

基于中药五味属性的功效物质研究路径探讨

顾有为, 韩蕊, 张新庄, 曹亮, 王振中, 肖伟*, 姜姗*

中药制药过程控制与智能制造技术全国重点实验室(江苏康缘药业股份有限公司/南京中医药大学), 江苏 南京 211112

摘要: 中药五味理论作为药性理论的核心, 通过“辛散、酸收”等药性特性, 将“味-效”关联与功效物质紧密连接, 为功效物质的筛选、机制阐释及现代研究提供了关键桥梁。通过梳理五味理论的发展脉络, 并构建“滋味-成分-归经-效应”研究框架。通过分析五味特征性成分及其对脏腑功能的多靶点调控, 揭示了中药传统功效的分子基础。进一步提出以五味理论为导向的功效物质研究策略, 整合电子舌/鼻仿生技术、色谱-质谱联用、网络药理学及人工智能等多学科方法, 建立从物质解析到机制验证的系统路径。该框架将传统药性理论与现代科学技术深度融合, 强化了五味理论对功效物质发现的引导作用, 提升了中药作用机制阐释的科学性与可重复性。旨在深入揭示中药功效物质的科学内涵与整合作用规律, 拓展了功效物质的研究思路, 助力中药现代化研究。

关键词: 中药五味理论; 性味归经; 功效物质; 味觉受体; 中医药现代化

中图分类号: R285 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)14-5723-13

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.14.030

Discussion on research approaches of effective components based on five flavor property of traditional Chinese medicine

GU Youwei, HAN Rui, ZHANG Xin Zhuang, CAO Liang, WANG Zhenzhong, XIAO Wei, JIANG Shan

State Key Laboratory of Technologies for Chinese Medicine Pharmaceutical Process Control and Intelligent Manufacture (Jiangsu Kanion Pharmaceutical Co., Ltd./Nanjing University of Chinese Medicine), Nanjing 211112, China

Abstract: The theory of five flavors serves as a core component of medicinal property system in traditional Chinese medicine (TCM). The “flavor-effect” association is closely linked with the functional substances through the medicinal properties such as “pungent dispersion and sour astringency”, thereby providing a critical bridge for screening, mechanistic interpretation, and modern research on effective components. This paper systematically outlines the developmental trajectory of five-flavor theory and constructs a “taste-component-meridian tropism-effect” research framework. By analyzing characteristic components of five flavors and their multi-target regulatory effects on visceral functions, it reveals the molecular basis underlying the traditional efficacy of TCM. Furthermore, a flavor theory-guided strategy for studying effective components is proposed, integrating interdisciplinary technologies such as electronic tongue/nose bionic sensing, chromatography-mass spectrometry, network pharmacology, and artificial intelligence to establish a systematic pathway from material analysis to mechanistic verification. This framework deeply integrates traditional TCM theory with modern scientific techniques, strengthening the guiding role of five-flavor theory in discovering effective components and enhancing scientific rigor and reproducibility of mechanistic explanations for TCM actions. It aims to deeply reveal the scientific connotations and integrated action rules of the effective components in TCM, expand the research ideas of effective components, and contribute to the modernization research of TCM.

Key words: five flavor theory of traditional Chinese medicine; property flavor and meridian tropism; effective components; taste receptors; modernization of traditional Chinese medicine

中药五味是中药药性理论的核心内容之一, 以“酸、苦、甘、辛、咸”5种味觉属性为基础; 四气则反映中药的寒、热、温、凉4种属性, 通过不同药物的“气”体现其对人体阴阳盛衰与寒热变化的

收稿日期: 2025-12-19

基金项目: 江苏省基础研究计划自然科学基金——前沿引领技术基础研究专项(BK20232014)

作者简介: 顾有为, 初级药师, 从事中药功效物质发现与中药药理药效研究。E-mail: guyouwei123@126.com

*通信作者: 肖伟, 教授, 博士生导师, 从事中药新药研发及过程质量控制研究。E-mail: kanionlunwen@163.com

姜姗, 博士, 工程师, 从事中药功效物质发现与中药药理药效研究。E-mail: ginger9303@outlook.com

作用倾向。五味与四气共同构成性味系统,阐释药物的功能特性及其与人体生理、病理的关联。在传统中医药理论中,五味不仅是药物滋味的直观体现,更被赋予功能性内涵,通过“味-效”关联指导临床用药^[1]。五味与四气、归经、升降浮沉等理论相互交织,形成“性味归经”的整体药性体系,成为临证立法、配伍组方的重要依据。

现代研究认为,中药五味属性与其物质基础存在内在联系。五味特征性成分通过特定生物学途径与脏腑经络功能网络相互作用,形成“五味-成分-功效”的层级关系。如传统理论中“辛散甘缓”的功能特性,可部分归因于辛味药的挥发油成分刺激瞬时受体电位通道家族(transient receptor potential, TRPs)介导的体表循促进效应与甘味药的糖类物质对能量代谢通路的调节作用^[2-3]。五味属性与归经理论的结合,为阐释中药“多成分-多靶点-整体调节”的作用模式提供了传统药性理论与现代系统生物学衔接的切入点。

当前,基于“滋味-物质-归经-效应”多维研究框架,中药五味理论正逐步从经验性描述转向科学化解析,进一步揭示五味药性在调节脏腑平衡、恢复机体稳态中的科学内涵,为传统理论的现代化诠释与临床应用提供支撑。

1 五味理论的发展

1.1 中医药对五味理论的认识发展

五味理论的系统性认识源于远古先民在渔猎采集过程中的生存实践。通过直接尝试自然物质,逐步积累了药食特性的原始经验:食用乌梅、山楂等酸味物质虽引起口唇收缩,却能缓解消渴与积食;服用黄连、龙胆草等苦味物质入口涩滞,可减轻热病与湿证;尝到野果、蜂蜜等甘味之物能恢复体力;接触生姜、花椒等辛味之物虽觉灼热,却能驱散寒邪、通畅气机;食用海盐、海藻等咸味之物虽咸涩,却有助于缓解浮肿、癰瘤。这种“味-效”关联的直观体验,为五味药性理论奠定了实践基础。

春秋战国至秦汉时期,《黄帝内经》的成书标志着五味理论的系统升华^[4]。将五味与五行、五脏相联系,创立了“酸入肝、苦入心、甘入脾、辛入肺、咸入肾”的归经理论,并概括出“辛散、酸收、甘缓、苦坚、咸软”等核心功能。东汉的《神农本草经》在药物分类中明确了五味属性,奠定了五味理论的本草学基础^[5]。张仲景的《伤寒杂病论》则通过乌梅丸(酸以安蛔)、桂枝甘草汤(甘温建中)、

半夏泻心汤(苦辛通降)、大承气汤(咸寒泻下)、麻黄汤(辛温解表)等方剂,展现了五味配伍的临床运用^[6-7]。

唐代孙思邈在《千金要方》中发展了酸甘化阴、苦辛通降等配伍法则,并将五味理论广泛用于食疗^[8]。金元时期,学术争鸣进一步丰富了五味理论,如刘完素强调苦寒清热^[9],李杲重视甘温补中^[10]。明清时期,温病学派推动五味理论走向精微化,吴鞠通在《温病条辨》中创制连梅汤(酸苦泄热)^[11]、银翘散(辛凉透表)^[12],叶天士在《临证指南医案》中提出“辛香通络”“咸味入阴,软坚散结”等治法^[13],深化了五味在温病治疗中的应用。当代五味理论在承袭传统精髓的基础上,通过多学科交叉融合取得了显著进展。体内过程研究进一步结合药动学与组织分布分析,阐明了五味“归经”的现代生物学基础,如生地黄中指标成分梓醇的肝肾心分布印证了苦寒药“泄下”“清热泻火”的特性^[14-15],而白芷与延胡索配伍可通过调节肝肾转运蛋白增强中枢作用^[16],为临床方剂优化提供了依据。复方研究成为临床理论深化的关键,如少腹逐瘀汤“温经”与“活血”组分的性效互参规律^[17],通过拆方研究验证了五味理论在辨证施治中的整体应用价值。此外,基于机器学习及系统生物学方法,通过识别生物标志物和通路网络,将五味与寒凝血瘀、热毒内蕴等特定证候相联系,推动了临床证候个性化治疗的发展^[18-19]。

在四气与升降浮沉特性上,五味与药物的作用趋向密切相关。辛、甘类药性温热属阳,多主升浮,具有向上向外的作用趋向,如麻黄辛温发散;酸、苦、咸味药性寒凉属阴,多主沉降,具有向下向内的作用趋向,如大黄苦寒泻下^[20]。归经理论则具体指出了药效的定位,表示药物对机体某些脏腑经络病变的选择性作用,如黄芩清肺热归肺经^[21],黄柏泻肾火归肾经^[22]。这些理论相互交织,共同构成中药药性的整体框架。在配伍应用中,五味理论通过与四气、升降浮沉、归经理论的结合,形成了一系列精准的用药法则。

值得注意的是,五味理论的构建并非单一维度,兼具“口尝”的真实滋味和“以效定味”的功能推演。如麻黄口苦而性辛,因其发散之功,归为辛味;山药味淡而补脾,故属甘味。体现了中医重功能属性的药性思维。炮制工艺也可改变药性趋向,如酒制可升提(如酒大黄)^[23],盐制可引药下行入肾(如盐黄柏)^[24]。这些理论相互交织,共同

