

道地药材的鉴定策略及研究进展

赵豫音¹, 王 龙¹, 陆 续^{1,2*}

1. 中国药科大学中药学院, 江苏 南京 211198

2. 道地药材品质保障与资源持续利用全国重点实验室, 北京 100700

摘 要: 道地药材以其品质上乘、疗效确切而著称, 是衡量和保障中药质量的核心标志。然而, 在现代栽培技术的推广和市场需求的共同作用下, 传统道地产区的界限日趋模糊, 因此, 道地药材的准确鉴定变得尤为重要。目前道地药材的鉴定研究已取得较大进展, 在传统经验辨识基础上, 进一步呈现出多元化的发展趋势。通过特征性状判断、关键成分解析、分子标记鉴定、多指标联合分析、数字化与智能识别等策略, 从不同维度对道地药材进行了全方位的鉴别。系统总结了性状鉴定、显微鉴定、理化鉴定、分子鉴定、数字化与智能鉴定等道地药材的鉴定策略和研究进展, 为道地药材的鉴定研究提供了基础资料。

关键词: 道地药材; 鉴定方法; 辨状论质; 分子鉴定; 智能识别

中图分类号: R283

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2026)15-6160-12

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.15.031

Identification strategies and research advancements of genuine medicinal materials

ZHAO Yuyin¹, WANG Long¹, LU Xu^{1,2}

1. School of Traditional Chinese Pharmacy, China Pharmaceutical University, Nanjing 211198, China

2. State Key Laboratory for Quality Ensurance and Sustainable Use of Dao-di Herbs, Beijing 100700, China

Abstract: Genuine medicinal materials (Dao-di medicines) are renowned for their superior quality and proven efficacy, and serve as a core marker for assessing and ensuring the quality of traditional Chinese medicine. However, due to the combined effects of the widespread adoption of modern cultivation techniques and market demand, the boundaries of traditional Dao-di producing regions are becoming increasingly blurred. Consequently, the accurate identification of Dao-di medicines is becoming ever more important. Significant progress has been made in the identification research of Dao-di medicines. Building upon traditional empirical identification methods, research in this field is now exhibiting a trend towards diversification. Through strategies such as assessment of characteristic morphological features, analysis of key constituents, molecular marker identification, multi-indicator combined analysis, and digital and intelligent recognition, Dao-di medicines have been comprehensively identified from various dimensions. In this article, we systematically reviewed various identification strategies and research progress regarding Dao-di medicines, including macroscopic morphological identification, microscopic identification, physicochemical identification, molecular identification, and digital and intelligent identification, thereby providing foundational reference materials for research into the identification of Dao-di medicines.

Key words: genuine medicinal materials; identification method; assessing quality by morphology; molecular identification; intelligent identification

在中医药长期临床实践中, 道地药材始终被视为“质优效佳”的代表, 其名称往往与特定的地域紧密相连, 如“皖十味”“浙八味”“四大怀药”等, 成为中药品质与疗效的代表^[1]。然而, 道地性并非简单的产地标签, 而是由自然环境、遗传分化与人

类活动长期相互影响下的作用结果。从气候因子(如温度、湿度)等差异调控次生代谢产物的合成积累, 到土壤微生态与微量元素对植物生长与品质形成的深层影响, 再到区域种质资源在地理隔离与生境胁迫下产生的遗传分化与稳定表达, 道地药材的

收稿日期: 2026-03-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(82574527); 中央本级重大增减支项目“名贵中药资源可持续利用能力建设项目”(2060302)

作者简介: 赵豫音, 硕士研究生, 研究方向为中药种质资源鉴定与道地性形成机制。E-mail: zyy_12060902@163.com

*通信作者: 陆 续, 教授, 博士生导师, 从事中药道地性形成机制和中药药效成分生物合成等研究。E-mail: luxu666@163.com

形成体现出复杂而精细的生态-遗传协同机制。同时，在历史上商贸流通、医药临床验证和加工工艺的长期选择下，使得部分产区逐渐形成了具有显著辨识度的优质药材^[2]，这些优质药材逐渐发展为道地药材。因此，道地药材不仅是一种资源概念，更是一种药材质量的集中体现。

在以上因素的作用下，道地药材逐步形成了区别于非道地药材的系统性特征：（1）特征性活性成分，在种类或含量上具有显著的区域划分，呈现稳定的化学指纹特征；（2）经临床应用与药理研究验证道地药材的疗效优势，表现在具有更加显著和稳定的生物活性^[3]；（3）历史传承与市场认可，进一步强化了道地药材的品牌效应与经济价值。然而，随着商贸交流与种植技术的不断发展，药材跨区域引种与规模化栽培日益普遍，传统道地产区的界限逐渐模糊。外观趋同、成分波动及品种混杂等问题，使“何为真正的道地药材”成为亟待解决的科学问题。在这样的背景下，仅依赖经验辨识或单一鉴别指标难以支持现代药材质量控制与产业升级的需求^[4-5]。

道地药材的特征是特定的生态环境、基因型和栽培加工工艺长期共同作用的结果，本质为“同种

异地”^[6]。由于道地药材的多维度品质特征，传统鉴定方法已逐渐难以全面的对道地药材品质进行评价。近年来，鉴定技术已由传统的基原考证与性状鉴别，逐步拓展至光谱、色谱、质谱分析、分子标记技术、多组学联合解析、人工智能识别等^[7]。单一技术往往难以全面揭示道地性的本质，因此构建由宏观形态识别到微观分子鉴定、由单一维度指标控制到多维数据整合的分层次递进式鉴定策略^[8]，成为推动道地药材鉴别的关键。因此，本文系统梳理了道地药材的主要鉴定方法及研究进展，旨在从方法整合与路径优化的角度，探讨道地药材的鉴定策略（图 1），为道地药材质量控制提供理论依据与技术参考。

1 道地药材基于形态学鉴定的策略及其进展

形态学鉴定技术立足于长期辨识经验积累，是道地药材鉴定与质量评价策略中最简便、直观的方法。随着现代电子显微、仿生传感等技术的引入，形态学鉴定实现从主观判断向客观量化分析发展。

1.1 基原鉴定

中药基原鉴定旨在应用分类学知识，通过对比药材完整形态特征与文献记载及模式标本等所示特征，确定药材的物种来源。以党参为例，其名源



图 1 道地药材鉴定策略

Fig. 1 Strategies for identification of genuine medicinal materials

于历史道地产区山西上党。本草考证表明其在《神农本草经》等秦汉著作中曾与人参混杂,需通过《本经逢原》《本草纲目拾遗》《药物出产辨》等清代本草,实现对党参道地品种的科学鉴别^[9]。然而,受道地药材过度采挖、人类活动迁移及栽培种植工艺提升的影响,许多中药材逐步演化出新的道地产区^[10],导致传统基原鉴别方式准确度有所降低。近年来,基原鉴定依托现代植物分类学对中药种内及种群间遗传分化的研究进展,通过高通量测序技术和精准基因组组装技术使中药植物基因组更易获得。Wang 等^[11]对已获得的人参属药用植物基因组进行遗传分化差异筛选及全基因组共线性分析,得出人参属植物在转座子等亚基因组中的差异演化可以直观鉴别种群间的差异。基于对道地药材基因组的了解逐渐深入,对种群起源与演化的研究实现了丹参^[12]、乌头^[13]、白及^[14]等道地药材的用药基原鉴定,展示植物分类与遗传的技术在鉴定道地药材方面的优势,并提升了道地药材基原鉴定的准确性。基于上述工作及《中国药典》药材信息的进一步完善,由中科院中药资源中心牵头整理并发布的《道地药材标准》^[15],为道地药材基原鉴定提供现代化指标。

