

# 荧光聚乙烯亚胺/曙红 Y 比率荧光法 测定十二烷基硫酸钠

龚未彬, 杨传孝, 孙向英

(华侨大学 材料科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 通过聚乙烯亚胺(PEI)与甲醛反应合成发蓝色荧光的聚乙烯亚胺(FPEI),根据十二烷基硫酸钠(SDS)与 FPEI 结合能力强于曙红 Y(EY),使 EY 与 FPEI 间的距离增加,导致 EY 荧光恢复,并建立 FPEI/EY 双荧光体系测定 SDS 的比率荧光法.结果表明:SDS 的浓度为  $0.62 \sim 60.00 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $F_{550}/F_{460}$  与 SDS 的浓度具有较好的线性关系,检测限为  $0.062 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,用于实际样品的测定,回收率为  $93.5\% \sim 105.5\%$ .

**关键词:** 双荧光体系; 十二烷基硫酸钠; 比率荧光; 聚乙烯亚胺; 曙红 Y

**中图分类号:** O 661.1

**文献标志码:** A

在水体中,十二烷基硫酸钠(SDS)会形成不易消散的泡沫,致使水生生物生存力减弱乃至死亡<sup>[1]</sup>.目前,检测水体中阴离子表面活性剂的方法有液相色谱法<sup>[2]</sup>、分光光度法<sup>[3]</sup>、电化学法<sup>[4]</sup>、荧光光度法<sup>[5]</sup>等.与单一荧光法相比,比率荧光法<sup>[6-9]</sup>可有效消除环境因素的干扰、提高测定的选择性、灵敏度.近年来,关于聚合物发光的研究倍受关注<sup>[10]</sup>.树枝状聚合物是一类具有支状结构且性质极为特殊的聚合物<sup>[11]</sup>,通常含有重复的结构单元,对其进行功能化可获得具有发光性能的荧光聚合物<sup>[12-16]</sup>.Fei 等<sup>[17]</sup>通过迈克尔加成反应对聚乙烯亚胺(PEI)中的胺基进行功能化,获得具有热敏性的荧光聚乙烯亚胺.甲醛功能化的 PEI(FPEI)荧光发射峰位于 460 nm 处,紫外灯照射下发蓝色荧光;而曙红 Y(eosin Y, EY)与发蓝色荧光的聚乙烯亚胺(FPEI)相同激发下,在 550 nm 处发射绿色荧光.当 FPEI 与 EY 混合时,两者通过静电及疏水作用力紧密结合,由于 FPEI 富含胺基,通过电子转移导致 EY 的绿色荧光显著猝灭<sup>[18]</sup>.由于 SDS 与 FPEI 的作用强于 EY,在 FPEI/EY 体系中加入 SDS 时,原来 EY 与 FPEI 结合的位点被 SDS 竞争下来,致使 EY 与 FPEI 间的距离增加,导致 EY 550 nm 处的荧光恢复.基于此,本文构筑了 FPEI/EY 双荧光体系,建立 FPEI/EY 比率荧光法测定水样中 SDS 的新方法.

## 1 实验部分

### 1.1 主要仪器及试剂

F-7000 型荧光分光光度计(日本 Hitachi 公司); Nicolet Magna IR560 型傅里叶变换红外光谱仪(美国 Nicolet 公司); UV-2800H 型紫外可见分光光度计(日本 Shimadzu 公司); Milli-Q 型超纯水机(美国 Millipore 公司); Bruker-500 MHz NMR(瑞士 Bruker 公司).

聚乙烯亚胺(相对分子质量为 10 000,上海市阿拉丁试剂有限公司); 曙红 Y(广东省汕头市西陇化工股份有限公司); 十二烷基硫酸钠(广东省汕头市西陇化工股份有限公司,操作溶液的浓度为  $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ); 重水( $\text{D}_2\text{O}$ , 山东省青岛市腾龙微波科技有限公司); 试剂均为 AR 级,实验用水为 Milli-Q 型超纯水机制备的去离子水.

