

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250401005

引用格式: 刘冬豪, 陈桂云, 黎颖欣, 等. 分光光度法检测催干剂中聚乙烯型非离子表面活性剂含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(15): 273-277.

LIU DH, CHEN GY, LI YX, *et al.* Determination of polyethoxylated nonionic surfactants in drier by spectrophotometric method [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(15): 273-277. (in Chinese with English abstract).

分光光度法检测催干剂中聚乙烯型非离子表面活性剂含量

刘冬豪, 陈桂云*, 黎颖欣, 叶春常, 林少扬, 汪宁

(广州市食品检验所, 广州 511400)

摘要: 目的 建立分光光度法快速测定4种聚乙烯型非离子表面活性剂含量的方法。**方法** 聚乙烯型非离子表面活性剂和碘溶液反应生成的络合物, 在特定波长有相应的光吸收。基于吸光度值与聚乙烯型非离子表面活性剂的浓度成正比, 可用于定量测定。通过研究测定波长、反应温度、时间等对结果的影响, 优化各反应条件。**结果** 当测定条件为: 波长525 nm, 反应时间10 min, 反应温度25 °C时, 在0~30 mg/L线性范围内线性关系良好, 相关系数(r^2)为0.9962~0.9988, 检出限为0.0012~0.0022 mg/L。样品相对标准偏差为0.9%~5.1%, 加标回收率为87.2%~91.7%。**结论** 该方法步骤简单, 准确可靠, 可用于催干剂中聚乙烯型非离子表面活性剂含量的快速检测。

关键词: 聚乙烯型; 非离子表面活性剂; 分光光度法

Determination of polyethoxylated nonionic surfactants in drier by spectrophotometric method

LIU Dong-Hao, CHEN Gui-Yun*, LI Ying-Xin, YE Chun-Chang, LIN Shao-Yang, WANG Ning

(Guangzhou Institute of Food Inspection, Guangzhou 511400, China)

ABSTRACT: Objective To establish spectrophotometric method for the rapid determination of the content of 4 kinds of polyethylene nonionic surfactants. **Methods** The complex formed by the reaction between polyethylene-type nonionic surfactant and iodine solution exhibits corresponding light absorption at a specific wavelength. Based on the direct proportionality between the absorbance value and the concentration of the polyethylene-type nonionic surfactant, this relationship can be utilized for quantitative determination. The influences of absorption wavelength, temperature, time and other factors on the determination of nonionic surfactants were studied to achieve the best reaction conditions. **Results** The detection conditions were: Wavelength at 525 nm, 10 min and 25 °C. Good linearity was observed in the range 0-30 mg/L, and the correlation coefficients were ranged from 0.9962 to 0.9988. The limits of detection were ranged from 0.0012 to 0.0022 mg/L.

收稿日期: 2025-04-01

基金项目: 广东省市场监督管理局科技项目(2022CS02)

第一作者: 刘冬豪(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 371538650@qq.com

*通信作者: 陈桂云(1987—), 女, 高级工程师, 主要研究方向为食品营养和安全检测。E-mail: 2426491532@qq.com

The relative standard deviations of samples were ranged from 0.9% to 5.1%, and the spiked recoveries were ranged from 87.2% to 91.7%. **Conclusion** The method is simple, accurate and credible, which is suitable for rapid detection of polyethoxylated nonionic surfactants.

KEY WORDS: polyethoxylated; nonionic surfactants; spectrophotometric method

0 引言

表面活性剂又称界面活性剂, 它的分子两端一边是亲水基团, 一边是疏水基团^[1]。按亲水基团的种类可划分为阴离子表面活性剂、阳离子表面活性剂、两性表面活性剂和非离子表面活性剂 4 类^[2]。非离子表面活性剂本身即是一种两亲结构化合物, 按类别主要分成聚氧乙烯型、多元醇型、嵌段聚醚型和酰胺型等, 在分子结构中通过醚键与羟基结合形成氢键而亲水^[3], 其优点是: 具有优异的润湿和洗涤功能, 去污力强, 还同时具有良好的乳化、渗透性能; 稳定性高, 不受强电解质、强酸、强碱的影响, 对皮肤刺激性较弱^[4]。

我国从 20 世纪 70 年代开始逐渐步入洗碗机清洗时代。近年来, 商用洗碗机的应用越来越广泛, 在大饭店、宾馆、食堂、团餐等场合的使用越来越普及^[5-6]。洗碗机催干剂主要成分之一就是非离子表面活性剂, 其主要功能是

