

基于中药质量标志物（Q-Marker）理念的川产道地药材质量控制研究进展

梁悦^{1,2}, 彭丽颖^{1,2}, 施君君^{1,2}, 李春沁^{1,2}, 杨安东^{1,2*}

1. 四川省中医药科学院, 四川 成都 610041

2. 中药新药创制川渝共建重点实验室, 四川 成都 610041

摘要: 中药质量标志物 (quality marker, Q-Marker) 为解决中药传统质量评价专属性差、药效关联度低等关键问题提供了全新理论体系。川产道地药材资源丰富、临床应用广泛, 但其现有质量标准多依赖单一指标成分定量, 难以区分道地药材真伪优劣。系统梳理川产道地药材 Q-Marker 的核心筛选策略, 重点综述川芎、川贝母、附子、川麦冬、丹参 5 味代表性川药的研究进展。归纳当前川药 Q-Marker 研究差异化显著、普遍停留候选标志物筛选阶段、道地特质挖掘不足 3 大整体特征; 进一步剖析领域存在重预测轻验证、全链条溯源缺失、标志物专属性不强、产业化转化滞后 4 大共性瓶颈; 据此构建多维药效验证、药材全程溯源、道地形成机制解析、产业技术落地转化、复方体系延伸研究五维发展对策。旨在完善区域道地药材质量控制体系, 为川药质量标准提升与 Q-Marker 理论的实践应用提供参考。

关键词: 质量标志物; 川产道地药材; 质量控制; 道地性; 全产业链

中图分类号: R282.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)20-8212-11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.20.022

Research progress on quality control of Sichuan genuine medicinal materials based on concept of quality Markers

LIANG Yue^{1,2}, PENG Liying^{1,2}, SHI Junjun^{1,2}, LI Chunqin^{1,2}, YANG Andong^{1,2}

1. Sichuan Academy of Chinese Medicine Sciences, Chengdu 610041, China

2. Sichuan-Chongqing Joint Key Laboratory of Innovation of New Drugs of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610041, China

Abstract: Quality marker (Q-Marker) is a novel quality control concept first proposed by Academician Liu Changxiao in 2016, which provides a brand-new theoretical system for solving core problems in traditional quality evaluation of traditional Chinese medicines, such as poor specificity and low efficacy correlation. Sichuan is abundant in genuine medicinal resources with wide clinical applications. However, the existing quality standards of these herbs mostly rely on quantification of single index components, which makes it difficult to distinguish the authenticity and quality superiority of genuine medicinal materials. This paper systematically sorts out the core screening strategies of Q-Markers for Sichuan genuine medicinal materials, focuses on reviewing the research progress of five representative Sichuan herbs (*Chuanxiong Rhizoma*, *Fritillariae Cirrhosae Bulbus*, *Aconiti Lateralis Radix Praeparata*, *Ophiopogonis Radix*, and *Salviae Miltiorrhizae Radix et Rhizoma*). This review summarizes three overall characteristics of current Q-Marker research on Sichuan medicinal materials: significant differentiation, general stagnation at the candidate marker screening stage, and insufficient exploration of Daodi traits. Furthermore, this field faces four common bottlenecks: an overemphasis on prediction at the expense of verification, a lack of whole-chain traceability, weak specificity of markers, and lagging industrial transformation. Based on these findings, five developmental strategies are proposed: multi-dimensional efficacy verification, whole-process traceability of medicinal materials, elucidation of authentic formation mechanisms, implementation of industrial technology transfer, and extended research on compound formulations. This study aims to improve the regional quality control system for authentic medicinal materials, providing a reference for upgrading the quality standards of Sichuan medicinal materials and advancing the practical application of Q-Marker theory.

Key words: quality marker; Sichuan genuine medicinal materials; quality control; genuine property; whole-industrial-chain quality traceability

收稿日期: 2026-05-03

基金项目: 中药改良创新和智能制造技术示范中心建设 (0686-2511CA083418Z)

作者简介: 梁悦 (1994—), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为中药质量评价。E-mail: 2815943446@qq.com

*通信作者: 杨安东, 男, 博士, 研究员, 研究方向为中药及天然产物新产品开发。

中药材质量的稳定可控是保障中医临床疗效、推动中药产业现代化与国际化的基石。长期以来,我国中药材质量评价多沿用化学药模式,以单一或少数指标成分含量为依据,存在“重成分轻药效、重检测轻专属、重定量轻溯源”的弊端^[1-2],既难以全面反映中药多成分、多靶点、整体性的药效特征,也无法有效区分不同产地、种质及栽培环境下药材的道地性差异^[3-4]。为突破这一行业瓶颈,刘昌孝院士^[5]于 2016 年首次提出中药质量标志物(quality marker, Q-Marker)新概念,该理论遵循特有性、有效性、可测性、传递与溯源性及配伍环境五大核心原则,聚焦药材真实药效物质基础,关联基原、产地、炮制及制剂全过程,实现了中药质量控制从“化学指标”向“临床功效关联”的转型升级^[6-7]。

川产道地药材是我国道地药材的核心品类,种质优良、疗效确切、产业规模庞大,是临床常用中药及中药产业化发展的核心原料,具有极高的科研与产业价值^[8-9]。然而目前川产道地药材的质量研究仍存在明显短板^[10]:部分品种质控指标陈旧,专属 Q-Marker 缺失,道地性形成的物质基础不明,环境与加工对标志物积累的影响机制尚不清晰,严重制约了川药的质量标准化、品牌化与国际化发展^[11]。近年来国内研究者将 Q-Marker 理论引入川产道地药材品质研究,针对川芎、川麦冬、川贝母、附子等主流川药开展了候选标志物筛选、药效验证、专属标志物确证等系列研究,产出大量试验数据^[12-15];但现有研究多分散于单味药材独立报道,尚未有综述系统整合川产道地药材 Q-Marker 研究成果,缺乏对现有研究共性问题、技术瓶颈及未来发展方向的集中总结。

本文系统梳理川产道地药材质量标志物的筛选策略与已确证标志物,重点评述代表性川药的研究进展与特色,归纳当前研究存在的共性问题与技术局限,并对川药专属 Q-Marker 挖掘、产业化质控转化方向进行展望,以期完善区域道地药材质量控制体系,丰富 Q-Marker 理论的实践应用总结。

1 Q-Marker 核心理论与筛选策略

1.1 Q-Marker 定义与“五原则”科学内涵

Q-Marker 是中药材、饮片及中成药中固有的或加工制备过程中形成的,与中药功能属性密切相关,并有确切化学结构、可进行定性定量的特有化学成分,是区分中药真伪优劣、表征道地品质、关联临床疗效的核心物质载体^[16]。该理论从生源途

径、化学物质基础、炮制加工过程、药效研究和中医理论等多个层面,将中药物质基础、有效性和质量控制密切关联,旨在建立覆盖中药材、饮片和中药制剂全产业链的质量控制及溯源体系^[17]。

