

中药材全生命周期的溯源体系构建与实践

陈明龙¹, 覃桂^{2,3}, 占方玲^{2,3}, 常淮阳⁴, 张兴明⁴, 李荣胜⁴, 葛锦蓉^{2,3*}, 汪波^{2,3*}

1. 湖北中医药大学药学院, 湖北 武汉 430065
2. 湖北省药品监督检验研究院, 湖北 武汉 430075
3. 国家药品监督管理局中药质量控制重点实验室, 湖北 武汉 430075
4. 上海百洋制药科技有限公司, 上海 200942

摘要: 中药材质量的稳定可控直接关系中医药产业的可持续发展, 构建覆盖中药材全生命周期的溯源体系已成为国家政策引导和行业升级的关键举措。系统阐述了中药材溯源体系建设的政策背景与现实必要性, 剖析了中药材全生命周期所涵盖关键节点, 并深入分析了溯源体系核心技术区块链、物联网、大数据等现代信息技术的融合应用。实践表明, 溯源系统的有效应用能显著提升中药质量的透明度和监管效率, 增强消费者信任。然而, 当前体系建设仍面临诸多困境, 包括指标标准化缺失、部分环节技术成熟度不足以及数据可靠性与隐私安全等问题。旨在为中药材溯源体系的进一步完善提供理论参考与实践方向, 建议未来以家种大宗药材为突破口, 通过技术融合降低成本, 完善政策法规, 最终实现“来源可查、去向可追、责任可究”的全品种溯源网络, 推动产业高质量发展。

关键词: 中药材; 质量控制; 数字技术监管; 信息技术; 溯源体系

中图分类号: R28 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)06-2406-13

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.06.032

Construction and implementation of whole-life-cycle traceability system for traditional Chinese medicinal materials

CHEN Minglong¹, QIN Gui^{2,3}, ZHAN Fangling^{2,3}, CHANG Huaiyang⁴, ZHANG Xingming⁴, LI Rongsheng⁴, GE Jinrong^{2,3}, WANG Bo^{2,3}

1. College of Pharmacy, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, China
2. Hubei Provincial Institute for Drug Control, Wuhan 430075, China
3. Key Laboratory of Quality Control of Chinese Medicine, National Medical Products Administration, Wuhan 430075, China
4. Shanghai Baiyang Pharmaceutical Co., Ltd., Shanghai 200942, China

Abstract: The stability and controllability of the quality of Chinese medicinal materials are directly related to the sustainable development of Chinese medicine industry. The construction of a traceability system covering the whole life cycle of Chinese medicinal materials has become a key measure for national policy guidance and industry upgrading. This paper expounds the policy background and practical necessity of the construction of the traceability system of Chinese medicinal materials, and systematically analyzes the key nodes covered by the whole life cycle of Chinese medicinal materials, it also systematically analyzes the integrated application of modern information technologies such as blockchain, internet of things, and big data supported for the traceability system. Practice shows that the effective application of the traceability system can significantly improve the transparency and supervision efficiency of the quality of traditional Chinese medicine and enhance consumer trust. However, the current system construction still faces many difficulties, including the lack of standardization of indicators, the lack of technical maturity in some links, and the problems of data reliability and privacy security. The purpose of this study is to provide theoretical reference and practical direction for the further improvement of the traceability system of Chinese medicinal materials. It is suggested that in the future, taking domestic bulk medicinal

收稿日期: 2025-11-04

基金项目: 湖北省自然科学基金项目 (2025AFD714)

作者简介: 陈明龙, 硕士研究生, 研究方向为分子生药学。E-mail: 1010207793@qq.com

*通信作者: 汪波, 副研究员, 从事生药学研究。E-mail: wangbo@hubyjs.org.cn

葛锦蓉, 主管药师, 从事中药检验与质量控制技术。E-mail: gejinrong@hubyjs.org.cn

materials as a breakthrough point, reducing costs through technical integration, improving policies and regulations, and finally realizing the whole variety traceability network of “source can be traced, whereabouts can be traced, and responsibilities can be investigated”, so as to promote the high-quality development of the industry.

Keywords: Chinese medicinal materials; quality control; digital technology supervision; information technology; traceability system

中药材作为中华传统医药体系的精髓所在,历经数千年发展过程中,已形成一套完整且独特的理论体系与实践系统。从构成维度看,中药材来源呈现多样性,囊括了植物(如人参、丹参等)、动物(如鹿茸、麝香等)、矿物(如朱砂、雄黄等)3大门类,共同构成完整的天然药物资源体系。这一多元化的药材体系,不仅承载着阴阳五行、四气五味等核心中医理论,更凝聚着历代医家君臣佐使、药食同源的宝贵临床智慧,成为中华民族防病治病、养生保健的重要物质基础与文化载体。然而,中药产业链具有纵向延伸性、动态关联性、周期滞后性等特征,其质量控制面临多重挑战。该产业链形成从源头管控(种植/养殖)、过程监管(加工/流通)到终端应用(生产/临床)的完整闭环。具体而言,主要包括3大核心环节:首先是《中药材生产质量管理规范》(good agricultural practice for chinese crude drugs, GAP)与科学采收,其次是中药饮片的标准化炮制(包括趁鲜加工)与精深加工,最后是《药品生产质量管理规范》(good manufacturing practice of medical products, GMP)与临床合理用药。这种多环节、长周期的产业特性亟需建立全流程标准化溯源体系,通过数字化手段实现质量信息全程可追溯。

政策法规对产地溯源与标准体系建设的强化,既保障了中药质量,也推动了产业升级。然而中药材受制于产业链长、环节多、影响因素复杂等特点。中药材质量仍面临源头管控难、过程信息不够透明、产地真实性难以保障等现实问题。随着中医药需求的快速增长,野生道地药材资源日益锐减,影响药材质量稳定性。市场上时有非道地药材作为道地药材销售的现象,这不仅影响临床疗效,更对患者用药安全构成威胁,因此构建中药材溯源体系,可实现对道地产区的精准定位,并对中药材种植、采收、加工及仓储等全生命周期监控,做到“来源可知、去向可追、质量可控、责任可究”的全程溯源,从而以可靠的来源信息提高消费者信任,满足标准化与市场化的核心需求。基于此,本文通过系统梳理中药材溯源体系相关法规政策、流程方法及应用实践,为产业链可视化与标准化提供建议。

1 基于中药材全生命周期的溯源体系建设

1.1 中药市场存在不足

中药材的质量与疗效深受其产地环境、种养管理、采收加工等因素影响。其中道地药材因其独特的生长环境、传统生产方式和悠久的用药历史,被公认为品质更优、临床疗效更佳,由于野生资源的急剧减少加之人工栽培技术尚不成熟,导致市场上道地药材供应不足。尤为严重的是,许多药材在经过产地初步加工和进入流通环节后,出现性状改变的现象,其关键的鉴别特征消失^[1],使得传统的鉴别方法难以区分,如外地黄芪、豆科植物根用作甘肃岷县黄芪,染色扁豆用作酸枣仁、独活用作当归,乌莓用作绞股蓝等。这种来源混淆和伪掺的行为阻碍了中药在现代社会中的疗效接受度^[2],严重损害了消费者对中药功效的信任。同时,加之中药材种植、采收、加工等关键环节的规范和标准尚不完善,直接导致药材质量波动,影响药材质量的稳定性与用药安全性。

1.2 溯源体系建设政策提出

为了保障中药安全有效并促进产业高质量发展,构建覆盖全产业链的中药材追溯体系被确立为破局的关键路径,并逐步从政策层面推进实施。其政策脉络经历了一个从理念萌芽、框架搭建到强制落地、深度完善的持续演进过程,从早期追溯体系概念的提出播下了制度建设的种子。随后,一系列国家战略规划及技术标准相继出台,逐步完善出覆盖“从田间到病床”全链条、明确企业主体责任、鼓励区块链等新技术应用的核心框架;同时随着地方相关政策提出,进一步明确方向,体现了从理论探索到实践落地的完整政策逻辑,通过表1可直观呈现各阶段关键政策节点。

1.3 溯源体系建设关键环节

中药材追溯体系的效能实现,本质上是对产业链关键质控断点的系统性弥合。这一过程并非单一技术应用,而是需在数据链贯通与责任链压实的双重逻辑下,精准锚定各个关键节点,从而保证中药材各环节质量稳定。在中药材生产过程中,主要包括种植、物流、应用三大环节,其中溯源体系建设关键

