]研究乳铁蛋白与纳米脂质体的相互作用, 奠定其在食品蛋白递送中的理论基础; Li Qiaoling 等[3]证实灌胃纳米超氧化物歧化酶脂质体可改善小鼠溃疡性结肠炎; 岳红燕等[4]设计双重响应仿生纳米脂质体, 为颅内动脉瘤诊疗开辟新路径。近些年, 随着制备技术的革新与功能化修饰手段的丰富, 纳米脂质体的研究维度不断拓展, 从单一的药物递送载体向多功能、复合型载体转变, 但学界研究仍存在碎片化问题, 不同研究方向缺乏有效整合, 制备工艺规模化、作用机制解析、临床转化等关键技术难题尚未形成统一认知, 基于此, 本研究系统整合近些年相关文献, 梳理研究现状、剖析现存瓶颈, 为后续相关研究提供清晰的思路与方向。

2. 纳米脂质体的制备工艺研究进展

2.1. 传统制备工艺及优化

制备工艺直接决定纳米脂质体的粒径分布、包封率及稳定性, 目前已形成传统工艺与新型工艺并存的格局。传统制备方法以薄膜分散法、逆向蒸发法、注入法为主, 操作便捷、成本较低, 广泛应用于基础研究与小规模制备。

薄膜分散法因设备要求低、操作简单,成为最常用的基础方法,通过磷脂溶解、旋转蒸发成膜、水化超声等步骤制备纳米脂质体[5],但存在粒径分布不均、疏水性药物包封率偏低等问题。逆向蒸发法适用于亲水性药物包载,可有效提高包封率。鲁疆等[6]采用有机溶剂注入法制备贝母素乙纳米脂质体,经 Box-Behnken 响应面法优化,得到的脂质体包封率高、稳定性好,为其工业化生产提供技术支持。

2.2. 新型制备技术及应用

新型制备技术有效弥补传统工艺不足,成为研究热点,主要包括微流体法、熔融乳化超声法、3D 打印法等,可精准调控参数,提升脂质体均一性与包封率。其中微流体法凭借制备高效、质量稳定、可规模化等优势备受关注,通过微通道流体剪切作用实现脂质材料与水相快速混合,解决粒径分布不均问题。孙韬等[7]采用熔融乳化超声法制备香芹酚纳米脂质体,经响应面法优化,其体外缓释效果及抑菌活性均优于游离香芹酚,为改善畜禽肠道健康提供新途径。

2.3. 制备工艺优化手段

Box-Behnken 响应面法、正交实验法等优化手段,通过多因素多水平实验筛选最优工艺,提升脂质体质量稳定性。近些年,工艺优化手段逐渐与计算机模拟、人工智能等技术结合,实现了制备参数的精准预测与动态调控,进一步提升了工艺优化的效率与准确性。磷脂酰丝氨酸脂质体可有效包载各类活性物质,其工艺优化思路为后续开发提供参考[8]。此外,工艺优化还聚焦于绿色环保方向,通过选用天然磷脂、简化制备步骤、减少有机溶剂使用,实现制备过程的低碳化与无害化,契合现代产业发展需求。目前,新型技术成本高、操作复杂,传统工艺优化仍需深入,未来需聚焦工艺简化与成本控制,推动工业化发展,同时加强不同工艺的融合创新,实现脂质体质量与制备效率的双重提升。

3. 纳米脂质体的功能化修饰研究进展

3.1. 靶向修饰技术及应用

功能化修饰是提升纳米脂质体靶向性、控释能力及稳定性的关键,可解决原始脂质体易被单核-巨噬细胞系统清除、靶向性差、体内循环时间短等突出问题,也是近些年纳米脂质体研究的核心热点之一。靶向修饰通过在脂质体表面修饰特异性配体、单克隆抗体、多肽等生物活性分子,实现对特定细胞、组织或器官的精准识别与特异性结合,从而提高靶部位药物浓度,减少药物对正常组织的损伤,提升治疗效果与应用安全性。近些年,靶向修饰技术不断创新,修饰方法从传统的物理吸附向共价偶联、生物素-亲和素介导结合等更稳定、更高效的方式转变,修饰配体的特异性也不断提升,有效降低了脱靶效应。

