

分析测试

污水中十二烷基磺酸钠快速检测试纸的研制

赵文青¹, 解清杰^{1*}, 董进波², 王超¹, 林华星¹

(1. 江苏大学环境与安全工程学院, 江苏 镇江 212013;

2. 江苏满江春城市规划设计研究有限责任公司, 江苏 镇江 212008)

摘要:基于结晶紫与十二烷基磺酸钠在 pH 为 7.00 的缓冲溶液下发生反应, 建立了一种十二烷基磺酸钠的快速检测试纸来判断污水中是否含有阴离子表面活性剂。结果发现, 当浸渍 1 mg/L 结晶紫溶液的试纸和 pH 为 7.00 的缓冲溶液混合时 (结晶紫溶液与缓冲溶液体积比是 3:1) 显色更明显; 十二烷基磺酸钠浓度与显色深浅呈正比。该十二烷基磺酸钠检测试纸的检测最低值为 0.05 mg/L, 最高值为 2 mg/L。配制样品测定结果的相对误差范围为 1.167%~4.233%, 表明该方法具有良好的准确性。

关键词: 十二烷基磺酸钠; 结晶紫; 标准比色卡; 试纸检测; 试纸浸渍液

中图分类号: X83

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2024)04-0228-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.04.043

Establishment of rapid test paper for detection of sodium dodecyl sulfonate in sewage

ZHAO Wen-qing¹, XIE Qing-jie^{1*}, DONG Jin-bo², WANG Chao¹, LIN Hua-xing¹

(1. School of the Environment and Safety Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. Jiangsu Manjiangchun Urban Planning and Design Research Company Limited, Zhenjiang 212008, China)

Abstract: Based on the reaction between crystal violet and sodium dodecyl sulfonate in a buffer solution with a pH of 7.00, a rapid test paper for sodium dodecyl sulfonate is developed to determine whether wastewater contains anionic surfactants or not. The results show that the color will be more pronounced when the test paper dipped with 1 mg·L⁻¹ crystal violet solution is mixed with the buffer solution with a pH of 7.00, under a volume ratio of 3:1. The concentration of sodium dodecyl sulfonate is proportional to the color rendering depth, and the color of the solution changes from colorless to light rose red to rose red to purple red. The lowest and highest detection values of the sodium dodecyl sulfonate test paper are 0.05 mg·L⁻¹ and 2 mg·L⁻¹, respectively. The relative error ranges from 1.167% to 4.233% for detection results of prepared samples, showing a good accuracy.

Key words: sodium dodecyl sulfonate; crystal violet; standard colorimetric card; detection by test paper; dipping solution for test paper

目前, 小区普遍有生活污水进入雨水管网的现象。生活污水随雨水管网进入江河湖泊, 使自然水体中产生大量泡沫, 从而对人类及生态系统造成潜在危害^[1]。

生活污水的主要组成是洗涤污水。日化用品洗涤剂、化妆品以及口腔护理产品的主要活性组分是阴离子表面活性剂。研究发现阴离子表面活性剂对水环境、水生生物以及人体均有不同程度的危害。在我国生活饮用水卫生标准的水质常规指标中, 规定了阴离子表面活性剂的限值不得超过 0.3 mg/L^[2]。因此可以通过检测水样中阴离子型表面活性剂的浓度来判断生活污水是否进入雨水管网^[3-4]。使用最广泛的阴离子表面活性剂是直链烷基苯磺酸钠、烷

基磺酸钠等。最近几年的研究方向是结合荧光进行荧光光谱检测进而分析水中的某些成分^[5-8]。也有通过共振瑞利散射来检测阴离子表面活性剂的方法^[9-13]。国内^[14]常用检测直链烷基苯磺酸钠的方法是亚甲蓝分光光度法。阳离子染料亚甲蓝可以与阴离子表面活性剂反应形成亚甲基活性物质, 但是需要经过三氯甲烷萃取, 并在 652 nm 波长下测量吸光度。该方法缺点是操作步骤烦琐耗时长, 并且产生的废液多, 干扰因素多。三氯甲烷会带来次生环境污染问题^[15]。还有一种检测方法是使用流动注射-亚甲蓝分光光度法, 该方法的仪器设备昂贵, 对试剂处理要求高。近年来, 高效液相色谱仪也用来检测阴离子表面活性剂。这种方法不仅设备昂

收稿日期: 2023-07-21; 修回日期: 2024-02-03

基金项目: 镇江市科技计划项目(社会发展)(SH2021012)

