

《化妆品用原料中月桂酰甘氨酸及其盐（以酸计）含量测定 高效液相色谱法》团体标准研制过程解析

卓文珊¹, 唐建锋^{1*}, 潘璐怡², 梁金胜³

(1.中山大学分析测试中心, 广东 广州 510275; 2.华南农业大学测试中心, 广东 广州 510642 3. 广州宏度精细化工有限公司, 广东 广州 510405;)

摘要: 月桂酰甘氨酸及其盐表面活性剂以其温和、易降解等特点备受日化行业喜爱, 近年来被广泛应用于洗涤、个人护理等领域。为了更好地规范和维持此类表面活性剂原料市场, 需要科学严谨、实操性强的检测标准规范进行引导。项目研制小组分析和梳理了阴离子表面活性剂标准方法的现状, 对检测方法进行比较分析, 通过优化流动相、选择色谱柱和检测波长, 建立了测定月桂酰甘氨酸含量的高效液相色谱方法。目前, 《化妆品用原料中月桂酰甘氨酸及其盐（以酸计）含量测定 高效液相色谱法》团体标准已经通过技术审查, 预计很快能为原料生产企业及化妆品企业提供统一、科学的测试标准。为了使广大从业人员了解团体标准的研制过程, 本文着重对标准的新方法建立过程及方法验证等内容进行详细的解析。

关键词: 团体标准; 月桂酰甘氨酸; 月桂酰甘氨酸盐; 表面活性剂; 高效液相色谱法

Analysis of development process in group standard "Determination of lauryl glycine & lauryl glycinate (as lauryl glycine) in raw materials for cosmetic by high performance liquid chromatography"

ZHUO Wenshan¹, TANG Jianfeng^{1*}, PAN Luyi², LIANG Jinsheng³

(1. Instrumental Analysis and Research Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Instrumental Analysis and Research Center, South China Agricultural University, 510642; 3. Guangzhou Hongdu Fine chemical Co., Ltd, Guangzhou 510405, China;)

Abstract: In recent years, the surfactant lauryl glycine (glycinate) has gained widespread usage in washing, personal care, and other industries due to its gentle nature and easy biodegradability. To effectively regulate and maintain the market for such surfactant raw materials, it is essential to establish scientific, rigorous, and practical testing standards. The project development team analyzed the status of anionic surfactant standard methods and compared different detection methods. By optimizing the mobile phase, selecting an appropriate chromatographic column and detection wavelength, a high performance liquid chromatography with ultraviolet detector method was developed for determining lauryl glycine content. Currently the group standard "Determination of lauryl glycine &

lauryl glycinate (as lauryl glycine) in raw materials for cosmetic by high performance liquid chromatography " has passed technical review, which is expected to provide unified and scientifically-based testing standards for raw material manufacturers and cosmetics companies soon. In order to make the majority of practitioners understand the development process of group standards, this paper focuses on the detailed analysis of the standard's new method establishment process and method verification.

Key words: group standard; lauryl glycine; lauryl glycinate; surfactants; high performance liquid chromatography

1 项目背景

1.1 研制背景

目前,我国日化行业正处于由传统表面活性剂向更绿色、安全、健康的新型表面活性剂更新迭代的时期。氨基酸型表面活性剂的合成原料来源为生物质,性能温和,生物降解性好,而且具有良好的乳化、润湿、增溶、分散、起泡等性能,近年来被广泛应用于洗涤剂、洗护产品、口腔护理、皮革工业、医药、食品行业等领域[1-8]。

N-酰基氨基酸及其盐(NLAAS)是现阶段研究与使用最多的一类氨基酸型表面活性剂。NLAAS是由脂肪酸及其衍生物和氨基酸缩合而生产出的表面活性剂,NLAAS中月桂酰甘氨酸及其盐(LC)和椰油酰甘氨酸及其盐是较为广泛使用的原料。由于LC具有绿色环保、性能温和的特点,相关洗护产品受到人们的欢迎。随着市场需求的日益增大,研究、开发和生产氨基酸型表面活性剂带来很大的经济效益,然而,也出现了一些问题。LC原料及以LC为原料的产品售价一般比传统的表面活性剂高,市场上以“温和,安全”为宣称的洗护产品越来越多,容易出现以次充好的现象。因此,原料纯度高、原料的真假及产品质量好坏的鉴别显得尤为重要。这些问题的存在对检测的准确性、便捷性都提出了更高的要求,也急需制订相应的标准对氨基酸型表面活性剂产业进行保驾护航。新团体标准既可以对现有的表面活性剂标准方法进行重要补充,也可提高检测的工作效率。