常见靶向配体包括叶酸、转铁蛋白、RGD 肽、透明质酸等,其中转铁蛋白修饰的脂质体凭借其可跨越血脑屏障的优势,在脑部疾病诊疗中展现出独特潜力,可实现中枢神经系统药物的精准递送,为阿尔茨海默病、脑肿瘤等难治性脑部疾病的治疗提供新路径。姜美茹等[9]通过表面修饰靶向配体,实现植物精油在果蔬表面的精准递送,提升保鲜效果并降低精油挥发性影响。新型纳米脂质体可共载姜黄素和 IR1061 染料,实现抗肿瘤与光热治疗协同作用,显著提升治疗效果[10]。此外,适配体修饰作为一种新型靶向修饰方式,因其特异性强、分子量小、不易引起免疫反应等优势,近些年逐渐成为研究热点,在肿瘤精准递送中展现出良好的应用前景。

3.2. 智能响应型修饰技术

智能响应型修饰通过在脂质体表面或内部引入响应性基团、聚合物或纳米材料,使脂质体能够根据体内微环境的变化(如 pH 值、温度、活性氧、酶浓度等)实现药物的可控释放,从而提高药物作用的精准

度和效率,减少药物浪费,是近些年功能化修饰的研究热点方向。其中光响应型脂质体凭借响应速度快、可控性强、可远程调控等优势,在肿瘤光热治疗、精准给药等领域展现出广阔应用前景,其通过光照触发脂质体膜结构破裂,实现药物的快速释放,可与光热治疗协同发挥作用,提升抗肿瘤效果。王祉琪等[11]指出,纳米技术可解决局部麻醉药临床局限,但光响应释放体系仍存在生产成本低、组织穿透性低、光照条件要求苛刻等问题,限制了其临床应用。杨光等[12]通过 3D 打印制备异烟肼脂质体光热支架,有效解决药物突释问题,为抗结核治疗提供新载体。除光响应外,pH 响应、活性氧响应型脂质体也得到广泛研究,其中 pH 响应型脂质体可利用肿瘤微环境的酸性条件实现药物靶向释放,活性氧响应型脂质体则可针对炎症部位、肿瘤组织等活性氧浓度较高的区域实现精准释药,进一步拓展了脂质体的应用场景。

3.3. 长效循环修饰及复合修饰技术

长效循环修饰主要通过脂质体表面修饰聚乙二醇(PEG)等亲水性聚合物,在脂质体表面形成空间位阻保护层,降低脂质体的表面电荷,减少单核-巨噬细胞系统的识别与清除,从而延长脂质体在体内的循环时间,提高药物的生物利用度,是改善脂质体体内性能的重要修饰手段。近些年,长效循环修饰技术不断优化,除 PEG 外,壳聚糖、透明质酸等天然亲水性聚合物也被广泛用于长效修饰,不仅提升了脂质体的循环稳定性,还兼具一定的生物活性,进一步拓展了脂质体的应用价值。刘媛媛等[13]以 DHA 藻油为原料制备纳米脂质体粉末,优化壁材后显著改善其氧化稳定性,本质是长效稳定化修饰的探索。复合修饰技术的应用,进一步拓展了脂质体的功能,将靶向修饰与智能响应修饰、长效循环修饰结合,可实现“精准识别-长效循环-可控释放”的多重功能,显著提升脂质体的应用价值。Xu 等[14]构建叶酸受体靶向肽与 pH 响应基团复合修饰脂质体,实现对肿瘤细胞的精准识别和药物的可控释放,有效提升了抗肿瘤药物的作用效率,为复合修饰技术的应用提供了实验支撑。目前修饰技术仍存在修饰效率不高、修饰后脂质体稳定性不足、体内安全性有待进一步验证等问题,需加强修饰机制的研究,优化修饰工艺,推动功能化脂质体的临床转化。

4. 纳米脂质体的多领域应用研究进展

4.1. 医学领域应用

纳米脂质体在医学领域主要作为药物递送载体,在肿瘤、心血管疾病等重大疾病诊疗中优势显著,可包载各类药物并实现精准递送,提升治疗效果并降低毒副作用。张明等[15]将超声靶向微泡爆破技术与辅酶 Q10 长循环纳米脂质体结合,有效改善大鼠糖尿病心脏病心脏功能,为其治疗提供新策略。

在肿瘤诊疗中,纳米脂质体可与光热治疗、免疫治疗协同作用,王子昂等[16]制备的可注射型脂质体水凝胶,对 4T1 乳腺癌具有良好的光热-化协同靶向治疗效果;李涛等[17]制备的丝裂霉素 C-全氟溴辛烷脂质体纳米药物,可显著抑制人翼状胬肉成纤维细胞增殖,且细胞毒性更低。此外,刘洋等[18]通过脂质体负载荧光染料,实现肿瘤组织精准成像,为早期诊断提供新方法。

