

分析测试经验介绍 (384 ~ 391)

# QuEChERS-高效液相色谱/三重四极杆质谱联用法测定化妆品中防晒剂的检测方法

潘秀丽, 邵长春, 李 赟, 许晓辉, 王小乔, 张虹艳

(兰州市食品药品检验检测研究院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 建立了防晒类化妆品中常用 15 种防晒剂的高效液相色谱/三重四极杆质谱联用分析方法和样品前处理方法. 样品中加入 1 mL 无水乙醇, 用乙腈: 水(体积比 4 : 1)定容, 超声提取后, QuEChERS 柱净化, 0 °C 下 10 000 r/min 离心 10 min, 以含 0.1% 甲酸的乙腈溶液-含 0.1% 甲酸的 2 mmol/L 乙酸铵溶液为流动相, 梯度洗脱, C18(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm) 色谱柱分离, 多反应监测(MRM)正离子模式扫描, 外标法定量. 结果显示: 15 种防晒剂在一定浓度范围内呈良好线性关系, 相关系数均大于 0.99, 方法检出限为 10~50 μg/kg. 方法平均回收率为 68.4%~84.2%. 相对标准偏差(RSD)为 1.7%~9.0%. 方法可用于防晒剂的检测, 灵敏度高, 重现性好, 具有良好适用性.

**关键词:** 化妆品; 防晒剂; QuEChERS 净化柱; 质谱法

中图分类号: O657. 63

文献标志码: B

文章编号: 1006-3757(2023)04-0384-08

DOI: 10.16495/j.1006-3757.2023.04.007

## Determination of Sunscreens in Cosmetics by QuEChERS-High Performance Liquid Chromatography/Triple Quadrupole Mass Spectrometry

PAN Xiuli, SHAO Changchun, LI Yun, XU Xiaohui, WANG Xiaoqiao, ZHANG Hongyan

(Lanzhou Institutes For Food And Drug Testing, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** The high performance liquid chromatography (HPLC) /triple quadrupole mass spectrometry method for analysis and sample pretreatment of 15 sunscreens commonly in sunscreen cosmetics was established. 1 mL of anhydrous ethanol was added to the sample, and the volume of the sample was fixed with acetonitrile : water (volume ratio: 4 : 1). After ultrasonic extraction, the sample was purified by a QuEChERS column, centrifuged at 0 °C for 10 min at 10 000 r/min. The sample was used as mobile phase with acetonitrile solution containing 0.1% formic acid-2 mmol/L ammonium acetate solution containing 0.1% formic acid, and then gradient elution was performed. The separation was carried out on a C18 (2.1 mm × 50 mm, 1.8 μm) column, scanned in positive ion mode with multiple reaction monitoring (MRM) and quantified by external standard method. The results showed that the 15 sunscreens showed good linearity in a certain concentration range, and the correlation coefficient was greater than 0.99. The detection limits of the method were 10~50 μg/kg. The average recoveries were 68.4%~84.2%, and the relative standard deviations (RSD) were 1.7%~9.0%. The method has a high sensitivity, good reproducibility and good adaptability for the detection of sunscreens.

**Key words:** cosmetic; sunscreen; QuEChERS purification column; mass spectrometry

收稿日期: 2023-09-06; 修订日期: 2023-11-23.

基金项目: 兰州市科技发展指导性计划项目(2022-5-6); 兰州市科技计划项目(2023-2-64); 甘肃省药品监督管理局药品科研项目(2022GSMPA0068)

作者简介: 潘秀丽(1987-), 女, 本科, 研究方向: 食品化妆品的仪器分析, E-mail: 906198326@qq.com

通信作者: 邵长春(1983-), 女, 博士, 研究方向: 食品药品安全控制, E-mail: 273890993@qq.com.

防晒剂是指利用光的吸收、反射或散射作用,以保护皮肤免受特定紫外线所带来的伤害或保护产品本身而在化妆品中加入的物质.它能吸收紫外线中可引起人产生急性皮炎(红斑)及皮肤灼伤的波长为 280~320 nm 的中波紫外线(即 UVB),以及可使皮肤变黑的 320~400 nm 的长波紫外线(即 UVA).随着人们生活水平的提高,消费者对化妆品的需求不断增加<sup>[1]</sup>.作为特殊类化妆品,防晒类化妆品中含有的各类防晒剂对人体的安全性和环境的危害性并不相同,因此,一直以来国内外对防晒剂的使用种类和使用量有严格的管理和限制<sup>[2-3]</sup>.