**收稿日期:** 2015-04-15

**通信作者:** 杨传孝(1970-),男,副教授,博士,主要从事纳米材料及生化分析的研究. E-mail: cxyang@hqu.edu.cn.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(21275059); 福建省自然科学基金资助项目(2014J01048); 华侨大学高层次人才科研启动项目(14BS116)

## 1.2 实验方法

1.2.1 FPEI 的合成 取 25.0 mg 超支化的 PEI 置于 100.0 mL 三口烧瓶中,依次加入 5.0 mL 的甲醛(HCHO)和 50.0  $\mu\text{L}$  的乙酸(HAC),用超纯水定容至 100.0 mL,并充分混合,在 70  $^{\circ}\text{C}$  水浴加热条件下,反应 1.5 h,静置过夜备用.

1.2.2 FPEI/EY 比率荧光法测定 SDS 向 20.0 mL 试管内依次加入 8.0 mL 的 FPEI,5.0 mL 的乙酸-乙酸钠缓冲溶液( $\text{pH}=3$ )和 3.0 mL 的 EY( $0.1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ )溶液,用超纯水定容至 20.0 mL,充分震荡混匀,可得 FPEI/EY 混合溶液.然后,取 1.0 mL 的 FPEI/EY 混合溶液于 10.0 mL 比色管中,加入适量的 SDS 标准溶液和样品溶液,用超纯水定容至 5.0 mL.放置 10 min 后,在激发波长为 350 nm 时,测定其荧光强度.

## 2 结果与讨论

### 2.1 FPEI 的光谱特征

FPEI 的吸收光谱、荧光光谱和红外吸收光谱,如图 1 所示.由图 1(a)可知:当甲醛加入后,FPEI 在 350 nm 处出现新的吸收峰,选用激发波长为 350 nm 时,其荧光发射峰位于 460 nm.由图 1(b)可知:与 PEI 的红外吸收光谱曲线(线 1)相比,FPEI(线 2)在  $1\,662\text{ cm}^{-1}$  处出现了较强的红外吸收,该红外吸收峰归属于  $\nu_{\text{C}=\text{O}}$ ,同时保留了 PEI 氨基的特征红外吸收峰.由此可知:甲醛与 PEI 发生了作用,生成的 FPEI 还保留了 PEI 分子结构中氨基的一些特性.文中方法合成的 FPEI 荧光量子产率为 8.16%.

