

中图分类号: R917 文献标志码: A 文章编号: 1006-4931(2026)09-0085-06
doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2026.09.017



化妆品中 10-羟基癸酸含量测定的不确定度评定*

董亚蕾¹, 李芬英², 拥宗卓玛², 杨欢², 米玛^{2Δ}, 王海燕¹

(1. 中国食品药品检定研究院, 北京 100050; 2. 西藏自治区食品药品检验研究院, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 目的 评定高效液相色谱(HPLC)法测定化妆品中 10-羟基癸酸含量的不确定度。方法 参考《中华人民共和国国家计量技术规范: 测量不确定度评定与表示》(JJF 1059.1—2012)、《化学分析中不确定度的评估指南》(CNAS-GL006:2019)2个规范性文件, 构建实验室采用 HPLC 法测定化妆品中 10-羟基癸酸含量的数学模型, 系统分析检测流程中的主要不确定度来源, 并对各分量进行量化, 综合计算标准不确定度, 并确定该检测方法的扩展不确定度。结果 检测流程中的主要不确定度来源于标准储备液配制、标准物质称量、标准储备液定容、标准曲线绘制、标准曲线线性拟合、样品称量、样品定容、重复性测量、HPLC 仪; 在 95% 置信区间(95%CI)内($k=2$), 某款化妆品中 10-羟基癸酸的含量为 0.897 0 mg/mL, 对应扩展不确定度为 0.049 1 mg/mL。结论 10-羟基癸酸含量测定流程中, 标准溶液配制、标准曲线线性拟合和重复性测量对不确定度的贡献最大, 故建议选用测量精度更优的仪器, 检测全流程严格规范操作, 适当增加标准曲线的校准点数和测量次数, 以降低试验误差, 减小不确定度, 确保试验结果的准确性和稳定性。

关键词: 化妆品; 10-羟基癸酸; 高效液相色谱法; 含量测定; 不确定度评定

Uncertainty Evaluation for the Determination of 10-Hydroxydecanoic Acid in Cosmetics

DONG Yalei¹, LI Fenying², Yongzongzhuoma², YANG Huan², Mima^{2Δ}, WANG Haiyan¹

(1. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China; 2. Tibet Institute for Food and Drug Control, Lhasa, Xizang 850000, China)

Abstract: Objective To evaluate the uncertainty of the determination of 10-hydroxydecanoic acid in cosmetics by high-performance liquid chromatography (HPLC) method. **Methods** With reference to two normative documents [JJF 1059.1—2012 *Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurement* and CNAS-GL006:2019 *Guidance on Evaluating Uncertainty in Chemical Analysis*], a mathematical model for determining 10-hydroxydecanoic acid in cosmetics by HPLC method was established to systematically analyze the main sources of uncertainty in the testing procedure, and quantify each component. The standard uncertainty was comprehensively calculated, and the expanded uncertainty of the method was determined. **Results** In the testing procedure, the main sources of uncertainty were from preparation of the standard stock solution, weighing of the reference substance, volume setting of the standard stock solution, drawing of the standard curve, linear fitting of the standard curve, weighing of samples, volume setting of samples, measurement repeatability, and the HPLC instrument. Within the 95%CI ($\kappa=2$), the content of 10-hydroxydecanoic acid in a cosmetic sample was 0.897 0 mg/mL, with an expanded uncertainty of 0.049 1 mg/mL. **Conclusion** In the determination of 10-hydroxydecanoic acid, preparation of standard solutions, linear fitting of the standard curve, and measurement repeatability contributed most to the uncertainty. Therefore, instruments with higher precision should be selected, the whole testing procedure should be carried out in strict compliance with specifications, and the numbers of calibration points and replicate measurements should be appropriately increased to reduce experimental errors and uncertainty, in order to ensure the accuracy and stability of test results.

