

分析技术在中药产地溯源及真伪鉴别中的应用研究进展

胡翔宇^{1,2}, 郝梦洁¹, 赵珊珊¹, 王明林², 张九凯³, 赵燕^{1*} (1. 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所/农业农村部农产品质量安全重点实验室, 北京 100081; 2. 山东农业大学食品科学与工程学院, 山东泰安 271018; 3. 中国检验检疫科学研究院, 北京 100176)

摘要 中药的产地溯源和真伪鉴别在保证中药品质及疗效、保护中药消费者权益、减少由于假劣中药引发医疗事故等方面具有重要的作用。近年来, 随着科技发展、国家政策推进和社会关注增长, 各类分析技术在中药产地溯源及真伪鉴别方面的研究取得显著进展。综述稳定同位素技术、DNA 条形码技术、光谱技术、气相色谱技术、液相色谱技术、代谢组技术和矿物元素技术在产地溯源及真伪鉴别中的应用进展和研究成果。

关键词 中药产地溯源; 稳定同位素; DNA 条形码; 光谱; 气相色谱; 液相色谱; 代谢组; 矿物元素

中图分类号 R 282.5 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2023)04-0016-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.04.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Research Progress of Analytical Technology in the Traceability and Authenticity Identification of Traditional Chinese Medicine Origin

HU Xiang-yu^{1,2}, QIE Meng-jie¹, ZHAO Shan-shan¹ et al (1. Institute of Agricultural Quality Standards & Testing Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agricultural Product Quality and Safety, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Beijing 100081; 2. College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018)

Abstract The traceability and authenticity of traditional Chinese medicine play an important role in ensuring the quality and efficacy of traditional Chinese medicine, protecting the rights and interests of traditional Chinese medicine consumers, and reducing medical accidents caused by fake and inferior Chinese medicine. In recent years, with the development of science and technology, the advancement of national policies and the increase of social attention, various analytical techniques have made significant progress in the research on the traceability of the origin of traditional Chinese medicine and the identification of authenticity. This article briefly introduces the progress and research results of stable isotope technology, DNA barcode technology, spectroscopy technology, gas chromatography technology, liquid chromatography technology, metabolome technology and mineral element technology in the origin traceability and authenticity identification.

Key words Chinese medicine traceability; Stable isotope; DNA barcode; Spectrum; Gas chromatography; Liquid chromatography; Metabolome; Mineral elements

中药广泛应用于我国医药行业, 中药学是我国特有的与人文充分融合的医学科学, 对我国医药行业的发展有着不可替代的深远意义^[1]。据统计, 我国现有中药资源品种约 12 800 种, 常用中药 600 余种, 源自 718 种不同的植物、动物、矿物质和人工化合物。近年来, 中药已实现了超过 300 种中药人工种养。随着环境形势日益严峻和供需矛盾突出, 同时因生产条件受限、监管体系不健全, 中药的质量安全问题越来越引起广泛重视, 实施中药产地溯源管理已经成为当前中药质量提升的重要举措, 其中分析技术在中药产地溯源中具有重要作用, 为中药产地溯源和真伪鉴别提供一定的技术支持^[2]。

1 研究进展

1.1 稳定同位素技术 稳定同位素技术的基本原理是同位素自然分馏效应, 这是由于不同地区的大气、土壤、水等同位素组成的差异, 导致药材中同位素组成也有差异, 这种差异可以用于区分其可能的地理来源。稳定同位素技术能通过对稳定同位素比值的变化反应环境因子对药材的综合影响, 其准确率和重复性都很高; 而且其成本正随着同位素质谱仪普及和测定效率的提高而下降, 与传统人工鉴别相比, 更具科学解释性及更低的成本^[3]。

黄志勇等^[4]建立了铅同位素比值测量方法, 利用不同产地丹参的铅稳定同位素比值不同判断丹参产地, 研究结果表明不同地区来源的丹参铅同位素比值有显著差异。尽管铅同位素已广泛应用于环境监测和铅污染来源解析的研究^[5]。但是由于人为铅污染的影响和仪器分辨率不够精确, 对铅同位素差别很小的样品, 仅靠铅同位素比值分布鉴别其产地仍有困难, 如峨眉山和新疆产的丹参²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb 差别极小, 需要结合其他手段进行进一步区分。

