

分析测试新成果 (55 ~ 62)

超高效液相色谱-串联质谱法测定化妆品中 13 种禁用原料

毛林芳

(福建省食品药品质量检验研究院, 福建 福州 350001)

摘要: 采用超高效液相色谱-串联质谱法(UPLC-MS/MS)同时测定化妆品中新康唑等 13 种禁用原料。样品经过饱和氯化钠溶液分散, 乙腈超声提取, 上清液用水定容。以 0.1% 甲酸水-乙腈作为流动相梯度洗脱, 采用 Waters ACQUITY UPLC HSS T3 (2.1 mm×100 mm, 1.8 μm) 色谱柱分离, 使用正、负离子扫描, 在多反应监测(MRM)模式下进行检测, 基质标准曲线外标法定量。结果显示, 在水基、乳液和膏霜这 3 类基质中 13 种禁用原料线性关系良好, 相关系数(r)均大于 0.995, 检出限为 0.2 ~ 2 μg/kg, 定量限为 0.6 ~ 6 μg/kg。3 个加标浓度下的回收率为 77.50% ~ 120.00%, 相对标准偏差为 1.3% ~ 7.3%。方法具有前处理简便、灵敏度高、准确可靠等优点, 可作为化妆品中 13 种禁用原料的检测方法。

关键词: 化妆品; 超高效液相色谱-串联质谱法; 禁用原料

中图分类号: O657.63

文献标志码: B

文章编号: 1006-3757(2025)01-0055-08

DOI: 10.16495/j.1006-3757.2025.01.007

CSTR: 32263.14.j.1006-3757.2025.01.007

Determination of 13 Prohibited Ingredients in Cosmetics by Ultra-High Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry

MAO Linfang

(Fujian Institute for Food and Drug Quality Inspection, Fuzhou 350001, China)

Abstract: An ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS) method was established for the simultaneous determination of 13 prohibited ingredients (such as econazole) in cosmetics. The samples were dispersed with saturated sodium chloride solution, extracted with acetonitrile under ultrasonication, and the supernatant was diluted with water. Separation was performed on a Waters ACQUITY UPLC HSS T3 column (2.1 mm × 100 mm, 1.8 μm) using a gradient elution with 0.1% formic acid and acetonitrile as the mobile phase. Positive and negative ion scanning was applied in multiple reaction monitoring (MRM) mode for detection, and quantitative determination was conducted via a matrix-matched standard curve with the external standard method. The results demonstrated excellent linearity for the 13 prohibited ingredients in water-based, emulsion, and cream matrices, with correlation coefficients (r) exceeding 0.995. The limits of detection and quantitation were 0.2 ~ 2 μg/kg and 0.6 ~ 6 μg/kg, respectively. The recoveries were 77.50% ~ 120.00%, and the relative standard deviations were 1.3% ~ 7.3%. This method offers simple pretreatment, high sensitivity, accuracy, and reliability, and is applicable for efficient and accurate detection of 13 prohibited ingredients in cosmetics.

Key words: cosmetics; UPLC-MS/MS; prohibited ingredient

近年来, 关于化妆品中激素、抗生素等药物非法添加的报道层出不穷, 市场中化妆品的质量良莠

不齐, 不法商贩在利益驱使下向化妆品中非法添加禁用原料^[1-3]。长期使用非法添加抗生素等药物的化

收稿日期: 2024-11-08; 修订日期: 2025-01-26

作者简介: 毛林芳(1990—), 女, 工程师, 研究方向: 化妆品理化检验, E-mail: 1023773685@qq.com

妆品,不但会使皮肤产生耐药性,而且可能引起一系列不良反应,特别是儿童的皮肤屏障功能较弱,可能会引起全身性或部分器官的不良反应,产生严重的健康问题^[4],因此儿童是抗生素滥用中的最大受害者之一^[5]。随着人们越来越关注化妆品中禁用原料的非法添加问题,2022 年国家药品监督管理局发布了《化妆品中莫匹罗星等 5 种组分的测定》和《化妆品中新康唑等 8 种组分的测定》两个化妆品补充检验方法,用以填补这方面的检测空白。但是这两个方法都是针对相同类别的化妆品进行检验,增加了检测工作量,造成资源浪费及环境污染等问题。因此,本研究旨在上述两个检验方法的基础上,建立更加高效且稳定的检测方法,加强对化妆品中禁用原料的监管。