Key words: cosmetics; 10-hydroxydecanoic acid; HPLC; content determination; uncertainty evaluation

10-羟基癸酸是一种长链饱和脂肪酸,为蜂王浆中的主要生物活性成分^[1-2]。工业生产中常由蓖麻油裂解得到^[3-4],也可由其他绿色工艺生产得到^[5]。10-羟基癸酸是一种化妆品原料,位于《已使用化妆品原料目录(2021年)》第00014号,在驻留类产品中最高历史使用量为1%。10-羟基癸酸具有抗氧化、抗炎作用,可减轻炎症反应^[6-7],添加到祛痘、护肤类化妆品中,与其他 α -羟基酸共同实现“刷酸”的目的^[8]。《化妆品安全技

术规范(2015年版)》中收录了10-羟基癸酸的检测方法^[9],填补了该物质检测标准的空白。在分析化学领域,测量不确定度是度量结果可信度的重要手段,在中药材、化学药品的物质含量测定方面均有应用^[10-12]。在化妆品检测领域,已有高效液相色谱(HPLC)法测定化妆品中苯氧乙醇^[13]、补骨脂酚^[14]等物质的不确定度评定,液质联用法测定化妆品中的地索奈德^[15]、莫匹罗星^[16]、16 α -羟基泼尼松龙^[17]等非法添加化学药物的

*基金项目:中华人民共和国科学技术部科技基础资源调查专项课题[2022FY10120203]。

第一作者:董亚蕾,女,博士研究生,副研究员,研究方向为化妆品安全理化检测,(电子信箱)dongyalei@nifdc.org.cn。

^Δ通信作者:米玛,男,藏族,大学本科,副主任药师,研究方向为化妆品安全理化检测,(电子信箱)1132075@qq.com。

电子天平的分辨力为0.01 mg, 则其区间半宽度为0.005 mg时, 由设备分辨力引入的分量为 $u(\rho_{m3}) = 0.005 / \sqrt{3} = 0.00289$ mg。根据已有检定结果, 该电子天平偏载误差为0.09 e, 即0.009 mg, 则区间半宽度0.009 mg可用于计算偏载引起的分量, $u(\rho_{m4}) = 0.009 / \sqrt{3} = 0.00520$ mg。

以上4项合成标准不确定度为: $u(\rho_m) = \sqrt{u^2(\rho_{m1}) + u^2(\rho_{m2}) + u^2(\rho_{m3}) + u^2(\rho_{m4})} = \sqrt{0.00115^2 + 0.00087^2 + 0.00289^2 + 0.00520^2} = 0.00612$ mg。

试验过程中, 取10-羟基癸酸标准物质50.07 mg, 精密称定, 则来源于标准物质称量的相对合成标准不确定度为 $u_{rel}(\rho_m) = 0.00612 / 50.07 = 0.00012$ 。

3) 标准贮备液定容的相对不确定度 $u_{rel}(\rho_V)$

标准贮备液定容过程中的不确定度主要来源于所用器皿的体积误差及试剂在环境温度改变时的体积变化。

参考《中华人民共和国国家计量检定规程: 常用玻璃量器》(JJG 196—2006)、《中华人民共和国国家计量检定规程: 移液器检定规程》(JJG 646—2006)2项规定, 各量具的最大允许误差按公式 $u_{rel}(\rho_{V1}) = \alpha / (k \times V)$ 进行计算, 可得到其相对标准不确定度 $u_{rel}(\rho_{V1})$ 。式中, α 为最大允许误差查表值; 按均匀分布考虑, k 为 $\sqrt{3}$; V 为配制系列标准溶液时各点的总体积。

量具一般在20℃校准, 此时溶剂甲醇的体积膨胀系数 α 为 $1.20 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$, 按温度波动为均匀分布, 当试验温度为21℃时, 可按公式 $u_{rel}(\rho_{V2}) = \alpha / (k \times V)$ 计算由实验室环境温度变化造成的相对标准不确定度 $u_{rel}(\rho_{V2})$ 。式中, α 为溶剂甲醇由于温度波动的体积偏差, 该参数可由所用溶剂体积、环境温度波动幅度、溶剂体积膨胀系数三者相乘得到; 参数 k 和 V 的含义同上。

