

经典名方血府逐瘀汤物质基础的LC-MS分析

钟舒静, 刘兆悦, 王萌格, 苗兰, 任常英, 孙明谦*, 林力*
(中国中医科学院西苑医院, 基础医学研究所, 北京 100091)

[摘要] 目的:系统鉴定经典名方血府逐瘀汤的化学成分,并对其主要成分进行定量分析,以阐明其药效物质基础,并为完善其质量控制标准提供科学依据。方法:采用超高效液相色谱-四极杆-飞行时间质谱法(UPLC-Q-TOF-MS/MS)对血府逐瘀汤进行定性分析,通过比对化合物保留时间、二级质谱碎片离子信息、52种对照品及数据库,完成化合物鉴定,并对化合物进行来源归属。筛选代表性化合物22个,采用超高效液相色谱-四极杆-线性离子阱质谱法(UPLC-Q-TRAP-MS/MS)对复方成分进行定量分析。结果:从血府逐瘀汤中共鉴定出77个化合物,包括黄酮类31个,主要来源于枳壳、甘草、桃仁、红花、柴胡、赤芍、牛膝;萜类24个,主要来源于桔梗、甘草、赤芍和地黄;苯丙素类及其衍生物9个,主要来源于川芎、当归、地黄;酚酸类4个,主要来源于川芎、当归、赤芍;糖类3个,主要来源于地黄、牛膝;其他类6个化合物,主要来源于桃仁、地黄、当归。定量分析测得血府逐瘀汤中原儿茶酸、羟基芍药苷、苦杏仁苷、香草酸、芍药苷、芹糖甘草苷、甘草苷、异槲皮苷、柚皮苷、大波斯菊苷、橙皮苷、新橙皮苷、异甘草苷、甘草素、柚皮素、苯甲酰芍药苷、橙皮素、异甘草素、芒柄花素、甘草酸、川陈皮素、藜本内酯的质量分数依次为0.12、1.57、54.53、0.29、36.17、4.29、4.84、0.09、46.67、0.04、3.44、31.95、0.82、0.10、0.11、0.43、0.07、0.03、0.01、8.24、0.13、1.81 mg·g⁻¹。结论:该研究建立的定性方法可快速灵敏地对血府逐瘀汤中的化学成分进行分析,其中52种化合物通过对照品确证,可保证鉴定具有足够的准确性;并对其中22种成分进行定量,可为该方剂的药效物质基础研究及质量控制标准的提升提供数据支撑。

[关键词] 血府逐瘀汤;超高效液相色谱-四极杆-飞行时间质谱法(UPLC-Q-TOF-MS/MS);超高效液相色谱-四极杆-线性离子阱质谱法(UPLC-Q-TRAP-MS/MS);经典名方;中医药;定性分析;定量分析

[中图分类号] R932;R284;O657 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2026)06-0188-09

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20252169

[网络出版地址] <https://link.cnki.net/urlid/11.3495.R.20260112.0851.001>

[网络出版日期] 2026-01-12 14:00:47 **[增强出版附件]** 内容详见<http://www.syfjxzz.com>或<http://cnki.net>



LC-MS Analysis on Material Basis of Famous Classical Formula Xuefu Zhuyutang

ZHONG Shujing, LIU Zhaoyue, WANG Mengge, MIAO Lan, REN Changying, SUN Mingqian*, LIN Li*
(Institute of Basic Medical Sciences of Xiyuan Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100091, China)

[Abstract] **Objective:** To systematically identify the chemical constituents of Xuefu Zhuyutang (XFZY) and quantitatively determine its main components, aiming to elucidate its pharmacodynamic material basis and provide a scientific foundation for improving its quality control standards. **Methods:** Ultra-performance liquid chromatography-quadrupole-time-of-flight mass spectrometry (UPLC-Q-TOF-MS/MS) was employed for qualitative analysis of XFZY, and the identification of compounds was accomplished by comparing their retention times, secondary MS fragment ion information, 52 reference standards and relevant databases, followed by attribution of their herbal sources. A total of 22 representative compounds were screened out, and UPLC-quadrupole-linear ion trap mass spectrometry (UPLC-Q-TRAP-MS/MS) was applied for quantitative analysis of the compounds in the formula. **Results:** A total of 77 compounds were identified in XFZY, including 31 flavonoids mainly derived from Aurantii Fructus, Glycyrrhizae Radix et Rhizoma, Persicae Semen, Carthami Flos, Bupleuri Radix, Paeoniae Radix Rubra and Achyranthis

[收稿日期] 2025-11-05

[基金项目] 中国中医科学院科技创新工程项目(CI2021A04508);国家自然科学基金面上项目(81872992)

[第一作者] 钟舒静,在读硕士,从事中药复方物质基础研究,E-mail:zshuj28@163.com

[通信作者] *林力,博士,研究员,从事中药复方物质基础研究和中药新药研究,Tel:010-62835618,E-mail:tcmlinli@163.com;

*孙明谦,博士,研究员,从事中医药代谢组学研究,Tel:010-62835618,E-mail:mingqian_sun@163.com

Bidentatae Radix, 24 terpenoids mainly derived from Platycodonis Radix, Glycyrrhizae Radix et Rhizoma, Paeoniae Radix Rubra and Rehmanniae Radix, 9 phenylpropanoids and their derivatives mainly derived from Chuanxiong Rhizoma, Angelicae Sinensis Radix and Rehmanniae Radix, 4 phenolic acids mainly derived from Chuanxiong Rhizoma, Angelicae Sinensis Radix and Paeoniae Radix Rubra, 3 saccharides mainly derived from Rehmanniae Radix and Achyranthis Bidentatae Radix, and 6 other compounds mainly derived from Persicae Semen, Rehmanniae Radix and Angelicae Sinensis Radix. The results of quantitative analysis showed that the contents of protocatechuic acid, hydroxypaeoniflorin, amygdalin, vanillic acid, paeoniflorin, liquiritin apioside, liquiritin, isoquercitrin, naringin, cosmosiin, hesperidin, neohesperidin, isoliquiritin, liquiritigenin, naringenin, benzoylpaeoniflorin, hesperetin, isoliquiritigenin, formononetin, glycyrrhizic acid, nobiletin and ligustilide in XFZY were determined to be 0.12, 1.57, 54.53, 0.29, 36.17, 4.29, 4.84, 0.09, 46.67, 0.04, 3.44, 31.95, 0.82, 0.10, 0.11, 0.43, 0.07, 0.03, 0.01, 8.24, 0.13, 1.81 mg·g⁻¹. **Conclusion:** The qualitative method established in this study enables rapid and sensitive analysis of the chemical constituents in XFZY. Among the identified compounds, 52 are confirmed by reference standards, ensuring the accuracy of identification. The quantitative analysis of 22 key components provides a reliable experimental basis for the pharmacodynamic material basis research and quality control standard improvement of XFZY.