1.2 性状鉴定

性状鉴定具有操作简便、快速的优势,如杭白芍“粉白色、圆柱顺直”^[16];黄芪“金井玉栏”^[17];何首乌“五瓣而嫩润者良”^[18]等,适用于药材的初筛和商品流通环节中的快速鉴别。性状鉴别目前仍是《中国药典》及《道地药材标准》等药品标准中重要的鉴别方法。如浙元胡顶端有凹陷的茎痕,底部中央稍凹陷呈脐状或呈圆锥状突起,断面金黄色至黄棕色;其他产地元胡索顶端有略凹陷的茎痕,底部常有疙瘩状突起,断面多为黄色。亳菊呈倒圆锥形或圆筒形,压扁呈扇形,舌状花上散生金黄色腺点;其他产地菊花呈球形或扁球形,舌状花上少或无腺点。川楝子果核成熟者有6~8条纵棱,内分6~8室且成熟者类球形,个大、饱满;其他产地川楝子纵棱和种子室小于6且成熟后非类球形,个小、不饱满^[19]。但传统的性状鉴别对鉴定者的经验要求较高,同时存在较大的主观性,特别是面对性状较为相似的药材时,传统的性状鉴定具有局限性。如今,在传统的性状鉴别上又发展出多种鉴别技术,如微性状鉴定技术,该技术是使用显微镜和图像分析软件对道地药材表面的性状特征进行测量与统计,胡新华等^[20]利用该技术对阳春砂与其余产地砂

仁的外果皮皮刺、非腺毛、内果皮油点等微性状特征进行测量与统计,进而实现阳春砂与其余产地砂仁的鉴定。而色差法是利用色彩分析仪等可以客观量化药材外表面、粉末等组织部位的颜色特征的检测手段,通过对药材饮片粉末颜色亮度值、红绿色调值和黄蓝色调值数值的统计分析^[21],精准捕捉药材品种间的细微颜色差异,从而达到鉴定的目的。为增加对道地药材鉴定的科学性,性状鉴定通常会结合化学成分积累进行分析,目前已实现对三七^[22]、川黄柏^[23]、山茱萸^[24]等道地药材的鉴别体系构建,印证“辨状论质”^[25]与道地性紧密关联。

1.3 显微鉴定

显微鉴定是基于性状鉴定发展而来,对药材切面、粉末、花粉、组织表皮碎片及改变原有形态的饮片样品,应用显微仪器对细胞结构、形态、细胞内含物等微观结构特征进行鉴别的方法。不同的显微镜在道地药材鉴定中呈现出各自的优势。普通光学显微镜是最常用的显微镜,适用于显微特征在自然光或白炽光下较为明显的药材鉴定,如潞党参的显微特征为节乳汁管内富含黄色物质^[26],岷当归则呈现出丰富点状油室的显微特征^[27]。偏光显微镜适用于具有双折射性的物质检测,多用于药材中晶体的鉴定,如观察不同产地白石英的结晶度、晶体结构、干涉色等^[28]进行道地药材鉴定。还有利用电子束获得通过特殊处理的药品外表皮高分辨数字成像的扫描电子显微镜,如蕲艾在扫描电子显微镜下可以观察到腺毛顶端细胞圆润饱满、T型非腺毛顶端细胞长圆柱形,从形态及在叶片表面的分布密度均与非道地产区艾叶有所区分^[29]。传统显微鉴定技术在道地药材鉴定的长期实践中发挥着重要作用,然而许多性状相似的药材显微鉴别的区别不明显,仅靠单一显微鉴定数据分析不同产地药材间的细微差异上依旧存在挑战。未来如何将新型显微镜(如扫描投射电子显微镜、激光扫描共聚焦显微镜等)、显微定量与测量技术、化学成分检测技术、激光捕获显微切割技术^[30]等与传统显微鉴定技术相结合,对道地药材鉴定方法的发展有极高价值。

1.4 仿生学鉴定

目前仿生学鉴定主要基于电子鼻、电子舌等仿生学检测仪对药材气、味等特征进行辨识。这些仪器通过模拟人类的嗅觉和味觉系统,利用传感器阵列检测受检样品中的挥发性或水溶性成分进行聚类分析,为道地药材真伪鉴定及产地溯源提供了

客观化、标准化的检测方法。如电子鼻检测得出不同产区天麻的气味响应信号,结合颜色、体积、纹理及有效成分的多维度分析,实现对汉中天麻的鉴定并揭示气味特征是主要判别依据之一^[31]。在此基础上,仿生检测仪联用多种化学分析技术和智能算法实现更精准的药材道地性分析。如当归的产地鉴别利用电子鼻提供的气味聚类图谱结合气相色谱-质谱连用技术提供的主成分分析模型,实现当归产区的鉴别及道地产地主要气味成分分析^[32]。现代研究不仅整合电子鼻与电子舌等多检测仪数据分析^[33],提高对道地药材鉴定准确度;而且引入自适应卡尔曼波、支持向量机等计算机算法对传感器得到的数据预处理^[34],使仿生检测仪所得数据更加稳定可靠,为未来道地药材无损检测提供研究基础。

2 道地药材基于化学成分的鉴定及其发展

化学成分是道地药材优质疗效的物质基础,其研究手段从早期升华结晶、显色反应等基础理化分析,发展至高灵敏度、高分辨率的尖端仪器检测。随着光谱、色谱及质谱技术的深度应用,对道地药材的分析呈现为多维指纹图与质量标志物(quality markers, Q-Marker)的精准锚定,为道地药材鉴定提供核心信息。

2.1 理化鉴定

理化鉴定是利用药材基本的物理性质和化学成分,进行分类和鉴别的方法,在药材真伪鉴别中具有简单、直观的优势。其方法主要包括物理常数测定、呈色反应、微量升华现象、沉淀反应、泡沫反应和溶血指数测量等。如大黄药材粉末^[35]在不同温度下升华物呈针状、枝状及羽状晶体形态变化且利用碱性试剂处理晶体呈红色,实现初步鉴别。利用酸碱滴定反应、碱提酸沉反应等基础化学实验方法对不同产地的山药进行成分定量分析,结果表明淀粉和多糖的含量可作为怀山药的鉴定指标^[36]。此外,热分析法也是检测中药材理化性质与温度关系的技术之一,主要检测方法包括分析药材在热反应过程中质量与温度的关系的热重法;检测药材中结晶类成分的吸热或放热峰与参比物质关系的差热分析法;检测中药中待测物质热力学参数的差示扫描量热法^[37]。以上技术已在鉴别天然牛黄与人工牛黄^[38]、乳香与没药^[39]及矿物类药材^[40]中有成熟的运用。此外,对于难以溶出或炮制方法特殊的药材的鉴定,引入电化学振荡技术对药材中含有的化学成分群体引起的点位波动进行分析^[41],构建特征电

化学指纹图谱实现在中成药及混伪情况下的快速鉴定。

2.2 光谱鉴定

光谱鉴定是指利用中药分子对光波的吸收、发射或共振等特性对中药材进行鉴别的方法。光谱鉴定技术在道地药材的鉴别中有快速、无损和灵敏度高的优势。其中,红外光谱技术已被用于道地药材的鉴定,如通过近红外光谱的采集并结合主要成分分析,发现不同波段的成分分布可用于关防风与其余产地防风的鉴定^[42]。运用中红外光谱技术为不同产地山茱萸及主要成分的标准品构建中红外光谱,分析其二阶导数光谱及二维红外相关谱差异,对山茱萸进行快速道地鉴别^[43]。应用傅里叶变换红外光谱技术构建不同产地党参的全光谱模型与多光谱模型,通过回归方程实现党参高灵敏度准确度的产地鉴别^[44]。此外,紫外-可见光光度法^[45]、三维荧光光谱^[46]及高光谱成像等技术^[47]进一步丰富了光谱鉴定方法。近年来,原子光谱技术(包含X荧光光谱法和等离子体光学发射光谱法)^[48]、太赫兹精密光谱技术^[49]、激光诱导击穿光谱技术^[50]等新兴技术逐渐用于道地药材鉴别,推动光谱鉴定向更高分辨率发展。