表1 追溯体系相关政策梳理

Table 1 Policies related to traceability system

分类	时间	政策	要点
国家 层面	2010-11	《第3届中医药现代化国际科技大会》	提出中药材质量可追溯体系的概念
	2011-12	《国家药品安全规划（2011—2015年）》	建立中药材流通追溯体系，促进常用中药材规范化生产
	2012-10	《关于开展中药材流通追溯体系建设试点的通知》	支持河北保定市、安徽亳州市、四川成都市和广西玉林市开展中药材流通追溯体系建设试点
	2013-10	《关于进一步加强中药材管理的通知》	指出建设中药材流通追溯系统，并通过政策引导鼓励企业逐步使用可追溯的中药材为原料
	2015-04	《中药材保护和发展规划（2015—2020）》	指出中药材追溯体系的环节和目标
	2015-12	《关于加快推进重要产品追溯体系建设的意见》	明确追溯体系建设的指导思想、基本原则及主要目标
	2016-02	《中医药发展战略规划纲要（2016—2030年）》	指出建立中药材生产流通全程质控追溯体系
	2016-09	《关于推动食品药品生产经营者完善追溯体系的意见》	鼓励各行业协同建设追溯信息查询平台
	2016-12	《中华人民共和国中医药法》	明确提出“建立中药材流通追溯体系”（第三十二条），要求中药材经营者记录购销信息，实现来源可查、去向可追
	2017-02	《关于推进重要产品信息化追溯体系建设的指导意见》	将中药材追溯体系建设列为药品追溯体系建设重点之一
	2018-07	《中药材生产质量管理规范》	指出各生产企业应当建立中药材追溯体系，保证中药材各环节可追溯
	2018-10	《关于药品信息化追溯体系建设的指导意见》	明确追溯体系建设的各环节任务和目标
	2019-08	《中华人民共和国药品管理法》	药品上市许可持有人、生产企业、经营企业应当建立并实施药品追溯制度，提供追溯信息，实现药品来源可查、去向可追
	2020-12	《关于促进中药传承创新发展的实施意见》	要求“推进中药材信息化追溯体系建设”，鼓励使用区块链等新技术，推动源头规范化种植
	2022-03	《“十四五”中医药发展规划》	将“健全中药材全产业链质量追溯体系”列为重点任务，强调提升信息化追溯能力，覆盖种植、加工、流通等环节
	2023-02	《中医药振兴发展重大工程实施方案》	将“加快中药材追溯体系建设”列为“中药质量提升及产业促进工程”核心内容，要求提升全产业链质量安全保障能力。
	2024-01	《药品经营和使用质量监督管理办法》	细化经营环节追溯要求，规定中药饮片、中成药经营企业必须建立并实施药品追溯制度，确保信息真实、准确、完整
2025-08	《中药追溯数据集》	明确了中药追溯数据集的具体内容，包括数据项名称、定义（说明）、数据项值的数据类型、数据格式、计量单位及值域等关键指标	
地方 层面	2022-12	山东省《中药饮片生产企业信息化追溯体系建设指导原则》	确保追溯信息的规范与标准，要求每个追溯节点信息准确、完整，建立统一要求的中药饮片追溯系统，实现溯源信息采集、加工、传输和应用的标准化
	2024-09	浙江省《中药全链条追溯体系管理办法》	要求种子种苗→种植→生产→流通→临床使用→代煎服务全程追溯

环节应囊括中药材生命周期以及流通环节。

1.3.1 种质资源管理 中药材基原准确是保证药材质量的最关键因素；中药品种存在地域性命名差异，种源混杂易导致临床用药安全隐患。如三七，正品三七 *Notoginseng Radix et Rhizoma* 为五加科植物三七的干燥根和根茎，具有散瘀止血功效^[3]，但

全国以“三七”为名的代用品超 20 种^[4]。又如女贞子，正品女贞子 *Ligustri Lucidi Fructus* 常与冬青科冬青 *Ilex chinensis* 果实混淆，二者化学成分与药效存在显著差异。这种现象的根源在于缺乏种质资源分子鉴定技术标准，道地药材种植技术规范体系不完善以及全产业链溯源监管机制缺失。目前已有湖

南中医药大学设计的中药种质资源信息系统，实现对中药种质资源相关数据的高效管理，又便于数据的集成、分析和统计，进而挖掘数据中潜在的规律和模式，并提供灵活的数据比对和可视化等功能^[5]，该系统为种质鉴别与质量控制提供了重要技术支撑。

同时，建立基于 DNA 条形码技术的种基原验证系统，结合 GAP 种植标准，也是构建中药质量溯源体系的核心环节之一。因此，开发标准化分子鉴定流程，制定地道药材种植技术规范及建立全流程数字化追溯平台尤为重要。

1.3.2 栽培地管理 中药材的道地性是其品质的核心特征，这一特性不仅由遗传基因决定，还受多重环境因素的综合影响，包括地质构造、土壤特性、大气条件、水文环境及生物群落等。以三七为例，其有效成分的积累与特定环境因子密切相关：1 月降水量和年温差是决定三七总皂苷含量的关键因素，而降水量对黄酮类物质的积累具有促进作用，却会抑制总皂苷、多糖及三七素的合成^[6]。因此环境因素对中药材质量有较大的影响，记录植株生长的环境因素有利于追溯管理。种植基地信息，包括地理信息：全球定位系统（global positioning system, GPS）坐标、地块编号/名称、海拔高度；土壤数据：类型、湿度、温度、整地时间及施肥情况等。在种植前及定期进行环境质量监测（土壤：重金属、农药残留、土壤肥力指标；灌溉水：理化指标、污染物；大气：常规污染物）见图 1。监测需符合《中

药材生产质量管理规范》（GAP）及国家标准，结果纳入溯源档案，作为质量评估的核心依据。通过精准记录环境参数与种植过程，可实现药材全生命周期的质量追溯，为道地性研究提供数据支撑。

1.3.3 采收管理 中药材的成分复杂性与作物属性决定了其化学组成会随生长发育阶段呈现动态变化，这一变化直接影响临床疗效^[7]。大量研究表明采收期（包括年限、季节、月份及物候期）是影响药材药效成分与质量评价的关键因素之一。钱洁等^[8]通过系统研究证实，不同采收方式对中药材的质量有显著影响；针对不同药用部位，需采取相应的规范化采收操作，如根茎类丹参等，应深挖并保持完整，避免损伤导致有效成分流失或发生霉变。皮类药材杜仲等，需采用规范的环剥或条剥工艺^[9]，在保障树木再生能力的同时兼顾树皮厚度和有效成分含量；而对于全草类车前草等，则需严格控制割取部位与晾晒工艺，防止堆沤发热引发霉变或成分分解。因此根据药材性状选择适宜的采收方式，是保证药材质量的前提；同时为防止采收过程对药材质量产生影响，建立完整的溯源记录（采收时间、操作流程等）是质量监控体系的核心支撑，为药材标准化生产和质量稳定可控提供数据依据。

1.3.4 加工管理 中药材的产地初加工是保证其质量的关键环节，合理的加工方式能有效防止发霉、腐烂及虫蛀，确保药材性状的稳定，还能通过规范加工提升药材的贮藏性和运输便利性^[10]。然而，