1.2 现行标准方法调研

截止到2023年4月,研制小组没有查找到与月桂酰甘氨酸及其盐含量测定相关的标准方法。LC是酰化的羧酸类化合物,属于一种阴离子表面活性剂。根据文献资料,阴离子表面活性剂的常用检测方法主要有滴定法、分光光度法和色谱法等^[9-11]。现行的阴离子表面活性剂标准方法主要使用滴定法和分光光度法,共有8项标准:(1)国家标准《GB/T5173-2018 表面活性剂和洗涤剂阴离子活性物的测定 直接两相滴定法》^[12];(2)国家标准《GB/T 20198-2006 表面活性剂和洗涤剂 在碱性条件下可水解的阴离子活性物-可水解和不可水解阴离子活性物的测定》^[13];(3)国家标准《GB/T 28192-2011 表面活性剂 洗涤剂 在酸性条件下可水解和不可水解的阴离子活性物的测定》^[14];(4)国家标准《GB/T 7494-1987 水质 阴离子表面活性剂的测定 亚甲蓝分光光度法》^[15];(5)国家标准《GB/T 39302-2020 再生水水质 阴离子表面活性剂

的测定 亚甲蓝分光光度法》^[16]；（6）环境保护部行业标准《HJ 826-2017 水质 阴离子表面活性剂的测定 流动注射-亚甲基蓝分光光度法》^[17]；（7）化工行业标准《HG/T 2156-2009 工业循环冷却水中阴离子表面活性剂的测定 亚甲蓝分光光度法》^[18]；（8）轻工行业标准《QB/T 4970-2016 表面活性剂 原材料和按配方制造产品中阴离子表面活性剂含量的测定 电位滴定法》^[19]。

从现行标准的检测方法来看，GB/T5173-2018、GB/T 20198-2006 和 GB/T 28192-2011 使用的是两相滴定法（Two-phase titration, TT）。TT 方法的原理是在含有酸性混合指示剂的水和三氯甲烷的两相介质中，加入阳离子表面活性剂，其与阴离子表面活性剂生成不溶于水而溶于三氯甲烷的有色化合物，利用有色化合物的生成及相转移确定其滴定终点，从而进行含量分析。QB/T 4970-2016 使用的是电位滴定法（Potentiometric titration, PT），与 TT 用颜色变化判断滴定反应终点不同，PT 是以电极电位变化来指示终点。PT 是在水溶液中加入阳离子表面活性剂滴定阴离子表面活性剂，两者发生反应生成沉淀。当反应结束时，离子选择电极感应到电位呈现明显的突变，从而判断滴定的终点。TT 和 PT 测定的都是阴离子活性物的总量，对于存在多种阴离子表面活性剂的样品无法辨别是否含有某一种化合物并进行定量。当样品中存在有阳离子表面活性剂时，会带来干扰，导致误差比较大。此外，滴定法也存在滴定过程中容易出现结晶析出或者乳化现象，破乳困难，对滴定的终点判断产生严重干扰^[20]及需要使用三氯甲烷有毒溶剂等弊端。

GB/T 7494-1987、GB/T 39302-2020、HJ 826-2017 和 HG/T 2156-2009 标准使用的是亚甲蓝分光光度法（Methylene blue spectrophotometric, MBS），MBS 方法原理是加入阳离子染料亚甲蓝与阴离子表面活性剂作用，生成蓝色的亚甲蓝活性物质，该生成物被氯仿萃取，用分光光度计在特定波长处测量氯仿层的吸光度，其吸光度与浓度成正比。此方法测定的也是阴离子活性物的总量，样品中可能存在的阳离子活性物、硫酸盐、磷酸盐及酚类等化合物可能存在一些正的和负的干扰，导致结果偏高或偏低，必须先消除干扰物才能进行测试。亚甲蓝活性物要多次使用三氯甲烷或二氯甲烷萃取，比较耗时。此法适用于测定饮用水、再生水、冷却循环水及工业废水等存在的低浓度的亚甲蓝活性物质，对于化妆品原料及洗涤剂产品这类成分复杂且表面活性剂含量比较高的样品并不适合。

