DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2026.08.035

肉桂中药材质量控制技术

李秀兰[1],程琰嵘[1],顾定泽[1],姚心悦[1],刘玉洁[1],郭映彤[1],
林煜桓[1],张昕暄[1],简婉莹[1],张静[1],李雁群[1,2]
(1.华南农业大学广东省森林植物种质创新与利用重点实验室,广东 广州 510642;
2.华南农业大学药用植物研究中心,广东 广州 510642)

摘要:肉桂(Cinnamon)是樟科樟属常绿乔木,其树皮、枝、叶和种子均含有大量的挥发油类成分,这些成分是肉桂的主要活性物质,医药应用广泛。然而,挥发油成分复杂,且肉桂药材质量受品种、环境、生长年限、炮制工艺和贮藏方式等多重因素影响,给肉桂质量控制带来巨大的挑战。药材的质量波动直接影响临床用药的安全性和有效性,因此,建立能够全面反映肉桂各成分动态变化的质量控制体系是保障肉桂临床应用的必要手段。通过梳理近年来肉桂质量控制的技术方法,包括气相色谱、气质联用、高效液相色谱、超高效液相色谱、红外光谱、近红外光谱、核磁共振、实时直接分析和DNA分子标记鉴定等多种检测技术,以期为肉桂质量控制提供参考和依据,助力其稳定、安全和有效地发展。

关键词:肉桂;质量控制;技术方法
中图分类号:R282.71;R284.1 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-7717(2026)08-0170-07

Quality Control Approaches in Rougui(Cinnamomi Cortex)

LI Xiulan[1],CHENG Yanrong[1],GU Dingze[1],YAO Xinyue[1],LIU Yujie[1],GUO Yingtong[1],
LIN Yuhuan[1],ZHANG Xinxuan[1],JIAN Wanying[1],ZHANG jing[1],LI Yanqun[1,2]
(1. Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Forest Plant Germplasm, Guangzhou 510642, Guangdong, China;
2. Center for Medicinal plants Research, South China Agricultrual University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: Rougui(*Cinnamomum cassia* Presl), belonging to the genus *Cinnamomum* of the Lauraceae family, is an evergreen tree. And its bark, branches, leaves and seeds contain abundant volatile oil components, which are the main bioactive substances of Rougui(Cinnamomi Cortex) and have been widely used in medicine. However, the composition of volatile oils is complex, and the quality of Rougui(Cinnamomi Cortex) is influenced by various factors such as species, environment, growth years, processing technology and storage methods, which poses a huge challenge to the quality control of Rougui(Cinnamomi Cortex). The quality fluctuation of the medicinal material directly affects the safety and efficacy of clinical medication. Therefore, establishing a quality control system that can comprehensively reflect the dynamic changes of the components of Rougui(Cinnamomi Cortex) is a necessary means to ensure the clinical application of Rougui(Cinnamomi Cortex). This paper reviewed the recent quality control methods for Rougui(Cinnamomi Cortex), including gas chromatography(GC), gas chromatography - mass spectrometry(GC - MS), high - performance liquid chromatography(HPLC), ultra - high performance liquid chromatography(UPLC), infrared spectroscopy(IR), near - infrared spectroscopy(NIR), nuclear magnetic resonance(NMR), direct analysis in real time(DART), DNA molecular identification and other detection technologies. These methods can provide references and basis for the quality control and evaluation of Rougui(Cinnamomi Cortex), contributing to its stable, safe and effective development.

Keywords: Rougui(Cinnamomi Cortex); quality control; technical methods

肉桂是人类文明早期最早被定价并享用的香料之一。长久以来,因其具有独特的风味和芳香特性,肉桂及其制品被广泛运用于食品饮料、日用化妆品及香料工业等多个领域。在我国,肉桂还是深受重视的药食同源名贵中药材,在历代本草中皆有记载。《中华人民共和国药典》中所收录的肉桂指的是樟科樟属植物肉桂 *Cinnamomum cassia* Presl 的干燥树皮,并且药典明确指出挥发油是肉桂的主要药用成分[1]。肉桂挥发油成分复杂,包括醛类、萜烯类、酚类、醇类、酮类、酯类、烯类等多种物质,而肉桂醛是挥发油的核心活性物质,具有抗炎、抗菌、抗氧化及扩张血管等作用[2],在肉桂的药理机制中占主导地位。中医临床主要将肉桂用于阳痿宫冷、风湿痹痛及寒痰咳喘的辅助治疗,现代研究表明肉桂对心血管保护、慢性炎症性疾病也有潜在的应用价值[3-5]。肉桂的树皮、枝条、叶子和种子均含

基金项目:国家自然科学基金面上项目(32370383);粤桂联合基金-重点项目(2020B1515420007);"十四五"广东省农业科技创新十大主攻方向"揭榜挂帅"项目(2022SDZG07)
作者简介:李秀兰(2000-),女,江西赣州人,硕士在读,研究方向:药用植物资源与利用。
通讯作者:李雁群(1981-),女,副教授,硕士研究生导师,博士,研究方向:药用植物资源与利用。E-mail:liyanqun@scau.edu.cn。

有挥发油,可用于提取精油,具体的药理作用因其活性物质的种类和含量差异而有所不同[6]。

肉桂药材质量容易受到多重因素的影响,这给肉桂药材的质量控制带来了巨大的挑战。而药材的质量波动会直接影响其临床用药的安全性和有效性,因此,建立能够全面反映肉桂各成分动态变化的质量控制体系是保障肉桂临床应用的必要手段。本文梳理了近年来肉桂质量控制的技术方法,涵盖了气相色谱、气质联用、高效液相色谱、超高效液相色谱、红外光谱、近红外光谱、核磁共振、实时直接分析和DNA分子标记鉴定等多种检测技术,以期为肉桂药材的质量控制提供参考和依据,助力其稳定、安全和有效地发展。

1 肉桂质量控制的现状及问题

肉桂的质量直接决定了其临床用药的疗效[7],而目前市售的肉桂质量参差不齐,容易出现假冒伪劣现象。很大一部分原因是肉桂与同属植物具有较为相似的性状和化学成分,难以区分,容易混淆。如肉桂 *C. cassia*、锡兰肉桂 *Cinnamomum verum* 与越南肉桂 *Cinnamomum loureiroi* 都能作为药材临床使用,而柴桂 *Cinnamomum tamala* 与阴香 *Cinnamomum burmannii* 这两种樟属植物的有效成分肉桂醛含量较低,不能代替肉桂做临床使用,是肉桂的常见伪品[8]。肉桂的质量控制已经成为市场关注的核心问题,而对精油及药材的鉴别、成分的定性和定量检测则是肉桂质量控制的重点。