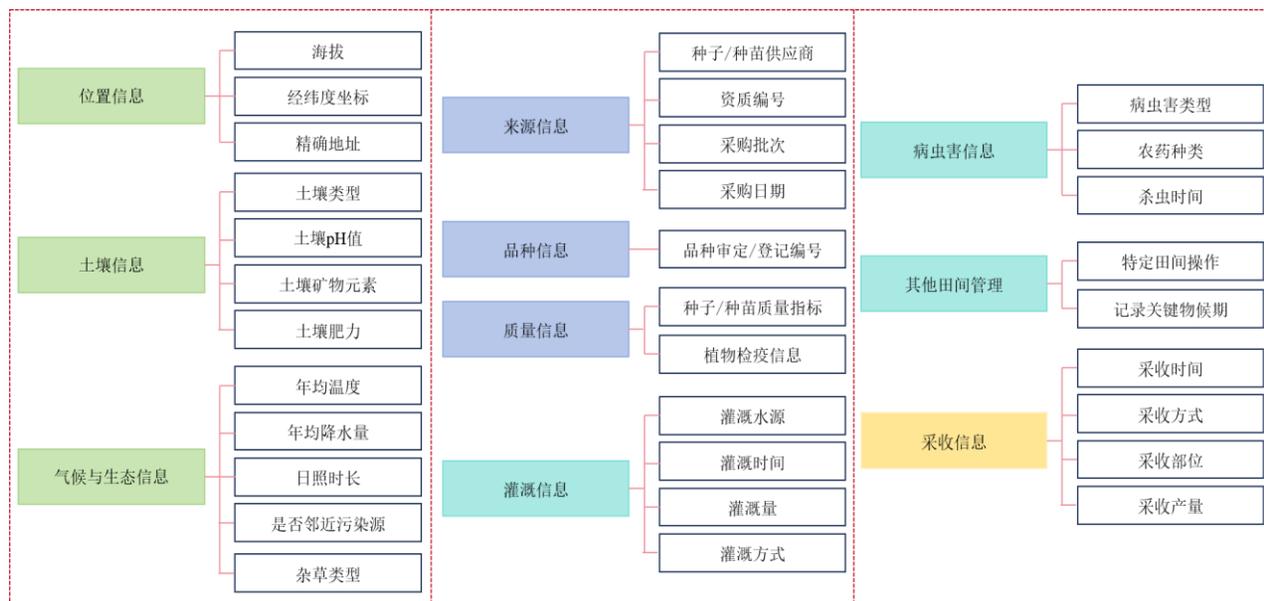


图 1 种植基地选址与田间管理

Fig. 1 Site selection and field management of planting base

加工不当造成药材成分损失也较为常见。如药材采收后未及时干燥，残留水分会激活微生物代谢，破坏药材有效成分^[11]。此外，加工场地条件，如设施完备性、布局合理性、人员专业度等会直接影响整批药材质量^[12]。同时为符合 GAP 管理规范，需建立完整、规范的加工过程记录体系，在加工过程中需记录操作步骤，如净制工艺，干燥参数及切割规格等。通过推行标准化操作并实施全程可追溯的记录管理，能够切实保障加工工艺的一致性与产品质量的可控性，从而为中药材溯源和质量一致性提供坚实基础。

1.3.5 仓储与物流追踪 中药材仓储也是导致药材品质发生差异的关键环节之一，合理的仓储环境如温度^[13]、湿度^[14]、空气^[15]、光照^[16]、生物^[17]等均是影响药材仓储质量的关键因素；由于中药材种类繁多，不同药材对仓储设备和环境有特定要求。养护不当会造成药材走油、发霉、虫蛀等，同时还会滋生大量微生物，增加中药后续加工处理难度，还会造成资源浪费和经济损失，严重者甚至影响治疗效果，损害患者身体健康^[18]。因此，建立溯源系统并对上述条件严格记录并把控，以保证药材质量及仓储环境可追溯。

运输是中药材商品在流通过程中的移动环节，目前运输工作多采用物流方式完成。采取正确的运

输方式，合理地减少中药材运输的中间环节，可加速中药材商品的流通，降低流通过费用，节约运输力和劳动力，保证中药材在运输过程中的质量^[19]。建立完善的追溯体系是保障中医药产品质量、安全、有效的重要手段。通过追溯体系，可以对产品从生产到销售的全过程进行监控和记录，有效跟踪产品来源、流向以及生产过程中的关键环节，一旦出现问题能够快速定位并采取相应措施，保证产品的合规性和可追溯性^[20]。

综上，影响中药材质量的因素多，溯源需做到多环节精准把控；结合图 1 流程，首先确保中药材基原准确，应由专业鉴定人员准确鉴定物种信息，建立纸质与电子双轨制档案，并录入中药材质量追溯平台予以归档备查；其次栽培管理环节由专业技术团队依据产区规划或试验研究成果科学选定适宜栽培区，并将产地的关键地理生态信息录入追溯系统，并实时记录各项监测指标；再次产地加工、仓储物流及运输环节，应该结合图 2 流程。根据不同中药材的特性设定仓储条件，持续记录湿温度等关键参数及物流信息，实现全程可追溯。此举不仅有助于快速定位追溯过程的异常环节，同时为深入研究多元因素对中药材品质形成机制与关键质量属性的影响提供数据支撑。

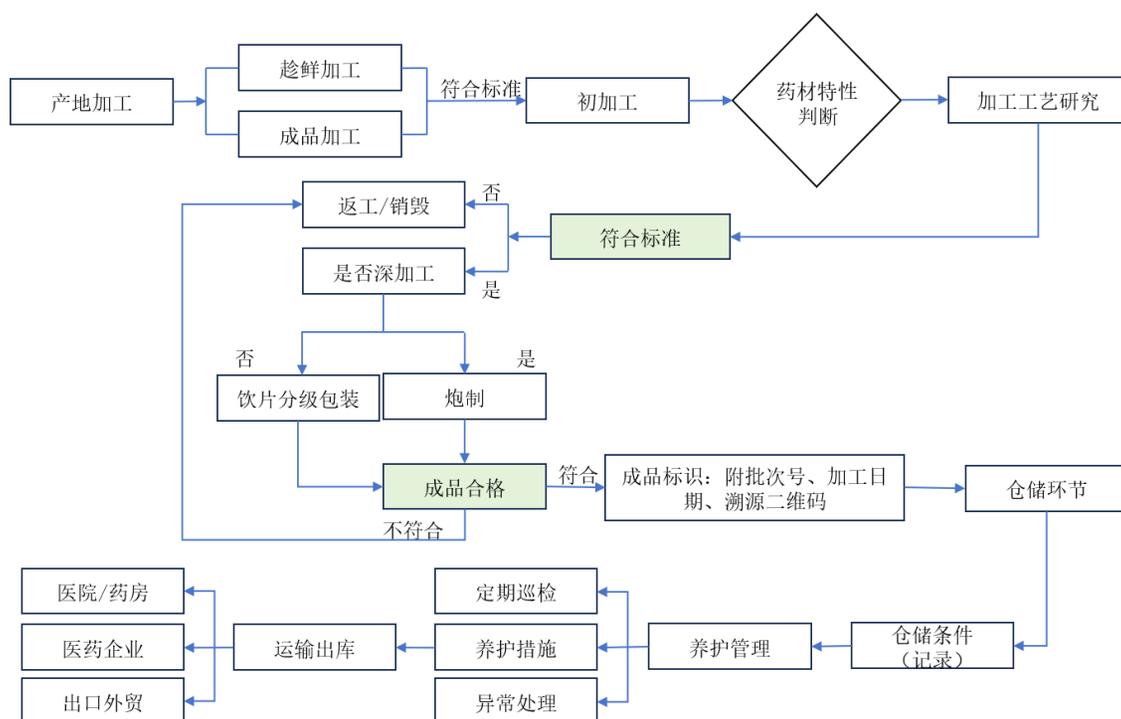


图 2 采收加工、仓储、物流及终端记录

Fig. 2 Harvesting and processing, storage, logistics and end-point records

2 溯源体系建设技术和方法支撑

中药材溯源体系的构建是一项跨学科、长周期的系统工程，需整合多种前沿技术手段，形成覆盖全产业链的数字化监管网络。其核心技术框架主要包括地理信息系统技术、射频识别技术、同位素示踪技术、区块链技术、条形码技术、物联网技术、指纹图谱技术等。

2.1 地理信息系统

地理信息系统 (geographic information system, GIS) 是一门融合地理学、地图学、遥感技术与计算机科学的交叉学科，其核心功能在于对地理数据的采集、存储、分析及可视化。在中药资源研究中，GIS 技术展现出显著的应用价值。Yu 团队基于改进的中药分布预测程序中中药材产地适宜性分析地理信息系统-II (traditional chinese medicine of geographic information system-II, TCMGIS-II)，整合了中国国家地理、气候和土壤类型数据库，识别出 17 个省份 660 个县，总面积为 $3.63 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的生态因子与唐古特大黄原生境高度匹配^[21]。Wen 等^[22]、Wang^[23]等联合最大熵 (maximum entropy, MaxEnt)