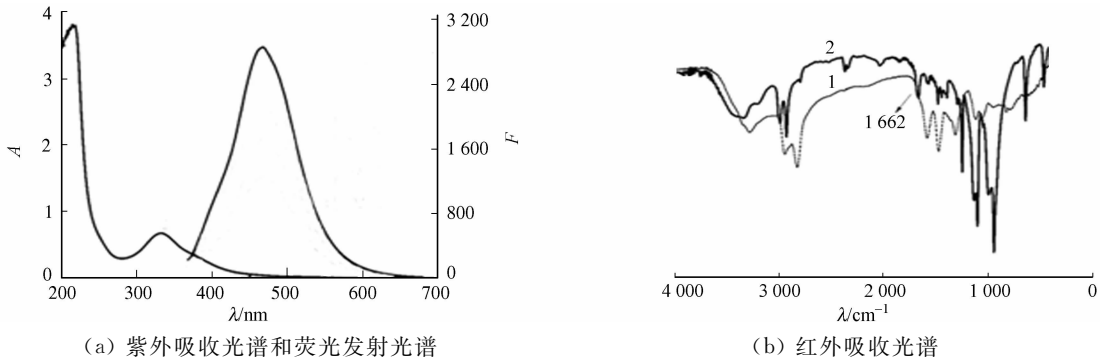


图 1 FPEI 的光谱特征  
Fig. 1 Spectral feature of FPEI

### 2.2 FPEI/EY 比率荧光法测定 SDS

2.2.1 FPEI/EY 体系的构筑 在激发波长为 350 nm 时,FPEI,EY 和 FPEI/EY 的荧光光谱,如图 2 所示.由图 2 可知:FPEI 的最大发射峰位于 460 nm 处,在紫外灯照射下发射蓝色荧光;EY 的最大发射峰位于 550 nm 处,在紫外灯照射下发射绿色荧光;当 EY 与 FPEI 混合在一起后,二者之间因为疏水作用力和静电作用而结合在一起,FPEI 上供电子基团使 EY 550 nm 处的荧光显著猝灭,同时,460 nm 处 FPEI 的荧光也有所减弱.基于此,构筑 FPEI/EY 比率荧光探针,并建立 FPEI/EY 双荧光体系.

2.2.2 FPEI/EY 与 SDS 作用的光谱特征 SDS 与 FPEI/EY 体系作用的荧光光谱,如图 3 所示.由图 3 可知:当激发波长位于 350 nm 时,FPEI/EY 体系呈现 2 个荧光发射,分别是 460 nm 处 FPEI 的荧光发射和 550 nm 处 EY 的荧光发射,且 460 nm 处的荧光强度远远大于 550 nm 处荧光强度,因而在紫外灯照射下体系发蓝色荧光;当 SDS 加入时,原来与 FPEI 结合的 EY 被 SDS 取代,致使 EY 远离 FPEI 表面,导致 EY 550 nm 处的荧光恢复;随着 SDS 浓度的不断增加,460 nm 处 FPEI 的荧光强度基本保持不变,但 550 nm 处 EY 的荧光强度则不断增强.由图 3 的内插图可知:550 nm 处 EY 的荧光强度的增加和 460 nm 处 FPEI 的荧光强度的比值( $F_{550}/F_{460}$ )与 SDS 浓度成很好的线性关系.在紫外灯照射下荧光成像表明:随着 SDS 浓度的不断增加,FPEI/EY 双荧光体系的荧光颜色由蓝色逐渐变为绿色.

### 2.3 FPEI/EY 与 SDS 作用的条件优化

2.3.1 温度的影响 控制水浴时间为 90 min,考察水浴温度对 FPEI 荧光强度的影响,如图 4,5 所示.由图 4 可知:FPEI 本身的荧光强度随着反应温度的升高而逐渐增强,这是因为温度越高,HCHO 与

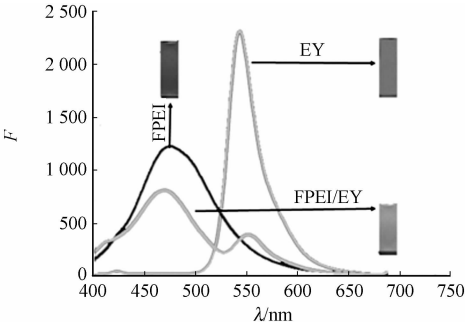


图 2 FPEI, EY 和 FPEI/EY 的荧光光谱  
Fig. 2 Fluorescence spectra of FPEI, EY and FPEI/EY

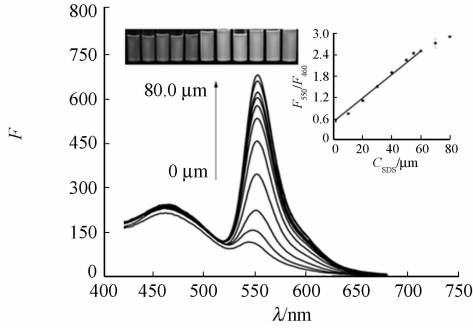


图 3 FPEI/EY 体系与 SDS 作用的荧光光谱  
Fig. 3 Fluorescence spectra of the reaction between FPEI/EY and SDS