2.3 色谱鉴定

色谱鉴定技术是利用中药中的化学物质在不同的固定相和流动相中的分配系数差异进行分离,从而对目标成分进行定性定量分析达到鉴定目的。色谱技术的发展推动了从早期简单的成分分离方法如纸色谱、柱色谱、薄层色谱等,到液相色谱、气相色谱、高效液相色谱等能够对药材进行鉴定的高精度技术的转变^[51]。简单便捷的薄层色谱法在《中国药典》中常用于鉴别不同品种药材的准确基原植物,但对来自同一品种的不同产地居群的道地药材鉴定难度较大,仅能实现川黄柏、广陈皮等少数道地药材的鉴定^[19]。因此运用液相、气相色谱仪等仪器的色谱技术可以同时检测中药中多种有效成分的含量并制备具有强特征性的中药成分指纹图谱,实现准确鉴别同一药材在不同产地、不同入药部位下的成分差异。研究使用超高效液相色谱技术,在不同产地牡丹皮的化学指纹图谱中筛选并鉴定出 15 个关键化学标志物,并通过聚类分析实现了道地牡丹皮产地的鉴别与质量标志化合物群的构建^[52]。气相色谱技术则主要用于对中药材中挥发性成分的分析,如对艾叶中的樟脑、龙脑等挥发性

成分进行定量分析,表明宛艾与其他产地艾叶在成分积累上存在差异^[53]。在上述色谱鉴定方法的基础上,进一步结合光谱技术及人工智能技术^[54]是目前提升道地药材鉴定准确性的发展趋势。

2.4 质谱鉴定

质谱技术因其高灵敏度、高分辨率及能解析相对分子质量和化学结构信息,逐步成为药材道地性鉴别的重要手段。将质谱技术与气相色谱、液相色谱、微量元素分析相结合,能够准确完成对化学成分、矿物质、微量元素及稳定同位素的分析,将不同产地同类药材之间的成分差异可视化^[55]。基于超高效液相-四级杆-飞行时间质谱仪可获得一级质谱精确的质荷比与二级质谱碎片的离子特征信息,用于筛选出白术内酯 I~III 等 16 种化学成分的积累差异,作为浙白术道地性评价指标^[56]。针对提高挥发性成分分析精确度的需求,在气相色谱-质谱联用技术的基础上结合固相微萃取技术,不仅解决挥发油成分在传统提取方法下高温降解的问题,还提升了分析效率。相关研究验证,运用该技术分析

陈皮在不同生长环境下积累的挥发油成分, α/β -蒎烯成分的比值是新会陈皮的重要鉴别依据^[57]。在矿物类道地药材的鉴定中,结合电感耦合等离子体质谱技术与气体稳定同位素质谱技术,在元素组成和同位素来源等方面对道地药材进行鉴别。不同产区朱砂的硫元素与微量元素通过质谱分析,结果表明道地朱砂的硫同位素主要来源于海水硫酸盐,与非道地朱砂的硫同位素来源存在差异;且其微量元素杂质含量显著低于非道地产区^[58],揭示了道地朱砂优质的原因。总体来看,质谱技术不仅能够揭示药材复杂成分体系中的细微成分差异,还可通过分子网络及代谢组学联合分析,锚定中药 Q-Marker^[59],是目前实现道地药材精准鉴定的核心技术手段。

3 道地药材基于分子鉴定的策略及其进展

分子鉴定是基于中药的 DNA 序列和蛋白序列的多态性,采用 PCR 和基因测序技术进行分子鉴别的方法。基于道地药材与非道地药材之间存在的遗传信息差异,分子鉴定发展成目前最主流的道地药材鉴定方法之一(图 2)。

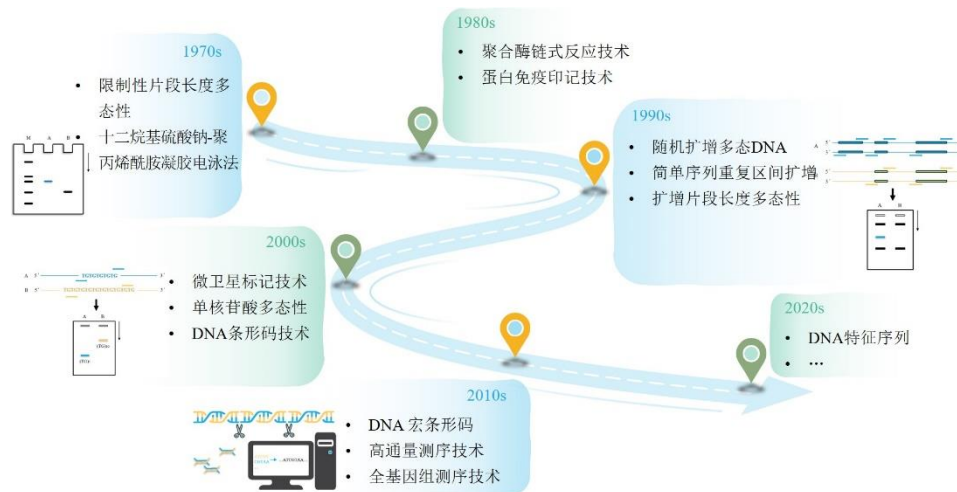


图2 分子鉴定技术发展时间轴

Fig. 2 Timeline of developments of molecular identification technologies

3.1 传统分子标记技术

常见的传统分子标记技术包括随机扩增多态性 DNA (random amplified polymorphic DNA, RAPD)、简单序列重复区间扩增 (inter simple sequence repeat, ISSR)、扩增片段长度多态性 (amplified fragment length polymorphism, AFLP) 等。因不需要预先得知基因组序列,直接对遗传信息中的多态性进行检验,传统分子标记技术有实验成本低、普适性强的特点。RAPD 技术早期为大量道地

药材提供有效鉴别,该技术利用一系列 10 个碱基左右的随机引物,基于引物结合位点的多态性,产生不同长度的 DNA 扩增片段作为鉴别特征。如三七及其非道地产区的混伪品通过引物扩增条带的位置筛选,实现三七药材基原的分子鉴定^[60]。相较 RAPD 技术,ISSR 技术基于常见基因组中的简单重复序列 (simple sequence repeat, SSR) 构建通用引物库,引物通用性和结果稳定性均有所增加。研究发现,利用 ISSR 技术可以实现对于形态特征

高度一致但芍药苷含量有明显差异的重瓣芍药与单瓣芍药所生产的药材饮片区分^[61]。AFLP 技术结合限制性内切酶和 PCR 扩增的技术优势,基于聚合酶链式反应技术扩增出的目标药材特有酶切片段作为鉴定特征依据^[62]。相较 RAPD 技术和 ISSR 技术, AFLP 技术难度最大,但能提供更丰富的 DNA 指纹信息,适合对近源种药材鉴定的研究。