《化妆品安全技术规范》(2015年版)列出的化学防晒剂的检测方法为高效液相色谱法,但检测费时费力,可操作性欠佳.经查阅文献,目前化妆品中防晒剂的检测方法有气相色谱法<sup>[4]</sup>、高效液相色谱法<sup>[5-11]</sup>、静电场轨道阱高分辨质谱法<sup>[12]</sup>、气相色谱-质谱法<sup>[13]</sup>和液相色谱-质谱法<sup>[14-15]</sup>等.液相色谱-质谱法灵敏度高,不用保留时间定性,一针混标就可以检测出目标物,从而实现对其定性和定量,检验效率高,是目前检验中比较高效的一种检测方法.本试验采用三重四极杆液相色谱-质谱联用法,对文献中液相色谱-质谱法中的防晒剂项目和质谱参数以及样品前处理做了一个补充,开发出 15 种防晒剂的高通量样品前处理方法和仪器分析方法.

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与试剂

高效液相色谱/三重四极杆质谱联用仪: Agilent 1260+6460, 安捷伦科技有限公司;千分之一天平: MS105DU, 十万分之一天平: XSE205DU, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;离心机: H1850, 湖南湘仪实验室开发有限公司;智能恒温槽: SCG-6, 宁

波新芝生物科技股份有限公司;IKA 振荡器: VXR, 艾卡(广州)仪器设备有限公司;QuEChERS 试剂盒: 5982-1010、G7750-10001, 安捷伦科技有限公司;HLB 柱: HLB 6cc(500 mg), 沃特世科技(上海)有限公司(Waters);MCX 柱: Oasis MCX 6cc(150 mg), 沃特世科技(上海)有限公司(Waters);FaAEx-AD-001 kits 柱: 巨研科技股份有限公司.

甲酸(色谱纯), 东京化成工业株式会社;甲醇(色谱纯), 乙腈(色谱纯), 默克股份两合公司;乙酸铵(优级纯), 天津市凯信化学工业有限公司.

对照品: 奥克立林(批号: 752831;纯度: 98.7%)、苯基苯并咪唑磺酸(批号: C15894540;纯度: 93.3%)、对氨基苯甲酸异辛酯(PABA 乙基己酯)(批号: 458726;纯度: 100%)、丁基甲氧基二苯甲酰基甲烷(批号: 1124793;纯度: 99.1%)、2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮(批号: G1013005;纯度: 100%)、3-亚苄基樟脑(批号: CCHM700478;纯度: 96.0%), 以上对照品生产单位为 Dr.Ehrenstorfer 公司;二乙胺基羟苯甲酰基苯甲酸己酯(批号: G139993;纯度: 99.4%)、胡莫柳酯(批号: G164621;纯度: 98.8%)、二苯酮-3(批号: 14971-01;纯度: 100%)生产单位为 Accustandard;甲酚曲唑三硅氧烷(批号: D679410;纯度: 97.3%), 生产单位为 Toronto Research Chemicals;亚苄基樟脑磺酸(批号: 97085;纯度: 97.0%)生产单位为 SIGMA-ALORICH;对氨基苯甲酸(批号: 100017-201704;纯度: 99.8%)、4-甲基苄亚基樟脑(批号: 800110-202001;纯度: 98.4%)生产单位为美国食品药品检定研究院;对甲氧基肉桂酸异戊酯(批号: GOL414;纯度: 96.9%)生产单位为美国药典 USP;甲氧基肉桂酸乙基己酯(批号: S102885;纯度: 99.8%)生产单位为阿尔塔科技有限公司. 15 种防晒剂化合物信息如表 1 所列.