指导临床配伍,达到“以所利而行之,调其气,使其平也”的治疗目标。

中药五味理论源于远古的生存体验,历经《内经》《本经》的理论奠基,张仲景的临床开拓,唐宋的扩展整合,至金元明清而日趋完善,形成了一个将药物滋味、功能效应、四气属性、升降趋向、归经定位统一于一体的系统性理论。进入现代后,五味理论呈现出多学科交叉融合的特点,进一步形成了现代中医中的分子药性理论。这一动态理论体系整合了四气五味、升降浮沉与归经等宏观药性理论,亦进一步延伸至物质基础、作用靶点及信号通路等微观机制,实现了从宏观把握到精微解析的贯通,是目前临床中医辨证施治的核心依据。

1.2 基于现代味觉理论的中药五味生物学内涵

现代味觉研究从分子层面揭示了五味感知的生物学机制:酸味通过奥托佩林 1 (otopetrin 1, OTOPI) 质子通道触发细胞内酸化并调控 Kir2.1 钾通道,形成收敛感^[25-28];苦味由 T2R 家族受体经 G 蛋白-磷脂酶 C β 2 通路激活 TRPM5 通道,产生防御性苦感^[29-31];甘味经由味觉 1 受体成员 2 (taste 1 receptor member 2, T1R2) /T1R3 受体调节能量代谢^[32];辛味依赖 TRPs 离子通道家族介导热痛觉与清凉感^[33-34];咸味则通过上皮钠离子通道 (epithelial sodium channel, ENaC) 与 TRPV1 双通路实现水盐平衡监测^[35]。这些机制不仅阐释了味觉的生理基础,更为中药五味理论提供了科学依据。

研究还发现,味觉受体在全身多器官(如胃肠、呼吸道)的分布,使五味中药能通过“口外效应”调节机体功能,深化了对“酸收、苦坚、甘补、辛散、咸软”传统理论的理解。酸味药的收敛固涩作用与 OTOPI 调控体液分泌相关,印证“酸入肝”敛阴止泻的功效^[36-37];苦味药通过 T2R 受体抑制核因子- κ B (nuclear factor- κ B, NF- κ B) 炎症通路实现“苦入心”泻火解毒^[38];甘味药激活肠道 T1R3 受体促进胰高血糖素样肽-1 (glucagon-like peptide-1, GLP-1) 释放,阐释“甘入脾”补中益气的分子机制^[39];辛味药借助 TRPV1 通道发散表邪体现“辛入肺”宣通之性;咸味药则通过 ENaC 通道调节渗透压平衡,支撑“咸入肾”软坚润下之功^[40]。

这种传统理论与现代味觉生物学的融合,不仅验证了五味药性的科学内涵,还推动中药从经验用药向精准化方向发展,使千年药味理论在当代生命科学中焕发新的生机。

2 中药五味的物质基础

2.1 酸味中药

酸味中药的化学成分主要涵盖有机酸类、黄酮类、挥发油及三萜类等^[41]。有机酸类(山楂中的枸橼酸、乌梅中的苹果酸等)解离产生的 H^+ 是酸味的直接来源;黄酮类(黄芩苷、槲皮素等)的酸味特征与酚羟基数量相关;挥发油(丁香油、陈皮油等)中的小分子羧酸或酚类物质亦贡献酸味;三萜类(甘草酸、灵芝酸等)则依赖游离羧基呈现酸性^[42]。弱有机酸因脂溶性较高,易穿透细胞膜,放大酸味感知,这解释了相同 pH 下弱酸比强酸酸味更显著的现象^[43]。此外,酸味中药常存在兼味现象(如酸甘、酸苦),源于不同成分的协同作用:黄酮类的甘味与有机酸形成复合味觉体验,而苦味生物碱则通过干预代谢通路拓展治疗维度。

酸味中药多含有可解离的质子或极性基团,能够直接或间接地诱导味觉细胞和体细胞内的酸化或离子通道调控,从而实现中医理论中“能收、能涩”的核心功能。

2.2 甘味中药

甘味中药以植物来源为主,涵盖甘草、玉竹、党参、黄芪及大枣等代表性品种,其核心物质基础包括多糖类(如玉竹多糖相对分子质量 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$)、皂苷(如铃兰皂苷 D、甘草酸、黄芪甲苷)、氨基酸及微量元素(如 Al、Fe)^[44]。电子舌分析表明,甘味强度与糖苷类成分的疏水基团数量及氢键供体密度呈正相关,其中玉竹皂苷与甘草、党参的滋味特征欧式距离与甘味中药接近,显著区别于苦味中药^[3]。矿物药如滑石含硅酸盐可模拟糖类构象,动物药如阿胶的胶原蛋白则通过氢键网络与受体结合,形成“甘味-结构的立体关联^[45]。此外,甘味中药中普遍存在的高含量 Al、Fe 等元素,可能通过调节味觉神经元离子通道增强甜味感知^[46]。

甘味中药普遍含有丰富氢键供体或特定立体构型的糖类、皂苷及氨基酸类成分,通过与甜味受体结合或模拟其构象激活能量代谢与组织修复相关信号通路。

2.3 苦味中药

苦味中药的化学物质基础呈现高度多样性,主要包括 4 类活性成分。生物碱类(如小檗碱、黄柏碱)通过季铵结构与苦味受体家族 (type 2 bitter taste receptor, TAS2Rs) 中的 TAS2R14 结合,其强极性基团与受体跨膜域形成氢键网络,触发苦味信号^[47];

萜类及内酯（如穿心莲内酯、龙胆苦苷）依赖疏水相互作用激活 TAS2R46，糖苷键水解后暴露的苷元可增强受体亲和力^[48]；黄酮及苷类（如黄芩苷、苦杏仁苷）通过苯丙素骨架与受体结合位点互补，其中氰苷类经 β -葡萄糖苷酶水解生成苯甲醛引发苦感^[49-50]。现代技术如感官导向分离、电子舌技术结合分子对接技术，可精准定位苦味成分，如通过电子舌与超高效液相色谱串联四极杆飞行时间质谱（ultra-performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry, UPLC-Q-TOF/MS）联用技术，在花椒中发现 15 种非挥发性苦味物质，其中 7-甲氧基香豆素、8-异戊烯基山柰酚可通过 TAS2R14 介导苦味感知^[51]。

苦味成分虽结构迥异，但其共性在于能通过疏水作用或氢键特异性激活 TAS2Rs，为苦味中药“泄火、燥湿、坚阴”的传统功效提供了现代生物学解释。

2.4 咸味中药

咸味中药的化学成分以无机盐（如碳酸钙、硫酸钠）、有机酸与多糖（如海藻藻胶酸、昆布多糖）及胶原蛋白（如龟甲、鳖甲）为主^[52]。现代研究表明，咸味药中 Zn、Na、Fe 等微量元素含量显著高于其他药味^[46]。具体而言，矿物类成分（如芒硝）内服可促进水分向肠腔移动，外敷可通过渗透压差促进组织液渗出而消除水肿，从而实现“泻下、逐水”之效^[53]；植物类咸味药中的活性多糖（如海藻多糖）可通过下调白细胞介素-1 β （interleukin-1 β , IL-1 β ）、肿瘤坏死因子- α （tumor necrosis factor- α , TNF- α ）等细胞因子，抑制炎症通路，并减少 α -平滑肌肌动蛋白等纤维化标志物的表达^[54]，从而在抗炎、抗组织纤维化层面诠释“软坚散结”的现代内涵^[55-56]；动物类药材所含的胶原蛋白、多肽（如鳖甲中的大分子蛋白质），可通过抑制破骨细胞活性^[57]、拮抗血管紧张素^[58]、清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基^[59]等途径，发挥调节骨代谢、降低血压、减少氧化应激等作用，从而保护肾脏功能，体现其“滋阴潜阳”的传统功效。现代分析技术如离子色谱、电感耦合等离子体质谱及分子影像学，可用于测定咸味药中特征性无机元素的形态与分布，并可视化其在靶组织（如肾、骨）的富集情况，从而为“咸入肾”“咸走血”的传统归经理论提供物质分布依据^[60]。

咸味中药以富含可溶性金属离子或具有可离子化的基团为主要特征，通过直接调节渗透压、干

预离子通道及信号转导，与传统“咸”味所对应的“能下、能软”功效产生关联。

2.5 辛味中药

辛味中药的化学多样性集中于挥发油、生物碱、硫化物及萜类等活性成分^[61]。辛味感知可根据其感官特性分为辛辣与辛凉 2 类：辛辣感多与挥发油成分（如生姜中的姜辣素、胡椒中的胡椒碱）相关，这类物质能激活热痛觉受体 TRPV1 通道；辛凉感则源于薄荷醇、桉叶素等成分，它们通过冷觉受体 TRPM8 通道触发清凉感知。挥发油类如生姜中的 6-姜酚和白芷的欧前胡素贡献辛味特征；生物碱类中吴茱萸碱表现双通道靶点调节特性^[62]；硫化物如大蒜素含硫化化合物^[63]，萜类化合物中樟脑^[64]和丁香酚^[65]则分别增强皮肤渗透性和产生特殊风味。