3.2 近代分子标记技术

相较上一代分子鉴定技术的随机或半随机扩增原则, SSR、聚合酶链式反应-限制性片段长度多态性 (polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism, PCR-RFLP) 和单核苷酸多态性 (single nucleotide polymorphism, SNP)、反转录转座子见扩增多态性及环介导等温扩增等技术,是基于药材个体或种群测序所得的 DNA 序列设计引物进行特异扩增的新一代分子标记技术,具有更精确的鉴别能力且扩增结果具有稳定性和重现性。其中, SSR 技术是基于基因序列中的简单重复序列标记数目实现不同产地来源药材的鉴别。如药材防风基于所测基因序列中 SSR 位点,开发出系列特异性引物,对道地防风完成快速鉴定^[63]。在 RFLP 技术的基础上, PCR-RFLP 技术通过对特定 DNA 片段酶切条带的分析,对道地药材进行鉴定。基于 ITS2 序列片段的 PCR-RFLP 分析,湖北麦冬与其他产区的麦冬经限制性内切酶 *NaeI* 酶切后,扩增出的 ITS2 条带存在差异,可据此对湖北麦冬进行鉴别^[64]。同时,该技术用于鉴定川贝母及霍山石斛来源植物的方法已被《中国药典》2020 年版收录^[65],体现出该技术良好的稳定性与通用性。随着研究深入, SNP 标记在道地药材与其近缘品种鉴定中展现出更高分辨能力。基于叶绿体基因组分析的高频 SNP 位点,筛选出含有显著的 SNP 标记多态性区域,用此方法构建的位点特异性引物扩增体系实现了对地锦草道地药材与混伪品的准确鉴定^[66]。基于该技术还实现了通过 SNP 特异性引物扩增片段对五味子种内鉴定^[67],表明该技术在道地药材鉴别中具有潜力。

3.3 现代分子标记技术

DNA 条形码是利用生物中含有足够变异、易于扩增且长度相对较短的 DNA 片段,设计相应引物进行 PCR 扩增,将扩增产物的测序结果录入数据库,即可对物种快速鉴别的现代分子标记技术。DNA 条形码技术因其高效、便捷和良好通用性,在中药领域得到广泛应用。《中国药典》2020 年版收录了聚合酶

链式反应法指导原则,进一步规范了该技术在中药鉴定中的应用^[68]。基于 ITS2 序列的扩增与测序的结果显示,该 DNA 条形码可以有效鉴定性状和化学成分高度相似的新会陈皮与其他产地陈皮^[69]。随着测序技术的发展,高通量测序平台的应用再度提高分子标记技术的分辨率。在此基础上开发出多种新鉴定技术,如 DNA 特征序列 (DNA signature sequence, DSS) 标记技术^[70]、DNA 宏条形码等。伊犁贝母通过叶绿体基因组中 DSS 片段的筛选结果设计特异性引物^[71]实现其快速鉴别。广地龙基于线粒体中编码细胞色素 C 氧化酶亚基 I 的基因的特征短片段,采用宏条形码检测技术实现约 3 000 批样本的鉴定^[72]。在保证鉴定准确性同时降低鉴定成本,体现出分子标记在产业中应用的可能性。

3.4 蛋白和多肽鉴定

植物药和动物药中的特异性结构蛋白和功能蛋白在一定程度上可以反映中药材的来源,通过解析蛋白含量或特征肽段信息可对部分道地药材进行鉴定。目前,中药中蛋白大分子的鉴定主要通过 2 种方式,一种是采用十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳法 (sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE),将药材中的蛋白质进行分离提取,通过染色、测距和计算完成对道地药材混伪品的初步比较。如 SDS-PAGE 技术为不同产地灵芝构建的特征蛋白质谱图,实现了灵芝的产地鉴别^[73]。另一种技术是对特征蛋白进行酶解后的肽段进行高精度序列分析^[74],将蛋白质鉴定的分辨率提高至多肽层面。基于该技术与蛋白免疫检测技术结合,对天花粉蛋白与特异性抗体的反应结果的分析可实现对天花粉与其混伪品的鉴别^[75]。此外,利用氨基酸分析仪检测不同产地枸杞中的氨基酸含量,发现氨基酸的积累量因产地气候等因素不同而存在显著性差异^[76],该差异可以作为枸杞产区的鉴别特征。该技术对中药中氨基酸成分及积累量的分析,体现了中药鉴定在蛋白质分子层面鉴定的探索,推动了道地药材质量与国际标准接轨。

4 道地药材基于数字化与智能识别的鉴别策略及进展

数字化与数据库建设为道地药材鉴定提供客观的数据支持,将外观形态、感官特征及成分组成转化为可进一步分析的数字化信息,构建起标准化的药材“数字身份信息”。以卷积神经网络 (convolutional neural network, CNN) 为代表的人工

智能算法,正推动道地药材鉴定方法从实验室的精密仪器走向轻量化、便携式的检测终端。

4.1 数字化及数据库建立

道地药材特征的数字化与数据库的建设是实现智能道地鉴定的重要基础,主要依托现代信息技术、分析化学技术、统计学方法及人工智能方法,将道地药材的关键鉴别特征转化为可计算的数字信息并构建标准化数据库。在具体应用中,质谱标准图谱库可用于辅助道地药材成分的快速识别和特征成分的筛选^[77];基于仿生感官技术采集颜色、气味、味道数据构建的中药感官信息数据库,可用于快速鉴定药材等级及成分预测^[78];分子结构修饰策略数据库可辅助人工智能对关键化合物的解析与分类^[79]。此外,中药显微图像或颜色系统图像数据集的图像信息数据库,用深度学习网络的训练后,可实现像素级别的产地纹理差异自动化鉴定^[80]。道地药材鉴定结果数据化和数据库的建立,不仅是将传统鉴定结果转化为可供计算机分析的数据,减少由于人为因素导致的鉴定偏差;更是为全国道地药材品质标准及人工智能在中药领域应用,提供可靠、优质的基础数据支撑。

4.2 人工智能图像识别

人工智能图像识别技术是基于多层神经网络架构模拟人类认知过程,基于已构建的数据集,自动提取药材表面形态细节的有效特征,以此实现药材的识别与分类。现代图像识别系统主要依赖 CNN 的多层算法,实现将药材图片所示表征特征逐层转化为数字信息并自动整合信息提取出可作为检测标准的特征信息,这是人工智能图像识别与传统计算机识别(如支持向量机模型、随机森林模型等)的核心区别^[81]。因此,若将人工智能图像识别技术运用在拥有复杂细节及极高相似度的道地药材与非道地药材,则需对人工智能识别的核心网络架构及识别机制进行优化。研究者将残差模型引入 CNN 对其在图像分析和信息处理层次进行优化,结合二维化光谱信息相关图像实现了对 9 种石斛来源的准确自动鉴别^[82]。进一步研究表明,将传统残差网络替换成沙漏残差网络并在 ShuffleNet V2 架构中运行,可以降低神经网络模型运行内存需求,为人工智能图像识别系统在移动端的运行提供支持^[83]。智能识别系统便携化与应用端的延伸是未来该技术的发展方向,基于优化后的残差网络及细颗粒度图像分类模型搭建的移动端识别系统,可通过手机拍摄

的药材图片实现对中药饮片真伪及质量的快速判断。季思维等^[84]使用该移动识别系统对川麦冬、远志、茜草和防己 4 种药材饮片的图像集进行检测,其输出结果与专家团鉴定结果具有较高的一致性,证明该软件系统的初步可行性。表明人工智能图像识别技术正由实验研究向实际应用场景转化,未来随着技术发展,非专业人群有望在实际应用场景中高效、准确地鉴别道地药材。

5 道地药材基于新兴综合技术鉴定的策略与进展

面对道地药材成因的复杂性,单一鉴定技术存在一定的优势和局限性(表 1),而新兴技术融合的鉴定策略正致力于构建多维信息的系统分析模式。引入“物质基础-生物效应”评价体系和地理地质信息系统,不仅验证道地药材的临床优势,更从遗传与环境的协同作用层面诠释道地性的科学内涵。