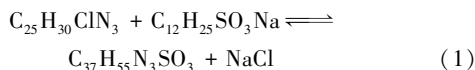
作者简介: 赵文青(1998-), 女, 硕士生; 解清杰(1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向为工业废水高级氧化处理技术, 通讯联系人, xieqingjie73@163.com。

贵,而且采用大面积进样,复杂的污水成分将会降低分离效果^[16]。除此之外,某些光学传感器能检测阴离子表面活性剂,但是不包括十二烷基磺酸钠^[17]。国内外通常用试纸进行快速检测某种物质。纸基的材质一般是滤纸,滤纸价格适宜,材料易得。

本研究基于十二烷基磺酸钠与结晶紫反应形成紫色离子缔合物。研究试纸条在不同显色剂浓度和不同试纸浸渍液体积比条件下十二烷基磺酸钠的显色情况,得到标准比色卡和快速检测试纸。并与国标法等其他方法对比验证检测结果的准确性。本实验研制的试纸可以快速检测水体中的十二烷基磺酸钠含量。制备出保存时间长、携带方便、检测范围广和灵敏度高的试纸,适用于各种水体中十二烷基磺酸钠的快速检测。

1 实验原理

结晶紫与十二烷基磺酸钠的缔合反应如下:



2 实验部分

2.1 材料与试剂

十二烷基磺酸钠:产自合肥巴斯夫生物科技,分析纯(AR),纯度为99%;结晶紫:产自国药试剂,分析纯(AR);磷酸氢二钠:产自国药试剂,分析纯(AR);磷酸二氢钾:产自国药试剂,分析纯(AR)。色谱层析滤纸:产自Whatman品牌,由棉纤维制成的纯纤维素材料。

十二烷基磺酸钠标准储备液:制备浓度为500 mg/L的溶液。十二烷基磺酸钠标准使用溶液1:制备浓度为20 mg/L的溶液。十二烷基磺酸钠标准使用溶液2:制备浓度为1 mg/L的溶液。十二烷基磺酸钠标准溶液:将十二烷基磺酸钠标准储备液用去离子水稀释,共计*n*个浓度梯度的氨氮溶液,即用即配。

显色剂溶液:称取2 mg结晶紫溶液溶于去离子水中,定容在1 000 mL容量瓶中,浓度为2.0 mg/L。浓度为2.0 mg/L的结晶紫溶液为显色剂I。将其分别稀释为浓度为1.0、0.5 mg/L的结晶紫溶液,作为显色剂II、III。

pH为7.00的缓冲溶液:取磷酸氢二钠10.9 g,磷酸二氢钠2.3 g,加水700 mL使溶解,调pH至7.0,再加水稀释至1 000 mL。

试纸浸渍液:将显色剂溶液和pH为7.00的缓

冲溶液分别按9:1、6:1、3:1、1:1的体积比进行混合得到。

实验所用仪器为:可见光分光光度仪HQ DR3900;pHS-2型酸度计(上海雷磁仪器厂)。

2.2 实验方法

2.2.1 试纸制备

(1) 基本实验方法

将定量中速滤纸剪裁成1 cm×9 cm规格的测试滤纸,每隔1 cm画一条标记线。所使用的滤纸由纯纤维素材料制成,因此具有高载量。厚度为340 μm,吸水量是185 mg/cm²,毛细速度是130 mm/30 min。将规范大小的滤纸分别浸入试纸浸渍液中并恒温振荡30 min。室温条件下静置60 min,取出滤纸。在通风橱悬挂晾干,低温避光保存。

(2) 试纸制备及显色条件的选择

在实验过程中,调节显色剂溶液和pH缓冲溶液的比例及体积。根据显色反应的速度、颜色变化等指标来确定最佳的试纸制备条件及显色条件^[18]。将试纸滴加缓冲溶液和显色剂后烘干备用。

2.2.2 标准比色卡的制备

设置十二烷基磺酸钠标准梯度溶液1:用十二烷基磺酸钠标准储备液配制浓度分别为0、2、5、10、20、30、50 mg/L的十二烷基磺酸钠溶液。

设置十二烷基磺酸钠标准梯度溶液2:用1 mg/L的十二烷基磺酸钠溶液配制浓度分别为0、0.03、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50、0.55、0.60、0.65、0.70、0.75、0.80、0.85、0.90、0.95、1.00 mg/L的十二烷基磺酸钠溶液。

将上述梯度溶液摇匀,用移液枪定量分别吸取,由下到上分别滴在检测试纸条上。在室温条件下反应5 min,使用数码相机拍照。将照片进行清晰化处理,根据色阶曲线和颜色变化制成标准比色卡。