化妆品中禁用原料的检测方法主要有高效液相色谱法(HPLC)^[6-10]、液相色谱-质谱法(LC-MS)^[11-18]、气相色谱法(GC)^[19-20]等。LC-MS 将液相色谱的高效分离技术与质谱检测的高灵敏度及高专属性相结合,使得这一技术在化妆品分析领域极为普遍。本研究采用超高效液相色谱-串联质谱(UPLC-MS/MS)技术,在参考前述两个标准方法的基础上,进一步优化样品预处理、液相色谱、质谱条件,实现化妆品中 13 种禁用原料的同时检测,旨在为化妆品质量的检测标准提供新的技术参考。

1 试验部分

1.1 仪器与试剂

Acquity UPLC-Class plus/XEVO TQ-S 超高效液相色谱质谱联用仪(美国 Waters 公司);VORTEX 3 涡旋振荡器(美国 IKA 公司);Arium Combort 超纯水一体机(德国 Sartorius 公司);S150 超声波清洗器(德国 Elmasonic 公司);XSE204 电子分析天平(瑞士 Mettler Toledo 公司)。

莫匹罗星、奥硝唑、替硝唑购于中国食品药品质量检定研究院,纯度均大于 99.0%;夫西地酸、新康唑、5-硝基苯并咪唑、羟基甲硝唑购于阿尔塔公司,纯度均大于 98.0%;马来酸噻吗洛尔、红霉素、异丙硝唑、洛硝哒唑购于 Dr. Ehrenstorfer 公司,纯度均大于 97.0%;特比萘芬、氯甲硝咪唑购于 CATO 公司,纯度均大于 93.0%。甲醇、乙腈购于美国 Merck 公司,色谱纯;甲酸购于阿尔丁公司,色谱纯;氯化钠购于国药试剂,优级纯。

本试验一共收集了 30 批祛痘类及儿童类样品,其中包括 10 批祛痘原液、5 批祛痘洁面乳、5 批祛痘膏和 10 批婴儿护肤乳。

1.2 试验方法

1.2.1 标准溶液的制备

称取 13 种标准物质各 5 mg(精确至 0.000 1 g),分别置于 10 mL 容量瓶中,用甲醇溶解并稀释至刻度,摇匀,作为标准储备液(质量浓度为 500 $\mu\text{g/mL}$), $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存。精密吸取各标准储备液适量,用 50% 乙腈逐级稀释配制混合标准溶液, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存。

1.2.2 供试品溶液的制备

准确称取样品 0.2 g(精确至 0.001 g)于 25 mL 带塞比色管中,加 3 mL 饱和氯化钠溶液涡旋 30 s,再加 5 mL 乙腈涡旋 30 s,超声提取 20 min,静置片刻,取上层乙腈层溶液,使用水稀释至 10 mL,摇匀。最后,通过 0.45 μm 孔径的微孔滤膜过滤溶液,即得上机待测液。

1.2.3 基质标准曲线的制备

分别称取 6 份化妆品基质空白样品 0.2 g(精确至 0.001 g),加入适量标准溶液,按 1.2.2 项下供试品溶液制备方法进行处理,即得基质标准曲线。

1.2.4 色谱条件

ACQUITY UPLC HSS T3 色谱柱(2.1 mm $\times$ 100 mm, 1.8 μm);以 0.1% 甲酸水溶液为流动相 A 相,乙腈为流动相 B 相;进样量为 2 μL ,流速为 0.3 mL/min;柱温为 35 $^{\circ}\text{C}$;样品用梯度洗脱方法分离,梯度洗脱程序如表 1 所列。

表 1 梯度洗脱程序

Table 1 Process of gradient elution

时间/min	A相/%	B相/%
0	90	10
6	50	50
12	5	95
15	5	95
16	90	10
22	90	10

1.2.5 质谱条件

电喷雾离子源使用正、负离子扫描;锥孔反吹气流速为 150 L/h;毛细管电压为 3.0 kV;脱溶剂气温度为 500 $^{\circ}\text{C}$;离子源温度控制在 150 $^{\circ}\text{C}$;脱溶剂气流量为 1 000 L/h;在多反应监测(MRM)模式下进行检测。13 种禁用原料的相关条件如表 2 所列。

表 2 13 种禁用原料的检测离子对及相关参数
Table 2 Ion pairs and parameters for 13 prohibited ingredients

