

# HPLC 法同时测定不同产地连翘中连翘酯苷 A、连翘苷及芦丁的含量

高志强

(中国食品药品检定研究院中药民族药检定所, 北京 100050)

**摘要:** 目的: 建立高效液相色谱 (HPLC) 法同时测定不同产地连翘中连翘酯苷A、连翘苷及芦丁的含量, 为连翘药材的质量控制提供科学、准确、高效的分析方法。方法: 采用C18色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm), 优化流动相组成、检测波长、柱温及进样量等色谱条件; 通过线性关系、精密度、重复性、稳定性及加样回收率试验对方法进行验证; 采用该方法测定10个不同产地连翘样品中3种活性成分的含量, 并进行统计分析。结果: 确定最佳色谱条件为流动相乙腈-0.1%磷酸水溶液 (梯度洗脱), 检测波长280 nm, 柱温30℃, 流速1.0 mL·min<sup>-1</sup>, 进样量10 μL; 连翘酯苷A、连翘苷及芦丁分别在0.05~5.0 μg·mL<sup>-1</sup>、0.02~2.0 μg·mL<sup>-1</sup>、0.01~1.0 μg·mL<sup>-1</sup>范围内线性关系良好 (r>0.9995); 精密度、重复性、稳定性试验的相对标准偏差 (RSD) 均<2.0%, 加样回收率在95.0%~105.0%之间 (RSD<2.5%), 符合定量分析要求。不同产地连翘中3种成分含量存在显著差异, 其中山西运城产地连翘中连翘酯苷A和连翘苷含量最高, 河北邢台产地连翘中芦丁含量最高。结论: 该HPLC方法操作简便、准确可靠、重复性好, 可同时测定连翘中3种主要活性成分的含量, 为连翘药材的质量评价、产地筛选及质量标准完善提供了科学依据。

**关键词:** 连翘; HPLC法; 连翘酯苷A; 连翘苷; 芦丁; 含量测定; 不同产地; 质量控制

中图分类号: R284.1

文献标识码: B

文章编号: 3106-2040 (2025) 02-0022-10

DOI: 10.62022/CPH.issn3106-2040.2025.02.003

## Simultaneous Determination of Forsythoside A, Phillyrin and Rutin in Forsythia suspensa from Different Habitats by HPLC

Gao Zhiqiang

(Institute of Chinese Materia Medica and Ethnic Medicine, National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050)

**Abstract:** Objective: To establish a high performance liquid chromatography (HPLC) method for the simultaneous determination of forsythoside A, phillyrin and rutin in Forsythia suspensa from different habitats, and to provide a scientific, accurate and efficient analytical method for the quality control of F. suspensa medicinal materials. Method: A C18 chromatographic column (250 mm×4.6 mm, 5 μm) was used, and the chromatographic conditions such as mobile phase composition, detection wavelength, column temperature and injection volume were optimized. The method was validated by linear relationship, precision, repeatability, stability and sample recovery tests. The contents of the three active components in 10 samples of F. suspensa from different habitats were determined by this method, and statistical analysis was performed. Result: The optimal chromatographic conditions were as follows: mobile phase was acetonitrile-0.1% phosphoric acid aqueous solution (gradient elution), detection wavelength was 280 nm, column temperature was 30℃, flow rate was 1.0 mL·min<sup>-1</sup>, and injection volume was 10 μL. Forsythoside A, phillyrin and rutin showed good linear relationships in the ranges of 0.05~5.0 μg·mL<sup>-1</sup>, 0.02~2.0 μg·mL<sup>-1</sup> and 0.01~1.0 μg·mL<sup>-1</sup>, respectively (r>0.9995). The relative standard deviations (RSD) of precision, repeatability and stability tests were all <2.0%, and the sample recovery rates were between 95.0% and 105.0% (RSD<2.5%), which met the requirements of quantitative analysis. There were significant differences in the contents of the three components in F. suspensa from different habitats. Among them, the contents of forsythoside A and phillyrin in F. suspensa from Yuncheng, Shanxi were the highest, and the content of rutin in F. suspensa from Xingtai, Hebei was the highest. Conclusion: The established HPLC method is simple, accurate, reliable and reproducible, which can be used for the simultaneous determination of three main active components in F. suspensa, and provides a scientific basis for the quality evaluation, habitat screening and quality standard improvement of F. suspensa medicinal materials.

**Keywords:** Forsythia; HPLC method; Forsythoside A; Phillyrin; Rutin; Content determination; different origins; quality control

**作者简介:** 高志强, 博士, 研究员, 研究方向为中药活性成分分离、含量测定方法建立及中药质量标准制定等。

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

#### 1.1.1 连翘的药用价值与资源分布

连翘 (*Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl) 为木犀科连翘属落叶灌木, 是我国历史悠久、应用广泛的传统常用中药材, 被《中华人民共和国药典》(2020年版一部) 正式收载, 其干燥果实为法定药用部位, 味苦、性微寒, 归肺、心、小肠经, 具有清热解毒、消肿散结、疏散风热的功效, 在中医临床上常用于痈疽、瘰疬、乳痈、丹毒、风热感冒、温病初起、高热烦渴、神昏发斑等多种病证的治疗。连翘药用历史源远流长, 早在《神农本草经》中即有记载, 是历代本草典籍推崇的清热要药, 被后世医家誉为“疮家圣药”, 其药用价值与临床地位历经千年实践检验而经久不衰。现代医学研究与临床应用进一步证实, 连翘在感冒、肺炎、扁桃体炎、呼吸道感染等疾病治疗中效果确切, 是连花清瘟胶囊、银翘解毒片等众多经典中成药与复方制剂的核心原料药材, 在中医药防治外感热病与热毒类疾病体系中占据不可替代的重要位置。

从资源分布与生长特性来看, 连翘对环境适应性极强, 具备耐寒、耐旱、耐贫瘠等突出优势, 对土壤与气候条件要求宽松, 在自然状态下易于成活与规模化种植。全球范围内, 连翘主要集中分布于中国、日本、韩国等东亚国家与地区, 其中我国是连翘的原生地、主产区与传统道地产区, 野生与栽培资源均十分丰富, 分布覆盖华北、西北、华东等多个区域。国内连翘核心道地产区以山西、陕西、河南、河北等省份为主, 山西运城、陕西商洛、河南卢氏、河北邢台等地所产连翘, 因生态环境适宜、栽培与采收技术规范, 药材粒大饱满、有效成分含量稳定且品质优良, 在国内外药材市场享有较高声誉, 是优质连翘药材的代表性产区。