查询JJG 196—2006可知, 当温度为20℃时, 10 mL A级容量瓶的容量允许公差为 ± 0.02 mL, 按均匀分布($k = \sqrt{3}$)计算, 标准贮备液定容所需10 mL容量瓶允许误差引入的标准不确定度 $u(\rho_{V1}) = 0.02 / \sqrt{3} = 0.01155$ mL, 则 $u_{rel}(\rho_{V1}) = 0.01155 / 10 = 0.00116$ 。实验室环境温度为21℃, 来源于温度变化的相对标准不确定度 $u_{rel}(\rho_{V2}) = (21 - 20) \times 0.0012 / \sqrt{3} = 0.00069$ mL。综合考虑以上2个方面, 来源于标准贮备液定容的相对标准不确定度 $u_{rel}(\rho_V) = \sqrt{u_{rel}^2(\rho_{V1}) + u_{rel}^2(\rho_{V2})} = \sqrt{0.00116^2 + 0.00069^2} = 0.00135$ 。

综合10-羟基癸酸标准物质的纯度、称样量、定容过程的试验结果, 来源于标准贮备液配制过程的相对标准不确定度 $u_{rel}(\rho_1) =$

$$u_{rel}(\rho_2) = \sqrt{4 \times 0.00135^2 + 0.00090^2 + 0.00090^2 + 0.00582^2 + 0.00297^2 + 4 \times 0.00353^2} \quad (1)$$

$$\sqrt{u_{rel}^2(\rho_{STD}) + u_{rel}^2(\rho_m) + u_{rel}^2(\rho_V)} = \sqrt{0.01001^2 + 0.00012^2 + 0.00135^2} = 0.01010$$

2.4.2 标准曲线绘制溶液配制过程的相对不确定度 $u_{rel}(\rho_2)$

分析实验室中标准曲线绘制溶液配制的操作, 通常借助玻璃器皿和移液器完成, 故所用量具的误差和环境温度是造成不确定度的2个重要因素^[19]。本试验中以甲醇为稀释剂, 按表1中的配备方法配制系列标准溶液。

表1 系列标准溶液配制方法

Tab. 1 Preparation methods of a series of standard solutions

标准曲线序号	精密吸取溶液的量	定容体积(mL)	标准溶液质量浓度(mg/mL)
STD1	取STD2溶液5 mL	10	0.125 1
STD2	取STD6溶液5 mL	100	0.250 1
STD3	取STD6溶液1 mL	10	0.500 2
STD4	取STD6溶液2 mL	10	1.000 0
STD5	取STD6溶液5 mL	10	2.501 0
STD6	取标准贮备液5 mL	50	5.002 0

标准曲线绘制溶液配制过程中各型号量具使用次数见表2。查询JJG 196—2006可知, 所用10 mL A级容量瓶的理论容量允许公差为 ± 0.02 mL, 10 mL比色管为 ± 0.10 mL(20℃时)。根据公式 $u_{rel}(\rho_{V1}) = \alpha / (k \times V)$ 可计算由各量具允许公差及多次使用引入的相对标准不确定度 $u_{rel}(\rho_{V1})$ 。

JJG 646—2006规定了不同规格移液器的容量允许公差, 其中1 mL移液器满量程时为 $\pm 1.0\%$, 即 ± 0.01 mL。采用5 mL移液器在检定点为2.5 mL时, 容量允许误差为 $\pm 0.5\%$ 。本试验中实际使用容量为2 mL的移液器, 可按检定点2.5 mL近似认为允许误差为 ± 0.01 mL。检定点为5 mL时, 容量允许误差为 $\pm 0.6\%$, 即 ± 0.03 mL。