模型与 GIS 技术，通过量化气候变化对黄芪分布的影响，结果显示黄芪当前适生面积 188.41 km^2 ，未来 3 种气候情景下均呈扩张趋势，最大为 212.70 km^2 。而华北持续为核心适生区，西南适生区萎缩，新疆将成为新兴开发区域。通过构建生态适宜性指标体系与评价模型，研究证实 GIS 分析结果与实际植物生长状况高度吻合。该成果为中药材种植区划优化与资源保护提供了科学依据，支撑了产业空间管理策略的制定。

2.2 射频识别技术

射频识别技术 (radio frequency identification, RFID) 作为自动识别技术的核心分支，通过无线射频信号实现非接触式双向数据通信，完成对电子标签/射频卡的读写操作，从而达成目标识别与数据交换^[24]。在中药领域，该技术已应用于中药材物流仓储管理系统，实现库存动态监控与自动化分拣^[25-26]。作为一种典型的无线通信技术，RFID 在中药材供应链管理中展现出高效的追踪与信息管理能力。RFID 标签支持信息的实时采集与传输，实现了中药材从种植到消费端的数据贯通，构建不可篡改的质量追溯链，见图 3。

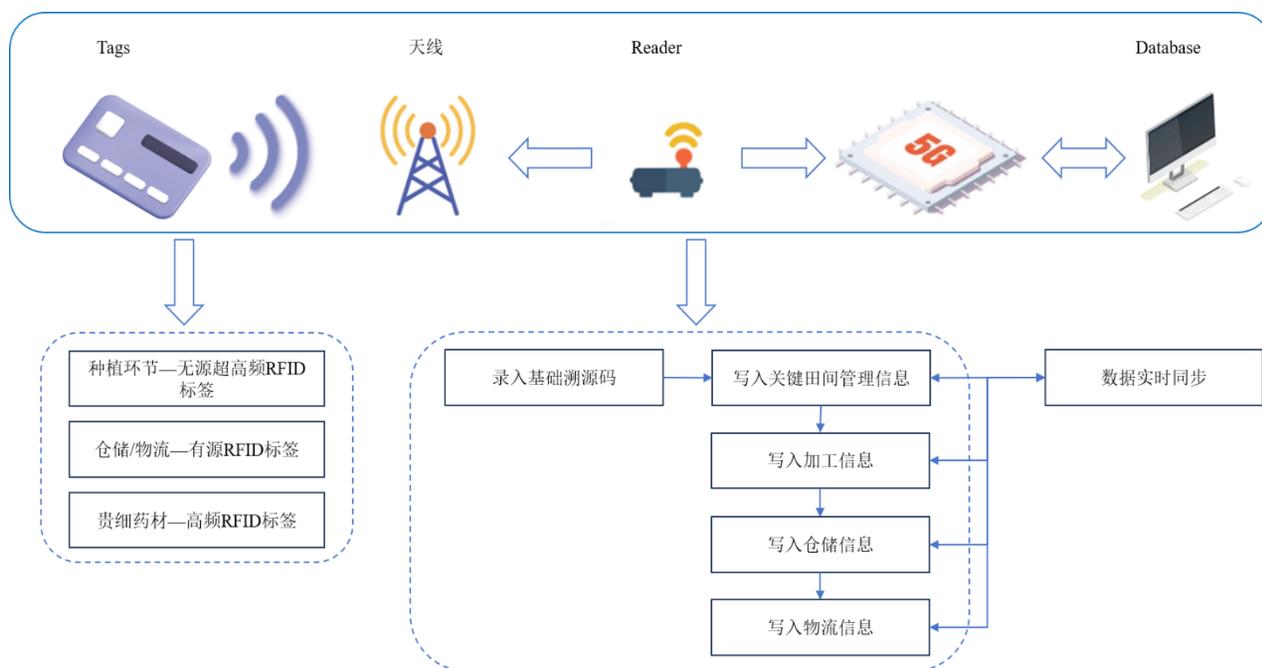


图 3 射频技术流程

Fig. 3 RFID technology process

2.3 同位素示踪技术

同位素 (isotope, ISO) 是指具有相同质子数但中子数不同的核素，在元素周期表中占据同一位置。这类核素既存在化学性质的相似性，又因质量

差异表现出可分离性，这一特性使其能够通过技术手段进行分离与分析^[27]。因此，稳定 ISO 信息可用于直接追踪生物的起源^[28]。稳定 ISO 分析是识别农产品地理来源鉴定的有效工具，不同地理区域的土

壤、水、大气等环境因素会导致植物吸收的碳、氮、氢、氧等稳定 ISO 比率产生差异。通过测量中药材中 ISO 比值，且测量结果不受加工工艺影响，能直接反映生物生长环境特征。丁颖等^[29]揭示生态因子对三七不同部位 δ_c 值的影响，证实纬度和年降水量是主导因子，为跨区域溯源提供了理论框架。Meng 等^[30]通过分析青海、宁夏与新疆枸杞中挥发性化合物（柠檬烯、川芎嗪、藏红花醛、香叶酮和 β -离子酮）的 δ_c 值，发现川芎嗪、香叶酮和 β -离子酮的 δ_c 值是最优鉴别变量，其线性判别分析（linear discriminant analysis, LDA）模型准确率达 87.6%。ISO 示踪技术通过稳定 ISO 的环境信息载体特性，实现了对生物生长外部条件的精准反演，其数据稳定性与抗干扰能力使其成为产地溯源的核心技术手段。

2.4 区块链技术

区块链（blockchain, BE）是一种块链式存储、不可篡改、安全可信的去中心化分布式账本^[31]，结合分布式存储、点对点传输、共识机制、密码学等技术^[32]。张程晨等^[33]设计的 BE 中药材溯源系统，解决了传统溯源系统信息协调不一致、信息不透明等问题，实现对中药材信息的全过程溯源。Wang 等^[34]为规避中药溯源系统中信息爆炸、敏感信息泄露和可扩展性差等造成的 BE 应用风险，提出轻量级 BE 框架，与以太网相比，当向 BE 添加新区块并进行搜索时，效率有所提高。基于 BE 技术构建的中药材从生产到商品的全过程溯源体系，可最大程度地减少信息不对称，抑制劣药假药在市场的流通，提高中药市场信誉见图 4。

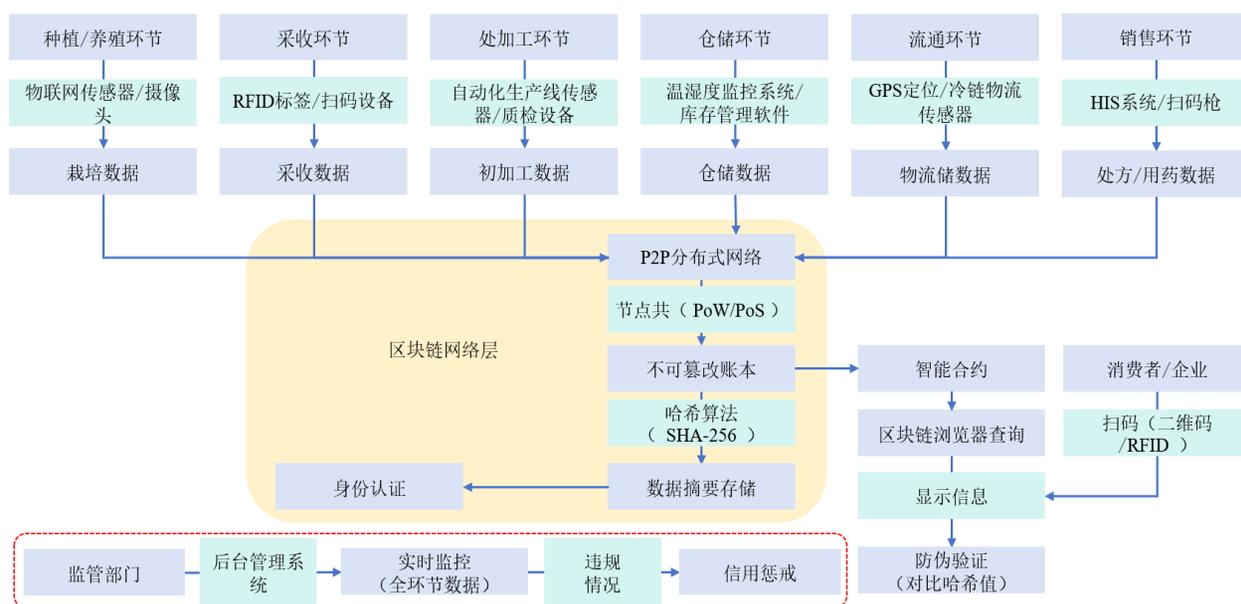


图 4 BE 技术流程

Fig. 4 BE technology process

2.5 条形码技术

溯源体系中条形码技术目前主要指一维和二维条形码，一维条形码技术可以发现流通环节的操作问题，能标识商品，而不能对产品进行描述，对电脑网路和资料库依赖性强，而不具有对药品所归属的物种名进行验证^[35]。基于此通过对传统中药指纹图谱进行加工处理，可以转化为 QR code 二维码^[36]。DNA 条形码是利用生物体 DNA 中一段保守片段对物种进行快速准确鉴定的新兴技术，其要求 DNA 片段能代表物种、片段较短且易扩增^[37]。DNA 条形码技术的发展已有效地用于药用植物和中药产品的

