

• 专 论 •

从国家自然科学基金资助项目浅析中药超分子研究概况

蔡 伟^{1,2}, 巩仔鹏^{1,3}, 柴 智^{1,4}, 张乐乐^{1,5}, 吴佳桐^{1,6}, 刘学伟^{1*}

1. 国家自然科学基金委员会 医学科学部十处, 北京 100085

2. 湖南医药学院药学院, 湖南 怀化 418000

3. 贵州医科大学药学院 中药功效成分发掘与利用全国重点实验室 民族药与中药开发应用教育部工程研究中心, 贵州 贵阳 561113

4. 山西中医药大学基础医学院, 山西 晋中 030619

5. 成都大学基础医学院, 四川 成都 610106

6. 黑龙江中医药大学药学院, 黑龙江 哈尔滨 150000

摘 要: 中药是传统中医的重要组成部分, 中药复方作为中医临床实践的关键载体, 体现了中医药的整体观念和辨证施治的原则。近年来, 研究发现中药复方在传统水煎煮过程中, 其有效成分在弱键的驱动下能够发生自组装, 形成具有特定结构和功能特性的超分子复合物。这一分子层面的动态过程不仅可显著增强了药效, 同时可有效降低药物毒性, 展现了独特的中药治疗优势。通过对 2017—2024 年国家自然科学基金资助的中药超分子相关项目进行分析, 梳理了中药超分子在药物递送、药效增效、减毒等的研究现状, 并探讨了其在质量控制中的应用。研究发现, 药效物质基础、中药复方配伍、结构特征等是中药超分子领域的研究热点, 为从事中药超分子研究提供有益的参考与启示。

关键词: 国家自然科学基金; 中药超分子; 药效物质基础; 炎症; 肿瘤; 中药复方配伍; 自组装

中图分类号: R28 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2025)03-0753-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.03.001

Research status on supramolecule from traditional Chinese medicine: A review of projects supported by National Natural Science Foundation of China

CAI Wei^{1,2}, GONG Zipeng^{1,3}, CHAI Zhi^{1,4}, ZHANG Lele^{1,5}, WU Jiatong^{1,6}, LIU Xuewei¹

1. Department of Health Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China

2. School of Pharmaceutical Science, Hunan University of Medicine, Huaihua 418000, China

3. State Key Laboratory of Discovery and Utilization of Functional Components in Traditional Chinese Medicine, Engineering Research Center for Development and Application of Ethnic Medicine and Traditional Chinese Medicine, Ministry of Education, School of Pharmacy, Guizhou Medical University, Guiyang 561113, China

4. College of Basic Medical Science, Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong 030619, China

5. School of Preclinical Medicine, Chengdu University, Chengdu 610106, China

6. College of Pharmacy, Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150000, China

Abstract: Chinese medicine is an integral part of traditional Chinese medicine (TCM), and TCM prescriptions, serves as one of the pivotal carriers of theories and clinical practice of TCM, embodies the holistic approach and the principle of treatment based on syndrome differentiation. In recent years, Researcher found that the active ingredients in TCM prescriptions can undergo self-assembly during the decoction processes, which was driven by weak non-covalent interactions. This dynamic molecular process not only significantly enhances the efficacy of the formulations but also effectively reduces drug toxicity, highlighting the unique therapeutic

收稿日期: 2024-11-01

基金项目: 湖南省科技创新计划资助 (2022RC1228)

作者简介: 蔡 伟, 博士, 教授, 从事中药药效物质基础研究。E-mail: 20120941161@bucm.edu.cn

*通信作者: 刘学伟, 博士, 研究员, 从事科学基金管理研究。E-mail: liuxw@nsfc.gov.cn

advantages of TCM. This article analyzed the projects related to TCM supramolecules funded by the National Natural Science Foundation of China from 2017 to 2024, summarizing the research progress in drug delivery, enhanced pharmacological effects, toxicity reduction, and quality control applications. Investigations found that pharmacodynamic material basis, TCM prescription and formulation, and structural characteristics are the hot-spots of TCM supramolecules. This review aims to offer valuable insights and references for researchers involved in the study of TCM supramolecules.