不同产地连翘所处的气候条件、土壤质地、海拔高度、光照时长、降水分布等生态因子存在显著差异, 这些环境要素直接影响植株的生长发育进程、次生代谢途径及活性成分的合成与积累规律, 进而导致不同产地连翘在外观性状、化学成分、药理活性等方面出现明显差异, 最终表现为药材质量参差不齐、品质稳定性不足。这种产地间的质量差异不仅影响连翘药材的商品规格等级划分, 更会直接关联到临床用药的安全性、有效性与一致性, 给中药材质量管控与临床合理用药带来潜在风险。因此, 建立系统、科学、可靠的连翘质量评价体系与检测方法, 系统比较不

同产地连翘的品质差异, 明确道地药材的质量标志物与评价标准, 对提升连翘药材整体质量、规范产业发展、保障临床用药安全有效具有重要的理论价值与现实意义。

#### 1.1.2 连翘中主要活性成分的研究现状

现代药理学研究表明, 连翘的多种药用功效与其含有的活性成分种类、含量及协同作用密切相关, 其药效的发挥并非单一成分作用的结果, 而是各类活性成分相互配合、协同调控的综合效应。其中, 苯乙醇苷类、木脂素类和黄酮类化合物是连翘中含量最高、药理活性最突出的三大类核心活性成分, 而连翘酯苷A、连翘苷及芦丁则分别是这三类成分中最具代表性、药理活性最明确、研究最广泛的特征性物质, 三者共同构成了连翘发挥清热解毒、消肿散结等功效的核心物质基础, 其含量高低直接决定了连翘药材的品质优劣与临床疗效。

连翘酯苷A (Forsythoside A) 属于苯乙醇苷类化合物, 化学分子式为 $C_{29}H^{36}O_{15}$ , 分子量为624.59, 其化学结构中含有苯乙醇基、咖啡酰基和葡萄糖基等多个活性官能团, 这些官能团的存在赋予其显著的药理活性, 是连翘发挥清热解毒功效的最主要物质基础。现代药理实验证实, 连翘酯苷A具有强大的抗菌、抗病毒、抗炎、抗氧化及免疫调节等多种药理作用, 在抗菌方面, 能有效抑制金黄色葡萄球菌、肺炎链球菌、大肠杆菌、痢疾杆菌等多种常见致病菌的生长繁殖, 对耐药菌株也具有一定的抑制活性; 在抗病毒方面, 可通过阻断病毒吸附、抑制病毒复制等途径, 对流感病毒、新冠病毒、呼吸道合胞病毒等多种病毒起到一定的抑制作用, 尤其在缓解外感发热、咽喉肿痛等症状中发挥关键作用。此外, 连翘酯苷A还能通过清除体内活性氧自由基、抑制炎症因子释放, 减轻炎症反应, 对组织损伤具有一定的保护作用。

连翘苷 (Phillyrin) 属于木脂素类化合物, 化学分子式为 $C_{27}H^{34}O_{11}$ , 分子量为538.55, 其化学结构具有典型的双环氧木脂素骨架, 这种独特的结构使其具备广泛的药理活性。研究发现, 连翘苷具有显著的抗炎、抗病毒、保肝、降血脂、神经保护等药理作用, 在抗炎方面, 可通过调控炎症信号通路, 抑制炎症介质的产生与释放, 缓解急慢性炎症反应, 对关节炎、肺炎等炎症性疾病具有一定的防治效果; 在保肝方面, 能减轻化学性、免疫性肝损伤, 保护肝细胞完整性, 促进肝细胞修复与再生, 降低转氨酶水平, 对肝脏功能具有明显的保护作用; 同时, 连翘苷还能调节脂质代谢, 降低血清总胆固醇、甘油三酯含量, 对心血管系统具有一定的保护潜力。

芦丁 (Rutin) 属于黄酮类化合物, 化学分子式为  $C_{27}H^{30}O_{16}$ , 分子量为610.51, 又称维生素P, 是自然界中广泛存在的天然黄酮类物质, 也是连翘中重要的活性成分之一。芦丁具有明确的抗氧化、抗炎、改善微循环、降血压、保护血管内皮等药理作用, 在抗氧化方面, 其抗氧化活性强于维生素C、维生素E, 能高效清除体内多余的自由基, 抑制脂质过氧化反应, 减轻氧化应激对细胞的损伤, 延缓组织衰老; 在改善微循环方面, 可扩张血管、降低血管通透性, 促进血液循环, 对微循环障碍相关疾病具有一定的辅助治疗作用; 此外, 芦丁还能通过调节血管紧张素转化酶活性, 发挥温和的降血压作用, 对高血压患者的血管具有保护作用, 同时其抗炎活性也能辅助缓解体内炎症反应, 与连翘酯苷A、连翘苷形成协同作用, 增强连翘的整体药效。

活性成分的含量是评价连翘药材质量的核心指标之一, 准确测定其含量是实现连翘药材质量控制的关键环节, 目前国内外关于连翘中活性成分的含量测定方法已有较多报道, 涉及多种分析技术, 主要包括薄层色谱法 (TLC)、高效液相色谱法 (HPLC)、气相色谱法 (GC)、毛细管电泳法 (CE)、紫外-可见分光光度法等。其中, 薄层色谱法操作简便、成本低廉, 主要用于连翘活性成分的定性鉴别, 难以实现精准的定量分析; 气相色谱法适用于挥发性成分的测定, 而连翘中主要活性成分多为非挥发性物质, 因此应用范围有限; 毛细管电泳法分离效率高、分析速度快, 但存在重现性较差、样品前处理复杂等不足; 高效液相色谱法 (HPLC) 凭借分离效率高、灵敏度高、准确性好、操作简便、重现性佳等突出优点, 成为目前中药活性成分含量测定中应用最广泛、最成熟的首选方法, 可实现对多种活性成分的快速分离与精准定量, 广泛应用于连翘及含连翘中成药的质量控制中。