4.2. 食品领域应用

在食品领域,纳米脂质体主要用于活性物质保护与功能性食品开发,可解决活性物质溶解性差、易氧化等问题,提高生物利用度并延长食品保质期[19]。李啟彬等[20]制备的细菌素 QY-C 与虾青素复合纳米脂质体,具有较强抗氧化和抑菌活性,在食品防腐保鲜领域潜力巨大。

4.3. 药学及兽药领域应用

在药学领域,纳米脂质体主要用于药物剂型的优化,解决传统药物剂型存在的溶解性差、生物利用

度低、毒副作用大、半衰期短等问题,推动药物剂型的升级完善,是近些年药物制剂研发的重要方向。闫慧佳等[21]制备的负载染料木素的纳米脂质体,可有效提高染料木素的生物利用率,且无明显毒副作用,为脂溶性生物活性物质的开发提供了重要参考。韦爱秋等[22]建立的小柱离心联合高效液相色谱法,可快速有效分离脂质体与游离药物,为亲脂性小分子药物脂质体的包封率测定提供了可靠方法,完善了脂质体质量检测体系。在兽药领域,纳米脂质体同样展现出良好的应用前景,可解决传统兽药生物利用度低、给药次数多、残留量大等问题,近些年相关研究不断增多,唐熙等[23]证实头孢噻呋钠纳米脂质体治疗小鼠乳腺炎的疗效优于原药,且药物残留量显著降低,为奶牛乳腺炎的临床治疗提供了新的参考方案,也为兽药剂型的创新提供了思路。

5. 研究现存问题

5.1. 制备工艺及作用机制现存问题

尽管近些年纳米脂质体领域的研究成果丰硕,制备技术与功能化修饰手段不断创新,应用范围持续拓展,但仍存在诸多不足制约其进一步发展与产业化应用。制备工艺方面,新型制备技术如微流体法、3D 打印法等虽具有诸多优势,但操作复杂、设备成本高昂,难以实现大规模工业化生产;传统制备工艺如薄膜分散法、逆向蒸发法等虽成本较低,但存在包封率不均、脂质体稳定性不足、粒径分布范围广等问题,且不同实验室、不同生产批次的工艺参数缺乏统一标准,标准化程度低,直接影响了脂质体产品的质量一致性。任红涛等[24]指出,工艺参数的波动是导致产品质量不稳定的主要原因,亟需建立标准化的生产流程与质量控制体系,规范工艺操作。作用机制方面,脂质体的靶向识别机制、智能响应释药机制、体内代谢与排泄机制等尚未完全明确,不同载体与药物、活性物质的相互作用规律缺乏系统、深入的探究,闫雪珊等[25]强调,配体与受体的结合特异性、脂质体与生物膜的相互作用方式、体内降解途径等关键科学问题仍需进一步深入研究,这也限制了脂质体的精准设计与性能优化。

5.2. 临床转化及学科交叉现存问题

临床转化方面,尽管近些年纳米脂质体的基础研究取得了显著进展,但多数研究仍停留在细胞实验和动物实验阶段,真正进入临床应用并实现产业化的脂质体制剂较少,临床转化进程缓慢。目前已上市的脂质体药物多为传统脂质体,功能化脂质体的临床应用仍面临诸多挑战,主要包括生产工艺标准化不足、体内代谢规律不明确、长期安全性有待验证、生产成本较高等问题,这些因素严重制约了其临床转化效率。高惠静等[26]提出,加强产学研结合、建立完善的质量控制标准、优化生产工艺、降低生产成本,是推动纳米脂质体临床转化的关键。此外,不同应用领域研究缺乏有效融合,医学、食品、药学、材料科学等学科间的交叉协作不足,导致研究成果碎片化,难以形成协同发展的合力,也限制了纳米脂质体技术的全面推进。周妹吟等[27]指出,多学科交叉是纳米脂质体技术突破的关键,建议加强不同学科的协同研究,推动技术创新与应用拓展,实现研究成果的高效转化。