综上所述，传统的滴定法和分光光度法方法都只能用于阴离子表面活性剂总量的分析，不适合用于化妆品用原料中 LC 化合物含量的分析。若能建立适合 LC 测试的新方法，将可以对现有的阴离子表面活性剂的标准进行重要的补充，有助于完善我国表面活性剂标准化体系。为此，2022 年 11 月广东省分析测试协会批准对《化妆品用原料中月桂酰甘氨酸及其盐（以酸计）含量测定 高效液相色谱法》团体标准立项，并成立了由 6 家单位组成的具有代表性的项目研制小组，小组成员包括 2 家高校分析检测中心、2 家化妆品原料公司、1 家仪器公司、1 家色谱柱公司。

2 团体标准研制过程

项目研制小组进行了为期一年的新方法开发及团体标准的研制编写工作。在标准研制过程中，项目研制小组首先采用文献查阅、专家咨询、市场调研等手段，广泛收集国内外相关厂家资料、现行标准方法、

LC 的使用现状与发展情况、合成方法、表面活性剂的测试方法、相关标准编写规则等综合材料，并对这些材料进行研究和分析归纳，通过确定要建立适合 LC 含量测定的 HPLC 新方法。

其次，项目主导单位通过优化色谱条件，包括流动相和检测波长的选择、酸含量的优化、有机溶剂的选择、色谱柱的选择等建立了新方法，并对新方法的线性关系、检出限和定量限、精密度、稳定性、准确度等进行方法学考察。在实验结果的基础上，编制小组根据完成了标准的工作组讨论稿，随后，项目进入实验室间的方法验证阶段。项目主导单位给项目研制小组其他 5 家单位发放相同的样品和对照品，要求对新方法进行方法验证。经综合分析 6 家单位的验证结果，项目研制小组认定新方法的稳定性、重复性、回收率均表现良好。随后，研制小组根据实验过程中碰到的问题进行研讨，多次征求专家意见，学习团体标准制定相关技术规范和其他团体标准，形成了团体标准征求意见稿及编制说明意见稿。

再次，团体标准征求意见稿及编制说明意见稿被提交给广东省分析测试协会秘书处。协会向社会进行了为期一个月的公开征求意见，共收到 22 份来自表面活性剂原料生产企业、化妆品公司、检测机构、仪器厂商等单位及专家的意见。项目研制小组对收到的意见进行认真研判，讨论是否采纳，最终修改和完善并形成标准送审稿。

最后，团体标准送审稿在技术审查会上通过广东省分析测试标准化技术委员会的审查，标准研制小组对与会专家的意见和建议进行详细记录和整理，修改、完善标准中的相关内容，最终形成了团体标准的报批稿。

3 新方法的建立

相对于传统的 TT 和 MBS 方法，高效液相色谱法 (High-performance liquid chromatography, HPLC) 的选择性和灵敏度更高。HPLC 是按表面活性剂在固定相与流动相间分配系数的差别而进行分析的方法，具有测试直观，快速的优点，用保留时间定性，以峰面积定量，可以得到具体的阴离子表面活性剂的含量。但从现有的表面活性剂测试参考文献来看，HPLC 方法一般是使用紫外检测器(UV)检测有苯环基团结构或具有较强紫外吸收的表面活性剂^[21-23]，如直链烷基苯磺酸盐 (LAS) 等。但是 LC 对紫外-可见光吸收非常弱，只有在接近远紫外的区域有吸收，用紫外检测器测试存在一定的困难。现有 HPLC 方法文献中一般采用示差折光指数检测器 (RID)、蒸发光散射检测器(ELSD)或电雾式检测器(CAD)^[24-27]等通用型检测器来检测氨基酸表面活性剂。前者不可使用梯度洗脱程序，且检出限比较高，后两者的流动相中只能添加挥发性缓冲盐，在使用上具有一定的局限性。与 UV 相比，这三种检测器都存在灵敏度重现性差或线性范围窄的缺点。对于大多数高效液相色谱仪用户来说，基本上 80%以上的化合物都是用 UV 来进行测试，UV 是 HPLC 仪器的基本配置，其他三种检测器则较少配置。因此，若能建立 UV 适用的 HPLC 方法在 LC 的测试上将具有更大的应用价值。因此，标准研制小组决定建立 HPLC-UV 新方法。新方法开发的重点是对样品的前处理方式及色谱条件的优化，包括提取溶剂、流动相、检测波长及色谱柱的选择。

