

鉴定鉴别

多模态检测技术在卷烟同源性鉴别中的应用研究

林 炜¹, 林绍舟², 欧阳宇轩², 高 凤^{3*}

(1.福建省漳州市烟草专卖局, 福建 漳州 363000;

2.福建省漳州市烟草专卖局, 稽查支队, 福建 漳州 363000;

3.闽南师范大学化学化工与环境学院, 福建 漳州 363000)

摘 要:在涉烟案件的侦办过程中,针对涉案物品窝点分散、案值较低且证据链不完整等难点问题,基于同源性判定技术的串并案机制能够显著提升制假行为的溯源精度以及司法震慑效果。然而,传统的单一检测技术在复杂物证关联分析中表现出明显的局限性。通过构建基于多模态检测技术的同源性鉴别体系,可以为案件侦办提供更为可靠和全面的物证支持。本文综合运用多光性检验、拉曼光谱及质谱联用技术,系统分析三处查获卷烟的光性特征、印刷油墨及烟丝的化学成分。结果表明,其中两处卷烟具有同源性,另一处来源明显不同,由此明确了不同批次制假窝点的关联性,为涉烟案件物证溯源提供了精准技术支持。

关键词:物证关联性;同源性鉴别;多模态检测;卷烟

中图分类号:D918.93 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-8143(2026)03-0012-05

Doi:10.3969/j.issn.1009-8143.2026.03.03

A Preliminary Study on Multimodal Detection Techniques for Tobacco Product Homology Authentication

Lin Wei¹, Lin Shao-zhou², Ou-yang Yu-xuan², Gao Feng^{3*}

(1.Zhangzhou Tobacco Monopoly Bureau of Fujian Province, Zhangzhou, Fujian 363000, China;

2.Inspection & Enforcement Detachment, Zhangzhou Tobacco Monopoly Bureau of Fujian Province, Zhangzhou, Fujian 363000, China;

3.College of Chemistry, Chemical Engineering and Environment, Minnan Normal University, Zhangzhou, Fujian 363000, China)

Abstract: In the investigation of tobacco-related cases, challenges such as dispersed counterfeit operations, low case values, and incomplete evidence chains hinder effective prosecution. Homology identification technology enhances traceability accuracy and judicial deterrence through case linkage mechanisms. However, traditional single detection techniques exhibit limitations in analyzing complex forensic correlations. A multimodal detection-based homology identification system provides reliable and comprehensive forensic support. This study integrates multi-band light sources, Raman spectroscopy, and hyphenated mass spectrometry to systematically analyze optical features, printing inks, and chemical compositions of three seized cigarette batches. Results demonstrate that two batches share homologous characteristics, while the third originates from a distinct source, clarifying connections among counterfeit production operations across different batches and offering precise technical support for forensic traceability in tobacco-related cases.

Key words: Forensic Linkage; Homology identification; Multimodal detection; Cigarettes

收稿日期:2026-03-26

基金项目:福建省自然科学基金(NO.2022J01899)、闽南师范大学横向课题(NO.HX2025154)。

第一作者简介:林炜(1972—),男,主要从事烟草事务组织管理工作。Email:linwei4@fj-tobacco.com。

通讯作者简介:高凤(1981—),女,教授,主要从事分析检测研究工作。Email:fgao1981@126.com。

引言

近年来,假烟制售已成为全球性问题,其不仅严重威胁消费者健康,还导致国家税收流失并扰乱市场经济秩序^[1,2]。在案件侦办中,假烟生产链的隐蔽性与跨区域分散性使得传统执法手段难以高效追踪源头。通过卷烟同源性鉴别技术,能够对查获的假烟样本进行科学溯源,揭示不同案件间的关联性,为串并案提供关键证据支撑^[3,4]。这不仅显著提升案件侦破效率,还能对制假售假网络形成精准打击,强化法律威慑力。因此,同源性鉴定技术的应用,在提升假烟案件的破获率的同时,并为司法证据链的完善提供科学保障,具有重要的实践价值与社会效益^[5,6]。

尽管同源性鉴定的需求迫切,但现有技术仍面临诸多挑战。首先,假烟生产工艺的多样性与仿制技术的迭代,使得单一检测手段(如成分分析或物理特征比对)难以全面捕捉其复杂特征^[7]。其次,国内外对烟草同源性的系统性研究尚处于起步阶段,缺乏统一的技术标准与多维度数据库支撑^[8,9]。此外,现有方法在微量物证检测灵敏度、特征标记物筛选效率等方面存在空白,导致部分案件因证据链断裂成为“无头案”^[10]。当前假烟同源性鉴定更多依赖经验性判断,亟需科学化、标准化的技术体系以应对日益复杂的犯罪模式。