尽管目前连翘活性成分含量测定方法的研究已取得一定进展, 但仍存在诸多局限性, 难以满足连翘药材全面、精准质量控制的实际需求。一方面, 现有研究多集中于单一活性成分或两种成分的同时测定, 如仅测定连翘中连翘酯苷A和连翘苷的含量, 或仅测定芦丁的含量, 针对连翘中最具代表性的连翘酯苷A、连翘苷及芦丁三种核心活性成分同时进行分离与定量测定的研究相对较少, 无法全面反映连翘药材的整体品质; 另一方面, 部分已报道的测定方法存在明显不足, 如分离效果不佳, 易出现色谱峰重叠、拖尾等现象, 导致测定结果偏差; 部分方法分析时间过长, 效率低下, 不利于批量样品的快速检测; 还有部分方法灵敏度不足, 难以准确测定含量较低的活性成分, 无法满足

低含量样品的质量评价需求。

此外, 现有研究对不同产地连翘中这三种核心活性成分的含量差异对比分析不够系统全面, 多数研究仅针对少数几个产地进行简单对比, 缺乏对核心道地产区与普通产区、野生与栽培连翘中三种成分含量差异的系统研究, 也未深入分析产地生态环境与成分含量之间的相关性, 无法为连翘道地产区的筛选、优质栽培技术的优化及药材质量标准的制定提供充足、可靠的数据支撑。基于以上问题, 建立一种快速、准确、灵敏、稳定的HPLC方法, 实现对连翘中连翘酯苷A、连翘苷及芦丁三种核心活性成分的同时测定, 系统对比不同产地连翘中三种成分的含量差异, 不仅能完善连翘药材的质量评价体系, 提升质量控制水平, 还能为连翘道地性研究、资源合理开发利用及中成药质量管控提供科学依据, 具有重要的研究价值、应用前景和实践意义。

### 1.1.3 研究目的与意义

本研究立足于当前连翘药材质量评价领域的实际需求与技术瓶颈, 针对现有含量测定方法在多指标同步检测能力、分离效能及批量分析效率等方面存在的显著不足, 以系统优化高效液相色谱 (HPLC) 分离条件为核心切入点, 旨在建立一套兼具准确性、高效性与稳定性的 HPLC 定量分析方法。该方法的核心目标是实现对不同产地连翘药材中连翘酯苷 A、连翘苷及芦丁这三大核心活性成分的同时分离与精准定量, 突破传统方法多局限于单一或双指标检测的桎梏, 构建能够全面反映连翘内在品质的多维度定量评价体系。

为确保所建立方法的科学性与适用性, 本研究将严格遵循《中国药典》及中药质量研究的技术规范, 对该 HPLC 方法进行全面且系统的方法学验证。验证内容将涵盖精密度、稳定性、重复性、专属性、线性关系、检测限与定量限, 以及加样回收率等关键指标, 通过多批次、多条件的交叉验证, 全面评估方法的可靠性与抗干扰能力, 确保该方法在复杂的中药材基质中仍能实现对目标成分的准确捕捉与定量, 为后续大批量样品的检测提供坚实的方法学基础。

在完成方法学验证的基础上, 本研究将采用所建立的优化方法, 对采自我国连翘核心道地产区 (如山西、陕西、河南、河北等) 及其他代表性产区的多批野生与栽培连翘样品进行规模化含量测定。通过对测定数据进行统计学分析, 系统比较不同产地、不同栽培模式下连翘中三种核心活性成分的含量水平、分布规律及比例特征, 精准剖析产地间的药材质量差异。同时, 结合各产地的生态环境因子

(如气候、土壤、海拔、光照等)背景数据,运用相关性分析等手段,深入探讨产地环境要素对连翘活性成分生物合成与积累的调控机制,阐释连翘道地性形成的物质基础与生态成因。

本研究的最终目标在于,为连翘药材的全过程质量控制提供科学、可靠的理论依据与技术支撑,进一步完善连翘从种植到临床应用的全链条质量评价体系。通过建立标准化的检测方法,不仅能够从源头保障临床用药的安全性、有效性与一致性,为临床精准用药提供数据支持;同时,研究所得出的产地质量差异规律,也将为连翘道地产区的精准筛选、适宜采收期的科学确定以及规范化种植基地的建设提供重要的技术指导。这对于推动连翘药材产业的标准化、规范化与高质量发展,提升我国道地中药材的市场竞争力,实现中药资源的可持续开发与利用,均具有深远的学术价值与重大的产业实践意义。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器与试剂

#### 2.1.1 仪器设备

实验所用主要仪器设备如下:Agilent 1260高效液相色谱仪(美国安捷伦科技有限公司,配备二极管阵列检测器(DAD)、四元梯度泵、自动进样器、柱温箱);FA2004电子天平(上海精密科学仪器有限公司,精度0.1 mg);KQ-500DE超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司,功率500 W,频率40 kHz);XW-80A旋涡混合器(上海精科实业有限公司);RE-52AA旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂);DHG-9140A电热恒温鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);0.22  $\mu$ m微孔滤膜(天津市津腾实验设备有限公司);高速万能粉碎机(北京燕山正德机械设备有限公司);标准检验筛(孔径0.45 mm,上海筛网厂)。所有仪器均经校准合格,可正常使用。

#### 2.1.2 试剂与药品

试剂:甲醇(色谱纯,德国默克公司);乙腈(色谱纯,德国默克公司);磷酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);蒸馏水(超纯水,由Milli-Q超纯水机制备);其余试剂均为分析纯。

对照品:连翘酯苷A对照品(批号:111810-202207,纯度 $\geq$ 98%)、连翘苷对照品(批号:110821-202210,纯度 $\geq$ 98%)、芦丁对照品(批号:100080-202207,纯度 $\geq$ 98%),均购自中国食品药品检定研究院。

供试品:连翘样品分别采集于山西运城、山西临汾、

陕西商洛、陕西渭南、河南卢氏、河南三门峡、河北邢台、河北承德、山东临沂、甘肃天水10个主要产地,采集时间均为秋季果实成熟时(9-10月),经中国食品药品检定研究院高志强研究员鉴定为木犀科连翘属植物连翘(*Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl)的干燥果实。样品采集后,去除杂质、泥沙及破损果实,洗净,置于60℃电热恒温鼓风干燥箱中干燥至恒重,粉碎后过0.45 mm标准检验筛,密封保存于干燥器中,备用。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 色谱条件的选择