PEI 表面的一 $\text{NH}_2$  作用越快。由图 5 可知:不同水浴温度获得的 FPEI 对体系  $F_{550}/F_{460}$  值有较大影响。当加入相同浓度的 SDS 时,随着水浴温度的增加,  $F_{550}/F_{460}$  值反而降低。这是由于温度越高,一方面, HCHO 与 PEI 作用较快,生成的 FPEI 荧光强度较高(图 4);另一方面,温度越高, FPEI 表面的一 $\text{NH}_2$  与 HCHO 作用较多,导致 FPEI/EY 体系中 EY 的浓度相对减少的缘故。

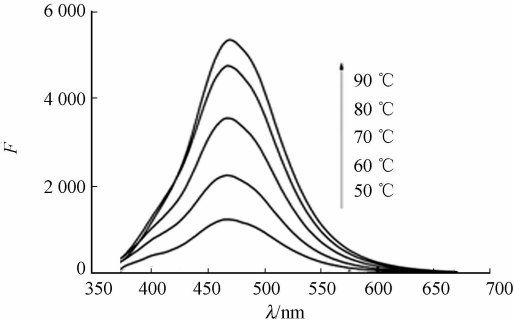


图 4 水浴温度对 FPEI 荧光强度的影响  
Fig. 4 Effect of the water bath temperature on the fluorescence intensity of FPEI

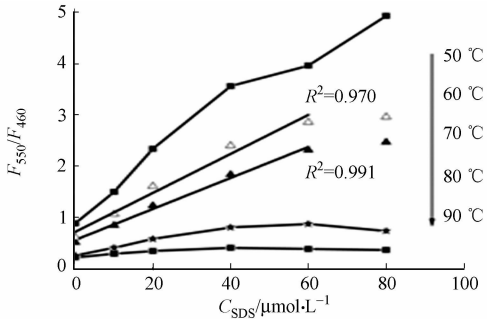


图 5 水浴温度对 FPEI / EY 与 SDS 作用的影响  
Fig. 5 Effect of the water bath temperature on the reaction between FPEI/EY and SDS

从 FPEI/EY 体系与不同浓度的 SDS 作用也可以明显看出:随着 SDS 浓度的增加,  $F_{550}/F_{460}$  均有增加的趋势。但是,温度越高合成的 FPEI 与 EY 组成的体系,其  $F_{550}/F_{460}$  增加的趋势变缓,且线性范围变窄。当温度为 70 °C,水浴 90 min 合成的 FPEI 构建的 FPEI/EY 体系的荧光比值( $F_{550}/F_{460}$ )与 SDS 的浓度在 0~60.0  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内具有较好的线性关系。因此,选择 FPEI 的最佳合成温度为 70 °C,水浴时间为 90 min。

**2.3.2 EY 量的影响** 在不同体积的 EY( $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 溶液与 8.0 mL 的 FPEI 混合制备的 FPEI/EY 双荧光溶液体系中,不同浓度 SDS 的响应曲线,如图 6 所示。由图 6 可知:不同比例的 FPEI 和 EY 制备的双荧光体系,其  $F_{550}/F_{460}$  值随着 SDS 浓度的增加均有增大趋势。但是,当 EY 的用量小于 3.0 mL 时, FPEI/EY 体系与 SDS 作用的线性范围明显变窄。当选取 EY 溶液的用量为 3.0 mL 时, FPEI/EY 双荧光体系的  $F_{550}/F_{460}$  值与 SDS 浓度之间具有较好的线性关系。因此,选择 3.0 mL 的 EY 溶液与 8.0 mL 的 FPEI 构建 FPEI/EY 双荧光体系。

**2.3.3 pH 值的影响** 考察溶液的 pH 值对合成的 FPEI 荧光强度的影响,如图 7 所示。由图 7 可知:当  $\text{pH} \approx 3.0$  时,合成的 FPEI 荧光强度最大;当 pH 值大于 3.0 时,随着 pH 值的增大,其荧光强度逐渐减弱。这是由于醛基与胺基作用的最佳 pH 值为 3.0~4.0。用 HOAC- $\text{AC}^-$  缓冲溶液考察 pH 值对 FPEI/EY 体系与 SDS 作用的影响,如图 8 所示。由图 8 可知:当介质的 pH 值为 3.0~4.0 时,  $F_{550}/F_{460}$