考虑到甲醇的体积膨胀系数, 以及查表得到的容量允许公差, 可由公式 $u_{rel}(\rho_{V2}) = \alpha / (k \times V)$ 计算该项下的相对标准不确定度 $u_{rel}(\rho_{V2})$, 则由量具引入的相对标准不确定度分量见表2。

根据表2中的各分量, 可计算得到该检测方法在配制10-羟基癸酸的标准系列溶液过程中引入的相对标准不确定度 $u_{rel}(\rho_{V2})$, 计算见公式(1)。结果 $u_{rel}(\rho_{V2}) = 0.01007$ 。

2.4.3 标准曲线拟合的相对标准不确定度 $u_{rel}(\rho_3)$

取系列标准溶液, 按2.1项下色谱条件分别进样测定, 以10-羟基癸酸质量浓度(X)为横坐标、峰面积(Y)为纵坐标进行线性回归, 得回归方程 $Y = 126.25960X + 0.914669$, $r = 0.99996$ 。取化妆品样品, 平行测定6次, 平均质量浓度为0.89701 mg/mL($n = 6$)。标准曲线各点的平均质量浓度为1.5631 mg/mL。系列标准溶液的质量浓度和理论质量浓度校准结果见表3。

表2 试验过程所用量具的相对标准不确定度分量

Tab. 2 Relative standard uncertainty components of the measuring devices used in the testing procedure

试验过程	所用量具	使用次数	使用容量(mL)	容量允许公差(mL)	温度(°C)	体积膨胀系数(/°C)	$u_{rel}(\rho_{V1})$	$u_{rel}(\rho_{V2})$	$u_{rel}(\rho_V)$
标准曲线绘制	10 mL 容量瓶(A级)	4	10	±0.02	21	1.2×10^{-3}	0.001 15	0.000 69	0.001 35
	50 mL 容量瓶(A级)	1	50	±0.05	21	1.2×10^{-3}	0.000 58	0.000 69	0.000 90
	100 mL 容量瓶(A级)	1	100	±0.10	21	1.2×10^{-3}	0.000 58	0.000 69	0.000 90
	1 mL 移液器	1	1	±0.01	21	1.2×10^{-3}	0.005 77	0.000 69	0.005 82
	5 mL 移液器	1	2	±0.01	21	1.2×10^{-3}	0.002 89	0.000 69	0.002 97
	5 mL 移液器	4	5	±0.03	21	1.2×10^{-3}	0.003 46	0.000 69	0.003 53
样品定容	10 mL 比色管	2	10	±0.10	21	1.2×10^{-3}	0.005 77	0.000 69	0.005 82

表3 标准曲线各点校准结果

Tab. 3 Calibration results for each point on the standard curve

质量浓度	实际峰面积	理论峰面积
0.125 1 mg / mL	14.934 73	16.703 43
0.250 1 mg / mL	31.885 62	32.492 19
0.500 2 mg / mL	66.908 39	64.069 72
1.000 0 mg / mL	124.846 10	127.224 80
2.501 0 mg / mL	321.748 80	316.689 90
5.002 0 mg / mL	630.192 00	632.465 20

由标准曲线拟合引入的标准不确定度 u_{p3} 按公式

$$u_{p3} = \frac{S_L}{\alpha} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(\bar{C}_x - \bar{C}_R)^2}{\sum_{i=1}^n (C_{R,i} - \bar{C}_R)^2}} \quad \text{和} \quad S_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [A_{\alpha,i} - A_{L,i}]^2}{n-2}} \quad \text{计算。}$$