鉴定，保证了消费者的安全^[38]。目前对于 DNA 条形码的运用已较为成熟，可用于多种中药材的基原鉴定。张艳焱等^[39]对皂角子和滇皂角子转录间隔区（internal transcribed spacer 2, ITS2）、psbA-trnH（psbA-trnH intergenic spacer, psbA-trnH）、matK（maturase K, matK）、rbcL（ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit gene, rbcL）序列进行 PCR 扩增和测序，发现其 matK、psbA-trnH 和 ITS2 序列可作为鉴别皂角子与滇皂角子的 DNA 条形码序列组合。Cai 等^[40]将人参 DNA 序列代码和化学指纹转换为二维代码，发现存储人参化学指纹

图谱及其 DNA (ITS2) 序列代码所需的字节数可以大大减少, 且形成的二维码容量约为 0.5 k, 任何智能手机都可以轻松成功地读取和识别, 为构建基于二维码的中药质量追溯体系提供了理论依据。

2.6 物联网技术

物联网 (internet of things, IOT) 作为基于互联网、传统电信网等信息载体的网络架构, 其核心价值在于实现所有可独立寻址物理对象的互联互通^[41]。在中药材溯源领域, 该技术通过嵌入式系统和传感器网络监测中药材生长环境的温度、湿度、光照等关键参数进行记录, 确保中药材的生长环境符合标准规范。栽培人员可远程监控平台动态调控环境参数, 实现异常情况的即时响应, 从而提升中药材质量^[42]。施明毅等^[43-44]通过 NB-IOT, 对传统的 IOT 溯源技术进行完善, 使系统具有较好的可移植性和可扩展性, 对全民参与溯源有促进作用。

2.7 指纹图谱技术

中药指纹图谱 (chinese medicine fingerprint, CMF) 是通过光谱或色谱等现代化技术对中药物质进行系统性表征的技术手段, 能够全面反映中药材的整体特征^[45]。光谱较为常用的有红外光谱 (infrared spectroscopy, IR)、紫外光谱 (ultraviolet and visible spectroscopy, UV)、核磁共振波谱法 (nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMR)、质谱 (mass spectrum, MS); 色谱常用的有薄层色谱 (thin layer chromatography, TLC)、气相色谱 (gas chromatography, GC)、高效液相色谱 (high

performance liquid chromatography, HPLC) 和毛细管电泳 (capillary electrophoresis, CE)^[46], 以上分析方法的优劣及应用场景见表 2。王华堂等^[47]采用 GC-MS 联用技术, 分别构建蜂龙眼蜜和意蜂龙眼蜜挥发性成分 GC-MS 指纹图谱, 为蜂蜜的品质评价及分类提供参考。张慧文等^[48]联合应用傅里叶红外光谱法 (fourier infrared spectroscopy, FTIR) 和 HPLC 技术, 对 4 个产地 6 批次萆苈进行分析, 结果显示 2 种方法评价结果高度一致, 各批次化学成分稳定, 证实了该技术的可靠性。由此, 光谱与色谱技术通过捕捉中药材的化学成分特征, 为中药溯源提供了精准的成分依据和标准化的检测手段, 可直接解决溯源中产地、品种、加工过程等关键问题。中药溯源的核心是确认药材从哪里来、是什么品种、经过怎样加工, 而不同来源、品种的中药材, 其化学成分 (如生物碱、黄酮、挥发油等) 存在固有差异。光谱和色谱技术则通过锁定产地特征成分、验证品种真实性以及追踪加工合理性实现溯源。单一技术难以覆盖所有溯源需求, 而多技术联用可实现互补验证, 提升溯源准确性。以上 CMF 为中药材质量鉴定与评价建立了科学、客观的标准体系, 显著提升了中药质量控制水平。

2.8 新兴技术融合

在溯源技术的发展进程中, 传统技术与新兴技术的融合创新持续推动着溯源体系的演进。当前中药材溯源领域主要存在 3 种代表性技术路径。首先条形码微生物孢子技术, 该技术通过将设计的非冗

表 2 化学图谱技术

Table 2 Chemical mapping technology

技术	优势	劣势	应用场景
TLC	成本低、操作简、基层适配性好	特异性差、主观强、无定量能力	伪品鉴别
HPLC	分离效能高, 信息全面, 标准化程度高, 法规认可, 适用范围广	成本高, 耗时久, 样品预处理复杂, 对复杂样品的分辨率有限	中药品种的基线溯源
GC	挥发油分离优、特异性强	适用范围窄、仅挥发性成分有效	挥发油类中药
HPLC-MS	特异性与准确性好, 信息量极丰富, 灵敏度高, 法定认可度高	成本高、操作与解析复杂、检测周期长	监管端精准溯源
NIRS	无损快速、便携、现场适配性好	依赖谱库、特异性中等、环境敏感	种植/物流/终端“即时筛查”
IR	快速无损, 适合现场检测, 指纹特征性强, 重复性好	分辨率有限, 无法定量, 对样品状态要求高, 易受环境因素干扰	产地的快速筛查
UV	操作简单方便, 检测成本低	图谱信息条件有限, 不能定量分析	化学成分初步判断
NMR	精准区分产地, 信息全面, 无损伤, 适合珍贵药材, 可与其他技术联用	设备昂贵, 维护成本高, 样品要求高, 耗时久, 数据处理复杂	珍贵药材溯源

余 DNA 条形码集成至常见微生物孢子基因组中, 利用特异性高灵敏酶促解锁检测技术实现条形码识别。凭借孢子的高度稳定性, 该技术可精准追踪中药材来源, 其创新性在于通过共享群序列与特定序列的串联组合, 生成近乎无限的唯一识别码, 满足“一物一码”的溯源需求。作为潜在的中药材溯源方案, 该技术能有效解决来源混淆等难题, 为中药可追溯性提升提供新思路^[49]。其次是 BE 与 IOT 融合技术, 施明毅等^[43]系统构建围绕药品经营质量管理规范 (good supply practice, GSP) 标准, 利用 BE 技术保证信息流通不可篡改的安全性和 NB-IOT 技术采集信息的低耗能性, 构建安全可靠、广覆盖、低成本的技术体系, 对数据的采集传输提供安全可靠的技术支持; 运用互联网及云平台, 对药材流通过程中的信息实时采集、填报及审核, 依赖物联传感设备进行第三方实时效验, 提升源头信息准确性。最后是 RFID 与云平台集成技术, 冯正西等^[50]基于 RFID 和云平台技术建立溯源技术, 实现对中药材种植、生产、加工、储存、运输、销售的全生命周期管理, 提升药材信息透明度, 加强药材质量安全管控, 保证患者用药安全。