中和清洗液的残留碱, 加速干燥, 减少餐具表面的斑膜和条纹等^[7-8]。在催干过程中, 浓缩的催干剂通过分配器的定量分配与洗碗机加热包中 50~60 °C 的热水混合形成一定浓度的催干剂溶液。稀释后的催干剂通过洗碗机喷淋臂喷洒到洗涤后的餐盘表面^[9]。如果稀释比例不当或者仪器故障, 就容易造成餐具的表面活性剂残留含量较高, 给人体造成安全隐患。目前有关餐饮具的表面活性剂残留的研究主要集中在阴离子表面活性剂残留量^[10-17]。

非离子表面活性剂大多没有紫外吸收、没有荧光性、也不易挥发, 一直是分析领域中最难检测的物质之一^[18]。目前, 非离子表面活性剂的国家推荐标准测定方法主要有 GB/T 5560—2003《非离子表面活性剂 聚乙二醇含量和非离子活性物(加成物)含量的测定 Weilbull 法》、GB/T 13173—2021《表面活性剂 洗涤剂试验方法》等。王开湘^[19]、陆建萍等^[20]通过对 GB/T 13173—2021《表面活性剂 洗涤剂试验方法》树脂处理和离子交换步骤进行简化, 建立了更简便的测试方法; 张英杰等^[21]利用二氯甲烷萃取硫氰酸钴与乙氧基型表面活性剂所形成的蓝色络合物, 再通过分光光度法测定表面活性剂含量; 吴萍萍等^[22]采用电位滴定法检测液体洗涤剂溶液中非离子表面活性剂含量; 此外, 前人研究^[23-27]分别使用高效液相色谱、液相色谱-质谱联用检测方法对非离子表面活性剂进行测定。在这些方法中, 电位滴定法的运用较少; 采用离子交换、萃取等前处理过程的重量法, 步骤复杂, 耗时很长, 不利于实际应用, 且

容易造成数值偏高; 色谱法设备昂贵, 分析表面活性剂混合物, 受色谱柱性能限制, 定性定量困难。

在前人的研究中, 鲜见有以碘为助溶剂检测催干剂中非表面活性剂的方法。研究表明碘在助溶剂的帮助下, 以表面活性剂为载体, 会形成不定型的络合物, 含碘消毒剂聚醇醚碘是以壬基酚聚氧乙烯醚或脂肪醇聚氧乙烯醚作为载体与碘络合而成的碘伏消毒液^[28-29]。本研究利用这一原理, 建立基于分光光度法测量催干剂中聚乙氧基型非离子表面活性剂含量的方法, 对餐具催干剂的质量控制和残留量的监管有实际的指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

催干剂 1~8 为市售。

脂肪醇聚氧乙烯醚(fatty alcohol polyoxyethylene ether, AEO-9)[分析纯, 国药集团化学试剂有限公司(沃凯)]; 壬基酚聚氧乙烯醚(nonylphenol ethoxylate, NP-9)、聚乙二醇单-4-辛基苯基醚(曲拉通 X-100)、聚氧乙烯单叔辛基苯基醚(曲拉通 X-114)(分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司); 碘、碘化钾(分析纯, 广州化学试剂厂)。实验室用水为超纯水。

1.2 仪器与设备

Specord 250 Plus 紫外-可见光分光光度计(德国 Analytik-Jena AG 公司); PURA 14 数控水浴箱[优莱博技术(北京)有限公司]; Milli-Q 去离子水发生器(美国 Millipore 公司); MS304TS/0262 电子天平[精度 0.1 mg, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]。

1.3 实验方法

1.3.1 标准溶液配制

分别称取 4 种非离子洗涤剂 0.5 g, 分别用水定容至 100 mL, 配制为 5 g/L 的标准储备液; 分别吸取储备液 5 mL, 用水定容至 250 mL, 将其配制成 100 mg/L 标准工作溶液, 再配制成 0~30 mg/L 系列曲线。

1.3.2 试剂配制

显色剂: 称取 2 g 碘和 4 g 碘化钾, 加水超声溶解, 定容至 200 mL 后过滤, 避光放置于冰箱冷藏保存。

1.3.3 样品处理和测定

吸取 1 mL 样品, 用水稀释至 200 mL, 吸取稀释后样品 10 mL, 用水稀释至 100 mL 制为样液。吸取样液 10 mL, 与标准曲线同时加入显色剂 0.25 mL, 在一定的时间和温