Q-Marker 的筛选遵循 5 大核心原则:①有效性,标志物必须与药材核心功效、药理活性直接相关,是药效物质的核心组成;②特有性,具备品种特异性,可区分近缘物种、非道地产区药材,规避通用成分质控的局限性;③传递与溯源性,可在药材-饮片-中成药全过程稳定传递,适用于全链条质量管控;④配伍环境,在复方中遵循君药优先、兼顾臣佐使药的代表性遴选原则;⑤可测性,具备成熟、稳定、可推广的定量检测方法,适配药典标准与产业检测。

区别于传统单一指标成分,Q-Marker 强调多成分协同表征,兼顾中药多靶点、多通路的作用特性,同时融合传统中医药理论与现代分析化学、药理学技术,搭建起传统经验鉴别与现代量化质控的桥梁,为解决中药质控指标与疗效脱节、道地优势无法量化、品种鉴别专属性不足等行业痛点提供了科学路径^[18-19]。

1.2 川药 Q-Marker 主流筛选策略

川药依托四川独特盆地立体气候、富硒土壤和复杂地形地貌,形成了区别于其他产区的特有物质代谢积累规律^[8],因此不能直接套用通用药材的 Q-Marker 筛选体系,而需构建适配川药资源禀赋、栽培模式及产地加工特色的专属筛选策略。近 10 年来,川药研究形成了 4 类成熟筛选策略,多技术交叉联用已成为主流。

1.2.1 化学计量学结合指纹图谱 采用 HPLC、UPLC-Q-TOF-MS、¹H-NMR 等技术构建川药全成分指纹图谱,通过 PCA、OPLS-DA、PLS-DA 等多元统计方法结合 VIP 值筛选产地差异代谢物,可快速锁定道地专属候选标志物^[20-22]。该方法广泛用于川芎、川麦冬^[23]、川牛膝产区鉴别,是道地性标志物筛选的首选手段,优势是无需药理实验即可快速区分四川道地产区与外省药材,短板是仅能筛选差异成分,缺乏药效关联验证。

1.2.2 网络药理学联合分子对接 网络药理学与分子对接的联合应用,为 Q-Marker 筛选提供了从“整体网络”到“分子细节”的虚拟预测平台^[24]。该方法突破了传统“单一成分-单一靶点”的局限,通过整合 TCMSP、GeneCards 等数据库,构建“中药-成分-靶

点-通路”多维网络,结合拓扑学分析与分子对接结合能计算,从系统层面预测潜在活性成分^[25-26],目前已广泛应用于附子、川白芷、川黄连等川产道地药材研究,是高通量初筛候选标志物的主流手段^[27-29]。但其本质仍属于计算机模拟层面的“虚拟筛选”,未充分考量药物体内 ADME 过程,且缺乏体外生化实验验证,预测结果假阳性率较高。当前川药研究普遍存在“重网络构建、轻实验验证”的现象,缺乏确凿的体内药效学数据支撑,是限制其作为 Q-Marker 确证依据的主要短板。

1.2.3 谱效关联分析 谱效关联分析作为连接中药“物质基准”与“药效表达”的桥梁,通过数学建模量化“化学成分-药效活性”的相关性^[30-32],是目前最符合 Q-Marker “有效性”原则的筛选策略。该方法通过建立药材全成分指纹图谱,同步开展抗炎、抗氧化、活血化瘀等体外药效实验^[33-34],利用灰色关联度分析、偏最小二乘回归等多元统计方法,计算各色谱峰与药效指标的相关系数,直接锁定介导核心功效的“谱效同步”标志性成分。尽管该技术在川芎、川白芷等品种中已成功明确了部分活性成分的功效贡献,但其局限性依然显著:一是体外药效模型难以完全模拟人体复杂的体内代谢环境;二是实验成本高、周期长且对样品均一性要

求极高;三是多数研究仅停留在“相关性”层面,缺乏对“因果性”的深入验证,导致川药中仅有少数大宗品种开展了系统的谱效研究。

1.2.4 体内过程溯源 传递与溯源性是 Q-Marker 的核心特征之一,即标志物必须能从原料药材传递至饮片、制剂,并最终进入血液循环或到达靶组织发挥药效,基于体内过程溯源的分析策略正是验证这一特征的关键^[35]。该策略超越了单纯的体外化学成分分析,侧重于研究药材在生物体内的动态转运过程,通过采集口服给药后的血清、尿液或靶器官组织样本,利用高灵敏度质谱技术识别并追踪原型入血成分及活性代谢产物,确保只有能够“入血、达靶、起效”的成分被确立为 Q-Marker^[36-37]。

目前川药领域的体内过程研究相对滞后,除川芎^[38-39](川芎嗪、阿魏酸的药动学)和附子^[40](乌头碱类成分的代谢转化)有少量报道外,绝大多数川产道地药材缺乏系统的入血成分及组织分布数据。受限于体内微量成分检测灵敏度低、基质干扰大及代谢产物结构鉴定难等技术瓶颈,许多仅基于体外含量测定的质控指标无法真实反映药物的体内行为,加强主要活性成分的体内过程与代谢机制研究已成为完善川药 Q-Marker 体系的必经之路。