5.1 多指标联合评价

道地药材由于其成因的复杂性及其成分动态积累的特殊性,使得单一指标难以实现准确鉴别,因此,基于多组学数据的综合分析逐渐成为中药道地性研究的重要途径之一。通过高通量检测技术获取道地药材的代谢组学、转录组学、基因组学、蛋白组学及微生物组学等多维道地药材特征数据^[85],并结合主成分分析法、正交偏最小二乘法-判别分析等化学计量方法进行分析,实现对道地药材精确鉴定的同时从多维角度展示道地药材“优形、优质、优效”的内在形成机制^[86]。在应用中,基于植物广泛靶向代谢组学的分析结果显示,不同产地枸杞中检测出 12 类共计 162 种生物碱代谢物及相关合成通路,其中成分组成和积累的差异可对枸杞产地实现溯源^[87]。在动物类药材的研究中,蛋白质组学分析筛选得到全蝎中 β -肌动蛋白的特征肽段^[74]可作为同位素标记内标,为动物道地药材鉴定提供新技术参考。指纹图谱-一测多评法的联合分析策略,由于能解决部分药材成分标准品少或昂贵的问题,在道地药材的鉴定中有良好的应用前景。该分析方法已在北苍术^[88]、西红花^[89]等药材中展示对不同产地质量差异的有效鉴别。将传统概念下的道地药材用多种组学信息构建新时代下道地性特征模型,是未来对道地药材来源及质量进行科学判别的基石。

5.2 结合药效评价鉴定

“优效”是道地药材长期临床应用的重要因素,因此,基于体内外药效的评价体系可将药材产地与品质之间的联系直观的进行展示^[90]。在体外实验中,

表 1 道地药材主要鉴定方法的应用场景、优势及局限性

Table 1 Application, advantages and limitations of main genuine medicinal material identification methods			
鉴定方法	应用场景	优势	局限性
基原鉴定	道地药材生物学基原品种核实； 地理标志产品的标准构建	鉴定过程便捷，无须精密仪器支撑；直观鉴定基原物种，表明道地药材品种；针对种间差异显著药材，具备快速鉴定能力	基于鉴定人员专业素养，主观性强且难客观量化；鉴定特征易受采收时期和炮制工艺干扰；针对近缘品种或种内变种分鉴定精度受限
性状鉴定	道地药材真伪鉴别与产地溯源； 道地药材品质规格等级评价； 流通环节现场快速鉴定	鉴定步骤简单快捷，且属于无损检测；适用于产地或流通环境的大批量药材现场快速初步鉴定；性状特征详实，具有深厚实践基础	鉴定特征标准多为经验性描述，缺乏客观量化标准；针对性状高度相似或同种异地居群的道地药材存在鉴定瓶颈；难以有效鉴别粉末、饮片或外观特征不完整的药材制品
显微鉴定	粉末、饮片及深加工道地药材的基原鉴定；道地药材及其近源种的鉴定	在粉末、饮片及深加工药材鉴定中具备不可替代性；具有客观性，对微观结构组织及内含物可定性定量分析；仪器设备普及率高，相关技术及评价体系成熟	针对显微特征高度相似的近源种或种内变种鉴定精度下降；样品前处理较复杂，检测工艺流程技术要求较高；客观量化标准尚不完善，科学显微特征评价体系有待建设
光谱鉴定	道地药材真伪鉴别与产地溯源；关键次生代谢产物无损定量分析； 药材生产过程质量快速检测	检测通量高，响应迅速，满足即使鉴定需求；抗干扰能力强，理由开发小型、便携检测终端；分析药材整体化学构成，识别鉴定特征	鉴定结果受到仪器精准度及设备间相应差异的显著干扰；检测体系的构建与优化高度依赖大规模、高代表性样本数据；需借助深度计量算法，对特征数据进行分析
薄层色谱鉴定	道地药材真伪鉴定与混伪品、非法添加物识别；药材生产过程质量快速检测	结果直观可视，可具象呈现道地药材鉴定结果；技术体系成熟完备，属于《中国药典》等国家标准认可鉴定方法	对化学成分相似的道地药材基原品种鉴定精度下降；对复杂组分的分离度有限，难以实现复杂成分的深度解析；鉴定精度易受湿度、温度等外部因子干扰
液、气相色谱鉴定	产地特征指纹图谱构建；道地药材混伪品与非药用部位鉴定； 道地药材特征性活性成分精准定性定量分析	检测灵敏度高，能够精确表征并区分道地药材中的成分；鉴定结果客观，可为标准化数据库的构建提供关键数据支撑	针对与道地药材基原品种成分高度相似性的品种，鉴别精度受限；次生代谢产物的积累水平易受生长年限、采收时期等变量干扰；对实验室硬件配置与专业技术支撑依赖性强
色谱-质谱联合鉴定	产地特征生物标志物筛选与代谢组学分析；道地药材未知成分解析与微量成分鉴定；药材药效物质合成基础及代谢过程研究	可实现道地药材目标组分精准识别及鉴定；检测灵敏度极高，具备检测微量到痕量级成分的捕获和解析能力；可实现微量分析，适用资源稀缺或取样量受限的名贵药材	数据呈现较复杂，解析及深度分析需技术支持；精密仪器的购置与后期运行维护成本昂贵，限制其普适化推广使用；分析效率和即时鉴定效率较低于其他谱学鉴定方法
分子标记鉴定	道地药材真伪及品种鉴别；道地药材产地鉴定及遗传多样性分析； 深加工及珍惜濒危药材鉴定	遗传信息稳定，鉴定结果不受动植物发育阶段及采收加工干扰；鉴定结果客观准确，具备优异重现性；可实现微量分析，适用陈年、破碎后的药材深加工制品的鉴定	受药材鉴定组织部位 DNA 提取难度干扰；针对药材基原植物非药用部位混伪现象鉴定难度上升；鉴定维度局限遗传属性，鉴定结果与药材临床品质缺乏直接关联
仿生学鉴定	基于“形、色、气、味”数字化特征鉴定道地药材；产地特征性状特征识别；药材品质等级及商品规格客观化划定	实现性状特征数字化与客观化，消除传统主观偏差；构建智能化检测体系，支持高通量实时快速筛查；利于多维度形状特征联合分析，提升鉴定精准度	鉴定模型构建需要大量标准样本的训练及数据库支撑；单一维度检测指标鉴定精度较低
人工智能识别鉴定	药材的基原品种智能分类及识别；基于表观特征对药材品质与规格智能判定；药材炮制工艺质量评定	传统外观鉴定特征的数字化，实现智能高效鉴定；属于无损检测技术，保障道地药材完整商品性；开发轻量化便携终端，满足现场即时快速鉴定需求	规模化、标准化图像样本库与基准数据库的构建难度大且成本高；针对性状高度相似或同种异地的道地药材鉴定精度下降；鉴定维度局限于表观特征，与药材品质和质量关联较低

分析清除自由基及抑制酶活性与不同产地来源广防风的化学指纹图谱的关联度，得到不同产地间广防风的质量与降血糖作用的关系^[91]。在微流控芯片细胞实验中，利用肝-瘤共培养模型模拟人参皂苷 Rg₃经肝脏代谢的体内转化途径，结果发现其代谢产物

在抗癌活性方面表现出显著的生物效应^[92]。因此，该人参皂苷含量可作为人参品质的评价标准之一。此外，开展川大黄^[93]、怀山药^[94]等道地药材的生物活性研究，在此基础上构建道地药材“物质基础-生物效应”的药效评价体系。该体系有助于从道地药