[Keywords] Xuefu Zhuyutang; ultra-performance liquid chromatography-quadrupole-time-of-flight mass spectrometry (UPLC-Q-TOF-MS/MS); UPLC-quadrupole-linear ion trap mass spectrometry (UPLC-Q-TRAP-MS/MS); famous classical formulas; traditional Chinese medicine; qualitative analysis; quantitative analysis

活血化瘀是中医治疗瘀血证的核心治法,清代王清任在《医林改错》中基于瘀血致病机制提出“血府”理论,创血府逐瘀汤。该方由桃仁、红花、当归等11味中药组成,以“活血化瘀、行气止痛”为核心,通过气血同调、升降相因直击气滞血瘀证病机^[1]。临床中,该方是气滞血瘀型疾病的代表方,广泛应用于心血管系统、神经系统及妇科。现代药理研究揭示其多靶点特性,证实其具备改善心功能、抑制血小板聚集、抗缺氧、抗炎镇痛及调节免疫等活性^[2],为其从传统方剂向现代制剂转化提供支撑。尽管该方临床与药理研究进展较多,但物质基础系统阐明及质量标准完善仍是薄弱环节^[3],针对血府逐瘀汤的物质基础研究主要集中在化学成分定性^[4-5],其中相关报道中最多的定性结果共鉴定出213种成分^[6],但该研究通过网络技术辨识手段结合数据库预测,未经对照品确证,可信度待确认,目前报道最多的经对照品确证的化学成分有35种^[5]。质量标准的相关研究集中在化学成分定量^[7-8],其中文献报道采用超高效液相色谱电喷雾离子阱飞行时间质谱(UPLC-ESI-IT-TOF-MS)同时定量了血府逐瘀汤中的8个成分,是目前同时定量化学成分最多的^[8]。物质基础研究不足直接导致其制剂质量控制体系存在短板。2014—2023年中成药抽检质量分析显示,血府逐瘀制剂合格率低^[9],暴露出现有标准控制指标单一、覆盖不全、灵敏度不足等问题,难以保障质量均一性与疗效稳定性。

液质联用技术凭借液相色谱的高分离能力与质谱的高灵敏度、高选择性优势,已成为复杂中药方剂多成分同步定性定量分析的核心技术支撑^[10-14]。基于此,本研究针对前人研究系统性不足、

成分确证与定量覆盖有限的短板,采用超高效液相色谱串联四级杆飞行时间质谱(UPLC-Q-TOF-MS)技术及超高效液相色谱-四极杆串联离子阱复合质谱(UPLC-Q-TRAP-MS/MS)技术,系统开展血府逐瘀汤化学成分的全面快速鉴定与多成分定量分析。课题组通过对照品确证增加定性结果的准确性,并建立了一套系统性多种化学成分同步定量分析方法,构建了更为科学全面的质量评价体系。该研究不仅填补了该方物质基础研究中成分确证不充分、定量指标匮乏,为其药效物质发现与质量控制提供了可靠依据,也为经典名方的现代研究提供了新的技术路径与研究思路,对推动中医经典方剂的标准应用与产业化转化具有重要理论与实践意义。

1 材料

1.1 仪器 Waters Acquity UPLC型超高效液相色谱仪、Q-TOF Synapt G2-Si HDMS高分辨离子淌度质谱平台(美国Waters Corporation公司), AB SCIEX QTRAP™ 5500型质谱仪(美国AB SCIEX公司), VORTEX-5型涡流混合器(海门市其林贝尔仪器制造有限公司), MIKRO 22R型台式高速离心机(德国Andreas Hettich GmbH公司), New Classic MS205型电子天平(瑞士梅特勒-托利多公司), SB5200型超声波清洗机(中国宁波新芝生物科技股份有限公司), SCIENTZ-18/NC型冷冻干燥机(宁波新芝生物科技股份有限公司)。

1.2 药物和试剂 土木香内酯(批号WP23090804)、橙皮素(批号WP23011103)、紫云英苷(批号WP23031004)、梓醇(批号WP23041009)、川陈皮素(批号WP23010607)、异槲皮苷(批号WP23052902)、刺五加苷B(批号WP23011712)、异

甘草苷(批号 WP23022006)、新橙皮苷(批号 WP23010512)、芍药新苷(批号 WP23042502)、芹糖甘草苷(批号 WP23091102)、地黄苷 D(批号 WP23062901)、扁桃酸(批号 WP23090805)、对羟基苯甲酸(批号 WP23022309)、羟基芍药苷(批号 WP23042108)、苯甲酸(批号 WP23082313)、没食子酸(批号 WP23071413)、大波斯菊苷(批号 WP23061211)、芍药内酯苷(批号 WP23011908)、苯甲酰芍药苷(批号 WP23050410)、甘草素(批号 WP23021010)、异鼠李素-3-O-新橙皮苷(批号 WP23091202)、柴胡皂苷 A(批号 WP23082501)、柚皮芸香苷(批号 WP22122302)、柴胡皂苷 D(批号 WP23082304)、槐角苷(批号 WP23091101)、藜本内酯(批号 WP23011210)、阿魏酸(批号 110773-201313)、甘草苷(批号 111610-202209)、甘草酸铵(批号 110731-202122)、毛蕊花糖苷(批号 111530-201914)对照品均购自中国食品药品检定研究院;咖啡酸(批号 110885-200102)、甘草次酸(批号 723-9203)、橙皮苷(批号 0721-200010)、柚皮苷(批号 722-9004)、羟基红花黄色素 A(批号 111637-200905)、芍药苷(批号 110736-200424)对照品均购自中国药品生物制品检定所;山柰酚(批号 1367)、芦丁(批号 3920)、绿原酸(批号 2997/17680)、原儿茶酸(批号 1842)、芒柄花苷(批号 3818)、芒柄花素(批号 3524)对照品均购自上海诗丹德生物科技有限公司;苦杏仁苷(批号 V-920600-NU2)、 β -蜕皮甾酮(批号 H-206400-NU2)、桔梗皂苷 D(批号 H-116300-NU1)、异甘草素(批号 H-200100-NU1)、5-羟甲基糠醛(批号 E-841200-NU1)对照品均购自美国 CFW Laboratories 公司;香草酸(批号 15070321)对照品购自上海同田生物技术有限公司;柚皮素(批号 B21596-2019)对照品购自上海源叶生物科技有限公司;2'-乙酰基毛蕊花糖苷(批号 MUST-21120504)、氧化芍药苷(批号 MUST-22050801)对照品均购自成都曼思特生物科技有限公司,所有对照品纯度皆>98%。甲醇、乙腈均为色谱级,甲酸为质谱级,水为屈臣氏饮用水,其余试剂均为分析纯。桃仁(批号 2110012)、红花(批号 2202011)、当归(批号 2202011)、地黄(批号 2202011)、牛膝(批号 2203012)、川芎(批号 2201011)、桔梗(批号 2202011)、赤芍(批号 2202011)、枳壳(批号 2203011)、甘草(批号 2112011)、柴胡(批号 2203012)饮片均购自河北百草康神药业有限公司,经检测均符合 2020 年版《中