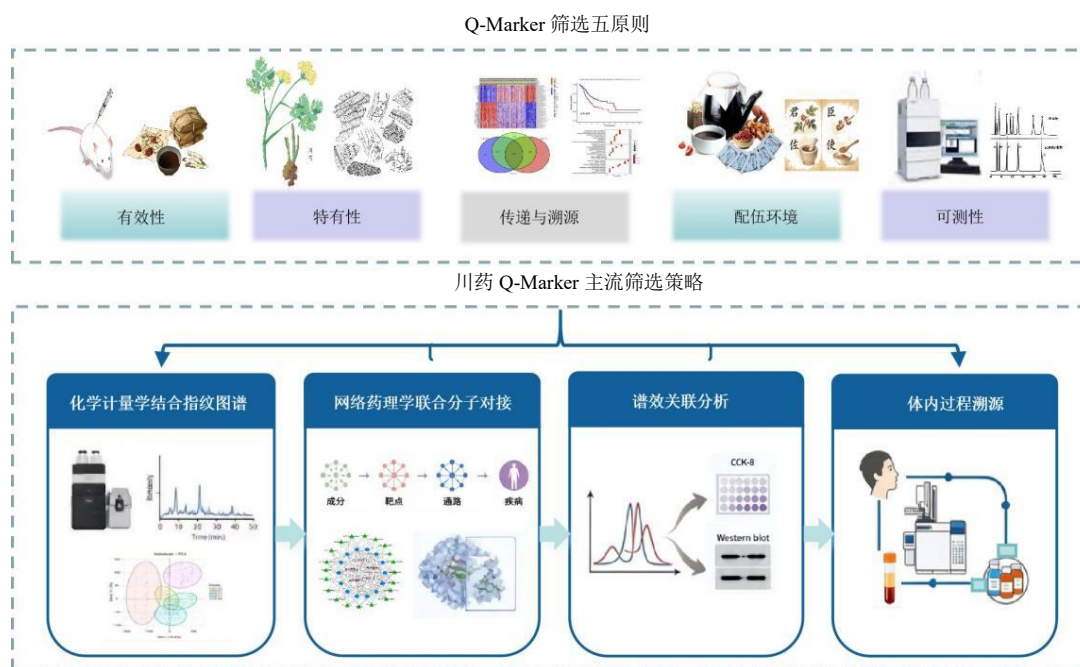


图 1 川药 Q-Marker 主流筛选策略

Fig. 1 Mainstream screening strategies for Chuan-yao Q-Markers

2 典型川产道地药材中的 Q-Marker

川产道地药材资源丰富、品种逾百种,是我国道地中药材体系的核心组成部分。当前其 Q-Marker 研究正逐步从单一化学成分的定性定量分析,逐步向化学表征、道地溯源、药效关联、工艺调控、体内验证多维度系统化质量评价体系深化发展,研究覆盖根茎类、鳞茎类、毒性类、补益类等多品类核心药材。本研究综合川产药材资源禀赋、产业规模、药典标准收录情况及近十年科研积淀,兼顾药材药性、药用部位、功效类别、产业痛点的差异性,筛选川芎、川贝母、附子、川麦冬、丹参 5 味代表性川产道地药材展开综述。所选品种均为四川省重点培育的大宗道地药材,种植规模、产业产值稳居川药首位,全部载入《中国药典》标准体系;同时涵盖活血化瘀、润肺化痰、回阳救逆、养阴生津、活血祛瘀等不同功效,包含普通无毒药材、剧毒炮制类药材、高原珍稀药材、大宗栽培药材等不同类型,药用部位囊括根茎、鳞茎、块根,能够较全面、系统地反映现阶段川产道地药材 Q-Marker 研究的整体现状、特色优势与共性短板,具备极强的行业代表性与研究参考价值。

2.1 川芎

川芎是极具代表性的川产道地活血化瘀药材,也是川药产业化与国际化重点品种。现行《中国药典》仅以阿魏酸和藁本内酯 2 个成分开展质控,难以客观反映川芎多成分、多靶点的整体药效特征, Q-Marker 理论为完善其多维度质量评价体系提供了全新思路,相关研究重点围绕道地性物质基础展开。在候选标志物筛选方面,有研究者^[41-42]通过化学表征与预测分析,提出苯酞类(Z-藁本内酯、洋川芎内酯 A)与酚酸类(阿魏酸)为川芎核心候选 Q-Marker,为多指标联合质控体系搭建奠定了理论基础。在道地性评价创新方面,武梦园等^[43]突破单一成分绝对含量的评判思路,证实川芎道地属性并非由某一成分含量高低决定,而是依靠特征成分间的相对比例实现产地区分,其中 Z-藁本内酯/洋川芎内酯 A 比值可作为判别川产道地川芎与外地川芎的专属特征指标,将道地药材化学内涵由单一含量差异拓展至组分分配比平衡,从“组分分配伍”角度阐释了川芎道地特质。

综上,川芎是川产道地药材中 Q-Marker 研究起步最早、体系相对完善的品种,突破了传统“唯含量论”的质控思维,建立了以特征成分分配比为核

心的道地评价新模式,为川药差异化质量评价提供了良好范式。但目前仍存在明显研究短板:现有配比型候选标志物缺少充足的体内药效佐证,成分稳定性易受加工贮藏条件干扰;且特征组分比例的生态调控机制尚不明确。同时,基于组分配比的质控方法未形成统一判定阈值,缺乏大样本方法学验证,暂无法规模化应用于产业质控与地方标准升级。后续研究需整合多学科技术,阐明川芎道地品质形成机制,推动特色质控指标的标准化落地。

2.2 川贝母

川贝母为四川高原特色珍稀道地药材,主产于松潘、阿坝等高海拔区域,核心功效为润肺化痰、散结消痈。本品药典收载 6 种法定基原,市场常与平贝母等伪品混淆,品质参差不齐,因此其 Q-Marker 研究的核心目标是建立高专属性的真伪与基原鉴别方法。崔治家等^[44]基于 Q-Marker 特有性准则,筛选贝母素甲、贝母素乙、西贝素等甾体生物碱作为核心候选标志物,该类成分既是川贝镇咳祛痰的药效物质,同时具备产地、品种鉴别潜力。Liu 等^[45]采用 LC-MS/MS 结合化学计量学构建差异指纹模型,证实贝母素甲、西贝素在川贝母与平贝母中含量差异显著,可作为 2 类药材区分的关键指标,为市场伪劣药材筛查提供了技术支撑。赖楠楠等^[46]利用 HS-GC-IMS 筛选出醋酸乙酯、2-丙酮等 17 种挥发性差异组分,进一步丰富了川贝快速鉴别技术路径。

综上,川贝母 Q-Marker 研究紧密贴合产业真伪鉴别需求,初步确立了以甾体生物碱、挥发性组分为核心的差异化评价指标,可为市场药材基原判别提供技术支撑。现阶段研究仍存在明显局限:现有鉴别类标志物与润肺化痰核心药效关联性较弱,存在“重鉴别、轻药效”的问题, Q-Marker 有效性论证不充分;且低含量生物碱检测成本高、通量低,多局限于实验室小样本研究,缺乏统一的产地判别阈值,难以适配产区大批量快速质控筛查需求。整体研究体系普适性与产业化落地性仍有待提升。

2.3 附子

附子是四川特色道地毒性药材,药效与毒性并存的特征决定了其质量评价的核心难点集中于炮制减毒存效的物质调控规律,这也是其 Q-Marker 研究区别于普通药材的关键所在。因此川附子 Q-Marker 研究并非常规的成分鉴别筛选,更多聚焦于炮制过程中双酯型剧毒生物碱向单酯型有效生物

碱的结构转化与动态演变特征。在药效标志物挖掘方面, 屈凌芸等^[47]结合指纹图谱与网络药理学技术, 初步预测苯甲酰新乌头原碱、苯甲酰乌头原碱等单酯型生物碱为附子核心药效候选 Q-Marker; 吴环宇等^[48]紧扣附子“回阳救逆”的传统核心功效, 依托系统中药思路筛选得到去甲乌药碱、次乌头原碱等功效相关标志物群, 使 Q-Marker 筛选更贴合临床功效导向, 进一步完善了附子质量物质基础研究体系。在炮制工艺影响方面, 蒲婷婷等^[49]研究证实, 黑顺片、白附片等不同主流炮制品的化学轮廓差异显著, 其中黑顺片单酯型生物碱积累水平更高, 直接导致 2 类炮制品药效强弱与毒性风险存在明显区别。

综上, 川附子 Q-Marker 研究聚焦毒性药材“减毒存效”的核心难点, 初步明确了不同炮制阶段毒效成分的转化规律, 为附子科学化质控提供了重要依据。目前研究体系仍不完善: 现有药效与毒性候选标志物相互独立, 未形成毒效协同评价的标志物组合体系, 且未区分不同炮制品的专属质控指标。同时, 炮制工艺参数与特征标志物的量效关系不明确, 缺乏产业化适配的质控阈值与统一评价标准, 难以指导不同规格炮制品的常态化质量管控。后续需建立工艺-成分-毒效一体化的综合评价体系。