Choi 等^[6]曾试图利用锶稳定同位素对产自中国和韩国的人参进行区分, 研究发现韩国所产人参的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 均明显高于中国样品, 可以对 2 个国家的人参样品进行区分。但是 Rosner^[7]在后续发表的文章中指出, 该研究的前处理过程和后续的计算方法存在问题, 导致中国样品⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 低于 0.702(自然下限), 而根据 Sr 的初始同位素组成(BABI)和⁸⁷Rb 放射性衰变计算, 天然物质中⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 不可能低于 0.702。可见锶同位素虽然是判别产地信息的良好指标, 但在使用过程中一定要标准化前处理过程和误差校正, 使结果符合标准。

Horacek 等^[8]也通过测定样品的碳、氮、氢同位素对中国和韩国的人参进行了区分, 由于气候条件、水的可利用程度以及耕作措施等的差别, 中韩两国出产的人参 δD 值存在明显的差异^[6]。

Maggi 等^[9]利用 2 种不同方法对来自希腊马其顿地区、伊朗呼罗珊省、意大利撒丁岛、西班牙卡斯蒂利亚 4 个地区

基金项目 “十三五”国家重点研发计划(2017YFC1601703)。

作者简介 胡翔宇(1995—), 男, 山东淄博人, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程。* 通信作者, 硕士生导师, 博士, 从事农产品溯源与安全性研究。

收稿日期 2021-01-22; **修回日期** 2021-03-18

的 28 个藏红花样品进行了产地溯源。利用碳、氮和氢 3 种元素的稳定同位素进行产地溯源,准确率达到 100%。

1.2 DNA 条形码技术 DNA 条形码技术是通过一段标准的 DNA 序列进行生物物种鉴定的方法,具有通用性强、鉴定结果可靠、重复性良好等特点。在中药鉴定领域 DNA 条形码技术以其准确、通用、客观的特点在中药产地溯源关键环节发挥作用。在中药销售过程中,参与构建中药产地溯源体系,跟踪中药生产全过程,保障消费者权益,有助于中药监督管理^[10]。

刘珊珊等^[11]使用组织研磨仪将泽泻叶片样品破碎至粉状,提取泽泻基因组 DNA。以泽泻样品的 DNA 进行筛选,获得引物 4 对,取各 PCR 产物电泳,选取单一的 PCR 产物、条带清晰的进行双向测序,通过对 3 个主产区 8 个种植区域的 39 份泽泻叶片样品的 DNA 条形码检测,明确 10 个广西泽泻样本和 16 个四川泽泻样本的 ITS2 序列完全一致,均为 T 碱基,表明 2 者可能为同一生物种,然而 13 个福建泽泻样本均为 A 碱基。

中药红曲是红曲霉的菌丝体寄生在粳米上而形成的红曲米,具有降脂、降压、降糖和抑制肿瘤生长等重要作用。宓鹤鸣等^[12]运用随机扩增多态性 DNA (randomly amplified polymorphic DNA, RAPD) 分析技术,将 7 种红曲霉属标准菌株及同属的 1 种土曲霉对照株共 8 株进行 PCR 扩增电泳,得到 DNA 条带,结果显示 7 种红曲霉属种间的相似率为 42.1%~86.5%,表明红曲霉属真菌在种间的 DNA 扩增产物多态性非常明显,红曲霉与土曲霉的相似率为 19.0%~30.5%,远远低于红曲霉种间的相似率。结果表明,基于基因组 DNA 基础之上的形态分类学与分子系统学具有良好的一致性,2 者之间的遗传距离能通过 RAPD 扩增产物指纹谱较好地反映,具有较强的鉴别能力,结果与经典分类具有很大的吻合度,对某些分类学混乱和争议能做出更为准确自然地处理。

Zhong 等^[13]开发了一种结合了 DNA 条形码和高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)的方法,以确定 5 种贝母的物种可追溯性。基于 DNA 条形码,根据其遗传距离、识别效率、种间和种内变异,识别验证植物物种。结果表明, DNA 条形码数据通过 ITS 和 ITS2 成功鉴定了 5 种贝母,具有区分贝母物种起源的能力。ITS2 可用作贝母物种的潜在有用的 DNA 条码。另外,通过 HPLC 结合化学鉴定方法鉴定有效的化学成分以对贝母进行分类。