肉桂药材的质量控制包括真伪鉴别和质量评价两个方面。质量评价指通过多维度技术手段对药材的安全性、有效性、均一性及稳定性进行科学验证,以确保其符合药用标准。肉桂药材及其制品的标准化是一个亟待解决的难题。一方面,肉桂植物的部位不同,其含量测定的方法也不同,这就容易给比较和鉴定带来困难,比如肉桂和桂枝。另一方面,由于肉桂化学成分的多样性和复杂性,以及有效物质基础和作用机理的不确定性,仅检测一种或几种有效成分难以全面表征药材的多功效特点,也不足以反映其整体的质量[9-10]。此外,肉桂的质量往往受多重因素影响,包括品种、树龄、生长阶段、产地、采收期、炮制方法及储存条件等[11-16],这些因素通过不同的作用机制来影响肉桂的质量均一性,进而导致质量参差不齐,给肉桂质量控制带来严峻挑战。目前,制定肉桂质量标准的关键点在于揭示同源或密切相关的肉桂植物之间的成分差异,明确肉桂的植物来源,最大程度表征样品的化学成分,阐明肉桂的物质基础,探索多模式质量评价方法,建立先进科学的质量标准体系。因此,构建“一法多用”的分析策略,对同种的肉桂植物进行统一的整体质量控制研究,成为肉桂质量控制的主要发展趋势。

现代技术的迭代升级使得药材质量控制的鉴定方法和技术在有效性、准确性、便捷性和实用性方面都有显著提升。当前应用的鉴定手段也已经形成了多元化的体系,涵盖了化学分析、显微形态鉴定、DNA分子标记及遗传特征分析等多种技术方法。其中,化学分析(如液相色谱法、气相色谱法、液相色谱-质谱法、气相色谱-质谱法等)可用于检测化学成分并测定其含量,以鉴别药材的真伪。世界卫生组织、美国食品药品监督管理局、中国食品药品监督管理局等多家权威机构均表明,指纹图谱能够有效鉴别药材的真伪和质量一致性[17]。指纹图谱是通过一定的化学分析技术建立的用于表征药材化学成分的色谱或光谱特征图谱,能有效反映药材有效成分的综合作用,当前已经广泛应用于物种来源的鉴定和质量标准的建立,以保证药材的一致性和稳定性[18]。随着肉桂质量控制技术的多样化发展,建立系统、全面的指纹图谱评价体系,对肉桂挥发油、药材质量评价和控制以及肉桂植物良种选育均具有重要利用价值。

2 肉桂药材真伪鉴别和质量评价方法

2.1 色谱分析法

2.1.1 气相色谱(Gas chromatography,GC)和GC-质谱(Mass spectrometry,MS)联用 GC是较早用于肉桂精油化合物分析的方法之一,能快速、准确、高效地分离与检测挥发性化合物,实现多组分的定量分析。早期的研究已经利用GC鉴定出了肉桂精油中许多用传统方法难以识别的化合物。随着GC灵敏度的提升,更多的肉桂挥发物逐步得到揭示。方琴等[19]采用GC色谱指纹图谱的方法,对不同产地的肉桂挥发油进行主成分比较分析,归纳出11个主要共有峰,并对各样品相似度进行比较,建立了肉桂挥发油特征指纹图谱用于肉桂鉴别和质量控制。

然而,单独使用GC还是难以对复杂提取物中的微量成分进行定性鉴定,少数含量较高的化学成分并不能表征中药的整体质量。通过GC与MS的结合可以检测到提取物中含量较低的成分。GC-MS是一种分离效率高、检测灵敏度高的分析方法。近年来,GC-MS法常与GC法联合,广泛应用于不同品种、不同产地、不同部位、不同发育阶段及不同干燥方式肉桂精油成分的检测与鉴定。

利用GC和GC-MS技术测定中国肉桂、锡兰肉桂、土肉桂 *Cinnamomum osmophloeum* 和野黄桂 *Cinnamomum jensenianum* 树皮和枝条精油中成分,结果显示不同品种肉桂主要成分差异较大,中国肉桂树皮精油中主要成分为肉桂醛、肉桂酸、香豆素、绿原酸、异香兰素、对香豆酸、原儿茶酸等[20];土肉桂枝条精油主要为乙酸龙脑酯(15.89%)和石竹烯氧化物(12.98%)[21]。野黄桂 *C. jensenianum* 树皮精油主要成分则为桉油醇(17.26%)和α-蒎品烯醇(12.52%)[22]。肉桂植物不同器官精油化合物组分及其成分含量差别也较大。如锡兰肉桂树皮精油中主要成分为反式-肉桂醛(74.49%)[23],叶主要成分为丁香酚(86.02%)、(E)-石竹烯(5.70%)和芳樟醇(2.30%)[24];花精油主要成分为(E)-乙酸肉桂酯(41.98%)和α-香柑油烯(7.97%)[25];其芽的精油中主要成分为佛手柑油烯(27.38%)和α-古巴烯(23.05%)[26],而其果柄精油中主要为(E)-乙酸肉桂酯(36.59%)和(E)-石竹烯(22.36%)和根精油中则主要成分为樟脑(56.2%)[27-28]。香桂 *C. subavenium* 叶油主要成分为广藿香醇(27.7%)和苯甲酸苄酯(19.6%)。而树皮油具有较高的α-松油醇(9.7%)和芳樟醇(7.5%)[29]。见表1。

除此之外,气质联用分析还常与红外光谱、细胞形态学、化学计量学等多种技术联合使用。LI Y Q等[23]采用GC-MS和傅里叶变换红外光谱法(Fourier transform infrared spectroscopy,FTIR),结合化学计量学来分析肉桂皮精油成分,可以有效地对3个品种和7个不同产地的肉桂树皮样品进行分类和鉴定。随后,他们利用GC-MS、FTIR和显微技术对不同发育阶段的中国肉桂和锡兰肉桂进行质量评价,发现不同发育阶段精油的含量和质量差异显著,且精油的含量与油细胞密度和发育程度密切相关[3,11]。