2.4 川麦冬

川麦冬为四川道地大宗药材, 品质优良、产区特色显著, 其质量评价体系正逐步摆脱单一成分定量模式, 向着多成分、多维度、功效与道地性兼顾的 Q-Marker 综合评价体系转变。目前川麦冬 Q-Marker 研究主要围绕甾体皂苷、高异黄酮、多糖及氨基酸等特征组分展开, 研究视角由单纯化学表征逐步拓展至道地性阐释、生物效应评价及种质生态溯源等方向。在候选标志物筛选方面, 薛伟航等^[50]研究指出, 麦冬皂苷 D 含量稳定、活性明确、可测性良好, 是川麦冬最具代表性的核心 Q-Marker; 麦冬皂苷 B、鲁斯可皂苷元、短葶山麦冬皂苷 C 及甲基麦冬黄烷酮 A/B 等成分, 因活性确切、产地差异显著, 共同构成川麦冬潜在特征标志物群。在道地性机制研究层面, Li 等^[51]通过 HPLC-ELSD 对比发现, 川麦冬麦冬皂苷 D 富集优势显著, 而浙麦冬中麦冬皂苷 B、麦冬皂苷 D 含量更高, 为 2 大主产区麦冬的产地鉴别提供了化学依据; Zha 等^[52]借助多组学技术进一步证实, 川麦冬氨基酸类代谢物质积累更丰富, 浙麦冬酚酸类成分占比更高, 表明川麦

冬道地优势并非依赖单一特征成分, 而是由特异性成分组合与整体代谢谱型共同决定; 赵露颖^[53]结合遗传与生态分析, 证实种质遗传差异与温度、年温差等生态因子共同调控川麦冬关键特征成分的积累, 初步从基因-环境-物质角度阐释了川麦冬道地品质形成的科学内涵。

综上, 川麦冬已基本明确皂苷、高异黄酮为核心特征 Q-Marker, 初步从化学、种质、生态层面阐释了其道地品质的物质基础。但当前研究仍存在短板: 多数候选标志物仅证实产地含量差异, 与养阴生津功效的直接药效验证不足, 标志物有效性证据链不完整; 且多特征成分尚未整合形成标准化的质控组合, 缺乏多年份、多产区大样本数据支撑, 未建立产业化适用的质量阈值体系, 大量基础研究成果难以转化为落地的药材质量标准。

2.5 丹参

丹参作为川产特色大宗药用植物, 其质量标志物研究已逐步突破传统单一成分定量局限, 朝着化学特征-生物活性-体内过程多维关联的综合评价体系发展。现有研究多围绕产地生态、采收加工、谱效关系及入血物质基础展开, 初步明确了丹参质量差异的主要来源与核心候选标志物。在产地与加工影响研究中, Liang 等^[54]研究表明加工方式对丹参化学成分谱的调控作用显著高于地理来源, 筛选得到隐丹参酮等加工敏感型特征成分; Zhang 等^[14]则聚焦采收期差异, 证实秋季采收样品更利于丹酚酸 B 等水溶性活性成分的积累, 为川丹参规范化采收提供了数据支撑。在谱效关联研究方面, Zhou 等^[55]、Zhang 等^[34]及杨宁娟等^[56]依托多种回归模型, 阐释了特征成分与抗氧化、抗凝血药效的关联性, 为川丹参药效物质筛选提供了初步依据。在体内有效性溯源方面, 罗春梅等^[57]、冯科冉等^[58]通过筛选体内移行活性成分, 明确丹参酮 II_A、丹酚酸 B 等为川丹参核心入血标志物, 从体内有效性层面支撑了 Q-Marker 筛选的科学性。

综上, 川丹参 Q-Marker 研究覆盖产地加工、谱效关系、体内入血成分等多个维度, 形成了较为全面的物质基础研究体系。但仍存在关键短板: 现有核心标志物均为通用质控指标, 缺乏能够凸显川产丹参道地特色的专属差异化标志物, 无法体现产区品质优势; 且水溶性与脂溶性成分协同作用研究不足, 多数预测结果缺乏充分实验验证。同时尚未建立适配川丹参种植、加工特色的专属质控方案, 现有研究难以支撑川丹参地方特色质量标准的构建。

2.6 川产道地药材 Q-Marker 研究整体特征

横向对比 5 味代表性川药的研究进展，可总结出 3 大整体特征。

2.6.1 研究进展差异化显著 川芎、丹参研究起步早、技术路径全，已初步形成“化学-药效-体内”的研究框架；附子、麦冬研究特色鲜明，分别聚焦炮制动态转化与道地成因解析；川贝母研究则偏向产业实用导向，以真伪鉴别为核心目标。

2.6.2 研究深度普遍停留在“候选筛选”阶段 除

少数品种开展了初步体内验证外，绝大多数川药的 Q-Marker 仍处于化学筛选或虚拟预测层面，真正满足“五原则”、证据链完整的标志物极少，典型川产道地药材 Q-Marker 筛选结果见表 1。

2.6.3 “道地专属”核心特质挖掘不足 现有研究多沿用通用药材的筛选思路，对四川独特生态、特色加工、种质资源赋予川药的专属物质特征挖掘不深，导致多数质控指标与其他产区同质化，难以支撑川药道地品牌的差异化价值。

表 1 典型川产道地药材 Q-Marker 筛选结果

Table 1 Screening results of Q-Markers for typical Sichuan authentic medicinal materials

药材名称	潜在质量标志物	标志物核心作用	现有验证程度	参考文献
川芎	藁本内酯、洋川芎内酯A、Z-藁本内酯、阿魏酸	活血化瘀药效、道地鉴别	④	38-39, 41-43
川贝母	贝母素甲、贝母素乙、西贝素	润肺化痰、区分贝母伪品	②	44-46
附子	苯甲酰新乌头原碱、苯甲酰乌头原碱、去甲乌药碱	回阳救逆、效毒双控	④	40, 47-49
川麦冬	麦冬皂苷D、麦冬皂苷B、鲁斯可皂苷元	养阴生津、道地区分	③	50-53
丹参	丹参酮II _A 、隐丹参酮、丹酚酸B、丹参素、迷迭香酸	活血抗氧化、采收加工评价	③	54-58

①-仅虚拟筛选；②-化学差异分析；③-体外活性验证；④-体内药效/药动力学验证。该分级仅针对本表纳入的参考文献结果，并不代表该药材全部已发表研究的最高验证水平。

①-virtual screening only; ②-chemical differential analysis; ③-in vitro bioactivity validation; ④-in vivo pharmacodynamic/pharmacokinetic validation.

This classification applies exclusively to the results of the references included in this table and does not represent the highest validation level reported in all published studies on this medicinal material.