2.2.3 水样中十二烷基磺酸钠的检测方法

在5 mL样品管中放入1 mL待测水样,定容混合均匀后加入一片检测试纸。室温条件下反应一段时间,将溶液所显示的颜色与标准比色卡比较,即可判断出被测样品中十二烷基磺酸钠的浓度。

2.2.4 试纸的评价

将十二烷基磺酸钠标准溶液配置成一系列不同浓度的水样,并采集污水管道中的水样用十二烷基磺酸钠快速检测试纸进行检测。即运用试纸法与分光光度法等其他检测途径反复地检测同一样品,对试纸检测法进行评价^[19]。流动注射-亚甲基蓝分光

光度法测定样品方法参照 HJ 826—2017^[20],图 1 是流动注射-亚甲基蓝分光光度法的标准曲线。亚甲基蓝分光光度法测定样品参照 GB 7494—1987^[13],图 2 是亚甲基蓝分光光度法的标准曲线。

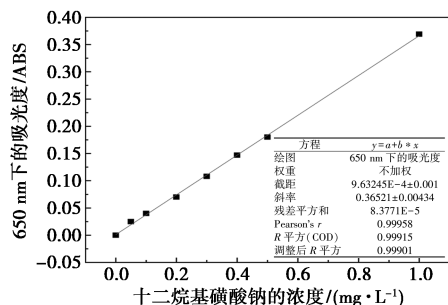


图 1 流动注射-亚甲基蓝分光光度法的标准曲线

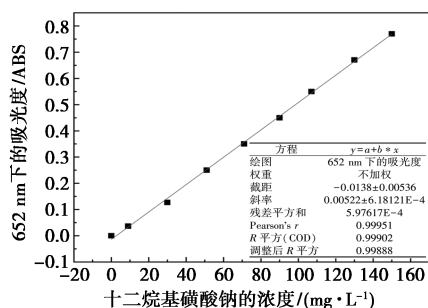


图 2 亚甲基蓝分光光度法的标准曲线

3 结果与分析

3.1 试纸制备条件的选择

3.1.1 显色剂 I、II、III 对显色的影响

结果如表 1 所示。取显色剂 I、II、III 和 pH 为 7.00 的缓冲溶液按 3:1 的体积比进行混合得到 3 种试纸浸渍液,制备十二烷基磺酸钠检测试纸。将 0、1、2、3、4、5 mg/L 的十二烷基磺酸钠溶液滴在试纸上,通过观察颜色变化来确定最佳的显色剂类型。由表 1 可以看出,显色剂 I 中结晶紫的浓度太大导致整个试纸颜色呈现紫色,覆盖了反应所生成的缔合物的颜色。显色剂 III 中结晶紫的浓度太小导致反应不完全,所以颜色基本呈现无色的状态。在显色剂 II 的条件下试纸的颜色变化较为明显。因此,结晶紫的浓度较为合适,为 1 mg/L。

表 1 显色剂对显色效果的影响

十二烷基磺酸钠/(mg·L ⁻¹)	显色剂 I	显色剂 II	显色剂 III
0	无色	无色	无色
1	深紫色	浅玫瑰红色	无色
2	浅紫色	玫瑰红色	浅红色
3	浅紫色	紫红色	无色
4	紫色	浅紫色	无色
5	紫色	浅紫色	无色

3.1.2 显色剂与缓冲溶液的比例对显色的影响

按 9:1、6:1、3:1、1:1 的体积比将显色剂 II 与 pH 为 7.00 的缓冲溶液进行混合得到 4 种试纸浸渍液。将十二烷基磺酸钠检测试纸放入盛有试纸浸渍液的容器中,浸泡一段时间。结果表明,浓度为 0、1、2、3、4、5 mg/L 的十二烷基磺酸钠标准溶液与试纸反应,通过观察试纸的显色效果和颜色变化来确定最佳显色剂体积比。由表 2 可以看出, $V_{\text{显色剂 II}}:V_{\text{pH 为 7.00}}$ = 9:1,结晶紫的含量太大导致整个试纸颜色呈现紫色,覆盖了反应所生成的缔合物的颜色。 $V_{\text{显色剂 II}}:V_{\text{pH 为 7.00 的缓冲溶液}}$ = 1:1,结晶紫的含量太小导致反应不完全,所以颜色基本呈现无色的状态。 $V_{\text{显色剂 II}}:V_{\text{pH 为 7.00 的缓冲溶液}}$ = 6:1,颜色没有明显界限。因此,当 $V_{\text{显色剂 II}}:V_{\text{pH 为 7.00 的缓冲溶液}}$ = 3:1 时,试纸的颜色变化较为显著,故此试纸浸渍液的比例较为合适。