辛味成分虽结构多样，但其共性在于能激活 TRPs 并介导热痛或冷觉信号，从而调节气机与体表感知。

3 中药五味对五脏的调控

3.1 酸味中药对肝经调控

酸味中药在中医理论中具有“能收能涩、敛散相济”的双向调节特性，其通过多靶点机制对肝经功能进行系统性调控。在调节肝胆疏泄方面，酸味成分能够影响胆汁合成与排泄的关键通路，如通过激活法尼醇 X 受体（farnesoid X receptor, FXR）等核受体精准调控胆汁酸代谢，从而缓解脂肪肝等病理状态^[66]，同时其辛酸配伍的特性有助于疏通胆道气机^[67-68]，为“酸泻肝木”理论提供了分子层面的解释。在肝血归藏方面，酸味药通过缓解了肝脏的氧化应激紊乱和炎症^[69]、促进造血功能^[70]及调控细胞凋亡信号通路^[71]，有效纠正凝血异常^[72-73]并减轻肝纤维化程度^[74]，从细胞层面阐释了“酸味柔肝”的生物学基础。能量代谢调节方面，酸味中药可通过抑制脂肪生成转录因子^[75]和激活核因子 E2 相关因子 2（nuclear factor E2 related factor 2, Nrf2）/抗氧化反应元件等抗氧化通路^[76]，双向调节糖脂代谢平衡，实现代谢稳态的维持。在情志调节维度，酸味成分能通过调节 5-羟色胺（5-hydroxytryptamine, 5-HT）等神经递质水平^[77]和 γ -氨基丁酸（ γ -aminobutyric acid, GABA）能神经元活性^[78]，改善抑郁样行为，体现其对“肝主疏泄”调畅情志功能的协同作用。这些机制共同构成了酸味中药通过“酸入肝”理论实现疏泄肝胆、调和气血、平衡代谢的多维药理网络，彰显了中医肝系理论中“收敛与

疏泄”动态平衡的治疗智慧。

3.2 甘味中药对脾经调控

甘味中药在中医理论中主要通过“补、缓、和、渗”等核心作用调节脾胃功能，实现气阴双补、调节胃肠功能稳态等多重效应。在补益脾胃方面，甘味药能兼顾气阴双补，通过激活肠道甜味受体（如 T1R2/T1R3）促进胰高血糖素样肽-1 等胃肠激素分泌，从而调节能量代谢与胰岛素敏感性^[79]，代表性药物如黄芪、山药既能补脾气又能养胃阴，有效改善脾虚倦怠等证候^[80-81]。其“缓急”特性体现为多途径维护胃肠稳态，甘草酸等成分可通过抑制胃酸分泌^[82]、清除活性氧参与胃黏膜保护与修复^[83]；茯苓多糖等则可增强肠道紧密连接蛋白表达以强化屏障功能^[84]；而芍药甘草汤等经典方剂通过甘酸配伍缓解脘腹挛急疼痛，印证了“甘能缓急”的传统理论^[85-86]。在调节“脾主运化”方面，甘味药通过影响腺苷酸活化蛋白激酶（adenosine monophosphate activated protein kinase, AMPK）等能量代谢关键通路调控糖脂代谢过程^[87]，并借助调节肠道菌群及其代谢产物（如短链脂肪酸）改善胰岛素敏感性，从微生物-宿主共代谢角度阐释“脾为后天之本”的现代内涵^[88]；其“渗泄”作用主要依托茯苓、薏苡仁等甘淡之品，通过多糖组分调节谷胱甘肽代谢等机制减轻氧化损伤与炎症反应，促进水液代谢^[89]，适用于脾虚湿困之证^[90]。值得注意的是，甘味药的“和缓”特性常通过与其他性味配伍增强疗效，如辛甘相配（桂枝配甘草）可化阳增强温通，酸甘相合（芍药配甘草）能化阴以滋阴缓急，这种配伍法则既发挥甘味补益之长，又通过配伍制其偏性，展现中医“以和为期”的治疗理念。综上，甘味中药通过多成分、多靶点协同实现补益脾胃、调节胃肠、运化水湿等综合效应，体现了中医“脾胃为后天之本”的整体调节思想。

3.3 苦味中药对心经调控

苦味中药在中医理论中具有“能泄、能燥、能坚”的核心功效。传统认为“苦入心”，苦味药善于清泄、燥湿和坚阴，适用于心火炽盛、湿热内蕴及阴液亏损等证^[91]。在清热泻火方面，苦味药可通过抑制 NF- κ B 等炎症信号通路，降低 IL-6、TNF- α 等促炎因子表达，从而改善心小肠火毒及相关热证^[92]。其安神定志作用与调节神经递质系统相关，如影响 5-HT、GABA 水平或调节 N-甲基-D-天冬氨酸受体功能，缓解心烦、失眠等心神不宁症状^[93-95]。苦味药

亦通过增强抗氧化酶活性减轻氧化应激^[96-97]，并展现“毒物兴奋效应”，即低剂量增强防御^[98]、高剂量诱导凋亡^[99]，体现“以毒攻毒”的用药思想。在代谢调控中，苦味药可调节脂质代谢^[100-101]、促进产热消耗^[100]，并通过改善肠道菌群平衡^[102]与胰岛素敏感性^[103]发挥“通脉化浊”之效。现代研究还发现，苦味受体在肠道免疫细胞中表达，苦味中药可通过调节免疫细胞亚群平衡维持黏膜稳态^[104-105]，为“心与小肠相表里”及“清心火以安肠腑”理论提供了生物学依据。在配伍应用中，苦味药常通过“苦辛通降”（如黄连配干姜）和“苦甘化阴”（如栀子配淡豆豉）等法则协同增效，既发挥泄火燥湿之长，又制约其苦寒败胃之弊^[48]。苦味中药通过多成分、多靶点、多途径的协同作用，在清热、安神、解毒、代谢调节及免疫维护等方面形成整体调控网络，彰显了中医“祛邪扶正”治疗理念的科学内涵。

3.4 咸味中药对肾经调控

咸味中药在中医理论中具有“能下、能软”的核心功效。传统理论认为“咸先入肾”，指出咸味药物易作用于肾经系统，并通过“软坚散结、润下益精”的机制发挥治疗作用。在软坚散结方面，咸味中药能够软化及消散病理积聚，如芒硝咸寒，与大黄配伍组成大承气汤，可通过软坚润下促进病理产物的溶解与排泄。现代研究表明，咸味药可能通过调节转化生长因子- β 1/Smad 等信号通路抑制细胞外基质过度沉积^[106]，这为“咸能软坚”治疗慢性肾脏病提供了分子层面的解释，而海藻、昆布等则常用于调理癥瘕积聚^[107]。其“走血”特性有助于改善肾络的微循环^[108]，如水蛭、地龙等动物药具有活血通络之效，其作用与改善血液流变学等相关^[109]。在调节水液代谢方面，咸味药能通过渗透性泻下作用缓解水肿，并可润肠通便^[110]；从“肠-肾轴”理论看，部分咸味药可能通过调节肠道菌群及其代谢产物，协助恢复水液平衡^[111]。部分咸味药，尤其是动物类“血肉有情之品”，如龟甲、鳖甲、鹿茸等，具有填精益髓、温补肾阳的功效，研究提示其可能通过激活 AMPK^[112]、哺乳动物雷帕霉素靶蛋白（mammalian target of rapamycin, mTOR）^[113]、Nrf2^[114]等信号通路改善线粒体功能^[115]，在生殖内分泌调节等方面发挥作用，印证“咸滋肾精”的理论。综上，咸味中药通过多成分、多靶点协同，在软坚散结、活血通络、调节水液代谢和补益肾精等方面形成整体调节网络，体现了传统理论与现代药

理机制的结合。

3.5 辛味中药对肺经调控

辛味中药在中医理论中具有“能散、能行、能润、能燥”的核心功效，通过调控 TRPs 等靶点发挥宣散透邪、调畅气机的作用。辛味药的“宣散通滞”特性与 TRPs 离子通道家族密切相关，薄荷醇、辣椒素等成分可分别激活 TRPM8 和 TRPV1 通道调节钙信号传导，影响气机宣降^[116]，如麻黄碱通过 β_2 肾上腺素受体-环磷酸腺苷-蛋白激酶 A 通路松弛支气管平滑肌，细辛醚可诱导肺细胞色素 P4501A1 (cytochrome P4501A1, CYP4501A1) 表达加速毒素代谢^[117]。在“辛苦通降”配伍中，辛味与苦味药物协同调节气机，辛味药促进肺气宣发，苦味药引导气机肃降^[48]，二者通过激活 TRPs 通道介导的 Ca^{2+} 信号和 TAS2Rs 调控的炎症通路，共同减少 IL-13、TNF- α 等炎性因子释放，减轻气道高反应性^[118]。辛味药还可通过调节“肺-肠轴”实现“肺肠同治”效应，生姜中的 6-姜酚可激活 TRPV1 受体增强肠道蠕动^[119-121]，同时抑制 PI3K/Akt 通路减轻肺组织损伤^[122]；白芷的欧前胡素通过阻断 mTOR/细胞外调节蛋白激酶/丝裂原活化蛋白激酶通路同步抑制肺^[123]与肠道^[124]炎症反应，并能上调 Claudin-18 紧密连接蛋白表达强化黏膜屏障完整性^[125]。在止咳平喘方面，辛味药通过多靶点调节发挥作用，低剂量辣椒素激活 TRPV1 增强气道纤毛清除功能，高剂量则诱导受体脱敏抑制慢性咳嗽^[126]，紫苏醛通过抑制 NF- κ B 核转位降低肺组织炎症因子水平^[127]，桔梗等药物还能促进 II 型肺泡上皮细胞表面活性物质^[128]分泌改善肺功能^[129]。这些机制共同体现了辛味药“辛润”特性的科学内涵，即通过开泄腠理、畅达津液来实现润养作用，为“辛能润燥”的传统理论提供了现代药理学解释。