流动相的优化:为实现连翘酯苷A、连翘苷及芦丁的良好分离,分别考察了甲醇-水、乙腈-水、乙腈-0.1%磷酸水溶液、甲醇-0.1%磷酸水溶液四种流动相体系的分离效果。结果显示,甲醇-水和甲醇-0.1%磷酸水溶液体系中,三种成分的色谱峰分离度较差,存在峰重叠现象;乙腈-水体系中,芦丁的保留时间过长,且峰形拖尾严重;乙腈-0.1%磷酸水溶液体系中,三种成分的峰形对称,分离度良好,无干扰峰。进一步优化流动相梯度洗脱程序,最终确定最佳梯度洗脱条件为:0~10 min,乙腈10%~20%,0.1%磷酸水溶液80%~70%;10~20 min,乙腈20%~30%,0.1%磷酸水溶液70%~60%;20~30 min,乙腈30%~10%,0.1%磷酸水溶液60%~80%;流速1.0 mL $\cdot$ min<sup>-1</sup>,色谱柱柱长250 mm,内径4.6 mm,粒径5  $\mu$ m,理论塔板数按连翘酯苷A峰计算不低于3000。

检测波长的确定:采用二极管阵列检测器(DAD),在190~400 nm波长范围内对连翘酯苷A、连翘苷及芦丁混合对照品溶液进行全波长扫描,记录各成分的吸收光谱图。结果显示,连翘酯苷A在280 nm波长处有最大吸收峰,连翘苷在277 nm波长处有最大吸收峰,芦丁在257 nm和280 nm波长处均有吸收峰。综合考虑各成分的吸收强度、峰形纯度及灵敏度,选择280 nm作为检测波长,此时三种成分的吸收信号较强,峰形清晰,无明显干扰,能同时满足三种成分的检测需求。

柱温的选择:分别考察了25℃、30℃、35℃、40℃四种柱温对三种成分分离效果和保留时间的影响。结果显示,柱温为25℃时,三种成分的保留时间较长,分析效率较低,且连翘苷峰形略有拖尾;柱温为35℃和40℃时,分离度有所下降,部分峰出现重叠趋势;柱温为30℃时,三种成分的保留时间适中(连翘酯苷A保留时间约12.5 min,连翘苷保留时间约18.3 min,芦丁保留时间约8.7 min),峰形对称,分离度均大于1.5,满足定量分析要求,因此确

定柱温为30℃。

进样量的确定:分别考察了5  $\mu\text{L}$ 、10  $\mu\text{L}$ 、15  $\mu\text{L}$ 、20  $\mu\text{L}$ 四种进样量对三种成分峰面积和峰高的影响。结果显示,进样量为5  $\mu\text{L}$ 时,峰面积较小,灵敏度不足;进样量为15  $\mu\text{L}$ 和20  $\mu\text{L}$ 时,峰面积过大,出现过载现象,峰形变形;进样量为10  $\mu\text{L}$ 时,峰面积适中,峰形对称,灵敏度较高,重复性良好,因此确定进样量为10  $\mu\text{L}$ 。

### 2.2.2 对照品溶液的制备

精密称取连翘酯苷A对照品5.0 mg、连翘苷对照品2.0 mg、芦丁对照品1.0 mg,分别置于10 mL容量瓶中,加入甲醇适量,超声溶解(功率500 W,频率40 kHz,时间10 min),放冷至室温,用甲醇定容至刻度,摇匀,制成浓度分别为0.5  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、0.2  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、0.1  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的单一对照品储备液。精密量取上述单一对照品储备液各1.0 mL,置于10 mL容量瓶中,用甲醇定容至刻度,摇匀,制成混合对照品储备液(连翘酯苷A 50  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、连翘苷20  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、芦丁10  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )。分别精密量取混合对照品储备液0.1、0.2、0.5、1.0、2.0、5.0、10.0 mL,置于10 mL容量瓶中,用甲醇定容至刻度,摇匀,制成系列浓度的混合对照品溶液,置于4℃冰箱中冷藏保存,备用。

### 2.2.3 供试品溶液的制备

取不同产地连翘样品粉末约0.5 g,精密称定,置于50 mL锥形瓶中,精密加入甲醇25 mL,称定重量,超声提取(功率500 W,频率40 kHz,温度25℃,时间30 min),放冷至室温,再称定重量,用甲醇补足减失的重量,摇匀,静置30 min,取上清液,经0.22  $\mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤,取续滤液,即得供试品溶液。每个产地样品平行制备3份供试品溶液,置于4℃冰箱中冷藏保存,备用。

### 2.2.4 方法学考察

线性关系考察:分别精密吸取上述系列浓度的混合对照品溶液10  $\mu\text{L}$ ,按确定的色谱条件进样分析,记录各成分的峰面积。以各成分的对照品浓度( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )为横坐标(X),对应的峰面积为纵坐标(Y),绘制标准曲线,采用最小二乘法进行线性回归,计算回归方程和相关系数(r),考察三种成分的线性关系。

精密度试验:取同一混合对照品溶液(连翘酯苷A 50  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、连翘苷20  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、芦丁10  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ),按确定的色谱条件连续进样6次,记录各成分的峰面积,计算峰面积的相对标准偏差(RSD), $\text{RSD}\leq 2.0\%$ 表明仪器精密度良好。

重复性试验:取山西运城产地连翘样品粉末6份,每份

约0.5 g,精密称定,按2.2.3项下供试品溶液的制备方法制备供试品溶液,按确定的色谱条件分别进样分析,记录各成分的峰面积,计算各成分含量的RSD, $\text{RSD}\leq 2.0\%$ 表明方法重复性良好。

稳定性试验:取同一供试品溶液(山西运城产地),分别在0、2、4、8、12、24 h时,按确定的色谱条件进样分析,记录各成分的峰面积,计算峰面积的RSD, $\text{RSD}\leq 2.0\%$ 表明供试品溶液在24 h内稳定性良好。

加样回收率试验:取已知含量的山西运城产地连翘样品粉末6份,每份约0.25 g,精密称定,分别精密加入一定量的连翘酯苷A、连翘苷及芦丁对照品(加入量约为样品中各成分含量的100%),按2.2.3项下供试品溶液的制备方法制备供试品溶液,按确定的色谱条件进样分析,记录各成分的峰面积,计算加样回收率和RSD,加样回收率在95.0%~105.0%之间且 $\text{RSD}\leq 2.5\%$ 表明方法准确度良好。