3.1 提取溶剂选择

LC 既有疏水基团又有亲水基团，在有机溶剂和水溶液中均有较好的溶解性。参考已有的标准及文献，目前洗护产品中 LC 的提取主要是使用甲醇、乙腈、水、甲醇-水或乙腈-水的直接提取法，此法具有步骤简单，操作便捷的特点。根据对不同比例的乙腈-水作为提取溶剂的研究结果显示，60%乙腈-水溶液与 80%乙腈-水溶液的提取效果较好而且两者之间差异非常小，为减少色谱分析过程中溶剂效应的影响，本研究选择色谱条件中的初始流动相即乙腈-0.1% H₃PO₄ 水溶液（6:4）作为提取溶剂。

3.2 流动相优化及检测波长

LC 的化学结构式见图 1，分子结构中的 C=O 不饱和键含有未共用电子对，能产生 n- π 跃迁，由于跃迁能量较低，紫外吸收一般比较弱。对 LC 的紫外吸收光谱图进行分析，发现当波长低于 240 nm 时才开始有微弱的紫外吸收，吸收强度随着波长的变短而增强，最大吸收波长在 205 nm 处，因此方法选择 205 nm 作为检测波长。LC 含有 1 个羧基，在反相色谱柱上的吸附较强，一般首选酸性缓冲溶液作为流动相，色谱峰的峰形会比较好。但大多数反相有机溶剂和酸性添加剂在 205 nm 波长下也都有较强的吸收，因此必须进行筛选。此外，原料产品的成分通常都比较复杂，可能含有强保留脂肪酸合成的表面活性剂，使用梯度洗脱比等度洗脱更为合适。本文首先实验考察了使用甲醇作为有机相在 205 nm 波长下运行等度洗脱和梯度洗脱对样品分离效果的差异，结果显示梯度洗脱没有等度洗脱时出现的色谱峰拖尾现象，可以得到更加对称的色谱峰，但梯度洗脱出现了严重的基线波动与基线漂移现象，不利于低浓度目标化合物的检测。乙腈也是反相色谱常用的一种有机溶剂，以乙腈为流动相的实验结果显示：在 205 nm 波长下乙腈比甲醇有更低的基线波动，因此选择了乙腈作为有机溶剂。酸性添加剂则选择了 HPLC 常用的 3 种酸性添加剂，包括 1 种无机酸（磷酸）及 2 种有机酸（乙酸和三氟乙酸）进行考察，分别以上述 3 种酸作为添加剂，考察基线波动及基线漂移情况。结果显示在 205 nm 波长下，磷酸比乙酸和三氟乙酸溶液可以得到更稳定的基线，运行梯度洗脱时基线漂移的影响也更小。因此本方法最终选择了以磷酸作为酸性添加剂。

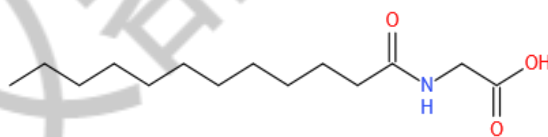


图 1 LC 的化学结构式

Fig.1 Chemical structure information of LC

3.3 色谱柱选择

LC 是一类既有长链脂肪烃，又有羧基的阴离子表面活性剂。长链脂肪烃对色谱柱产生较强的吸附作用，羧基则容易产生次级保留作用，容易导致色谱峰拖尾现象。实验考察了多种不同类型的 C18 色谱柱，发现并非所有的柱子都具有良好的峰形，经过实验对比发现，经过封端处理的 Agilent Eclipse C18 色谱柱峰形理想，因此选择此型号色谱柱来进行方法开发。

3.4 流动相酸度优化

分别添加 0.05%、0.075%、0.10%、0.125 %和 0.15%磷酸到水相中，运行相同的梯度程序，考察酸度变化对 LC 的峰面积和保留时间的影响。随着磷酸的添加量增加，LC 的保留时间基本上不变，峰形有所改善，峰的前延伸现象消失。LC 结构式中有一个羧基，在添加 0.05%磷酸时，由于酸度不够，部分羧基解离，峰面积稍小，而且有峰前伸现象。当磷酸添加量 $\geq 0.075\%$ 后，酸度的增强完全抑制了羧基的解离，峰的对称性良好，且随着酸度的继续增大峰面积基本保持不变。考虑到流动相的酸性太强对色谱柱会有一定损害，而实际样品的酸碱度也会有差异，有可能是弱碱性，流动相须具备一定的缓冲能力，因此选择磷酸的添加浓度为 0.10%。