4 基于五味理论的中药功效物质研究路径

功效物质是中药中含有的发挥中医药临床疗效特点的化学成分群，是功效与疗效的交集，其发现与系统研究是解码中药科学内涵的主要环节。中药功效物质研究作为中医药现代化战略的核心环节，其关键在于解析中药“性-效-物”之间的关联机制^[130]。五味理论为此提供了整体性框架，能够引导对未知中药或复方组方的深入研究。基于“传统理论指引-现代技术解析-多维验证整合”的系统研究路径，融合了中医药传统智慧与现代科学方法，有助于围绕中药的功能主治，对接微观作用成分与效

应靶点，解析多成分通过多靶点、多途径产生的整体“网络效应”，从而诠释功效物质的科学内涵。从中药五味理论入手，有助于明确功效物质的筛选方向，为破解中药“物质说不清、机制道不明”的瓶颈问题提供可行思路^[131]。

4.1 传统理论推理

基于传统药性理论进行初步推理，即使五味未知，仍可借鉴“五味-归经-功效”的经典关联法则进行假设性推断：若药材传统用于收敛固涩之证（如止汗、止血、固精），可推测其具酸味特性且可能入肝经，因酸味“能收能涩”、肝主藏血；若用于发散解表或行气活血，则可能具辛味而归肺脾经，因辛味“能散能行”、肺主皮毛、脾主运化；若用于补虚扶正或调和中和，则可能为甘味入脾经，因甘味“能补能和”、脾为后天之本。同时，结合药材的外观特征（如色泽、质地）、产地环境及药用部位（果实多酸、根茎多甘、花叶多辛）等经验性特征辅助判断，例如质重者多沉降、质轻者多升浮，这些直观经验为五味预测提供初步线索。更重要的是，采用电子舌、电子鼻等仿生传感器技术量化其滋味与气味指纹^[132]，通过与已知五味药材的指纹图谱数据库进行比对，客观推断其潜在五味类别（如酸、苦、甘、辛、咸），这种技术手段将传统“口尝鼻嗅”的主观经验转化为可量化的客观数据，为后续研究提供科学方向。

4.2 活性成分筛选预测

物质解析层面，需灵活运用现代色谱-质谱联用技术（如 HPLC-MS、GC-MS、UPLC-Q-TOF/MS 等）全面鉴定化学成分，建立该物质的化学指纹图谱与标准提取工艺，确保批次稳定性及可重复性^[133]。重点关注其特征性成分群：若检出大量有机酸（如枸橼酸、苹果酸），则支持酸味属性及收敛功效；若以生物碱（如小檗碱、苦参碱）或萜类内酯为主，则推测可能为苦味并具泄火燥湿之效；若富含多糖及皂苷（如黄芪多糖、甘草苷），则可能为甘味补益之品；若以挥发油或硫化物（如姜辣素、大蒜素）为主导，则可能为辛味并具发散行气之功；若含无机盐或胶原蛋白（如芒硝、龟甲），则可能为咸味且具软坚润下之性。对于单体化合物，需确定其高质量分数（99%以上）、解析立体结构（包括手性中心构型），并评估其物理化学性质（如溶解性、稳定性、脂水分配系数），为后续剂型设计及递送系统开发奠定基础。表面等离子体共振（surface plasmon

resonance, SPR)及其衍生的分子垂钓技术也是中药功效物质解析的重要工具。其核心流程是将特定味觉受体蛋白固定于传感芯片,无需预先分离纯化,使复杂中药提取物流过,通过实时监测生物分子相互作用,直接捕获并回收特异性结合的味性成分,再结合质谱进行结构鉴定^[134]。值得注意的是,中药常存在“兼味”现象(如酸甘、辛苦、咸平),这源于不同成分群的协同作用,因此在物质解析时需关注成分间的比例与交互效应,而非孤立看待单一成分。

4.3 体内/外模型验证

活性筛选与机制研究需侧重多维模型联动,初期采用高通量体外筛选快速定位活性方向。针对预测的药性选择相关模型:酸味候选者重点考察炎症相关(NF- κ B抑制、IL-6水平调控)、抗氧化(超氧化物歧化酶激活、丙二醛含量降低)或离子通道(Kir2.1钾通道、TRPV1通道)调控;苦味候选者关注抗菌、抗肿瘤、抗炎或代谢酶抑制(如CYP450酶);甘味候选者测试免疫增强(淋巴细胞增殖、巨噬细胞吞噬活性)或糖脂代谢调节(GLP-1分泌、AMPK通路激活);辛味候选者侧重血管舒缩功能、汗腺分泌或平滑肌运动调节;咸味候选者则关注水盐代谢、渗透压平衡或细胞外基质重塑。获得初步活性后,利用网络药理学预测潜在靶点与通路,构建“成分-靶点-疾病”多维网络,提出科学假说(如可能通过FXR核受体调控胆汁酸代谢、通过AMPK信号通路调节能量稳态、通过TRPs离子通道影响感觉神经传导)。进而在细胞和动物模型中进行功能验证:酸味候选物需在肝细胞模型(如人肝癌HepG2细胞脂肪变性模型)验证脂代谢调节作用,在肠上皮细胞(人结直肠癌Caco-2细胞模型)考察紧密连接保护效应,并在滑脱证动物模型(如腹泻、溃疡性结肠炎)中综合评价收敛固涩功效;苦味候选物则在炎症、肿瘤或微生物感染模型测试泄火解毒之力;甘味候选物重点在虚证模型(如脾虚、阴虚)评估补益调和之效;辛味候选物需在表寒证或气滞模型考察发散行气作用;咸味候选物在癥瘕或水肿模型验证软坚散结功效。关键机制需深究至分子水平,采用基因敲减/过表达、荧光报告基因、电生理、SPR、细胞热迁移分析等技术验证其对特定受体(如TAS2Rs、FXR)或离子通道(TRPM5、Kir2.1、ENaC)的直接作用,从而从分子层面阐释“味-效”关联的生物学基础。

4.4 代谢研究

中药成分的体内代谢是阐明其整体作用机制的关键环节,因为代谢产物往往是体内直接功效物质。采用血清药物化学分析入血成分,利用肠道菌群孵育模型模拟代谢过程,通过同位素标记技术(如稳定同位素标记技术)追踪代谢轨迹,结合紫外光谱、红外光谱、核磁共振光谱、圆二色光谱等技术解析结构,最终制备关键代谢产物进行活性评价^[131]。如黄连中小檗碱的代谢产物小檗红碱被证实是其降糖调脂的活性形式^[135];穿心莲内酯的硫酸酯代谢物抗炎活性增强^[136]。同时功效物质研究中,要灵活运用性味归经相关理论。诸如出现有机酸或黄酮结构,或结构解析中出现游离酚羟基,表明此种药材可能具有“酸性”的属性,进一步则重点分析其在“肝经”脏器中的分布。这种从体内过程反推功效物质的策略,能够更准确地反映中药的整体作用机制,避免体外活性评价的局限性。蛋白质组学技术在此过程中发挥重要作用,如通过LC-MS/MS分析中药干预后组织或细胞的蛋白质表达谱变化,鉴定特异性差异蛋白,揭示药效机制,如研究发现温热中药如附子、干姜可通过上调肝线粒体蛋白表达增强能量代谢,印证“辛温散寒”的传统理论。

4.5 其他技术

未来研究应深度融合人工智能预测、类器官芯片筛选、亚细胞器靶向、空间组学分析等新技术,推动功效物质研究向更高精度发展。人工智能可通过机器学习算法分析大量化学与生物学数据,预测成分-靶点互作、代谢途径及潜在功效^[137];类器官芯片(如肠道类器官、肝脏类器官)可模拟人体器官微环境,实现更贴近生理条件的活性评价^[138];亚细胞器靶向技术(如线粒体、内质网特异性探针)可解析成分在亚细胞水平的分布与作用,揭示“归经”的细胞器基础^[139];空间组学技术(如空间转录组、质谱成像)可视化成分在组织或细胞内的空间分布,结合其生物学效应精准定位作用靶点^[140-141];单细胞测序可揭示成分对特定细胞亚群的影响,阐释“药性”的细胞异质性。这些新技术的融合将使五味药性研究从宏观经验描述走向微观机制解析,实现从“一味多效”到“精准靶向”的跨越,为系统性解析中药功效物质提供方法学指引(图1)。