Duan 等^[14]应用 DNA 条形码技术,以区分重楼假根茎。选择 ITS2 条形码进行高分辨率熔解曲线 (high-resolution melting, HRM) 分析,分离了所测试草药的 DNA,并生成了它们的熔解曲线。结果表明, ITS2 分子区域结合 HRM 分析可以有效地区分 9 种草药,包括重楼的 2 个正宗起源及其 7 个常见的掺假物。因此得出结论, DNA 条形码与 HRM 分析相结合是一种准确、可靠、快速的工具,有助于对重楼药材进行质量控制。

目前,市场流通的天山董菜药材基原不清,形态各异,各

执一词,难辨真伪,这严重影响相关药品质量控制和应用。准确的基原鉴定是保障药材质量的根本,樊丛照等^[15]通过分析 18 份不同来源的天山董菜的 DNA 条形码 ITS2 序列发现,正品药材天山董菜仅占 44.4%,从而得出结论:天山董菜用药安全存在很大的隐患,其同属数种植物作为伪品流入市场,它们是否与天山董菜具有相同的功效,还需要结合化学成分和药理作用进行深入研究。

DNA 条形码在中药基原物种鉴定、中药产地溯源系统研究中应用广泛,与此同时, DNA 条形码在中药资源评价、保护和可持续利用中具有重要地位和作用,为中药 DNA 条形码研究提供新的思路^[16]。

1.3 光谱技术 近年来,光谱技术如近红外光谱、荧光光谱在中药鉴定中的应用逐渐增多。近红外光谱技术可以从样本中无损提取出分析信息,可应用于多种中药的真伪鉴别、次品的掺入量预测、中药品种的聚类分析,并能够快速有效地对中药整体质量进行评价与鉴定,但用于含量较小的组分分析时偏差较大^[17];荧光光谱法则具有良好的灵敏度、准确度和选择性,可用于对具有荧光性质的中药的定性定量分析^[18]。

刘春美等^[19]选取分别来自广西、贵州、西藏的每个地区各 20 个三七头断面。通过多元散射校正 (multiple scattering correction, MSC)、Norris 平滑预处理来消除干扰。此外,为了放大、分离其重叠信息,还采用对光谱一阶求导、二阶求导的方式。通过多种方法的交叉试验,结果表明利用近红外光谱以及 TQ Analyst 软件建模相结合的方式,可以清楚直观的检测出 2 种中药的相似与不同,比较适合检测组成成分复杂的中药。

Fan 等^[20]使用三维同步荧光光谱法 (3D-synchronous fluorescence spectroscopy, 3D-SFS) 对 6 种天麻 (来自 3 个不同地理起源的 2 个变体) 进行分类和鉴定。从 6 种类型的天麻获得的水提取物的 3D-SF 光谱通过 LS-50B 发光荧光光谱仪测量。试验结果表明, 6 种光谱的特征荧光光谱区域相似,而特征区域的强度却有明显差异,可以成功地区分 6 种类型的天麻。综上所述,三维同步荧光光谱法具有有效、特异、快速、无污染等优点,在区分同类中草药方面具有优势,该方法是分类和识别不同变体和不同地理起源的天麻的有效工具。

1.4 气相色谱技术 气相色谱技术的应用主要是对中药中挥发性成分或是通过衍生化后可气化的成分进行检测,通过加热等方法使得待测物质中挥发性物质在短时间内蒸发,蒸发的气体进入气相色谱柱进行分离和分析^[21]。直接蒸发气相色谱法能够使用少量样本,仅需 1~2 mL,待测样本处理时间短,在蒸发容器内加热数分钟即可蒸发成气体,避免中药中含量低的成分所需大量样本的浪费^[22]。

邢旺兴等^[23]分析了来自上海的紫色红曲霉、橙色红曲霉、变红红曲霉、红色红曲霉、发白红曲霉、巴克红曲霉和烟色红曲霉 7 种红曲霉以及作为对照的土曲霉的挥发性成分,采用毛细管气相色谱法得到色谱图,进行数据分析。结果表

明,不同种红曲霉挥发性成分的种类和含量均存在显著差异,从而认定毛细管气相色谱法对于鉴别红曲霉属真菌具有一定的实用价值,同时为红曲霉挥发性成分的分析提供可靠数据。

Wu 等^[24]通过气相色谱法对 23 种不同贝母中的 7 种主要活性碱生物进行检测,发现这 7 种类固醇生物碱可以作为一项有效的指标,根据贝母中这些生物碱的种类和含量,可以区分不同地理分布的贝母。结果表明,气相色谱可以作为一种简单而统一的方法,区别不同来源的贝母草药。