材复杂的化学成分构成中筛选与药效关联的 Q-Marker^[95], 为道地药材的应用与开发提供依据。

5.3 基于道地药材种植环境的鉴定技术

道地药材鉴定方法多从内在成分、分子多态性与外在形态特征出发, 由于道地药材形成的复杂性, 仅依赖以上特征鉴别难以全面揭示为何特定地理位置可以产出优质药材。因此, 利用现代技术模拟和分析环境因子, 揭示药材品质与地理分布之间的关联^[96], 亦是重要的道地药材鉴定策略。在宏观地理学层面, 基于地理信息系统处理道地药材产地地形信息、土壤及气象因子等数据信息, 揭示怀地黄道地产区的生态环境特征^[97]。在元素成分分布层面, 由于稀土元素在土壤的分布具有区域特征, 可用于道地产区的溯源研究。运用质谱技术对枸杞及其种植土壤中的稀土元素进行分析, 发现钪元素 (Sc) 的有无可作为鉴别道地枸杞产区的鉴定指标^[98]。在微观原子层面, 药材中微量元素同位素主要来源于生境土壤且具有不易代谢的特点, 利用这一特点, 可以应用电热离质谱技术测定锶同位素 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 的丰度比, 可以应用电热离质谱技术测定锶同位素 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 的丰度比, 实现浙麦冬与川麦冬之间的鉴定^[99]。从道地药材鉴定角度看, 生境是道地药材形成的物质基础之一, 气象、土壤等信息的研究与整合的进展完善了道地药材鉴定指标的维度。

6 道地药材鉴定面临的挑战与展望

道地药材准确的鉴定是保障中医临床疗效及安全的基石, 更是中药的质量提升与特色产业发展的支撑。现代鉴定技术与方法的不断进步, 在提高鉴定表征客观化与物种间鉴定精度方面发挥重要作用。面对道地中药材复杂的构成因子, 鉴定方法仍面临现实局限性 (表 1)。

随着传统经验鉴别与现代分析技术不断融合, 道地药材鉴定由基于单一因素鉴别向多来源数据整合评价模式转变。尽管多种技术的发展为道地药材鉴定提供了新思路, 但在未来的研究与应用中仍存以下挑战和研究方向。(1) 药材样本的复杂保存或加工工艺对于现有鉴定技术精确度的影响。如特殊部位 (周皮层、根部) 药材、深度加工的饮片和储存不当的药材存在 DNA 降解和污染等影响 DNA 质量的问题, 会降低 DNA 分子鉴定技术的准确度; (2) 药材产地迁移和标准化种植对道地药材鉴定带来挑战。随着规模化跨区域的引种和对移栽环境的改造, 非道地产区药材在性状和有效成分上与道地

药材日渐趋同, 许多鉴定标准面临失效的风险; (3) 道地药材鉴别特征数据标准化程度较低与共享机制匮乏。目前关于道地药材虽已建立如 DNA 条形码快速鉴定等多种质量追溯系统, 但在底层数据架构、质量标准及通用性上缺乏统一的管理与规范, 使道地药材全产业链信息有效对接存在困难。(4) 道地药材在市场监管中, 应继续完善便携式检测技术的开发与应用。结合近年发展的仿生感官仪器、便携光谱检测仪等无损检测快检仪器, 实现在产地源头、市场交易的实时鉴别。尽管道地药材的准确鉴定依旧面临众多挑战, 但随着多学科技术的融合与数字智能分析的进步、道地药材鉴定策略的不断完善, 将长期的推动其向客观化、精准化和智能化的方向发展。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 陈杨, 康琪, 瞿礼萍, 等. 道地药材地理标志产品保护的实证分析与发展对策研究 [J]. 中草药, 2021, 52(11): 3467-3474.
- [2] 杜玉洁, 林永强, 王姝麒, 等. 中药材的不同产地鉴别技术研究概况 [J]. 药学研究, 2024, 43(10): 1008-1014.
- [3] 杨铁钢, 张芳, 腊贵晓, 等. 基于历史传承和科学内涵的植物药材道地性综合评价 [J]. 中草药, 2025, 56(2): 377-388.
- [4] 孟祥才, 沈莹, 杜虹韦. 道地药材概念及其使用规范的探讨 [J]. 中草药, 2019, 50(24): 6135-6141.
- [5] 王献瑞, 张佳婷, 贺方良, 等. 基于“身份证”数字表征的中药鉴定思路及其应用价值探讨 [J]. 中国现代中药, 2024, 26(12): 2036-2041.
- [6] 黄璐琦, 张瑞贤. “道地药材”的生物学探讨 [J]. 中国药理学杂志, 1997, 32(9): 563-566.
- [7] 赵露颖, 施梦瑶, 张巧艳, 等. 道地药材品质特征及形成机制研究进展 [J]. 中草药, 2022, 53(21): 6931-6947.
- [8] 黄璐琦, 郑汉, 袁媛, 等. 再论分子生药学: 三十年, 一个新起点 [J]. 中国中药杂志, 2026, 51(1): 1-9.
- [9] 张开弦, 姚秋阳, 任艳, 等. 党参道地品种起源、变迁、现状研究进展 [J]. 中成药, 2024, 46(1): 211-216.
- [10] Chen F J, Wang A L, Chen K M, et al. Genetic diversity and population structure of the endangered and medically important *Rheum tanguticum* (Polygonaceae) revealed by SSR Markers [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2009, 37(5): 613-621.
- [11] Wang Z H, Wang X F, Lu T Y, et al. Reshuffling of the ancestral core-eudicot genome shaped chromatin topology and epigenetic modification in *Panax* [J]. *Nat Commun*, 2022, 13(1): 1902.