表 2 显色剂与缓冲溶液的体积比对显色的影响

十二烷基磺酸钠/ (mg·L ⁻¹)	$V_{\text{显色剂 II}}:V_{\text{pH 为 7.00 的缓冲溶液}}$			
	9:1	6:1	3:1	1:1
0	浅紫色	浅紫色	无色	无色
1	紫色	浅紫色	浅玫瑰红色	无色
2	紫色	浅紫色	玫瑰红色	无色
3	紫色	浅玫瑰红色	紫红色	无色
4	紫色	浅玫瑰红色	浅紫色	无色
5	紫色	无色	浅紫色	无色

3.1.3 不同浓度的十二烷基磺酸钠的显色结果

当 $V_{\text{显色剂 II}}:V_{\text{pH 为 7.00 的缓冲溶液}}$ = 3:1 时,不同浓度的十二烷基磺酸钠的试纸条显色情况如表 3 所示。将上述设置的十二烷基磺酸钠标准梯度溶液 2 进行检测。结晶紫与十二烷基磺酸钠在 pH 为 7.00 的缓冲溶液下发生反应生成紫色配合物,在波长 580 nm 下进行吸光度检测,检测结果如表 3 所示。由表 3 可以看出,用 $V_{\text{显色剂 II}}:V_{\text{pH 为 7.00 的缓冲溶液}}$ = 3:1,试纸与不同浓度的十二烷基磺酸钠得到了不同颜色。当十二烷基磺酸钠的浓度 ≤ 0.05 mg/L 时,呈现无色;当 0.05 mg/L < 十二烷基磺酸钠的浓度 ≤ 1 mg/L 时,呈现浅玫瑰红色;当 1 mg/L < 十二烷基磺酸钠的浓度 ≤ 2 mg/L 时,呈现玫瑰红色;当 2 mg/L < 十二烷基磺酸钠的浓度 ≤ 3 mg/L 时,呈现紫红色;当 3 mg/L < 十二烷基磺酸钠的浓度 ≤ 20 mg/L 时,呈现试纸被浸渍液浸染的颜色。将十二烷基磺酸钠梯度溶液加入 3 mL 1.0 mg/L 的结晶紫溶液,加入 1 mL pH = 7.00 的缓冲溶液,在室温下放置 20 min,在 580 nm 波长下测其吸光度,并建立十二烷基磺酸钠浓度与吸光度的线性关系。

表3 十二烷基磺酸钠的浓度对显色结果的影响

十二烷基磺酸钠的浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$V_{\text{显色剂II}}:$ $V_{\text{pH为7.00的缓冲溶液}}=3:1$	580 nm 下的 吸光度/ABS
0	无色	0.025
0.05	无色	0.028
0.1	浅玫瑰红色	0.028
0.2	浅玫瑰红色	0.030
0.4	浅玫瑰红色	0.033
0.5	浅玫瑰红色	0.035
1	浅玫瑰红色	0.036
1.5	玫瑰红色	0.038
2	玫瑰红色	0.040
2.5	紫红色	0.039
3	紫红色	0.033
3.5	浅紫色	0.041
4	浅紫色	0.043
4.5	浅紫色	0.039
5	浅紫色	0.046
10	浅紫色	0.058
15	浅紫色	0.067
20	浅紫色	0.080

在 580 nm 的波长下,通过分光光度计测量一系列的十二烷基磺酸钠的浓度,得到表 3 中的吸光度值。将十二烷基磺酸钠的浓度与吸光度进行线性拟合。由图 3 可知, R^2 为 0.834 01,数值的可信度很大。

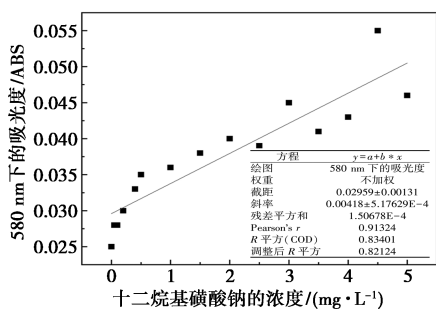


图3 结晶紫-分光光度法的测定结果

3.2 试纸使用条件的选择

分别建立-10、20、37、50℃的环境,将同一浓度梯度的十二烷基磺酸钠标准溶液与试纸进行反应,观察不同温度下试纸之间的显色情况差异。经过清晰化处理,各个试纸的显色结果无明显差异,表明所制备的十二烷基磺酸钠检测试纸适用于不同温度和不同区域的现场检测。经试验得知,十二烷基磺酸钠检测试纸可以置于常温下密封保存。配制一系列十二烷基磺酸钠标准溶液,固定时间进行一次检测,并与标准比色卡进行颜色对比。结果表明,十二烷基磺酸钠检测试纸常温下至少可以保存3个月。