3 Q-Marker 研究面临的挑战

近年来，依托 Q-Marker 理论开展的川产道地药材质量评价研究取得了长足进展，逐步完善了川产道地药材物质基础阐释与质量控制体系构建思路。但系统梳理近十年相关研究文献后发现，当前川药 Q-Marker 研究整体仍处于探索完善阶段，各类基础性、应用性短板较为突出，诸多研究成果仍难以对接药典标准修订及产业化质控需求。

3.1 重预测、轻验证

本文基于 CNKI 数据库，系统梳理 2016—2026 年川产道地药材 Q-Marker 相关文献。分析结果表明，该领域存在显著的方法学失衡现象：现有研究较多依托网络药理学、分子对接等虚拟预测手段筛选候选 Q-Marker，但后续系统性实验验证环节普遍缺失^[59]。网络药理学本质为逆向预测工具，靶点预测存在固有假阳性风险，同时难以反映中药成分在体内的代谢转化过程。因此，仅通过虚拟筛选获得的候选化合物，若未围绕药效开展完整的实验验证链条，则难以契合 Q-Marker 需直接关联药效的核心遴选要求^[60-61]。

整体而言，当前多数研究尚未构建完整的药效验证体系，主要存在 3 方面短板：一是体外细胞水

平活性评价不足，难以确证虚拟筛选所得成分的实际药理活性；二是缺少整体动物模型下的量效关系考察，无法建立标志物含量与药材药效间的对应关联；三是入血原型成分识别工作较为薄弱，难以明确候选标志物是以原型形式还是代谢产物发挥体内药效。由此可见，现阶段大量经虚拟筛选得到的川产道地药材候选 Q-Marker 缺少多层次实验证据支撑，难以客观阐释川产道地药材的药效物质基础，亦难以为药材质量标准提升、规范化质量评价提供可靠的试验依据。

3.2 全产业链溯源研究缺失

目前川药 Q-Marker 相关研究多聚焦于采收后原药材的成分表征与标志物筛选，研究视角相对局限，尚未形成覆盖药材全生产链条的系统性研究思路，难以满足 Q-Marker 理论强调的传递性与可溯源性核心要求。川产道地药材的道地品质是种质、生态、加工、炮制等多环节共同作用的结果，各产业链环节均会引发成分的转化、积累与动态变化。

现有研究普遍忽略产地初加工、饮片炮制、制剂生产等关键环节的物质传递规律。川药特色产地加工工艺，如川麦冬发汗、川芎低温烘干、白芷硫制/无硫加工、附子特色炮制工艺等，均会显著调控

药材化学成分组成^[62-64]；同时酒制、醋制、炒制等炮制手段，以及中成药生产过程中的提取、浓缩、干燥工序，均可能导致特征成分降解、转化或富集^[65]。当前研究多止步于药材终端检测，尚未系统阐明 Q-Marker 在“田间种植-产地加工-饮片炮制-成药制备”全链条的动态演变规律，无法构建完整的质量溯源体系，一定程度上限制了川药全过程质量管控体系的建立。

3.3 标志物专属性不足

现阶段川产道地药材的质控标志物选择仍存在同质化、通用化问题，现有主流质控指标多为通用性药效成分，缺乏能够精准体现川药地域道地优势的专属特征标志物。例如川芎阿魏酸、黄连小檗碱等经典质控成分，在全国多产地同种药材中广泛存在，部分外地产区药材中该类成分含量甚至优于川产药材。

此类通用指标无法从物质层面阐释川药道地性的科学内涵，难以实现川产道地药材与普通产地药材的精准区分，无法支撑川药道地品牌的差异化质控需求。目前仅川芎、川贝母、川麦冬等少数品种开展了产地差异代谢物挖掘，初步筛选出部分具有产地特异性的差异成分及成分组合特征^[66-67]。但整体而言，绝大多数川产道地药材仍缺少专属、稳定、可量化的道地性 Q-Marker，难以构建适配川药特色的专属质量评价体系，制约了川药道地品质的精准辨识与品牌溢价发展。

3.4 产业化转化滞后

梳理现有研究可以发现，大量川药 Q-Marker 研究成果集中于实验室基础研究层面，多停留在色谱条件优化、成分定性定量分析等基础方法建立阶段^[68]，与药企生产线、市场监管的实际需求脱节，存在明显的基础研究与产业应用衔接断层。一方面，现有检测技术产业化适配性较差，主流研究多采用 HPLC、LC-MS 等精准但耗时久、成本高、操作繁琐的检测手段，适配工业化批量检测的近红外光谱、拉曼光谱等快速无损检测技术研究偏少，缺少可直接用于生产线实时质控的 Q-Marker 快速检测模型。另一方面，一测多评（quantitative analysis of multicomponents by single marker, QAMS）^[69]等高效、低成本的多组分质控技术推广不足，该技术可有效解决对照品稀缺、检测成本高昂的产业痛点，但目前仅在川芎等极少数川药品种中小规模应用，尚未覆盖川牛膝、川麦冬、附子等大宗川药品种。

产业端仍以单一成分质控模式为主，与 Q-Marker 多成分、关联功效、整体质控的核心理念差距显著。

4 未来研究方向

伴随 Q-Marker 理论十年发展成熟，川产道地药材质量研究已逐步走出单一物质筛选的初级探索阶段，迈入理论完善与标准落地并行的关键转型期。针对前文所述的挑战，结合川药产业现代化发展需求，从多维度梳理后续重点突破方向，旨在构建适配川药道地特色、兼顾科学性与实用性的现代化质量评价体系。

4.1 构建多维关联体系，完善筛选验证流程

针对现有研究重虚拟预测、轻药效实证的普遍问题，后续研究需摒弃单一化学表征的研究模式，建立标准化、闭环式的 Q-Marker 筛选验证体系。通过整合化学分析、生物活性评价与体内过程研究，搭建“化学差异初筛-虚拟靶点预测-体外活性验证-整体动物量效确证-入血成分溯源”的五级验证链条，系统剔除假阳性候选成分，从根本上保障 Q-Marker 的有效性与真实性^[70-71]。优先对川芎、附子、川白芷等应用广泛、产业规模大的川产道地药材开展系统性验证研究，筛选出证据链完整、特异性稳定的核心标志物组合，为川药质量标准提升及药典标准修订提供扎实的实验数据支撑。

4.2 贯通全产业链条，建立全程溯源质控体系

川药道地品质的形成贯穿种植、加工、炮制、制剂全生产周期，现有末端单一检测模式难以全面反映药材真实质量。后续研究需突破原药材单一研究视角，聚焦川药特色产地加工与炮制工艺，系统追踪 Q-Marker 在鲜品采收、产地初加工、饮片炮制、制剂生产各环节的成分积累、转化与降解规律，明确特色工艺参数对川药特征物质的调控机制。在此基础上搭建覆盖全产业链的质量溯源框架，将质控节点前移至田间种植与产地加工阶段，实现川药从源头生产到终端制剂的全过程质量可控，夯实川药道地品牌的技术基础。