表 1 15 种防晒剂化合物信息

Table 1 Informations of 15 sunscreen compounds

序号	防晒剂	名称缩写	CAS号	化学结构	分子式	分子量
1	奥克立林	OC	6197-30-4		C <sub>24</sub> H <sub>27</sub> NO <sub>2</sub>	361.5
2	苯基苯并咪唑磺酸	PBSA	27503-81-7		C <sub>13</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> S	274.3

续表 1

序号	防晒剂	名称缩写	CAS号	化学结构	分子式	分子量
3	PABA乙基己酯	EHDP	26218-04-2		C <sub>15</sub> H <sub>23</sub> NO <sub>2</sub>	249.3
4	丁基甲氧基二苯甲酰基甲烷	BMDM	70356-09-1		C <sub>20</sub> H <sub>22</sub> O <sub>3</sub>	310.4
5	4-甲基苄亚基樟脑	4-MBC	36861-47-9		C <sub>18</sub> H <sub>22</sub> O	254.4
6	对甲氧基肉桂酸异戊酯	IMC	71617-10-2		C <sub>15</sub> H <sub>20</sub> O <sub>3</sub>	248.3
7	对氨基苯甲酸	PABA	150-13-0		C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	137.1
8	2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮	BP3	131-57-7		C <sub>14</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	228.2
9	3-亚苄基樟脑	BEC	15087-24-8		C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> O	240.3
10	二苯酮-3	BZ3	131-57-7		C <sub>14</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	228.2
11	二乙胺基羟苯甲酰基苯甲酸己酯	DHHB	302776-68-7		C <sub>24</sub> H <sub>31</sub> NO <sub>4</sub>	397.5
12	胡莫柳酯	HMS	118-56-9		C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>3</sub>	262.3
13	甲酚曲唑三硅氧烷	DTT	155633-54-8		C <sub>24</sub> H <sub>39</sub> N <sub>3</sub> O <sub>3</sub> Si <sub>3</sub>	501.8
14	亚苄基樟脑磺酸	BCSA	56039-58-8		C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> O <sub>4</sub> S	320.4
15	甲氧基肉桂酸乙基己酯	EHMC	5466-77-3		C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	290.4

样品: 试验中所用样品均从西太华、兰州中心、屈臣氏购买, 包含美素、铠丽、新碧、佰草集、欧诗漫、花印、露得清、理肤泉、春莹等品牌。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 色谱条件

Agilent C18(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm); 流动相 A 为含 0.1% 甲酸的 2 mmol/L 乙酸铵溶液, 流动相 B 为含 0.1% 甲酸的乙腈溶液, 梯度洗脱; 柱温 35 °C; 进样量 2 μL; 流速 0.2 mL/min. 梯度洗脱程序如表 2 所列。

### 1.2.2 质谱条件

电喷雾(ESI)离子源; 扫描模式: 正离子模式; 检测方式: 多反应监测(MRM); 干燥气温度: 325 °C;

表 2 高效液相色谱流动相条件

Table 2 Mobile phase conditions of high performance liquid chromatography

时间/min	流动相A/%	流动相B/%	流速/(mL/min)
0.00	30	70	0.2
2.00	30	70	0.2
10.00	5	95	0.2
11.00	5	95	0.2
11.05	30	70	0.2
15.00	30	70	0.2

干燥气流速: 6 L/min; 喷雾电压: 45 psi(1 psi=6.895 kPa); 鞘气温度: 400 °C; 鞘气流速: 12 L/min; 毛细管电压: 4 000 V. 其他参数如表 3 所列。

表 3 15 种防晒剂的质谱条件

Table 3 Mass spectrometer conditions of 15 sunscreens

化合物	母离子/(m/z)	子离子/(m/z)	碎裂电压/V	碰撞能/eV	化合物	母离子/(m/z)	子离子/(m/z)	碎裂电压/V	碰撞能/eV
OC	362.2	232.2*/105.2	120	20/35	BEC	241.2	142.8*/97.4	85	15/20
PBSA	275.1	193.9*/92.1	110	35/45	BZ3	229.0	95.1*/150.9	95	35/20
EHDP	249.8	138.1*/94.0	70	12/30	DHHB	398.2	149.0*/296.0	95	15/20
BMDM	311.2	135.0*/161.1	90	25/25	HMS	263.2	81.1*/93.0	135	30/30
4-MBC	255.2	105.0*/170.8	80	35/17	DTT	503.2	146.9*/281.0	182	30/16
IMC	249.3	160.9*/133.2	70	15/30	BCSA	321.2	196.9*/240.2	110	20/12
PABA	138.1	65.2*/77.1	90	30/20	EHMC	291.2	179.0*/161.0	80	20/20
BP3	229.1	105.0*/151.0	86	18/20					