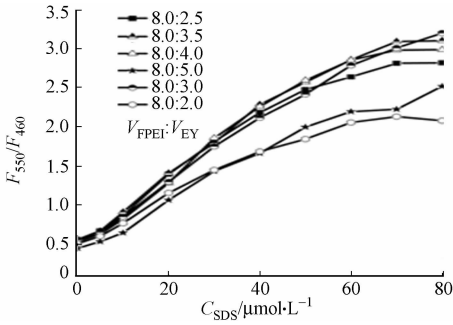


图 6 EY 量对 FPEI/EY 体系与 SDS 作用的影响

Fig. 6 Effect of the EY on the reaction between FPEI/EY and SDS

随 SDS 浓度的增加而增加,且线性范围较宽,线性拟合曲线的斜率较大. 因此,选用 pH 值为 3.0~4.0 的 HOAC-AC<sup>-</sup> 缓冲溶液控制酸度.

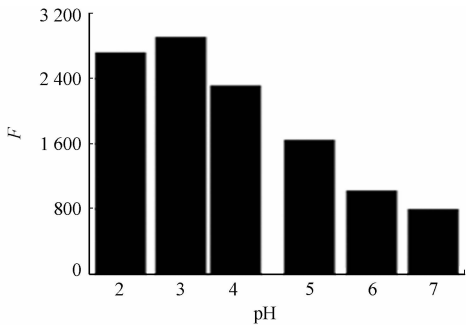


图 7 pH 值对 FPEI 荧光强度的影响  
Fig. 7 Effect of pH on the fluorescence intensity of FPEI

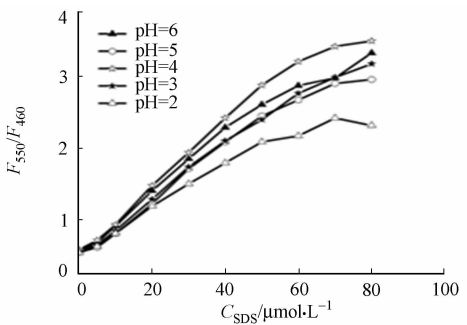


图 8 pH 值对 FPEI/EY 与 SDS 作用的影响  
Fig. 8 Effect of pH on the reaction between FPEI/EY and SDS

2.3.4 HCHO 的影响 如前所述,HCHO 与 PEI 表面的一NH<sub>2</sub> 作用获得了荧光聚合物 FPEI,因此,考察 HCHO 的用量(V)对合成的 FPEI 荧光强度的影响,如图 9 所示. 由图 9 可知:FPEI 荧光强度随着 HCHO 用量的增加而逐渐增强. 这是因为超支化的 PEI 结构中的一NH<sub>2</sub> 与 HCHO 发生酰胺化反应,增加 HCHO 用量可使生成的 FPEI 上的一NH<sub>2</sub> 减少,HCHO 越多,FPEI 结构的酰胺化程度越高,从而使其荧光强度越高.

用不同量的 HCHO 制备的 FPEI 对 FPEI/EY 体系与 SDS 作用的影响,如图 10 所示. 由图 10 可知:HCHO 的用量对  $F_{550}/F_{460}$  影响较大,当加入相同浓度的 SDS 时,随着 HCHO 用量的增加, $F_{550}/F_{460}$  反而呈现降低趋势;随着 HCHO 用量的增加, $F_{550}/F_{460}$  与 SDS 作用的线性范围逐渐变窄. 这是由于增加 HCHO 用量,合成的 FPEI 荧光强度增强,但 PEI 表面的一NH<sub>2</sub> 减少的缘故. 考虑到 FPEI/EY 体系在可视化荧光方面的应用,460 nm 处的荧光强度不能太低,因此,选择 HCHO 的最佳用量为 0.5 mL.