3 溯源系统的应用

我国溯源体系经过 10 余年发展, 已逐步构建国家、区域与企业 3 个层面协同推进的架构。国家层面, 政策法规与标准体系构成了溯源体系的顶层设计。自 2011 年《国家药品安全规划 (2011—2015 年)》首次明确建设任务以来, 国家陆续出台了《中华人民共和国中医药法》及相关政策确立了追溯体系建设的地位并指明了责任主体向企业转变的方向。至 2020 年后, 《药品追溯码编码要求》等一系列国家标准的密集出台标志着覆盖全行业的追溯标准体系日趋完善, 为体系建设提供了统一的制度与技术框架。区域层面, 以试点先行为特征, 通过 2012 年起在重点区域的实践探索, 积累技术标准与操作经验, 为全国推广提供支撑; 企业层面, 其角色经历了从被动参与到责任主体的深刻转变; 在国家与行业标准日趋完备的背景下, 企业层面的核心任务转变为具体落实追溯要求, 确保产品全程可追溯, 真正承担起质量安全的主体责任。

目前, 各省已基本形成覆盖生产、加工、流通全流程的质量追溯体系, 通过提高记录的时效性、保证了数据准确性, 并借助互联网形成追溯数据链, 实现生产、加工、流通全流程来源可查、去向可追的

闭环管理, 有效遏制劣质伪药流通, 同时建立快速召回与责任追溯机制, 系统保障中药质量安全^[51]。

3.1 各省份中药材追溯体系应用实例

3.1.1 亳州中药材溯源体系建设情况 亳州作为中国四大药都之一, 自 2012 年起成为首批国家中药材追溯流通体系试点城市。2014 年投入 2 400 万元启动资金, 建立覆盖种植基地、生产企业、交易市场等 127 家试点企业的追溯系统, 率先实现重点品种 (如名贵药材) 的流通环节信息上传。目前, 逐步扩展至亳州 198 家饮片生产企业 (覆盖率 98%), 并延伸至流通、使用环节。技术方面通过 IOT+云计算、“一批一码”监管、智慧预警, 上下连接商务部中央追溯管理平台和中药材各种植、流通节点追溯子系统, 每日通过溯源案秤交易的信息超过 200 余条, 信息上传到中华人民共和国商务部^[52]。

追溯体系建立了“倒逼”机制, 促进和引导中药材种植、生产、经营等环节的规范化。亳州市现行的中药材溯源信息系统为普天和平科技在亳州市建立的中药材体系流通追溯体系平台, 作为商务部支持的中药材流通追溯体系建设的第一批实验城市, 大幅提升了亳州中药材流通的信息水平^[53]。

3.1.2 甘肃省追溯体系建设情况 甘肃省作为我国中药材种植主产区, 具有悠久的种植历史和显著的产业优势, 其覆盖区域广、特色品种多的特点尤为突出。目前全省已形成“1 家国家级市场+7 家区域性市场”的中药材交易体系, 其中国家批准设立的兰州黄河中药材专业市场与自然集聚形成的中国当归城、首阳中药材交易市场等 7 家区域性市场共同构成完整交易网络^[54]。

政策层面, 甘肃省构建了“国家法律+地方方案”的双层政策体系, 全面覆盖种植、流通、加工全产业链条。在药品监管体制改革推动下, 中药材信息化追溯体系建设取得显著进展, 但仍面临挑战。系统建设分散, 数据支撑能力不够; 多部门监管导致协调效率低下; 实际应用中由于操作层面不完善, 缺乏与传统手段对接等问题依旧频发, 阻碍了中药事业的发展^[55]。

3.1.3 吉林省追溯体系情况 吉林省在推进中药溯源方面已出台相关政策, 核心是构建覆盖中药材种植、加工、生产到销售的信息化追溯体系, 重点推进人参等道地药材的溯源工作。《吉林省规范中药材产地趁鲜切制指导意见》(2024 年) 要求对人参、西洋参等品种建立从种植到销售的全过程追溯

体系。《2025年药品生产监管工作要点》明确提出探索重点品种信息化追溯，推进“林下山参”质量标准修订。《对省十四届人大三次会议第0138号代表建议的答复中》提到启动建设全省“数字人参”体系，包括种植基地可视化、病虫害预警、质量控制及产品溯源防伪系统，助力人参产业高质量发展。由于吉林省溯源体系建设起步较晚，虽已初步实现种植环节溯源功能，但仍面临监管机制不完善、实施落地困难及推广普及不足等挑战^[56]。

3.2 企业中药材追溯体系应用情况

在政策规制与市场需求的双重驱动下，中药材溯源体系已从理论构想全面落地为产业实践。其应用范围正从单一环节向全产业链延伸，技术深度从基础信息记录升级为质量智能管控，这一变革正在重塑中药产业的质量治理模式，推动形成“来源可溯、去向可追、责任可究”的新型产业生态。

3.2.1 龙头企业中药材全过程追溯体系建设 自中药材追溯体系概念提出和政策不断完善及落地，许多企业逐步推进中药材种养殖、管理、采收加工至流通等多个环节的全过程追溯体系的建立与应用。例如，云南白药三七全产业链追溯体系建设与应用，体系采用 BE+遥感卫星监控种植基地及 AI 虫情识别系统实时预警等新技术应用，保证三七从种质种苗、田间管理、采收加工等多个环节标准化操作，在保证质量的同时，进一步提升了产量。片仔癀所用麝香原料溯源体系，利用林麝电子围栏+活体 DNA 库，麝香由于资源量少，单价昂贵，因此市场中麝香药材品质参差不齐，因此追溯体系的建立，极大程度降低了麝香药材掺假概率。此外体系在麝香运输与贮藏环节新增利用冷链物流穿透式监控，保证药材品质，降低了供应链成本。同仁堂饮片生产全过程追溯，采用炮制工艺参数 BE 存证，饮片显微图谱 AI 比对，极大程度提高了饮片加工工艺及合格率。东阿阿胶采用驴皮 DNA 溯源，每张入库驴皮采集基因样本，与养殖户信息绑定，加工工艺参数自动记录等技术应用，提高阿胶药材品质。

此外，吉林省作为我国北药资源宝库长白山核心区，中医药资源禀赋突出，享有“北药基地”的盛誉，现为国家重点建设的现代化中药产业基地和新药研发孵化基地。当前，已有延边大阳参业有限公司、神农本草堂（白城）药业公司等企业参与全过程追溯系统建设。其中，神农本草堂（白城）药

业公司率先通过中药材全过程追溯系统 GACP 全面认证，其种苗培育与种植生产严格遵循《中药材种植技术规范》等标准，并与白城市农业科技园生态及中药材研究所合作共建溯源示范基地，通过定制药园模式推进体系建设。

3.2.2 县域合作社中药材追溯体系应用 在政府支持下，县域合作社也逐步开展中药材溯源体系建设；例如，作为道地药材，岷县当归长期面临外地产品冒充问题，导致品牌价值严重流失。当地政府通过免费安装北斗定位电子桩，开发“掌上岷药”APP，当地合作社负责运营管理，统一发放 BE 溯源码标签系统，确保数据不可篡改。实施后，不仅有效保护了道地品牌，更使农户种植收入提升。针对不同药材特性，霍山米斛案例则采取差异化策略，通过政府补贴为种植户配备 IOT 记录仪，实时采集环境数据，同步开发微信小程序，降低农户使用门槛；建立分布式 BE 节点，实现跨主体数据协同。该模式使米斛溯源成本显著降低，同时带动农户收益稳定增长。

3.2.3 中小企业中药材溯源体系应用 中药材溯源体系建设面临技术成本与数字能力是重要影响因素之一，从而导致中药材溯源体系主体出现分层，大型企业积极响应，而中小企业受限于成本压力与合规风险，参与度严重不足。对于中小企业而言中药材溯源所带来的品牌溢价，可能无法覆盖实施成本，导致投资回报率存疑，需通过技术降本和政策扶持来缩小企业间的参与差距。

4 溯源体系建设的困境

聚焦于中药产地溯源主题，现有研究揭示了该领域面临的诸多挑战和现存问题。这些问题主要体现在技术局限性、数据管理与可靠性挑战、供应链及市场复杂性以及整体研究深度不足等方面。

4.1 技术局限性与指标缺乏

目前中药产地溯源技术尚处于探索和试点阶段^[35]。虽然稳定 ISO 和矿质元素分析在中药材溯源中取得了研究成果，但单一技术存在局限性，几乎没有分析技术能够独立完成产地溯源，尤其是在提高溯源准确性时，单一技术的局限性问题会更加突出^[28]。面对中药材巨大的流通量和快速交易，仅依靠 DNA 分子鉴定、CMF、IR、ISO 示踪等实验层面的溯源技术难以满足实时溯源需求。此外，先进的 RFID 技术虽然具有防水、防磁、耐高温、高效率、信息可重复使用、数据实时更新等优势，但其