6. 未来研究展望

6.1. 制备工艺与作用机制优化展望

未来研究应聚焦当前存在的不足,结合近些年的研究基础,朝着规模化、精准化、绿色化、多元化的方向发展。制备工艺上,需进一步优化现有新型制备技术,简化操作流程、降低设备成本,推动微流体法、连续化生产技术等的工业化应用,冯赫宣等[28]提出微流体法与连续化生产结合的思路,为纳米脂质体的规模化生产提供了新方向;同时,加强传统工艺的标准化优化,建立统一的工艺参数与质量控制标准,提升脂质体的批量生产质量和稳定性。此外,绿色制备工艺的研发将成为重点,通过选用天然磷

脂、生物可降解材料,减少有机溶剂使用,实现制备过程的低碳环保。作用机制方面,需加强多学科交叉研究,结合分子模拟、生物成像等先进技术,深入探究脂质体的靶向机制、控释机制及体内代谢规律,明确载体与药物、活性物质的相互作用原理,为脂质体的精准设计与功能优化提供坚实的理论支撑。陈燃等[29]建议采用分子模拟与实验结合的方法,解析脂质体与生物膜的相互作用机制,为功能化修饰提供理论依据。

6.2. 临床转化与应用领域拓展展望

临床转化方面,需加快动物实验向临床实验的转化进程,重点关注脂质体制剂的长期安全性和有效性,建立完善的质量控制标准与临床评价体系,同时加强产学研深度融合,推动企业、高校与科研院所的协同合作,实现技术创新与产业化应用的有机结合。同时,应加强不同应用领域的研究融合,拓展脂质体在新型领域的应用,如近些年逐渐兴起的基因递送、免疫治疗、环境治理等领域,李健泓等[30]综述了纳米脂质体在基因递送与免疫治疗中的应用研究进展,为其新型应用领域的拓展提供了参考,其中阳离子脂质体作为核酸递送的核心载体,在 siRNA、mRNA 递送中展现出良好潜力,有望成为基因治疗的重要工具。此外,还需加强国际合作与交流,借鉴国外先进研究成果与产业化经验,结合我国研究实际,推动纳米脂质体技术的自主创新与产业化发展,充分发挥其在医学、食品、药学等领域的应用价值,为相关产业的升级发展提供支撑。

基金项目

1) 国家级大学生创新创业项目资(202410879080); 2) 安徽省大学生创新创业项目资助(S202410879209); 3) 安徽科技工程大学人才引进博士科研启动金项目(SKYJ2005)资助; 4) 长三角高水平行业特色大学联盟专项课题(CSJZD202506)。

参考文献

- [1] 赵春霞,王玲玲,张雄. 青蒿琥脂纳米脂质体抑制肝癌 VEGF 及其受体作用的研究进展[J]. 重庆医学, 2024, 53(9): 1397-1400.
- [2] 李日升,唐文婷,孙玥,等. 乳铁蛋白与纳米脂质体的相互作用及对磷脂膜结构的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(1): 66-77.
- [3] 黎俏灵,李鹤年,郭静科,等. 灌胃纳米超氧化物歧化酶脂质体对小鼠溃疡性结肠炎的改善作用[J]. 食品科学, 2023, 44(1): 166-174.
- [4] 岳红燕,房飞,张怀奕,等. 构建 ROS 和 MMPs 力学双响应脂质体纳米颗粒靶向诊疗颅内动脉瘤[J]. 医用生物力学, 2024, 39(S1): 196.
- [5] 宋萌,岑莲. 基于药物递送系统的木犀草素脂质体纳米颗粒的可控构建[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2026, 52(2): 185-192.
- [6] 鲁疆,谭梅娥,于宁,等. Box-Behnken 响应面法优化贝母素乙纳米脂质体的制备工艺及稳定性考察[J]. 中南药学, 2025, 23(9): 2555-2559.
- [7] 孙韬,王璞,王军,等. 香芹酚纳米脂质体的制备及抑菌性能[J]. 中国兽医科学, 2023, 53(5): 649-657.
- [8] 石飞龙,武芳冰,王佳焱,等. 磷脂酰丝氨酸脂质体的制备方法、结构及应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2026, 47(7): 452-460.
- [9] 姜美茹,王颖,杜易潼,等. 植物精油的递送体系及其在果蔬保鲜中应用的研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(9): 293-305.
- [10] 潘虹,向兴华,赵倩茹,等. 姜黄素-IR1061 新型纳米脂质体的制备及其对肝癌细胞的体外抗肿瘤/光热联合治疗研究[J]. 中国医药导报, 2024, 21(34): 25-30.
- [11] 王祉琪, Timashev, P., 梁兴杰,等. 纳米技术在局部麻醉药物缓释和光响应控释中的应用[J]. 药科学报, 2023, 58(3): 530-535.