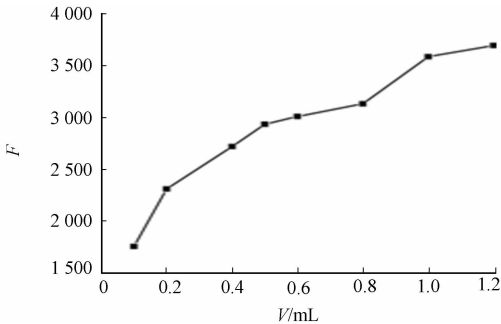


图 9 HCHO 对 FPEI 荧光强度的影响  
Fig. 9 Effect of HCHO on the fluorescence intensity of FPEI

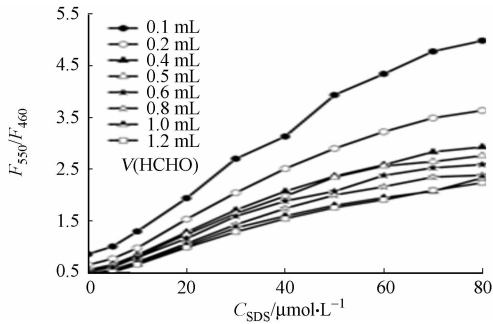


图 10 HCHO 对 FPEI/EY 与 SDS 作用的影响  
Fig. 10 Effect of the HCHO on the reaction between FPEI/EY and SDS

### 2.4 共存物质的干扰

在上述最佳实验条件下,考察常见的可能共存的阴离子、阳离子及其他表面活性剂对 SDS (20  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 测定结果的影响. 研究表明:1 倍的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Hg<sup>2+</sup>, SLS, STPP, SHMP, SDBS 和 CT-MB 对 SDS 的测定结果没有影响, Li<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Ag<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Eu<sup>3+</sup>, F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, ClO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>, S<sup>2-</sup>, ClO<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, SCN<sup>-</sup> 的最大允许浓度均高于 SDS 浓度的 100 倍,说明 FPEI/EY 体系对 SDS 具有较好的选择性.

### 2.5 标准曲线及样品测定

在最优条件下,进一步考察 FPEI/EY 体系对 SDS 的响应. 实验结果表明:SDS 的浓度在 0.62~60.00  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,FPEI/EY 双荧光体系的  $F_{550}/F_{460}$  与 SDS 的浓度呈现良好的线性关系,其线性方程为  $F_{550}/F_{460}=0.033C+0.54(R^2=0.9918)$ ,检出限为 0.062  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

采用该方法对实际水样进行检测,测定的结果如表 1 所示. 表 1 中:C 为实测值; $C_{SDS}$  为加入标准

SDS 的量;  $C_{ix}$  为线性曲线测得值;  $\eta$  为回收率. 由表 1 可知: 实际样品加标回收率为 93.5%~105.5%, 说明本方法可应用于环境水体中 SDS 的监测.

### 3 机理探讨

PEI 中伯胺、仲胺及叔胺基团的反应活性依次降低. 在酸性环境下, 仲胺和叔胺被质子化, 各分支间的电荷斥力使 PEI 形成伸展的大刚性结构<sup>[19]</sup>, 为伯胺与甲醛作用提供有利条件. PEI 和 FPEI 的  $D_2O$  溶液的  $^{13}C$  NMR 光谱, 如图 11 所示. 由图 11 可知: 与 PEI 的  $^{13}C$  NMR 谱图比较, FPEI 中 PEI 的特征峰基本消失, 在 75~100 出现酰胺键的特征峰. 由此说明合成的 FPEI 的发光性质与酰胺键的形成密切相关. 当 EY 存在时, FPEI 和 EY 通过静电作用及疏水作用紧密结合, 导致两者的荧光有不同程度的猝灭. 其中, EY 的荧光猝灭显著. 由于 SDS 与 FPEI 的结合能力强于 FPEI 和 EY 的结合能力, 因此, 当有 SDS 加入时, FPEI 分子中原与 EY 结合的位点被 SDS 占据, EY 被置换并远离 FPEI, 导致其荧光恢复.