成本较高,技术尚未成熟,普及性较低,并可能带来隐私和安全隐患^[24],此技术应用更适合于大型个体溯源,而在企业间的推广仍存在一定难度^[57-58]。IOT 和 BE 等先进技术虽然提供了可靠、高效的溯源方案^[52]但大多仍处于“构建”或“设计”的初期阶段^[59],更根本的问题在于大多数中药材的有效溯源指标仍处于探索阶段,尚未建立起一个完整的数据库用于实际溯源。尽管中国在食药同源产品溯源研究方面投入较多^[60],但产地溯源仍有许多未完全深入研究的问题。这表明,即使在相关领域,溯源工作也远未达到理想状态,需要进一步探索和完善。

4.2 数据管理与可靠性挑战

溯源系统的核心价值在于保障信息的真实性与可靠性。然而,当前 RFID 及条形码等溯源技术的有效性高度依赖信息提供者的原始数据准确性,这意味着需要加强企业和个人的诚信建设,并且溯源系统本身需具备识别和排除错误信息的功能。此外,中药材种子种苗的鉴定尤为特殊——由于处于植物生长发育初期,形态特征尚未稳定,传统鉴定方法准确度较低。若源头鉴定失误,不仅会导致巨大的经济损失,更可能引发中药材质量安全危机^[57]。确保从种植、采收到销售等各个环节的信息准确、及时地被录入系统,并有效防止篡改,是一个巨大的管理和执行难题^[61]。这一系列难题表明,溯源系统建设需要技术升级、管理创新与制度保障的协同推进。

4.3 供应链与市场监管复杂性

中药材市场存在问题的核心矛盾在于缺乏有效的内部管理规范,即使依托外部监管和技术平台,溯源有效性仍难以保障^[62]。尽管国家已提出构建全链条质量安全监管与追溯体系,但当前各地仍停留在探索和试点阶段,尚未形成统一、成熟且可大规模推广的管理模式。具体表现为:监管标准待完善,各环节技术规范不统一,协同机制不足如种植、加工、流通主体间信息共享不畅。溯源问题的本质远超技术范畴,而是涉及市场诚信、信息可靠性、管理规范与制度建设的系统工程。

因此,中药产地溯源的症结在于它不仅是一个纯粹的技术问题,更是一个涉及市场诚信、信息可靠性、管理规范 and 制度建设的复杂系统工程。要真正解决这些问题,需要技术创新、管理升级、法律法规以及全产业链参与者共同努力,才能从根本上提升中药材质量可控性与市场透明度,实现“来源可溯、去向可追、责任可究”的产业生态。

5 结语与展望

中药溯源近年来受到广泛关注且研究成果持续增加,但整体仍处于发展初期,现有研究以应用探索为主,理论深度与系统性较成熟领域存在差距。中药材种类繁多,不同品种在种植/养殖、采收、加工及流通环节存在显著差异,这为统一追溯体系的建立带来挑战。

基于中药溯源领域的发展现状与创新趋势,未来行业需采取系统化推进策略,响应国家政策号召。针对中药材品种繁多、溯源难度差异大的特点,优先选择产地集中、用量大的家种品种作为突破口,这类药材种植区域集中,规范化程度相对较高,溯源基础较好。在此基础上,进一步关注与解决小品种及野生品种中的质量和产量问题,提升体系对植物、动物及矿物 3 大门类中药材的适用性和包容性。

当前溯源系统存在数据孤岛问题,跨区域协同能力不足。同时,种植主体以分散农户为主,其信息记录能力有限,导致源头数据采集的时效性和准确性难以保障。土壤、海拔、经纬度等专业地理信息的采集依赖技术人员,但基层技术力量薄弱^[63],加之技术投入成本较高,许多企业面临实施困难。整合全国检测机构数据,降低企业自建谱库成本是推广普及的关键,一方面开发适宜农户使用的数据采集端口,便于信息的收集;另一方面,推动多技术融合降低综合成本,如本文技术介绍方面的多技术融合,以达到融合创新,降低成本,可构建“分层适配、降本增效”的技术应用体系。种植端,开发“手机 APP+蓝牙传感器”轻量化工具,自动采集环境数据,减少人工误差。加工/仓储端,普及检测技术,降低仪器检测成本,推广 RFID 标签,平衡追溯精度与成本。物流/终端,全国统一“中药溯源谱库”。中药材种植追溯体系建设将加强中药材使用端与种植端的结合,减少交易成本,实现双赢。进而降低中药材专业市场和中间商的作用,重构中药材交易体系。

溯源体系的发展离不开政府以及监管部门的有效管理与监督,相关的政策法律函待完善,需打造资金支持+试点先行的落地环境。加大财政与金融支持,对中药溯源项目设置补贴基金。开展全链条溯源试点,选择部分道地药材产区,开展全域溯源示范工程,在现有的探索基础上完善溯源全链条环节,具有完善的、成功的典范后全国推广实施,

形成道地药材等于可溯源药材的市场认知。

中药溯源体系不仅是保障质量安全的关键举措,更是推动产业价值重构的核心要素。未来应遵循“先易后难”原则,从家种大宗药材逐步扩展至野生珍稀品种,最终实现全品种、全流程的溯源网络,达成“来源可溯、去向可追、质量可控、责任可究”的目标。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 肖建才, 闫滨滨, 杨健, 等. 天南星、半夏的PCR-RFLP鉴别 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(6): 194-201.

[2] Zhao D Z, Tian Z Z, Cai J, *et al.* Microbial spore genetic marker technology, a potential technology for traditional Chinese medicine traceability system [J]. *Chin Med*, 2022, 17(1): 61.

[3] 中国药典 [S]. 一部. 2025: 13.

[4] 刘绍欢, 谢欢, 苗菁, 等. 三七及其同名异物类药材的鉴别研究 [J]. 中药材, 2022, 45(7): 1589-1594.

[5] 刘伟, 丁长松, 梁杨. 中药种质资源信息系统的设计与实现 [J]. 中国中医药信息杂志, 2017, 24(5): 5-7.

[6] 康廷国. 中药鉴定学 [M]. 第4版. 北京: 中国中医药出版社, 2016: 21.

[7] 刘锦芮, 赖长江生, 梁嫌, 等. 中药采收期的机理与控制方法的研究进展 [J]. 中药材, 2022, 45(8): 2019-2025.

[8] 钱洁, 周谧, 徐丹洋, 等. 采收期对中药质量影响的研究概况 [J]. 江苏中医药, 2025, 57(9): 83-86.

[9] 赵鸿宾, 魏学军, 孙晓惠, 等. 不同产地加工方法对杜仲多糖含量的影响 [J]. 时珍国医国药, 2016, 27(5): 1113-1115.

[10] 陈正君, 陆国弟, 侯嘉, 等. 甘肃省中药材产业发展存在问题及对策: 以产地加工为例 [J]. 甘肃中医药大学学报, 2024, 41(1): 88-91.

[11] 蔡柱山. 中药材初加工中有效化学成分保留技术研究 [J]. 现代盐化工, 2025, 52(2): 77-79.

[12] 贺学锋, 陈玉武, 魏琪芳, 等. 陇药大宗中药材产地加工存在的主要问题与应对措施探讨 [J]. 中国医药导报, 2025, 22(10): 180-182.

[13] 宋美玲, 罗睿杰, 张琦, 等. 夏天无种茎霉变菌种分离鉴定及生物学特性研究 [J]. 中药材, 2018, 41(11): 2516-2518.

[14] 刘秋桃, 孔维军, 杨美华, 等. 储藏过程中易霉变中药材的科学养护技术评述 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(7): 1223-1229.

[15] 徐仰仓, 李飞飞, 徐金. 臭氧对药用植物活性物质含量的影响 [J]. 时珍国医国药, 2011, 22(12): 2829-2830.

[16] 张芳, 张永清. 不同光照强度下忍冬花蕾大小和药材

质量的比较研究 [J]. 时珍国医国药, 2014, 25(11): 2760-2762.