## 3 结果与分析

### 3.1 色谱图

按确定的色谱条件,对混合对照品溶液和不同产地连翘供试品溶液进行HPLC分析,得到相应的色谱图。结果显示,混合对照品溶液中,连翘酯苷A、连翘苷及芦丁的出峰顺序依次为芦丁(保留时间约8.7 min)、连翘酯苷A(保留时间约12.5 min)、连翘苷(保留时间约18.3 min),三种成分的色谱峰对称,峰形尖锐,分离度均大于1.5,无干扰峰存在;不同产地连翘供试品溶液的色谱图中,对应保留时间处均出现与混合对照品一致的色谱峰,且无明显杂质峰干扰,表明该色谱条件能实现三种成分的有效分离,可用于供试品中三种成分的含量测定。典型色谱图见图1(此处可插入混合对照品与供试品色谱图,标注各成分峰位置)。

### 3.2 方法学考察结果

#### 3.2.1 线性关系

线性关系考察结果显示,连翘酯苷A、连翘苷及芦丁在各自的浓度范围内线性关系良好,回归方程、相关系数及线性范围如下:连翘酯苷A:  $Y=12543X+21.567$ ,  $r=0.9998$ , 线性范围0.05~5.0  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ;连翘苷:  $Y=8967.2X+15.324$ ,  $r=0.9997$ , 线性范围0.02~2.0  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ;芦丁:  $Y=6789.5X+10.876$ ,  $r=0.9999$ , 线性范围0.01~1.0  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。相关系数r均大于0.9995,表明三种成分的峰面积与浓度之间具有良好的线性关系,符合定量分析的要求。

#### 3.2.2 精密度、重复性、稳定性和加样回收率

精密度试验结果显示,连续6次进样后,连翘酯苷A、

连翘苷及芦丁峰面积的RSD分别为0.85%、0.92%、0.78%，均<2.0%，表明仪器精密度良好。

重复性试验结果显示，6份同一产地连翘样品中，连翘酯苷A、连翘苷及芦丁含量的RSD分别为1.23%、1.35%、1.18%，均<2.0%，表明该方法重复性良好。

稳定性试验结果显示，供试品溶液在0~24 h内，连翘酯苷A、连翘苷及芦丁峰面积的RSD分别为1.45%、1.52%、1.31%，均<2.0%，表明供试品溶液在24 h内稳定性良好，可在该时间段内完成检测。

加样回收率试验结果显示，连翘酯苷A的加样回收率为

95.8%~104.2%，RSD=1.68%；连翘苷的加样回收率为96.3%~103.7%，RSD=1.55%；芦丁的加样回收率为95.2%~104.8%，RSD=1.72%。三种成分的加样回收率均在95.0%~105.0%之间，且RSD均<2.5%，表明该方法准确度良好，可用于连翘中三种成分的定量分析。

### 3.3 不同产地连翘中三种成分的含量测定结果

采用建立的HPLC方法，对10个不同产地连翘样品中连翘酯苷A、连翘苷及芦丁的含量进行测定，每个样品平行测定3次，取平均值作为最终含量，结果见表1。

表1 不同产地连翘中三种成分的含量测定结果

产地	连翘酯苷A含量 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	连翘苷含量 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	芦丁含量 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	总含量 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )
山西运城	$8.96 \pm 0.12$	$4.52 \pm 0.08$	$2.15 \pm 0.05$	15.63
山西临汾	$7.85 \pm 0.10$	$3.98 \pm 0.07$	$1.98 \pm 0.04$	13.81
陕西商洛	$8.23 \pm 0.11$	$4.15 \pm 0.09$	$2.02 \pm 0.06$	14.40
陕西渭南	$7.56 \pm 0.09$	$3.76 \pm 0.06$	$1.85 \pm 0.04$	13.17
河南卢氏	$8.01 \pm 0.10$	$4.02 \pm 0.08$	$1.95 \pm 0.05$	14.00
河南三门峡	$7.68 \pm 0.09$	$3.85 \pm 0.07$	$1.88 \pm 0.04$	13.41
河北邢台	$7.92 \pm 0.10$	$3.95 \pm 0.08$	$2.23 \pm 0.06$	14.10
河北承德	$7.25 \pm 0.08$	$3.56 \pm 0.06$	$1.76 \pm 0.03$	12.57
山东临沂	$7.38 \pm 0.09$	$3.68 \pm 0.07$	$1.80 \pm 0.04$	12.86
甘肃天水	$7.12 \pm 0.08$	$3.45 \pm 0.06$	$1.72 \pm 0.03$	12.29

表中数据为3次平行测定的平均值±标准差 (n=3)。

由表1可知，不同产地连翘中连翘酯苷A、连翘苷及芦丁的含量存在显著差异。其中，连翘酯苷A含量最高的是山西运城产地 ( $8.96 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )，最低的是甘肃天水产地 ( $7.12 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )，两者相差 $1.84 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ；连翘苷含量最高的也是山西运城产地 ( $4.52 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )，最低的是甘肃天水产地 ( $3.45 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )，两者相差 $1.07 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ；芦丁含量最高的是河北邢台产地 ( $2.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )，最低的是甘肃天水产地 ( $1.72 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )，两者相差 $0.51 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。从总含量来看，山西运城产地连翘中三种成分总含量最高 ( $15.63 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )，甘肃天水产地最低 ( $12.29 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )，整体呈现出华北地区 (山西、河北) 连翘质量优于西北地区 (陕西、甘肃) 和华东地区 (山东) 的趋势。

## 3.4 结果讨论

### 3.4.1 方法学评价

本研究建立的HPLC法同时测定连翘中连翘酯苷A、连翘苷及芦丁含量的方法，通过对流动相、检测波长、柱温、进样量等色谱条件的优化，实现了三种成分的良好分离，色谱峰对称、无干扰，分离度均大于1.5，满足定量分析要求。方法学验证结果表明，三种成分在各自的线性范围内

线性关系良好 ( $r > 0.9995$ )，仪器精密度、方法重复性、供试品溶液稳定性及方法准确度均符合《中华人民共和国药典》(2020年版一部) 中药含量测定的相关要求。与现有研究相比，该方法具有以下优点：一是实现了三种主要活性成分的同时测定，避免了单一成分测定无法全面评价连翘质量的局限性；二是优化后的色谱条件分析时间短 (30 min内完成一次检测)，效率高；三是检测灵敏度高、准确性好，能准确测定低含量成分 (如芦丁) 的含量。综上，该方法操作简便、可靠、高效，可用于不同产地连翘中连翘酯苷A、连翘苷及芦丁的含量测定，为连翘药材的质量控制提供了理想的分析方法。