表1 各种肉桂及其近缘樟属植物的主要化学成分

品种	部位	来源	主要成分	检测技术	参考文献
锡兰肉桂 *Cinnamomum verum*	树皮	斯里兰卡	(E)-肉桂醛(77.1%)、(E)-β-石竹烯(6.0%)、α-松油醇(4.4%)、丁香酚(3.0%)	GC-MS	[30]
	茎皮	印度	丁香酚、肉桂醛、异丁香酚	HPLC	[31]
	叶	斐济	丁香酚(86.02%)、(E)-石竹烯(5.70%)、芳樟醇(2.30%)	GC、GC-MS	[24]
	叶	印度	(E)-肉桂醛、(E)-乙酸肉桂酯、芳樟醇	GC、GC/MS	[32]
	花	印度	(E)-乙酸肉桂酯(41.98%)、反式α-佛手柑烯(7.97%)、环氧石竹烯(7.2%)	GC、GC-MS	[25]
	芽	印度	佛手柑油烯(27.38%)、α-胡椒烯(23.05%)	GC、GC/MS	[26]
	果柄	印度	(E)-乙酸肉桂酯(36.59%)、(E)-石竹烯(22.36%)	GC、GC-MS	[27]
	根皮		樟脑(56.2%)、α-松油醇(6.85%)、肉桂醛(0.67%)	GC	[28]
肉桂 *Cinnamomum cassia*	枝条	中国	肉桂醛(65.27%~74.56%)	GC、GC-MS	[33]
	树皮	中国	反式肉桂醛、邻甲氧基肉桂醛	GC、GC-MS	[23,34]
	树皮	中国	肉桂醛、肉桂酸、肉桂醇、香豆素	RP-HPLC	[35]
	芽	中国	苯丙烷、单萜和倍半萜烃、含氧衍生物	GC、GC-MS	[36]
	叶	中国	反式肉桂醛、乙苯、胡椒烯、α-松油醇、苯乙烯、石竹烯	GC-MS	[37]
山桂 *Cinnamomum obtusifolium*	茎皮		羟基肉桂醛	GC、GC/MS	[38]
	叶	印度	肉桂醛(23.2%~79.9%)、芳樟醇(3.4%~30.7%)、(e)-乙酸肉桂酯(1.0%~11.4%)、(E)-肉桂酸甲酯(0.1%~9.6%)	GC-MS	[39]
	叶	印度	丁香酚、肉桂醛、异丁香酚	HPLC	[31]
	叶		黄樟素	GC-MS	[40]
八角樟 *Cinnamomum illicioides*	树皮	越南	4-松油醇(10.4%)、丁香酚(41.2%)、δ-杜松烯(5.6%)	GC、GC-MS	[41]
土肉桂 *Cinnamomum osmophloeum*	枝条	中国	左旋乙酸冰片酯(15.89%)、石竹烯氧化物(12.98%)	GC-MS	[21]
野黄桂 *Cinnamomum jensenianum*	树皮	中国	桉叶醇(17.26%)、α-松油醇(12.52%)	GC-MS	[22]
樟 *Cinnamomum camphora*	树皮	中国	桉油醇(24.74%)、双环[3.1.0]己烷-4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)(7.05%)、芳樟醇(5.82%)、石竹烯(4.75%)	GC-MS	[42]
		印度	樟脑(51.7%)	GC、GC-MS	[43]
云南樟 *Cinnamomum glanduliferum*	叶	印度	W-橙花叔醇(52.2%)	GC-MS	[44]
香桂 *Cinnamomum subavenium*	树皮		α-蒎品醇(9.7%)、芳樟醇(7.5%)	GC、GC-MS	[29]
	叶		广藿香醇(27.7%)、苯甲酸苄酯(19.6%)	GC、GC-MS	
阴香 *Cinnamomum burmanni*	树皮	中国	α-衣兰油烯(8.79%)、桉树脑(7.66%)、α-蒎品醇(6.65%)、d-芹子烯(6.42%)	GC、GC-MS	[45]
	枝条	中国	冰片内酯(41.74%)、石竹烯(6.29%)、冰片乙酸酯(4.18%)	GC、GC-MS	
	叶	中国	龙脑(40.60%)、石竹烯(10.43%)、乙酸冰片(4.08%)	GC、GC-MS	
越南肉桂 *Cinnamomum loureirii*	树皮	中国	肉桂醛(62.6%,69.6%)、α-古巴烯(16.0%,5.4%)、β-杜松烯(7.7%,4.7%)	GC、GC-MS	[46]

2.1.2 高效液相色谱法(High-performance liquid chromatography,HPLC)和超高效液相色谱法(Ultra-performance liquid chromatography,UPLC) HPLC是中药品种鉴别、品质评定最常用且最基本的方法,广泛应用于多种化合物的分离、定量和检测。HPLC是肉桂药材鉴别和质量控制的有效手段,通过鉴定市售肉桂及其制品的真伪以及纯度,有助于肉桂质量的提升。较早的研究运用HPLC分析了锡兰肉桂和中国肉桂树皮油及树叶油中的肉桂醛与丁香酚,通过评估化合物的相对丰度来检测商业肉桂油中的掺杂物[47]。HE Z D等[35]利用反相高效液相色谱(Reverse-phase high-performance liquid chromatography,RP-HPLC),对44份肉桂树皮样品进行分析,包括7个肉桂近缘种的树皮,以肉桂醛、肉桂酸、肉桂醇和香豆素4个特征成分建立了指纹图谱,可用于区分正品和掺假的桂皮。另一研究采用HPLC化学成分指纹图谱方法,比较了桂枝与肉桂之间的化学成分差异,结果显示,两者指纹图谱轮廓相似,但化学成分峰面积存在差异,其中肉桂醇、肉桂酸、2-甲氧基肉桂酸在桂枝中含量较高,而2-羟基肉桂醛、香豆素、肉桂醛、2-甲氧基肉桂醛在肉桂中含量较高,为其临床应用及质量评价提供了依据[48]。此外,黄亚婷等[49]通过高效液相色谱-光电二极管阵列检测器(High performance liquid chromatography-photodiode array detector,HPLC-PDA)建立特征图谱,测定了包括原儿茶酸、表儿茶素、香豆素、肉桂醇、肉桂酸、肉桂醛在内的6个主要有效指标性成分的含量,建立肉桂饮片特征图谱,为肉桂饮片质量评价提供了新依据。