4.3 结合多组学技术，解析道地品质形成机制

道地性是川产道地药材区别于普通产区药材的核心优势，也是 Q-Marker 研究的核心难点。后续研究需跳出常规成分含量对比的浅层研究模式，依托代谢组学、转录组学多组学联合技术，结合四川地区独特的土壤、气候、光照等生态环境因子，系统阐释“生态环境-基因表达-物质积累”的调控关系。通过多产地差异代谢物比对，精准筛选四川产

区特异性富集的次生代谢产物,挖掘专属道地 Q-Marker, 从分子与物质层面揭示川药道地性的科学内涵,为川药优质优价、道地辨识提供核心理论依据。

4.4 研发快速检测技术,推进科研成果产业落地

为破解川产道地药材 Q-Marker 基础研究与产业应用脱节的痛点,后续需立足药品生产与市场监管实际需求,推动 Q-Marker 研究由实验室理论探索向产业化实用质控技术转化。具体可从 3 方面推进:其一,规模化推广 QAMS 技术应用,解决中药对照品稀缺、多组分检测成本高、效率低的产业瓶颈,实现川药特征 Q-Marker 的同步精准定量^[72]。目前 QAMS 法已成功用于川芎多种苯酞类、酚酸类成分的同步测定,检测结果与传统外标法无显著差异^[73];同时该技术已被《中国药典》收载并用于丹参酮类多组分质控^[74],方法成熟可靠,具备大规模推广的产业基础。其二,构建快速无损智能质控体系,将近红外光谱、拉曼光谱等高通量快检技术与 Q-Marker 特征指标深度耦合,建立适配药材原料、提取工艺及制剂生产全流程的在线检测模型。相较于传统液相定点抽检模式,光谱快检技术可实现无损、实时、批量筛查,已有研究在川芎、丹参生产线中实现核心质量指标动态监测,模型拟合度(R^2)可达 0.95 以上^[75],可为川药工业化智能质控提供技术支撑^[76-77]。其三,完善化学定量结合生物效价的双重质量评价模式,兼顾成分物质基础与整体药效特征,推动新型 Q-Marker 质控标准纳入地方及国家标准体系,切实提升川产道地药材质量可控性与行业标准话语权。

4.5 延伸复方研究场景,完善投料真伪判别体系

川产道地药材多以复方配伍形式服务于临床,而当前 Q-Marker 研究多局限于单味药材,难以解决中成药投料不规范、真伪难辨的监管难题。后续可将 Q-Marker 质控体系延伸至复方制剂研究领域,探究复杂配伍体系中川药特征标志物的稳定性、转化规律及药味间相互干扰机制。筛选抗干扰能力强、特异性显著的复方示踪标志物,建立适配复方制剂的川药投料真实性判别方法与检测标准,为规范中成药生产投料、杜绝伪劣投料、保障临床用药安全有效提供重要技术支撑。

5 结语与展望

中药 Q-Marker 理论历经 10 年发展,构建了中药质量精准评价的新型技术范式,有效弥补了传统

质控模式指标单一、功效脱节、专属性不足的缺陷,为道地药材质量标准化建设提供了重要理论支撑。川产道地药材凭借独特的地域生态、优良种质资源与成熟的产业基础,道地特征鲜明、临床应用广泛,是开展道地药材专属化、精准化质量标志物研究的优质载体。

本文系统梳理了近十年川产道地药材 Q-Marker 的相关研究进展,归纳了 4 类主流筛选策略,重点评述了 5 味代表性川药的研究特色与局限,剖析了当前研究在验证体系、全链溯源、道地专属性、产业转化 4 方面的共性瓶颈。总体而言,目前川药 Q-Marker 研究虽已初步建立特征物质研究体系,但整体仍处于发展完善阶段,尚未完全建立适配川药道地特色、兼具理论科学性与产业适用性的现代化质控体系,难以完全支撑川药产业高质量发展与规范化监管需求。

立足于现有研究瓶颈与中医药现代化发展大局,川药质量控制体系的完善与升级是未来川药研究领域的核心发展趋势。从学科发展层面而言,未来需以 Q-Marker 五大核心准则为根本遵循,立足川药独特道地属性,突破传统单一成分质控思维,推动川药质量评价体系向功效关联、特征专属、全程溯源、产业适配的现代化模式深度转型。从产业发展层面来看,通过系统化完善川药质量标志物理论体系,打通基础研究与产业应用壁垒,有助于充分释放川药资源优势与道地品牌优势,提升川产道地药材的市场竞争力与行业影响力。

持续深化川产道地药材 Q-Marker 系统性研究,不仅能够进一步丰富和完善中药质量标志物理论体系,为川药质量标准的规范化修订提供科学参考,也将为川药产业提质增效、中医药临床安全用药及中医药质控现代化体系建设提供重要的理论支撑与文献依据,助力中医药事业标准化、高质量发展。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 孟宪生,罗曦,贾梦楠,等. 中药质量评价研究现状及“质-量”双标评价方法探讨 [J]. 中草药, 2023, 54(22): 7281-7286.
- [2] Gao H M, Wang Z M, Li Y J, *et al.* Overview of the quality standard research of traditional Chinese medicine [J]. *Front Med*, 2011, 5(2): 195-202.
- [3] 陈振华,刘苏珍,周斌,等. 浅谈中药质量标准现状与