Key words: National Natural Science Foundation of China; traditional Chinese medicine supramolecule; pharmacodynamic material basis; inflammation; tumor; compatibility of Chinese medicine prescriptions; self-assembly

中药作为中国传统医学的重要组成部分,拥有悠久的历史 and 广泛的临床应用。从古至今,中药不仅在中国历史上的各个时期发挥了重要作用,也在现代医学中显示出其独特的治疗功效^[1]。随着现代科学技术的发展,研究者在中药中发现了许多药用活性物质,包括小分子化合物(如青蒿中的青蒿素、紫杉树中的紫杉醇)及大分子物质如蛋白质(冬虫夏草蛋白、黑枣蛋白)和多糖(如枸杞多糖、菊苣多糖)等^[2-4],这些发现为中药的现代化研究和应用提供了科学依据。然而,传统的小分子和大分子研究往往忽略了中药复方中有效成分间复杂的相互作用。

超分子化学是指分子与分子之间的非共价相互作用及通过这些相互作用自组装形成具有特定理化性质的分子组装体。这些具有特定性质的分子组装体在多个领域中具有广泛的应用前景,如药物设计、材料科学、分子识别和生物化学等^[5]。

随着对中药药效物质基础研究的逐步深入,发现中药复方在水煎煮过程中,有效成分可以在弱键(如氢键、静电相互作用和疏水作用等)的驱动下发生自组装,形成具有特定结构和功能特性的超分子复合物,这一分子层面的动态过程不仅可显著增强药效,同时可有效降低药物毒性,展现了独特的中药治疗优势和广阔的应用前景^[6-8]。近年来,中药超分子研究逐渐受到关注,并逐步融入中药系统的研究中,这不仅是现代科学技术与传统中药学的有机融合,也是中药系统研究的重要历史延续和发展。中药超分子研究有助于深入理解中药复方的作用机制,促进更安全、有效中药制剂的开发,从而推动中药现代化和国际化进程。本文对 2017—2024 年国家自然科学基金(Natural Science Foundation of China, NSFC)资助的中药超分子相关项目进行了综述,分析了资助项目的主要研究内容和热点,梳理了中药超分子的研究现状与存在的问题,为从事中药超分子研究提供有益的参考和借鉴。

1 中药超分子相关的基金申请和资助情况

2017—2024 年,NSFC 共资助中药超分子相关

的 NSFC 项目 50 项,资助总经费为 1 407 万元。从资助年度分布分析(图 1),自 2017 年首个中药超分子项目(项目批准号 81603256)获得资助后,至 2023 年,资助项目数较稳定,年均 4 项,2024 年,资助项目数有较大突破,共获资助 22 项,占历年所资助项目的 2/5。

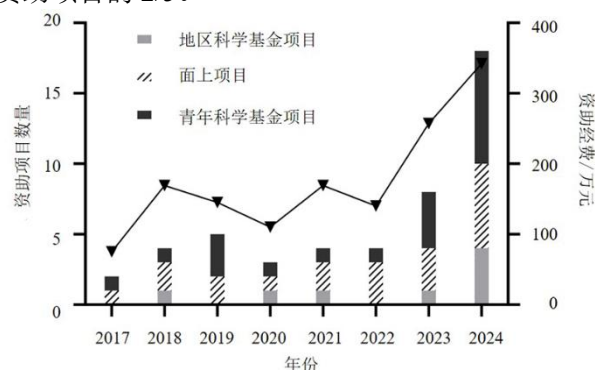


图 1 2017—2024 年中药超分子相关的 NSFC 项目资助情况

Fig. 1 Funding status of TCM supramolecular-related research projects funded by NSFC from 2017 to 2024