UPLC是基于HPLC技术发展形成的新型分离分析手段,具有超高效、超高分离度、超高灵敏度等优点,相比于HPLC,能够显著缩短分离时间,提高色谱峰分离度和检测灵敏度,更加适应中药化学成分种类多、数量大、含量差异大的特点[50]。梅菊等[51]利用超高效液相色谱法建立肉桂指纹图谱,通过测定香豆素、肉桂醇、肉桂酸、肉桂醛和2-甲氧基肉桂醛5种有效成分及挥发油的含量,对28批不同产地的肉桂药材及其炮制前后的成分变化进行了研究,有效区分广东、广西两省的肉桂,为肉桂的产地选择和质量研究提供了参考。此外,利用超高效液相色谱-线性离子阱-静电场轨道阱高分辨质谱联用仪(UPLC-LTQ-Orbitrap Velos Pro)结合质谱、代谢组学以及化学计量学分析法研究得出,生物碱($C_{24}H_{33}NO_6$)可作为区分肉桂类型的可靠标记,能够有效地对锡兰肉桂和中国肉桂树皮进行鉴定[52]。该方法基于特征的分子网络,鉴定了大量原花青素和生物碱类成分,为天然产物中质量标志物的发现和未知成分的鉴定提供了新的思路。

2.2 光谱分析法

2.2.1 红外光谱(Infrared radiation,IR) IR具有快速、无损、实时检测的优点,其吸收峰相对尖锐,更准确地反映分子的结构特征和化学键信息,能够用于肉桂中成分的定性分析。红外

光谱法与色谱法分别对肉桂中成分进行定性和定量,二者相互补充,共同完善肉桂质量评价体系。利用 IR 对肉桂精油进行检测与分析能够降低所需的成本。利用红外光谱分析,已经明确了锡兰肉桂叶油中含有丁香酚、肉桂醛、乙酰丁香酚、乙酸肉桂酯等化合物,茎皮油中含有肉桂醛、丁香酚和乙酸肉桂酯,根皮油中含有樟脑、1,8 - 桉叶素和肉桂醛,且所得结果与色谱法基本一致[53]。近年来,IR 也被用于化合物的鉴定和表征。通过 FTIR 结合 HPLC 和薄层色谱法(Thin - layer chromatography, TLC)分析,能鉴定锡兰肉桂的树皮油中的肉桂醛,并测定其纯度[54]。向丽等[55]采用 FTIR 及二阶导数红外光谱法,分析了肉桂不同部位(树皮、嫩枝、叶)及其挥发油的整体化学成分差异,发现三者挥发油中肉桂醛含量大小依次为树皮 > 嫩枝 > 叶,其中嫩枝和叶的饱和脂肪酸酯类成分和黄酮类成分的含量较高,可用于区分含有相似成分的不同部位。随着市场对精油的需求不断增加,人们对精油提取技术也有了更高的要求。JEYARATNAM N 等[56]采用微波辅助加氢蒸馏法(Microwave - assisted hydro - distillation, MAHD)和常规加氢蒸馏法(Hydro - distillation, HD)提取肉桂树皮挥发油,再通过扫描电镜(Scanning electron microscope, SEM)观察预处理对提取前后桂皮粉的影响及形态变化,FTIR 分析显示,通过 HD 和 MAHD 提取的油的化合物非常相似,同时 GC - MS 分析表明 MAHD 提取的含氧化合物要比 HD 法高 9%,而且更加节能环保。JADHAV H 等[57]发现超声预处理水蒸馏(Ultrasound - assisted hydro - distillation, UAHDUAHD)能够提高提取油的产率,FTIR 结果表明 UAHD 提取法能使处理后的肉桂皮粉末释放出所有挥发性化合物。目前,红外光谱技术也被广泛用于肉桂精油产品质量检测、品种鉴别、产地识别及其相关产品(如微胶囊、蚊虫驱避剂等)的鉴定中[58-59]。

2.2.2 近红外光谱技术(Near - infrared spectroscopy, NIR) NIR 具有检测速度快、效率高、环保等优点,其吸收峰较宽且重叠严重,相较于 IR,包含的信息更为丰富也更复杂,主要用于获取样品的整体信息和进行快速筛查。在分析肉桂时,NIR 能更加快速地判断出其是否掺假。随着化学计量软件的大量运用,现有的研究大多与化学计量软件密切结合对肉桂及其制品进行分析。JULIANI H R 等[60]基于 NIR 建立的交叉验证模型能够准确预测肉桂精油中几乎所有化学成分,鉴别出了两种肉桂精油的伪品,证明了 NIR 技术可以作为快速识别单个精油、产品认证和检测掺假的质量控制工具。近红外光谱对样品的穿透能力较强,在无需或仅需极少样品预处理的情况下,就能获取固体、半固体和液体样品的光谱。SHAWKY E 等[61]将 NIR 与软独立建模分类法(Soft independent modeling of class analogy, SIMCA)相结合,建立了一种化学计量学模型对锡兰肉桂样品进行真伪鉴别,成功预测并判断了锡兰肉桂粉的质量,正确率高达 100%,表明所开发的模型可以作为质量控制的常规筛选方法。同时,基于偏最小二乘判别分析(Partial least squares regression, PLSR)模型,利用傅里叶变换近红外光谱(Fourier transform near - infrared spectroscopy, FT - NIR)和 FT-IR 技术相结合,也可以高效地检测锡兰肉桂样品中掺杂的中国肉桂[62]。在 HPLC 测定了肉桂饮片中香豆素、肉桂醇、肉桂酸、肉桂醛 4 种成分含量的基础上,解育静等[63]将 NIR 与 PLSR 相结合,建立了以上 4 种成分的快速定量分析模型,为实现肉桂饮片质量的快速、准确测定提供了有力工具。近红外高光谱成像(Near - infrared hyperspectral imaging, NIR - HSI)是一种融合了近红外光谱技术和成像技术的先进检测技术,结合了近红外光谱和视觉机器的优点,可以同时获得肉桂的化学(光谱)和物理(空间)数据。CRUZ - TIRADO J P 等[64]通过开发 NIR - HIS 耦合化学计量学的分类模型,对 90% 以上锡兰肉桂和中国肉桂饮片进行了正确分类,首次证明了 NIR - HSI 能够从肉桂饮片表面收集相关的化学指纹图谱从而实现对肉桂样品的识别和分类。

2.3 核磁共振(Nuclear magnetic resonance, NMR)