注: 带\*为定量离子

### 1.2.3 样品前处理

准确称取样品 1.0 g(精确到 0.001 g)于 10 mL 具塞离心管中, 加入 1 mL 无水乙醇, 涡旋 1 min, 用乙腈: 水(体积比为 4:1)定容至刻度, 加入 QuEChERS 盐包一包, 混匀, 40 °C 下超声振荡 30 min, 在 0 °C 下于 3 900 r/min 离心 10 min. 吸取离心好的样品溶液 3 mL 于 QuEChERS 净化管中, 涡旋 2 min, 在 0 °C 下 10 000 r/min 离心 10 min. 如要稀释, 取上清液, 用乙腈: 水(体积比 4:1)进行适当稀释, 经 0.22 μm 有机滤膜过滤后作为待测溶液。

### 1.2.4 标准溶液配制

准确称取固体对照品各 10 mg, 置于 10 mL 容量瓶中, 用乙腈溶解并定容, 配制成质量浓度为

1 mg/mL 的标准储备液. 其中苯基苯并咪唑磺酸标准溶液在加入定容溶剂前, 预先加入少量无水乙醇使其溶解, 再用乙腈定容至刻度, 配制成 1 mg/mL 的标准储备液. 精密吸取上述各溶液适量, 置于容量瓶中用乙腈稀释, 配制成胡莫柳酯和亚苄基樟脑磺酸质量浓度为 2 μg/mL, 其余成分质量浓度为 1 μg/mL 的混合标准溶液, 于-18 °C 冷冻条件下保存备用. 系列标准溶液的配制: 取混合标准溶液配制成胡莫柳酯和亚苄基樟脑磺酸质量浓度分别为 10、20、40、80、120、200、400 ng/mL, 其余成分质量浓度分别为 5、10、20、40、60、100、200 ng/mL 的 15 种紫外吸收剂的标准系列溶液, 混匀后, 经 0.22 μm 有机滤膜过滤, 备用。

## 2 结果与讨论

### 2.1 提取溶剂的选择

化妆品规范中使用的提取液是四氢呋喃、高氯酸、甲醇、水。其中,四氢呋喃和高氯酸属于高毒、强刺激性气味的试剂,对身体危害极大,同时四氢呋喃和高氯酸对管路和质谱的损害较大,在质谱检测中是尽量避免使用的。因此优先选择甲醇和乙腈作为提取溶剂,但直接用甲醇和乙腈提取,样品溶解不理想,悬浮物较多。加入 1 mL 水,涡旋 1 min,再分别用甲醇和乙腈进行提取比较,发现防晒剂的提取效果大大增加,而乙腈对丁基甲氧基二苯甲酰基甲烷和奥克立林的提取率更好,最后选择用乙腈-水(体积比为 4 : 1)溶解,为了提高苯基苯并咪唑磺酸的回收率,在样品中先加入 1 mL 无水乙醇,再用乙腈-水(体积比为 4 : 1)定容至刻度。

### 2.2 提取液净化的选择

选择 QuEChERS 柱、HLB 柱、MCX 柱、FaAEx-AD-001 kits 柱对样品进行净化比较,回收率较高的为 QuEChERS 柱,但是净化效果不太好,增加离心步骤后,杂质沉淀,待测液澄清,经上机检测,柱压稳定,回收率较高,能满足质谱检测要求。使用 4 种净化柱净化样品的色谱图如图 1 所示。

### 2.3 离心条件的选择

选择冷冻离心机,在 0、5、10、25 °C 离心温度下,转速分别为 3 900、6 000、8 000、10 000 r/min,分别离心 5、10、15 min,发现在 0 °C、10 000 r/min 条件下,离心效果最好,这是因为样品乳液密度较

小,温度越低,转速越快,样品杂质沉淀越好。离心时间为 10 和 15 min 时质谱图杂质峰相当,故选择 0 °C、10 000 r/min、离心 10 min 作为离心条件。

### 2.4 流动相选择

首先使用乙腈-水和甲醇-水进行色谱比对,结果表明:使用乙腈-水在梯度洗脱中柱压更低,目标物保留时间更短,分离效果好,同时对泵也有较好的保护作用。其次由于 15 种目标物使用的是正离子扫描模式,酸性环境更有利于目标物的质谱响应,故可以在流动相中添加甲酸或乙酸,由于甲酸比乙酸具有更好的挥发性,故选择甲酸作为流动相的调节剂。比较乙腈-水和乙腈(0.1% 甲酸)-水(0.1% 甲酸)两种流动相,结果表明:乙腈(0.1% 甲酸)-水(0.1% 甲酸)为流动相其目标物的响应值较好,但是二苯酮-3 和 PABA 乙基己酯的峰形较宽,有拖尾。比较乙腈(0.1% 甲酸)-2 mmol/L 的乙酸铵水溶液(0.1% 甲酸)和乙腈(0.1% 甲酸)-水(0.1% 甲酸),发现添加乙酸铵后两种成分的峰形有了明显的改善。故选择乙腈(0.1% 甲酸)-2 mmol/L 的乙酸铵水溶液(0.1% 甲酸)作为流动相。