从项目类别分布分析(图 1),主要分为面上项目、地区科学基金项目及青年科学基金项目,其中面上项目及青年科学基金项目占据主导地位,占总资助项目的 84.0%。

从申请代码分布分析,资助项目主要分布在 9 个二级代码中,其占比分别为 H3206(中药制剂, 34.0%)、H3203(中药药效物质, 28.0%)、H3219(中药学研究新技术与新方法, 16.0%)、H3205(中药炮制, 6.0%)、H3207(中药药性理论, 6.0%)、H3218(民族药学, 4.0%)、H3202(中药鉴定, 2.0%)、H3204(中药质量评价, 2.0%)和 H3211(中药内分泌与代谢药理, 2.0%),见图 2。提示目前中药超分子的研究趋势主要集中在利用超分子提升中药制剂的性能及探索超分子作为潜在的中药药效物质基础。从资助项目的依托单位与地区分布分析(图 3),中药超分子相关资助项目地区分布 19 个省、自治区及直辖市,主要集中在北京、江苏、湖南、江西及四

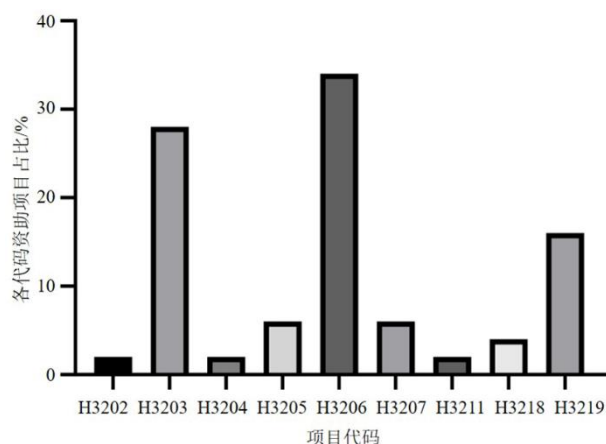


图 2 2017—2024 年中药超分子相关的 NSFC 资助项目申报方向分布

Fig. 2 Distribution of TCM supramolecular-related research projects funded by NSFC from 2017 to 2024

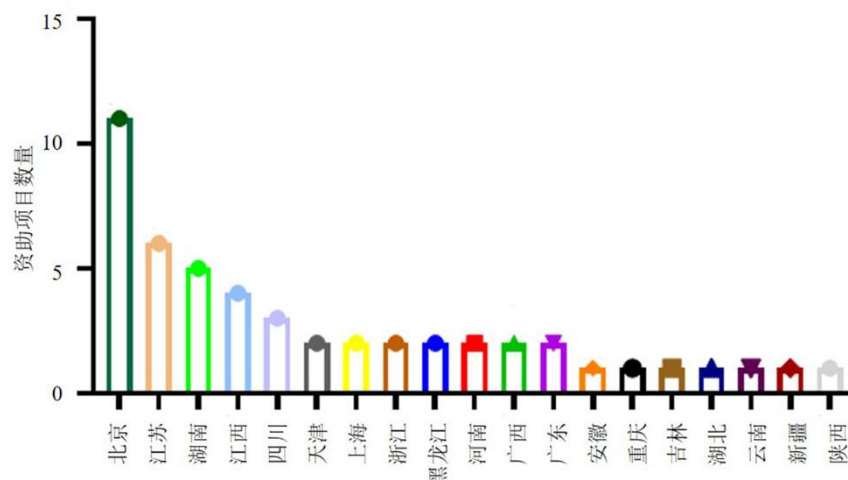


图 3 2017—2024 年中药超分子相关的 NSFC 资助项目申报地区分布

Fig. 3 Distribution of project application areas of TCM supramolecular-related research projects funded by NSFC from 2017 to 2024

多，相对分子质量相对较小，具备高分子运动性，这些特性共同作用下促进小分子之间的高效结合和超分子结构的形成^[10]。如在黄芩黄连水煎液中，黄芩苷和小檗碱在弱键（如氢键作用力、静电引力、 π - π 堆积等）诱导下的自组装过程形成的黄芩苷-小檗碱球形超分子复合物，值得注意的是，当浓度大于成胶浓度（ >10 mmol/L）时，复合物形态逐步转变为“珍珠链”状超分子（项目批准号 82073974）；甘草中的 18β -甘草酸与芫花中的部分黄酮苷类通过自组装形成粒径在 200 nm 左右的球形纳米颗粒（项目批准号 81903816）。