华人民共和国药典》一部、四部要求。

2 方法

2.1 混合对照品溶液的制备 分别取 52 种对照品约 10 mg,精密称定,用甲醇溶解制成单一对照品储备液,吸取上述对照品储备液适量,至同一 10 mL 量瓶中,用 50% 甲醇稀释并定容,摇匀后经 0.22 μm 微孔滤膜过滤,即得,用于定性分析。精密称取表 1 中所示 22 种单一对照品储备液适量,置于 10 mL 量瓶中,配制成质量浓度为 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的混合对照品储备溶液, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用,用于定量分析。

2.2 供试品溶液的制备 将血府逐瘀汤饮片用 10 倍量水煎煮 2 次,每次 2 h。合并水煎液,减压浓缩至小体积后置于冻干机中 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、0.008 mbr (1 mbr=0.1 kPa)冻干 48 h,制得以生药量计,质量分数为 6.94 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的血府逐瘀汤冻干粉,置于阴凉干燥处保存。精密称取上述冻干粉 125 mg,加入 50% 甲醇定容至 25 mL 量瓶中,取上清液经 0.22 μm 微孔滤膜过滤,即得用于定性分析的供试品溶液。精密称取一定量血府逐瘀冻干粉,加入 50% 甲醇溶解定容,后稀释配成 2.5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的待测溶液,用于定量分析。

2.3 血府逐瘀汤物质基础的定性分析

2.3.1 色谱条件 Waters ACQUITY UPLC BEH C_{18} 色谱柱(2.1 mm \times 100 mm, 1.7 μm),柱温 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,流速 0.3 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$,进样量 5 μL ,流动相为 0.1% 甲酸水溶液(A)-含 0.1% 甲酸的甲醇乙腈等比混合液(B),梯度洗脱(0~1 min, 95%A; 1~12 min, 95%~0%A; 12~15 min, 0%A; 15~15.1 min, 0%~95%A; 15.1~16 min, 95%A)。

2.3.2 质谱条件 电喷雾离子源(ESI),数据采集范围 m/z 50~1 200,流速 800 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$,脱溶剂气温度正离子模式为 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、负离子模式为 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$,离子源温度 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$,毛细管电压分别为 3.5 kV(ESI⁺)、-2.2 kV(ESI⁻),碰撞电压 30~60 V。甲酸钠校正质量轴,数据采集软件为 MassLynx V4.2。

2.3.3 化合物鉴定 将 2.1、2.2 项下用于定性分析的混合对照品溶液及血府逐瘀汤供试品溶液按 2.3.1、2.3.2 项下条件进行进样分析。通过查阅文献和 PubChem、ChemSpider、Chemical Book、Waters 中药数据库等化合物数据库构建血府逐瘀汤成分的质谱数据库,并利用 MassLynx V4.2 软件对样本和对照品色谱峰的保留时间、一级质谱的准分子离子和二级质谱的特征碎片离子信息进行比对,对化合物进行鉴定。

2.4 血府逐瘀汤指标成分的定量分析

2.4.1 色谱条件 Waters ACQUITY UPLC BEH C₁₈ 色谱柱(2.1 mm×100 mm, 1.7 μm), 柱温 20 °C, 流速 0.2 mL·min⁻¹, 进样量为 2 μL, 自动进样器 10 °C, 流动相为 0.1% 甲酸水溶液(A)和含 0.1% 甲酸的甲醇乙腈等比混合液(B)。梯度洗脱(0~4 min, 80%A; 4~4.1 min, 80%~75%A; 4.1~11 min, 75%A; 11~11.1 min, 75%~65%A; 11.1~13 min, 65%A; 13~13.1 min, 65%~20%A; 13.1~16 min, 20%A; 16~16.1 min, 20%~10%A; 16.1~18.5 min, 10%A; 18.5~18.7 min, 10%~80%A; 18.7~20.0 min, 80%A)。

2.4.2 质谱条件 ESI 采用多重反应监测模式(MRM)进行正负离子同时扫描, 正离子模式下喷雾电压 5.5 kV, 负离子模式下喷雾电压 -4.5 kV, 离子化温度 600 °C, 气帘气压 15 psi(1 psi≈6.89 kPa), 源内气体 GS1 为 50 psi, 源内气体 GS2 为 50 psi, 碰撞气强度 7, 用于定量分析的离子信息对见表 1。

表 1 血府逐瘀汤中 22 种化合物的质谱检测条件

Table 1 MS detection conditions for 22 compounds in Xuefu Zhuyutang

No.	化合物	t _R /min	Q1 离子模式	Q1 m/z	Q3 m/z	DP/V	CE/eV
1	原儿茶酸	2.26	[M-H] ⁻	153.00	109.00	-45	-21
2	羟基芍药苷	2.38	[M-H] ⁻	495.30	137.00	-115	-40
3	苦杏仁苷	3.18	[M-H] ⁻	456.15	323.10	-70	-19
4	香草酸	3.95	[M-H] ⁻	167.00	152.00	-47	-18
5	芍药苷	5.68	[M+HCOO] ⁻	525.29	121.00	-55	-38
6	蔗糖甘草苷	7.58	[M-H] ⁻	549.30	255.00	-100	-48
7	甘草苷	7.67	[M-H] ⁻	417.30	255.10	-87	-27
8	异槲皮苷	9.03	[M-H] ⁻	463.10	300.00	-90	-38
9	柚皮苷	12.53	[M-H] ⁻	579.30	271.10	-100	-47
10	大波斯菊苷	12.78	[M+H] ⁺	433.10	271.10	50	27
11	橙皮苷	12.89	[M-H] ⁻	609.40	301.10	-77	-37
12	新橙皮苷	13.32	[M-H] ⁻	609.30	301.00	-140	-46
13	异甘草苷	14.45	[M-H] ⁻	417.20	255.00	-105	-25
14	甘草素	14.53	[M-H] ⁻	255.10	135.00	-78	-21
15	柚皮素	14.74	[M-H] ⁻	271.00	151.00	-105	-26
16	苯甲酰芍药苷	14.74	[M-H] ⁻	583.30	121.00	-80	-29
17	橙皮素	14.79	[M-H] ⁻	301.00	164.00	-98	-33
18	异甘草素	14.91	[M-H] ⁻	255.10	135.00	-70	-23
19	芒柄花素	15.01	[M+H] ⁺	269.04	254.10	70	35
20	甘草酸	15.24	[M-H] ⁻	821.50	350.90	-180	-55
21	川陈皮素	15.31	[M+H] ⁺	403.13	388.11	100	30
22	藜本内酯	15.73	[M+H] ⁺	190.90	116.90	115	25