针对上述问题,融合多模态检测技术成为突破当前瓶颈的关键路径。本研究通过构建光性检测-光谱分析-质谱联用的多模态技术体系,证实了多维特征融合在假烟同源性鉴定中的突破性效果。基于光性检验的成像技术可快速筛查烟盒图形文字、封装工艺和颜料激发光谱差异,而拉曼光谱精准捕获了油墨分子振动特征显现的差异性,质谱联用则从化学成分层面锁定烟草特有的组成,成功解决了传统单一技术对高仿真假烟(如烟丝形态趋同、微量添加剂差异)的鉴别盲区。总的来说,这种多技术协同不仅显著提升鉴定精度,还可降低误判风险。多模态技术的应用预期可推动假烟同源性鉴定从经验驱动向数据驱动转型,为构建智能化、标准化的执法技术体系奠定基础,具有深远的理论价值与实践意义。

1 实验部分

1.1 实验材料和仪器

材料:某公安局从三处地方查获品牌标识为“南京”的盒装卷烟,分别简称检材1、检材2和检材3。

仪器:手术刀、放大镜、直尺。

电子天平:JY5002型,舜宇恒平。

文检仪:VSC 8000型,瑞源华德。

体视显微镜:SZX-16型研究级,奥林巴斯。

激光显微共聚焦拉曼光谱仪:XploRA PLUS型,HORIBA。

气相色谱质谱联用仪:TRACE1300-ISQQD300型,Thermo Fisher。

1.2 实验方法

1.2.1 光性检验

使用放大镜、文检仪和显微镜对查获卷烟的烟盒、烟支和烟丝的外观形态、图案文字的排版布局、烟盒封条封装工艺及相应的荧光发射特性进行比对检验。文检仪分别使用白光(400~700 nm)和蓝光(400~485 nm)作为激发光源获得不同的图像。

1.2.2 拉曼光谱检验

参照GB/T 19267.3-2008 刑事技术微量物证的理化检验 第3部分:分子荧光光谱法,选取卷烟的烟盒和烟支的印刷区域,用洁净手术刀在非破坏性条件下随机刮取微量油墨,置于石英载玻片上压平,避免外界污染。采用激光显微共聚焦拉曼光谱仪,激光波长为532 nm,扫描时间10 s,测试范围为200~3600 cm^{-1} 。检测前以硅片520 cm^{-1} 特征峰校准仪器波长,实验全程在恒温恒湿实验室(25±1℃,湿度45±5%)完成,避免环境因素对油墨物化性质的影响。

1.2.3 气相色谱质谱联用技术检验

参照GB/T 6041-2020 质谱分析方法通则,随机采集抽取烟丝,粉碎后称取0.5 g加入甲醇溶剂,超声提取,离心取上清液,滤膜过滤得到提取液。采用气相色谱质谱联用仪进行分离检测,载气为高纯氦气,每组数据平行测定5次,实验全程避免塑料器皿接触样品,防止甲醇溶解作用产生污染。

2 结果与分析

2.1 光性检测

由于不同卷烟造假窝点的工艺差异(如颜料、

封装等),会形成独特的光学“指纹”,通过比对可揭示样本间的工艺同源性^[11]。光性检测无需破坏样本即可完成高精度分析,尤其适用于司法鉴定中物证的完整性保护。同时,其实时成像能力可快速筛选大量样本,提升检测效率^[12]。我们利用文检仪具有多光谱分析、高分辨率成像等优势,检验了三处卷烟的烟盒、烟支和烟丝的光性特征。通过分析印刷图案、烟纸纹理、烟丝形态等微观特征,捕捉生产工艺的细微差异。

2.1.1 烟盒的光性检验

通过白光成像检测(图1A),检材1、检材2和检材3的烟盒尺寸及其图案的排版布局未见明显差异;但检材3烟盒封条的封装位置和检材1、检材2的出现一些偏移,处于离烟盒顶部更远的位置(图中红色辅助线位置)。这表明检材3的封装工艺与检材1和检材2是不同的。再以蓝光为激发源下,我们进一步获得了三处烟盒的荧光成像(图1B):可以看出检材1和检材2荧光效果几乎相同,但检材3的英文品牌标识“NANJING CIGARETTES”的亮度明显高于周边,这是由于检材3使用不同的颜料,其激发光谱不同,尽管在可见光下显示和检材1、检材2非常相近的颜色,但在蓝光单独激发下,却产生了更强的发射。通过三处烟盒的光性检测分析,我们可以初步证明检材1和检材2具有一定的同源性特征。