序号	化合物	离子模式	保留时间/min	离子对/(m/z)	锥孔电压(Cone) /V	碰撞能量(CE) /V
1	莫匹罗星	ESI+	6.42	501.3>327.2* 501.3>309.3	35	10 15
2	夫西地酸	ESI-	10.32	515.3>393.4* 515.3>220.9	50	20 25
3	马来酸噻吗洛尔	ESI+	3.15	316.9>261.0* 316.9>244.0	40	16 20
4	特比萘芬	ESI+	6.65	292.2>141.1* 292.2>115.2	35	25 50
5	红霉素	ESI+	4.97	734.5>157.9* 734.5>576.4	35	16 26
6	新康唑	ESI+	6.84	560.8>250.0* 560.8>515.0	30	35 30
7	5-硝基苯并咪唑	ESI+	2.83	163.8>118.2* 163.8>91.1	30	20 30
8	氯甲硝咪唑	ESI+	3.13	161.8>116.1* 161.8>145.1	20	15 15
9	奥硝唑	ESI+	3.61	219.8>128.2* 219.8>82.1	40	15 25
10	替硝唑	ESI+	3.13	247.8>121.2* 247.8>128.2	30	15 20
11	异丙硝唑	ESI+	4.66	169.8>124.2* 169.8>109.2	30	15 20
12	洛硝哒唑	ESI+	2.41	200.8>140.2* 200.8>55.2	20	10 20
13	羟基甲硝唑	ESI+	1.73	187.8>123.2* 187.8>126.2	20	10 15

2 结果与讨论

2.1 色谱条件的优化

考察水相分别为纯水和 0.1% 甲酸水溶液, 有机相分别为甲醇和乙腈时, 流动相选择对 13 种禁用原料检测结果的影响。结果表明, 0.1% 甲酸水溶液为水相时, 13 种化合物的峰形和分离效果较好、响应强度较高。与甲醇相比, 有机相为乙腈时, 夫西地酸色谱峰的响应值明显增强, 所以选择乙腈为有机相。因此, 选择 0.1% 甲酸水-乙腈溶液作为流动相。此外, 比较了 Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18 (3.0 mm×100 mm, 1.8μm)、Agilent ZORBAX SB-

C18(2.1 mm×100 mm, 3.5 μm)、Waters ACQUITY UPLC HSS T3(2.1 mm×100 mm, 1.8 μm)、Waters ACQUITY UPLC BEH C18(2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)、CAPCELL PAK C18(2.1 mm×100 mm, 2 μm) 5 种色谱柱对分离效果的影响。综合分析, 使用 Waters ACQUITY UPLC HSS T3 色谱柱进行分离, 所有成分均出峰, 峰形较好, 且响应较高, 因此选择该色谱柱对 13 种化合物进行检测。13 种化合物的总离子流图如图 1 所示。

2.2 质谱条件的优化

取标准储备液适量, 用 50% 乙腈稀释制备成质量浓度为 0.1 μg/mL 的对照品溶液, 分别采用正、负

离子扫描,对 13 个化合物进行质谱参数的优化.先通过 MS Scan 模式确认母离子的质荷比和锥孔电压.接着,在 Daughter Scan 模式下,对每个化合物进行碰撞能量等条件的优化,选择两个响应最高、干扰较小的子离子分别作为定量离子和定性离子,从而得出 13 种化合物的最优质谱参数,13 种化合物的检测离子对及相关参数见表 2.

2.3 提取条件的优化

由于 13 种化合物在甲醇、乙腈中均有较好的溶解性,结合流动相的选择,选用乙腈作为提取溶剂.因部分膏霜类样品使用乙腈提取会出现成团现象,鉴于饱和氯化钠溶液有助于样品破乳,故预先使用饱和氯化钠溶液对样品进行分散处理,再使用

乙腈提取样品.

此外,试验过程中发现,经饱和氯化钠溶液-乙腈提取的羟基甲硝唑(13#)出现较明显的峰前沿现象,溶剂效应较明显.而采用饱和氯化钠溶液-乙腈提取后再用水稀释定容的优化方式,不仅消除了 13# 的溶剂效应,同时上清液用水稀释后会析出大量沉淀,减小了基质效应,且降低了杂质干扰,对色谱柱和仪器起到保护作用.最终样品的前处理采用饱和氯化钠溶液-乙腈溶液超声提取、取上清液用水稀释定容、过滤,即得.两种提取方式下 13# 的色谱图见图 2.