式中, S_L 为回归直线标准偏差; $A_{\alpha,i}$ 为标准溶液各点的响应值; $A_{L,i}$ 为根据标准曲线计算得到的各质量浓度点的理论响应值; α 为标准曲线斜率; p 为试样平行测定次数 ($p=6$); n 为标准曲线的质量浓度点数 ($n=6$); C_x 为化妆品样品溶液中 10-羟基癸酸的平均质量浓度 (mg/mL); C_R 为标准曲线各点质量浓度的平均值 (mg/mL); $C_{R,i}$ 为标准曲线各点的质量浓度 (mg/mL)。其中, S_L 为 3.463 1 mg/mL; 根据上述公式计算本试验的标准曲线不确定度为 $u_{p3} = 3.463 1 / 126.259 60 \times \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{(0.897 01 - 1.563 1)^2}{20.606 29}} = 0.016 34$, 则 $u_{rel}(\rho_3) = u_{p3} / \rho_0 = 0.016 34 / 0.897 01 = 0.018 22$ 。将上述标准溶液配制过程中的各不确定度分量进行合成, 得到来源于标准曲线拟合的相对标准不确定度, 即 $u_{rel}(\rho) = \sqrt{u_{rel}^2(\rho_1) + u_{rel}^2(\rho_2) + u_{rel}^2(\rho_3)} = \sqrt{0.010 10^2 + 0.010 07^2 + 0.018 22^2} = 0.023 14$ 。

2.4.4 样品称量的相对标准不确定度 $u_{rel}(S_m)$

10-羟基癸酸的标准检测方法中, 化妆品样品称量为 1.0 g, 采用精度为 0.01 mg 的天平, $e = 10 d$, 即

$e = 1 \text{ mg}$ 。根据检定结果, 此范围内设备的示值误差为 0.0 e, 则电子天平校准引入的不确定度 $u(S_{m1}) = 0$ 。检定证书给出电子天平的重复性误差为 0.0 e, 则电子天平称量时重复性引入的不确定度 $u(S_{m2}) = 0$ 。考虑到电子天平的分辨力为 0.1 mg, 即区间半宽度为 0.05 mg, 按均匀分布 ($k = \sqrt{3}$) 计算时, $u(S_{m3}) = 0.05 / \sqrt{3} = 0.028 87 \text{ mg}$ 。电子天平的偏载为 0.1 e 即 0.1 mg, 按区间半宽度 (0.05 mg) 和 k 值计算, $u(S_{m4}) = 0.05 / \sqrt{3} = 0.028 87 \text{ mg}$, 则样品称量带来的标准不确定度为 $u(S_m) = \sqrt{u^2(S_{m1}) + u^2(S_{m2}) + u^2(S_{m3}) + u^2(S_{m4})} = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0.028 87^2 + 0.028 87^2} = 0.040 82$ 。

平行称取样品 2 份, 分别为 1.015 4, 1.013 8 g, 平均质量 (m) 为 1.014 6 g, 来源于样品称量的相对合成标准不确定度 $u_{rel}(S_m) = \sqrt{2 \times u^2(S_m)} / (1000 \times m) = \sqrt{2 \times 0.040 82^2} / (1000 \times 1.014 6) = 0.000 06$ 。

2.4.5 样品定容的相对标准不确定度 $u_{rel}(S_V)$

根据《中华人民共和国国家计量检定规程: 专用玻璃量器》(JJG 10—2005), 10 mL 比色管的允许公差为 ±0.10 mL。根据表 2 中列出的样品定容过程, 综合考虑容量允许公差和溶剂体积膨胀, 计算出平行测定 2 份样品定容带入的相对标准不确定度 $u_{rel}(S_V) = \sqrt{2 \times 0.005 82^2} = 0.008 22$ 。

2.4.6 重复性测量的相对标准不确定度 $u_{rel}(R)$

对同一份化妆品样品重复测定 6 次, 结果分别为 0.904 3, 0.905 7, 0.891 5, 0.919 1, 0.880 0, 0.881 3 mg/L, 平均值为 0.897 0 mg/L。应用贝塞尔公式计算得重复 6 次测定结果的 RSD, 即可作为测量重复性的计算依