图1 烟盒(A)白光照明下的图像和(B)蓝光激发下的荧光图像

2.1.2 烟支的光性检验

基于烟盒的分析结果,我们进一步对烟盒内的烟支进行检测。如图2所示,我们一共随机抽取了

15支烟,分别编号为1~15号,其中1~5号为检材1烟盒中随机抽取的烟支,6~10号为检材2中随机抽取的烟支,11~15号为检材3中随机抽取的烟支。从整体上看,三处检材烟支的白光成像照片并没有明显的差异;但从细节上看,1~10号烟支的(检材1和检材2)烟纸的横向纹路比较浅,而11~15号(检材3)烟纸的横向纹路比较深。当然,这种细节在比较时容易被忽略。但通过蓝光成像检测(图2B),我们可以清晰地分辨出11~15号(检材3)滤嘴的荧光颜色明显更深。换句话说,1~10号烟支的(检材1和检材2)滤嘴具有明显的一致性。这之前烟盒上英文标识的分析结果类似,表明检材1与检材2在滤嘴颜料的选取上具有同源性,而检材3则用了不相同的颜料。

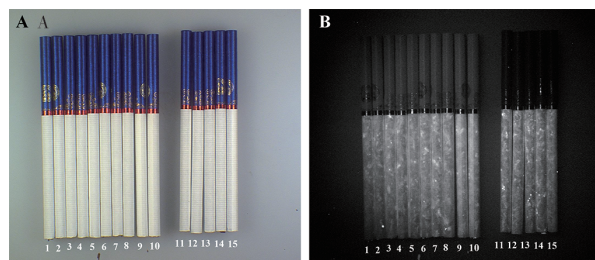


图2 烟支(A)白光照明下的图像和(B)蓝光激发下的荧光图像

2.1.3 烟丝的光性检验

我们分别从1~15号烟支中抽取一定量的烟丝进行光性检验。从白光成像照片上看(图3A),1~15号烟支抽出的烟丝均为黄色丝状固体,含烟梗碎末,烟丝类别基本一致;从蓝光成像照片上看,所有烟丝的荧光强度也基本一致。从这一结果表明,光性检测在烟丝的同源性确认上具有一定的局限性:一方面,烟叶在切丝过程中,其切口的方向是随机的,不能形成规则的烟丝形状;另一方面,虽然不同产地的烟叶质量有所差别,但大体成分基本一致。

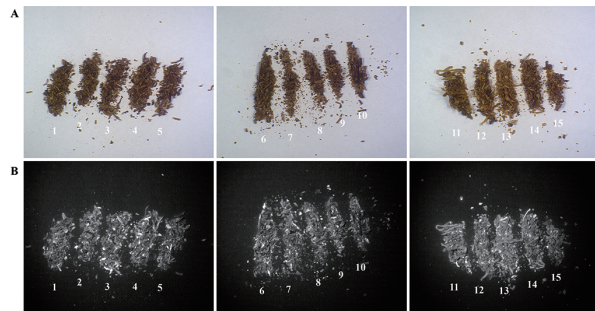


图3 烟丝(A)白光照明下的图像和(B)蓝光激发下的荧光图像

因此,若需要从烟叶的成分上进行同源性检测,需要分辨率更高的检测技术,来识别不同初加工和深加工的操作方式,对烟叶成分产生的差异性影响。

2.2 拉曼光谱检验

拉曼光谱基于分子的振动特征来解析物质化学成分,无需样品前处理即可直接测试,非常适用于卷烟包装印刷油墨成分的分析^[13]。同时,拉曼光谱能够捕捉细微的化学变化,灵敏度高,适用于微量物证检测^[14]。为此,我们通过检测三处检材油墨的拉曼光谱,揭示不同样本间的成分一致性或差异性,从而追溯其原料来源或生产工艺的同源性。

为验证检测方法的稳定性,采用平行实验设计对三处检材烟盒油墨进行三次拉曼光谱抽检测定(图4A~C)。结果表明,同一检材的谱图信号高度重合,证实该方法具有优异的可重复性。进一步对比分析发现(图4D),检材1与检材2的拉曼光谱在峰位及峰形轮廓上呈高度一致性,而检材3虽整体谱图相似,但其波数为 500 cm^{-1} 和 2800 cm^{-1} 附近还是出现了不同的峰形,提示使用的油墨存在一定的差异性。这种基于比对光谱特征峰的位置和强度,可识别出同一生产链的共性标记。