对样品超声提取时间进行探究,不同超声时间的回收率如图 3 所示,发现超声时间为 20 min 时效

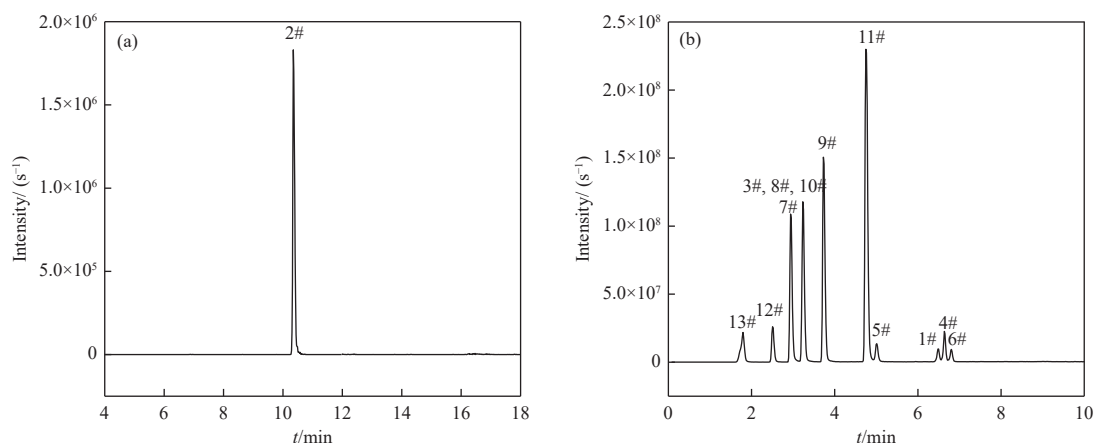


图 1 (a) ESI-, (b) ESI+ 下 13 种禁用原料混合标准溶液 TIC 图

Fig. 1 TIC diagrams of mixed standard solution of 13 prohibited ingredients under (a) ESI-, (b) ESI+

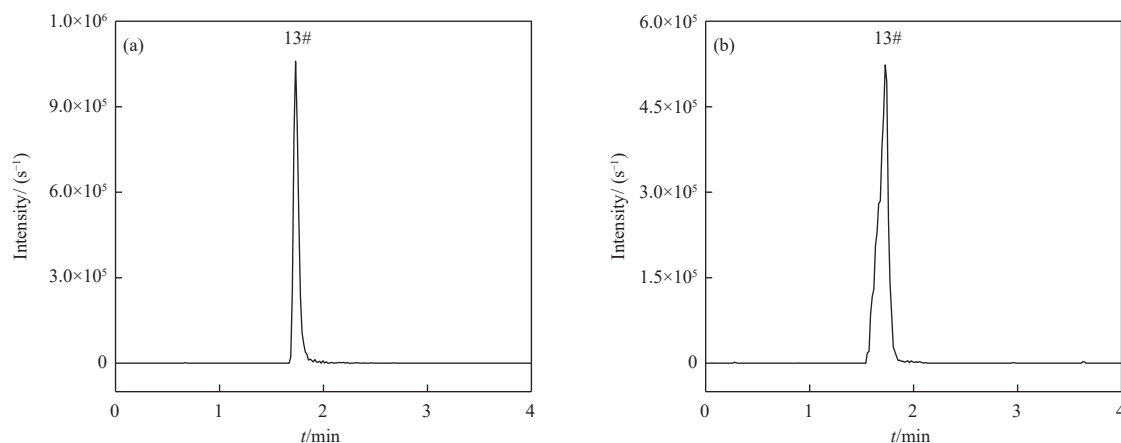


图 2 羟基甲硝唑(13#)色谱图

(a) 饱和氯化钠溶液-乙腈提取后用水定容, (b) 饱和氯化钠溶液-乙腈提取

Fig. 2 Chromatogram of hydroxymetronidazole (13#)

(a) extraction with saturated sodium chloride solution-acetonitrile, then diluted with water, (b) extraction with saturated sodium chloride solution-acetonitrile

果较理想,而进一步增加时间对提升效率作用不大.因此,超声处理时间设定为 20 min.

