

doi: 10.12452/j.fxcxb.26062204

化妆品禁限用有机着色剂高通量筛查方法及其应用

黄敏涵¹, 梁文耀¹, 郭沈涛², 李燕珊², 聂明霞¹, 夏泽敏¹, 何国山¹,
谭建华^{1*}

(1. 广州质量检验研究院, 国家化妆品质量检验检测中心(广州), 广州市NQI-质量安全科技协同创新中心, 广东
广州 511447; 2. 山东花物堂化妆品股份有限公司, 山东 济南 250102)

摘要: 针对化妆品中多组分禁限用有机着色剂高通量筛查需求, 本研究建立了一种基于超高效液相色谱-四极杆-静电场轨道阱高分辨质谱 (ultra-high-performance liquid chromatography-quadrupole-Orbitrap high-resolution mass spectrometry, UHPLC-Q-Orbitrap HRMS) 的快速筛查方法, 实现对93种化妆品禁限用有机着色剂的同步定性筛查。以93种禁限用有机着色剂为研究对象, 采用四氢呋喃-二甲基亚砜-甲醇混合提取溶剂对样品进行超声萃取; 目标物经Hypersil GOLD™ C18色谱柱 (50 mm×2.1 mm, 1.9 μm) 梯度洗脱分离, 质谱采用全扫描-二级质谱数据依赖 (Full MS/dd-MS²) 采集模式, 获取各目标物保留时间、母离子精确质量、特征碎片离子精确质量等信息; 将全部标准品对应数据导入mzVault软件, 搭建覆盖93种目标着色剂的专属高分辨质谱数据库。通过将样品的母离子的精确质量数、保留时间、MS/MS谱图等信息与质谱数据库进行匹配, 实现高通量筛查。将该方法应用于100批次市售化妆品实际样品的筛查, 共检出3批次存在着色剂不合规使用风险。本方法分析速度快、定性识别准确度高, 适用于市售化妆品中禁限用有机着色剂大批量快速风险筛查。

关键词: 化妆品; 禁限用有机着色剂; 质谱数据库; 高通量筛查

中图分类号: O657.63; TQ658 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4957(XXXX)XX-0001-13

High-throughput Screening Method for Prohibited and Restricted Organic Colorants in Cosmetics and Its Application

HUANG Min-han¹, LIANG Wen-yao¹, GUO Shen-tao², LI Yan-shan², NIE Ming-xia¹, XIA
Ze-min¹, HE Guo-shan¹, TAN Jian-hua^{1*}

(1. Collaborative Innovation Center for NQI-Quality Safety of Guangzhou, National Quality Inspection and Testing Center for Cosmetics (Guangzhou), Guangzhou Quality Testing and Inspection Institute, Guangzhou 511447, China; 2. Shandong Huawutang Cosmetics Co., Ltd., Jinan 250102, China)

Abstract: To address the demand for high-throughput screening of multiple prohibited and restricted organic colorants in cosmetics, this study established a rapid screening method based on ultra-high-performance liquid chromatography-quadrupole-Orbitrap high-resolution mass spectrometry (UHPLC-Q-Orbitrap HRMS) for the simultaneous qualitative screening of 93 prohibited and restricted organic colorants. The target compounds were extracted from cosmetic samples by ultrasonication using a mixed solvent of tetrahydrofuran - dimethyl sulfoxide - methanol. Chromatographic separation was achieved on a Hypersil GOLD™ C18 column (50 mm × 2.1 mm, 1.9 μm) under gradient elution, and mass spectrometric detection was performed in Full MS/data-dependent MS² (Full MS/dd-MS²) acquisition mode to obtain retention times, precursor ion accurate masses, and characteristic fragment ion masses for each analyte. The acquired mass spectral data of all reference standards were imported into mzVault software to construct a dedicated high-resolution mass spectral library covering the 93 target colorants. High-throughput screening was achieved by matching the accurate masses of precursor ions, retention times, and MS/MS spectra of the samples against the mass spectral library. The proposed method was then applied to the screening of 100 batches of com-

收稿日期: 2026-06-22; 修回日期: 2026-09-30

基金项目: 国家市场监督管理总局科技项目 (2025MK170); 广州市科技计划项目 (2023B04J0407) “广州市NQI-质量安全科技协同创新中心”; 广州质量检验研究院科技项目 (GQT2023KJ07)

* 通讯作者: 谭建华, 博士, 正高级工程师, 研究方向: 化妆品安全与功效的研究, E-mail: tanjianhua0734@aliyun.com

网络首发日期: XXXX-XX-XX

mercially available cosmetic products, among which three batches were identified as having non-compliant use of colorants. Overall, the method exhibits rapid analysis speed and high qualitative identification accuracy, rendering it suitable for large-scale rapid risk screening of prohibited and restricted organic colorants in commercial cosmetics.

Key words: cosmetics; prohibited and restricted organic colorants; mass spectral library; high-throughput screening

着色剂是化妆品配方中不可或缺的组分,用于赋予产品丰富色彩、提升视觉吸引力。依据其来源,化妆品着色剂主要分为有机合成着色剂、无机着色剂和天然着色剂三大类^[1]。有机合成着色剂按化学结构可划分为偶氮类、三芳甲烷类等多种类型。有机合成着色剂因着色力强、色泽鲜艳、稳定性好、成本低廉等优势,在化妆品领域应用广泛^[2]。

然而,部分有机着色剂经研究证实对人体健康存在潜在危害,如皮肤刺激、过敏反应,甚至具有致癌风险或遗传毒性^[3]。为此,我国《化妆品安全技术规范》(2015年版)^[4]及欧盟 EC 1223/2009 等法规均对化妆品中允许使用的着色剂品种、使用范围及限量做出严格规定,明确列出禁用及限用清单。然而,化妆品中禁限用有机着色剂的违规添加问题时有发生,部分企业超范围、超限量使用限用着色剂,或违规添加禁用品种,严重威胁消费者使用安全。

针对化妆品中有机着色剂的定性定量检测需求,国内已逐步形成配套标准检测体系,现行有效依据包含《化妆品安全技术规范》(2015年版)^[4]、国家药品监督管理局 2025 年第 133 号公告^[5]、GB/T 34806-2017^[6]、GB/T 37545-2019^[7]等法规与国家标准。除此之外,文献报道的分析方法主要为高效液相色谱法^[8, 9]或液相色谱-串联质谱法^[10, 11]。前者灵敏度与定性能力有限,可能出现假阳性;后者选择性好、定量准确。但现有方法针对已知目标物的数量较少。这些碎片化的方法不仅增加了检测成本,也导致多数着色剂存在监管盲区。

超高效液相色谱-高分辨质谱(UHPLC-HRMS)技术集高分辨率、高质量精度与宽质量范围扫描于一体,能在一次分析中获得化合物的精确母离子质量数、二级碎片离子信息及同位素分布等丰富数据,兼具靶向确证与非靶向筛查的双重优势^[12]。化妆品中风险物质种类繁多,按传统方法需根据不同化合物类别进行多次实验,周期长、效率低。高分辨质谱可在一次分析中,同时对成百上千种化合物进行筛查。基于高分辨质谱获取的精确质量数、保留时间、同位素分布和碎片离子谱图等信息,可以为目标化合物建立高分辨质谱数据库^[13]。将样品的检测数据与数据库进行匹配,即可快速锁定可疑物质,将传统繁琐的数据解析工作流程化、自动化。该技术路径已在食品、化妆品等产品中糖皮质激素、抗感染药物及农药等非法添加物的高通量检测中得到成功应用^[14-17]。