中药的成分复杂多样，不同药材的成分组会

川。其中主要的中药超分子相关资助项目申报单位是北京中医药大学（8 项）、南京中医药大学（5 项）及湖南中医药大学（4 项）。申请项目代码主要集中在 H3203 及 H3219。

2 中药超分子的研究方向

2.1 化学物质基础研究

中药的化学物质基础主要分为小分子（生物碱、有机酸、酚类等）、大分子（多糖、蛋白、肽等）及矿物来源的金属离子（铜、铁、镁等）^[9]。在中药煎煮过程中，各种药效物质逐渐从植物细胞壁中释放到水相中通过氢键、离子键等作用力形成多种类型的超分子。2017—2024 年，中药超分子化学物质基础研究的资助项目，如表 1 所示。

最常见的超分子是由小分子与小分子通过弱键结合而成，原因在于中药小分子化合物种类繁

明显不同，有些药材（如甘草、黄芪、高丽参等）中的大分子物质（如多糖、蛋白质）含量较高，这在煎煮过程中就会促进小分子与大分子的组合形成超分子^[11]。如土茯苓中的可溶性膳食纤维与落新妇苷形成自组装纳米颗粒（项目批准号 82060702）；巴戟天经甘草汁炮制后，巴戟天药液的物相结构发生改变，促使其糖蛋白与甘草汁中的蒽醌通过非共价键自组装形成纳米颗粒（项目批准号 82404865）。

此外，金属离子与小分子或大分子形成的金属配合物也是中药超分子的一个重要类型。如麻杏石甘汤中配伍石膏丰富的金属元素可与皂苷类、黄酮

表 1 2017—2024 年 NSFC 中药超分子化学物质基础资助项目

Table 1 Chemical components of TCM supramolecular-related research projects funded by NSFC from 2017 to 2024

组成分类	超分子基础药效物质
小分子-小分子	黄芩苷-小檗碱
	18β-甘草酸-芫花黄酮苷类
	芍药苷-甘草酸
	金樱根三萜
	蛹虫草虫草素-虫草酸
小分子-大分子	土茯苓可溶性膳食纤维-落新妇苷
	麦冬多糖-皂苷
	人参糖蛋白-皂苷
	巴戟天糖蛋白-甘草萜醌
金属离子-大分子或小分子	牡丹多糖-金属阳离子
	槲皮素-铁
	甘草酸-钙离子-凝集素蛋白
	皂苷、黄酮、生物碱-金属离子（钙离子为代表）

类、生物碱类等成分形成超分子体系（项目批准号 82274072）；法半夏炮制解毒过程中，甘草汁与石灰水以协同作用共同浸泡凝集素蛋白可使其形成超分子复合物结构而沉淀甘草汁中的甘草酸及石灰水中的钙离子与半夏的毒性成分凝集素蛋白相互作用形成自组装复合物（项目批准号 82304726）。

2.2 药理作用研究

通过中药超分子对于中药药理作用的相关基金项目分析，目前资助的项目主要聚焦在增强抗炎和抗肿瘤活性方面，如表 2 所示。炎症和肿瘤是全球范围内的重大健康问题，而中药在抗炎和抗癌方面具有悠久的历史，并且相比于传统治疗方法更具优势，具有较高的疗效且不良反应较小，展现出巨大的潜力。对于抗炎方面，如麦冬的多糖与皂苷作为其 2 类代表性组分，均表现出良好的抗炎活性，二者可在水相中形成自组装纳米粒，并改善鲁斯可皂苷元的水溶性和胃肠稳定性，增强其抗炎药效（项目批准号 82304692）；金樱根中的三萜分子以氢键和 $\pi-\sigma$ 分散等非共价键相互作用形成聚集体，并进一步与水分子交联，形成稳定的组装体系，从而增强三萜分子的抗炎效能（项目批准号 82360843）等。其次，抗肿瘤活性也是中药超分子研究的重要方向。如蛹虫草的核心药效物质虫草素虽在体外抗肿瘤活性优异，但体内极易在血浆中被