4.6 基于五味理论的中药功效物质研究

基于中药五味理论的中药功效物质研究路径可以通过延胡索-白芷配伍的元胡止痛滴丸案例得

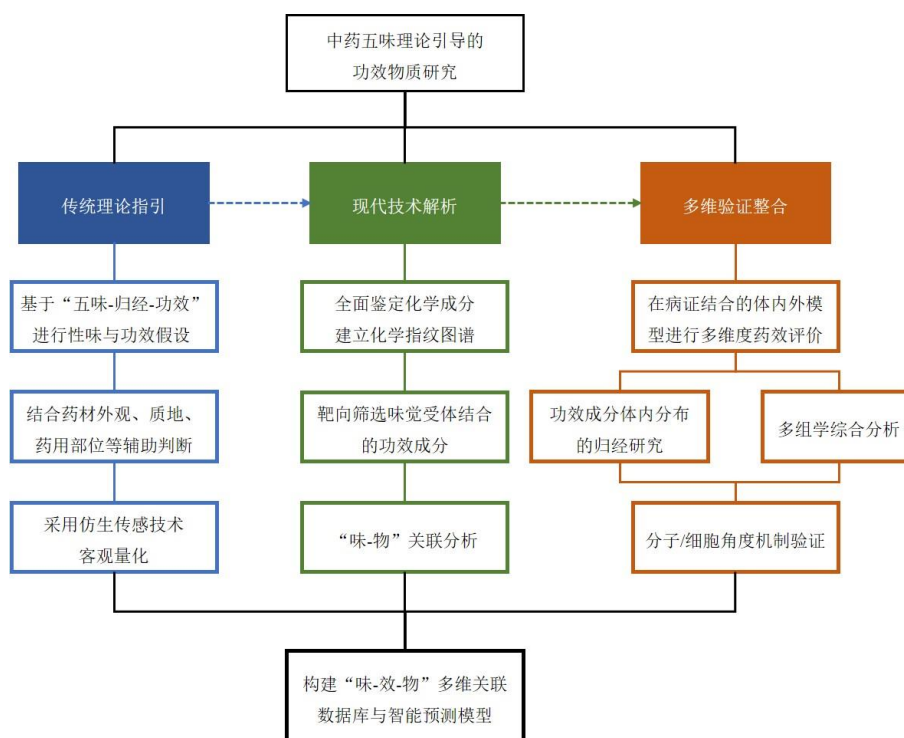


图 1 五味理论指导的功效物质研究思路

Fig. 1 Research thought diagram of effective components guided five flavor theory

到充分体现^[142]。元胡止痛滴丸由延胡索（辛、苦味）和白芷（辛味）组成，传统用于气滞血瘀所致的胃痛、胁痛、头痛及痛经等症，其“辛-苦”配伍体现了五味理论中辛味“能散能行”、苦味“能泄能燥”的协同作用，为功效物质研究提供了理想模型。研究首先从传统理论推理入手，结合仿生技术对延胡索和白芷的滋味与气味进行客观量化，识别出潜在的五味物质基础，并通过分子对接筛选，验证这些成分与相应味觉受体的亲和力，初步界定性味特征相关物质群。随后，采用系统化学分离和 UPLC-Q-TOF/MS 技术全面解析化学物质组，共鉴定出 51 个化合物，并通过血清药物化学分析发现 26 个原型成分和 14 个代谢产物入血，确定能透过血脑屏障的原型成分，提示其与中枢镇痛作用相关。在活性验证层面，通过 G 蛋白偶联受体实验证实延胡索和白芷配伍可调控疼痛和炎症通路；痛经动物模型显示元胡止痛滴丸能显著减少扭体次数、调节前列腺素和单胺类神经递质水平，离体子宫平滑肌实验进一步揭示其通过抑制钙内流和子宫收缩发挥解痉作用。网络药理学和代谢组学分析构建了“化合物-靶点-通路-功效”多维网络，发现其可能通过激素调节、中枢镇痛和抗炎等多靶点途径起效，并干预甘油磷脂代谢、氨基酸代谢等信号通路，从系统

层面诠释“性-效-物”关联。药动学研究则表明延胡索与白芷配伍能显著提高延胡索乙素等成分的脑组织分布和滞留时间，印证了“辛味上行”的传统归经理论。最终，研究综合化学、药效和动力学证据，明确了延胡索与白芷配伍的相互协同作用，确定质量标志物^[142-143]。

小儿消积止咳口服液（Xiao'er Xiaoji Zhike Oral Liquid, XEXJ）作为基于五味理论的中药功效物质研究的另一范例^[144]。该研究以食积咳嗽理论指导下的 XEXJ 为评价对象，采用电子舌/鼻对药性进行客观量化，结合 UPLC-Q-TOF/MS 解析化学物质组，并利用分子对接探索成分与味觉受体互作，初步建立“性-物”关联框架。网络药理学筛选出 32 个核心成分，预测涉及 261 个疾病靶点，主要富集于神经活性配体-受体相互作用、环磷酸鸟苷依赖性蛋白激酶 G 信号通路与钙信号通路，从多靶点角度阐释其促消化、止咳、抗炎作用，并经 G 蛋白偶联受体功能实验验证，形成“效-物”衔接的多维验证体系。肺炎动物模型证实该方能减轻肺部炎症水平、抑制肺纤维化并改善肺组织能量代谢^[145]。这些实验结果从个体水平、分子水平明确了“味-效”关联的生物学基础，将苦味成分的“泄火燥湿”与抗炎、止咳作用相对应，辛味成分的“发散行气”与平喘、

解热功效相契合。最终,研究基于“性-效-物”一致性原则,综合化学表征、受体活性和网络预测结果,确定了 XEXJ 的质量标志物不仅涵盖酸、甘、苦、辛各味属性,且与清热肃肺、消积止咳的主治功效高度相关,体现了功效物质与药性理论的内在统一。

上述研究通过“传统理论推理-现代技术解析-多维实验验证”的闭环研究路径,成功将五味理论的宏观指导转化为具体可测的化学与生物学指标,证实了五味理论在中药功效物质筛选中的可行性与实用性,为破解中药“物质-机制”瓶颈提供了方法学示范,也为同类研究提供了可复制的模板。

5 结语与展望

本综述阐释了中药五味理论与其物质基础及作用机制的内在关联,并在此基础上探讨了以性味理论为指导的中药功效物质研究思路。中药功效物质研究的核心困境在于化学成分的多样性模式,而五味理论通过“药物-五味-物质-效应-功用”五要素研究路径构建了“味-效-物”的三角关联框架^[146]。针对中药多成分、低含量导致的活性物质筛选难题,性味理论指导建立仿生与生物传感联用技术:电子舌/电子鼻基于滋味指纹图谱(如疏水基团密度、氢键供体数)区分苦味生物碱与甘味多糖,结合分子对接预测成分与对应味觉受体、离子通道的亲和力锁定候选功效物质群^[147];随后使用细胞生物传感器将表达味觉通道的待测细胞嵌入三维电化学体系,实时监测候选功效成分对通道激活强度的影响,实现从“化学刺激”到“神经电信号”的功能性验证^[148]。

未来基于中药五味理论的精准化发展将聚焦三大方向:(1)构建“五味-物质-通路”多维映射数据库,整合分子对接(味觉受体结合能)、电子舌响应值及代谢组学标志物建立可量化的五味功效指数;(2)开发五味导向的智能递送系统,基于归经特性设计靶向载体——如辛味挥发油(薄荷醇)修饰脂质体增强鼻腔-脑屏障渗透^[149],或利用咸味中药对肾经的影响设计海藻酸钠配体纳米簇优化治疗效率^[150];(3)重构“病-证-味”辨证人工智能用药模型,通过人工智能算法优化“味势平衡”实现从经验配伍向精准配伍的跃迁^[151]。

五味理论绝非抽象哲学符号,而是破解中药“复杂系统-整体功效”关联的核心解码器,其通过化学组群的生物程序化作用机制将宏观功效映射至分子网络动态事件,为中药功效物质研究提供全

链条逻辑。未来,通过融合计算生物学、合成生物传感与网络药理学,将“五味-物质-功效”轴拓展为可编程的中药智能开发路径,推动中药功效物质研究进入一个预测准、发现快、疗效稳的新时代。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 王洋洋,匡海学,苏发智,等. 中药四性的临床应用价值及与五味的关系 [J]. 中草药, 2023, 54(4): 1329-1341.
- [2] 陈军,何天雨,燕妮,等. 基于药性特征的中药挥发油透皮促渗“热者易效”规律与机制 [J]. 中草药, 2024, 55(20): 7144-7154.
- [3] 李婷,邓碧莲,欧阳征海,等. 基于甜味受体整合中药“效味”和“滋味”探索玉竹甘味药性物质基础 [J]. 中草药, 2023, 54(3): 849-858.
- [4] 田代华. 黄帝内经素问 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2017.
- [5] 孙星衍,徐斌. 《神农本草经》精注易读本 [M]. 中国中医药出版社, 2019: 455.
- [6] 王宇阳,马放,占永立. 从《伤寒杂病论》中治疗肾病的经方诠释中药四气五味理论 [J]. 中医杂志, 2019, 60(5): 366-369.
- [7] 刘松林.《伤寒杂病论》方剂药物性味配伍规律探析 [J]. 河南中医, 2010, 30(12): 1145-1147.
- [8] 孙思邈. 备急千金要方 [M]. 影印本. 北京: 人民卫生出版社, 2022.
- [9] 武宏玉,王伟,李定邦,等. 刘完素《伤寒标本心法类萃》用药特色探析 [J]. 时珍国医国药, 2024, 35(9): 2231-2234.
- [10] 陈聪文,田玉肖,孙维旭. 从李杲“甘温除热法”探析壬辰药祸 [J/OL]. 中医学报, (2025-09-01) [2026-03-24]. <https://link.cnki.net/urlid/41.1411.R.20250901.1433.099>.
- [11] 张文力,王鹏,卜菲菲. 《温病条辨》连梅汤方证探析及其现代临床应用 [J]. 山东中医药大学学报, 2025, 49(6): 731-736.
- [12] 邹晓岚,高芷铭,胡桂芳,等. 基于关联规则和隐结构模型的《温病条辨》用药思想浅析 [J]. 中国中医基础医学杂志, 2023, 29(9): 1442-1447.
- [13] 宋芷琪,张会永,孙凡雅,等. 《临证指南医案》治疗温热病的组方用药规律研究 [J]. 辽宁中医杂志, 2023, 50(9): 16-19.
- [14] 张迪文,李更生,马开,等. 基于化学模式识别和网络药理学的河南生地黄潜在质量标志物预测 [J]. 中国现代中药, 2024, 26(11): 1900-1908.
- [15] 张月月,高佳佳,王君明,等. 生地黄归经的物质基础初探 [J]. 时珍国医国药, 2022, 33(5): 1241-1243.
- [16] Wang Z, Shang H H, Li Y Z, et al. Transporters (OATs and OATPs) contribute to illustrate the mechanism of medicinal compatibility of ingredients with different properties in Yuanhuzhitong Prescription [J]. Acta Pharm