- 几种质量评价方法 [J]. 时珍国医国药, 2016, 27(3): 694-696.
- [4] Han Y H, Huo F F, Yang Y Y, *et al.* Some advances and prospects in fingerprintings of traditional Chinese medicines [J]. *Chin J Chromatogr*, 2008, 26(2): 142-152.
- [5] 刘昌孝, 陈士林, 肖小河, 等. 中药质量标志物(Q-Marker): 中药产品质量控制的新概念 [J]. 中草药, 2016, 47(9): 1443-1457.
- [6] Zhang T, Bai G, Liu C. Innovation theory, technical methods and industrial application of quality marker of traditional Chinese medicine [J]. *Chin Herb Med*, 2025, 17(1): 84-86.
- [7] 张铁军, 白钢, 陈常青, 等. 基于“五原则”的复方中药质量标志物(Q-marker)研究路径 [J]. 中草药, 2018, 49(1): 1-13.
- [8] 方清茂, 彭文甫, 吴萍, 等. 川产道地药材生产区划研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(4): 720-731.
- [9] 赵军宁, 田兴军, 彭成, 等. 川产道地药材资源保障与高质量发展策略 [J]. 世界中医药, 2020, 15(2): 181-190.
- [10] Tran K N, Mac G L, Munni Y A, *et al.* Q-Marker identification strategies in traditional Chinese medicines: A systematic review of research from 2020 to 2024 [J]. *Front Med*, 2026, 12: 1709969.
- [11] 刘昌孝. 中药质量标志物 (Q-Marker) 研究发展的 5 年回顾 [J]. 中草药, 2021, 52(9): 2511-2518.
- [12] Zhang D Y, Peng R Q, Wang X, *et al.* A network pharmacology-based study on the quality control markers of antithrombotic herbs: Using *Salvia miltiorrhiza-Ligusticum chuanxiong* as an example [J]. *J Ethnopharmacol*, 2022, 292: 115197.
- [13] Yang J H, Liu X T, Fan L L, *et al.* Identification of anticancer and cardioprotective quality markers in *Chuanxiong Rhizoma* using a bioassay driven effect-constituent index approach [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2026, 277: 117507.
- [14] Zhang Y B, Da J, Zhang J X, *et al.* A feasible, economical, and accurate analytical method for simultaneous determination of six alkaloid markers in *Aconiti Lateralis Radix Praeparata* from different manufacturing sources and processing ways [J]. *Chin J Nat Med*, 2017, 15(4): 301-309.
- [15] Zhang C L, Tian X, Zhang H Y, *et al.* Molecular insights into the anti-asthma potential of Zhimu-Chuanbeimu drug pair based on serum pharmacochimistry, network pharmacology and immune infiltration analysis [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2025, 266: 117077.
- [16] 中华中医药学会《中药质量标志物研究技术指南》编写组. 中药质量标志物研究技术指南 [J]. 中草药, 2025, 56(7): 2249-2252.
- [17] 薛蓉, 张倩, 陈鹏, 等. 中药饮片质量标志物(Q-Marker)研究策略 [J]. 中草药, 2022, 53(5): 1285-1293.
- [18] 阳长明, 杨平, 刘乐环, 等. 中药质量标志物(Q-Marker)研究进展及对中药质量研究的思考 [J]. 中草药, 2021, 52(9): 2519-2526.
- [19] 侯媛媛, 张曼, 姜民, 等. 系统生物学与化学生物学驱动中药关键质量属性研究 [J]. 中国药品标准, 2026, 27(1): 15-20.
- [20] 邹纯才, 鄢海燕. 我国中药色谱指纹图谱相似度评价方法 30 年(1988—2017 年)研究进展与展望 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(10): 1969-1977.
- [21] 刘东方, 赵丽娜, 李银峰, 等. 中药指纹图谱技术的研究进展及应用 [J]. 中草药, 2016, 47(22): 4085-4094.
- [22] 孙立丽, 王萌, 任晓亮. 化学模式识别方法在中药质量控制研究中的应用进展 [J]. 中草药, 2017, 48(20): 4339-4345.
- [23] Zha X Y, Li G W, Zhang L, *et al.* Identification of active compounds in *Ophiopogonis Radix* from different geographical origins by UPLC-Q/TOF-MS combined with GC-MS approaches [J]. *Open Life Sci*, 2022, 17(1): 865-880.
- [24] 李梢, 张博. 中药网络药理学: 理论、方法与应用 [J]. 中国天然药物, 2013, 11(2): 110-120.
- [25] 牛明, 张斯琴, 张博, 等. 《网络药理学评价方法指南》解读 [J]. 中草药, 2021, 52(14): 4119-4129.
- [26] 黄秀芳, 庾国楨, 童晶晶. 基于网络药理学分析陈皮的药理作用机制 [J]. 中成药, 2019, 41(12): 3038-3045.
- [27] 解静, 高杉, 李琳, 等. 网络药理学在中药领域中的研究进展与应用策略 [J]. 中草药, 2019, 50(10): 2257-2265.
- [28] Zhao L, Zhang H, Li N, *et al.* Network pharmacology, a promising approach to reveal the pharmacology mechanism of Chinese medicine formula [J]. *J Ethnopharmacol*, 2023, 309: 116306.
- [29] Jiashuo W U, Zhang F Q, Zhuangzhuang L I, *et al.* Integration strategy of network pharmacology in traditional Chinese medicine: A narrative review [J]. *J Tradit Chin Med*, 2022, 42(3): 479-486.
- [30] 秦昆明, 郑礼娟, 沈保家, 等. 谱效关系在中药研究中的应用及相关思考 [J]. 中国中药杂志, 2013, 38(1): 26-31.
- [31] 张小艺, 刘久石, 高石曼, 等. 中药谱效关系的研究方法及应用进展 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(20): 4405-4411.
- [32] 张强, 杨宇婷. 中药谱效关系研究现状概述 [J]. 时珍国医国药, 2022, 33(3): 680-683.