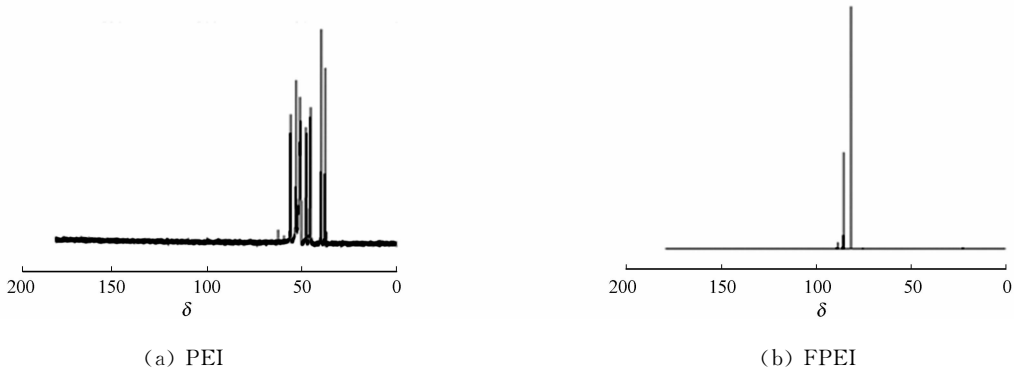


图 11 PEI 和 FPEI 的  $D_2O$  溶液的  $^{13}C$  NMR 光谱  
Fig. 11  $^{13}C$  NMR spectra of PEI and FPEI in  $D_2O$

### 4 结束语

构建 FPEI/EY 双荧光体系, 利用 FPEI 和 EY 荧光强度的变化, 成功建立比率荧光法测定 SDS 的新方法. 该方法检测 SDS 的线性范围为 0.62~60.00  $\mu mol \cdot L^{-1}$ , 检出限为 0.062  $\mu mol \cdot L^{-1}$ , 用于实际样品测定, 其回收率为 93.5%~105.5%. 该方法具有选择性好、灵敏度高、简便、快速且易实现可视化的优点.

#### 参考文献:

[1] 王朱良. 环境中阴离子表面活性剂检测方法研究进展[J]. 日用化学品科学, 2011, 34(12): 31-33.  
[2] HAEFLIGER O P. Universal two-dimensional HPLC technique for the chemical analysis of complex surfactant mixtures[J]. Analytical chemistry, 2003, 75(3): 371-378.  
[3] 陈飒, 区明晖, 占永革. 亚甲基蓝分光光度法测定饮用水中阴离子表面活性剂的方法讨论[J]. 中国环境监测, 2006, 22(3): 39-41.  
[4] MATESIC-PUAC R, SAK-BOSNAR M, BILIC M, et al. Potentiometric determination of anionic surfactants using a new ion-pair-based all-solid-state surfactant sensitive electrode[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2005, 106(1): 221-228.  
[5] 谢志海, 郎惠云, 王昕, 等. 离子缔合物-萃取荧光光度法测定水中阴离子表面活性剂[J]. 分析试验室, 2001, 20(5): 47-48.  
[6] HUNG P J, CHIR J L, TING W, et al. A selective colorimetric and ratiometric fluorescent chemosensor for detection of  $Al^{3+}$  ion[J]. Journal of Luminescence, 2015, 158(2): 371-375.  
[7] SONG Jianhua, HUAI Manxiu, WANG Cuicui, et al. A new FRET ratiometric fluorescent chemosensor for  $Hg^{2+}$