NMR 技术近年来也在肉桂药材质量控制中得到了广泛的应用,它能根据化合物的结构信息进行定量分析,阐明新化合物的结构,提供数量化的代谢产物丰度读数,鉴定肉桂成分差异。JOSHI S 等[39]将 NMR、GC、GC - MS 相互结合,有效地揭示了柴桂 *C. tamala* 和樟树 *C. camphora* 叶片的萜类化合物的差异性。FARAG M A 等[65]利用 NMR 开发了定量核磁共振代谢组学方法,对来自不同地区的 10 批肉桂进行了 NMR 核磁共振,测定了 9 个特征峰(甘油、脂肪酸、乙酸乙酯、反式肉桂醛、二甲基肉桂醛、邻羟基肉桂醛、反式肉桂酸、顺式肉桂酸、丁香酚),首次提供了中国肉桂和锡兰肉桂次生代谢产物的核磁指纹图谱,可用于肉桂中多种挥发性成分的分析。同时,这项研究也鉴定并量化了与锡兰肉桂香气和味道相关的化合物,可作为锡兰肉桂鉴别的标志物。此外,在后续的研究中,他们还采用固相微萃取耦合气相色谱 - 质谱法(Solid - phase microextraction/gas chromatography - mass spectrometry, SPME/GC - MS)、NMR 和紫外可见分光光度法(Ultraviolet - visible spectrophotometry, UV/Vis),对 9 种肉桂类药物及其不同市售制剂的代谢组学进行了比较研究,NMR 指纹图谱鉴定出(E) - 甲氧基肉桂醛和香豆素分别为柴桂和大叶桂的替代标记,为肉桂类药物的质量控制提供了潜在的见解,并为其鉴别提供了替代标记[66]。史丹阳[67]在其研究中使用了定量核磁共振氢谱法(^{1}H - q NMR),定量分析了肉桂多酚提取物中的总酚和总糖含量,实现了对 6 种多酚成分的同时测定,为肉桂多酚样品的鉴别和质量控制提供了新的方法。

2.4 实时直接分析(Direct analysis in real time, DART)

DART 是一种质谱离子源技术,也是第一批不需要任何样品制备的环境电离技术之一,在大气压下即可对各种形态(固体、液体、气体)的样品直接进样进行快速分析,极大地简化了分析流程[68]。DART 可以与多种质谱仪联用,DART 与精确飞行时间质谱仪(Accurate time - of - flight, AccuTOF)大气压电离质谱仪的耦合,已经实现了气体、液体和固体的高分辨率、精确质量测量,DART - MS 在药品鉴别、药物分析方面也展现出了巨大的应用前景[69]。SINGH V 等[70]使用 DART 技术结合质谱法对 10 个基因型的柴桂 *C. tamala* 叶片化合物进行分析,研究表明不同基因型叶片中化合物成分有差异,可以利用 DART - MS 数据对 10 个样品加以区分。离子源与高分辨率飞行时间质谱仪的结合可以对各种肉桂材料进行快速定性和定量分析,可以作为肉桂质量控制的一种有效方法。AVULA B 等[71]使用实时直接分析—四极杆飞行时间质谱仪(Direct analysis in real time - quadrupole time - of - flight mass spectrometry, DART - QToF - MS),结合主成分分析(Principal component analysis, PCA)分析各肉桂样品中的香豆素和其他的标记化合物,准确区分了样品中的锡兰肉桂、中国肉桂、越南肉桂

和阴香。

2.5 DNA分子标记鉴定

过去对植物品种的鉴定主要依靠形态学、显微和生化分析，但由于植物生长阶段、地理环境等各种因素影响，鉴定结果往往不够准确。DNA分子标记鉴定是基于植物特征DNA片段来区分品种。该方法扩大了物种的检测范围、提高了鉴定的准确性，可以一次性快速鉴定大量样本，其结果不受生理条件、年龄和植物器官类型的影响，与传统鉴定方法相比具有独特优势。目前，DNA分子标记技术已广泛应用于植物品种的鉴定[72]。

DNA条形码是一种非常有效的物种分类和鉴定方法，利用短的、标准化的DNA序列作为标记来准确地识别物种。*ITS*/*ITS*$_2$、*psbA*－*trnH*、*rbcL*、*matK*是国际上常用的DNA条形码分子标记。杨培等[73]基于*psbA*－*trnH*序列对8种肉桂类药材进行鉴定研究，在对其*psbA*－*trnH*序列进行扩增和测序后，分析其种内种间K2P遗传距离并构建系统进化树，邻接树（Neighbor－Joining Tree，NJ树）显示肉桂能与近缘物种完全区分开，表明*psbA*－*trnH*序列作为肉桂类药材的DNA条形码分子标记具有较好的准确性。白俊其等[74]在研究化学指纹图谱及DNA条形码分子鉴定技术在肉桂精准煮散饮片质量体系的应用中，也指出*psbA*－*trnH*序列可对肉桂药材实现准确鉴定。XAVIER J K A M等[75]提取了9个肉桂样本的DNA，利用叶绿体区域的*matK*基因、*rbcL*基因以及*psbA*－*trnH*基因间隔区开发DNA条形码用于系统发育分析，其中*psbA*－*trnH*序列展现出更高的核苷酸多样性，而*matK*基因则证实了锡兰肉桂的身份，研究认为DNA条形码和挥发性成分图谱的结合是鉴别锡兰肉桂品种以及检验工业来源真伪的重要工具。

此外，DNA分子标记还包括随机扩增多态性DNA（Random amplified polymorphic DNA，RAPD），扩增片段长度多态性（Amplified fragment length polymorphism，AFLP），简单重复序列（Simple sequence repeats，SSRs）和简单重复序列区间（Inter－simple sequence repeat，ISSR）、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）等多种技术，也可用于识别不同的物种。如SUDMOON R等[76]通过RAPD标记和树状图构建进行DNA指纹识别，再对DNA条形码扩增和序列分析，首次鉴定了7个未知无生殖器官的肉桂属植物，成功构建了不同物种的聚类树状图来揭示不同肉桂植物的叶片性状。在用于鉴定或区分药用植物的各种基因座中，核基因组中的ITS区域是最有用的基因座之一。DOH E J等[77]测定并比较了肉桂DNA内部转录间隔区（Internal transcribed spacer，ITS）的核苷酸序列，基于这种差异，扩增出了408 bp产物作为肉桂特异性DNA标记，用于监测樟属植物来源的传统药物并进行质量控制。有学者[78]采用PCR扩增了樟属不同肉桂品种核糖体DNA的*ITS*区，再利用RFLP对土肉桂*C. osmophloeum*和阴香及其他5种樟属植物进行了区分，开发的PCR－RFLP分析方法可快速鉴定土肉桂并防止其掺假。GANGWAR H等[79]开发了区分中国肉桂和锡兰肉桂的分子标记。共有71个*ISSR*基因和4个通用条形码（*ITS*、*rbcL*、*matK*和*psbA*－*trnH*）基因被用来区分这两个物种，其中1个*ISSR*（*ISSR*－37）能清晰区分锡兰肉桂和中国肉桂，将扩增的多态性条带转化为种特异性序列特征性扩增区域（Sequence－characterized amplified region，SCAR）标记之后，得到的SCAR－CV对锡兰肉桂具有特异性，可作为一种高效、经济、可靠的分子工具来鉴别锡兰肉桂和中国肉桂。此外，李立等[80]建立了一种特异性聚合酶链式反应方法，用于准确鉴别肉桂和阴香，以保障肉桂用药的安全性和有效性。通过对比分析两者的*psbA*－*trnH*序列差异，找到特异性单核苷酸多态性位点并设计引物，在优化扩增条件后，根据特异性扩增条带进行鉴别，结果表明，该方法能快速准确鉴别肉桂和阴香，为控制肉桂质量提供了参考。