- [33] Zhu C S, Lin Z J, Xiao M L, *et al.* The spectrum-effect relationship: A rational approach to screening effective compounds, reflecting the internal quality of Chinese herbal medicine [J]. *Chin J Nat Med*, 2016, 14(3): 177-184.
- [34] Zhang H T, Wei Z Y, Tong Y C, *et al.* Spectrum-effect relationship study to reveal the pharmacodynamic substances in *Flos Puerariae-Semen Hoveniae* medicine pair for the treatment of alcohol-induced liver damage [J]. *J Ethnopharmacol*, 2023, 314: 116628.
- [35] 闫广利, 孙晖, 张爱华, 等. 中药血清药物化学研究概况及其理论和方法拓展 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(17): 3406-3412.
- [36] 张雯霞, 冯敏, 苗雨露, 等. 中药血清药物化学的应用现状概述 [J]. 药物评价研究, 2019, 42(7): 1448-1453.
- [37] Zhao C, Zhang J Y, Zhao Z H, *et al.* Integrating metabolomics, network pharmacology and pharmacological verification analysis provides new insights into the anti-inflammatory and anti-tussive properties of *Fritillaria cirrhosa* bulbs [J]. *J Ethnopharmacol*, 2025, 343: 119460.
- [38] Li D, Rui Y X, Guo S D, *et al.* Ferulic acid: A review of its pharmacology, pharmacokinetics and derivatives [J]. *Life Sci*, 2021, 284: 119921.
- [39] Liu X Y, Liu H, Zeng Z W, *et al.* Pharmacokinetics of ligustrazine ethosome patch in rats and anti-myocardial ischemia and anti-ischemic reperfusion injury effect [J]. *Int J Nanomedicine*, 2011, 6: 1391-1398.
- [40] Gao Y B, Fan H, Nie A Z, *et al.* Aconitine: A review of its pharmacokinetics, pharmacology, toxicology and detoxification [J]. *J Ethnopharmacol*, 2022, 293: 115270.
- [41] 任伟光, 郭丽丽, 张翠英. 川芎的研究进展及质量标志物(Q-Marker)的预测分析 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2021, 23(9): 3307-3314.
- [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.
- [43] 武梦园, 彭成, 蒙春旺, 等. 基于指纹图谱和含量测定结合化学计量学发现川芎道地性标志物 [J]. 中国中药杂志, 2025, 50(1): 152-164.
- [44] 崔治家, 马艳珠, 张小荣, 等. 川贝母化学成分和药理作用研究进展及质量标志物的预测分析 [J]. 中草药, 2021, 52(9): 2768-2784.
- [45] Liu C L, Liu S M, Tse W M, *et al.* A distinction between *Fritillaria Cirrhosa Bulbus* and *Fritillaria Pallidiflora Bulbus* via LC-MS/MS in conjunction with principal component analysis and hierarchical cluster analysis [J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 2735.
- [46] 赖楠楠, 胡本祥, 杨冰月, 等. 基于 HS-GC-IMS 法分析不同基原川贝母药材挥发性成分及其标志物 [J]. 中草药, 2026, 57(13): 5244-5256.
- [47] 屈凌芸, 薛蓉, 宫静雯, 等. 指纹图谱结合网络药理学及分子对接的黑顺片质量标志物预测 [J]. 世界中医药, 2023, 18(19): 2719-2726.
- [48] 吴环宇, 范栢爽, 王玉明, 等. 基于系统中药学的附子回阳救逆功效标志物的挖掘 [J]. 天津中医药, 2024, 41(9): 1143-1150.
- [49] 蒲婷婷, 刘杰, 周忠瑜, 等. 采用傅里叶变换红外光谱和 HPLC 法分析附子炮制品黑顺片和白附片差异 [J]. 中草药, 2024, 55(2): 596-604.
- [50] 薛伟航, 徐婷莉, 王华雨, 等. 麦冬化学成分和药理作用研究进展及其质量标志物 (Q-Marker) 的预测分析 [J]. 中华中医药学刊, 2026, 44(6): 45-51.
- [51] Li X N, Wang Y X, Sun P, *et al.* Determination of saponin content in Hang Maidong and Chuan Maidong via HPLC-ELSD analysis [J]. *J Anal Methods Chem*, 2016, 2016: 7214607.
- [52] Zha X Y, Li G W, Zhang L, *et al.* Identification of active compounds in *Ophiopogonis Radix* from different geographical origins by UPLC-Q/TOF-MS combined with GC-MS approaches [J]. *Open Life Sci*, 2022, 17(1): 865-880.
- [53] 赵露颖. 基于化学与遗传分析的浙麦冬和川麦冬的道地性特征及其 SCAR 分子鉴定 [D]. 杭州: 浙江中医药大学, 2023.
- [54] Liang W Y, Chen W J, Wu L F, *et al.* Quality evaluation and chemical markers screening of *Salvia miltiorrhiza* Bge. (Danshen) based on HPLC fingerprints and HPLC-MS(n) coupled with chemometrics [J]. *Molecules*, 2017, 22(3): 478.
- [55] Zhou X L, Chan S W, Tseng H L, *et al.* Danshensu is the major marker for the antioxidant and vasorelaxation effects of Danshen (*Salvia miltiorrhiza*) water-extracts produced by different heat water-extractions [J]. *Phytomedicine*, 2012, 19(14): 1263-1269.
- [56] 杨宁娟, 刘妍如, 唐志书, 等. 基于“质量标志物-生物活性”关联分析评价丹参的等级 [J]. 中草药, 2021, 53(4): 1135-1142.
- [57] 罗春梅, 汤依娜, 郭慧, 等. 成分-靶点-代谢模式分析丹参的质量标志物及初步验证 [J]. 华西药学杂志, 2022, 37(5): 511-517.
- [58] 冯科冉, 李伟霞, 王晓艳, 等. 丹参化学成分、药理作用及其质量标志物(Q-Marker)的预测分析 [J]. 中草药, 2022, 53(2): 609-618.
- [59] 廖韵诺, 赵凯丽, 郭宏伟. 中药网络药理学的研究应用与挑战 [J]. 中草药, 2024, 55(12): 4204-4213.
- [60] Zhai Y Y, Liu L, Zhang F Q, *et al.* Network pharmacology:

- A crucial approach in traditional Chinese medicine research [J]. *Chin Med*, 2025, 20(1): 8.
- [61] 解静, 高杉, 李琳, 等. 网络药理学在中药领域中的研究进展与应用策略 [J]. 中草药, 2019, 50(10): 2257-2265.
- [62] 吴发明, 张芳芳, 李敏, 等. 川麦冬产地干燥方法综合评价研究 [J]. 中药材, 2015, 38(7): 1400-1402.
- [63] 雷飞益, 马留辉, 吴海军, 等. 干燥方法对川麦冬药材品质的影响 [J]. 中药材, 2017, 40(5): 1077-1082.
- [64] 张岳川, 黎智, 李巧, 等. 川芎产地加工一体化饮片与传统饮片品质系统对比研究 [J]. 中草药, 2025, 56(23): 8548-8559.
- [65] 孙嘉辰, 李霞, 王莹, 等. 中药加工炮制过程中质量标志物的研究进展 [J]. 中草药, 2020, 51(10): 2593-2602.
- [66] Zhang J L, Liu J J, Chen Y Y, *et al.* Comparative analysis of *Ligusticum chuanxiong* from Gansu and Sichuan using the fingerprint technique and HS-SPME-GC-MS combined with chemometric analysis [J]. *PLoS One*, 2026, 21(4): e0347839.
- [67] Han G Q, Qi L M, He D M, *et al.* Multidimensional quality evaluation and traceability study of *Fritillariae Cirrhosae Bulbus* from different sources [J]. *Front Plant Sci*, 2025, 16: 1648434.
- [68] 刘昌孝. 从中药资源-质量-质量标志物认识中药产业的健康发展 [J]. 中草药, 2016, 47(18): 3149-3154.
- [69] 王智民, 钱忠直, 张启伟, 等. 一测多评法建立的技术指南 [J]. 中国中药杂志, 2011, 36(6): 657-658.
- [70] 刘耀晨, 许浚, 张洪兵, 等. 基于化学成分特有性的质量标志物发现策略及应用 [J]. 中草药, 2021, 52(9): 2548-2556.
- [71] 段成思, 刘志勇, 史兰云, 等. 中药质量标志物多维度评价体系的构建与应用: 化学、生物及整合分析视角 [J]. 中草药, 2025, 56(22): 8395-8402.
- [72] 秦昆明, 杨冰, 胡静, 等. 一测多评法在中药多组分质量控制中的应用现状与思考 [J]. 中草药, 2018, 49(3): 725-731.
- [73] 梁乙川, 郭换, 刘素娟, 等. 一测多评法测定川芎中 7 种成分含量 [J]. 中药材, 2018, 41(1): 140-143.
- [74] 中国药典 [S]. 一部. 2025: 80-81.
- [75] 张磊, 岳洪水, 鞠爱春, 等. 基于近红外光谱技术的注射用丹参多酚酸生产过程分析系统构建及相关探讨 [J]. 中国中药杂志, 2016, 41(19): 3569-3573.
- [76] 梁泽华, 邱丽媛, 王又迪, 等. 近红外定性模型结合 HPLC 指纹图谱评价川芎饮片的质量 [J]. 华西药学杂志, 2022, 37(3): 297-305.
- [77] Zhang M Y, Lin B R, Ma X B, *et al.* Application of artificial intelligence combined with near infrared spectroscopy in the continuous counter-current extraction process of *Angelica dahurica* formula granules [J]. *Spectrochim Acta Part A Mol Biomol Spectrosc*, 2024, 322: 124748.

[责任编辑 时圣明]