- [12] 刘方舟, 李园白, 李萌, 等. 丹参药材道地性系统评价与分析 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2019, 21(1): 119-125.
- [13] 樊东昌, 穆赢通, 贾俊英, 等. 乌头属药用植物叶绿体基因组密码子特征和系统发育分析 [J]. 分子植物育种, 2025, 23(3): 935-944.
- [14] Jiang L, Lin M F, Wang H, *et al.* Haplotype-resolved genome assembly of *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f. to elucidate medicinal value [J]. *Plant J*, 2022, 111(5): 1340-1353.
- [15] 中华中医药学会. 关于对中华中医药学会拟发布团体标准项目《道地药材标准 (157 项)》征求意见的通知 [EB/OL]. (2019-07-22) [2026-01-17]. <https://www.cacm.org.cn/zhzyyxh/bzhsj/201907/5b6732c05cfc418684241a46c9312131/files/dd101aec547e4b5ca20432e00381adff.pdf>.
- [16] 季思维, 王军, 张鹏. 全国老药工李京生传统中药鉴定经验特色研究 [J]. 首都食品与医药, 2025, 32(19): 12-15.
- [17] 何雯杰, 方飞, 毛焕云, 等. 从生态互作到加工炮制多维度解析黄芪质量的道地性成因与调控 [J]. 中草药, 2026, 57(9): 3670-3684.
- [18] 王雪婷, 杨建波, 马潇, 等. 基于关键质量属性及“辨状论质”观挖掘何首乌质量相关性评价指标 [J]. 中国现代中药, 2025, 27(12): 2281-2287.
- [19] 中国药典 [S]. 二部. 2025.
- [20] 胡新华, 原文鹏, 王洁, 等. 不同产地阳春砂及其混伪品的微性状鉴定 [J]. 中国药房, 2021, 32(5): 590-594.
- [21] Tarasevičienė Ž, Velička A, Jarienė E, *et al.* Comparison of chemical composition and colour parameters of different *Mentha* genus plants grown under organic conditions [J]. *Not Bot Horti Agrobo*, 2018, 47(1): 92-99.
- [22] 郭宜欣, 张诗焉, 唐诗成, 等. 三七表型性状与皂苷类成分含量的相关性分析 [J]. 中国现代中药, 2024, 26(9): 1485-1493.
- [23] 宿莹, 侯晓琳, 刘战, 等. 基于色差原理分析黄柏有效成分含量与颜色的相关性 [J]. 中药材, 2019, 42(8): 1766-1770.
- [24] Qian Y J, Pi W X, Zhu G F, *et al.* Quality evaluation of raw and processed *Corni Fructus* by UHPLC-QTOF-MS and HPLC coupled with color determination [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2022, 218: 114842.
- [25] 肖玉洁, 赵祥升, 魏建和. 中药“辨状论质”理论的发展与应用 [J]. 药学前沿, 2024, 28(9): 155-169.
- [26] 赵凌云. 道地药材“潞党参”与常用商品党参鉴别研究 [J]. 中国处方药, 2019, 17(5): 114-115.
- [27] 杨世昇. 不同产地当归饮片的鉴定学及质量研究 [J]. 中国卫生标准管理, 2017, 8(24): 94-96.
- [28] 徐晨昱, 赵倩, 刘圣金, 等. 矿物药白石英优质矿产资源筛选及 XRD Fourier 指纹图谱研究 [J]. 中国现代中药, 2022, 24(6): 1033-1041.
- [29] Liu Z H, Li X L, Zhao Y Y, *et al.* Microscopic characterization of five *Artemisia* crude herbs using light microscopy, scanning electron microscopy, and microscopic quantitative analysis [J]. *Microsc Res Tech*, 2022, 85(7): 2428-2437.
- [30] 孙莹, 徐兴燕, 汪冰, 等. 显微鉴别技术结合现代分析方法在中药鉴定中的应用与进展 [J]. 药学研究, 2024, 43(12): 1225-1233.
- [31] 张远帆, 王尚涛, 莫可, 等. 基于 PCA-熵权 TOPSIS 法的汉中天麻外观性状与成分含量综合评价研究 [J]. 广西科学, 2023, 30(6): 1204-1216.
- [32] 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.
- [33] Luo D H, Zhou H Y, Gholamhosseini H, *et al.* Aroma characteristic analysis of *Amomi Fructus* from different habitats using machine olfactory and gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Phcog Mag*, 2019, 15(63): 392.
- [34] Fu H Y, Liu M Q, Wang Q, *et al.* E-nose-assisted classification of traditional Chinese medicine using adaptive Kalman filtering [J]. *Sens Actuat A Phys*, 2025, 396: 117187.
- [35] 杨莎, 袁军, 高必兴, 等. 四川省大黄药材及其饮片评价性抽检结果质量分析 [J]. 中国药事, 2019, 33(8): 904-911.
- [36] 张重义, 谢彩侠, 黄晓书, 等. 怀山药道地产区与非道地产区药材质量比较 [J]. 现代中药研究与实践, 2003, 17(1): 19-21.
- [37] Yang T, Chen M, Liu X, *et al.* Enhancing quality evaluation in traditional Chinese medicine: Utilizing dual wavelength fusion fingerprint, electrochemical fingerprint, and DSC fingerprint [J]. *J Chromatogr A*, 2024, 1722: 464907.
- [38] 刘丹, 高锦红, 王虎, 等. 热分析技术在药物分析和鉴定中的应用 [J]. 分析仪器, 2019(2): 8-13.
- [39] 沈紧治, 许逊福, 吕海波, 等. 乳香、没药差示扫描量热法与傅里叶红外光谱法分析 [J]. 国际中医中药杂志, 2022, 44(3): 314-318.
- [40] 林林, 刘广桢, 任小英, 等. 矿物类中药的研究进展和思考 [J]. 中国药学杂志, 2025, 60(9): 923-932.
- [41] Huang W, Zhang B, Rao Y L. Comparative analysis of infrared and electrochemical fingerprints of different medicinal parts of *Eucommia ulmoides* Oliver [J]. *Int J Electrochem Sci*, 2023, 18(4): 100078.
- [42] 李斌, 莲花, 布仁, 等. 近红外光谱结合化学计量学鉴

- 别防风原产地 [J]. 中成药, 2022, 44(5): 1698-1702.
- [43] 王磊, 陈园杰, 栗磊, 等. 基于中红外光谱和二维相关红外对不同产地山茱萸快速鉴别 [J]. 光谱学与光谱分析, 2025, 45(3): 761-767.
- [44] 杜晓伟, 宋平顺, 倪琳. 基于傅里叶变换红外光谱技术对中药党参产地快速判别方法的研究 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(3): 75-78.
- [45] 程翔, 李先喜, 梅桂林, 等. 基于外观性状和指标性成分划分枸杞子不同产地 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2024, 26(3): 27-31.
- [46] 陈伟, 吴海龙, 王童, 等. 三维荧光结合化学计量学用于白术的产地溯源 [J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(9): 2875-2883.
- [47] 吴强, 赵鹏, 王猛, 等. 基于有效成分含量与高光谱的蒙古黄芪品质分级 [J]. 光谱学与光谱分析, 2025, 45(11): 3066-3071.
- [48] Peng C N, Zhou J T, Li C, *et al.* Research progress on speciation analysis of arsenic in traditional Chinese medicine [J]. *Open Chem*, 2022, 20(1): 23-39.
- [49] 王俊涛, 王胜峰, 李秋叶, 等. 太赫兹光谱技术结合卷积神经网络鉴别三七产地的研究 [J]. 红外与毫米波学报, 2025, 44(5): 734-744.
- [50] 刘晓娜, 王喜波, 车晓青, 等. LIBS 技术在中药质量快速评价中的应用及研究进展 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2020, 22(4): 1262-1269.
- [51] 张晓淳, 秦宇雯, 寿海艳, 等. 白术炮制历史沿革及现代质量控制研究 [J]. 中草药, 2026, 57(4): 1538-1545.
- [52] Fang W T, Song Q Q, Luo H, *et al.* Quality evaluation of the traditional Chinese medicine *Moutan Cortex* based on UPLC fingerprinting and chemometrics analysis [J]. *Metabolites*, 2025, 15(4): 281.
- [53] 王宇卿, 耿榕徽, 张须学. 宛艾及其他产地艾叶 GC-MS 比较分析 [J]. 国医论坛, 2018, 33(4): 58-61.
- [54] 赵山, 全新朵, 王晓波, 等. 多指标定量联合化学模式识别 (PCA、FA、OPLS-DA) 对不同产地石菖蒲的质量评价 [J]. 亚太传统医药, 2025, 21(6): 39-44.
- [55] Xu X Y, Jiang M T, Li X H, *et al.* Three-dimensional characteristic chromatogram by online comprehensive two-dimensional liquid chromatography: Application to the identification and differentiation of ginseng from herbal medicines to various Chinese patent medicines [J]. *J Chromatogr A*, 2023, 1700: 464042.
- [56] 黄小方, 欧阳辉, 李军茂, 等. UPLC-Q-TOF-MS/MS 分析不同产地白术的差异性化学成分 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(23): 27-33.
- [57] 陈明权, 商雪莹, 石洪超, 等. 基于 SPME-GC-MS 技术快速鉴别不同产地的陈皮 [J]. 广州中医药大学学报, 2023, 40(6): 1498-1502.
- [58] 卓鱼周, 刘晓琴, 张文会, 等. 基于微量元素-硫同位素示踪技术的朱砂产地差异性分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(23): 182-188.
- [59] Mu J R, Li H W, Xu M W, *et al.* From tradition to innovation: Systematic analysis of quality markers (Q-Markers) in traditional Chinese medicine [J]. *Chin J Anal Chem*, 2025, 53(5): 100502.
- [60] Cui X M, Lo C K, Yip K L, *et al.* Authentication of *Panax notoginseng* by 5S-rRNA spacer domain and random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis [J]. *Planta Med*, 2003, 69(6): 584-586.
- [61] Liao J Q, Zhang S, Yang Q Q, *et al.* Development of specific molecular markers for medicinal peony (*Paeonia lactiflora*) with double flower [J]. *J Genet*, 2024, 103(2): 33.
- [62] Pelser P B, Gravendeel B, van der Meijden R. Phylogeny reconstruction in the gap between too little and too much divergence: The closest relatives of *Senecio jacobaea* (Asteraceae) according to DNA sequences and AFLPs [J]. *Mol Phylogenet Evol*, 2003, 29(3): 613-628.
- [63] 李爽, 寇佩雯, 许祎珂, 等. 基于转录组的防风 SSR 分子标记开发及应用 [J]. 中国中药杂志, 2024, 49(3): 717-727.
- [64] 段庆梓, 王巍, 尚柯, 等. 一种用于鉴别湖北麦冬的 PCR-RFLP 方法研究 [J]. 药物分析杂志, 2023, 43(11): 1974-1979.
- [65] 中国药典 [S]. 一部. 2020.
- [66] Wang L, Huo Z T, Xu W B, *et al.* Comparative plastomes of eight subgenus *Chamaesyce* plants and system authentication of *Euphorbiae Humifusae Herba* [J]. *Food Chem*, 2024, 447: 139039.
- [67] Kim J S, Jang H W, Kim J S, *et al.* Molecular identification of *Schisandra chinensis* and its allied species using multiplex PCR based on SNPs [J]. *Genes Genom*, 2012, 34(3): 283-290.
- [68] 中国药典 [S]. 四部. 2020.
- [69] Li S Z, Zeng S L, Wu Y, *et al.* Cultivar differentiation of *Citri Reticulatae Pericarpium* by a combination of hierarchical three-step filtering metabolomics analysis, DNA barcoding and electronic nose [J]. *Anal Chim Acta*, 2019, 1056: 62-69.
- [70] 王多梅, 蒋超, 蒲婧哲, 等. 《中国药典》植物药基原鉴定 DSS 标准序列库的建立 [J]. 中国中药杂志, 2024, 49(23): 6249-6256.
- [71] 王多梅, 蒲婧哲, 胡冲, 等. 利用 DNA 特征序列标记对伊犁贝母的快速鉴定 [J]. 中草药, 2025, 56(15): 5563-5570.
- [72] Xing Z M, Gao H, Wang D, *et al.* A novel biological sources consistency evaluation method reveals high level of biodiversity within wild natural medicine: A case study