基于此,本研究拟以化妆品中禁限用有机着色剂为研究对象,针对该类化合物数量众多、结构多样、极性与离子化行为差异显著的特点,采用超高效液相色谱-四极杆-静电场轨道阱高分辨质谱(UHPLC-Q-Orbitrap HRMS)技术,建立涵盖 93 种着色剂的高通量筛查方法,并将其应用于市售彩妆产品中着色剂实际添加情况的监测。研究成果将有效弥补现有检测技术在覆盖面方面的不足,为化妆品中着色剂的日常监管提供灵敏、准确、高效的技术手段与数据支撑。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

Vanquish UHPLC 超高效液相色谱系统、Q Exactive 四极杆静电场轨道阱高分辨质谱仪(美国 Thermo 公司);涡旋混合仪(杭州佑宁仪器有限公司);超声清洗仪(宁波鄞州甬杰实验仪器有限公司)。

乙腈(色谱纯,德国 Merk 公司);甲醇(色谱纯,德国 Merk 公司);四氢呋喃(色谱纯,德国 Merk 公司);二甲基亚砜(色谱纯,德国 Merk 公司);甲酸(色谱纯,上海麦克林公司);93 种着色剂标准品(见表 1)主要购自:CATO、上海安谱、Dr. Ehrenstorfer、Bepure、First Standard 等公司;实验用水为超纯水(美国 Millipore 公司,18.2 M Ω ·cm)。

1.2 标准溶液的配制

每种着色剂使用适当的溶剂，配制浓度为 500~1000 mg/L 的储备液，于 4℃ 避光保存。93 种着色剂所用配制溶剂以及其他相关信息详见表 1。

1.3 样品前处理

称取样品 0.2 g (精确到 0.001 g)，置于 10 mL 具塞比色管中，加入 2 mL 四氢呋喃和 1 mL 二甲基亚砜，涡旋振荡 30 s 使样品分散，加入甲醇至近刻度，超声提取 20 min，静置至室温，用甲醇定容至刻度，摇匀。取 1 mL 试液于塑料离心管中，经 15000 r/min 离心 10 min，上清液作为待测溶液。

1.4 UHPLC-Q-Orbitrap HRMS 分析

液相色谱条件：Hypersil GOLD™ C18 色谱柱 (50 mm × 2.1 mm, 1.9 μm)；流动相 A 为 0.01% 甲酸水溶液，流动相 B 为乙腈。梯度洗脱：0~0.5 min, 10% B；0.5~6.5 min, 10%~95% B；6.5~7.5 min, 95% B；7.5~7.6 min, 95%~10% B；7.6~10 min, 10% B。柱温为 35℃，流速为 0.3 mL/min，进样量为 1 μL。

质谱条件：电喷雾离子源 (HESI)；正、负离子检测模式；离子传输管温度 320℃；辅助气 (N₂) 加热温度 350℃，流速 8 L/min；鞘气 (N₂) 流速 8 L/min；吹扫气 (N₂) 流速 0.1 L/min。数据采集方式为一级全扫描加二级数据依赖采集 (Full MS/dd-MS²)，一级质谱全扫描 (Full MS) 分辨率为 70000，质量扫描范围 m/z 100~1500，二级离子扫描 (dd-MS²) 分辨率为 17500，碰撞能量 (NCE) 为 10、30 和 50 eV。

2 结果与讨论

2.1 禁限用着色剂二级质谱数据库的构建

本研究选取 93 种化妆品禁限用有机着色剂作为目标分析物，在 1.4 仪器分析条件下对各标准品溶液进行数据采集。其中 7 组具有相同理论质量数的着色剂单独进样分析。分别在正离子和负离子模式下记录每个化合物的 MS1 谱图 (确定母离子的精确质量数和电荷态) 以及其保留时间 (RT)。

将采集的原始质谱文件 (.RAW 格式) 导入 mzVault 软件后，提取各目标分析物对应保留时间下的 MS1 和 MS2 谱峰，随后基于理论精确质量数对碎片离子进行重新校准，并移除噪声峰。为每个谱图条目关联化合物名称、化妆品着色剂索引号、CAS 号、分子式、法规限定使用范围和化学结构 (MOL 文件) 等元数据，最终保存为着色剂自建质谱数据库。将建好的 mzVault 数据库导入 Compound Discoverer 3.3 数据分析软件，用于后续样品批量定性筛查。93 种目标着色剂对应的关键质谱参数汇总于表 1。

2.2 样品筛查确证方法的建立

依次进样混合标准溶液及待测样品溶液，按照 1.4 仪器分析方法采集数据。将采集的原始数据导入 Compound Discoverer 3.3 软件，软件基于预设的参数自动提取数据，然后进行峰对齐，检测化合物，与上述建立的高分辨数据库进行匹配、化合物分子式拟合、同位素分析，输出结果。

对结果进行筛选，按一级质谱匹配分子离子峰 m/z 偏差在 5 ppm (5×10⁻⁶) 以内、二级匹配分数不低于 70、色谱峰呈高斯分布、化合物保留时间误差 ±0.3 min 以内。对符合上述条件的可疑化合物采用相应的标准品进行确证分析。具体流程图见图 1。

2.3 提取溶剂的选择

本研究涉及的目标物涵盖偶氮、吨、三芳甲烷、蒽醌等多类结构差异显著的有机着色剂，其分子极性和溶解特性各不相同，单一溶剂 (如水、甲醇、四氢呋喃、二甲基亚砜) 仅能针对部分目标物实现有效溶解。同时，不同类型基质化妆品的分散性能差异明显，尤其膏状和蜡基类样品难以均匀分散。因此，采用单一提取溶剂既无法兼顾各类着色剂的充分溶出，也难以实现复杂基质的有效分散，提取效率受限。

针对上述问题，本研究构建了一种三元复合提取溶剂体系：首先加入四氢呋喃以实现化妆品基质的充分分散，随后引入二甲基亚砜以提升弱极性着色剂的溶解度，最后添加甲醇用于强化极性较强着色剂组分的提取。该复配体系可同步适应极性范围宽泛的多类目标着色剂，从而实现对不同结构禁限用着色剂的高效提取。