2.4.3 方法学考察 分别取 2.1 和 2.2 项下的制备血府逐瘀汤供试品和混合对照品溶液, 与空白溶剂

按 2.4 项下条件进样分析通过谱图比对, 考察专属性。精密吸取 2.1 项下混合对照品储备液, 用 50% 甲醇稀释制成不同浓度的线性待测液, 按 2.4 项下条件进样检测。以浓度作为横坐标(X), 峰面积作为纵坐标(Y), 得到各化合物的线性回归方程、线性范围及线性相关系数。精密称定血府逐瘀冻干粉约 0.1 g, 按 2.2 项下方法平行制备 6 份供试品溶液, 进样记录峰面积, 计算质量分数和相对标准偏差(RSD), 考察重复性。精密吸取 2.1 项下混合对照品溶液, 按 2.4 项下条件连续 3 d 进样, 每天连续进 6 次, 记录各成分的峰面积, 计算峰面积的 RSD, 考察精密度。精密吸取 2.2 项下血府逐瘀供试品溶液, 分别于制备后在 10 °C 自动进样器的 0、2、4、6、8、10、12 h 按 2.4 项下条件进样分析, 考察稳定性。精密称取同浓度血府逐瘀样品溶液 6 份, 每份分别加入相当于样品浓度 100% 的混合对照品溶液, 按 2.4 项下条件进样分析, 测定并计算各成分的加样回收率。

2.4.4 样品检测 取 2.1、2.2 项下用于定量分析的待测溶液, 按 2.4 项下条件进行定量分析, 计算血府逐瘀汤中 22 种化合物的含量(n=6)。

3 结果

3.1 血府逐瘀汤中化学成分的鉴定 混合对照品溶液及血府逐瘀汤供试品溶液采集到正、负离子模式下的基峰强度色谱图(BPI)见增强出版附加材料。通过查阅文献和 PubChem、ChemSpider、Chemical Book、Waters 中药数据库等化合物数据库构建血府逐瘀汤成分的质谱数据库, 并利用 MassLynxV4.2 软件对样本和对照品色谱峰的保留时间、一级质谱的准分子离子和二级质谱的特征碎片离子信息进行比较, 从血府逐瘀汤中共鉴定出 77 种化合物, 其中黄酮及其苷类共 31 个, 萜类 24 个, 苯丙素及其衍生物 9 个, 酚酸类 4 个, 糖类 3 个及其他类化合物 6 个, 鉴定结果见增强出版附加材料^[15-36]。

3.1.1 黄酮类化合物 本实验从血府逐瘀汤中鉴定出 31 个黄酮类化合物, 分别为化合物 13~14、17、22~29、33、35~43、45~47、49~52、59、68、74, 主要来源于枳壳、甘草、桃仁、红花、柴胡、赤芍、牛膝。以化合物 46 为例, 在负离子模式下可见准分子离子峰 m/z 301.068 0 [M-H]⁻, 通过失去甲基产生二级碎片离子 m/z 286.050 7 [M-H-CH₃]⁻, 同时通过 C 环裂解生成的碎片离子 m/z 242.059 0 [M-H-CH₃-CO₂]⁻、m/z 151.002 8 [M-H-CH₃-C₈H₇O₂]⁻、

m/z 136.023 2 $[M-H-CH_3-C_8H_6O_3]^-$, 结合对照品信息, 鉴定该化合物为橙皮素, 具体裂解过程见图1。

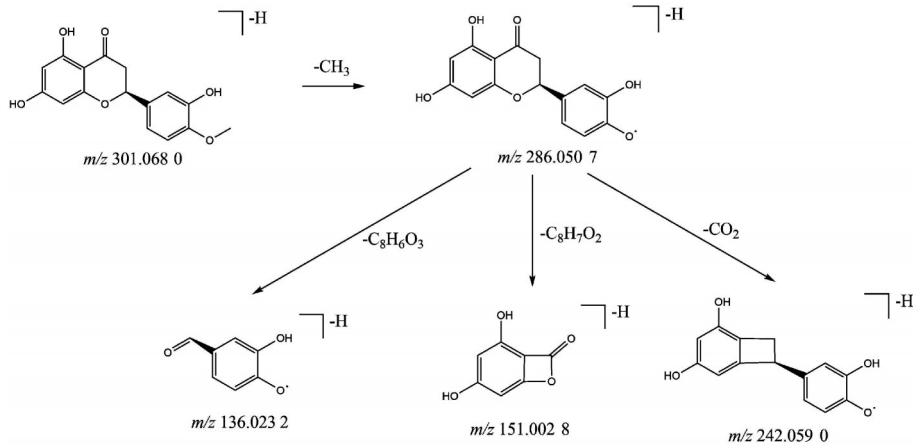


图1 橙皮素可能的质谱裂解途径

Fig. 1 Possible MS fragmentation pathways of hesperetin

3.1.2 萜类化合物 本实验从血府逐瘀汤中鉴定出了24个萜类化合物,包括20个三萜类和4个单萜类,分别为化合物6、11、20~21、44、48、53~58、60~67、69~71、73,主要来源于甘草、桔梗、柴胡、赤芍和地黄。以化合物21为例,在负离子模式下得到准分子离子峰为 m/z 479.152 4 $[M-H]^-$,二级质谱中经过能量碰撞,化合物21的葡萄糖上失去 CH_2O 得到碎片 m/z 449.140 6 $[M-H-CH_2O]^-$,再脱去1分子苯甲酸产生离子碎片 m/z 327.108 4 $[M-H-CH_2O-C_7H_6O_2]^-$ 、苯甲酸碎片离子 m/z 121.031 7 $[M-H-CH_2O-C_{15}H_{20}O_8]^-$,结合对照品信息,鉴定该化合物为芍药苷,其具体裂解过程见增强出版附加材料。

3.1.3 苯丙素类化合物 本实验从血府逐瘀汤中鉴定出了9个苯丙素及其衍生物,分别为化合物10、16、18、30~32、34、72、75,主要来源于川芎、当归、地黄。这类化合物在负离子模式下响应较高,以化合物72为例,在正离子模式下得到准分子离子峰为 m/z 193.125 1 $[M+H]^+$,二级质谱中经过能量碰撞,出现离子碎片 m/z 175.114 3 $[M+H-H_2O]^+$ 、 m/z 147.120 3 $[M+H-H_2O-CO]^+$ 和 m/z 137.061 6 $[M+H-C_4H_8]^+$ 。结合对照品质谱信息,鉴定化合物72为洋川芎内酯A,其具体裂解过程见增强出版附加材料。