- of *Amyntas* earthworms as “Guang Dilong” [J]. *Acta Pharm Sin B*, 2023, 13(4): 1755-1770.
- [73] Li C H, Zuo H L, Chen C, *et al.* SDS-PAGE and 2-DE protein profiles of *Ganoderma lucidum* from different origins [J]. *Pak J Pharm Sci*, 2018, 31(2): 447-454.
- [74] 梁瑞强, 孙姗姗, 曹进, 等. 基于蛋白质组学技术测定全蝎中 β -肌动蛋白的含量 [J]. 世界中医药, 2020, 15(13): 1849-1856.
- [75] 冯成强, 黄璐琦, 柳川, 等. 蛋白免疫检测技术在天花粉真伪鉴别中的初步研究 [J]. 中国药理学杂志, 2005, 40(8): 574-577.
- [76] 朱教胜, 胡杨, 罗欣, 等. 四个产地枸杞中 16 种氨基酸含量分析及营养价值评价 [J]. 中南农业科技, 2025, 46(2): 53-58.
- [77] 顾志荣, 毛小文, 祁梅, 等. 数据融合技术在中药研究领域的应用 [J]. 中草药, 2023, 54(18): 6159-6171.
- [78] Liang L, Yang X Y, Wan B H, *et al.* Integrating medicinal chemist expertise with deep learning for automated molecular optimization [J]. *J Med Chem*, 2026, 69(3): 3609-3638.
- [79] Yang R Q, Wang J Y, Wang Y S, *et al.* A novel strategy for rapid quantification of multiple quality indicators and grade discrimination of *Atractylodes Macrocephalae Rhizoma* based on electronic nose, electronic tongue and machine-learning algorithms [J]. *Molecules*, 2026, 31(5): 881.
- [80] 王天舒, 严辉, 胡孔法, 等. 基于图像结构纹理信息的当归药材产地识别研究 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(16): 4096-4102.
- [81] Tan C Q, Wu C, Huang Y L, *et al.* Identification of different species of *Zanthoxylis Pericarpium* based on convolution neural network [J]. *PLoS One*, 2020, 15(4): e0230287.
- [82] Xu Y L, Li L, Wang Y Z, *et al.* Novel non-destructive authentication of nine *Dendrobium* species using residual convolutional neural network relying on plant images and FT-NIR spectral information [J]. *Smart Agric Technol*, 2025, 11: 101027.
- [83] 赵毓, 任艺平, 朴欣茹, 等. 基于改进 ShuffleNet V2 的轻量级防风药材道地性智能识别 [J]. 智慧农业: 中英文, 2023, 5(2): 104-114.
- [84] 季思维, 潘瑞肖, 于洪洋, 等. 基于麦冬等 4 种饮片对中药饮片质量性状智能识别系统的评价研究 [J]. 首都食品与医药, 2024, 31(16): 169-172.
- [85] 肖水明, 初旸, 廖保生, 等. 本草基因组学在中药材质量均一性评价与控制中的应用 [J]. 中草药, 2025, 56(9): 3291-3304.
- [86] 袁媛, 郑汉, 黄璐琦. 再论道地药材“优形、优质、优效”特征成因及研究模式 [J]. 中国中药杂志, 2024, 49(15): 3977-3985.
- [87] 武戡兴, 马瑞雪, 卢顺, 等. 宁夏不同产地枸杞叶生物碱组成与活性差异 [J]. 中国食品学报, 2024, 24(10): 394-404.
- [88] 赵艳云. 北苍术化学模式识别及挥发油抑菌活性研究 [D]. 石家庄: 河北中医学院, 2022.
- [89] 张梦奇, 王琼芬, 李彬, 等. 超高效液相色谱指纹图谱法和一测多评法评价不同产地西红花质量 [J]. 中国药业, 2023, 32(19): 73-79.
- [90] Xu G L, Xie M, Yang X Y, *et al.* Spectrum-effect relationships as a systematic approach to traditional Chinese medicine research: Current status and future perspectives [J]. *Molecules*, 2014, 19(11): 17897-17925.
- [91] 翟明, 吴欢, 庄远杯, 等. 不同产地广防风 HPLC 指纹图谱及抗氧化降血糖谱效关系研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(11): 1920-1930.
- [92] Li Z Y, Li J W, Sun M, *et al.* Analysis of metabolites and metabolism-mediated biological activity assessment of ginsenosides on microfluidic co-culture system [J]. *Front Pharmacol*, 2023, 14: 1046722.
- [93] 黄旭军, 李强国, 刘汉胜, 等. 微量热法研究不同产地的大黄对大肠杆菌生长代谢的影响 [J]. 湘南学院学报: 医学版, 2006, 8(4): 14-15.
- [94] 贺卫华, 翟晓虎, 宋幸辉, 等. 不同产地山药不同分子量段多糖含量及活性的比较 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44(11): 312-314.
- [95] Wang X, Wang Z Y, Zheng J H, *et al.* TCM network pharmacology: A new trend towards combining computational, experimental and clinical approaches [J]. *Chin J Nat Med*, 2021, 19(1): 1-11.
- [96] Song C Y, Liu H M, Gao J X. Habitat preference and potential distribution of *Magnolia officinalis* subsp. *officinalis* and *M. o.* subsp. *biloba* in China [J]. *Nat Conserv*, 2019, 36: 93-111.
- [97] 常断玲, 张翠英, 谢彩香, 等. 怀地黄产地适宜性分析 [J]. 河南农业科学, 2010(7): 77-80.
- [98] 黄智安, 余进, 罗欣, 等. 无机元素图谱结合化学计量学在枸杞子产地溯源的应用 [J]. 理化检验: 化学分册, 2025, 61(9): 1032-1040.
- [99] 马明, 彭昕, 李锦花, 等. 锶稳定同位素比质谱在浙麦冬和川麦冬产地溯源中的应用 [J]. 浙江农业科学, 2022, 63(1): 5-7.

[责任编辑 赵慧亮]