2.4 基质效应 (ME) 考察

分别取水基、乳液、膏霜类样品按 1.2.3 项制得基质标准曲线进行分析测定,计算基质效应(ME),公式为 $ME=B/A$,其中 A 和 B 分别为待测物在纯溶剂和基质标准曲线溶液中的响应. $ME>1$ 为基质增强效应, $ME<1$ 则为基质抑制效应,若 $ME=1$,表示不存在基质效应^[21]. 13 种禁用原料在水基、乳液、膏霜类样品中的基质效应如表 3 所列. 结果表明,13 种待测物的 ME 范围为 0.55 ~ 1.26,说明 3 种基质对 13 种禁用原料都有不同程度的基质效应,特别是在膏霜类样品中基质抑制效应较明显. 其中马来酸噻吗洛尔在膏霜类样品中基质抑制效应最明

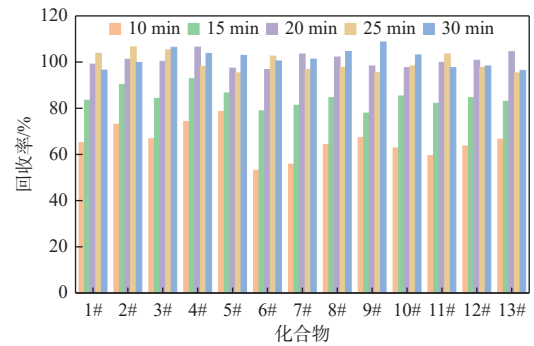


图 3 不同超声时间的回收率
Fig. 3 Recoveries at different ultrasonic times

显, ME 为 0.55. 而洛硝哒唑在水基样品中的基质增强效应最明显, ME 为 1.26. 因此,采用基质标准曲线,用以减小基质效应的影响.

表 3 13 种禁用原料检出限、定量限及基质效应
Table 3 Limits of detection, limits of quantitation and matrix effects of 13 prohibited ingredients

序号	化合物	线性范围/(ng/mL)	相关系数 r			检出限/ ($\mu\text{g/kg}$)	定量限/ ($\mu\text{g/kg}$)	基质效应ME		
			水基	乳液	膏霜			水基	乳液	膏霜
1	莫匹罗星	1 ~ 30	0.999 7	0.998 6	0.998 9	2	6	1.03	0.95	0.62
2	夫西地酸	1 ~ 30	0.999 7	0.998 9	0.997 1	2	6	0.99	0.79	0.68
3	马来酸噻吗洛尔	0.05 ~ 1.5	0.999 3	0.999 6	0.999 0	1	3	0.89	0.80	0.55
4	特比萘芬	0.02 ~ 0.6	0.999 3	0.998 0	0.997 9	0.2	0.6	0.99	0.95	0.59
5	红霉素	0.05 ~ 1.5	0.998 6	0.999 7	0.998 1	1	3	0.87	0.71	0.58
6	新康唑	0.5 ~ 15	0.998 7	0.998 6	0.998 5	1	3	0.72	0.90	0.61
7	5-硝基苯并咪唑	0.5 ~ 15	0.998 1	0.999 7	0.999 6	1	3	1.07	0.98	0.77
8	氯甲硝咪唑	0.5 ~ 15	0.999 2	0.998 7	0.998 9	1	3	0.89	0.91	0.70
9	奥硝唑	0.5 ~ 15	0.999 3	0.999 7	0.999 1	1	3	1.00	0.94	0.65
10	替硝唑	0.5 ~ 15	0.999 5	0.999 2	0.999 2	1	3	0.84	0.68	0.57
11	异丙硝唑	0.5 ~ 15	0.999 4	0.999 9	0.999 6	1	3	0.81	1.01	0.71
12	洛硝哒唑	0.5 ~ 15	0.999 0	0.999 5	0.999 6	1	3	1.26	1.11	0.71
13	羟基甲硝唑	0.5 ~ 15	0.998 6	0.999 0	0.999 3	1	3	0.89	1.22	0.81

2.5 方法学试验

2.5.1 线性关系、检出限和定量限

分别取水基、乳液和膏霜这三类阴性样品为空白基质样品,按 1.2.3 项下配制基质标准曲线溶液.以浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,绘制标准曲线.同时取基质效应最明显的膏霜类样品,加入适量混合标准溶液,按 1.2.2 项下供试品溶液制备同法操作,以信噪比 3 和 10 分别作为 13 种禁用原料的检出限和定量限,结果如表 3 所列.结果显示 13 种禁用原料在各自浓度范围内线性关系良好,相关系数

(r)均大于 0.995,检出限在 0.2 ~ 2 $\mu\text{g/kg}$ 之间,定量限在 0.6 ~ 6 $\mu\text{g/kg}$ 之间.