度内反应后进行测定。

1.4 实验原理

本研究的原理是碘和碘化钾的溶液和聚乙烯型非离子表面活性剂通过氢键和范德华力作用^[30]形成不定型的络合物, 产生肉眼可见的颜色变化, 并在特定波长有相应的光吸收。基于吸光度值与聚乙烯型非离子表面活性剂的浓度成正比, 从而实现非离子表面活性剂的定量分析。

1.5 计算公式

聚乙烯型非离子洗涤剂的含量按公式(1)计算。

$$X = \frac{X_0 \times V \times 100}{m \times 1000 \times 1000} \quad (1)$$

式中: X 为样品中非离子洗涤剂的含量, g/100 mL; X_0 为测定用样液中非离子洗涤剂的质量浓度, mg/L; V 为稀释倍数; m 为取样量, mL; 100, 1000 均为计算换算系数。

1.6 数据处理

使用 Origin Pro 2024 进行分析, 为实验结果进行统计分析。实验样品以重复性条件下获得的 3 次独立测定结果计算平均值和相对标准偏差。

2 结果与分析

2.1 测定条件的优化

2.1.1 吸收波长的确定

以试剂空白为参比, 用分光光度计在 425~700 nm 波长范围内扫描, 4 种非离子表面活性剂与显色剂反应后络合物的吸收波长谱图如图 1 所示。从试验结果看, AEO-9 反应后络合物的吸光值随着吸收波长的增大呈现下降的趋势; NP-9、X-100、X-114 反应后络合物的吸收值在 425~525 nm 基本呈现上升趋势, 525~700 nm 呈现下降趋势; 综合考虑, 选择 525 nm 作为吸收波长。

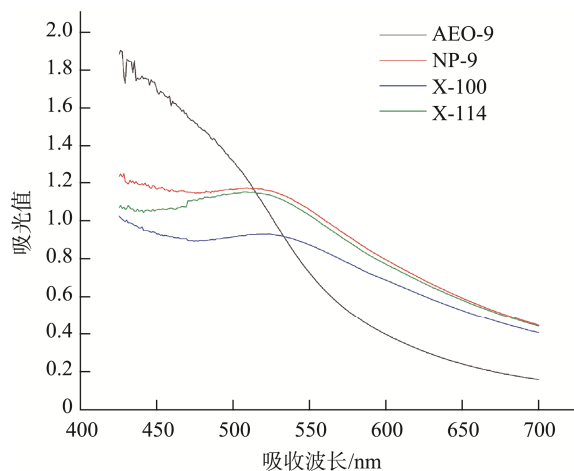


图 1 4 种非离子表面活性剂的吸收波长

Fig.1 Absorption spectrum of 4 kinds of nonionic surfactants

2.1.2 反应时间优化

在室温条件下(约 20 °C), 分别反应 0、10、20、30、40、50、60 min 后测定吸光值。反应时间对络合物吸光值的影响如图 2 所示: AEO-9 反应生成的络合物吸光值, 整体随着反应时间的增加呈现逐步上升的趋势; NP-9 反应生成的络合物在 0、10、20 min 吸光值差异不大, 30 min 后有所上升, 30、40、50 min 吸光值差异不大, 60 min 吸光值下降; 对于 X-100, 反应时间对其反应生成的络合物吸光值影响不大; X-114 反应生成的络合物, 从 0 min 到 10 min, 吸光值上升, 后趋于平衡; 综合考虑 4 种非离子表面活性剂的反应情况以及检验效率, 选择 10 min 为反应时间。