### 2.5 质谱条件优化

采用负离子扫描模式进行 SCAN 全扫描,部分目标物找不到离子对,对于找到离子对的目标物进行 MRM 检测,响应值很低,达不到检测的需求。采用正离子扫描模式进行 SCAN 全扫描,能找到母离子,通过 product ion 扫描方式可以找到 2 种以上定量定性离子对,选用正离子模式来对 15 种目标物的母离子、子离子、碰撞电压和碰撞能

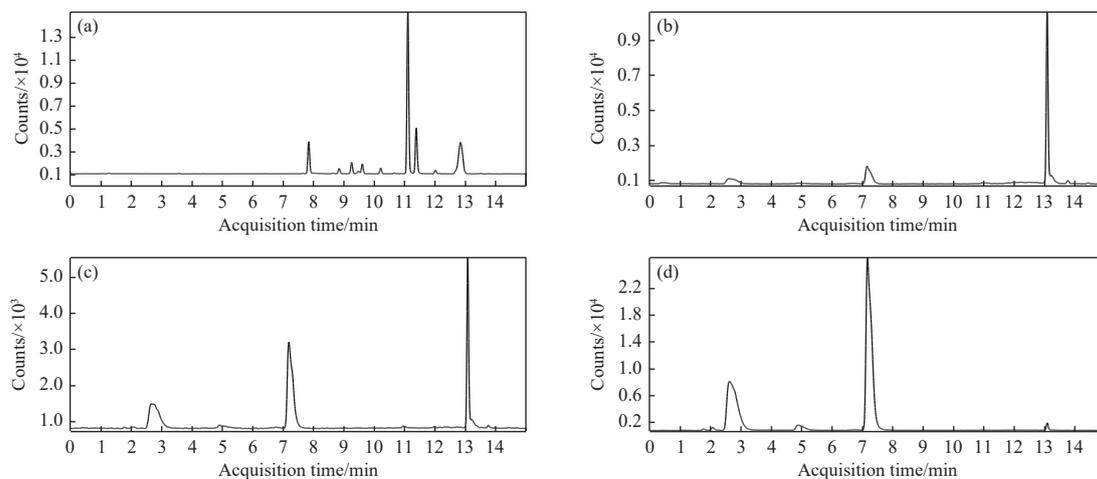


图 1 4 种净化柱处理的样品色谱图 (a) QuEChERS 柱, (b) HLB 柱, (c) MCX 柱, (d) FaAEx-AD-001 kits

Fig. 1 Chromatograms of samples treated with 4 kinds of purification columns

量等质谱参数进行优化,使碎片离子的响应度达到最大,从而确定最优的质谱条件,15种防晒剂的定性(黑色)、定量(蓝色)离子对色谱图如图2所示。

## 2.6 各防晒剂的线性关系和检出限

将各成分配制系列标准溶液,绘制一系列标准曲线,相关系数( $R^2$ )不小于0.99时认为线性关系良好。配制一定质量浓度的标准溶液确定检出限,当检测结果为3倍信噪比时确定为检出限。各成分标准曲线和检出限结果如表4所列。试验表明,HMS和EHMC在10~400 ng/mL、其余防晒剂在

5~200 ng/mL范围内有良好的线性关系, $R^2$ 均大于0.99,检出限均不小于10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,满足试验要求。

## 2.7 各防晒剂成分的回收率试验

称取一定量的空白样品,加入混合标准溶液,配制成HMS和BCSA加入量分别为60、120、240 ng/mL,其余防晒剂成分加入量分别为30、60、120 ng/mL的3个浓度水平,每个水平作3个平行样,以平均值计算回收率。结果如表5所列。15种防晒剂在不同水平下的回收率为68.4%~84.2%,相对标准偏差(RSD)为1.7%~9.0%,符合试验对回收率和精密度的要求。