3.3 标准比色卡的制备

将试纸分别与一系列浓度为 0、0.03、0.05、

0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50、0.55、0.60、0.65、0.70、0.75、0.80、0.85、0.90、0.95、1、2、5、10、20、30、50 mg/L 的十二烷基磺酸钠溶液反应。根据颜色和照片的色阶变化制作标准比色卡。用数码相机将反应过后的试纸条记录下来,通过将照片清晰化可以得到试纸条显色结果。当十二烷基磺酸钠达到一定的浓度,试纸条会显出明显的颜色变化。

3.4 3种方法的检测结果对比

配置一系列的十二烷基磺酸钠水样,并采集室内洗衣污水(7号水样)和空白样(1号水样)。利用十二烷基磺酸钠快速检测试纸对其进行检测,与标准比色卡进行颜色对比,得到十二烷基磺酸钠的浓度,并与国标法等所测定的浓度结果进行比较,结果如表4所示。从表4可以看出,3种十二烷基磺酸钠的检测方法所测出的十二烷基磺酸钠浓度相差不大。经过多次重复性实验,数据较理想。

表4 3种方法的对比验证结果

十二烷基磺酸钠配置浓度	本研究方法 检测结果	流动注射-亚甲基蓝 分光光度法检测结果	亚甲基蓝分光光度法检测结果
0	0	0	0
1	2	0.8	0.5
5	5	4.2	4.0
10	8	8.9	9.0
15	13	15.2	17.2
20	17	19.1	18.9
5	4	4.2	4.8

选取浓度为 0.20、0.50、1.00 mg/L 的配置样品在同一条件下分别进行 6 次测定,计算相对标准偏差(RSD)。结果如表5所示。由于本研究方法是粗略得到样品的浓度,所以精密度略低于另外2种分光光度法。这需要在以后研究中继续突破。除此之外,配制样品测定结果的相对误差的范围为 1.167%~4.233%,表明该方法具有良好的准确性。

3.5 对直链烷基苯磺酸钠的试纸测试结果

直链烷基苯磺酸钠也是常用阴离子表面活性剂的一种。配制不同浓度的直链烷基苯磺酸钠溶液验证上述反应条件是否适合。结果表明,不同浓度的显色剂溶液对显色结果有很大的影响。当显色剂浓度是 1.0 mg/L 时,显色效果更好。不同体积比的试纸浸渍液对显色结果有很大的影响。当 $V_{\text{显色剂II}}:V_{\text{pH为7.00的缓冲溶液}}=3:1$ 时,显色效果更好。实验结果还表明,用试纸测试 0.4 mg/L 的十二烷基磺酸钠和 0.4 mg/L 的直链烷基苯磺酸钠。两者均变红色,无任何差异。

表 5 样品精密度与准确度测定结果

检测方法	样品浓度/ (mg·L ⁻¹)	测定结果						实测均值/ (mg·L ⁻¹)	RSD/ %	相对误差/ %
		1	2	3	4	5	6			
本研究的方法	0.20	0.200	0.200	0.250	0.200	0.200	0.200	0.208	9.798	4.167
	0.50	0.500	0.450	0.500	0.450	0.500	0.550	0.492	7.655	1.667
	1.00	1.000	1.000	1.000	0.900	1.100	1.100	1.017	7.404	1.667
流动注射-亚甲基蓝分光光度法	0.20	0.202	0.198	0.197	0.204	0.210	0.217	0.205	3.730	2.333
	0.50	0.520	0.509	0.518	0.517	0.511	0.515	0.515	0.824	3.000
	1.00	1.020	1.090	0.990	0.989	1.000	1.004	1.016	3.762	1.550
亚甲基蓝分光光度法	0.20	0.217	0.198	0.200	0.210	0.190	0.199	0.202	4.747	1.167
	0.50	0.525	0.499	0.512	0.530	0.527	0.534	0.521	2.526	4.233
	1.00	1.020	1.101	0.998	1.000	0.995	0.998	1.019	4.058	1.867