气相色谱法通常与其他方法(如质谱、光谱)联用,才能获得相对精确具有实际应用意义的结果。滕中秋等^[25]应用基于顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱技术(headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)的满山香挥发性成分的定性分析与半定量的分析方法,对云南武定、云南罗平、贵州清镇与湖北神农架 4 个不同产地的满山香中挥发性成分进行分析,共鉴定出了 54 种成分,4 个产地共有 46 种相同的挥发性成分,其中蒎烯最高,2-蒎烯、桉叶油醇、对伞花烩、乙酸冰片酯、衣兰油烯、桉烯、石竹烯等也具有较高的含量;所鉴定成分的含量分别占各自挥发性物质总量的 98.63%、98.17%、98.62% 以及 98.12%。试验结果表明,采用该联合技术能够很好地表征满山香的挥发性成分的组成信息,通过挥发性组分分析可以区分 4 个产地的满山香。从而认定,顶空固相微萃取与气相色谱质谱联用技术可以有效、快速地分析满山香的挥发性组分并对不同产地样品进行区分,是一种行之有效的鉴别技术。

1.5 液相色谱技术 液相色谱技术主要操作就是以高压输液泵为主要的运行设备,将诸多成分比例不同的混合溶液或者单一溶液形成的流动相,借助设备压进固定相的专有色谱柱,注入样品中,从而借助流动相流入色谱柱,在色谱柱里,各种成分会得到充分地分离,然后逐渐进入检测设备,对样品展开全方位的化学分析,是中药产地溯源中的关键方法^[26]。

Li 等^[27]应用高效液相色谱法,使用超高效液相色谱仪分析厚朴酚、和厚朴酚的含量,使用冷浸法测定水溶性提取物的含量,分别用电子鼻和色度计确定所收集的厚朴样品的气味和颜色特征。基于电子鼻和色度计数据建立了不同的判别模型,以区分厚朴的起源,并预测厚朴酚、和厚朴酚、厚朴素、厚朴碱和水溶性提取物的化学成分。结果表明,随机森林分类器与十倍交叉验证法相结合,对原产地的分类精度最高,占模型的 99.53%。5 种化学成分的预测值与试验值之间的相关系数均高于 0.96。研究表明,电子鼻和色度计是定性和定量评估中药质量的有前途的方法。

Cui 等^[28]基于高效液相色谱(HPLC)指纹图谱分析与相似度分析、层次聚类分析(hierarchical cluster analysis, HCA)、主成分分析(principal component analysis, PCA)和单一标记定量分析(quantitative analysis multi-components by single marker, QAMS)相结合的分析方法,建立了一种全面有效的鉴定石韦叶药材质量的评价方法。收集 20 个通用模型的

峰,用于相似性分析、HCA、PCA 和 QAMS 分析。这些方法得出了类似的结论:HCA 和 PCA 将 42 例石韦叶样品分为 3 类,且大部分成分相似的样品主要集中在山西、广西和四川等地区。当将 QAMS 方法与外标方法(external standard method, ESM)进行比较时,通过绿原酸的值来评估石韦的质量是可行的。总之,这些方法已成功用于鉴定草药来源和评估石韦叶的质量。因此,这些评价方法有望在中药的质量控制中得到广泛应用。

Zhou 等^[29]建立快速有效的加压液体萃取(pressurised liquid extraction, PLE)和超高效液相色谱结合光电二极管阵列(ultra-performance liquid chromatography coupled with photodiode array, UPLC-PDA)方法来评估甘草种类的质量。在 3 个静态萃取循环中,甘草用 PLE 在 70 °C 和 100% 的乙醇中萃取 15 min,使用 UPLC 系统进行分离,对中国不同批次的 12 批样品中的 5 种生物活性化合物进行定量,这 5 种生物活性化合物分别为:脂质体皂苷、脂蛋白、脂蛋白原、甘草酸和甘草次酸。此外,使用超高效液相色谱仪结合电喷雾电离和飞行时间质谱仪(UPLC/electrospray ionisation and time-of-flight mass spectrometry, ESI-QTOF-MS)系统对样品进行分析,以确认结果。结果表明,所有 5 种分析物的校准曲线均显示出良好的线性($R^2 > 0.9997$)。准确性、精度和可重复性均在要求的范围内。在 3 种浓度下测得的平均回收率均高于 93.7%。从而认定,建立的 PLE 和 UPLC-PDA 方法可作为快速有效的甘草质量评价方法。在中药的常规质量控制中,特别是在需要高样品通量和快速分析速度的情况下,可以认为 UPLC 技术是 HPLC 的一种值得注意的替代方法。