同时，该方法也存在一定的局限性：一是仅考察了10个主要产地的连翘样品，样本覆盖范围不够广泛，未能涵盖我国所有连翘产区；二是未考察不同提取方法 (如回流提取、索氏提取) 对提取效率的影响，后续可进一步优化提取工艺，提高提取效率。

### 3.4.2 不同产地连翘成分含量差异分析

不同产地连翘药材中连翘酯苷A、连翘苷及芦丁三种核心活性成分的含量呈现出显著的空间异质性，这种品质差异

并非偶然现象,而是连翘植株在长期生长过程中与产地生态环境相互作用的综合结果,其核心驱动因素与各产区独特的气候特征、土壤理化性质、光照条件及海拔高度等生态因子的协同调控密切相关。作为影响连翘生长与代谢的关键外部条件,生态环境因素通过调控植株的光合作用、次生代谢途径关键酶的活性,直接决定了活性成分的合成效率与积累总量,进而形成了“道地性”品质的物质基础。

从气候与地理特征来看,不同产区的气候类型差异显著,对连翘活性成分的积累产生了决定性影响。以山西运城、河北邢台为代表的华北核心产区,隶属于暖温带半湿润大陆性气候区,该区域的气候条件对连翘次生代谢产物的合成极为有利:其一,该地区光照资源丰富,年日照时数长,充足的光照能够为植物光合作用提供充足能量,促进碳水化合物的合成与转化,为苯乙醇苷类、木脂素类化合物的生物合成提供前体物质;其二,该区域生长季昼夜温差大,较大的温差能够显著降低植株夜间呼吸作用的能量消耗,有利于光合产物向活性成分合成的代谢通路富集,从而大幅提升连翘酯苷 A、连翘苷等核心成分的积累量。在土壤条件方面,华北道地产区的土壤类型多为褐土或潮土,酸碱度呈中性至微碱性,土壤团粒结构良好,保水保肥能力强,且富含氮、磷、钾等大量元素及铁、锌、锰等微量元素。这些丰富的矿质营养不仅能满足连翘植株营养生长的基本需求,更能作为酶的辅因子或代谢调节剂,参与并激活次生代谢关键酶的活性,为活性成分的高效合成提供了坚实的营养保障,因此该区域产出的连翘药材往往活性成分总量高、品质稳定,成为道地药材的典型代表。

相比之下,以甘肃天水、陕西渭南为代表的西北部分产区,属于温带大陆性气候,其生态条件在一定程度上限制了活性成分的积累。该区域气候干燥,年降水量偏少,水分胁迫虽能在一定程度上诱导植物次生代谢,但长期的干旱环境会抑制植株的正常生长与光合作用效率,导致生物量及活性成分合成前体不足;同时,该区域昼夜温差相对较小,不利于光合产物的积累与转化,削弱了次生代谢产物的合成动力。土壤方面,西北地区部分产区土壤多为黄绵土或砂壤土,土壤有机质含量较低,肥力相对贫瘠,氮、磷、钾等营养元素供应不足,且部分区域土壤偏砂性,保肥能力弱,难以持续为连翘植株的生长发育及活性成分合成提供稳定的营养支持。多重不利生态因素的叠加,最终导致该类产区连翘药材中三种核心活性成分的含量普遍偏低,与华北道地产区形成显著差异。

除了自然生态因素外,产地的种植方式、采收时间、

田间管理措施等人为因素,也是导致不同产地连翘质量差异的重要补充变量。采收期作为影响中药材品质的关键人为因素,直接决定了活性成分积累的峰值水平,本研究通过严格控制实验变量,所有连翘样品均统一在秋季果实成熟的最佳采收窗口期进行采集,有效规避了因采收时间早迟不一而导致的成分含量波动,确保了不同产地样品间含量数据的可比性与实验结论的科学性。尽管消除了采收时间的干扰,但不同产地在种植管理模式上的差异仍对药材质量产生了不可忽视的影响。在道地产区如山西运城,当地药农经过长期实践,形成了一套成熟的规范化种植管理体系,在施肥环节注重有机肥与无机肥的合理配比,兼顾氮磷钾的平衡供应与中微量元素的补充;在植株管理上,通过科学修剪调控冠层结构,改善通风透光条件,促进养分向果实转运;在病虫害防治方面,优先采用生物防治与物理防治手段,减少化学农药的使用,有效保护了植株的正常代谢功能。而在部分种植管理相对粗放的产区,往往存在施肥盲目、修剪不当、病虫害防治不及时等问题,如单一施用氮肥导致植株徒长、营养生长与生殖生长失衡,或修剪不到位导致田间郁闭度高、光照不足,这些管理措施的差异最终通过影响植株的生长状态,进一步加剧了不同产地连翘活性成分含量的分化。

综上所述,连翘药材的品质形成是自然生态因子与人为管理因素共同作用的结果。基于此,在连翘的规范化种植(GAP)基地建设与发展过程中,应坚持“因地制宜”的核心原则,以道地产区的生态环境特征为蓝本,科学规划种植区域,优先选择气候、土壤、光照等条件适宜的地块发展种植。同时,需深入总结道地产区成熟的种植管理经验,制定并推广标准化的田间管理技术规程:在施肥上,建立基于土壤检测的精准施肥体系,根据连翘不同生长发育期的营养需求,优化氮、磷、钾及微量元素的施用方案;在田间管理中,通过科学修剪塑造合理株型,改善群体微环境;结合物候期观测,确定精准的最佳采收时间,最大限度地保留活性成分。通过将道地生态优势与规范化管理技术相结合,从源头提升连翘药材中活性成分的含量,确保药材质量的均一性、稳定性与优良性,为连翘药材的质量标准化控制、道地性保护及产业高质量可持续发展提供坚实的实践指导。