- Sin B, 2020, 10(9): 1646-1657.
- [17] 吴增光, 胡鹏, 范柏爽, 等. 少腹逐瘀汤对寒凝血瘀型原发性痛经大鼠活血作用研究 [J]. 天津中医药, 2020, 37(8): 929-935.
- [18] 李琦, 罗珂珂, 边宝林, 等. 基于机器学习模型探讨黄连解毒丸对“实热火毒”证候改善和临床生物标志物相关性分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2026, 32(8): 162-173.
- [19] 张铁军, 许浚, 韩彦琪. 中药五味药性理论现代研究思路与实践 [J]. 药学报, 2026, 61(1): 1-10.
- [20] 张铁军, 刘昌孝. 中药五味药性理论辨析及其化学生物学实质表征路径 [J]. 中草药, 2015, 46(1): 1-6.
- [21] 张青青, 王敏, 刘午阳, 等. 从火热论治鼻渊古文献用药规律的发掘研究 [J]. 中国中医基础医学杂志, 2022, 28(8): 1278-1282.
- [22] Ren W J, Zhao J H, Li L, *et al.* Energy metabolism, immune function, and intestinal flora in rats with kidney-yin deficiency treated with raw or saltwater-processed *Phellodendron chinense* Schneid [J]. *J. Tradit Chin Med Sci*, 2024, 11(4): 489-499.
- [23] 谢春燕, 曲珍妮, 刘静静, 等. 大黄炮制历史沿革、标准概况与现代研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(7): 168-175.
- [24] 阙涵韵, 罗秋林, 王楠, 等. 盐黄柏炮制历史沿革和机制的研究进展及其质量标志物 (Q-Marker) 预测分析 [J]. 中草药, 2022, 53(22): 7242-7253.
- [25] Chang R B, Waters H, Liman E R, *et al.* A proton current drives action potentials in genetically identified sour taste cells [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2010, 107(51): 22320-22325.
- [26] DeSimone J A, Lyall V, Heck G L, *et al.* Acid detection by taste receptor cells [J]. *Respir Physiol*, 2001, 129(1/2): 231-245.
- [27] Kong X J, Sun J, Zhang H H, *et al.* Preferential allosteric modulation of Otop1 channels by small molecule compounds [J]. *Commun Biol*, 2025, 8: 314.
- [28] Liman E R, Kinnamon S C. Sour taste: Receptors, cells and circuits [J]. *Curr Opin Physiol*, 2021, 20: 8-15.
- [29] Margolskee R F. Molecular mechanisms of bitter and sweet taste transduction [J]. *J Biol Chem*, 2002, 277(1): 1-4.
- [30] Zhou Y B, Trebak M. Ion channel signalling mechanisms in physiology and disease [J]. *J Physiol*, 2024, 602(14): 3273-3274.
- [31] 王辉, 冯平. 苦味受体的非味觉功能研究进展 [J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2024, 42(1): 18-27.
- [32] Sun S P, Wang A P, Kou R G, *et al.* Duodenal-jejunal bypass restores sweet taste receptor-mediated glucose sensing and absorption in diabetic rats [J]. *J Diabetes Res*, 2024, 2024(1): 5544296.
- [33] Arai T, Ohkuri T, Yasumatsu K, *et al.* The role of transient receptor potential vanilloid-1 on neural responses to acids by the *Chorda tympani*, glossopharyngeal and superior laryngeal nerves in mice [J]. *Neuroscience*, 2010, 165(4): 1476-1489.
- [34] Mebrat M D, Luu D D, Hilton J K, *et al.* TRPM8 protein dynamics correlates with ligand structure and cellular function [J]. *J Am Chem Soc*, 2025, 147(22): 18460-18474.
- [35] Liman E R. Salty taste: From transduction to transmitter release, hold the calcium [J]. *Neuron*, 2020, 106(5): 709-711.
- [36] Nonogaki K, Kaji T K. Ingestion of whey protein and β -conglycinin exerts opposite effects on intestinal FGF15 and serotonin secretion in mice [J]. *Front Endocrinol*, 2023, 14: 1080790.
- [37] Yang D, Sun Y, Wen P, *et al.* Chronic stress-induced serotonin impairs intestinal epithelial cell mitochondrial biogenesis via the AMPK-PGC-1 α axis [J]. *Int J Biol Sci*, 2024, 20(11): 4476-4495.
- [38] 金诚, 吴飞, 郑晓, 等. 胡黄连的化学成分和质量分析及药理作用研究进展 [J]. 中国新药杂志, 2019, 28(3): 292-302.
- [39] Jyotaki M, Sanematsu K, Shigemura N, *et al.* Leptin suppresses sweet taste responses of enteroendocrine STC-1 cells [J]. *Neuroscience*, 2016, 332: 76-87.
- [40] 刘敏科, 金华, 何彦虎, 等. 基于“咸入肾”理论探讨肠-肾轴与盐敏感性高血压的相关性 [J]. 中国微生态学杂志, 2024, 36(3): 357-362.
- [41] 周祥禄, 王加锋, 陈乐乐, 等. 酸味中药的味、成分及功用关联性研究 [J]. 山东中医药大学学报, 2021, 45(2): 256-263.
- [42] 吴素娟, 郭麟端. 酸味药的药性特点及其与化学成分的关系 [J]. 天津中医学院学报, 1996(3): 42-43.
- [43] 张静雅, 曹煌, 龚苏晓, 等. 中药甘味的药性表达及在临证配伍中的应用 [J]. 中草药, 2016, 47(4): 533-539.
- [44] 叶琴, 杨洋, 周雅琴, 等. 中药甘味成分的研究进展 [J]. 湖南中医杂志, 2015, 31(11): 205-207.
- [45] 洪宗国, 程望元. 甘味药的疗效及其化学基础 [J]. 中医药学刊, 2003, 21(9): 1594-1595.
- [46] 魏小成, 李成义, 周瑞娟, 等. 无机元素与中药关系研究进展 [J]. 中国中医药信息杂志, 2022, 29(7): 140-144.
- [47] 吴志钟彬. 基于苦味受体初步探讨黄连“苦寒伤胃”的机制 [D]. 重庆: 西南大学, 2024.
- [48] 张静雅, 曹煌, 许浚, 等. 中药苦味药性表达及在临证配伍中的应用 [J]. 中草药, 2016, 47(2): 187-193.
- [49] 韩彦琪, 许浚, 龚苏晓, 等. 基于味觉、嗅觉受体分子对接技术的中药性味物质基础研究的路径和方法 [J]. 中草药, 2018, 49(1): 14-19.
- [50] 赵祥君, 秦焕云, 邵冰梅, 等. 中药苦味呈现机制、掩味技术及其评价方法研究进展 [J]. 中成药, 2024, 46(1): 170-176.
- [51] 梅小飞. 红花椒果皮苦味形成的关键苦味物质研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [52] 陈震宏. 试论咸味药的软坚作用 [J]. 上海中医药杂