3.5 液相色谱条件确立

根据实验条件的考察及优化的结果，最终确立的色谱条件为：色谱柱：Agilent Eclipse plus C18 色谱柱（4.6x150 mm，5 μm ）；柱温：35 $^{\circ}\text{C}$ ；进样量：10 μL ；流速：1 mL/min；流动相 A：0.1% H_3PO_4 水溶液；流动相 B：乙腈。检测波长：205 nm。梯度洗脱条件：0~2 min，60% B；2~8 min，60% B~95% B；8~10 min，95% B；10~18 min，60% B。按照此方法进行测试，LC 对照品的色谱图见图 2a，此时色谱峰形尖锐，对称性良好。原料样品的色谱图见图 2b，从图可以看到目标化合物与样品的其他成分均达到理想分离，无杂质干扰，满足分析的要求。

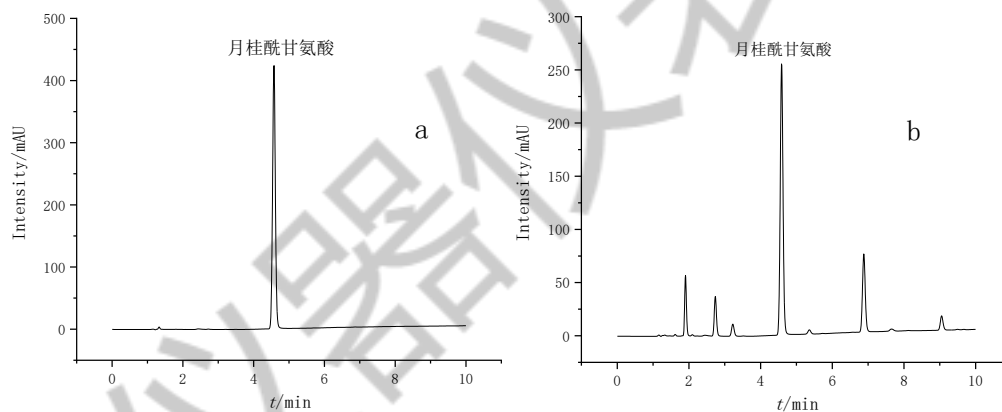


图 2 LC 对照品及原料样品的色谱图 (a.对照品; b.原料样品)

Fig. 2 Chromatograms of standards and sample (a. standards; b. material sample)

4 方法的验证

新方法建立后，项目研制小组编写了实验方案，所有编制单位（编号：Lab 1-Lab 6）使用相同的方法对同一批次的 LC 对照品及三个样品，样品包括 2 个固体样品及 1 个液体样品（编号 A 1-A 3），进行方法学验证。

4.1 方法线性关系

由各编制单位根据实验方案要求配制对照品标准曲线。实验结果见表 1，测试结果显示：标准曲线在 80~800.0 mg/L 的范围内具有良好的线性关系，相关系数 (r) 均超过 0.999。

表 1 标准曲线的相关系数

Table 1 Results of correlation coefficient

实验室	相关系数 (r)
Lab 1	0.99989
Lab 2	0.99982
Lab 3	0.99990
Lab 4	0.99950
Lab 5	0.99990
Lab 6	0.99960

4.1 方法精密度

各编制单位将三个样品分别配制 3 份平行样品进行测试，计算 LC 质量百分含量的平均值、标准偏差、相对标准偏差，结果见表 2。实验室内 3 次平行测试结果相对标准偏差在 0.2%~2.3%之间，都低于 3%，说明新方法的精密度良好。

表 2 精密度结果

Table 2 Precision test results

实验室	实验室内三次平行测试 RSD/%		
	A1	A2	A3
Lab 1	0.6	0.7	2.3
Lab 2	1.0	2.0	0.2
Lab 3	0.6	0.4	1.1
Lab 4	0.7	0.5	0.3
Lab 6	1.4	0.5	0.7