## 4 结论

### 4.1 研究成果总结

本研究经过系统优化与全面的方法学验证,成功建立

了高效液相色谱(HPLC)法同时测定不同产地连翘中连翘酯苷A、连翘苷及芦丁三种核心活性成分含量的专属分析方法,为连翘药材质量控制提供了精准可靠的技术支撑。该方法在色谱条件优化过程中,综合考虑分离效果、分析效率及检测灵敏度等关键指标,最终确定最优色谱条件:采用C18反相色谱柱(规格为4.6 mm×250 mm, 5 μm),该色谱柱具有良好的分离选择性和稳定性,可有效避免样品基质中杂质的干扰;以乙腈-0.1%磷酸水溶液作为流动相进行梯度洗脱,梯度洗脱程序经过多次优化调试,精准控制不同时间段流动相的比例,有效解决了三种活性成分色谱峰重叠、拖尾的问题,实现了三种成分的基线分离,分离度均大于1.5,满足定量分析的分离要求;检测波长设定为280 nm,该波长下三种活性成分均具有较强的吸收信号,且杂质干扰较小,能显著提高检测灵敏度;柱温控制在30℃,该温度可稳定色谱柱性能,减少柱效波动,确保分离效果的重复性;流速设定为1.0 mL·min<sup>-1</sup>,进样量为10 μL,在此条件下,三种活性成分的保留时间适中,分析周期合理,既能保证检测效率,又能确保定量结果的准确性。

为确保所建立方法的科学性、可靠性与适用性,本研究严格按照《中国药典》及中药质量分析方法验证规范,对该HPLC方法进行了全面系统的方法学验证,验证内容涵盖线性关系、精密度、重复性、准确度、稳定性等核心指标。线性关系验证结果显示,连翘酯苷A、连翘苷及芦丁三种成分在各自设定的浓度范围内,峰面积与浓度呈现良好的线性关系,相关系数(*r*)均大于0.999,表明该方法线性关系优良,可用于三种成分的定量分析;精密度验证通过连续6次进样测定,三种成分峰面积的相对标准偏差(RSD)均小于2.0%,表明仪器精密度良好,检测结果稳定;重复性验证通过同一批样品平行制备6份供试品进行测定,三种成分含量的RSD均小于3.0%,说明该方法重复性佳,可有效避免操作过程带来的误差;准确度验证采用加样回收法,回收率在95.0%~105.0%之间,RSD小于2.5%,表明该方法准确度高,能准确测定样品中三种活性成分的真实含量;稳定性验证通过对供试品溶液在室温下放置0、2、4、8、12、24 h进行测定,三种成分峰面积的RSD均小于2.0%,证明供试品溶液稳定性良好,可满足批量样品的检测需求。综上,该方法各项验证指标均符合中药定量分析的相关要求,可作为连翘中三种核心活性成分含量测定的可靠方法。

在完成方法学验证的基础上,采用该优化后的HPLC方法,对采自我国10个主要连翘产地(涵盖华北、西北、华东等核心产区)的连翘样品进行了批量含量测定,所有样

品均经过严格的前处理流程,确保测定数据的准确性与可靠性。测定结果显示,不同产地连翘样品中连翘酯苷A、连翘苷及芦丁三种核心活性成分的含量均存在显著统计学差异( $P<0.05$ ),含量分布呈现明显的地域特征。其中,山西运城产地的连翘样品表现出最优的品质,三种活性成分的总含量最高,且各成分含量比例协调,连翘酯苷A、连翘苷含量均显著高于其他产地,芦丁含量也处于较高水平,这与该产区适宜的生态环境和规范的种植管理模式密切相关,进一步印证了山西运城作为连翘道地产区的质量优势,也为道地连翘的筛选与推广提供了直接的实验数据支撑。

本研究的创新点主要体现在两个方面,有效弥补了现有研究的不足,具有鲜明的技术优势和研究价值。其一,突破了现有多数研究多集中于单一活性成分或两种成分同步测定的局限,聚焦连翘中最具代表性的苯乙醇苷类、木脂素类、黄酮类三大类活性成分,首次实现了连翘酯苷A、连翘苷及芦丁三种核心活性成分的同时分离与精准定量,能够更全面、客观地反映连翘药材的内在品质,改变了传统质量评价仅关注单一成分的片面性,使连翘质量评价更加科学、全面。其二,通过系统优化色谱条件与样品提取工艺,有效解决了现有方法分离效果不佳、分析效率低、检测灵敏度不足等问题,缩短了分析周期,提高了检测的准确性与灵敏度,简化了操作流程,降低了检测成本,为连翘药材的日常质量控制、批量样品筛查提供了更高效、便捷、准确的技术方法,进一步完善了连翘质量评价的技术体系。

#### 4.2 研究意义与应用前景

本研究经过系统优化与全面的方法学验证,成功建立的同时测定连翘中三种核心活性成分的HPLC方法,填补了现有研究中多指标同步检测的技术空白,为连翘药材的质量控制提供了科学、可靠、高效的专属分析手段,其应用价值贯穿于连翘药材从产地筛选到临床应用的全链条。该方法可精准实现连翘药材的真伪鉴别,通过特征活性成分有无及含量范围,有效区分正品连翘与伪品、混淆品,杜绝劣质药材流入市场;可用于连翘药材的全面质量评价,以三种核心活性成分的含量为核心指标,结合含量阈值划分药材品质等级,改变了传统质量评价依赖外观性状的局限,实现了从“形态鉴别”向“内在成分定量”的精准升级;同时,该方法可作为连翘产地筛选的技术工具,通过对比不同产地样品中活性成分含量差异,快速识别优质产区,为道地产区的精准定位提供科学数据。该方法的建立进一步丰富了连翘质量评价的技术手段,助力完善连翘药

材的国家质量标准体系,从源头把控药材质量,切实保障临床用药的安全性、有效性与一致性,为临床合理用药提供坚实的技术支撑。

与此同时,本研究通过对多产地、多批次连翘样品的含量测定与统计学分析,系统阐明了不同产地连翘中三种核心活性成分的含量分布规律,明确了道地产区连翘在活性成分含量、比例协调性上的显著质量优势,清晰揭示了道地性形成的物质基础,为连翘道地产区的保护、认证与推广提供了强有力的数据支撑。这不仅有助于强化道地连翘的品牌优势,提升道地中药材的市场竞争力,更能引导种植户向道地产区集中、规范种植,推动连翘药材种植产业向标准化、规模化、优质化方向发展,助力实现中药资源的可持续开发与利用,对促进连翘药材产业的高质量发展、带动产区经济发展具有重要的现实意义与产业价值。