- 志, 2013, 47(12): 65.
- [53] 杨萌, 李超英. 芒硝的炮制历史沿革、炮制方法及临床应用研究进展 [J]. 中药材, 2020, 43(12): 3069-3074.
- [54] Cao M, Li Y, Famurewa A C, *et al.* Antidiabetic and nephroprotective effects of polysaccharide extract from the seaweed *Caulerpa racemosa* in high fructose-streptozotocin induced diabetic nephropathy [J]. *Diabetes Metab Syndr Obes Targets Ther*, 2021, 14: 2121-2131.
- [55] Vaishnudevi D, Viswanathan P. Seaweed polysaccharides - new therapeutic insights against the inflammatory response in diabetic nephropathy [J]. *Anti Inflamm Anti Allergy Agents Med Chem*, 2017, 15(3): 178-190.
- [56] Wen X, Zhang X, Wang W T, *et al.* Effects of *Holothuria leucospilota* polysaccharide on alleviating diabetic kidney disease through regulating inflammation [J]. *Int J Biol Macromol*, 2025, 306: 142027.
- [57] 毛国庆, 陈世洲. 三甲复脉汤治疗阴虚质骨质疏松症经验 [J]. 中国中医药信息杂志, 2019, 26(11): 115-117.
- [58] 廖彭莹, 张天丰, 邓纭宁, 等. 鳖各部位的成分和药理作用研究进展 [J]. 中药材, 2024, 47(4): 1053-1061.
- [59] Zhong H, Shi J Y, Zhang J H, *et al.* Soft-shelled turtle peptide supplementation modifies energy metabolism and oxidative stress, enhances exercise endurance, and decreases physical fatigue in mice [J]. *Foods*, 2022, 11(4): 600.
- [60] 程健, 狄留庆, 姚映芷, 等. 中药归经理论的文献与实验研究方法探讨 [J]. 中成药, 2014, 36(10): 2176-2180.
- [61] 卢泰, 谢正江, 刘霖, 等. 中药辣味的主要物质、形成机制与掩蔽技术研究概况 [J]. 中国中药杂志, 2022, 47(20): 5460-5466.
- [62] 张文动. 吴茱萸碱和吴茱萸次碱对慢性痛模型小鼠的镇痛作用研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
- [63] 徐天舒, 张芸阳, 柴王静, 等. 大蒜素调节 TLR4/MyD88/NF- κ B 通路改善 ApoE^{-/-}小鼠动脉粥样硬化作用 [J]. 中草药, 2024, 55(19): 6636-6644.
- [64] 黄钊. 薄荷醇通过影响皮肤 KC 内 PLC 活性而产生促透作用的研究 [D]. 广州: 广东药学院, 2013.
- [65] 徐秀琦, 李光, 张广钦. 天然产物中镇痛活性成分对 TRPV1 通道的调控作用 [J]. 药学研究, 2022, 41(4): 259-263.
- [66] 李笑笑, 柯金城, 李丽. 中药黄酮类化合物改善非酒精性脂肪肝的作用机制研究进展 [J]. 中国畜牧兽医, 2025, 52(9): 4484-4496.
- [67] 陈晨, 盛云华, 唐黎明, 等. 右旋柠檬烯的药理毒理及临床应用研究进展 [J]. 中国医药工业杂志, 2017, 48(12): 1698-1703.
- [68] 李航飞, 朱志军, 李明明, 等. 基于指纹图谱和网络药理学预测经典名方温胆汤中枳实的质量标志物 [J]. 中国现代应用药学, 2023, 40(16): 2216-2223.
- [69] 胡伟, 孙智珺, 张敏. 芍药苷抑制 PERK-eIF2 α 通路改善小鼠非酒精性脂肪肝损伤 [J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2025, 43(6): 729-735.
- [70] 王心可. 芍药根不同加工方式的化学成分及药理作用差异研究 [D]. 济南: 山东中医药大学, 2022.
- [71] 侯亚迪, 尚子慧, 陈培, 等. 山茱萸环烯醚萜苷的化学成分及生物活性研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(6): 69-76.
- [72] 王秋艳, 王世新, 隋方宇, 等. 白芍活性成分、药理作用及成分变化的影响因素研究进展 [J]. 中草药, 2025, 56(5): 1817-1829.
- [73] 华姑安, 范晓旭, 姜斯佳, 等. 白芍总苷对瘀热互结证发热大鼠炎症因子及血管活性物质的影响 [J]. 环球中医药, 2025, 18(4): 719-728.
- [74] 王世伟, 徐宁. 山茱萸环烯醚萜总苷对小鼠胰岛素抵抗和非酒精性肝损伤的改善作用及其机制研究 [J]. 天津中医药, 2017, 34(3): 195-199.
- [75] 王晓艳. 五味子素 B 对脂代谢的影响及机制研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2016.
- [76] 张馨芸, 林慧娇, 李欣, 等. 五味子酯甲通过调节肝脏 Nrf2/ARE 抗氧化通路改善小鼠疲劳的作用 [J]. 食品科学, 2020, 41(1): 190-195.
- [77] 邓祥敏, 朱星宇, 李光. 鼠尾草酸对慢性不可预见性应激模型大鼠抑郁样行为及杏仁核 5-HT、5-HIAA 和海马 BDNF 含量的影响 [J]. 现代中西医结合杂志, 2019, 28(33): 3668-3671.
- [78] 郭海鹏, 王婷婷, 邹蔓姝, 等. 中药调控 γ -氨基丁酸治疗焦虑症研究进展 [J]. 中国中医药信息杂志, 2025, 32(6): 193-196.
- [79] Feng R L, Qian C, Liu Q J, *et al.* Expression of sweet taste receptor and gut hormone secretion in modelled type 2 diabetes [J]. *Gen Comp Endocrinol*, 2017, 252: 142-149.
- [80] 秦书敏. 黄芩甲苷对乙醇诱导的大鼠胃粘膜损伤的保护作用及机制研究 [D]. 广州: 广州中医药大学, 2017.
- [81] 陈笑宇. 复方护胃颗粒的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2023.
- [82] 刘波. 野甘草乙醇提取物对大鼠胃溃疡的治疗作用及对胃 H⁺/K⁺-ATP 酶活性作用的研究 [D]. 沈阳: 中国医科大学, 2002.
- [83] Zheng H C, Gao S, Liu Y Z, *et al.* Bioactive glycyrrhizic acid-Astragalus polysaccharide hydrogel facilitates gastric ulcer healing via ROS scavenging and anti-apoptotic effects [J]. *Carbohydr Polym*, 2025, 362: 123685.
- [84] Zhang J W, Lu Y, Wei J N, *et al.* Protective effect of carboxymethylpachymaran on TNF- α -induced damage in Caco-2 cell monolayers [J]. *Int J Biol Macromol*, 2016, 93: 506-511.
- [85] 陈睿旖, 资桂平, 李梓菡, 等. 芍药甘草汤对肠易激综合征小鼠 BDNF/TrkB 表达及内脏高敏感性的影响 [J]. 时珍国医国药, 2023, 34(4): 802-806.
- [86] 杨玲珑, 由智夫, 张杨. 芍药甘草汤及其活性成分干预溃疡性结肠炎作用机制研究进展 [J/OL]. 中成药, (2025-08-18) [2026-05-29]. <https://link.cnki.net/urlid/31.1368.R.20250818.1818.002>.
- [87] Li X, Liu H, Yang H R, *et al.* Hypoglycemic effects of

- novel *Panax notoginseng* polysaccharide in mice with diet-induced obesity [J]. *Foods*, 2022, 11(19): 3101.
- [88] Tolhurst G, Heffron H, Lam Y S, *et al.* Short-chain fatty acids stimulate glucagon-like peptide-1 secretion via the G-protein-coupled receptor FFAR2 [J]. *Diabetes*, 2012, 61(2): 364-371.
- [89] 沈嘉森, 蔡军涛, 李杰明, 等. 中药多糖防治肾损伤作用机制的研究进展 [J]. 中国药科大学学报, 2024, 55(4): 454-462.
- [90] 李琪. 基于转录组学和代谢组学的茯苓利水渗湿作用机制研究 [D]. 成都: 成都医学院, 2024.
- [91] 王晨晓, 尚鑫, 刘瑞燕, 等. 基于“苦入心”理论探讨苦味中药治疗肥胖的机理 [J]. 中医学报, 2023, 38(11): 2334-2338.
- [92] 袁媛. PGP9.5、GFAP、GDNF 在 NSAIDs 肠病大鼠中的表达及黄连素保护机制的研究 [D]. 杭州: 浙江中医药大学, 2014.
- [93] 张欢欢. 黄芩苷和栀子苷配伍抗脑缺血兴奋性氨基酸毒性损伤的作用机制研究 [D]. 咸阳: 陕西中医药大学, 2018.
- [94] 杨劲松. 黄芩提取物对 NMDA 受体介导大鼠兴奋性毒性神经细胞死亡的保护作用 [D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [95] 魏昕雨. 基底外侧杏仁核和中央杏仁核味觉偏好神经元调控饥饿介导的味觉偏好的改变 [D]. 济南: 山东大学, 2024.
- [96] 吕鑫, 肖颖, 李荧, 等. 苦丁茶对高胆碱饮食小鼠肝、肾及氧化应激的影响 [J]. 食品研究与开发, 2022, 43(2): 51-57.
- [97] 赵欣, 李贵节, 胡园园, 等. 苦丁茶多酚提取物对四氯化碳诱导小鼠肝损伤的改善作用及机制研究 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 289-295.
- [98] 张德刚, 马艳红, 南苏亭, 等. 穿心莲内酯调控 Nrf2/HO-1 通路减轻百草枯诱导的 II 型肺泡上皮细胞氧化损伤 [J]. 临床肺科杂志, 2023, 28(5): 682-688.
- [99] 黄桔, 李晓文, 蒋艳平, 等. 穿心莲内酯对人胶质瘤细胞 U87-MG 的生长抑制及凋亡诱导作用的研究 [J]. 右江民族医学院学报, 2020, 42(6): 685-689.
- [100] 邱方泓, 张桂菊. 小檗碱及其衍生物的抗肥胖作用 [J]. 药学研究, 2023, 42(7): 517-525.
- [101] 陈志蓉. 基于脂质代谢调控研究苦味中药黄连有效成分小檗碱逐瘀作用 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2019.
- [102] 高风, 郭丽君, 丁砚秋, 等. 肠道菌群与动脉粥样硬化及中药干预现状 [J]. 中华中医药杂志, 2025, 40(2): 775-779.
- [103] 孟珂, 尹东, 李雅冰, 等. 小檗碱通过 miR-125a 调控 PI3K/Akt 信号改善肥胖小鼠胰岛素抵抗和肝脂质代谢的研究 [J]. 中国临床药理学杂志, 2025, 41(20): 2906-2911.
- [104] 吴旺玲. 柠檬苦素基于微生物相关 ILC3-IL22-IL22R 通路改善高脂饮食小鼠血脂异常的作用机制 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2024.
- [105] Lan X C, Ma L, Ma J M, *et al.* Tas2r105 ameliorates gut inflammation, possibly through influencing the gut microbiota and metabolites [J]. *mSystems*, 2025, 10(4): e01556-e01524.
- [106] 陈佳佳, 于卓. 中药单体通过干预转化生长因子- β 1/Smad 信号通路治疗糖尿病肾病研究进展 [J]. 中医临床研究, 2024, 16(35): 93-99.
- [107] 陈春燕, 琚鹏磊, 徐雨薇, 等. 海藻玉壶汤化裁治疗甲状腺肿的随机对照临床研究 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(11): 51-54.
- [108] 苏启航. 基于线粒体损伤诱导的氧化应激探讨补阳还五汤干预肾间质纤维化的机制研究 [D]. 天津: 天津中医药大学, 2021.
- [109] 刘铮, 王洋, 刘光辉. 虫类药治疗冠状动脉粥样硬化性心脏病的研究进展 [J]. 实用中医内科杂志, 2024, 38(9): 117-121.
- [110] 黄家望, 俞赞丰, 黄湘宁, 等. 从“咸入肾”理论探讨咸味中药在治疗糖尿病肾病中的应用 [J/OL]. 中药药理与临床, (2025-08-13) [2026-03-24]. <https://doi.org/10.13412/j.cnki.zyy1.20250813.004>.
- [111] 杨慧杰, 周飘飘, 裴悦, 等. 经典名方济川煎的研究进展 [J]. 临床合理用药, 2025, 18(13): 177-180.
- [112] 姜砚馨, 王梓旭, 罗美, 等. 鹿鞭龟甲配伍滋阴补肾调节能量代谢通路的作用机制研究 [J]. 世界中医药, 2025, 20(5): 726-731.
- [113] 张继文, 廖文勇, 吴英豪, 等. 海藻玉壶汤加减海藻甘草反药组合通过 AMPK/mTOR/ULK1 信号通路减轻甲状腺肿大鼠肝脏氧化应激 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2026, 32(12): 85-92.
- [114] 胡艳红, 颜鑫, 雷燕, 等. 鹿茸的化学成分、药理作用与临床应用研究进展 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2021, 23(9): 47-52.
- [115] 李胜男, 陈洪延, 陈腾飞, 等. 精索静脉曲张性不育症的氧化应激机制与中药干预研究进展 [J]. 中国药房, 2025, 36(12): 1536-1541.
- [116] 汪蕾, 李苡萱, 由凯文, 等. TRP 家族蛋白的环境感知功能和炎症调控效应及其在水生动物中的研究进展 [J]. 水生生物学报, 2026, 50(1): 201-215.
- [117] Chellian R, Pandey V, Mohamed Z. Pharmacology and toxicology of α - and β -asarone: A review of preclinical evidence [J]. *Phytomedicine*, 2017, 32: 41-58.
- [118] 苏宏超, 赵灿, 孙晓婷. 苦辛通降助肺法治疗咳嗽变异性哮喘的效果及对气道重塑指标、血清 IL-13 及 EOS 水平的影响 [J]. 医学理论与实践, 2022, 35(18): 3106-3108.
- [119] 李艳丽. 6-姜酚调节大鼠炎症相关性肠动力紊乱及抗肠缺血再灌注损伤的研究 [D]. 大连: 大连医科大学, 2017.
- [120] 张广龙. 6-姜酚对化疗大鼠胃肠道动力障碍改善作用研究 [D]. 广州: 广东药科大学, 2021.
- [121] 李宇, 欧阳芳欣, 张贺, 等. 6-姜酚与 6-姜烯酚改善肠道紧密连接损伤作用研究进展 [J]. 食品科学, 2024,