4.2 方法准确度

各参编单位对三个样品分别做低、中、高三个浓度水平的加标回收实验，加标浓度分别为 50、100、200 mg/L，分别加标回收率计算结果见表 3。LC 回收率范围在 96.3%~105.7%之间，平均回收率范围为 $100 \pm 1.2\%$ 。

表 3 回收率结果

Table 3 Test results of recovery rate

实验室	LC 回收率/%		
	A1	A2	A3

Lab 1	100.0	100.7	100.7
Lab 2	96.6	96.4	96.9
Lab 3	100.6	99.4	96.3
Lab 4	101.1	100.8	99.9
Lab 5	105.7	105.3	105.2
Lab 6	102.3	104.6	101.0
回收率平均值/%	101.0	101.2	100.0
实验室间 RSD/%	2.7	3.0	2.9

4.3 样品稳定性

4 家参编单位将三个样品在室温下密封放置 0h、24h、48h 时分别测试 LC 浓度，结果见表 4，浓度的相对标准偏差（RSD）范围为 0.2~1.0%，证明样品在常温下也非常稳定。

表 4 稳定性测试结果

Table 4 Stability test results

实验室	LC 浓度 RSD/%		
	A1	A2	A3
Lab 1	0.4	0.5	0.4
Lab 2	0.7	1.0	0.8
Lab 4	0.2	0.4	0.2
Lab 5	0.2	0.8	1.0

4.4 实际样品测试结果

各参编单位对三个实际样品进行含量测试，测试结果见表 5。实验室间 LC 含量的相对标准偏差在 1.1~2.7%范围内，均低于 3%。各单位的测定结果与平均值的差值不超过平均值的 5%。说明对同一样品，在不同的实验室独立测试结果的再现性也是比较好的。

表 5 实际样品测试结果

Table 5 Test results of actual samples

实验室	LC 质量百分含量 (%)		
	A1	A2	A3
Lab 1	44.5	45.1	16.2
Lab 2	43.9	44.5	16.2
Lab 3	45.6	43.8	16.1
Lab 4	45.7	45.2	16.6
Lab 5	44.2	44.9	16.1
Lab 6	44.8	47.7	16.3
质量百分含量平均值	44.8	45.2	16.3

RSD(%)	1.5	2.7	1.1
--------	-----	-----	-----

5 结束语

在标准研制过程中，项目研制小组通过优化流动相、选择合适的色谱柱和检测波长，解决了弱紫外吸收表面活性剂的检测难题，建立了使用紫外检测器的更易于推广使用的高效液相色谱测试新方法。新方法经过 6 家编制单位的集体验证，证明新方法不仅前处理操作简单，而且精密度、准确性、稳定性良好，为原料产品中 LC 的分析提供了可靠的技术手段。从团体标准研制的全过程体现出来的科学性，尤其是新方法建立和方法验证过程来看，即将发布实施的《化妆品月桂酰甘氨酸及其盐（以酸计）含量测定 高效液相色谱法》是从企业的实际测试需求出发，经过严谨的方法优化和方法验证，形成的一个科学规范、合理可行、针对性强的测试方法。它必将对我国化妆品原料中 LC 的含量测定具有重要的指导意义和实际的应用价值。

参考文献：

- [1] Yea D N, Lee S M, Jo S H, et al. Preparation of Environmentally Friendly Amino Acid-Based Anionic Surfactants and Characterization of Their Interfacial Properties for Detergent Products Formulation[J]. J Surfact Deterg, 2018, 21(4):541-552.
- [2] Chen Z H, Zhang P P, Sun Y M, et al. Interfacial Dilational Rheology of Sodium Lauryl Glycine and Mixtures with Conventional Surfactants [J]. J Surfact Deterg, 2019, 22(6):1477-1485.
- [3] Ananthapadmanabhan, KP. Amino-Acid Surfactants in Personal Cleansing (Review) [J]. Tenside Surfact Det, 2019, 56(5): 378-386.
- [4] Moshikur R M, Ali M K, Wakabayashi R, et al. Ionic liquids with N-methyl-2-pyrrolidonium cation as an enhancer for topical drug delivery: Synthesis, characterization, and skinpenetration evaluation [J]. J Mol Liq, 2020, Volume 320, Part A:114424.
- [5] Borkowski M, Batys P, Demchuk O M, et al. Amino-Acids Surfactants and n-Octanol Mixtures-Sustainable, Efficient, and Dynamically Triggered Foaming Systems [J]. Ind Eng Chem Res, 2023, 62, 34, 13498-13509.
- [6] Tackie-Otoo B N, Mohammed. MAA, Otchere D A, et al. Experimental investigation of the behaviour of a novel amino acid-based surfactant relevant to EOR application [J]. J Mol Liq, 2020, Volume 316, 113848.
- [7] Okasaka M, Kubota K, Yamasaki E, et al. Evaluation of anionic surfactants effects on the skin barrier function based on skin permeability [J]. Pharm Dev Technol, 2019, 24(1):99-104.
- [8] Ding B, Wan L Z, Zhang Y Q. Biosafety Evaluation of Three Sodium Lauryl N-Amino Acids Synthesized from Silk Industrial Waste in Mice [J]. J Surfact Deterg, 2017, 20(5):1173-1187.
- [9] Miller C, Bageri B S, Zeng T Z, et al. Modified Two-Phase Titration Methods to Quantify Surfactant