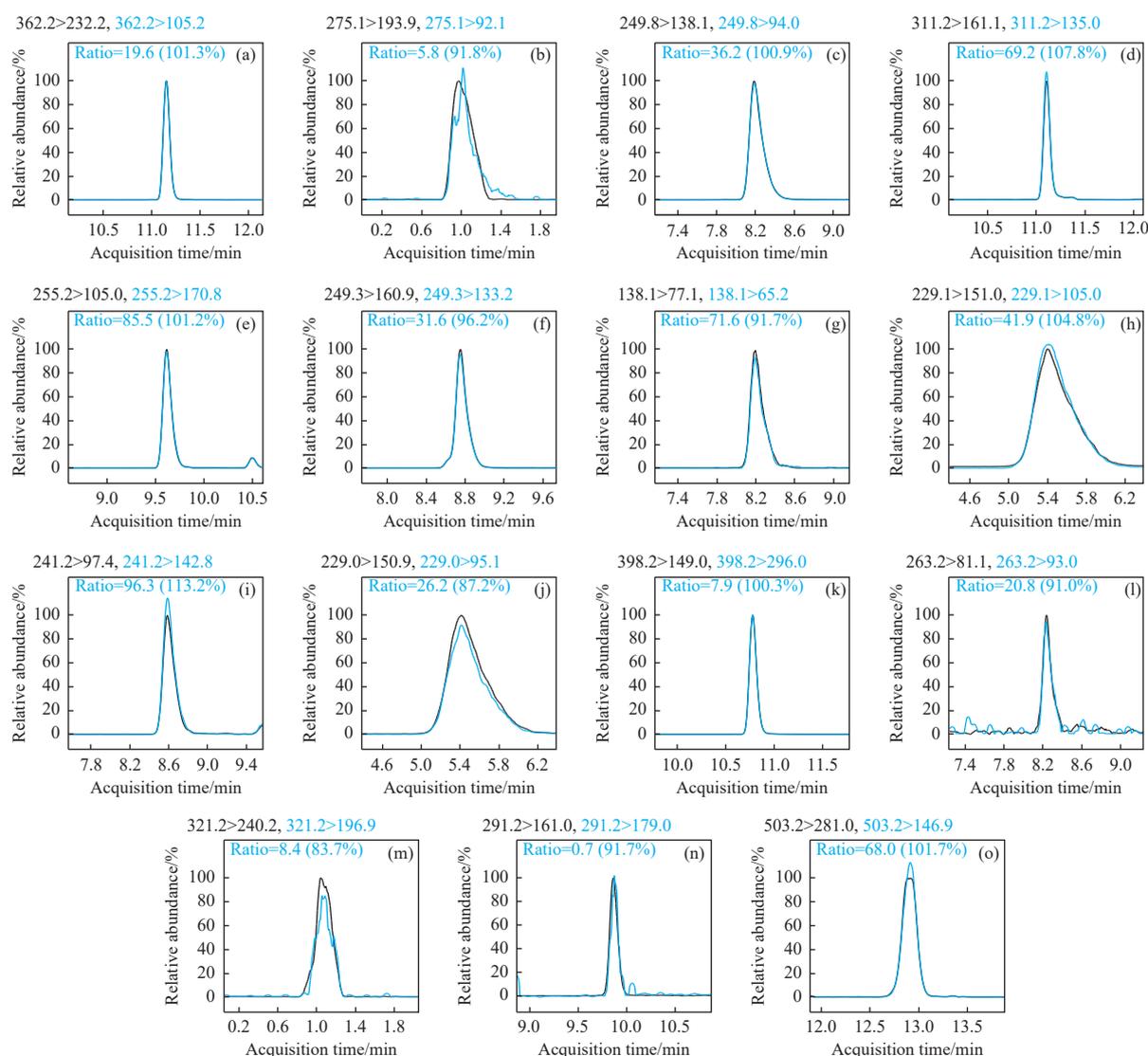


图2 15种防晒剂的MRM图谱

Fig. 2 MRM spectra of 15 sunscreens

(a) OC, (b) PBSA, (c) EHDP, (d) BMDM, (e) 4-MBC, (f) IMC, (g) PABA, (h) BP3, (i) BEC, (j) BZ3, (k) DHHB, (l) HMS, (m) DTT, (n) BCSA, (o) EHMC