表 2 2017—2024 年 NSFC 资助的中药超分子药理作用分类情况

Table 2 Pharmacological effects of TCM supramolecular-related research projects funded by NSFC from 2017 to 2024

药理作用	中药超分子及具体药理作用
抗炎	麦冬多糖-皂苷（抗炎）
	金樱根三萜（抗炎）
	黄芩苷-小檗碱（溃疡性结肠炎）
	葛根素/壳聚糖复合物负载黄芩苷（慢性骨髓炎）
	土茯苓可溶性膳食纤维-落新妇苷（类风湿性关节炎）
抗肿瘤	芍药苷-甘草酸（抗炎）
	麻杏石甘汤超分子组装体（抗病毒性肺炎）
	虫草素-虫草酸（胶质瘤）
	黄芪-莪术药对多元组装体（肝癌）
	华蟾素-金属 Pt（肝癌）
降血糖	槲皮-铁-阿霉素（乳腺癌）
	牡丹皮多糖-金属阳离子（糖尿病）
	葛根芩连汤（降血糖）
抑菌	盐酸小檗碱-黄芩苷（金黄色葡萄球菌）
	黄芩苷-小檗碱（尿肠球菌）
促进骨愈合	金属离子螯合肽（促进骨愈合）
治疗肾阳虚	巴戟天糖蛋白-萜醌（补脾肾阳）

酶解失活，难以成药。虫草素与虫草酸混合水溶液可自发转变为新的超分子组装体，并通过自噬凋亡相关，实现体内局部治疗胶质瘤（项目批准号 82404821）；黄芪-莪术药对其煎煮液中发现了多元组装体，通过重塑肿瘤微环境、抑制免疫耐受、调控肝癌干性，增强抗肿瘤活性（项目批准号 82374050）。

除抗炎和抗肿瘤外，其他研究方向还包括降血糖（项目批准号 82474093、82204637）；抗菌活性（项目批准号 82074125、81960721、82073974）；骨伤愈合（项目批准号 82173992）及治疗肾阳虚（项目批准号 82404865）。

2.3 递送系统研究

中药超分子递送系统研究主要是通过载体系统的构建如超分子水凝胶、纳米笼等增强中药有效成分的靶向性及缓释能力。目前对于中药超分子递送系统的优化可以分为 2 个方面，包括载体设计及靶向药物的设计，其中以载体设计作为主要研究对象，如利用葛根素的抗菌性和骨诱导性，及壳聚糖的氨基、二硫键等基团对炎症微环境的 pH 值和谷胱甘肽的响应性，组成葛根素/壳聚糖复合超分子凝

胶载体负载黄芩苷,实现在骨髓炎症微环境中的自降解和药物控释(项目批准号 81803735);基于抗肿瘤 Pt 金属大环在平面内通过双重阳离子 π 作用导向受限分级自组装形构筑异孔结构,实现了华蟾素中不同组分的高效负载(项目批准号 82304889)。对于靶向药物设计,通过选择“大黄-黄连”中没食子酸和小檗碱氧化聚合成纳米粒,纳米粒前驱体结合到没食子酸功能化果胶中,获得高效载药的肠靶向黏附系统,高效地将中药源功能性成分定植于肠道部位,协同调控炎症性肠病微环境(项目批准号 82304733);基于小檗碱/黄芩素自组装体构建仿生神经线粒体靶向纳米粒,小檗碱/黄芩素自组装被精准递送至缺血神经细胞线粒体内发挥神经保护功能;同时 M_2 巨噬细胞膜的修饰能有效发挥抗炎作用(项目批准号 82204634)。但值得注意的是,目前对于中药超分子化学的递送系统大部分是人为合成,因为在天然系统中难以实现设计精细的特定药物递送需求。