2.5.2 回收率和重复性

分别取水基、乳液及膏霜这三类阴性样品 0.2 g,加入适量混合标准溶液,制成低、中、高 3 个浓度水平的加标回收样品,考察回收率.其中低浓度水平制备 6 个平行样,进行相对标准偏差(RSD)考察,测定结果如表 4 所列.结果显示,各组分的平均回收率范围为 77.50% ~ 120.00%,各组份 RSD 均小于 10.0%,表明所建立的分析方法能满足不同基质的

表 4 13 种禁用原料回收率和重复性
Table 4 Recoveries and repeatability of 13 prohibited ingredients

序号	化合物	加标水平/ng	回收率/%			相对标准偏差RSD/%		
			水基	乳液	膏霜	水基	乳液	膏霜
1	莫匹罗星	20, 40, 200	93.88 ~ 103.27	93.88 ~ 103.27	78.30 ~ 106.73	2.8	7.4	5.8
2	夫西地酸	20, 40, 200	98.95 ~ 110.32	98.95 ~ 117.48	97.90 ~ 109.25	4.0	3.7	4.2
3	马来酸噻吗洛尔	1, 2, 10	89.00 ~ 108.90	89.00 ~ 108.90	101.80 ~ 118.50	7.3	3.2	6.0
4	特比萘芬	0.4, 0.8, 4	79.50 ~ 107.70	101.25 ~ 110.00	77.50 ~ 109.75	3.6	1.9	3.7
5	红霉素	1, 2, 10	79.50 ~ 107.70	79.50 ~ 107.70	79.00 ~ 116.00	6.6	7.6	5.1
6	新康唑	10, 20, 100	94.95 ~ 109.40	94.95 ~ 109.40	89.15 ~ 111.75	3.1	6.3	4.3
7	5-硝基苯并咪唑	10, 20, 100	105.65 ~ 111.70	107.23 ~ 111.70	108.39 ~ 117.50	2.8	2.0	4.2
8	氯甲硝咪唑	10, 20, 100	105.48 ~ 111.40	105.48 ~ 111.40	107.55 ~ 118.50	3.3	3.0	2.2
9	奥硝唑	10, 20, 100	102.20 ~ 108.38	102.20 ~ 108.38	103.60 ~ 117.00	4.2	4.6	1.9
10	替硝唑	10, 20, 100	107.30 ~ 113.00	107.68 ~ 113.00	106.85 ~ 116.30	3.6	3.0	1.8
11	异丙硝唑	10, 20, 100	103.04 ~ 100.70	103.04 ~ 106.10	104.58 ~ 114.30	2.7	2.7	4.5
12	洛硝哒唑	10, 20, 100	104.40 ~ 113.60	104.00 ~ 113.60	113.90 ~ 119.80	4.6	2.6	2.4
13	羟基甲硝唑	10, 20, 100	103.75 ~ 112.80	103.75 ~ 112.80	116.60 ~ 120.00	4.7	1.3	3.9

化妆品中 13 种禁用原料的测定.

2.5.3 样品测定

采用优化后的条件,按 1.2.2 项下制备供试品溶液,对 30 批化妆品进行检测.测定结果显示,所有样品中均未检测出 13 种禁用原料.

3 结论

研究整合了《化妆品中莫匹罗星等 5 种组分的测定》和《化妆品中新康唑等 8 种组分的测定》两个化妆品补充检验方法,同时优化色谱和质谱条件,对前处理方法进行改进,建立测定化妆品中 13 种禁用原料含量的 UPLC-MS/MS 方法.本方法操作简单、准确度高、稳定性好,可有效提升检测效率,并节约了资源.因此,本方法可作为化妆品中 13 种禁用原料的检测方法,为化妆品中禁用原料的监管提供高效、稳定、准确、可靠的技术支持.

参考文献:

[1] 孙长峰,郭娜.微量元素铁的生理功能及对人体健康的影响[J].食品研究与开发,2012,33(5): 222-225. [SUN Changfeng, GUO Na. The physiological function of trace element iron and its effect on human health[J]. Food Research and Development, 2012, 33(5): 222-225.]

[2] 马麟莉,李树旺,程亚萍.食品中重金属污染物的危害[J].食品安全导刊,2022(3): 181-183. [MA Linli, LI Shuwang, CHENG Yaping. Harm of heavy metal pollutants in food[J]. China Food Safety Magazine, 2022(3): 181-183.]