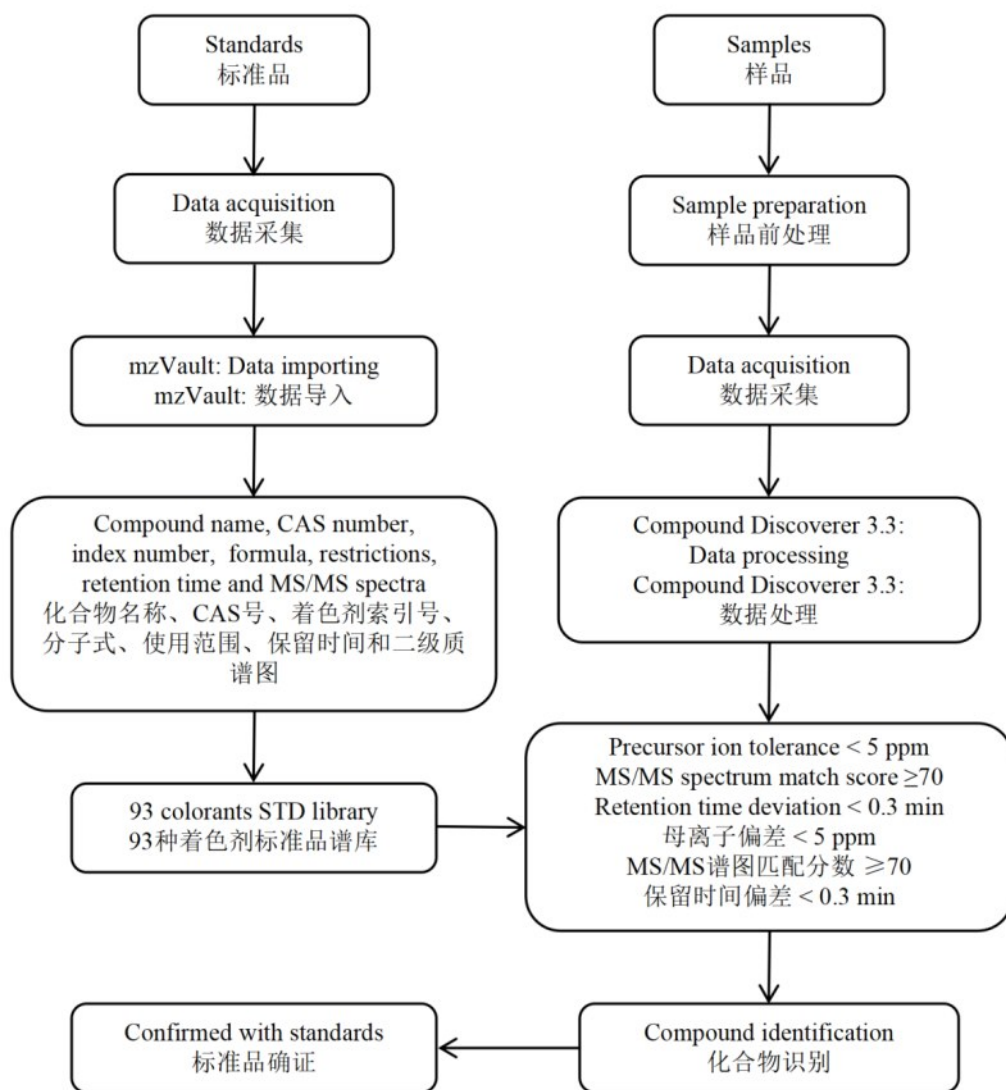


图1 化妆品着色剂高通量筛查方法的构建及应用分析流程

Fig. 1 Workflow of construction and application of a colorants high-throughput screening method in cosmetics

2.4 色谱条件的选择

本研究涉及93种着色剂，其极性范围广泛，涵盖水溶性高极性化合物至可溶于有机溶剂的中低极性化合物。为实现对上述多种组分的有效分离，本方法采用反相色谱柱，具体选用Hypersil GOLD™ C18色谱柱。该色谱柱采用高纯硅胶基质，经过封端处理、填充1.9 μm小粒径填料，有助于获得尖锐对称的峰形。

由于这93种着色剂既包含碱性化合物，也包含酸性化合物。在流动相方面，往流动相中添加甲酸，有利于酸性化合物的保留，同时碱性化合物易带正电荷，提高离子化效率。此外，为降低小粒径色谱柱在常规流速下产生的高柱压，选用乙腈作为有机相降低系统压力。最终，本方法采用0.01%甲酸水溶液和乙腈作为流动相进行梯度洗脱。在此条件下，所有目标着色剂均能在色谱柱上实现出峰，且在质谱检测中获得稳定、可重现的信号响应。

2.5 质谱条件的选择

根据这93种着色剂的电离性质差异，实验采用正离子模式(ESI⁺)和负离子模式(ESI⁻)分别进行质谱数据采集。着色剂使用合适的溶剂溶解后，在溶液状态下，以分子或离子形态存在，在ESI离子源发生电离后，大部分化合物得到[M+H]⁺或[M-H]⁻的母离子，溶剂绿7和直接红28得到

$[M-2H]^{2-}$ 。

实验使用高分辨质谱进行全扫描检测。鉴于目标化合物结构多样、碰撞诱导解离行为差异显著, 本方法采用阶梯式归一化碰撞能量 (stepped normalized collision energy, stepped NCE) 进行碎裂, 分别设置为 10、30 和 50 eV。该策略可有效应对复杂结构混合物的碎片化需求, 并在不针对单个化合物优化碰撞能量的前提下, 显著简化筛查分析的方法开发流程。在上述条件下, 所有 93 种着色剂均可获得对应于母离子的特征碎片谱图。

基于 UHPLC-HRMS 条件, 采集着色剂混合标准品数据, 获得总离子流图 (见图 2)。结果表明, 93 种目标物在梯度洗脱程序内分布均匀。以正离子模式下的碱性红 9 (CI 42500)、碱性紫 14 (CI 42510) 及负离子模式下的酸性蓝 1 (CI 42045)、酸性红 52 (CI 45100) 为例, 其局部放大的提取离子流图显示色谱峰形尖锐且对称, 表明所建方法在色谱保留与质谱响应方面均表现良好。

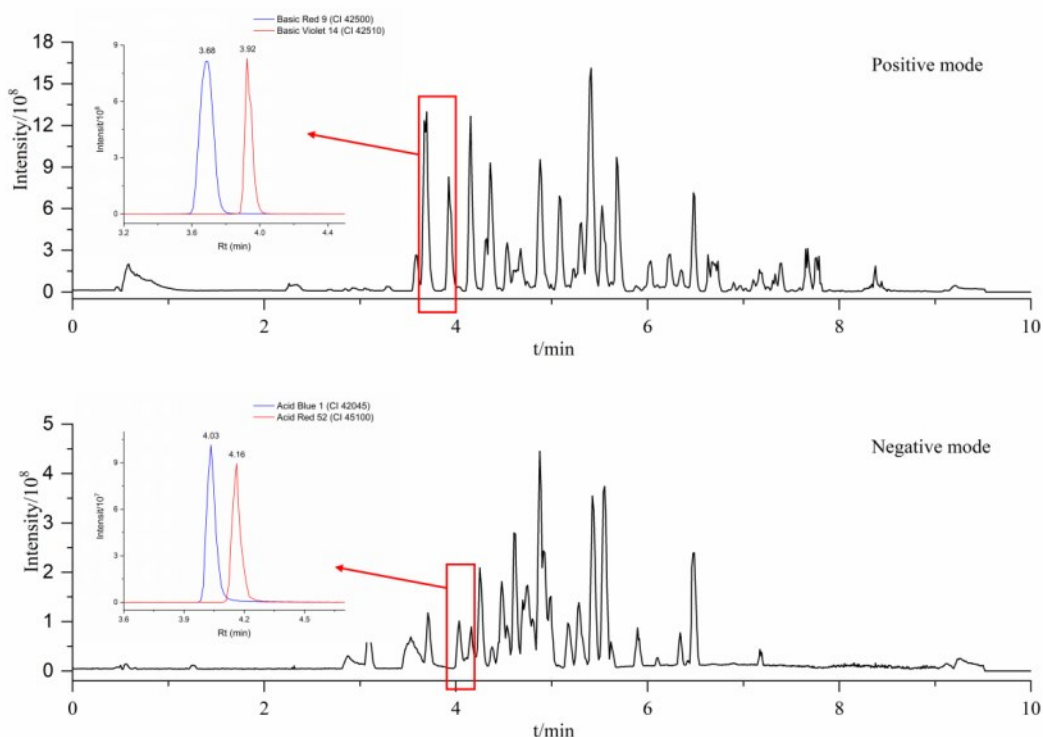


图2 在正负离子模式下采集的 93 种着色剂的总离子流图和局部放大提取离子流图

Fig. 2 Total ion chromatograms and partial enlarged extracted ion chromatograms of 93 colorants acquired in positive and negative mode

2.6 具有相同质荷比着色剂的区分

通过比较化合物的实际质量数与理论质量数, 若偏差值小于 5×10^{-6} , 则可初步判定为目标化合物。在研究的 93 种着色剂中, 存在 7 组具有相同理论质量数的化合物, 归属于两类情形。

其中 3 组化合物: 溶剂红 49 与碱性紫 10, 溶剂紫 9 与碱性紫 3, 颜料红 53 与颜料红 53: 1, 后者为前者的盐形式, 溶液中分子或离子形态相同。由于这些化合物在本分析方法中具有相同的色谱保留时间和质谱特征, 无法直接区分其具体形式。上述着色剂均为我国《化妆品安全技术规范》所列禁用组分, 但各自对应不同的化妆品原料名称 (INCI 名称)。从筛查策略角度而言, 若在样品中未检出该类物质, 则可认为该母体化合物及其盐形式均未添加; 若检出信号, 则以母体化合物为代表进行结果报告和后续确认。