3.1.4 酚酸类化合物 本实验从血府逐瘀汤中共鉴定出了4个酚酸类化合物,分别为化合物5、8、12、19,主要来源于川芎、当归、赤芍。由于所鉴定的酚酸类成分裂解规律均通用常见,故不在此赘述。

3.1.5 糖类化合物 本实验从血府逐瘀汤中共鉴定出3个糖类化合物,分别是化合物1~3,主要来源于地黄和牛膝。以化合物1为例,在负离子模式下准分子离子峰为 m/z 827.264 3 $[M-H]^-$,二级质谱中经过能量碰撞,依次失去3个半乳糖、1个葡萄糖残基和1个果糖,出现离子碎片 m/z 665.210 1 $[M-H-C_6H_{10}O_5]^-$ 、 m/z 503.164 8 $[M-H-C_6H_{10}O_5-C_6H_{10}O_5]^-$ 、 m/z 341.110 0 $[M-H-C_6H_{10}O_5-C_6H_{10}O_5-C_6H_{10}O_5]^-$ 、 m/z 179.058 6 $[M-H-C_6H_{10}O_5-C_6H_{10}O_5-C_6H_{10}O_5-C_6H_{10}O_5]^-$,结合相关文献与质谱信息,推测该化合物为毛蕊花糖,其具体裂解过程见增强出版附加材料。

3.1.6 其他化合物 本实验从血府逐瘀汤中鉴定出了2个不饱和脂肪酸,分别是化合物76~77,还鉴定出了一个咪唑化合物(化合物4)、一个氰醇(化合物7)、一个吡啶衍生物(化合物9)和一个氰苷(化合物15),主要来源于桃仁、当归、地黄。以化合物15为例,在负离子模式下出现准分子离子峰 m/z 456.146 7 $[M-H]^-$,二级质谱中经过能量碰撞得到其他离子碎片 m/z 323.100 1 $[M+HCOO-C_6H_{11}O_6]^-$ 、 m/z 263.078 6 $[M+HCOO-C_6H_{11}O_6-C_2H_4O_2]^-$ 、 m/z 221.062 9 $[M+HCOO-C_6H_{11}O_6-C_7H_4N]^-$ 、 m/z 179.058 6 $[M-H-C_{14}H_{15}NO_5]^-$ 、 m/z 161.044 8 $[M-H-C_{14}H_{15}NO_5-H_2O]^-$ 、 m/z 119.036 4 $[M-H-C_{14}H_{15}NO_5-H_2O-C_2H_2O]^-$ 、 m/z 101.024 2 $[M-H-C_{14}H_{15}NO_5-H_2O-C_2H_2O-H_2O]^-$ 、 m/z 89.024 3 $[M-H-C_{14}H_{15}NO_5-H_2O-C_2H_2O-H_2O-C]^-$,结合相关文献和质谱信息,推测该化合物为苦杏仁苷,具体裂解途径见增强出版附加材料。

3.2 血府逐瘀汤的定量分析

3.2.1 方法学考察 专属性结果显示空白溶剂不干扰血府逐瘀汤样品测定,样品中的各化合物出峰时间与对照品一致,表明方法专属性良好。线性结果显示22种化合物的线性良好,相关系数 $r > 0.99$ 。重复性结果表明血府逐瘀汤22个成分中,除了甘草酸质量分数的RSD为8.42%,其他成分的RSD均 $\leq 5.00\%$,表明该方法重复性较好。精密度结果显示血府逐瘀汤22种成分峰面积RSD $\leq 10.39\%$,表明仪器精密度较好。稳定性结果显示22种成分的峰面积RSD $\leq 6.72\%$,表明血府逐瘀汤冻干粉溶液在12 h内稳定性良好。加样回收率结果显示各化合物回收率平均值在89.52%~107.02%范围内,方法学考察结果见增强出版附加材料。

3.2.2 样品含量测定 结果显示血府逐瘀汤中原儿茶酸、羟基芍药苷、苦杏仁苷、香草酸、芍药苷、芹糖甘草苷、甘草苷、异槲皮苷、柚皮苷、大波斯菊苷、橙皮苷、新橙皮苷、异甘草苷、甘草素、柚皮素、苯甲酰芍药苷、橙皮素、异甘草素、芒柄花素、甘草酸、川陈皮素、藜本内酯上述22种成分的质量分数依次为0.12、1.57、54.53、0.29、36.17、4.29、4.84、0.09、46.67、0.04、3.44、31.95、0.82、0.10、0.11、0.43、0.07、0.03、0.01、8.24、0.13、1.81 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。具体数据见增强出版附加材料。

4 讨论

本研究采用UPLC-Q-TOF-MS/MS对血府逐瘀汤全方化学成分进行系统定性分析,并用52个对照品对鉴定结果进行验证,在此基础上,进一步建立了UPLC-Q-TRAP-MS/MS的定量分析方法,实现了血府逐瘀汤中22个成分的同时测定,该方法简便、结果准确、重复性良好,可用于血府逐瘀汤的整体质量控制和评价。定性结果表明,血府逐瘀汤中所含多种成分与文献报道的治疗冠心病心肌缺血、动脉粥样硬化、脑卒中^[37]、抗肿瘤^[38]等相关药理活性成分有良好的一致性,如苦杏仁苷、阿魏酸、柚皮苷、川芎内酯和芍药苷等有抗炎抗动脉硬化作用^[1],藜本内酯、柴胡皂苷、桔梗皂苷等有很好的镇痛、抗肿瘤活性^[38],不同来源与种类的化合物之间的相互作用使血府逐瘀汤整体发挥活血祛瘀、行气止痛的功效。本研究通过大量对照品的确证,排除了质谱数据解析中的假阳性结果,大幅提升了化学成分鉴定的可信度与准确性,为血府逐瘀汤化学物质基础的系统阐明提供了更准确的实验依据。