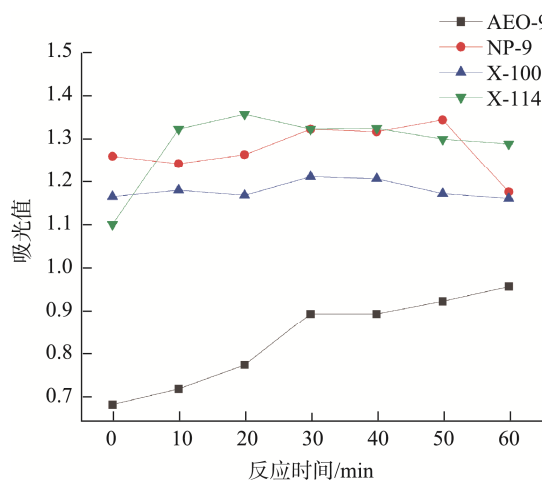


图 2 反应时间对吸光值的影响

Fig.2 Effects of reaction time on absorbance value

2.1.3 反应温度优化

温度会影响碘和非离子洗涤剂反应的效果和形成络合物的稳定性。4 种聚乙烯型非离子洗涤剂分别在以下温度: 20、25、30、35、40 °C 反应 10 min 后测定。不同温度条件对络合物吸光值的影响如图 3 所示: 在 20~40 °C 范围内, 4 种非离子表面活性剂形成的络合物吸光值均是先随

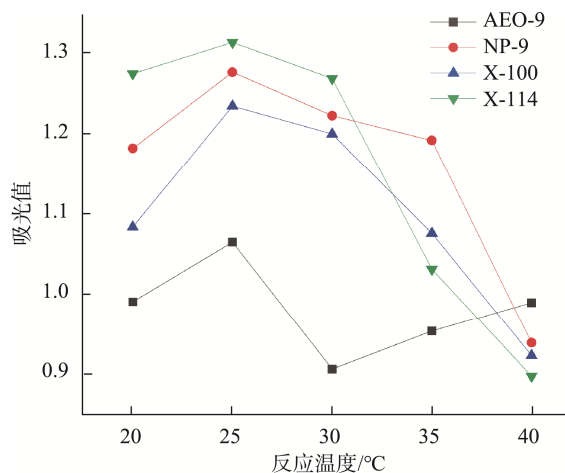


图 3 反应温度对吸光值的影响

Fig.3 Effects of reaction temperature on absorbance value

着温度升高而增大,在 25 °C 条件下达到最大值,随后下降; AEO-9 在 30 °C 后又略有上升。当温度较低时,反应所需的自由能升高,使得反应困难;而温度过高,则有可能影响反应形成的络合物的稳定性。因此反应温度选择 25 °C。

2.1.4 pH 对反应的影响

稀释后的非离子洗涤剂溶液 pH 介于 5~7 之间,将溶液用酸碱调节 pH 后再与显色剂进行反应测定吸光度值。pH 对检测结果的影响如图 4 所示:在弱酸性、中性和弱碱性条件下,pH 对结果的影响不大,但当 pH 超过 10,强碱性会破坏反应形成的络合物,显色后溶液颜色较浅。因此反应过程无需调节 pH。

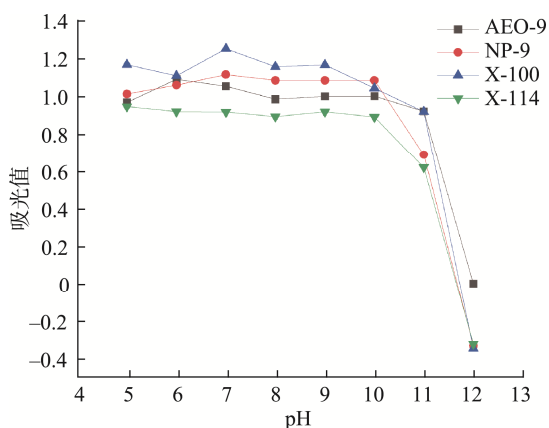


图 4 pH 对吸光值的影响

Fig.4 Effects of pH on absorbance value

2.2 检出限和线性关系

为验证本方法对聚乙烯型非离子表面活性剂的检测能力,分别配制 0、2、5、10、15、20、25、30 mg/L 系列标准溶液。按最佳反应条件进行反应和测定,获得浓度-吸光值线性回归方程及相关系数。参考 GB 5009.295—2023 《食品安全国家标准 化学分析方法验证通则》,采用空白标准偏差法,在空白样品中加入少量标物,独立测定 ≥ 10 次,计算平均值和标准偏差,再通过回归方程的斜率,计算出方法的检出限。

本方法采用外标法定量分析线性范围和检出限,以质量浓度(X_0 , mg/L)为横坐标,吸光值(Y)为纵坐标,绘制标准工作曲线,并采用最小二乘回归法计算获得质量浓度-吸光值回归方程及相关系数(r^2),如表 1 所示。在 0~30 mg/L 范围内,吸光值与质量浓度的关系符合朗伯-比尔定律,相关系数(r^2)均大于 0.99,表明线性回归模型可信,适用于定量分析。连续测定 14 次试剂空白吸光值,求出标准偏差,最终获得本方法的检出限在 0.0012~0.0022 mg/L 之间。