另外有 4 组同分异构体, 分别是酸性橙 7 与橙黄 I, 酸性红 88 与颜料红 49, 食品红 1 与酸性红 26, 食品黄 3 与酸性橙 10。试验发现: 酸性橙 7 与橙黄 I, 酸性红 88 与颜料红 49, 这两组同分异构体之间的保留时间差异显著, 可通过保留时间实现明确区分。而食品红 1 与酸性红 26, 食品黄 3 与酸性橙 10 这两组同分异构体之间的保留时间接近 ($\Delta RT < 0.3$ min), 但其特征碎片离子谱存在明显差异, 可以通过二级质谱信息的差异进行有效鉴别。因此, 基于本方法建立的筛选条件, 所有同分异构体均可实现

有效区分。

2.7 筛查限的确定及质量控制

参照欧盟 SANTE/11312/2021 的相关规定, 定性筛查方法的筛查检测限 (Screening Detection Limit, SDL) 被定义为: 在样品中可以检测到某种分析物的最低浓度^[19]。依据该定义, 通过逐级稀释标准溶液, 使母离子提取色谱峰信噪比 ≥ 3 , 可采集到二级质谱进行确认, 该浓度作为筛查限, 得到 93 种着色剂的筛查限范围为 0.25~50 mg/kg。与现有国标中着色剂的检出限相比, 本方法的筛查限与检出限相近, 甚至更低 (详见表 1)。因此本方法满足化妆品中禁限用有机着色剂的筛查要求。

在日常质量控制方面, 依据上述技术文件要求, 每批至少检测 10% 的分析物, 确保在筛查检测限水平可检出。选用颜料红 53、溶剂橙 7、酸性橙 24、溶剂红 3、酸性红 52、酸性黄 73、碱性紫 1、碱性绿 4、溶剂蓝 35 和酸性紫 43 这 10 种着色剂作为代表性着色剂。这 10 种着色剂包含了水溶性染料和脂溶性染料, 覆盖了偶氮类、 吨类、三芳甲烷类、蒽醌类这四种结构类型。选择基质较为复杂的腮红和唇膏样品进行加标回收验证, 结果表明, 所有代表性着色剂在 SDL 浓度水平下均能有效检出, 方法稳健性良好, 可满足日常实际样品分析的质量控制要求。

2.8 实际样品筛查结果

将所建立的高通量筛查方法应用于 100 批次市售化妆品样品中 93 种着色剂的筛查。结果显示, 有 2 批次儿童化妆品护肤油中检出了标签外着色剂分散黄 16, 该着色剂按现行规定仅限用于暂时接触皮肤的化妆品; 另外还在 1 批次护肤膏样品中检出了化妆品禁用原料溶剂蓝 35。这 3 批次问题样品均含有植物提取物, 关于着色剂的来源 (企业自行添加或原料带入) 尚需进一步研究确定。这三批次问题样品的二级质谱图如图 3 所示。

为进一步验证本筛查方法的准确性, 采用现行标准方法 GB/T 34806-2017《化妆品中 13 种禁用着色剂的测定 高效液相色谱法》和 GB/T 37545-2019《化妆品中 38 种准用着色剂的测定 高效液相色谱法》对上述阳性样品进行复测, 结果同样显示分散黄 16 和溶剂蓝 35 为阳性, 与本方法结果一致, 表明所建筛查方法具有良好的准确性和可靠性。

3 结 论

本研究基于超高效液相色谱-四极杆-静电场轨道阱高分辨质谱 (UHPLC-Q-Orbitrap HRMS) 技术, 采用 Full MS/dd-MS² 采集模式, 结合自建禁限用有机着色剂的质谱数据库, 建立了一套适用于化妆品中 93 种禁限用着色剂的高通量筛查方法。与现有《化妆品安全技术规范》(2015 年版) 和国家标准方法所测着色剂总数 (71 种) 相比, 本方法覆盖范围更广; 单次分析时间控制在 1 小时以内, 检测效率显著提升; 采用高分辨质谱确证, 定性准确性优于传统液相色谱法, 且灵敏度与现有方法基本持平或更低。将所建方法应用于市售化妆品实际检测, 成功发现了部分产品中着色剂的违规使用情况。结果表明, 本方法灵敏度高、操作简便、覆盖范围广, 能够有效满足化妆品中禁限用着色剂的日常监管筛查需求, 并为打击非法添加行为提供了可靠的技术支撑。

表 1 化妆品中 93 种着色剂的 UPLC-HRMS 数据库和标准品信息
Table 1 Information of UPLC-HRMS library and standards for 93 colorants in cosmetics

No.	Name	Index number	CAS number	Formula	Restrictions	Solvents	Precursor ion	Adduct form	Retention Time/min	MS ² fragment ions			SDIs of this method /mg/kg	LODs of National Standards /mg/kg
										1	2	3		
1	Pigment Red 57	CI 15850	5858-81-1	C ₁₈ H ₁₄ N ₂ Na ₂ O ₆ S	I	DMSO	385.0500	[M-H] ⁻	5.43	79.9563	187.0392	168.9957	0.5	/
2	Food Yellow 3	CI 15985	2783-94-0	C ₁₆ H ₁₂ N ₂ O ₇ S ₂	I	H ₂ O	407.0017	[M-H] ⁻	2.92	206.9996	205.9917	327.0445	20	7 ^[7]
3	Food Red 17	CI 16035	25956-17-6	C ₁₈ H ₁₆ N ₂ O ₈ S ₂	I	H ₂ O	451.0278	[M-H] ⁻	3.59	206.9985	205.9906	371.0696	2.5	5 ^[7]
4	Food Red 12	CI 17200	3567-66-6	C ₁₆ H ₁₃ N ₃ O ₇ S ₂	I	MeOH	422.0122	[M-H] ⁻	3.13	185.0338	248.9976	316.9663	0.5	/
5	Food Blue 2	CI 42090	3844-45-9	C ₁₇ H ₁₆ N ₂ O ₉ S ₃	I	H ₂ O	747.1513	[M-H] ⁻	4.58	170.0036	201.9935	79.9574	0.25	2 ^[7]
6	Acid Red 92	CI 45410	18472-87-2	C ₂₀ H ₁₄ Br ₄ Cl ₄ O ₅	I	MeOH	778.5474	[M-H] ⁻	6.79	78.9176	186.1649	422.9398	100	/
7	Vat Blue 1	CI 73000	482-89-3	C ₁₆ H ₁₀ N ₂ O ₃	I	MeOH	263.0815	[M+H] ⁺	5.25	235.0866	219.0917	132.0444	0.25	/
8	Pigment Red 49	CI 15630	1248-18-6	C ₂₀ H ₁₃ N ₂ NaO ₄ S	I	DMSO	377.0602	[M-H] ⁻	6.15	79.9563	297.1022	143.0491	0.25	20 ^[7]
9	Solvent Orange 16	CI 45396	24545-86-6	C ₂₀ H ₁₀ N ₂ O ₉	I	MeOH	421.0307	[M-H] ⁻	4.87	359.0310	330.0408	377.0415	0.25	/
10	Acid Yellow 1	CI 10316	846-70-8	C ₁₀ H ₄ N ₂ Na ₂ O ₈ S	II	H ₂ O	312.9772	[M-H] ⁻	3.59	233.0204	173.0244	295.9745	0.25	20 ^[7]
11	Acid Orange 7	CI 15510	633-96-5	C ₁₆ H ₁₂ N ₂ O ₄ S	II	H ₂ O	327.0445	[M-H] ⁻	5.25	170.9996	79.9574	107.0377	0.25	3 ^[7]
12	Acid Orange 10	CI 16230	1936-15-8	C ₁₆ H ₁₂ N ₂ O ₇ S ₂	III	H ₂ O	407.0016	[M-H] ⁻	2.99	301.9560	79.9574	158.0373	0.5	7 ^[7]
13	Food Red 10	CI 18050	3734-67-6	C ₁₈ H ₁₅ N ₃ O ₈ S ₂	III	H ₂ O	464.0229	[M-H] ⁻	3.81	358.9775	263.9972	185.0338	0.5	8 ^[7]
14	Acid Violet 43	CI 60730	4430-18-6	C ₂₁ H ₁₅ N ₃ O ₆ S	III	H ₂ O	408.0549	[M-H] ⁻	6.33	328.0979	79.9574	185.0152	0.25	20 ^[7]
15	Pigment Red 3	CI 12120	2425-85-6	C ₁₇ H ₁₃ N ₃ O ₃	IV	THF	308.1029	[M+H] ⁺	6.74	128.0495	152.0580	156.0444	0.25	/
16	Disperse Yellow 16	CI 12700	4314-14-1	C ₁₆ H ₁₄ N ₂ O ₄	IV	MeOH	279.1240	[M+H] ⁺	6.74	93.0573	92.0495	95.0491	0.25	5 ^[7]
17	Acid Red 88	CI 15620	1658-56-6	C ₂₀ H ₁₆ N ₂ O ₄ S	IV	MeOH	377.0602	[M-H] ⁻	6.54	221.0145	143.0502	79.9574	0.25	8 ^[7]
18	Acid Yellow 121	CI 18690	5601-29-6	C ₃₄ H ₂₅ CuN ₈ O ₆	IV	MeOH	692.1229	[M-H] ⁻	8.15	648.1320	166.0651	99.9247	0.5	10 ^[7]
19	Acid Yellow 11	CI 18820	6359-82-6	C ₁₆ H ₁₄ N ₄ O ₄ S	IV	H ₂ O	357.0662	[M-H] ⁻	5.70	237.0207	208.0067	197.9853	0.25	20 ^[7]