1.6 代谢组技术 代谢组技术是通过各种检测方法对提取物中的代谢物进行全面定性和定量分析。随着核磁共振(nuclear magnetic resonance, NMR)、液相色谱-质谱(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)和气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)等技术的迅速发展,代谢组技术已广泛用于中药资源研究^[30]。

Nguyen 等^[31]通过基于 DNA 技术对来自韩国和中国的 60 个人参样品的 23 个叶绿体基因间隔区域进行研究,显示出相似的遗传组成。因此,应用基于¹H NMR 和潜在的结构鉴别分析(orthogonal projections on the latent structure-discrimination analysis, OPLS-DA)上具有正交投影的代谢组学,并成功找出 7 种主要代谢物作为判别标记物,用于区分来自 2 个国家的样品。此外,为了在现实中重现掺假,使用新建的 OPLS-DA 模型测试了 21 个韩国/中国比率不同的混合样本。结果表明,根据混合比例,分离效果令人满意。最后,构建了具有良好预见性的混合比例程序,通过指出伪造样品的混合比例,评估故意混合样品,从而验证了其在中药质量控制的应用前景。

Kang 等^[32]采用了基于 NMR 的代谢组方法,并结合了正交投影来进行潜在的 OPLS-DA 多变量分析。首先通过 NMR 研究分析了黄芩的代谢产物,随后使用 OPLS-DA 进行的整体数据分析产生一个统计模型,该模型可以清晰地区分

样本组。通过统计分析全相关光谱,确定了柠檬酸和精氨酸是韩国和中国样品的主要区别代谢物。为了验证判别模型,使用外部测试集对样本来源进行了盲预测测试。产生的模型正确预测了所有 11 个测试样品的来源,证明了其稳定性。该方法的准确鉴别力和统计有效性表明了其在确定中药来源方面具有普遍适用性。

Suzuki 等^[33]将基于电子电离质谱 (electron ionization mass spectrometry, EI-MS) 的代谢组方法应用于苦参,以鉴定每个样品的地理来源。使用 EI-MS 数据进行主成分分析,得出的分数图显示,日本苦参样本与中国苦参样本存在差异。因此,认定基于 EI-MS 数据的代谢组是确定苦参样品地理起源的有价值的工具。结果表明,基于 EI-MS 的代谢组适用于包含许多成分的传统药物的质量控制。

Li 等^[34]采用代谢组方法比较了不同生长区域的 3 批款冬花。结果表明,3 批款冬花的一级和二级代谢产物互不相同。正丁醇提取物的聚集模型与原油提取物和血清的聚集模型相似,表明极性化合物(如苯丙烷和类黄酮)在款冬花水提取物中起重要作用。结果表明,代谢组方法可以用作鉴别不同来源的中药。

1.7 矿物元素技术 常见的矿物元素技术有电感耦合等离子体质谱(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)技术和 X 射线衍射(X-ray diffraction, XRD)技术等, ICP-MS 技术是以等离子体为离子源,将待测物质用电感耦合等离子体离子化后,按离子的质荷比分离,测量各种离子谱峰强度的一种质谱型元素分析方法。ICP-MS 提供中药中无机元素信息,在中药的组成、含量及品种差异等方面都有应用^[35]。与传统无机分析技术相比,ICP-MS 技术具备检出限更低、动态线性范围更宽、干扰更少、分析精密度和分析速度较高等优点^[36]。

通过 ICP-MS 技术,刘圣金等^[37]检测出了青礞石药材中的 25 种矿物元素,除了硅元素(均值达到 260.8 mg/g)外,铁、钠、钾、铝、镁、钙等元素的含量亦较高,均值依次为 75.0、39.8、37.5、32.0、25.3、14.4 mg/g,确定以上 7 种元素为青礞石主要成分,对青礞石的质量控制具有一定的现实意义。

李沁等^[38]测定玄明粉中无机元素的含量,结果筛选出 8 种主要无机元素(均值含量>0.5 mg/kg),得出大多数样品的相似度较好。这项研究为玄明粉提供了在安全性评价及其质量标准的制定等方面的参考依据。