在完成全方化学成分定性分析的基础上,选取

了22个含量较高、灵敏度较好、噪音值较低且可同时满足定量方法学标准的成分进行定量分析。含量测定结果显示,苦杏仁苷、柚皮苷、芍药苷及新橙皮苷的含量较为突出,苦杏仁苷和芍药苷分别来源于君药桃仁、臣药赤芍。从组方配伍角度分析,血府逐瘀汤以桃仁、红花为君药,活血化瘀,桃仁中所含苦杏仁苷对血小板有显著抑制作用,现代研究表明其具有治疗脑缺血、抗动脉硬化的药理作用^[39],红花中所含原儿茶酸、异槲皮苷等酚酸类、黄酮类成分,具有抗炎抗血栓、改善微循环的核心药效^[40]。臣药由川芎、赤芍、牛膝构成,辅助君药增强活血化瘀之效,赤芍中所含的羟基芍药苷、芍药苷、苯甲酰芍药苷等萜类成分,有抗炎、调节血液流变学的作用^[41],川芎中所含藜本内酯及香草酸,兼具改善微循环、镇痛的活性,既能强化祛瘀功效,又能缓解血瘀引发的疼痛^[42]。佐药包括枳壳、桔梗、当归等,核心作用为“升降气机、养阴润燥”,枳壳所含柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷、川陈皮素等黄酮类成分,可调节血脂、抑制血小板聚集的活性^[43],辅助君臣药改善血瘀状态,同时抗氧化、调节肠道菌群做到“祛瘀不伤正”,当归协同生地起到养阴润燥的作用,避免祛瘀药耗伤阴血。甘草所含甘草酸、芹糖甘草苷、甘草苷、异甘草苷等萜类、黄酮类成分可调节免疫、保肝抗炎,一方面缓解君臣佐药的烈性,另一方面通过抗氧化、抗溃疡作用保护机体,达到调和诸药的作用。

本研究建立的定性定量分析方法,为进一步揭示血府逐瘀汤的药效物质基础与作用机制、优化其质量控制标准以及推动相关临床研究提供了科学依据。但由于成分归属未经单药验证,依靠文献参考与复方分析推断,可能影响归属准确性。针对上述不足,后续实验开展单药对照检测,通过系统比对单药与复方的化学成分图谱,提升其归属准确性。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

[参考文献]

- [1] 辛亚然,谭绍坤,李明伟,等. 血府逐瘀汤在改善心脑血管疾病中的研究进展[J]. 长春中医药大学学报, 2025, 41(5): 581-585.
XIN Y R, TAN S K, LI M W, et al. Research progress in Xuefu Zhuyu decoction in improving cardiovascular and cerebrovascular diseases [J]. J Changchun Univ Chin Med, 2025, 41(5): 581-585.
- [2] 付衍. 血府逐瘀汤大鼠含药血清主要成分的研究[D]. 北

- 京:中国中医科学院,2013.
- FU Y. Preliminary study on the main components of Xuefu Zhuyu decoction-containing rat serum [D]. Beijing: China Academy of Chinese Medical Sciences, 2013.
- [3] 傅春燕,刘永辉,曾立,等. 血府逐瘀汤化学成分、药理作用及临床应用研究进展[J]. 亚太传统医药, 2024, 20(5): 232-237.
- FU C Y, LIU Y H, ZENG L, et al. Research progress on chemical constituents, pharmacological effects and clinical application of Xuefu Zhuyu decoction [J]. Asia-Pac Tradit Med, 2024, 20(5): 232-237.
- [4] 孙明谦,卢健秋,张宏桂. 液质联用技术分析血府逐瘀汤中的化学成分[J]. 中成药, 2009, 31(5): 793-794.
- SUN M Q, LU J Q, ZHANG H G. Analysis of chemical components in Xuefu Zhuyu decoction by liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Chin Trad Patent Med, 2009, 31(5): 793-794.
- [5] ZHANG L, JIANG Z, YANG J, et al. Chemical material basis study of Xuefu Zhuyu decoction by ultra-performance liquid chromatography coupled with quadrupole time-of-flight mass spectrometry [J]. J Food Drug Anal, 2015, 23(4): 811-820.
- [6] 张燕玲,黄明峰,王元明,等. 基于中药有效成分族辨识的血府逐瘀汤配伍研究[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2012, 14(4): 1793-1797.
- ZHANG Y L, HUANG M F, WANG Y M, et al. Study on compatibility of Xuefu Zhuyu decoction based on identification of effective component families of traditional Chinese medicine [J]. World Sci Technol—Moderniz Tradit Chin Med, 2012, 14(4): 1793-1797.
- [7] 于红宇,李艳卿,陈历雄,等. 同时测定血府逐瘀汤中3种主要成分的含量[J]. 今日药学, 2009, 19(6): 36-38, 63.
- YU H Y, LI Y Q, CHEN L X, et al. Simultaneous determination of three main components in Xuefu Zhuyu decoction [J]. Today Pharm, 2009, 19(6): 36-38, 63.
- [8] 傅春燕,王惠余,刘永辉,等. 基于UPLC-ESI-IT-TOF-MS方法对血府逐瘀汤中8个成分同时含量测定[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(6): 1006-1013.
- FU C Y, WANG H Y, LIU Y H, et al. Simultaneous determination of 8 components in Xuefu Zhuyu decoction based on UPLC-ESI-IT-TOF-MS method [J]. Nat Prod Res Dev, 2020, 32(6): 1006-1013.
- [9] 王春桃,张海防. 国家药品抽检10种中成药标准检验和探索性研究质量分析[J]. 大众标准化, 2024(15): 1-3.
- WANG C T, ZHANG H F. Quality analysis of standard inspection and exploratory research on 10 kinds of Chinese patent medicines in national drug sampling [J]. Pop Stand, 2024(15): 1-3.
- [10] FU C, XIA Z, LIU Y, et al. Qualitative analysis of major constituents from Xuefu Zhuyu decoction using ultra high performance liquid chromatography with hybrid ion trap time-of-flight mass spectrometry [J]. J Sep Sci, 2016, 39 (17) : 3457-3468.
- [11] 詹斯文,关小羽,黄丽华,等. 基于PLC-Q-TOF-MS技术的活血消癭片化学成分分析[J]. 武汉理工大学学报, 2023, 45(3): 1-11.
- ZHAN S W, GUAN X Y, HUANG L H, et al. Analysis of chemical components in Huoxue Xiaoying tablet based on PLC-Q-TOF-MS technology [J]. J Wuhan Univ Technol, 2023, 45(3): 1-11.
- [12] ZHANG L, ZHU L, WANG Y, et al. Characterization and quantification of major constituents of Xuefu Zhuyu by UPLC-DAD-MS/MS [J]. J Pharm Biomed Anal, 2012, 62: 203-209.
- [13] ZHANG H J, CHENG Y Y. An HPLC/MS method for identifying major constituents in the hypocholesterolemic extracts of Chinese medicine formula "Xue-Fu-Zhu-Yu decoction" [J]. Biomed Chromatogr, 2006, 20(8): 821-826.
- [14] FU C, WU Q, ZHANG Z, et al. Development of a sensitive and rapid UHPLC-MS/MS method for simultaneous quantification of nine compounds in rat plasma and application in a comparative pharmacokinetic study after oral administration of Xuefu Zhuyu decoction and nimodipine [J]. Biomed Chromatogr, 2020, 34(9): e4872.
- [15] 雷星,王小平,张艳,等. 基于UPLC-Q-TOF-MS的建昌帮砂仁陈皮制熟地黄适宜炮制时间分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(4): 134-143.
- LEI X, WANG X P, ZHANG Y, et al. Analysis of suitable processing time of Rehmanniae Radix preparata processed with Amomi Fructus and Citri Reticulatae pericarpium by Jianchangbang based on UPLC-Q-TOF-MS [J]. Chin J Exp Tradit Med Formul, 2023, 29(4): 134-143.
- [16] 袁梦,孙国东,刘华石,等. 基于UPLC-Q-TOF-MS法分析大青龙汤化学成分[J]. 现代中药研究与实践, 2022, 36(1): 37-44.
- YUAN M, SUN G D, LIU H S, et al. Analysis of chemical components in Daqinglong decoction by UPLC-Q-TOF-MS method [J]. Res Pract Chin Med, 2022, 36(1): 37-44.
- [17] 何江城,徐华丽,时庆欣,等. 基于UPLC-QTOF-MS/MS的川芎消肿止痛膏主要成分分析[J]. 亚太传统医药, 2024, 20(8): 60-64.
- HE J C, XU H L, SHI Q X, et al. Analysis of main components in Chuanxiong Xiaozhong Zhitong ointment based on UPLC-QTOF-MS/MS [J]. Asia-Pac Tradit Med, 2024, 20(8): 60-64.
- [18] 何泉宇,孔虎林,赵平华,等. UPLC-MS/MS法同时测定银黄胶囊中10种成分的含量[J]. 中南药学, 2025, 23(2): 514-518.
- HE X Y, KONG H L, ZHAO P H, et al. Simultaneous determination of 10 components in Yinhuang capsules by UPLC-MS/MS method [J]. Cent South Pharm, 2025, 23(2): 514-518.
- [19] 杜亚强,罗镭,陈碧莲. 基于UHPLC-LTQ-Orbitrap-MS/MS技术快速分析六神曲中的化学成分[J]. 中国现代应用药学, 2024, 41(16): 2249-2256.