表 4 15 种防晒剂的标准曲线和检出限

Table 4 Standard curves and limits of detection of 15 sunscreens

防晒剂	线性方程	相关系数 $R^2$	线性范围/(ng/mL)	检出限/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
OC	$y=376.4x + 839$	0.997 0	5~200	20
PBSA	$y=100.3x - 403$	0.999 0	5~200	20
EHDP	$y=356.6x + 254$	0.999 1	5~200	20
BMDM	$y=1\ 238.5x - 745$	0.999 7	5~200	20
4-MBC	$y=115.9x - 81$	0.997 0	5~200	20
IMC	$y=468.6x - 112$	0.999 2	5~200	20
PABA	$y=85.1x - 47$	0.998 8	5~200	20
BP3	$y=332.4x - 1\ 168$	0.998 8	5~200	20
BEC	$y=35.7x - 242$	0.997 6	5~200	20
BZ3	$y=332.4x - 1\ 168$	0.998 8	5~200	20
DHHB	$y=1\ 506.8x - 2\ 941$	0.999 1	5~200	10
HMS	$y=2.9x + 507$	0.993 3	10~400	50
DTT	$y=266.4x + 5\ 619$	0.993 8	5~200	20
BCSA	$y=16.7x - 27$	0.999 2	5~200	50
EHMC	$y=131.8x - 19$	0.999 3	10~400	10

表 5 15 种防晒剂的回收率及相对标准偏差

Table 5 Recoveries and relative standard deviations of 15 sunscreens

防晒剂	加标水平/ (ng/mL)	回收率/%	RSD/%	防晒剂	加标水平/ (ng/mL)	回收率/%	RSD/%	防晒剂	加标水平/ (ng/mL)	回收率/%	RSD/%
OC	30	70.5	5.8	IMC	30	75.2	5.3	DHHB	30	75.9	4.3
	60	73.2			60	83.4			60	69.9	
	120	78.9			120	81.0			120	74.8	
PBSA	30	75.0	5.7	PABA	30	80.1	2.7	HMS	60	77.8	4.0
	60	82.1			60	82.4			120	81.9	
	120	83.5			120	78.1			240	84.2	
EHDP	30	69.7	9.0	BP3	30	70.2	1.7	DTT	30	68.4	3.7
	60	78.2			60	69.8			60	73.5	
	120	77.3			120	72.1			120	72.1	
BMDM	30	72.1	5.2	BEC	30	77.5	3.0	BCSA	60	69.9	4.6
	60	72.6			60	82.0			120	76.3	
	120	79.0			120	81.2			240	74.9	
4-MBC	30	78.9	4.4	BZ3	30	81.0	2.3	EHMC	30	75.2	5.6
	60	77.1			60	79.2			60	81.7	
	120	72.4			120	77.3			120	83.8	

### 3 结论

本研究使用 QuEChERS 前处理技术结合高效

液相色谱/三重四极杆质谱联用仪,测定防晒类化妆品中奥克立林、苯基苯并咪唑磺酸等 15 种防晒剂,可在 15 min 内完成对防晒剂的分离测定,所选用的

提取试剂替代了传统毒性较大的四氢呋喃和高氯酸。该方法前处理简单,回收率高,QuEChERS柱净化能满足质谱对样品的要求,适用于化妆品中15种防晒剂的定性定量分析,能满足市场监管部门对防晒类化妆品的监督要求。