与此同时,XRD 技术是一种针对固体粉末样品测试的现代分析方法,将矿物药样品制成粉末进行 X 射线照射可得到 XRD 图谱。XRD 图谱具有重现性好、专属性强等优点,在矿物药的鉴别和质量评价中具有独特的优势^[39]。

谢仁权等^[40]使用粉末 XRD 技术测定和分析了 10 个不同产地玄精石正品,对其进行元素含量的整体特征,利用 XRD 整体识别法,直接获取 10 批玄精石的 X 射线共有图谱,发现不同产地的玄精石 X 射线衍射指纹图谱相似度均超过 98%,同时分析了不同产地微量元素的有无及含量,发现存在明显差异,为玄精石的质量控制、快速鉴别和安全用药

提供了更为全面可靠的依据。

2 研究趋势

2000 年后,稳定同位素技术、DNA 技术、光谱技术、气相色谱技术、液相色谱技术、代谢组技术、矿物元素技术应用于中药产地溯源与真伪鉴别的文献数量随年份的变化如图 1 所示。2000—2005 年,中药产地溯源与真伪鉴别的文章数量较少,可能是因为技术相对不成熟,条件相对局限所致;从 2006 年开始,中药产地溯源与真伪鉴别研究呈快速上升趋势,2010 年后研究数量增长迅速,2012 年前后有所下降,直至 2015 年后发表数量又迅速升高,可见随着设备和技术的提升,人们对中药产地溯源与真伪鉴别的研究愈加丰富。

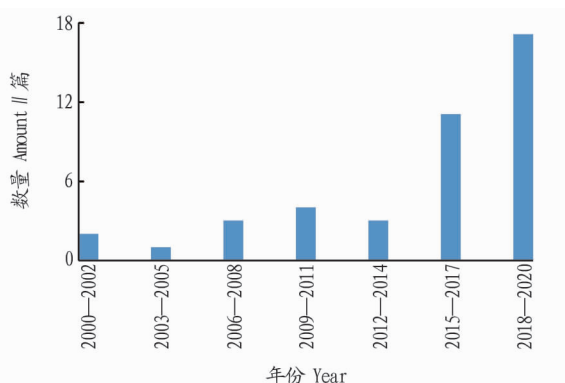


图 1 中药产地溯源与真伪鉴别文章数量随年份的变化

Fig.1 The number of articles on the origin and authenticity of traditional Chinese medicine origin changes with years

分析技术在中药产地溯源与真伪鉴别中获得了广泛的关注,不同的分析技术有着不同的优势与特点。7 种溯源技术在国内外中药产地溯源与真伪鉴别中的应用比例见图 2。稳定同位素技术在中药产地溯源与真伪鉴别中应用所占比例较多,主要因为稳定同位素技术在近几年开始变得成熟稳定,准确率高且成本较低,从而被广泛应用;因大多数中药都有 DNA 的存在,包含了丰富的物种特异性信息,因其独有的遗传特性,从而 DNA 技术在近几年逐渐普及;矿物元素技术占较高的比例是因其灵敏度高、分析速度快、特异性强等特点而应用较多;虽然光谱技术、代谢组技术、液相色谱技术和气相图谱技术应用较少,但各具优势,在今后溯源技术的

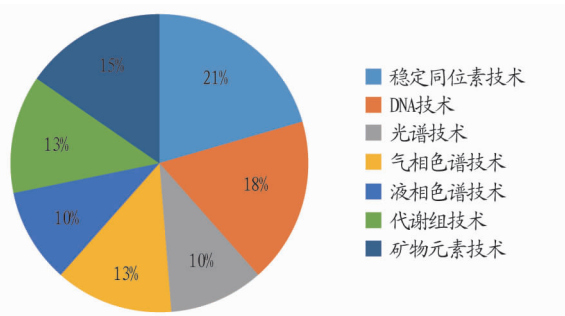


图 2 7 种分析技术在中药产地溯源与真伪鉴别中的应用

Fig.2 The application of seven analysis techniques in the traceability and authenticity research of the origin of traditional Chinese medicine