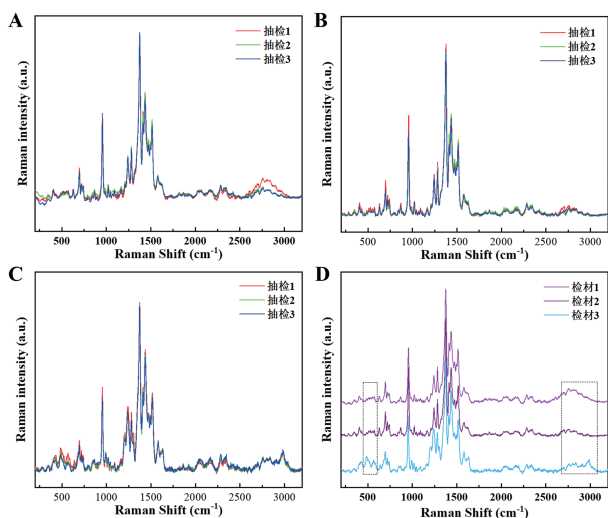


图4 (A)检材1、(B)检材2、(C)检材3及(D)三处检材比较的烟盒油墨拉曼光谱图

基于烟盒油墨检测的方法学验证,进一步对三处检材烟支油墨实施平行拉曼光谱分析。如图5所示,检材3烟支油墨在小于 1000 cm^{-1} 的波段峰位缺失,而在 1000 cm^{-1} 到 2000 cm^{-1} 出现明显的宽化峰,与检材1和检材2的谱图相似度明显下降。该光谱差异与蓝光激发下检材3烟蒂荧光色度变化形成互

证。结合烟盒与烟支油墨的双重光谱证据,可明确判定检材1与检材2具有工艺同源性,检材3被排除于同一制假源头。

2.3 色谱质谱联用技术检验

结合气相色谱的高分离能力与质谱的高灵敏度,可精准检测烟草中挥发性有机物种类与含量,揭示不同样本间的成分差异,为原料来源或生产工

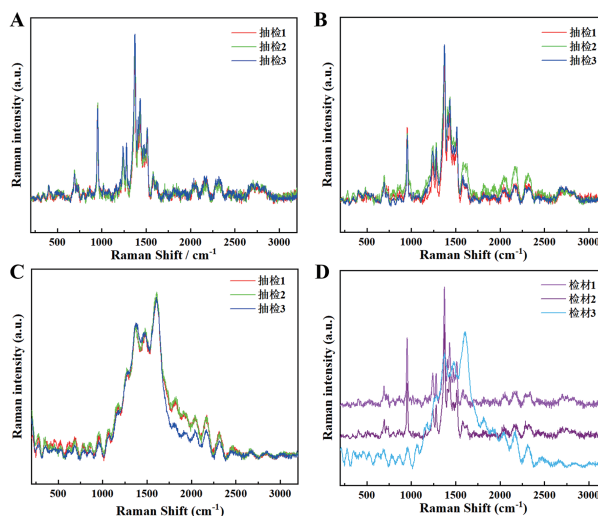


图5 (A)检材1、(B)检材2、(C)检材3及(D)三处检材比较的烟支油墨拉曼光谱图

艺的同源性判断提供数据支撑^[15]。另一个重要的优势在于其检测限极低,可有效解决微量样本的同源性鉴定难题,避免因证据不足导致案件关联性断裂。

通过气相色谱-质谱联用技术,对三处检材的烟丝中挥发性成分进行检测。如图6所示,检材1与检材2的色谱图在保留时间具有非常高的匹配度,表明其原料来源或加工工艺具有同源性。而检材3在保留时间为 $5\sim 7\text{ min}$ 处出现了特异性色谱峰,暗示其生产过程中可能引入了异源物质或存在工艺偏差。当前分析聚焦于组分分布模式的同源性判别,未对特异性峰的化学本质进行深度解析,但该方法已预设与质谱联用的技术接口——若案件侦办需明确异常组分的具体属性(如鉴别非法添加剂或污染物),可通过气相色谱-质谱联用技术实现精准物质鉴定。这种分级策略,兼顾了司法鉴定的时效性需求与证据链可拓展性,为应对复杂案情提供了灵活的技术框架。