据。根据公式 $S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_j - x)^2}{n-1}}$ 计算单次测量的标准不确定度。式中, n 为样品测量次数, x_j 为每次测得的目标物的质量浓度, x 为测得目标物质量浓度的平均值。结果 $S(x)$ 为 0.015 37。

在标准操作中, 每份样品的检测结果以重复 2 次测

量的平均值表示,则该分量的标准不确定度为 $u(x) = S(x) / \sqrt{n} = 0.01087$,则来源于测量重复性的相对标准不确定度为 $u_{\text{rel}}(R) = u(x) / x = 0.01211$ 。

2.4.7 HPLC 仪器的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(r_{\text{HPLC}})$

试验所用 Agilent 1260 型 HPLC 仪是一款较经典的仪器。本次试验时,仪器处于检定效期内。该设备定量测量时的 $RSD(0.10\%)$ 可直接用于计算相对扩展不确定度。当 $k = \sqrt{3}$ 时,测量仪器自身带来的相对标准不确定度可表示为 $u_{\text{rel}}(r_{\text{HPLC}}) = 0.0010 / \sqrt{3} = 0.00058$ 。

2.4.8 各分量的合成相对标准不确定度

将测得的分量的相对标准不确定度结果进行总结(表4),计算得各分量的合成相对标准不确定度为 $u_{\text{rel}}(\omega) =$

$$\sqrt{u_{\text{rel}}^2(\rho) + u_{\text{rel}}^2(S_m) + u_{\text{rel}}^2(S_V) + u_{\text{rel}}^2(R) + u_{\text{rel}}^2(r_{\text{HPLC}})^2} = \sqrt{0.02314^2 + 0.00006^2 + 0.00822^2 + 0.01211^2 + 0.00058^2} = 0.02737。$$

表4 各分量相对标准不确定度总结

Tab. 4 Summary of the relative standard uncertainty for each component

不确定度影响因素	表示符号	相对标准不确定度分量	相对标准不确定度
标准溶液	标准贮备液配制	0.01010	
	标准系列溶液配制	$u_{\text{rel}}(\rho)$	0.01007
	标准曲线拟合	0.01822	0.02314
样品取样量	$u_{\text{rel}}(S_m)$	0.00006	0.00006
样品定容体积	$u_{\text{rel}}(S_V)$	0.00822	0.00822
重复性测量	$u_{\text{rel}}(R)$	0.01211	0.01211
高效液相色谱仪	$u_{\text{rel}}(r_{\text{HPLC}})$	0.00058	0.00058

2.4.9 扩展不确定度及不确定度报告

根据样品实际检测结果,其含量为 0.8970 mg/mL 。当包含因子 $k = 2$ 时,10-羟基癸酸含量的相对标准扩展不确定度(95%CI)为 $u_{\text{rel}}(\bar{\omega}) = k \times u_{\text{rel}}(\omega) = 2 \times 0.02737 = 0.05474$ 。化妆品中10-羟基癸酸标准扩展不确定度 $U(\bar{\omega}) = \omega \times U_{\text{rel}}(\bar{\omega}) = 0.8970 \times 0.05474 = 0.0491 \text{ mg/mL}$ 。

不确定度报告:化妆品中10-羟基癸酸含量为 $\omega = (0.8970 \pm 0.0491) \text{ mg/mL}$, $k = 2$ 。

3 讨论

由上述评定结果可见,在采用标准方法《化妆品安全技术规范(2015年版)》“3.14化妆品中10-羟基癸酸的检验方法”^[9]检测时,当样品中10-羟基癸酸含量为 0.8970 mg/mL 时,扩展不确定度为 0.0491 mg/mL ,10-羟基癸酸含量表示为 $(0.8970 \pm 0.0491) \text{ mg/mL}$, $k = 2$ 。该方法的不确定度整体偏小,表明方法较稳健。