3 结语

肉桂药材及其精油的成分复杂，包括醛类、萜烯类、酚类、醇类、酮类、酯类、烯类等多种物质。肉桂的品种、产地、生长阶段、树龄、采收期、炮制方法及储存条件等多种因素都会对肉桂药材质量造成影响。针对市场上存在的伪造行为和以次充好的现象，建立科学的真伪鉴别与质量控制体系对提升肉桂药材品质至关重要。

当前，肉桂及相关药物的质量控制主要以肉桂醛的含量标准为限，而单一成分的标准已不足以全面控制药材的质量。中药质量标志物（Q－Marker）是中药质控领域一个很好的发展方向，通过多组分含量协同分析结合农药残留、重金属限量标准，可以实现对药材更精准的质控。近年来，基于现代色谱、质谱和化学计量学的指纹图谱技术已成为中药材质量一致性评价的核心手段。随着高新技术尤其是人工智能在传统医学质量评价中的应用，肉桂的质量评价将更加科学、准确、高效。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：一部[S]. 北京：中国医药科技出版社，2020：140－142.
[2] 王清泉，李亚男，刘国飞，等. 肉桂醛药理作用及相关作用机制研究进展[J]. 中华中医药杂志，2024，39(12)：6646－6652.
[3] LI Y Q，KONG D X，LIN X M，et al. Quality evaluation for essential oil of cinnamomum verum leaves at different growth stages based on GC－MS，FTIR and microscopy[J]. Food Anal Meth，2016，9(1)：202－212.
[4] 卢雪雪，田慧. 肉桂的活性成分及其药理作用研究进展[J]. 壮瑶药研究，2023(2)：16－20，382.
[5] 李先芝，毛琼丽，刘洋，等. 肉桂化学成分及药理作用质量标志物研究进展[J]. 化学分析计量，2024，33(10)：119－126.
[6] 刘琛. 樟属传统药物肉桂、桂枝和锡兰肉桂整体质量控制研究[D]. 南昌：南昌大学，2020.
[7] 张永. 中药材肉桂的质量评价研究[D]. 上海：上海中医药大学，2019.
[8] 杨亚玲，罗碧，张红，等. 肉桂质量研究进展[J]. 中国中药杂志，2020，45(12)：2792－2799.
[9] LIN A X，CHAN G，HU Y J，et al. Internationalization of traditional Chinese medicine：current international market，internationalization challenges and prospective suggestions[J]. Chin Med，2018，13(1)：9.
[10] SUN G X，WU Y，LIU Z B，et al. Multiple methods were combined to monitor and evaluate the quality of TCM，and make the results more reliable[J]. Anal Methods，2014，6(3)：838－849.
[11] LI Y Q，KONG D X，HUANG R S，et al. Variations in essential oil yields and compositions of Cinnamomum cassia leaves at different developmental stages[J]. Ind Crops Prod，2013，47：92－101.
[12] 钱家萍，罗碧，钟磊，等. 不同产地、树龄、砍伐处理对肉桂药材活性成分含量的影响[J]. 中药材，2020，43(12)：