#### 参考文献:

- [1] 谢嘉颖,朱家亮. 防晒霜紫外线透光率测定及防晒效果探析[J]. 化工管理, 2017(11): 165. [XIE Jiaying, ZHU Jialiang. Determination of ultraviolet transmittance of sunscreen cream and analysis of sunscreen effect[J]. Chemical Enterprise Management, 2017 (11): 165.]
- [2] 汪秀平,符移才,胡国胜. 防晒化妆品抗UVA能力仪器测定法述评[C]//第十届中国化妆品学术研讨会论文集. 2014: 113-119.
- [3] 马莹,赵丽,李泽夏琼,等. 防晒类产品中化学防晒剂的检测结果分析[J]. 日用化学品科学, 2020, 43(7): 32-35. [MA Ying, ZHAO Li, LI Zexiaqiong, et al. Detection and analysis of chemical sunscreen agents in sunscreen products[J]. Detergent & Cosmetics, 2020, 43 (7): 32-35.]
- [4] 朱惠斌,王雪平. 气相色谱法测定防晒化妆品中14种防晒剂的含量[J]. 日用化学工业, 2019, 49(2): 126-131. [ZHU Huibin, WANG Xueping. Determination of 14 sunscreen agents in sunscreen cosmetics by gas chromatography[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2019, 49 (2): 126-131.]
- [5] 李祥胜,高家敏. 超高效液相色谱法测定化妆品中15种防晒剂含量[J]. 安徽医药, 2021, 25(2): 246-249.
- [6] 孙晶,曹玲,冯有龙,等. 高效液相色谱法测定防晒类化妆品中20种防晒剂的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2019, 55(10): 1186-1193. [SUN Jing, CAO Ling, FENG Youlong, et al. Determination of 20 sunscreen agents in sunscreen cosmetics by high performance liquid chromatography[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis), 2019, 55 (10): 1186-1193.]
- [7] 韩晓萍,周霏,李亚楠. 高效液相色谱法同时测定化妆品中的19种防晒剂[J]. 中国卫生检验杂志, 2018, 28(9): 1032-1037. [HAN Xiaoping, ZHOU Pei, LI Yanan. Simultaneous determination of 19 UV filters in cosmetics by high performance liquid chromatography[J]. China Industrial Economics, 2018, 28 (9): 1032-1037.]
- [8] Chang N, Yoo M, Lee S H. Determination of fourteen sunscreen agents in cosmetics using high-performance liquid chromatography[J]. International Journal of Cosmetic Science, 2015, 37 (2): 175-180.
- [9] Salvador A, Chisvert A, Jaime M A. Near-critical carbon dioxide extraction and liquid chromatography determination of UV filters in solid cosmetic samples: a green analytical procedure[J]. Journal of Separation Science, 2005, 28 (17): 2319-2324.
- [10] 涂晓琴,杨柳,孟庆玉,等. 高效液相色谱法测定防晒化妆品中的二乙氨基羟苯甲酰基苯甲酸己酯及甲酚曲唑三硅氧烷[J]. 香料香精化妆品, 2020(1): 55-58. [TU Xiaoqin, YANG Liu, MENG Qingyu, et al. Determination of diethylamino hydroxybenzoyl hexyl benzoate and drometizole trisiloxane in sunscreen cosmetics by high performance liquid chromatography[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2020 (1): 55-58.]
- [11] 时文春,宋晓华,徐成钢,等. 高效液相色谱法测定防晒化妆品中甲酚曲唑和甲酚曲唑三硅氧烷[J]. 分析实验室, 2016, 35(12): 1408-1411. [SHI Wenchun, SONG Xiaohua, XU Chenggang, et al. Determination of drometizole and drometizole trisiloxane in sunscreens by high performance liquid chromatography[J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2016, 35 (12): 1408-1411.]
- [12] 闫萌萌,回相宜,郭兴洲,等. 拭子喷雾电离-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱法快速筛查化妆品中19种防晒剂[J]. 质谱学报, 2022, 43(2): 178-188, I0003. [YAN Mengmeng, HUI Xiangyi, GUO Xingzhou, et al. Rapid screening of 19 UV filters in cosmetics using swab touch spray ionization coupled with quadrupole/orbitrap high-resolution mass spectrometry[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2022, 43 (2): 178-188, I0003.]
- [13] 周宝龙. 气相色谱-串联质谱法测定防晒化妆品中12种紫外线吸收剂[J]. 理化检验-化学分册, 2019, 55(9): 1013-1018. [ZHOU Baolong. GC-MS/MS determination of 12 UV absorbers in suncreening cosmetics[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B:Chemical Analysis), 2019, 55 (9): 1013-1018.]
- [14] 范晨丽,李彦超,申二永. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定防晒剂化妆品16种紫外线吸收剂[J]. 中国卫生检验杂志, 2020, 30(24): 2959-2963, 2966. [FAN Chenli, LI Yanchao, SHEN Eryong. Determination of 16 UV-absorbents in sun-screening cosmetics by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2020, 30 (24): 2959-2963, 2966.]
- [15] 高玲,王毅谦,刘芸,等. 高效液相色谱-串联质谱法测定化妆品中16种防晒剂[J]. 云南化工, 2019, 46(12): 109-110. [GAO Ling, WANG Yiqian, LIU Yun, et al. Determination of 16 sunscreen agents in cosmetics by high performance liquid[J]. Yunnan Chemical Technology, 2019, 46 (12): 109-110.]