2.4 在中药炮制增效减毒中的研究

中药炮制指的是对中药材进行加工处理的过程。炮制方法多种多样,常见的有水制(如浸泡、漂洗)、火制(如炒、煅)、水火共制(如蒸、煮、炖)等。炮制通过影响中药的化学结构从而改变其药效^[12]。中药超分子化学深入研究这些成分变化及分子间自组装等,从而解释增效减毒的机制。如通过研究姜炒炭前后超分子“印迹模板”特征阐明中药炮制“炒炭存性”的超分子原理,并进一步阐明中药炒炭后产生或增强止血作用的机制提供依据(项目批准号 81803729);巴戟天经甘草汁炮制后补脾肾阳作用增强,主要原因是多糖/蛋白等大分子与难溶性成分蒽醌自组装形成纳米颗粒(项目批准号 82404865)。

中药中有效成分的超分子结构及其与生物靶点的相互作用,更多集中在提高药效、优化药物传递系统等方面。相比之下,从中药超分子角度解释炮制中药毒性减轻的研究还相对较少。主要因为中药体系中无毒及低毒中药占大多数,而有毒中药的应用通常受到严格限制^[13]。同时相比减毒机制研究,通过炮制实现减毒的需求导向更为重要。炮制减毒的机制主要包括化学成分的转化或去除、辅料的吸附和中和及酸碱度和离子浓度的调节^[14]。最常见的是通过化学成分的转化实现减毒,如炮制生半夏中使用的甘草汁中的甘草酸及石灰水中的钙离

子与其毒性成分凝集素蛋白相互作用,形成超分子自组装复合物聚集体而难溶于水,致使其致炎毒性显著下降,以协同作用而炮制解毒(项目批准号 82304726)。

值得注意的是,目前相比中药复方配伍,中药炮制在中药超分子方面的研究较少,主要原因可能是中药炮制过程中通常涉及高温、高压和长时间处理。这种剧烈的分子变化使研究超分子结构的细微作用变得更加复杂或难以观察。但随着跨学科研究的不断推进,现代分析手段的发展,及对中药现代化的需求,可能会逐步引导炮制工艺朝向超分子层面的深入研究和应用。

2.5 在中药质量控制中的研究

中药通常由多种成分组成,各成分之间可能存在复杂的相互作用,这种“多成分-多靶点”的特性使传统的中药质量控制方法(如化学指纹图谱或单一成分的定量检测)难以全面反映药材的整体药效和安全性^[15-16]。通过分析中药成分在超分子水平上的相互作用,可以识别出哪些成分与靶点结合最为紧密,从而优化中药的质量控制方法,确保其药效和安全性的一致性。当前,利用超分子化学实现中药质量控制的主要研究方向之一是“分子印迹模板”。这种方法通过超分子药效成分的“识别”与“记忆”功能,使药材在进入人体后能够准确作用于特定靶点,发挥治疗作用^[17-18]。通过分析这些“印迹模板”,可以确保药材的疗效不因成分比例变化或质量问题而失效。同时,这一分析方法还可用于改进药材的种植、加工和炮制工艺,将有效成分控制在合理范围内,确保药材的安全性,并为建立统一的质量标准提供依据,判断不同批次药材中是否含有足量的有效成分。如研究通过分析金(山)银花内外成分的拓扑参数,探讨其成分“印迹模板”特征,阐明与功效相关的超分子客体特征,为解决金(山)银花之争及《中国药典》收载提供科学依据(项目批准号 81703824);对姜炒炭前后超分子“印迹模板”特征及其主客体变化规律进行研究,探讨其对止血作用的影响,规范炮制工艺并统一炭药质量标准(项目批准号 81803729);此外,还对姜科活血化瘀类中药易混品郁金、莪术、姜黄的成分群“印迹模板”进行了表征与药效学研究,为中药临床遣方组方提供科学依据(项目批准号 82404815)。

3 中药超分子相关研究热点方向

通过对 2017—2024 年 NSFC 中药超分子资助

Fig. 4 Key words cloud of TCM supramolecular-related research projects funded by NSFC from 2017 to 2024