- DU Y Q, LUO L, CHEN B L. Rapid analysis of chemical components in Liushenqu based on UHPLC-LTQ-Orbitrap-MS/MS technology [J]. *Chin J Mod Appl Pharm*, 2024, 41(16):2249-2256.
- [20] 郭倩池,王康宇,张龄月,等. 基于UHPLC-Q-Orbitrap/MS鉴定当归四逆颗粒化学成分[J]. *质谱学报*, 2024, 45(3):432-446.
- GUO Q C, WANG K Y, ZHANG L Y, et al. Identification of chemical components in Danggui Sini granules based on UHPLC-Q-Orbitrap/MS [J]. *J Chin Mass Spectrom Soc*, 2024, 45(3):432-446.
- [21] 段贤春. 基于网络药理学与转录组学探索桃红四物汤治疗缺血性中风主要物质基础及作用机制[D]. 合肥:安徽中医药大学, 2019.
- DUAN X C. Exploration of main material basis and mechanism of Taohong Siwu decoction in treating ischemic stroke based on network pharmacology and transcriptomics [D]. Hefei: Anhui University of Traditional Chinese Medicine, 2019.
- [22] 吴美琪,刘建庭,许浚,等. 基于UPLC-Q/TOF-MS的小儿消积止咳口服液化学物质组快速辨识研究[J]. *中草药*, 2021, 52(23):7117-7127.
- WU M Q, LIU J T, XU J, et al. Rapid identification of chemical components in Xiao'er Xiaoji Zhike oral liquid based on UPLC-Q/TOF-MS [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 2021, 52(23):7117-7127.
- [23] 张玲玲. 蒙药三臣丸中化学成分的鉴定及药代动力学研究[D]. 呼和浩特:内蒙古医科大学, 2020.
- ZHANG L L. Preliminary identification of chemical components and pharmacokinetic study in Mongolian medicine Sanchen pill [D]. Hohhot: Inner Mongolia Medical University, 2020.
- [24] 李雷,张艳丽,陈美庆,等. 基于UPLC-Q-TOF-MS/MS技术分析参苓白术散化学成分及入血成分[J]. *中药新药与临床药理*, 2024, 35(4):553-562.
- LI L, ZHANG Y L, CHEN M Q, et al. Analysis of chemical components and blood-entering components in Shenling Baizhu powder by UPLC-Q-TOF-MS/MS technology [J]. *Tradit Chin Drug Res Clin Pharmacol*, 2024, 35(4):553-562.
- [25] 包芳,白海英,彭静文,等. 栽培甘草的化学成分及其抗菌活性研究[J]. *中国现代中药*, 2019, 21(5):577-582.
- BAO F, BAI H Y, PENG J W, et al. Study on chemical components and antibacterial activity of cultivated *Glycyrrhizae Radix et Rhizoma* [J]. *Mod Chin Med*, 2019, 21(5):577-582.
- [26] 罗思妮,彭致铖,范倩,等. 经典名方小承气汤中化学成分的UPLC-Q-Orbitrap-MS分析[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2021, 27(23):1-10.
- LUO S N, PENG Z C, FAN Q, et al. Analysis of chemical components in classic famous formula Xiaochengqi decoction by UPLC-Q-Orbitrap-MS [J]. *Chin J Exp Tradit Med Formul*, 2021, 27(23):1-10.
- [27] 刘丽伟,周霖,孙志,等. 基于UHPLC-Q-Orbitrap HRMS技术的芪参益气滴丸中主要化学成分研究[J]. *中草药*, 2018, 49(24):5761-5771.
- LIU L W, ZHOU L, SUN Z, et al. Study on main chemical components in Qishen Yiqi dropping pills based on UHPLC-Q-Orbitrap HRMS technology [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 2018, 49(24):5761-5771.
- [28] 张紫岚,王停,亢倩丽,等. 基于UPLC-Q-Exactive-Orbitrap-MS和网络药理学的紫贝颗粒治疗感染后咳嗽的药效物质基础及作用机制[J]. *药物评价研究*, 2024, 47(12):2726-2744.
- ZHANG Z L, WANG T, KANG Q L, et al. Pharmacodynamic material basis and mechanism of Zibei granules in treating post-infectious cough based on UPLC-Q-Exactive-Orbitrap-MS and network pharmacology [J]. *Drug Eval Res*, 2024, 47(12):2726-2744.
- [29] 陈秋谷,吴锦如,李常慧,等. HPLC-MS/MS法同时测定黄芪桂枝五物汤中21种成分的含量[J]. *中成药*, 2025, 47(2):365-371.
- CHEN Q G, WU J R, LI C H, et al. Simultaneous determination of 21 components in Huangqi Guizhi Wuwu decoction by HPLC-MS/MS method [J]. *Chin Trad Patent Med*, 2025, 47(2):365-371.
- [30] 欧春雪,刘洋洋,高祖,等. 基于UPLC-Q-TOF-MS/MS技术分析桔梗对参苓白术散化学成分溶出的影响[J]. *现代中药研究与实践*, 2024, 38(5):46-54.
- OU C X, LIU Y Y, GAO Z, et al. Analysis of the effect of *Platycodonis Radix* on the dissolution of chemical components in Shenling Baizhu powder based on UPLC-Q-TOF-MS/MS technology [J]. *Res Pract Chin Med*, 2024, 38(5):46-54.
- [31] 陈晶,傅欣彤,陈有根,等. 基于UHPLC-QE Plus-MS/MS法分析柴黄颗粒及柴胡中化学成分[J]. *中草药*, 2022, 53(15):4634-4644.
- CHEN J, FU X T, CHEN Y G, et al. Analysis of chemical components in Chaihuang granules and *Bupleuri Radix* by UHPLC-QE Plus-MS/MS method [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 2022, 53(15):4634-4644.
- [32] 吴建雄,杨嵩虹,郭怡敬,等. 基于UPLC-Q-TOF-MS/MS的陈皮醋制前后成分分析[J]. *中华中医药杂志*, 2023, 38(9):4321-4327.
- WU J X, YANG S H, GUO Y J, et al. Component analysis of *Citri Reticulatae Pericarpium* before and after vinegar processing based on UPLC-Q-TOF-MS/MS [J]. *China J Chin Mater Med*, 2023, 38(9):4321-4327.
- [33] 王永丽,张聪聪,张凤,等. UHPLC-Q-Exactive Orbitrap HR-MS分析荆银颗粒的化学成分及其组织分布特征[J]. *中国中药杂志*, 2020, 45(22):5537-5554.
- WANG Y L, ZHANG C C, ZHANG F, et al. Analysis of chemical components and tissue distribution characteristics of Jingyin granules by UHPLC-Q-Exactive Orbitrap HR-MS [J]. *China J Chin Mater Med*, 2020, 45(22):5537-5554.