联合应用中将发挥重要作用,许多研究是通过 2 种及以上的技术得出相对精确的试验结果。

3 结语

随着设备的普及和技术的提升,应用于中药产地溯源和真伪鉴别的技术在不断完善,但因为我国中药种类繁多,中药产业发展方式粗放,目前还没有一种技术可以完全独立且准确地应用于中药的溯源管理和真伪鉴别。每种技术都有各自的优缺点,在实际应用的过程中可以根据每种技术的优缺点,扬长避短,多种技术联合应用,再联系我国中药的生产特点,实施最大范围的全程可追溯管理,建立一套完整的追溯体系。随着国民安全意识的增强和国家对医药安全的重视,中药产地溯源系统的发展将得到优化,真伪鉴别技术发展越来越快,不断加大仿品伪品的打击力度,溯源技术将朝着快速化、精准化、微量化、多样化和标准化的方向发展。

参考文献

- [1] 张宏武,黄文龙.从我国中药企业的现状看中医药的传承与发展[J].中国卫生事业管理,2020,37(3):193-196.
- [2] 邓彬,国锦琳,华桦,等.基于全产业链标准整合的中药材质量保障与溯源系统[J].世界中医药,2021,16(14):2073-2076.
- [3] 王黎明,吴浩,林光辉.稳定同位素技术在中药产地溯源方面的应用研究进展[J].同位素,2015,28(4):225-232.
- [4] 黄志勇,杨妙峰,庄峙厦,等.利用铅同位素比值判断丹参不同产地来源[J].分析化学,2003,31(9):1036-1039.
- [5] 郭波莉,魏益民,潘家荣.同位素指纹分析技术在食品产地溯源中的应用进展[J].农业工程学报,2007,23(3):284-289.
- [6] CHOI S M,LEE H S,LEE G H, et al.Determination of the strontium isotope ratio by ICP-MS ginseng as a tracer of regional origin[J].Food chemistry,2008,108(3):1149-1154.
- [7] ROSNER M.Geochemical and instrumental fundamentals for accurate and precise strontium isotope data of food samples;Comment on "Determination of the strontium isotope ratio by ICP-MS ginseng as a tracer of regional origin"(Choi et al.,2008)[J].Food chemistry,2010,121:918-921.
- [8] HORACEK M,MIN J S,HEO S C, et al.Discrimination between ginseng from Korea and China by light stable isotope analysis[J].Pubmed,2010,682(1/2):77-81.
- [9] MAGGI L,CARMONA M,KELLY S D, et al.Geographical origin differentiation of saffron spice (*Crocus sativus* L.stigmas)-Preliminary investigation using chemical and multi-element (H,C,N) stable isotope analysis[J].Food chemistry,2011,128(2):543-548.
- [10] 姜千,辛天怡,宋经元.DNA 条形码技术在中药全产业链的应用进展[J].药理学,2020,55(8):1784-1791.
- [11] 刘珊珊,魏守辉,朱晶晶,等.泽泻的本草考证、原植物调查及 DNA 条形码鉴定研究[J].中国中药杂志,2020,45(7):1536-1544.
- [12] 宓鹤鸣,邢旺兴,程荣珍,等.随机扩增多态性 DNA 技术在中药红曲基原菌系统分类中的应用[J].第二军医大学学报,2000,21(10):944-946.
- [13] ZHONG Y C,WANG H Y,WEI Q H, et al.Combining DNA barcoding and HPLC fingerprints to trace species of an important traditional Chinese medicine *Fritillariae Bulbus*[J].Molecules,2019,24(18):1-12.
- [14] DUAN B Z,WANG Y P,FANG H L, et al.Authenticity analyses of *Rhizoma Paridis* using barcoding coupled with high resolution melting (BarHRM) analysis to control its quality for medicinal plant product[J].Chinese medicine,2018,13:1-10.
- [15] 樊从照,朱军,赵亚琴,等.基于 DNA 条形码技术的新疆民族药材天山董菜基原研究[J].世界科学技术-中医药现代化,2019,21(3):553-558.
- [16] 张彩云,黄珊珊,颜海飞.DNA 条形码技术在中药鉴定中的应用进展[J].中草药,2017,48(11):2306-2312.
- [17] 熊波,赵志礼,倪梁红,等.DNA 条形码技术在中药鉴定中的应用/局限性与展望[J].中药材,2015,38(10):2202-2206.
- [18] 乔淞汾.三维荧光图谱在几种中成药鉴别中的应用[D].石家庄:河北师范大学,2020.
- [19] 李春美,陈娜,谭超,等.基于光谱技术实现中药三七的真伪识别及产地分析[J].当代化工,2020,49(5):834-837.
- [20] FAN Q M,CHEN C Y,HUANG Z Q, et al.Discrimination of *Rhizoma Gastrodiae* (Tianma) using 3D synchronous fluorescence spectroscopy coupled with principal component analysis[J].Spectrochimica acta part A: Molecular and biomolecular spectroscopy,2015,136:1621-1625.
- [21] 苗芳.色谱技术在中药检验中的应用分析与研究[J].中国处方药,2018,16(7):22-23.