药效物质基础几乎是目前所有中药超分子体系的研究热点之一，目前对于中药超分子体系药效物质的研究主要包括结构解析和药理作用研究 2 方面。中药超分子的结构解析，主要通过红外光谱、核磁共振、原子力显微镜等技术对超分子的结构形貌进行表征，并结合分子动力学、分子热力学及量子化学计算研究中药药效物质基础的自组装过程并探究其稳定性(项目批准号 81773917、81960721、82274222)。通过分析超分子体系药效物质的结构，了解中药超分子形成机制，可以通过调整不同的药效物质成分比例提升中药超分子药效并降低潜在的不良反应，形成更科学精准的中药超分子质量控制标准和制备流程(项目批准号 82204600)。对于药理学作用方面，主要研究内容是增强抗炎和抗肿瘤作用，如土茯苓可溶性膳食纤维与落新妇苷形成自组装纳米颗粒，促进落新妇苷体内吸收并调节辅助性 T 细胞 17/调节性 T 细胞平衡治疗类风湿性关节炎(项目批准号 82060702)；没食子酸和小檗碱氧化聚合成纳米粒高效靶向肠道部位治疗炎症性肠病(项目批准号 82304733)。

中药复方配伍与超分子药物虽来源和理论基础不同,但在作用原理和机制上均涉及多组分的协

中药超分子药物的结构特征是其具备多种功能的主要原因。这些结构特征主要包括自组装性、多功能界面性、动态可调性、多功能协调性及生物相容性。自组装性是指通过弱非共价键自发形成有序结构（项目批准号 82360843、82060702）；多功能界面性是指通过分子设计调控，可以结合特定的靶向配体（如抗体、肽链、糖分子）进行修饰，实现靶向作用（项目批准号 82204634、81803735）；动态可调性则指药物根据体内环境的变化，进行解离或重组，从而在特定条件下实现智能释放（项目批准号 82374048、81803739）；多功能协调性是指中药超分子不仅可以作为药物载体，还能赋予载体治疗功能，实现药物与载体的协同作用（项目批准号 82260848）；生物相容性指的是超分子药物通常由生物相容性材料构成，如天然或合成聚合物（项目批准号 82404847）。这些结构特征在药物递送、控制释放及增强治疗效果方面具有重要意义。对超分子药物结构特征的研究，有助于突破传统药物治疗的局限，尤其在新型制剂研发展现出巨大的应用潜力。

本文对 2017—2024 年 NSFC 中药超分子的资助情况进行了汇总和分析,并结合申请项目研究内容简要分析了中药超分子的药效物质基础、药效、药物递送系统、炮制增效减毒机制及中药质量控制研究,旨在揭示各 NSFC 中药超分子资助项目的共

性及未来中药超分子的研究方向。同时,根据相关资助项目确定了目前中药超分子的研究热点,以期推进中药超分子的发展。

目前中药超分子体系尽管展现了巨大潜力,但在实际应用和研究过程中仍存在一些不足和挑战,首先是如何识别和表征更多具有自组装能力的中药药效成分,因为这是形成超分子的关键。通过观察中药药效成分在特定条件下(如不同温度、pH 值、溶剂等)是否能够自组装形成超分子,可以筛选出潜在的自组装小分子。然而,目前主要依赖非共价键的表征方法(如核磁共振光谱、红外光谱、质谱等)及分子动力学模拟来推测自组装过程,尚缺乏一种技术能够直接检测和动态跟踪中药超分子自组装的整个过程。因此目前关于具有自组装能力的中药药效成分研究的数量和结构类型相对较少,难以支持进一步系统研究。

其次是中药超分子的体内研究相对较少,主要因为中药超分子本身组成和结构十分复杂,对中药超分子的体内研究如药动力学需要对各种成分进行分析,现有的药动力学研究技术难以准确测定超分子的动态行为和代谢途径。