2.3 样品检测

选取市售催干剂产品进行测试,每个样品均做 3 个平行,取平均值,计算相对标准偏差。如表 2 所示,样品相对标准偏差在 0.9%~5.1%之间。随机选取一个样品进行加标回收试验(加标标物为 AEO-9),回收率为 87.2%~91.7%。

表 1 4 种非离子表面活性剂的线性关系、线性范围和检出限
Table 1 Linear relationships, linear ranges and limits of detections of 4 kinds of nonionic surfactants

表面活性剂	线性方程	r^2	线性范围 (mg/L)	检出限 (mg/L)
AEO-9	$Y=0.0429X_0-0.0321$	0.9984	0~30	0.0022
NP-9	$Y=0.0528X_0-0.0361$	0.9988	0~30	0.0012
X-100	$Y=0.0502X_0-0.0426$	0.9964	0~30	0.0020
X-114	$Y=0.0539X_0-0.0659$	0.9962	0~30	0.0018

表 2 8 种催干剂产品的检测结果
Table 2 Detection results of 8 kinds of driers

催干剂	稀释 倍数	平均含量 (g/100 mL) (以 AEO-9 计)	相对 标准偏差/%	加标量/(g/100 mL)及 回收率/%		
				0.5	1.0	2.0
1	2000	4.74	1.4			
2	2000	4.68	1.2			
3	2000	7.73	5.1			
4	2000	2.98	3.0			
5	2000	5.29	0.9	87.2	91.7	89.4
6	2000	4.60	1.2			
7	2000	3.52	1.0			
8	2000	5.85	1.3			

3 结论

本研究建立了分光光度法测定 4 种聚乙烯非离子表面活性剂的方法,可以实现这几种非离子表面活性剂含量的快速测定。本方法检测快速,检出限较低,可考虑运用于快检试剂盒的开发,进一步应用于餐饮具非离子洗涤剂残留量的检测和监管。非离子洗涤剂种类繁多,本研究存在的主要问题是检测对象的局限,本方法只针对可能存在于催干剂中的 4 种聚乙烯型非离子表面活性剂进行研究,而未对其他类型的聚乙烯型非离子表面活性剂进行研究。该方法只适用于水溶性的非离子洗涤剂,丙烯型非离子表面活性剂由于不能很好地溶解于水,所以不适用于此方法。

参考文献

- 温之新. 应用前景广阔的洗碗机[J]. 大众用电, 2016, 31(3): 43.
WEN ZX. The dishwasher with broad application prospects [J]. Popular Utilization of Electricity, 2016, 31(3): 43.
- 冯宁, 徐奥雪, 付雯雯, 等. 表面活性剂: 化学世界古老又年轻的成员[J]. 科学通报, 2023, 68(10): 1147-1155.
FENG N, XU AOX, FU WW, et al. Surfactant: An ancient but young member in chemical world [J]. Chinese Science Bulletin, 2023, 68(10): 1147-1155.
- 刘悦, 李双奇, 刘明辉, 等. 非离子表面活性剂在绿色液体洗涤剂中的应用研究[J]. 辽宁科技学院学报, 2023, 25(4): 42-44, 97.
LIU Y, LI SQ, LIU MH, et al. Research on the application of nonionic surfactants in green liquid detergents [J]. Journal of Liaoning Institute of Science and Technology, 2023, 25(4): 42-44, 97.
- 薛俊海. 洗涤剂主要成分及作用分析[J]. 中国标准化, 2024(21): 244-247.
XUE JH. Analysis of main components and effects of detergents [J]. China Standardization, 2024(21): 244-247.
- 孟玲. 商用洗碗机及其专用清洁剂[J]. 中国洗涤用品工业, 2020(9):