续表 1 化妆品中 93 种着色剂的 UPLC-HRMS 数据库和标准品信息

Table 1 Information of UPLC-HRMS library and reference standards for 93 colorants in cosmetics (Continued)

No.	Name	Index number	CAS number	Formula	Restrictions	Solvents	Precursor ion	Adduct form	Retention Time/min	MS ² fragment ions			SDIs of this method /mg/kg	LODs of National Standards /mg/kg
										1	2	3		
20	Acid Black 1	CI 20470	1064-48-8	C ₂₂ H ₁₆ N ₆ O ₉ S ₂	IV	MeOH	571.0353	[M-H] ⁻	4.50	507.0728	357.0432	478.9847	5	5 ^[7]
21	Direct Orange 39	CI 40215	1325-54-8	C ₁₂ N ₃ H ₁₁ SO ₃	IV	H ₂ O	276.0448	[M-H] ⁻	3.22	79.9574	95.0125	158.9744	50	/
22	Acid Blue 7	CI 42080	3486-30-4	C ₃₇ H ₃₆ N ₂ O ₆ S ₂	IV	H ₂ O	667.1948	[M-H] ⁻	6.11	561.1166	79.9574	375.0816	0.5	10 ^[7]
23	Basic Violet 2	CI 42520	3248-91-7	C ₂₂ H ₂₃ N ₃	IV	MeOH	330.1964	[M+H] ⁺	4.22	223.1230	300.1495	208.0995	0.25	10 ^[7]
24	Acid Red 52	CI 45100	3520-42-1	C ₂₂ H ₃₀ N ₂ O ₇ S ₂	IV	MeOH	559.1567	[M+H] ⁺	4.90	515.0941	471.0315	435.1380	0.25	5 ^[7]
25	Acid Red 50	CI 45220	5873-16-5	C ₂₃ H ₂₂ N ₂ NaO ₇ S ₂	IV	MeOH	529.1107	[M-H] ⁻	4.10	79.9563	405.0913	485.0488	0.5	4 ^[7]
26	Disperse Violet 27	CI 60724	19286-75-0	C ₂₀ H ₁₃ NO ₃	IV	MeOH	316.0961	[M+H] ⁺	7.05	298.0863	239.0577	238.0499	0.25	/
27	Acid Blue 62	CI 62045	4368-56-3	C ₂₀ H ₁₀ N ₂ O ₅ S	IV	H ₂ O	399.1020	[M-H] ⁻	7.09	316.0159	79.9574	289.0050	0.25	15 ^[7]
28	Bromocresol Green	/	76-60-8	C ₂₁ H ₁₄ Br ₂ O ₅ S	IV	MeOH	692.7227	[M-H] ⁻	5.97	78.9188	79.9574	534.8881	0.5	20 ^[7]
29	Bromothymol Blue	/	76-59-5	C ₂₇ H ₂₈ Br ₂ O ₅ S	IV	MeOH	620.9954	[M-H] ⁻	7.14	78.9188	79.9574	542.0769	0.5	/
30	Food Orange 3	CI 11920	2051-85-6	C ₁₂ H ₁₀ N ₂ O ₂	I, #	MeOH	213.0670	[M-H] ⁻	5.51	121.0169	120.0091	136.0039	0.25	/
31	Pigment Red 4	CI 12085	2814-77-9	C ₁₆ H ₁₀ ClN ₃ O ₃	I, #	THF	328.0481	[M+H] ⁺	6.90	128.0495	156.0444	142.0054	0.5	5 ^[7]
32	Acid Orange 6	CI 14270	547-57-9	C ₁₂ H ₁₀ N ₂ O ₅ S	I, #	H ₂ O	293.0240	[M-H] ⁻	3.43	170.9996	213.0670	79.9574	0.25	7.5 ^[4]
33	Food Red 1	CI 14700	4548-53-2	C ₁₈ H ₁₆ N ₂ O ₇ S ₂	I, #	H ₂ O	435.0329	[M-H] ⁻	4.14	355.0758	170.0248	199.0302	0.25	7.5 ^[4]
34	Pigment Red 48	CI 15865	3564-21-4	C ₁₈ H ₁₅ ClN ₂ O ₆ S	I, #	DMSO	419.0105	[M-H] ⁻	6.04	79.9560	220.9673	138.9943	0.25	/
35	Pigment Red 63	CI 15880	6417-83-0	C ₂₇ H ₁₄ N ₂ O ₆ S	I, #	DMSO	421.0479	[M-H] ⁻	6.00	79.9574	222.9625	187.0394	0.25	/
36	Food Blue 5	CI 42051	3536-49-0	C ₂₇ H ₃₂ N ₂ O ₇ S ₂	I, #	H ₂ O	559.1578	[M-H] ⁻	5.00	79.9574	479.2010	391.0758	0.25	4 ^[7]
37	Food Green 3	CI 42053	2353-45-9	C ₃₇ H ₃₆ N ₂ O ₁₀ S ₃	I, #	H ₂ O	763.1458	[M-H] ⁻	4.39	170.0036	201.9935	79.9574	0.25	2 ^[7]
38	Acid Yellow 73	CI 43550	518-47-8	C ₂₀ H ₁₂ O ₅	I, #	H ₂ O	331.0608	[M-H] ⁻	4.65	286.0635	287.0714	285.0557	0.25	7.5 ^[4]

续表 1 化妆品中 93 种着色剂的 UPLC-HRMS 数据库和标准信息。

Table 1 Information of UPLC-HRMS library and reference standards for 93 colorants in cosmetics (Continued)