4 结论

(1) 本研究基于结晶紫与十二烷基磺酸钠的有色反应研制了十二烷基磺酸钠检测试纸。显色剂的最佳浓度是 1 mg/L。试纸浸渍液中显色剂和 pH 为 7.00 的缓冲溶液的最佳体积比是 3:1。显色时间为 5 min。十二烷基磺酸钠浓度与显色深浅呈正比,溶液颜色从无色-浅玫瑰红色-玫瑰红色-紫红色变化。

(2) 该十二烷基磺酸钠检测试纸的检测最低值为 0.05 mg/L,最高值为 2 mg/L。配制样品测定结果的相对误差范围为 1.167%~4.233%,表明该方法具有良好的准确性。

(3) 试纸制作材料简单易得、检测快速、携带方便且无污染。

参考文献

- [1] 闫明亮,林孔亮,周日安,等.连续流动注射法测定地表水中阴离子表面活性剂方法改进[J].化工安全与环境,2022,35(39):16-19.
- [2] 黎少映,冯耀基,吴雪梅,等.生活饮用水中阴离子表面活性剂两种不同检测方法的比较[J].微量元素与健康研究,2022,39(6):63-64.
- [3] 梁鹏,夏文秀,黎宁,等.水质样品中阴离子表面活性剂的测定方法研究[J].当代化工,2022,51(5):1253-1256.
- [4] 张威,杨胜科.废水中阴离子表面活性剂十二烷基磺酸钠的测定[J].地球科学与环境学报,2004,(2):92-94.
- [5] 刘奇,王晨,崔凤灵.在阴离子表面活性剂中对甲苯胺对尼罗红的荧光开关效应[J].分析实验室,2020,39(7):787-790.
- [6] Du H Y, Xu W D, Zhou W, *et al.* Effect of anionic surfactants with different structure on the fluorescent properties of the CPPO-H₂O₂-rhodamine B system[J]. Materials Science Forum, 2010, 663/664/665: 207-210.
- [7] Ran Q, Kang J, Feng C, *et al.* Application of fluorescence detection technology in water quality detection [J]. Applied Chemical Industry, 2020, 49(7): 1780-1785.
- [8] Iswanto P, Delsy E V Y. Molecular modelling as a downstream effort in the discovery of novel anionic sulphate surfactants[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 959(1): 012002.
- [9] Wang Sainan, Li Ying, Zhang Chunming. Preparation and fluorescence temperature sensitivity of nanocomposites CNTs@Y₂O₃:Eu³⁺[J]. Journal of Functional Materials, 2020, 51(6): 6195-6199.
- [10] Tian Meiling, Lei Lingli, Xie Wenyue, *et al.* Copper deposition-induced efficient signal amplification for ultrasensitive lateral flow immunoassay[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2019, 282: 96-103.
- [11] Cai Hongyan, Zhang Yi, Liu Ziyu, *et al.* Molecular dynamics simulation of binary betaine and anionic surfactant mixtures at decane-water interface[J]. Journal of Molecular Liquids, 2018, 266: 82-89.
- [12] Chen S, Liu S P, Luo H Q. Resonance Rayleigh scattering spectra of ethyl violet anionic surfactant systems and their analytical application[J]. CHINESE Journal of Analytical Chemistry, 2004, 32(1): 19-24.
- [13] Zhao Y Y, Li X. Colorimetric and fluorometric detection of anionic surfactants with water soluble sensors[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2015, 209: 258-264.
- [14] 国家环境保护局规划标准处. GB/T 7494—1987. 水质 阴离子表面活性剂的测定 亚甲基蓝分光光度法[S]. 北京: 中国环境出版社, 1987: 3-5.
- [15] 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(4): 242-247.
- [16] 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.
- [17] Zheng M, Xie Z. A carbon dots-based nanoprobe for intracellular Fe³⁺ detection[J]. Materials Today Chemistry, 2019, 13: 121-127.
- [18] Dong B, Wang D N, Zhang Y D. Method for automatically analyzing color difference of twenty-four color card, involves minimizing block area chromatic aberration to standard chromatic aberration, and estimating color parameter by divided color image: CN109345544A[P]. 2019-05-14.
- [19] 梁阿妮. 水中阴离子表面活性剂测定的方法验证[J]. 中国检验检疫, 2019, (4): 17-19.
- [20] 中华人民共和国环境保护部. 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[S]. 北京: 中国环境出版社, 2017: 3-9. ■