- and its application in living EC 109 cells[J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2015, 139(3): 549-554.
- [8] LEE S, YUEN K K Y, JOLLIFFE K A, et al. Fluorescent and colorimetric chemosensors for pyrophosphate[J]. *Chemical Society Reviews*, 2015, 44(7): 1749-1762.
- [9] CHEN, KUO C C, HUANG Y S, et al. Novel highly selective and reversible chemosensors based on dual ratiometric fluorescent electrospun nanofibers with pH- and  $\text{Fe}^{3+}$ -modulated multicolor fluorescence emission[J]. *ACS applied materials and interfaces*, 2015, 7(4): 2797-2808.
- [10] DE SCHRYVER F C, VOSCH T, COTLET M, et al. Energy dissipation in multichromophoric single dendrimers [J]. *Accounts of chemical research*, 2005, 38(7): 514-522.
- [11] HECHT S. Functionalizing the interior of dendrimers: Synthetic challenges and applications[J]. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 2003, 41(8): 1047-1058.
- [12] TSAI Y J, HU C C, CHU C C, et al. Intrinsically fluorescent PAMAM dendrimer as gene carrier and nanoprobe for nucleic acids delivery: Bioimaging and transfection study[J]. *Biomacromolecules*, 2011, 12(12): 4283-4290.
- [13] WU Decheng, LIU Ye, HE Chaobin, et al. Blue photoluminescence from hyperbranched poly(amino ester)s[J]. *Macromolecules*, 2005, 38(24): 9906-9909.
- [14] YANG Wen, PAN Caiyuan, LUO Mingdeng, et al. Fluorescent mannose-functionalized hyperbranched poly(amido amine)s: Synthesis and interaction with *E. coli*[J]. *Biomacromolecules*, 2010, 11(7): 1840-1846.
- [15] RESTANI R B, MORGADO P I, RIBEIRO M P, et al. Biocompatible polyurea dendrimers with pH-dependent fluorescence[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2012, 51(21): 5162-5165.
- [16] LIN S Y, LIN F S, CHEN M K, et al. One-pot synthesis of linear-like polyethylenimine for intracellular imaging and nucleic acid delivery[J]. *Chemical Communication*, 2010, 46(3): 5554-5556.
- [17] FEI Bin, YANG Zongyue, SHAO Sijie, et al. Enhanced fluorescence and thermal sensitivity of polyethylenimine modified by Michael addition[J]. *Polymer*, 2010, 51(8): 1845-1852.
- [18] WEN Ting, LI Nianbing, LUO Hongqun. A turn-on fluorescent sensor for sensitive and selective detection of sodium dodecyl sulfate based on the eosin Y/polyethylenimine system[J]. *Analytical chemistry*, 2013, 85(22): 10863-10868.
- [19] WANG Dongjun, IMAE T. Fluorescence emission from dendrimers and its pH dependence[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2004, 126(41): 13204-13205.

## Detection of Sodium Dodecyl Sulfate by Ratiometric Fluorescence Based on Fluorescence Polyethylenimine/Eosin Y

GONG Weibin, YANG Chuanxiao, SUN Xiangying

(College of Material Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The fluorescent polyethylenimine (FPEI) has been successfully synthesized by polyethylenimine (PEI) reacted with formaldehyde, and FPEI exhibits strong blue emission. Since sodium dodecyl sulfate (SDS) has a stronger binding force with FPEI than EY, with the addition of SDS the distance between EY and FPEI became increased, which lead to the fluorescence of EY recovery. As such, a novel dual fluorescence system of FPEI/EY has been designed for ratiometric fluorescent detection of SDS. The study showed that  $F_{550}/F_{460}$  of the FPEI/EY dual fluorescence system is linearly proportional to the concentration of SDS from 0.62 to 60.00  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  with a detection limit of 0.062  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Real samples were analyzed with the recovery rate of 93.5%-105.5%.

**Keywords:** dual fluorescence system; sodium dodecyl sulfate; ratiometric fluorescence; polyethylenimine; eosin Y

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 熊兴泉)