- [22] 赵杰.现代色谱技术在中药检验中的运用研究[J].中国医疗器械信息,2016,22(2):22-23.
- [23] 邢旺兴,宓鹤鸣,陈斌,等.中药红曲基原真菌的毛细管气相色谱法鉴别[J].第二军医大学学报,2001,22(5):429-431.
- [24] WU X,CHAN S W,MA J, et al.Investigation of association of chemical profiles with the tracheobronchial relaxant activity of Chinese medicinal herb *Beimu* derived from various *Fritillaria* species[J].Journal of ethnopharmacology,2018,210:39-46.
- [25] 滕中秋,郝庆秀,金艳,等.基于 HS-SPME-GC-MS 的不同产地彝药满山香挥发性成分比较研究[J].中国中药杂志,2018,43(15):3216-3222.
- [26] 王艳博,李芳蓉.高效液相色谱法简介及其在药品检验中的应用[J].农家参谋,2020(4):217.
- [27] LI J H,SHAO Y Y,YAO Y B, et al.A novel quality evaluation method for magnolia bark using electronic nose and colorimeter data with multiple statistical algorithms[J].Journal of traditional Chinese medical sciences,2020,7(2):221-227.
- [28] CUI L L,ZHANG Y Y,SHAO W, et al.Analysis of the HPLC fingerprint and QAMS from *Pyrrosia* species[J].Industrial crops & products,2016,85:29-37.
- [29] ZHOU S J,CAO J L,QU F, et al.Simultaneous determination of five bioactive components in radix glycyrrhizae by pressurised liquid extraction combined with UPLC-PDA and UPLC/ESI-QTOF-MS confirmation[J].Phytochemical analysis,2013,24(6):527-533.
- [30] 冯敏,张文智,张雯霞,等.植物代谢组学技术在中药资源研究中的应用[J].药物评价研究,2020,43(4):785-789.
- [31] NGUYEN H T,LEE D K,CHOI Y G, et al.A ^1H NMR-based metabolomics approach to evaluate the geographical authenticity of herbal medicine and its application in building a model effectively assessing the mixing proportion of intentional admixtures: A case study of *Panax ginseng* [J].Journal of pharmaceutical and biomedical analysis,2016,124:120-128.
- [32] KANG J,CHOI M Y,KANG S, et al.Application of a ^1H nuclear magnetic resonance (NMR) metabolomics approach combined with orthogonal projections to latent structure-discriminant analysis as an efficient tool for discriminating between Korean and Chinese herbal medicines [J].Journal of agricultural and food chemistry,2008,56(24):11589-11595.
- [33] SUZUKI R,KAI H,UESAWA Y, et al.Electron ionization mass spectrometry-based metabolomics studies of *sophora flavescens* can identify the geographical origin of root samples [J].Natural product communications,2016,11(1):73-75.
- [34] LI Z Y,LI J,ZHANG Z Z, et al.NMR-based metabolomic analyses for the componential differences and the corresponding metabolic responses of three batches of *Farfarae Flos* [J].Chemometrics and intelligent laboratory systems,2017,165:1-10.
- [35] 李菁,张晓博,邹童阳,等.ICP-MS 在矿物药质量评价中的应用研究综述[J].亚太传统医药,2018,14(1):90-94.
- [36] 刘圣金,王瑞,吴德康,等.现代技术在矿物药研究中的应用[J].中国现代中药,2015,17(9):869-877,904.
- [37] 刘圣金,吴德康,林瑞超,等.矿物药青礞石无机元素的 ICP-MS 分析[J].药物分析杂志,2010,30(11):2067-2074.
- [38] 李沁,吴春敏,邹义翔.ICP-MS 法测定玄明粉中无机元素的含量[J].海峡药学,2014,26(2):52-54.
- [39] 黄必胜,明晶,陈科力.X 射线衍射指纹图谱在矿物药中的研究进展[J].中南民族大学学报(自然科学版),2015,34(4):45-49.
- [40] 谢仁权,李玮,王贤书,等.基于现代分析技术的矿物药玄精石质量控制和快速鉴别研究[J].安徽农业科学,2019,47(9):182-185.