本评定结果显示,测量重复性对不确定度的影响最显著。此外,配制10-羟基癸酸系列标准溶液及标准曲线的线性拟合过程,亦是不确定度的关键成因。基于此,检验人员在使用该分析方法时,可选用测量精准更

优的仪器,同时全流程严格规范操作,以降低试验误差,确保试验结果的准确性和稳定性。也可在试验过程中增加标准曲线的校准点数及测量次数,以减小标准曲线拟合带来的不确定度。

本研究中针对HPLC法测定化妆品中10-羟基癸酸的不确定度进行评定,未纳入样品取样及前处理相关的不确定度分量。取样时样品均匀性不足导致的误差,以及化妆品基质复杂对提取效率的干扰(如基质吸附、共萃取干扰)未被量化。故本评定结果仅反映仪器分析阶段的不确定度,未完整覆盖检测全流程,结合上述未考量环节才能实现更全面的结果可靠性评估。

参考文献

- [1] 刘丽,杨晓慧,王瑞明. 10-羟基癸酸对工蜂合成10-HDA的影响[J]. 齐鲁工业大学学报,2015,29(2):29-32.
- [2] 陈志松,周艳红,黄吉成,等. 10-羟基癸酸对多囊卵巢综合征小鼠的作用及其机制[J]. 中国兽医学报,2024,44(2):341-347.
- [3] 高虹,刘松清. 微波辐射蓖麻油碱裂合成10-羟基癸酸[J]. 精细石油化工,2015,32(1):49-51.
- [4] 黄小凤,黄文彪,李晓东,等. 从蓖麻油制取10-羟基癸酸的研究[J]. 有机化学,1993,13(2):176-178.
- [5] 张国铭,高虹. 10-羟基癸酸绿色合成工艺的研究[J]. 广东化工,2008,35(9):50-52.
- [6] YOU MM, WANG KL, PAN YM, et al. Combined royal jelly 10-hydroxydecanoic acid and aspirin has a synergistic effect against memory deficit and neuroinflammation[J]. Food Funct, 2022,13(4):2336-2353.
- [7] TERADA Y, NARUKAWA M, WATANABE T. Specific hydroxyl fatty acids in royal jelly activate TRPA1[J]. J Agric Food Chem, 2011,59(6):2627-2635.
- [8] 韩晶,许勇,茹歌,等. 化妆品中壬二酸等6种化合物的测定[J]. 中国卫生检验杂志,2022,32(19):2343-2346.
- [9] 国家药品监督管理局. 国家药品监督管理局关于将化妆品中壬二酸及其盐类的检测方法等5项检验方法纳入化妆品安全技术规范(2015年版)的通告:2015年第45号[A/OL]. (2024-11-01)[2025-05-10]. <https://www.nmpa.org.cn/nifdc/bshff/h2hpbzh/hzhpbzhtzg/202411011345411303145.html>.
- [10] 曾凡玉,李璐晏,周维婷,等. 酸碱滴定法测定白芷药材中二氧化硫含量的不确定度评定[J]. 中国药业,2024,33(18):75-77.
- [11] 赵贵琴,冷崇姣,赵悦,等. 高效液相色谱法测定蒲公英中菊苣酸含量的不确定度评定[J]. 中国药业,2023,32(23):92-95.
- [12] 朱清丽,李鹏,郭梦倩,等. 高效液相色谱法测定盐酸吗啡片含量及其不确定度评定[J]. 中国药业,2021,30(18):60-64.
- [13] 王海燕,李彬,孙磊,等. 高效液相色谱法测定化妆品中苯氧乙醇含量的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报,2020,11(1):128-133.
- [14] 李莉,王继双,王海燕. 高效液相色谱法测定化妆品中补骨脂酚的不确定度评定[J]. 化学分析计量,2024,33(10):114-118.
- [15] 涂晓琴,吴姣娇,杨柳,等. 超高效液相色谱-串联质谱