Concentrations in Chemical-Enhanced Oil Recovery Applications [J]. J Surfact Deterg, 2020, 23(6): 1159-1167.

- [10] Sato R., Yamada R. Masadome T. Development of an Optode Detector for Determination of Anionic Surfactants by Flow Injection Analysis [J]. Anal Sci, 2020, 36, 379–383.
- [11] 董淮晋, 孟甜. 阴离子表面活性剂测定方法综述 [J]. 化工设计通讯, 2019, 45(11):116+123.
- [12] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 表面活性剂和洗涤剂阴离子活性物的测定 直接两相滴定法: GB/T5173-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 表面活性剂和洗涤剂 在碱性条件下可水解的阴离子活性物-可水解和不可水解阴离子活性物的测定: GB/T 20198-2006. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 表面活性剂 洗涤剂 在酸性条件下可水解和不可水解的阴离子活性物的测定: GB/T 28192-2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [15] 国家环境保护局. 水质 阴离子表面活性剂的测定 亚甲基蓝分光光度法: GB/T 7494-1987[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987.
- [16] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 再生水水质 阴离子表面活性剂的测定 亚甲基蓝分光光度法: GB/T 39302-2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [17] 环境保护部. 水质 阴离子表面活性剂的测定 流动注射-亚甲基蓝分光光度法: HJ 826-2017[S]. 北京: 中国环境出版社, 2017.
- [18] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业循环冷却水中阴离子表面活性剂的测定 亚甲基蓝分光光度法: HG/T 2156-2009 [S]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [19] 中华人民共和国工业和信息化部. 表面活性剂 原材料和按配方制造产品中阴离子表面活性剂含量的测定 电位滴定法: QB/T 4970-2016 [S]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010.
- [20] 尹逗逗, 方银军, 刘雪锋. 高效液相色谱法分析N-月桂酰基苏氨酸[J]. 中国洗涤用品工业,2021(04):55-60.
- [21] 李旭, 周蓉. 分光光度法和高效液相色谱法测定啤酒中残留直链烷基苯磺酸钠含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(05):1616-1625.
- [22] 夏鹏超, 王君, 杨小红等. 高效液相色谱法直接测定环境水体中直链烷基苯磺酸钠类阴离子表面活性剂 [J]. 中国环境监测, 2022, 38(04):242-247.
- [23] 刘辉廷, 黄敏茹, 吴春雨等. 高效液相色谱法快速测定污水中的阴离子表面活性剂[J]. 广东化工, 2022, 49(17):173-176.

- [24] 翁慧琳, 陈子昂, 余觉民等. HPLC 法检测月桂酰基谷氨酸钠含量的分析方法研究[J]. 轻工科技, 2016, 32(04):106-107.
- [25] 卓文珊, 冯顺卿, 唐建锋. 高效液相色谱法-蒸发光散射检测器测定表面活性剂中月桂酰基甘氨酸钠含量[J]. 日用化学工业(中英文), 2023, 53(02):220-225.
- [26] 徐艳丽, 石荣莹, 杨艳. 高效液相色谱-电雾式检测器(HPLC-CAD)法测定洗洁精中多种表面活性剂[J]. 环境化学, 2022, 41(11):3828-3830.
- [27] 杨立威, 李晓芳, 史华进等. 超高效液相色谱-电雾式检测器同时分析牙膏中三种表面活性剂[J]. 环境化学, 2022, 41(12):4190-4192.

中国仪器仪表杂志