No.	Name	Index number	CAS number	Formula	Restrictions	Solvents	Precursor ion	Adduct form	Retention Time/min	MS ² fragment ions			SDLS of this method /mg/kg	LODs of National Standards /mg/kg
										1	2	3		
39	Acid Orange 11	CI 45370	596-03-2	C ₂₀ H ₁₀ Br ₂ O ₅	I, #	MeOH	486.8830	[M-H] ⁻	4.99	78.9177	362.9653	441.8856	0.25	/
40	Acid Red 87	CI 45380	548-26-5	C ₂₀ H ₈ Br ₄ O ₅	I, #	MeOH	642.7037	[M-H] ⁻	5.69	78.9176	518.7868	440.8772	0.5	7.5 ^[4]
41	Acid Red 95	CI 45425	33239-19-9	C ₂₀ H ₈ I ₂ O ₅	I, #	MeOH	582.8552	[M-H] ⁻	5.16	126.9050	410.9524	260.0479	5	/
42	Food Red 14	CI 45430	568-63-8	C ₂₀ H ₈ I ₄ O ₅	I, #	H ₂ O	834.6487	[M-H] ⁻	6.06	126.9050	536.8490	662.7456	0.5	15 ^[4]
43	Pigment Red 83	CI 58000	72-48-0	C ₁₄ H ₈ O ₄	I, #	MeOH	239.0350	[M-H] ⁻	4.84	211.0390	210.0311	167.0491	0.25	/
44	Solvent Violet 13	CI 60725	81-48-1	C ₂₃ H ₁₅ NO ₃	I, #	THF	330.1120	[M+H] ⁺	7.50	312.1019	315.0890	238.0499	0.25	/
45	Solvent Green 3	CI 61565	128-80-3	C ₂₈ H ₂₂ N ₂ O ₂	I, #	THF	419.1734	[M+H] ⁺	8.36	328.1206	327.1128	401.1648	2.5	8 ^[7]
46	Acid Green 1	CI 10020	19381-50-1	C ₁₀ H ₇ NO ₃ S	III, #	H ₂ O	251.9972	[M-H] ⁻	1.82	144.0444	206.9985	234.9934	5	15 ^[4]
47	Solvent Red 3	CI 12010	6535-42-8	C ₁₈ H ₁₆ N ₂ O ₂	III, #	THF	293.1285	[M+H] ⁺	6.40	149.0709	65.0386	91.0542	0.25	10 ^[7]
48	Pigment Red 64	CI 15800	6371-76-2	C ₃₄ H ₂₂ CaN ₄ O ₆	III, #	DMSO	293.0921	[M+H] ⁺	6.19	275.0815	219.0917	142.0413	0.25	20 ^[7]
49	Acid Blue 1	CI 42045	129-17-9	C ₂₇ H ₃₂ N ₂ O ₆ S ₂	III, #	MeOH	543.1628	[M-H] ⁻	4.65	79.9574	375.0809	419.1435	0.25	5 ^[7]
50	Basic Violet 14	CI 42510	632-99-5	C ₂₀ H ₁₉ N ₃	III, #	MeOH	302.1649	[M+H] ⁺	3.81	209.1073	195.0917	286.1339	0.25	/
51	Basic Violet 26	CI 44045	2580-56-5	C ₃₃ H ₃₁ N ₃	III, #	H ₂ O	470.2588	[M+H] ⁺	5.26	454.2278	333.1386	349.1699	0.25	7 ^[7]
52	Solvent Yellow 33	CI 47000	8003-22-3	C ₁₈ H ₁₁ NO ₂	III, #	THF	274.0858	[M+H] ⁺	5.44	105.0335	228.0808	218.0964	0.25	10 ^[7]
53	Solvent Green 7	CI 59040	6358-69-6	C ₁₆ H ₇ Na ₃ O ₁₀ S ₃	III, #	H ₂ O	227.9640	[M-2H] ²⁻	1.28	187.9854	188.4864	79.9563	50	15 ^[4]
54	Acid Violet 9	CI 45190	6252-76-2	C ₃₄ H ₂₆ N ₂ O ₅ S	IV, #	MeOH	589.1440	[M-H] ⁻	4.91	545.1541	185.0145	453.0915	0.25	15 ^[7]
55	Pigment Green 8	CI 10006	16143-80-9	C ₃₀ H ₁₈ FeN ₃ NaO ₆	IV	DMSO	572.0547	[M-H] ⁻	6.74	172.0393	140.0495	102.0338	2.5	/
56	Acid Orange 3	CI 10385	6373-74-6	C ₁₈ H ₁₄ N ₄ O ₅ S	V	MeOH	429.0508	[M-H] ⁻	6.86	79.9574	382.0503	331.0837	0.25	/
57	Disperse Orange 3	CI 11005	730-40-5	C ₁₂ H ₁₀ N ₄ O ₂	V	MeOH	243.0877	[M+H] ⁺	5.59	150.0298	75.0229	92.0257	0.25	/

续表 1 化妆品中 93 种着色剂的 UPLC-HRMS 数据库和标准品信息。

Table 1 Information of UPLC-HRMS library and reference standards for 93 colorants in cosmetics (Continued)

No.	Name	Index number	CAS number	Formula	Restrictions	Solvents	Precursor ion	Adduct form	Retention Time/min	MS ² fragment ions			SDIs of this method		LODs of National Standards /mg/kg
										1	2	3	mg/kg	mg/kg	
58	Disperse Brown 1	CI 11152	23355-64-8	C ₁₆ H ₁₅ ClN ₃ O ₄	V	MeOH	433.0229	[M+H] ⁺	5.74	166.0413	415.0126	153.0214	0.25	/	
59	Disperse Yellow 3	CI 11855	2832-40-8	C ₁₅ H ₁₅ N ₃ O ₂	V	MeOH	268.1091	[M-H] ⁻	5.67	134.0611	92.0506	133.0407	0.25	3	[6]
60	Solvent Yellow 14	CI 12055	842-07-9	C ₁₆ H ₁₂ N ₂ O	V	THF	249.1022	[M+H] ⁺	6.81	93.0573	232.0995	128.0495	0.25	1	[5]
61	Pigment Orange 5	CI 12075	3468-63-1	C ₁₆ H ₁₀ N ₄ O ₅	V	THF	339.0723	[M+H] ⁺	6.27	128.0495	156.0444	146.0600	0.5	2	[6]
62	Solvent Orange 7	CI 12140	3118-97-6	C ₁₈ H ₁₆ N ₂ O	V	MeOH	277.1329	[M+H] ⁺	7.30	121.0886	120.0808	106.0651	0.5	1	[5]
63	Solvent Red 1	CI 12150	1229-55-6	C ₁₇ H ₁₄ N ₂ O ₂	V	DMSO	277.1442	[M-H] ⁻	6.52	121.0284	134.0362	127.1117	0.25	/	
64	Acid Yellow 36	CI 13065	587-98-4	C ₁₈ H ₁₅ N ₃ O ₃ S	V	MeOH	352.0762	[M-H] ⁻	6.10	79.9574	63.9624	155.9873	0.25	3	[6]
65	Pigment Red 53	CI 15585	2092-56-0	C ₁₇ H ₁₂ ClN ₂ NaO ₄ S	V	DMSO	375.0211	[M-H] ⁻	6.39	79.9563	235.9543	347.0139	0.25	2	[6]
66	Pigment Red 53: 1	CI 15585	5160-02-1	C ₃₄ H ₂₄ BaCl ₂ N ₄ O ₈ S ₂	V	DMSO	375.0211	[M-H] ⁻	6.38	79.9563	235.9546	218.9758	0.25	2	[6]
67	Acid Orange 24	CI 20170	1320-07-6	C ₂₀ H ₁₈ N ₄ O ₅ S	V	H ₂ O	425.0928	[M-H] ⁻	5.74	170.9982	107.0363	79.9574	0.5	/	
68	Solvent Yellow 44	CI 56200	2478-20-8	C ₂₀ H ₁₆ N ₂ O ₂	V	MeOH	317.1282	[M+H] ⁺	5.02	105.0699	195.0553	79.0542	0.25	/	
69	Direct Red 28	CI 22120	573-58-0	C ₃₃ H ₂₄ N ₆ O ₆ S ₂	V	H ₂ O	325.0527	[M-2H] ²⁻	4.72	80.9641	79.9563	169.0396	0.25	/	
70	Solvent Red 23	CI 26100	85-86-9	C ₂₂ H ₁₆ N ₄ O	V	MeOH	353.1397	[M+H] ⁺	7.79	95.0491	128.0495	196.0869	0.5	1	[5]
71	Solvent Red 24	CI 26105	85-83-6	C ₂₄ H ₂₀ N ₄ O	V	THF	381.1710	[M+H] ⁺	8.45	91.0542	106.0651	224.1182	0.5	1	[5]
72	Solvent Black 3	CI 26150	4197-25-5	C ₂₉ H ₂₄ N ₆	V	MeOH	457.2128	[M+H] ⁺	7.72	193.0760	95.0496	/	0.25	/	
73	Acid Red 73	CI 27290	5413-75-2	C ₂₂ H ₁₆ N ₄ O ₅ S ₂	V	H ₂ O	511.0392	[M-H] ⁻	5.54	301.9560	79.9574	158.0360	5	/	
74	Basic Green 4	CI 42000	569-64-2	C ₂₃ H ₂₅ ClN ₂	V	H ₂ O	329.2004	[M+H] ⁺	4.79	313.1699	208.1121	284.1434	0.25	/	
75	Basic Red 9	CI 42500	569-61-9	C ₁₉ H ₁₇ N ₃	V	MeOH	288.1494	[M+H] ⁺	3.57	195.0917	271.1230	168.0808	0.25	/	
76	Basic Violet 1	CI 42535	8004-87-3	C ₂₉ H ₂₇ N ₃	V	MeOH	358.2274	[M+H] ⁺	4.97	342.1965	343.2043	237.1386	0.25	2	[6]