- 45(24): 282-292.
- [122] 黄世勇, 郑静. 6-姜酚通过 Nur77 调控 PI3K/Akt 信号通路对幼年鼠急性呼吸窘迫综合征的保护作用 [J]. 中国临床药理学杂志, 2025, 41(9): 1254-1260.
- [123] 陈杨君, 陆霓虹, 刘洪璐, 等. 欧前胡素调节 ERK/MAPK 信号通路对肺结核大鼠炎症反应的影响 [J]. 西部医学, 2024, 36(1): 24-28.
- [124] Mi C L, Ma J, Wang K S, *et al.* Imperatorin suppresses proliferation and angiogenesis of human colon cancer cell by targeting HIF-1 α via the mTOR/p70S6K/4E-BP1 and MAPK pathways [J]. *J Ethnopharmacol*, 2017, 203: 27-38.
- [125] 谢军, 张溪, 李昌林. 基于肠黏膜屏障修复中医药治疗溃疡性结肠炎研究进展 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2025, 27(6): 177-182.
- [126] 卢朋, 韩梁, 白雷, 等. 中药治疗感染后咳嗽的作用机制研究进展 [J]. 药物评价研究, 2025, 48(3): 757-769.
- [127] Lim H J, Woo K W, Lee K R, *et al.* Inhibition of proinflammatory cytokine generation in lung inflammation by the leaves of *Perilla frutescens* and its constituents [J]. *Biomol Ther*, 2014, 22(1): 62-67.
- [128] 刘倩, 张楠楠, 唐晓光. 桔梗活性成分抗氧化作用的研究进展 [J]. 农产品加工, 2025(21): 94-98.
- [129] 郑丰杰. 从 Toll 样受体通路探讨加味桔梗汤治疗内毒素致急性肺损伤的作用机制 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2007.
- [130] 肖伟, 张新庄, 曹亮, 等. 基于功效成分群的中成药全过程质量控制体系探索 [J]. 南京中医药大学学报, 2022, 38(9): 743-747.
- [131] 冯心池, 张强, 姚园园, 等. 基于中药药味的化学生物学研究: 以苦味中药为例 [J]. 药学学报, 2026, 61(1): 21-28.
- [132] Zhang J H, Cheng M, Xue Y B, *et al.* Volatile flavour identification and odour complexity of *Radix Angelicae Sinensis* by electronic nose, integrated gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry and comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight-mass spectrometry [J]. *Phytochem Anal*, 2023, 34(3): 329-346.
- [133] 周鸿云. 基于“五味合化”理论研究人参乌梅汤加味及其性味拆方对腹泻模型大鼠结肠差异基因表达的影响 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2019.
- [134] Wang S Y, Liu Y, Li X M, *et al.* Discovery of active ingredients targeted TREM2 by SPR biosensor-UPLC/MS recognition system, and investigating the mechanism of anti-neuroinflammatory activity on the lignin-amides from *Datura metel* seeds [J]. *Molecules*, 2021, 26(19): 5946.
- [135] 饶近秋, 王凯, 张婷婷, 等. 小檗红碱及其衍生物的研究进展 [J]. 中国药物化学杂志, 2021, 31(5): 369-377.
- [136] 江楠, 马欣. 近 20 年穿心莲内酯药理作用研究进展 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2024, 26(12): 203-208.
- [137] 胡宗仁, 张媛婷, 骆敏, 等. 中药共性靶点组: 实现系统中药现代化的路径 [J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(4): 1457-1460.
- [138] 赵旭一, 潘小杰, 赵力澜, 等. 中医应用类器官技术研究进展 [J]. 医学理论与实践, 2025, 38(16): 2733-2736.
- [139] 贾玉涛. 中药诱导共价有机框架 (COFs) 体内分布及 COFs 应用于药物递送和细胞内成像的研究 [D]. 石家庄: 河北医科大学, 2021.
- [140] 崔婧闻, 冀苏琰, 程梦雨, 等. 空间代谢组学技术解析中药干预神经精神疾病的代谢调控机制的研究进展 [J]. 药物评价研究, 2026, 49(3): 1002-1008.
- [141] 李丁, 王婉莹, 孙璐, 等. 组学新技术在中药毒性研究中的应用进展 [J]. 中草药, 2025, 56(2): 731-741.
- [142] 张铁军, 许浚, 申秀萍, 等. 基于中药质量标志物 (Q-Marker) 的元胡止痛滴丸的“性-效-物”三元关系和作用机制研究 [J]. 中草药, 2016, 47(13): 2199-2211.
- [143] 徐佳新, 许浚, 曹勇, 等. 中药白芍现代研究进展及其质量标志物的预测分析 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(21): 5486-5495.
- [144] 宋紫腾, 吴美琪, 韩彦琪, 等. 基于“性-效-物”的小儿消积止咳口服液质量标志物研究 [J]. 中国现代中药, 2024, 26(2): 276-288.
- [145] 杨倬, 姚璐, 罗倩微, 等. 小儿消积止咳口服液抗肺炎靶点发现及分子机制研究 [J]. 中国中药杂志, 2022, 47(11): 3007-3014.
- [146] 刘昌孝, 张铁军, 何新, 等. 活血化瘀中药五味药性功效的化学及生物学基础研究的思考 [J]. 中草药, 2015, 46(5): 615-624.
- [147] 薛潭, 王盼盼, 李消蒙, 等. 基于多源智能感官信息融合技术的中药寒热药性分类辨识方法研究 [J]. 中草药, 2025, 56(15): 5407-5418.
- [148] 郭程琳, 樊玉霞, 陈高乐, 等. 细胞生物传感器在食品风味评价中的研究进展 [J]. 食品科学, 2023, 44(1): 268-276.
- [149] 高彩芳, 朱颖, 夏加璇, 等. 冰片和薄荷醇在促进纳米制剂跨越生理屏障中的应用 [J]. 中草药, 2018, 49(12): 2763-2768.
- [150] 王天缘, 张华真, 赵聘, 等. 海藻酸钠稳定金纳米簇的肾脏清除 [J]. 高等学校化学学报, 2025, 46(1): 172-179.
- [151] 鲁路, 倪世豪, 陈星伶, 等. 人工智能赋能下基于人用经验的中药新药研发展望 [J]. 中国中药杂志, 2025, 50(20): 5605-5612.

[责任编辑 赵慧亮]