从实际应用场景来看,本研究建立的HPLC方法具有显著的实用优势:操作流程简便易行,无需复杂的样品前处理步骤与高端精密仪器,降低了操作门槛,便于一线检测人员快速掌握;分析效率高,可在单次实验中完成三种核心活性成分的同步分离与定量,大幅缩短了检测周期,提升了批量样品的检测效率;检测成本相对较低,所用试剂、耗材易获取,无需高额的设备投入与维护成本,具备广泛推广应用的可行性。基于这些优势,该方法可广泛应用于药品检验机构、中药生产企业、科研院所等不同单位的实际工作中:药品检验机构可将其用于连翘药材及含连翘中成药的日常质量监督检验、市场抽检,规范药品市场秩序;中药生产企业可将其应用于原材料筛选、生产过程质量控制及成品质量验收,确保产品质量稳定均一;科研院所可将其作为连翘相关研究的基础分析工具,为连翘活性成分代谢机制、道地性研究、新品种培育等后续研究提供技术支持。此外,该方法的建立也为其他多活性成分中药的同步测定提供了可借鉴的技术思路与实验范式,可为同类中药的质量控制方法研究提供参考,进一步推动中药质量评价技术的创新与发展,具有广阔的应用前景与延伸价值。

#### 4.3 研究的不足与展望

需要客观指出的是,本研究虽然在连翘多活性成分同步测定方法建立、不同产地质量差异分析方面取得了阶段性成果,为连翘质量控制与产业发展提供了重要的科学依据和技术支撑,但受限于研究条件、时间周期及研究范围,仍存在一些不足之处,有待在后续研究中进一步完善和深化。其一,样本量及产区覆盖范围有限,本研究仅选取了我国10个主要连翘产地的样品进行考察,重点覆盖了华北、

西北、华东等核心产区,未能全面涵盖我国西南、东北等连翘分布区域,而这些区域的生态环境与现有考察产区差异显著,其连翘活性成分含量及品质特征可能存在独特规律,后续研究可进一步扩大样本覆盖范围,补充西南、东北等产区的野生及栽培连翘样品,增加样本批次,提升研究结论的普遍性和代表性,更全面、系统地分析我国不同产区连翘的质量差异及分布特征。

其二,研究变量控制较为单一,未系统考察不同采收时间、不同加工方法对连翘中三种核心活性成分含量的影响。连翘活性成分的积累具有明显的物候期依赖性,不同生长阶段(如青果期、黄果期、成熟期)果实中活性成分含量存在显著差异,而合理的采收时间直接决定了药材品质的优劣;同时,不同加工方法(如晒干、烘干、阴干等)的温度、时间等参数,会影响活性成分的稳定性,可能导致成分降解或转化,进而影响药材质量。后续可开展专项研究,设计多因素实验,系统考察不同采收时间、不同加工工艺参数对连翘活性成分含量的影响,明确连翘的最佳采收窗口期和最优加工工艺,为连翘药材的规范化采收、加工提供精准的技术指导,进一步保障药材质量的稳定性。

其三,生态环境因素与连翘活性成分含量的相关性研究不够深入,本研究仅初步分析了产地气候、土壤等宏观生态因素的影响,未对土壤重金属含量、光照强度、降水分布、土壤微生物群落结构等具体生态因子进行系统检测,也未结合多元统计分析、相关性分析、回归分析等方法,量化各生态因子对连翘活性成分合成与积累的影响程度,无法明确影响连翘质量的关键生态驱动因素。后续研究可结合土壤理化检测、气象数据监测等手段,获取各产地详细的生态环境参数,运用多元统计分析方法,深入探讨各生态因子与连翘活性成分含量的相关性,揭示生态环境影响连翘品质的内在机制,为连翘道地产区的精准划分、规范化种植基地的科学选址及优质栽培技术的优化提供更具针对性的技术支撑。

基于本研究的现有成果及存在的不足,未来可从多个方向开展进一步深入研究,不断完善连翘质量评价体系,拓展研究的深度与广度。在检测技术方面,可在本研究建立的HPLC方法基础上,进一步优化色谱条件,同时结合超高效液相色谱(UPLC)、液质联用(LC-MS)等更先进的分析技术,UPLC技术可大幅提升分离效率和检测速度,LC-MS技术可实现对活性成分的精准定性与高灵敏度定量,二者结合可进一步提高检测效率、灵敏度和准确性,实现对连翘中更多微量活性成分的同时检测,丰富质量评

价指标。

在药理与应用研究方面,可开展连翘活性成分的体内代谢研究,通过动物实验、细胞实验等手段,追踪连翘酯苷A、连翘苷、芦丁等核心成分在体内的吸收、分布、代谢、排泄过程,明确其体内作用靶点,深入探讨各活性成分的协同药理作用机制,进一步阐明连翘药用功效的物质基础。同时,可结合临床研究,验证连翘活性成分的临床疗效,为连翘的临床合理应用、剂型改进及新药研发提供更全面、可靠的科学依据,推动连翘药材的多元化开发与利用。此外,未来还可将研究成果与智能化技术结合,开发连翘质量快速检测设备,实现药材质量的现场快速筛查,进一步推动连翘产业的标准化、智能化发展,助力中药现代化进程。

#### 参考文献:

- [1]国家药典委员会.中华人民共和国药典(2020年版一部)[S].北京:中国医药科技出版社,2020:132-133.
- [2]张雪,李建科,赵艳,等.不同产地连翘的质量评价研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2022,50(7):

112-118.

- [3]王艳,李丽,张庆华,等.连翘酯苷A的药理作用研究进展[J].中国中药杂志,2021,46(12):2987-2994.
- [4]刘敏,陈静,王浩,等.连翘苷的提取分离及药理活性研究进展[J].中草药,2020,51(15):4001-4010.
- [5]李娟,张艳,王丽,等.芦丁的药理作用及提取工艺研究进展[J].中国药房,2019,30(18):2589-2596.
- [6]陈丽,王强,李建生,等.连翘中活性成分含量测定方法研究进展[J].中国实验方剂学杂志,2020,26(12):227-234.
- [7]Zhang Y, Li J, Zhao Y, et al. Quality Evaluation of *Forsythia suspensa* from Different Habitats Based on Active Components and Antioxidant Activity [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2022, 298: 115567.
- [8]Liu M, Chen J, Wang H, et al. Isolation, Purification and Pharmacological Activity of Phillyrin from *Forsythia suspensa* [J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2021, 201: 114123.
- [9]王峰涛,梁逸曾,吴立军.中药质量评价方法研究进展[J].中国中药杂志,2022,47(5):1123-1130.