续表 1 化妆品中 93 种着色剂的 UPLC-HRMS 数据库和标准品信息。

Table 1 Information of UPLC-HRMS library and reference standards for 93 colorants in cosmetics (Continued)

No.	Name	Index number	CAS number	Formula	Restrictions	Solvents	Precursor ion	Adduct form	Retention Time/min	MS ² fragment ions			SDIs of this method		LODs of National Standards /mg/kg
										1	2	3	mg/kg	mg/kg	
77	Basic Violet 3	CI 42555	548-62-9	C ₂₃ H ₂₉ N ₃	V	MeOH	372.2432	[M+H] ⁺	5.16	356.2121	251.1543	/	0.25	2 ^[6]	
78	Solvent Violet 9	CI 42555: 1	467-63-0	C ₂₅ H ₃₁ N ₃ O	V	MeOH	372.2426	[M+H] ⁺	5.17	356.2121	251.1543	357.2199	0.25	2 ^[6]	
79	Acid Violet 49	CI 42640	1694-09-3	C ₃₉ H ₄₁ N ₃ O ₆ S ₂	V	MeOH	712.2510	[M+H] ⁺	5.52	340.1808	526.2159	354.1945	0.25	3 ^[6]	
80	Basic Violet 10	CI 45170	81-88-9	C ₂₈ H ₃₀ N ₂ O ₃	V	MeOH	443.2329	[M+H] ⁺	5.03	399.1703	355.1077	385.1672	0.25	1 ^[6]	
81	Solvent Red 49	CI 45170: 1	509-34-2	C ₂₈ H ₃₀ N ₂ O ₃	V	MeOH	443.2329	[M+H] ⁺	5.04	399.1703	355.1077	413.1860	0.25	1 ^[6]	
82	Disperse Red 15	CI 60710	116-85-8	C ₁₄ H ₉ NO ₃	V	MeOH	240.0654	[M+H] ⁺	5.49	212.0706	84.9600	166.0651	0.5	/	
83	Solvent Blue 35	CI 61554	17354-14-2	C ₂₂ H ₂₆ N ₂ O ₂	V	MeOH	351.2059	[M+H] ⁺	7.67	251.0815	294.1363	/	0.25	1 ^[6]	
84	Disperse Red 11	CI 62015	2872-48-2	C ₁₅ H ₁₂ N ₂ O ₃	V	MeOH	269.0916	[M+H] ⁺	4.81	226.0737	254.0686	238.0737	0.25	/	
85	Disperse Blue 7	CI 62500	3179-90-6	C ₁₈ H ₁₈ N ₂ O ₆	V	MeOH	359.1238	[M+H] ⁺	4.50	283.0713	314.0897	255.0764	0.25	/	
86	Disperse Blue 1	CI 64500	2475-45-8	C ₁₄ H ₁₂ N ₄ O ₂	V	MeOH	269.1033	[M+H] ⁺	3.55	224.0818	252.0768	253.0846	0.25	/	
87	Disperse Orange 149	/	85136-74-9	C ₂₅ H ₂₆ N ₆ O ₃	V	MeOH	459.2127	[M+H] ⁺	6.30	399.1564	417.1670	95.0491	0.25	/	
88	Basic Red 51	/	12270-25-6	C ₁₃ H ₁₇ N ₅	VI	MeOH	244.1556	[M+H] ⁺	3.39	120.0808	148.0869	79.0542	0.25	/	
89	Basic Orange 31	/	97404-02-9	C ₁₁ H ₁₃ N ₅	VI	MeOH	216.1243	[M+H] ⁺	1.71	97.0760	92.0495	120.0556	0.25	/	
90	Orange I	CI 14600	523-44-4	C ₁₆ H ₁₂ N ₂ O ₄ S	VII	H ₂ O	327.0445	[M+H] ⁻	4.38	170.9987	107.0365	247.0874	0.25	/	
91	Acid Red 26	CI 16150	3761-53-3	C ₁₈ H ₁₆ N ₂ O ₇ S ₂	VII	H ₂ O	435.0328	[M+H] ⁻	4.25	194.0036	79.9574	355.0758	0.25	/	
92	Basic Yellow 2	CI 41000	2465-27-2	C ₁₇ H ₂₁ N ₃	VII	H ₂ O	268.1806	[M+H] ⁺	4.19	147.0917	252.1495	122.0964	0.25	/	
93	Para Red	/	6410-10-2	C ₁₆ H ₁₁ N ₃ O ₃	VIII	ACN+CHCl ₃	294.0873	[M+H] ⁺	6.39	128.0495	156.0444	277.0846	0.25	0.2 ^[18]	

DMSO; Dimethylsulfoxide; MeOH; Methanol; THF; Tetrahydrofuran; ACN; Acetonitrile; CHCl₃; Chloroform. I: Allowed to be used in cosmetics. II: Not to be used in eye products. III: Not to be used in products applied on mucous membranes. IV: Only allowed to be used in rinse-off products. V: Listed as the substance prohibited in cosmetics. VI: Allowed to be used in hair dye products. VII: Not to be listed as the colorants allowed in cosmetics. VIII: Not to be used in lip products. #: Not to be used in hair dye products. SDI: Screening detection limit. LOD: Limit of detection in national standards.