3 结论

本研究通过光性检测、拉曼光谱及气相色谱-

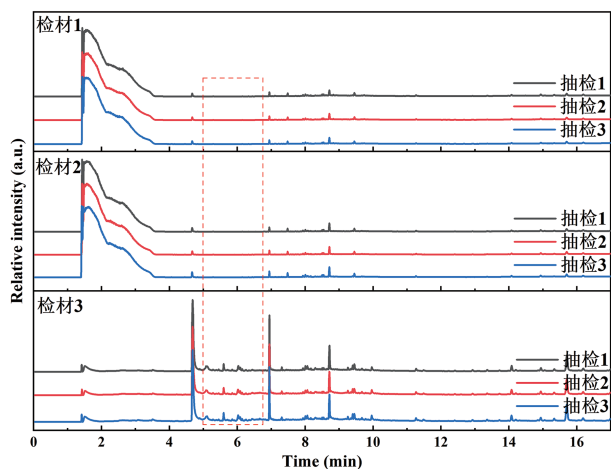


图6 检材1、检材2和检材3的气相色谱图

质谱联用技术,构建多模态物证分析体系,系统解析三处假烟样本的工艺与成分特征,实现高效同源性鉴别。光性检测结合白光与蓝光激发成像,揭示检材1和检材2烟盒封条位置及滤嘴荧光响应高度一致性,而检材3因油墨发射光谱异常被判定为独立来源;烟丝因形态随机性与成分趋同性,光性检测受限,凸显多技术联用的必要性。拉曼光谱分析显示,检材1和检材2烟盒与烟支油墨的峰谱相似度显著优于检材3,验证其生产工艺同源性。气相色谱进一步证实检材1和检材2挥发性组分分布高度匹配,而检材3在5~7 min保留时间出现特异性孤立峰。该技术体系突破单一方法局限,有效地提升了同源性鉴定准确率,且预设质谱联用接口以满足深度物质鉴定需求,为涉烟案件物证溯源、跨区域制假网络打击提供兼具时效性与可拓展性的科学方案。

参考文献

[1] 温海燕,张洁,王艳红,等. 基于可疑行为分析的网络涉烟违法犯罪监测预警模型构建[J]. 中国人民警察大学学报, 2025, 41(12): 33-38.

[2] 何佳雷,王兆宇. 烟丝重量和含末率在卷烟真伪鉴别中的应用研究[J]. 轻工科技, 2023, 39(5): 27-30.

[3] 李勇,周晨,李刚,等. 区块链技术在卷烟防伪溯源中的应用[J]. 科学技术创新, 2020, (09): 103-104.

[4] Borkowski F, Fibbi E. How can tracking and tracing systems give us a look at the dark side of the tobacco market? [J]. Tob Control, 2025, 34: 309-314.

[5] 宋秀芬,周茜,张苗苗. 物证鉴定情报的协作模式[J]. 中国科技信息, 2023, (23): 139-141+144.

[6] 蒋依琳,田志勇. 打假打私聚合力同心共治净市场[N]. 东方烟草报, 2026-03-06(004).

[7] 李昱德,陈毓豪,白萃萃. 光学检验技术在假烟包装鉴别中的应用[J]. 中国防伪报道, 2024, (02): 94-98.

[8] 李昊洋,张文骥,韩祺瑞,等. 色谱指纹图谱聚类分析在法庭溯源领域的应用[J]. 化学试剂, 2024, 46(03): 91-98.

[9] 崔岚. 同源印章印文鉴别方法研究[J]. 中国刑警学院学报, 2012, (03): 49-51.

[10] 田良园. 拉曼光谱技术在文件检验鉴定领域应用述评[J]. 山东化工, 2025, 54(05): 123-125.

[11] Ferretti A, Vermeersch E, Sabatini F, et al. Unlocking the secrets of historical violet hues: A spectroscopic and mass spectrometric investigation of logwood ink recipes [J]. Dyes and Pigments, 2025, 239: 112757.

[12] 李海燕,肖燕,李淳,等. 基于不同烟用原纸中荧光增白剂分布建立的CHAID决策树模型鉴别卷烟真伪[J]. 理化检验-化学分册, 2022, 58(12): 1395-1400.

[13] 吴昕玥,刘粮,陈思涛,等. 植物性油墨在香烟包装印刷领域的可用性分析[J]. 包装工程, 2023, 44(S2): 37-39.

[14] 薛晓康,商照聪,孙华. 显微拉曼光谱技术在印章油墨微量物证分析中的应用[J]. 化学研究与应用, 2024, 36(02): 367-371.

[15] Qin Y, Wang X, Pan L, et al. Systematic investigation of analyte protectants to overcome matrix effects for gas chromatographic analysis of tobacco alkaloids and primary aromatic amines across diverse matrices [J]. Talanta, 2026, 302: 129343.