- 150-155.
MENG L. Commercial dishwashers and the used detergents [J]. China Cleaning Industry, 2020(9): 150-155.
- [6] 汪敏燕. 聚焦市场热点 推动消费升级 “家用及商用洗碗机专用洗涤剂技术与市场”特刊[J]. 中国洗涤用品工业, 2020(9): 17.
WANG MY. Place great focus on market spotlights give impetus to consumption upgrade featured edition on household and commercial auto dishwashing detergent science and technology [J]. China Cleaning Industry, 2020(9): 17.
- [7] 吴霞, 柳鹏程. 非离子表面活性剂在餐具催干剂的性能和应用研究[J]. 中国洗涤用品工业, 2020(9): 77-85.
WU X, LIU PC. Property and performance study of nonionic surfactants for dish rinse aids [J]. China Cleaning Industry, 2020(9): 77-85.
- [8] 汤佳庆. 餐具催干剂中柠檬酸的应用对铜的腐蚀性研究[J]. 中国洗涤用品工业, 2014(9): 16-20.
TANG JQ. Research on the corrosion of copper by citric acid in tableware drying accelerators [J]. China Cleaning Industry, 2014(9): 16-20.
- [9] 郑雨晴, 张丽阳, 盛钰莹, 等. 商用洗碗机及专用清洁催干组合产品[J]. 中国洗涤用品工业, 2024(7): 16-24.
ZHENG YQ, ZHANG LY, SHENG YY, *et al.* Commercial dishwasher and liquid warewashing machine detergent [J]. China Cleaning Industry, 2024(7): 16-24.
- [10] 董安辉, 邹建, 王俊丽, 等. 河南省消毒餐饮具中洗涤剂和 大肠菌群安全现状及对策建议[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(2): 657-662.
DONG ANH, ZOU J, WANG JL, *et al.* Safety status and countermeasures of detergent and coliforms in disinfected tableware in Henan Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(2): 657-662.
- [11] 马鹏, 赵艳敏, 姜月阳. 餐具洗涤剂残留物的危害及其常用的分析方法[J]. 山东化工, 2019, 48(9): 135-139.
MANG P, ZHAO YM, LOU YY. The harm and the analytical methods of trace heavy metal in the dishwashing detergent [J]. Shandong Chemical Industry, 2019, 48(9): 135-139.
- [12] 赵宏, 苏效东, 杨立嵘. 幼儿园餐具洗涤剂残留状况调查[J]. 环境与健康杂志, 2008(5): 450.
ZHAO H, SU XD, YANG LR. Investigation dishwashing residue of dishes in kindergartens [J]. Journal of Environment and Health, 2008(5): 450.
- [13] 陈文静. 医院洗碗机餐具洗涤剂残留的影响因素及干预措施[J]. 中国食品工业, 2023(24): 59-61.
CHEN WJ. Influencing factors and intervention measures of dishwashing residue of dishwashers in hospitals [J]. China Food Industry, 2023(24): 59-61.
- [14] 张秀全. 餐饮具中阴离子合成洗涤剂超标原因探讨及检测方法的改进[J]. 中国标准化, 2025(6): 194-198.
ZHANG XQ. Discussion on the causes of excessive anionic synthetic detergent in tableware and improvement of detection methods [J]. China Standardization, 2025(6): 194-198.
- [15] 郑凯, 陈莹, 吴瑜凡. 餐(饮)具中阴离子合成洗涤剂残留量影响因素分析[J]. 质量与安全检验检测, 2024, 34(4): 69-74.
ZHENG K, CHEN Y, WU YF. Analysis of influencing factors of anionic synthetic detergent residue in catering utensils [J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2024, 34(4): 69-74.
- [16] 卢桃, 王仕平, 温艳梅, 等. 高通量法测定消毒餐(饮)具中阴离子合成洗涤剂残留量的方法研究[J]. 轻工科技, 2024, 40(3): 175-178.
LU T, WANG SP, WENG YM, *et al.* Study on the determination of anionic synthetic detergent residue in disinfected dishes and drinks by high flux method [J]. Light Industry Science and Technology, 2024, 40(3): 175-178.
- [17] 徐水莲, 田翠. 复用餐(饮)具阴离子合成洗涤剂测定的影响因素及建议[J]. 中国食品工业, 2024(15): 107-109.
XU SL, TIAN C. Influencing factors and suggestions for the determination of anion synthetic detergent for dining & relevant utensils [J]. China Food Industry, 2024(15): 107-109.
- [18] 陈雪艳, 宋碧涛, 张瑶瑶, 等. 非离子表面活性剂测定方法的研究进展[J]. 理化检验(化学分册), 2014, 50(7): 916-922.