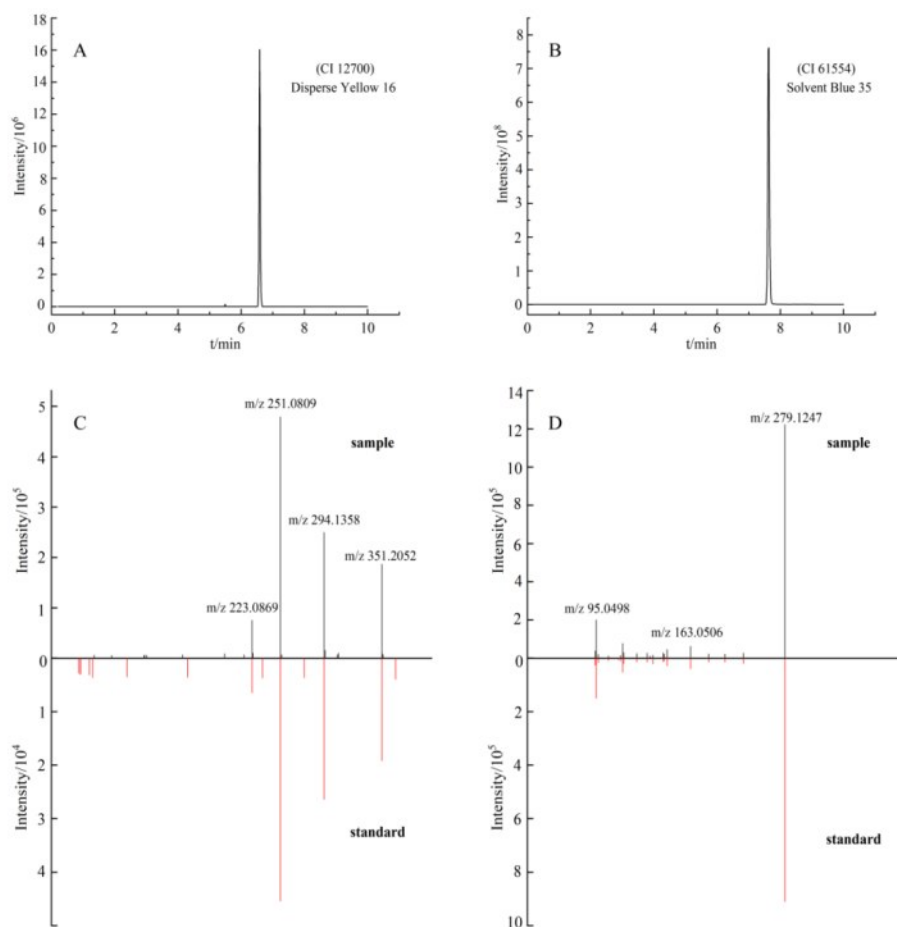


图3 分散黄 16 (CI 12700)、溶剂蓝 35 (CI 61554) 分别对应的提取离子流图 (A、B)、二级质谱图和标准谱图镜像结果 (C、D)

Fig. 3 The Extracted Ion Chromatograms (A, B), secondary mass spectra and standard mass spectra (C, D) of Disperse Yellow 16 (CI 12700) and Solvent Blue 35 (CI 61554) respectively

参考文献:

- [1] Chen S D, Liu P, Hong J Q, Qian Z J. *Guangdong Chem. Ind.* (陈山丹, 刘萍, 洪锦清, 钱志娟. 广东化工), **2025**, 52 (18): 132-134.
- [2] Eugenia G, Maria L, Carmen G J. *J. Chromatogr A*, **2017**, 1529: 29-38.
- [3] Zhu F Q, He Z Q, He Q, Hua N N, Zhang S C, Wang S. *Flavour Fragrance Cosmet.* (朱富强, 贺志乔, 贺倩, 花宁宁, 张士财, 王姝. 香料香精化妆品), **2019**, (3): 75-79.
- [4] Safety and Technical Standards for Cosmetics (2015 Edition). *National Medical Products Administration*. 化妆品安全技术规范 (2015年版). 国家食品药品监督管理总局.
- [5] National Medical Products Administration. No. 133 Bulletin of the National Medical Products Administration in 2025 (国家药监局. 国家药品监督管理局2025年第133号公告). [2025-12-30]. <https://www.nmpa.gov.cn/hzhp/hzhpjmtg/20260112142738101.html>
- [6] GB/T 34806-2017 Determination of 13 kinds of prohibited colourants in cosmetics-High performance liquid chromatography. *National Standards of the People's Republic of China* (化妆品中13种禁用着色剂的测定 高效液相色谱法. 中华人民共和国国家标准).
- [7] GB/T 37545-2019 Determination of 38 kinds of permitted colorants in cosmetics-High performance liquid chromatography. *National Standards of the People's Republic of China* (化妆品中38种准用着色剂的测定 高效液相色谱法. 中华人民共和国国家标准).
- [8] Liang J W, Zhou Z M, Zeng Z J, Chen G Q. *Flavour Fragrance Cosmet.* (梁静文, 周智明, 曾子君, 陈桂琴. 香料香精化妆品), **2019**, (2): 65-69.
- [9] Yuan J H, Jiang Q Q, Long P, Ma M, Zhou H B, Xiao D Q. *China Surfactant Deterg. Cosmet.* (袁剑辉, 蒋清清, 龙培, 马明, 周宏斌, 肖道清. 日用化学工业), **2021**, 51 (9): 903-909.
- [10] Jiang Z B, Ren G J, Mao X Q, Li C L, Zhang G C, Wang L Z. *J. Instrum. Anal.* (姜子波, 任国杰, 毛希琴, 李春玲, 张国翠, 王灵芝. 分析测试学报), **2016**, 35 (07): 792-798.
- [11] Guerra E, Celeiro M, Pablo Lamas J, Llompart M, Garcia-Jares C. *J. Chromatogr A*, **2015**, 1415: 27-37.

- [12] You Y W, Proctor R M, Guo K, Li X Q, Xue E, Guan F Y, Robinson M A. *Anal. Methods*, **2021**, 13 (13): 1565–1575.
- [13] Fu Y Q, Zhou Z H, Kong H W, Lu X, Zhao X J, Chen Y H, Chen J, Wu Z M, Xu Z L, Zhao C X, Xu G W. *Anal. Chem.*, **2016**, 88 (17): 8870–8877.
- [14] Dong Y L, Lin S J, Zhang W Q, Huang C F, Li L, Wang H Y. *Anal. Instrum.* (Beijing, China). 董亚蕾, 林思静, 张伟清, 黄传峰, 李莉, 王海燕. *分析仪器*, **2023**, (02): 33–42.
- [15] Zhou X C, Hu T T, Wang J H, Bai J, Yang Y, Hou Y, Zhang Z, Zhang X. *Jilin J. Chinese Medicine*. (周雪苑, 胡婷婷, 王佳慧, 白静, 杨颖, 侯宇, 张哲, 张勋. *吉林中医药*), **2023**, 43 (12): 1469–1474.
- [16] Fang J L, Zhang D Y, Yi Y X, Liu Y Y, Chai Y F, Li Z G, Chen H P. *J. Instrum. Anal.* (方俊兰, 张丹阳, 伊岳星, 刘颖颖, 柴云峰, 李祖光, 陈红平. *分析测试学报*), **2023**, 42 (12): 1537–1546.
- [17] Guan J Y, Yang Y N, Zhou D K, Long X M, Zhou C, Zhang G, Zhang R Q, Hu J F, Li S Q. *J. Food Saf. Qual.* (关静渊, 杨彦宁, 周大可, 隆雪明, 周灿, 张港, 张瑞祺, 胡菊芳, 李诗琪. *食品安全质量检测学报*), **2025**, 16 (8): 107–114.
- [18] GB/T 39946–2021. *Determination of prohibited Para Red in lip cosmetics–High performance liquid chromatography. National Standards of the People's Republic of China* (唇用化妆品中禁用物质对位红的测定高效液相色谱法. 中华人民共和国国家标准).
- [19] SANTE/11312/2021. *Analytical Quality Control and Method Validation Procedures for Pesticide Residues Analysis in Food and Feed. European Commission*.

(责任编辑：丁 岩)