[17] 曹宇, 吴先勇, 卢丽娟, 等. CO₂ 气调对药材甲的毒力及其能源物质的代谢比较 [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(1): 57-63.

[18] 吴洋. 中药材现代贮藏养护方法分析研究进展 [J]. 中国中医药图书情报杂志, 2025, 49(2): 219-224.

[19] 杨兰, 肖深根. 中药材产地加工与物流管理 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2012, 136.

[20] 许娜, 江永伟, 吴薇, 等. 中医药产业中物流管理技术的应用分析 [J]. 物流科技, 2025, 48(5): 48-51.

[21] Yu H, Xie C X, Song J Y, *et al.* TCMGIS-II based prediction of medicinal plant distribution for conservation planning: A case study of *Rheum tanguticum* [J]. *Chin Med*, 2010, 5: 31.

[22] Wen Z X, Yan K, Zhang M, *et al.* Predicting the potential distribution of *Astragali Radix* in China under climate change adopting the MaxEnt model [J]. *Front Plant Sci*, 2024, 15: 1505985.

[23] Wang H, Zhang C, Zhao L M, *et al.* Analysis of geographic suitability of Chinese medicine based on analytic hierarchy process-fuzzy [J]. *Sens Mater*, 2025, 37(1): 261.

[24] Nagy P, George I, Bernstein W, *et al.* Radio frequency identification systems technology in the surgical setting [J]. *Surg Innov*, 2006, 13(1): 61-67.

[25] 黄新兰, 刘炳顺, 杨扬, 等. RFID 在中药仓储物流投料自动化技术中的应用 [J]. 机电信息, 2020(27): 85-86.

[26] 祝培源, 张改梅, 孙柏青, 等. 基于 RFID 的中药材物流仓储智能化管理系统设计与应用 [J]. 包装工程, 2024, 45(5): 212-219.

[27] 王鹏飞. 稳定同位素技术用于活性炭种类鉴别、核桃产地溯源的方法研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2018.

[28] Zhang T C, Li S, Wang Y H, *et al.* Research progress in the application of stable isotope and mineral element analysis in tracing the geographical origin of Chinese medicinal materials [J]. *Food Sci Technol*, 2022, 42: e08222.

[29] 丁颖, 何忠俊, 陈中坚, 等. 生态因子对三七稳定碳同位素比率的影响 [J]. 云南农业大学学报: 自然科学版, 2014(3): 370-379.

[30] Meng J, Liu Z, Gou C L, *et al.* Geographical origin of Chinese wolfberry (goji) determined by carbon isotope analysis of specific volatile compounds [J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2019, 1105: 104-112.

[31] Zhao W J. Blockchain technology: Development and prospects [J]. *Natl Sci Rev*, 2019, 6(2): 369-373.

[32] 赵婧涵. 基于区块链的光网络资源可信交易技术研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2023.

- [33] 张程晨, 胡为, 夏钰林. 基于区块链的中药材溯源系统研究与实现 [J]. 现代计算机, 2024, 30(24): 210-214.
- [34] Wang Z F, Wang L, Xiao F A, *et al.* A traditional Chinese medicine traceability system based on lightweight blockchain [J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(6): e25946.
- [35] 李西文, 陈士林, 王一涛. 中药质量系统评价研究进展 I: 中药质量可追溯技术研究 [A]// 中药与天然药物现代研究学术研讨会论文集 [C]. 澳门: 中国科学技术协会, 2013: 175-181.
- [36] Cai Y, Li X W, Li M, *et al.* Traceability and quality control in traditional Chinese medicine: From chemical fingerprint to two-dimensional barcode [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2015, 2015: 251304.
- [37] Wang Y J, Yao X J, Liu R, *et al.* DDQR (dynamic DNA QR coding): An efficient algorithm to represent DNA barcode sequences [J]. *PLoS One*, 2023, 18(1): e0279994.
- [38] Mahima K, Sunil Kumar K N, Rakhesh K V, *et al.* Advancements and future prospective of DNA barcodes in the herbal drug industry [J]. *Front Pharmacol*, 2022, 13: 947512.
- [39] 张艳焱, 杨婷婷, 杜琳霖, 等. 皂角子与滇皂角子的 DNA 条形码分子鉴定 [J]. 时珍国医国药, 2025, 36(10): 1893-1899.
- [40] Cai Y, Li P, Li X W, *et al.* Converting *Panax ginseng* DNA and chemical fingerprints into two-dimensional barcode [J]. *J Ginseng Res*, 2017, 41(3): 339-346.
- [41] 罗思福. 物联网技术在计算机监控系统中应用探究 [J]. 信息记录材料, 2021, 22(3): 186-187.
- [42] 黄嫵亦, 施明毅. 物联网技术在中药溯源与质量监管中的应用研究 [J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(21): 129-131.
- [43] 施明毅, 刘崇玉, 温川飙, 等. 基于区块链与 NB-IOT 物联网的中药材流通质量追溯系统的设计与研发 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(17): 4267-4272.
- [44] 刘崇玉, 施明毅, 温川飙, 等. NB-IOT 物联网技术在中药溯源系统中的应用研究 [J]. 时珍国医国药, 2019, 30(12): 3069-3072.
- [45] 陈露, 张晓萌, 林秋婕, 等. 指纹图谱在中药质量控制中的研究进展 [J]. 临床医药文献电子杂志, 2017, 4(45): 8909-8910.
- [46] 陈文财, 吕高荣, 钟小清, 等. 中药指纹图谱、特征图谱技术专利申请的创造性分析 [J]. 专利代理, 2020(1): 35-38.
- [47] 王华堂, 黄文忠, 朱颖茵, 等. 龙眼蜜中挥发性成分的 GC/MS 指纹图谱差异分析 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2019, 48(5): 625-630.
- [48] 张慧文, 宋晓玲, 石松利, 等. FTIR 方法和 HPLC 指纹图谱鉴别不同产地芫荽 [J]. 光谱学与光谱分析, 2020, 40(1): 174.
- [49] Zhao D Z, Tian Z Z, Cai J, *et al.* Microbial spore genetic marker technology, a potential technology for traditional Chinese medicine traceability system [J]. *Chin Med*, 2022, 17(1): 61.
- [50] 冯正西, 繆延晖. 基于 RFID 和云平台技术的中药材追溯系统设计 [J]. 条码与信息系统, 2020(1): 16-20.
- [51] 贾春伶, 赵奎君, 张富, 等. 中药饮片质量追溯体系的建设及应用 [J]. 中国现代中药, 2024, 26(6): 1092-1098.
- [52] 李晓艳. 基于物联网技术的中药材全产业链质量追溯体系构建 [J]. 长春理工大学学报: 社会科学版, 2025, 38(2): 107-111.
- [53] 冯玉浩. 安徽积极探索中药饮片追溯“云”路径 [N]. 中国医药报, 2023-12-19(1).
- [54] 杨巧能. 甘肃省中药材信息化追溯体系建设现状与思考 [J]. 甘肃农业, 2022(4): 89-91.
- [55] 王梦洲, 张安琪, 樵星芳. 大数据背景下对中药材追溯体系建设的思考 [J]. 现代信息科技, 2020, 4(23): 133-136.
- [56] 王越冉. 吉林省建立中药材溯源体系的路径研究 [D]. 长春: 长春中医药大学, 2021.
- [57] 廖保生, 宋经元, 谢彩香, 等. 道地药材产地溯源研究 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(20): 3881-3888.
- [58] 朱婷, 胡心怡, 闵欣怡, 等. 中药材溯源体系的现状评析 [J]. 环球中医药, 2023, 16(3): 395-406.
- [59] 张佩, 罗静, 李智星. 基于区块链技术的中药质量安全追溯系统的设计 [J]. 黑龙江科学, 2025, 16(10): 74-76.
- [60] 邓诗意, 殷萍, 张强, 等. 食药同源产品产地溯源技术研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(14): 328-335.
- [61] 王超群. 亳州牡丹皮中药材原产地追溯体系的构建 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
- [62] 陈蕴涵. 内部管控体系在中药材质量追溯中具有关键作用 [J]. 中国商界, 2025(11): 53-55.
- [63] 魏子鲲, 韩乔, 薛庆林, 等. 河北省中药材质量追溯体系浅析 [J]. 合作经济与科技, 2021(2): 110-112.

[责任编辑 王文倩]