CHEN XY, SONG BT, ZHANG YY, *et al.* Recent advances of researches on determination of nonionic surfactants [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2014, 50(7): 916-922.
- [19] 王开湘. 离子交换树脂在测定洗涤剂中非离子表面活性剂中的应用[J]. 中国洗涤用品工业, 2007(5): 80-81.
WANG KX. Application of ion exchange resin in determination of nonionic surfactants in detergents [J]. China Cleaning Industry, 2024(15): 107-109.
- [20] 陆建萍, 张丽阳. 洗涤剂中非离子含量的快速测定方法[J]. 杭州化工, 2014, 44(4): 31-33, 36.
LU JP, ZHANG LY. Rapid method for determination of nonionic content in detergents [J]. Hangzhou Chemical Industry, 2014, 44(4): 31-33, 36.
- [21] 张英杰, 马典云, 李卫华. 水中非离子表面活性剂测定的方法确认总结[J]. 山东工业技术, 2016(16): 4-5.
ZHANG YJ, MA DY, LI WH. Summary of method validation for the determination of nonionic surfactants in water [J]. Journal of Shandong Industrial Technology, 2016(16): 4-5.
- [22] 吴萍萍, 鹿桂乾, 王红伟. 液体洗涤剂中非离子表面活性剂的电位滴定测定[J]. 中国洗涤用品工业, 2010(6): 79-81.
WU PP, LU GQ, WANG HW. Determination of nonionic surfactants in liquid detergents by potentiometric titration [J]. China Cleaning Industry, 2010(6): 79-81.
- [23] 温静, 肖传敏, 张艳娟. 三次采油用月桂醇聚氧乙烯醚非离子表面活性剂的高效液相色谱分析检测方法[J]. 油田化学, 2024, 41(3): 537-542.
WEN J, XIAO CM, ZHANG YJ. Analytical method of nonionic surfactant of laurel alcohol polyoxyethylene ether used for tertiary oil recovery by high performance liquid chromatography [J]. Oilfield Chemistry, 2024, 41(3): 537-542.
- [24] 成晓静, 姚晨之, 严方. 高效液相色谱法测定聚乙氧基非离子表面活性剂中聚乙二醇[J]. 理化检验(化学分册), 2011, 47(10): 1189-1191.
CHENG XJ, YAO CZ, YAN F. HPLC determination of polyethylene glycol in polyethoxylation nonionic surfactants [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2011, 47(10): 1189-1191.
- [25] 李安, 蔡青松, 刘霞, 等. 高效液相色谱法测定油田水中的非离子表面活性剂[J]. 分析测试技术与仪器, 2001(1): 20-23.
LI AN, CAI QS, LIU X, *et al.* Determination of non-ionic surfactants in oil field water by high performance liquid chromatography [J]. Analysis and Testing Technology and Instruments, 2001(1): 20-23.
- [26] 杨成对, 宋莉晖, 张焱. 表面活性剂的电喷雾质谱分析[J]. 分析测试学报, 2008(10): 1118-1120.
YANG CD, SONG LH, ZHANG Y. Analysis of surfactants by electrospray ionization mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2008(10): 1118-1120.
- [27] 宋丽凤, 尹永波, 郭林, 等. 聚醚类非离子表面活性剂的高分辨质谱检测与解析[J]. 染料与染色, 2019, 56(2): 49-53.
SONG LF, YIN YB, GUO L, *et al.* Detection and analysis of polyether nonionic surfactant by high resolution mass spectrometry [J]. Dyestuffs and Coloration, 2019, 56(2): 49-53.
- [28] 罗嵩, 邱天, 张森, 等. 我国碘类消毒剂产品现状调查[J]. 中国消毒学杂志, 2018, 35(8): 573-575.
LUO S, QIU T, ZHANG M, *et al.* Investigation on the usage of iodine disinfectants on market in China [J]. Chinese Journal of Disinfection, 2018, 35(8): 573-575.
- [29] 陈晓艳, 梁涛, 温开兰, 等. 含碘消毒剂消毒效力影响因素的研究进展[J]. 医学综述, 2015, 21(6): 1061-1063.
CHEN XY, LIANG T, WEN KL, *et al.* Research progress in influencing factors of effect of iodine disinfectants [J]. Medical Recapitulate, 2015, 21(6): 1061-1063.
- [30] 张宝华, 刘胜宝, 史兰香. 具有抗菌作用的碘络合物研究进展[J]. 石家庄学院学报, 2015, 17(6): 30-32.
ZHANG BH, LIU SB, SHI LX. Progress on antimicrobial effect of iodine complex [J]. Journal of Shijiazhuang University, 2015, 17(6): 30-32.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)