[3] 方舒婷,何伟俊,陈甜妹,等.不同消解体系对原子荧光法测定汞含量的影响[J].安徽农业科学,2018,46(31): 173-176. [FANG Shuting, HE Weijun, CHEN Tianmei, et al. Effect of different digestion system on mercury determination by atomic fluorescence spectrometry[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(31): 173-176.]

[4] 王禹,楚亮,王晓雅,等.高效液相色谱-串联质谱法同时测定化妆品中 5 种皮肤外用药[J].日用化学科学,2022,45(12): 41-46. [WANG Yu, CHU Liang, WANG Xiaoya, et al. Simultaneous determination of five topical dermatological drugs in cosmetics by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Detergent & Cosmetics, 2022, 45(12): 41-46.]

[5] 汪毅,聂明霞,贾芳,等.固相萃取/超高效液相色谱-串联质谱法测定儿童化妆品中新康唑等 4 种抗生素[J].分析测试学报,2022,41(12): 1746-1750. [WANG Yi, NIE Mingxia, JIA Fang, et al. Simultaneous determination of 4 antibiotics in children's cosmetics by ultra-performance liquid chromatography-

- tandem mass spectrometry with solid phase extraction[J]. *Journal of Analytical Testing*, 2022, 41(12): 1746-1750.]
- [6] 罗金梅, 石兴红, 杨淡梅, 等. 高效液相色谱法测定染发类化妆品中26种禁用着色剂[J]. *分析试验室*, 2022, 41(7): 834-841. [LUO Jinmei, SHI Xinghong, YANG Danmei, et al. Determination of 26 prohibited colorants in hair dye cosmetics by high performance liquid chromatography[J]. *Chinese Journal of Analytical Laboratory*, 2022, 41(7): 834-841.]
- [7] 罗成江, 张晓丽, 陈晓琳, 等. HPLC-DAD法测定饲料中5种硝基咪唑类药物[J]. *饲料工业*, 2020, 41(22): 52-56. [LUO Chengjiang, ZHANG Xiaoli, CHEN Xiaolin, et al. Determination of 5 nitroimidazoles drugs in feed by HPLC-DAD[J]. *Feed Industry*, 2020, 41(22): 52-56.]
- [8] 路丽华, 许卉, 宁保明, 等. 建立超高效液相色谱法测定莫匹罗星软膏含量[J]. *中国药物评价*, 2023, 40(4): 295-299. [LU Lihua, XÜ Hui, NING Baoming, et al. Establishment of ultra performance liquid chromatography for the determination of mupirocin ointment[J]. *Chinese Journal of Drug Evaluation*, 2023, 40(4): 295-299.]
- [9] 曾子君, 周智明, 伍英英, 等. 高效液相色谱法测定化妆品中非法添加夫西地酸[J]. *中国卫生检验杂志*, 2022, 32(2): 143-145. [ZENG Zijun, ZHOU Zhiming, WU Yingying, et al. Detection of fusidic acid illegally added in cosmetics by high performance liquid chromatography[J]. *Chinese Journal of Health Laboratory*, 2022, 32(2): 143-145.]
- [10] 孟姗姗, 韩国平, 李海僖, 等. HPLC法测定马来酸噻吗洛尔滴眼液中的对映异构体[J]. *药物分析杂志*, 2023, 43(1): 162-168. [MENG Shanshan, HAN Guoping, LI Haixi, et al. Determination of enantiomers impurity contents of timolol maleate in eye drops by HPLC[J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2023, 43(1): 162-168.]
- [11] 陈云霞, 赵子俊, 宋乃宁, 等. 高效液相色谱-串联质谱法同时测定防脱发类化妆品中2种激素类药物[J]. *轻工科技*, 2024, 40(6): 148-151.
- [12] 聂磊, 周耀斌. 高效液相色谱-三重四级杆质谱测定指甲油中4种禁用分散型着色剂的含量[J]. *香料香精化妆品*, 2023, 12(6): 179-183. [NIE Lei, ZHOU Yaobin. Simultaneous determination of 4 prohibited dispersed colorants in nail polish by high performance liquid chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry[J]. *Flavour Fragrance Cosmetics*, 2023, 12(6): 179-183.]
- [13] 陈岑, 高艳琳, 颜琳琦, 等. QuEChERS-液相色谱-串联质谱同时测定去屑类发用产品中8种抗感染药物[J]. *中国现代应用药学*, 2023, 40(23): 3275-3280. [CHEN Cen, GAO Yanlin, YAN Linqi, et al. Simultaneous determination of 8 anti-infective drugs in anti-dandruffs hair products by QuEChERS-liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy*, 2023, 40(23): 3275-3280.]
- [14] 邱丰艳, 韩飞, 沈洁, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定婴幼儿化妆品中禁用酮类香料[J]. *化学分析计量*, 2022, 31(11): 11-16. [QIU Fengyan, HAN Fei, SHEN Jie, et al. Determination of banned ketone fragrances in infant cosmetics by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *Chemical Analysis and Metrology*, 2022, 31(11): 11-16.]
- [15] 黄宇锋, 王斌, 胡均鹏, 等. 化妆品中4种禁用药物的液相色谱-串联质谱检测方法[J]. *分析试验室*, 2022, 41(10): 1169-1173. [HUANG Yufeng, WANG Bin, HU Junpeng, et al. Determination of 4 prohibited drugs in cosmetics by liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *Chinese Journal of Analysis Laboratory*, 2022, 41(10): 1169-1173.]
- [16] 宫旭, 方方. HPLC-MS/MS法测定育发类化妆品中22种禁用物质[J]. *日用化学工业*, 2021, 51(9): 910-917. [GONG Xu, FANG Fang. Determination of 22 prohibited substances in hair growth cosmetics by HPLC-MS/MS method[J]. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*, 2021, 51(9): 910-917.]
- [17] 陈岑, 黄柳倩, 程巧鹭, 等. 基于QuEChERS提取的高效液相色谱-串联质谱法同时测定4种不同基质类型化妆品中15总硝基咪唑类禁用药物[J]. *分析测试学报*, 2019, 38(11): 1285-1293. [CHEN Cen, HUANG Liuqian, CHENG Qiaoyuan, et al. Simultaneous determination of 15 prohibited nitroimidazoles in 4 matrixes of cosmetics by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with QuEChERS extraction[J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2019, 38(11): 1285-1293.]
- [18] 孙姗姗, 杨洋, 马明, 等. 液相色谱-串联质谱法测定化妆品中9种禁用青霉素类抗生素[J]. *香料香精化妆品*, 2019, 10(5): 26-29. [SUN Shanshan, YANG Yang, MA Ming, et al. Determination of nine kinds of prohibited penicillin in cosmetic by HPLC-MS/MS[J]. *Flavour Fragrance Cosmetics*, 2019,