未来随着超分子技术和纳米科技的不断发展,超分子体系与中药的结合将更深入地推动中药的现代化和精准化治疗。如目前大部分响应释放系统基于疾病环境的特殊因素(pH 值、氧化还原),通过设计基于基因或生物标志物响应(如特定的蛋白质或代谢物)的超分子药物响应释放系统,可以实现对不同亚型疾病(Kirsten 大鼠肉瘤病毒癌基因同源物、神经母细胞瘤病毒癌基因 RAS 同系物、鼠类肉瘤病毒同源基因 B1 等基因突变类型的结肠癌)治疗,达到不同个体的更精准治疗。同时,中药超分子体系对中药品种品质和中药制剂临床应用也能起到推动作用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Sun W L, Shahrajabian M H. Therapeutic potential of phenolic compounds in medicinal plants-natural health products for human health [J]. *Molecules*, 2023, 28(4): 1845.
- [2] Boy H I A, Rutilla A J H, Santos K A, *et al.* Recommended medicinal plants as source of natural products: A review [J]. *Digit Chin Med*, 2018, 1(2): 131-142.
- [3] Wang J, Li S F, Zhang H, *et al.* A review of *Lycium barbarum* polysaccharides: Extraction, purification, structural-property relationships, and bioactive molecular mechanisms [J]. *Carbohydr Res*, 2024, 544: 109230.
- [4] Krishna K V, Ulhas R S, Malaviya A. Bioactive compounds from *Cordyceps* and their therapeutic potential [J]. *Crit Rev Biotechnol*, 2024, 44(5): 753-773.
- [5] Ignacio A. Supramolecular chemical biology: Designed receptors and dynamic chemical systems [J]. *Chem Commun*, 2024, 60(72): 9692-9703
- [6] Li T, Wang P L, Guo W B, *et al.* Natural berberine-based Chinese herb medicine assembled nanostructures with modified antibacterial application [J]. *ACS Nano*, 2019, 13(6): 6770-6781.
- [7] Wang P L, Guo W B, Huang G R, *et al.* Berberine-based heterogeneous linear supramolecules neutralized the acute nephrotoxicity of aristolochic acid by the self-assembly strategy [J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2021, 13(28): 32729-32742.
- [8] 刘小靖, 李桐, 袁枝花, 等. 基于弱键诱导的小檗碱-黄酮苷类超分子“结构-构象-形态-活性”传导关系探讨中药配伍理论科学内涵 [J]. *中草药*, 2022, 53(22): 7001-7009.
- [9] 张宏, 李奇璋, 刘爱芬, 等. 基于成分配伍的中药复方研究策略 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2024, 54(5): 911-924.
- [10] 沈成英, 胡菲, 朱君君, 等. 中药自组装纳米粒的形成及应用研究进展 [J]. *中国中药杂志*, 2021, 46(19): 4875-4880.
- [11] 惠璇, 张竞研, 康安, 等. 中药物质基础新形式及其药动/药效研究 [J]. *南京中医药大学学报*, 2024, 40(10): 1013-1023.
- [12] 王雅莉, 胡光, 张倩, 等. 炮制对中药的化学成分及药理作用的影响 [J]. *重庆理工大学学报: 自然科学*, 2019, 33(5): 127-136.
- [13] 吴志玮. 毒性中药的安全性管理 [J]. *中医药管理杂志*, 2023, 31(15): 185-187.
- [14] 周小波. 浅析中药炮制减毒的方法和机理 [J]. *北方药学*, 2023, 20(4): 194-196.
- [15] He P Y, Zhang C L, Yang Y S, *et al.* Spectrum-effect relationships as an effective approach for quality control of natural products: A review [J]. *Molecules*, 2023, 28(20): 7011.
- [16] Li Y, Shen Y, Yao C L, *et al.* Quality assessment of herbal medicines based on chemical fingerprints combined with chemometrics approach: A review [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2020, 185: 113215.
- [17] 李海英, 贺琪琚, 邓凯文, 等. 基于超分子“气析”理论构建中药质量标志物的印迹性新评价体系 [J]. *中草药*, 2021, 52(16): 4771-4778.
- [18] 李海英, 贺鹏, 贺玉婷, 等. 中药复方配伍研究的关键问题及超分子化学解决对策 [J]. *中草药*, 2019, 50(12): 2757-2762.

[责任编辑 赵慧亮]