2887 – 2892.
[13] 董琼娟, 刘霞妹, 李紫微, 等. 不同树龄肉桂精油化学成分分析和活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2025, 36(2): 166 – 171.
[14] 陈荣珠, 王小平, 高伟城, 等. 不同产地肉桂药材品质比较分析[J]. 中医临床研究, 2022, 14(10): 41 – 44.
[15] 骆声秀. 肉桂产地加工与炮制一体化工艺及其质量评价研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2018.
[16] 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.
[17] LIU X Y, JIANG W W, SU M, et al. Quality evaluation of traditional Chinese medicines based on fingerprinting[J]. J Sep Sci, 2020, 43(1): 6 – 17.
[18] ZHONG X K, LI D C, JIANG J G. Identification and quality control of Chinese medicine based on the fingerprint techniques[J]. Curr Med Chem, 2009, 16(23): 3064 – 3075.
[19] 方琴, 丁平, 魏刚, 等. 肉桂挥发油 GC 特征指纹图谱研究[J]. 中国药学杂志, 2006, 41(1): 18 – 21.
[20] PARK S Y, KIM Y D, KIM M S, et al. Cinnamon (Cinnamomum cassia) water extract improves diarrhea symptoms by changing the gut environment: a randomized controlled trial[J]. Food Funct, 2023, 14(3): 1520 – 1529.
[21] TUNG Y T, CHUA M T, WANG S Y, et al. Anti – inflammation activities of essential oil and its constituents from indigenous cinnamon (Cinnamomum osmophloeum) twigs[J]. Bioresour Technol, 2008, 99(9): 3908 – 3913.
[22] TIAN J, HUANG B, LUO X L, et al. The control of Aspergillus flavus with Cinnamomum jensenianum Hand. – Mazz essential oil and its potential use as a food preservative[J]. Food Chem, 2012, 130(3): 520 – 527.
[23] LI Y Q, KONG D X, WU H. Analysis and evaluation of essential oil components of cinnamon barks using GC – MS and FTIR spectroscopy[J]. Ind Crops Prod, 2013, 41: 269 – 278.
[24] PATEL K, ALI S, SOTHEESWARAN S, et al. Composition of the leaf essential oil of cinnamomum verum (Lauraceae) from Fiji Islands[J]. J Essent Oil Bear Plants, 2007, 10(5): 374 – 377.
[25] JAYAPRAKASHA G K, RAO L J M, SAKARIAH K K. Chemical composition of the flower oil of Cinnamomum zeylanicum blume[J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(9):4294 – 4295.
[26] JAYAPRAKASHA G K, RAO L J, SAKARIAH K K. Chemical composition of volatile oil from cinnamomum zeylanicum buds[J]. Z Für Naturforschung C, 2002, 57(11 – 12): 990 – 993.
[27] JAYAPRAKASHA G K, JAGAN MOHAN RAO L, SAKARIAH K K. Volatile constituents from *Cinnamomum zeylanicum* fruit stalks and their antioxidant activities[J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(15): 4344 – 4348.
[28] SENANAYAKE U M. The nature, description and biosynthesis of volatiles of Cinnamomum Spp[D]. Kensington: University of New South Wales, 1977.
[29] BIN JANTAN I, MUHAMMAD K, NEE C C, et al. Constituents of the leaf and bark oils of cinnamomum subavenium miq[J]. J Essent Oil Res, 2005, 17(3): 281 – 283.
[30] MARONGIU B, PIRAS A, PORCEDDA S, et al. Supercritical CO_2 extract of *Cinnamomum zeylanicum*: chemical characterization and antityrosinase activity[J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(24): 10022 – 10027.
[31] DIGHE V V, GURSALE A A, SANE R T, et al. Quantitative determination of eugenol from cinnamomum tamala nees and eberm. leaf powder and polyherbal formulation using reverse phase liquid chromatography[J]. Chromatographia, 2005, 61(9): 443 – 446.
[32] RANI A, KANYAL B, AABHA, et al. Chemodiversity and antioxidant potential of the essential oil of fresh leaves of *Cinnamomum zeylanicum* blume from uttarakhand[J]. J Essent Oil Bear Plants, 2022, 25(4): 783 – 795.
[33] CEN Z Y, DU J H, DENG J, et al. Volatile oil variation and morphology of cinnamon twigs from different regions of China[J]. Rev Bras De Farmacogn, 2021, 31(2): 217 – 224.
[34] WANG R, WANG R J, YANG B. Comparison of volatile compound composition of cinnamon (*CINNAMOMUM cassia PRESL*) bark prepared by hydrodistillation and headspace solid phase microextraction[J]. J Food Process Eng, 2011, 34(1): 175 – 185.
[35] HE Z D, QIAO C F, HAN Q B, et al. Authentication and quantitative analysis on the chemical profile of cassia bark (cortex cinnamomi) by high – pressure liquid chromatography[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(7): 2424 – 2428.
[36] SANDNER D, KRINGS U, BERGER R G. Volatiles from *Cinnamomum cassia* buds[J]. Z Für Naturforschung C, 2018, 73(1 – 2): 67 – 75.
[37] BAI M, JIN X, CEN Z Y, et al. GC – MS and FTIR spectroscopy for the identification and assessment of essential oil components of five cinnamon leaves[J]. Braz J Bot, 2021, 44(3): 525 – 535.
[38] PARK H J, JUNG H J, JUNG W T, et al. Quality evaluation of the Cinnamon essential oils based on gas chromatographic analysis and cytotoxicity[J]. Korean J Pharmacogn, 2004, 35(4): 288 – 292.
[39] JOSHI S, PADALIA R, BISHT D, et al. Terpenoid diversity in the leaf essential oils of Himalayan Lauraceae species[J]. Chem Biodivers, 2009, 6(9): 1364 – 1373.
[40] WANG R, WANG R J, YANG B. Extraction of essential oils from five cinnamon leaves and identification of their volatile compound compositions[J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2009, 10(2): 289 – 292.
[41] GIANG P M, KÖNIG W A, SON P T. Chemical constituents of the essential oil from the bark of Cinnamomum illicioides A. Chev. from Vietnam[J]. J Nat Med, 2006, 60(3): 248 – 250.
[42] 周海旭, 李忠海, 付湘晋, 等. 亚临界流体萃取樟叶精油及其抑菌活性的研究[J]. 中药材, 2016, 39(6): 1357 – 1360.
[43] SRIRAMAVARATHARAJAN V, STEPHAN J, SUDHA V, et al. Leaf essential oil of Cinnamomum agasthyamalayanum from the Western Ghats, India—a new source of camphor[J]. Ind Crops Prod, 2016, 86: 259 – 261.
[44] BARUAH A, NATH S C. Leaf essential oils of cinnamomum glanduliferum (wall) meissn and cinnamomum glaucescens (nees) meissn[J]. J Essent Oil Res, 2006, 18(2): 200 – 202.
[45] LIU X M, ZHOU S Y, HUANG Y, et al. Chemical composition, antioxidant activity, and anti – bacterial activity of essential oils from different organs of Cinnamomum burmanni[J]. J Essent Oil Bear Plants, 2023, 26(3): 787 – 801.
[46] LI R, WANG Y, JIANG Z T, et al. Chemical composition of the essential oils of *Cinnamomum loureirii* nees. from China obtained by hydrodistillation and microwave – assisted hydrodistillation[J]. J Essent Oil Res, 2010, 22(2): 129 – 131.
[47] ROSS M S F. Analysis of cinnamon oils by high – pressure liquid chromatography[J]. J Chromatogr A, 1976, 118(2): 273 – 275.
[48] 袁鹏飞, 尚明英, 蔡少青. 桂枝、肉桂化学成分指纹图谱研究[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(19): 2917 – 2921.