- [12] 杨光, 印治涛, 许燕. 3D 打印异烟肼脂质体光热支架及性能评价[J]. 中国组织工程研究, 2026, 30(26): 6701-6709.
- [13] 刘媛媛, 赵家和, 冯笑笑. DHA 藻油纳米脂质体粉末制备: 壁材对储存稳定性、体外消化及细胞摄取的影响[J]. 中国油脂, 2023, 48(9): 51-59.
- [14] Xu, W., Li, X., He, F., Zhao, H., Wu, J., Li, M., *et al.* (2025) Folate Receptor-Targeted pH-Sensitive Liposomes Loaded with TGX-221 against Prostate Cancer by Inhibiting PI3K/110 β Signaling. *Nanoscale Advances*, 7, 3267-3280. <https://doi.org/10.1039/d5na00009b>
- [15] 张明, 孙旻一, 何文跃, 等. 超声靶向微泡爆破技术结合辅酶 Q10 长循环纳米脂质体治疗大鼠糖尿病心肌病的实验研究[J]. 中华医学杂志, 2024(40): 3765-3774.
- [16] 王子昂, 李一菁, 陈家琦, 等. 共载 β -榄香烯和纳米氧化石墨烯的可注射型脂质体水凝胶治疗 4T1 乳腺癌的作用[J]. 中国现代应用药学, 2024, 41(19): 2608-2616.
- [17] 李涛, 廖灵珊, 朱胜兰, 等. 丝裂霉素 C-全氟溴辛烷脂质体纳米药物对人翼状胬肉成纤维细胞治疗安全性及效果评价[J]. 眼科新进展, 2024, 44(2): 100-105.
- [18] 刘洋, 王紫安, 蒋逸飞, 等. 近红外二区荧光/光声双模态成像脂质体的制备与表征[J]. 中国药科大学学报, 2019, 50(5): 560-564.
- [19] 李文君, 王成章, 雷建都, 等. 羟基酯醇柔性纳米脂质体的制备及其贮藏稳定性研究[J]. 生物质化学工程, 2023, 57(5): 25-34.
- [20] 李啟彬, 吕丽铄, 富思逸, 等. 细菌素 QY-C 与虾青素复合纳米脂质体制备及其特性评价[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(8): 121-127.
- [21] 闫慧佳, 李燕飞, 李思慧, 等. 负载染料木素纳米脂质体的制备及其体外抗炎活性研究[J]. 中国油脂, 2024, 49(6): 76-81.
- [22] 韦爱秋, 梅潇旭, 蒋倩婷, 等. 小柱离心联合 HPLC 测定适配体修饰的斑蝥素脂质体靶向纳米体系的包封率及药剂学性质研究[J]. 中国药学杂志, 2024, 59(5): 433-438.
- [23] 唐熙, 李青云, 张欣, 等. 头孢噻唑钠纳米脂质体对乳腺炎模型小鼠的治疗作用[J]. 动物医学进展, 2023, 44(4): 79-83.
- [24] 任红涛, 周宁, 余秋颖, 等. 逆向蒸发-超声微波协同制备原花青素纳米脂质体及其稳定性与抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(16): 235-248.
- [25] 闫雪珊, 肖振祥, 董莹莹, 等. 中药纳米聚集体: 自组装机制与靶向递送的研究进展[J]. 中草药, 2026, 57(11): 4447-4456.
- [26] 高惠静, 安惠霞, 陈蓓, 等. 与纳米脂质体制备方法相关的中国发明专利[J]. 中国药房, 2016, 27(7): 976-978.
- [27] 周姝吟, 周敏. 纳米递药技术在血栓治疗领域的应用进展[J]. 医学研究与战创伤救治, 2026, 39(4): 430-434.
- [28] 冯赫宣, 李佩珊, 刘懿萱, 等. 脂质体的研究与应用进展[J]. 药学进展, 2024, 48(10): 725-734.
- [29] 陈燃, 王智彪, 陈杭. 小分子与生物膜相互作用的分子模拟研究进展[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(34): 1-4.
- [30] 李健泓, 赵鹏, 宋烨, 等. 纳米材料在递送核酸药物治疗胶质母细胞瘤中的应用进展[J]. 分析试验室, 2026, 45(5): 762-773.