- 10(5): 26-29.]
- [19] 马秋冉, 杨星, 杨秀玉, 等. 顶空气相色谱法检测羟基甲硝唑对照品中的残留溶剂 [J]. 中国兽药杂志, 2020, 54(6): 56-60. [MA Qiulan, YANG Xing, YANG Xiuyu, et al. Determination of residual solvents in hydroxy metronidazole by headspace gas chromatography[J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2020, 54(6): 56-60.]
- [20] 王瑞芬. 顶空气相色谱法测定替硝唑原料药中 6 种有机溶剂的残留量 [J]. 食品与药品, 2022, 24(3): 238-241. [WANG Ruifen. Determination of 6 kinds of organic solvents residual in Tinidazole by headspace gas chromatography[J]. Food and Drug, 2022, 24(3): 238-241.]
- [21] 王立琦, 曾振灵, 束建花, 等. 液相色谱-电喷雾串联质谱测定猪组织中 β -兴奋剂残留的基质效应 [J]. 分析化学, 2012, 40(9): 1445-1449. [WANG Liqi, ZENG Zhenling, SHU Jianhua, et al. Matrix effect in analysis of β -agonist residue in swine tissues with liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2012, 40(9): 1445-1449.]

请速订阅 2025 年《分析测试技术与仪器》

如果您想

了解当代分析测试领域的新进展和新动向

交流分析测试研究的新理论与新成果

开发分析测试研究工作的新技术与新方法

扩展分析测试仪器的新用途与新功能

研制分析测试的新仪器与新组件

.....

请您订阅向国内外公开发行的《分析测试技术与仪器》杂志, 刊号 $\frac{\text{ISSN } 1006-3757}{\text{CN } 62-1123/\text{O6}}$, 邮发代号: 54-90, 定价: 15 元/册, 全年定价 90 元. 投稿请与《分析测试技术与仪器》编辑部联系, 联系电话: 0931-4968280, E-mail: fxcs@licp.cas.cn, 网址: <http://www.fxcsjyq.net>, 联系人: 魏丽萍, 地址: 甘肃省兰州市天水中路 18 号, 中国科学院兰州化学物理研究所.