[49] 黄亚婷，潘婷，温静，等. 基于药物体系的肉桂特征图谱质量表征关联分析研究[J]. 北京中医药大学学报，2015，38(5)：344－350，365.
[50] 张青，罗秋月，李静，等. UPLC 在中药及其复方分析中的应用和研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志，2019，25(3)：226－234.
[51] 梅菊，吴涛，李强，等. 不同产地肉桂质量及炮制过程成分变化研究[J]. 天然产物研究与开发，2024，36(3)：377－387，399.
[52] WU X D，LONG H L，LI F F，et al. Comprehensive feature－based molecular networking and metabolomics approaches to reveal the differences components in *Cinnamomum cassia* and Cinnamomum verum[J]. J Sep Sci，2021，44(20)：3810－3821.
[53] WIJESEKERA R O B，FONSEKA K H. Essential oils Ⅱ infrared spectroscopy in the analysis of the volatile oils in Cinnamon[J]. J Natl Sci Counc Sri Lanka，1974，2(1)：35－49.
[54] AL－BAYATI F A，MOHAMMED M J. Isolation，identification，and purification of cinnamaldehyde from *Cinnamomum zeylanicum* bark oil. An antibacterial study[J]. Pharm Biol，2009，47(1)：61－66.
[55] 向丽，张贵君，赵保胜，等. 肉桂不同部位及其挥发油的红外光谱宏观表征[J]. 中国实验方剂学杂志，2017，23(8)：57－61.
[56] JEYARATNAM N，NOUR A H，KANTHASAMY R，et al. Essential oil from *Cinnamomum cassia* bark through hydrodistillation and advanced microwave assisted hydrodistillation[J]. Ind Crops Prod，2016，92：57－66.
[57] JADHAV H，JADHAV A，MORABIYA Y，et al. Combined impact of ultrasound pre－treatment and hydrodistillation on bioactive compounds and GC－MS analysis of *Cinnamomum cassia* bark extract[J]. Waste Biomass Valorization，2021，12(2)：807－821.
[58] HUANG C Y，YEH T F，HSU F L，et al. Xanthine oxidase inhibitory activity and thermostability of cinnamaldehyde－chemotype leaf oil of cinnamomum osmophloeum microencapsulated with β－cyclodextrin[J]. Molecules，2018，23(5)：1107.
[59] OSANLOO M，FIROOZIAN S，ZARENEZHAD E，et al. A nanoliposomal gel containing *Cinnamomum zeylanicum* essential oil with effective repellent against the main malaria vector anopheles stephensi[J]. Interdiscip Perspect Infect Dis，2022，2022：1645485.
[60] JULIANI H R，KAPTEYN J，JONES D，et al. Application of near－infrared spectroscopy in quality control and determination of adulteration of African essential oils[J]. Phytochem Anal，2006，17(2)：121－128.
[61] SHAWKY E，SELIM D. Rapid authentication and quality evaluation of cinnamomum verum powder using near－infrared spectroscopy and multivariate analyses[J]. Planta Med，2018，84(18)：1380－1387.
[62] YASMIN J，AHMED M R，LOHUMI S，et al. Rapid authentication measurement of cinnamon powder using FT－NIR and FT－IR spectroscopic techniques[J]. Qual Assur Saf Crops Foods，2019，11(3)：257－267.
[63] 解育静，张家楠，朱冬宁，等. 肉桂中 4 种成分近红外定量分析模型的建立[J]. 中国实验方剂学杂志，2020，26(2)：119－123.
[64] CRUZ－TIRADO J P，LIMA BRASIL Y，FREITAS LIMA A，et al. Rapid and non－destructive cinnamon authentication by NIR－hyperspectral imaging and classification chemometrics tools[J]. Spectrochim Acta Part A Mol Biomol Spectrosc，2023，289：122226.
[65] FARAG M A，LABIB R M，NOLETO C，et al. NMR approach for the authentication of 10 cinnamon spice accessions analyzed *via* chemometric tools[J]. LWT，2018，90：491－498.
[66] FARAG M A，KHALED S E，EL GINGEEHY Z，et al. Comparative metabolite profiling and fingerprinting of medicinal cinnamon bark and its commercial preparations *via* a multiplex approach of GC－MS，UV，and NMR techniques[J]. Metabolites，2022，12(7)：614.
[67] 史丹阳. 定量核磁共振波谱法测定肉桂多酚提取物中的总酚、总糖和六种多酚成分[D]. 上海：上海应用技术大学，2022.
[68] KIM H J，JANG Y P. Direct analysis of curcumin in turmeric by DART－MS[J]. Phytochem Anal，2009，20(5)：372－377.
[69] 廖杰，刘娜，刘春胜. DART－质谱及其在药物分析中的应用[J]. 药物分析杂志，2011，31(10)：2008－2012.
[70] SINGH V，GUPTA A K，SINGH S P，et al. Direct analysis in real time by mass spectrometric technique for determining the variation in metabolite profiles of*Cinnamomum tamala*Nees and eberm genotypes[J]. Sci World J，2012，2012：549265.
[71] AVULA B，SMILLIE T J，WANG Y H，et al. Authentication of true cinnamon（*Cinnamon verum*）utilising direct analysis in real time（DART）－QToF－MS[J]. Food Addit Contam Part A，2015，32(1)：1－8.
[72] KUMAR A，MISHRA P，SINGH S C，et al. Efficiency of ISSR and RAPD markers in genetic divergence analysis and conservation management of Justicia adhatoda L.，a medicinal plant[J]. Plant Syst Evol，2014，300(6)：1409－1420.
[73] 杨培，周红，马双姣，等. 叶绿体 psbA－trnH 序列鉴定药食同源肉桂类药材[J]. 中国药学杂志，2015，50(17)：1496－1499.
[74] 白俊其，苏贺，黄娟，等. 肉桂精准煮散饮片与原饮片的煎煮质量[J]. 世界中医药，2018，13(2)：468－471，478.
[75] XAVIER J K A M，BAIA T G C，ALEGRIA O V C，et al. Essential oil chemotypes and genetic variability of cinnamomum verum leaf samples commercialized and cultivated in the Amazon[J]. Molecules，2022，27(21)：7337.
[76] SUDMOON R，CHAVEERACH A，SANUBOL A，et al. Identifying efficiency in herbal medicine *Cinnamomum* species（Lauraceae）using banding patterns and sequence alignments of *rpo*B，*rbc*L and *mat*K regions[J]. Chiang Mai J Sci，2014，41(5)：1094－1108.
[77] DOH E J，KIM J H，OH S E，et al. Identification and monitoring of Korean medicines derived from Cinnamomum spp. by using ITS and DNA marker[J]. Genes Genomics，2017，39(1)：101－109.
[78] LEE M S，YANG B C，SUN F C，et al. Rapid identification of the indigenous medicinal crop Cinnamomum osmophloeum from various adulterant Cinnamomum species by DNA polymorphism analysis[J]. Phcog Mag，2020，16(68)：64.
[79] GANGWAR H，GAHLAUT V，CHAUHAN R，et al. Development of species－specific ISSR－derived SCAR marker for early discrimination between Cinnamomum verum and *Cinnamomum cassia*[J]. Mol Biol Rep，2023，50(8)：6311－6321.
[80] 李立，吴桂凡，罗轶，等. 广西道地药材肉桂及阴香的 DNA 分子鉴定研究[J]. 食品与发酵工业，2024，50(4)：191－196，203.