- [34] 赵一擎,王艳伟,杨元,等. UPLC-MS/MS法同时测定乳核内消液中柴胡皂苷a、柴胡皂苷d、柴胡皂苷b₁、柴胡皂苷b₂和柴胡皂苷k的含量[J]. 药物分析杂志, 2023, 43(10): 1702-1708.
ZHAO Y Q, WANG Y W, YANG Y, et al. Simultaneous determination of saikosaponin a, saikosaponin d, saikosaponin b₁, saikosaponin b₂ and saikosaponin k in Ruhe Neixiao Ye by UPLC-MS/MS method[J]. Chin J Pharm Anal, 2023, 43(10): 1702-1708.
- [35] 郑鹏,黄敏,张金莲,等. 基于UPLC-Q-TOF-MS/MS技术的江西特产中药茶芎化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(1): 52-62.
ZHENG P, HUANG M, ZHANG J L, et al. Study on chemical components of Ligustici Rhizoma et Radix (Chaxiong), a specialty traditional Chinese medicine in Jiangxi, based on UPLC-Q-TOF-MS/MS technology[J]. Nat Prod Res Dev, 2024, 36(1): 52-62.
- [36] 郭旻珊,肖观林,谢灿辉,等. UPLC-Q-TOF-MS/MS和UPLC-QQQ-MS/MS分析洋甘菊的化学成分[J]. 分析测试学报, 2024, 43(11): 1803-1812.
WU M S, XIAO G L, XIE C H, et al. Analysis of chemical components in *Matricaria chamomilla* L. by UPLC-Q-TOF-MS/MS and UPLC-QQQ-MS/MS[J]. J Instrum Anal, 2024, 43(11): 1803-1812.
- [37] 杨会珍. 血府逐瘀汤调节慢性气滞血瘀大鼠模型的物质基础研究[D]. 北京: 中国中医科学院, 2022.
YANG H Z. Study on the material basis of Xuefu Zhuyutang in regulating chronic qi stagnation and blood stasis rat model [D]. Beijing: China Academy of Chinese Medical Sciences, 2022.
- [38] 姬佳琦,胡校庆,赵艺涵,等. 血府逐瘀汤在恶性肿瘤疾病中的研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2026, 32(3): 321-330.
JI J Q, HU X Q, ZHAO Y H, et al. Research progress of Xuefu Zhuyu decoction in malignant tumor diseases[J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 2026, 32(3): 321-330.
- [39] 王季俊,李玲玲,尹祎洁,等. 苦杏仁活血化瘀作用的文献研究[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(9): 4860-4865.
WANG J J, LI L L, YIN Y J, et al. Literature research on the promoting blood circulation and removing blood stasis effect of bitter almond[J]. China J Chin Mater Med, 2024, 39(9): 4860-4865.
- [40] 艾楠,刘星宇,王馨晨,等. 红花化学成分和药理作用的研究进展[J]. 华西药学杂志, 2025, 40(4): 461-465.
AI N, LIU X Y, WANG X C, et al. Research progress on chemical components and pharmacological effects of *Carthamus tinctorius* L. [J]. West China J Pharm Sci, 2025, 40(4): 461-465.
- [41] 张悦,付晓琪,徐紫晨,等. 赤芍的化学成分、药理作用和质量标志物的预测分析[J]. 中国新药杂志, 2025, 34(15): 1602-1607.
ZHANG Y, FU X Q, XU Z C, et al. Predictive analysis of chemical components, pharmacological effects and quality markers of *Paeonia lactiflora* Pall. var. *trichocarpa* Bunge [J]. Chin J New Drugs, 2025, 34(15): 1602-1607.
- [42] 刘现磊,李琨,孙文静,等. 川芎化学成分、药理作用及质量标志物的预测分析[J]. 中国新药杂志, 2025, 34(15): 1569-1576.
LIU X L, LI K, SUN W J, et al. Predictive analysis of chemical components, pharmacological effects and quality markers of *Ligusticum chuanxiong* Hort [J]. Chin J New Drugs, 2025, 34(15): 1569-1576.
- [43] 刘丹,苗加伟,谭子豪,等. 柚皮苷对心血管疾病的药理作用研究进展[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2025, 30(2): 272-281.
LIU D, MIAO J W, TAN Z H, et al. Research progress on pharmacological effects of naringin on cardiovascular diseases [J]. Chin J Clin Pharmacol Ther, 2025, 30(2): 272-281.

[责任编辑 吕冬梅]