

磺胺甲噁唑在多壁碳纳米管-Nafion 修饰电极上的电催化氧化及电分析方法

孙玉琴, 犹 卫, 高作宁*

(宁夏大学 化学化工学院 能源化工重点实验室, 宁夏 银川 750021)

摘要: 运用循环伏安法(CV)、计时库仑法(CC)、计时电流法(CA)、线性扫描伏安法(LSV)及电流-时间曲线研究了磺胺甲噁唑(SMZ)在玻碳电极(GCE)及碳纳米管-Nafion 修饰电极(MWCNTs-Nafion/GCE)上的电化学行为, 电动力学性质以及电分析方法。研究表明, 与 GCE 相比, SMZ 在 MWCNTs-Nafion/GCE 上氧化峰电位负移 140 mV, 氧化峰电流明显增大约 6 倍, 表明 MWCNTs-Nafion/GCE 对 SMZ 电化学氧化具有良好的催化作用。在扫描速度 $10 \sim 1\,000 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ 时其氧化峰电流与扫描速度平方根($\nu^{1/2}$)呈良好的线性关系, 表明 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的伏安行为是受扩散控制的电化学过程。研究了 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上氧化峰电流与浓度分别在 $5.0 \times 10^{-5} \sim 2.5 \times 10^{-3}$ 和 $1.0 \times 10^{-5} \sim 6.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 呈良好线性关系, 检测限分别为 1.0×10^{-5} 和 $5.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。RSD 在 0.85% ~ 1.98%, 加样回收率在 98% ~ 101.2%。建立的 SMZ 含量的电化学测定方法简便快捷, 测定结果令人满意。

关键词: 磺胺甲噁唑; 碳纳米管-Nafion 修饰玻碳电极; 电催化氧化

中图分类号: R917 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-4870(2008)04-0396-06

Electrocatalytic oxidation of SMZ at multi-wall carbon nanotubes-Nafion modified glassy carbon electrode and its electrochemical determination application

SUN Yu-qin, YOU Wei, GAO Zuo-ning*

(Key Laboratory of Energy Sources and Chemical Engineering,
College of Chemistry and Chemical Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Electrochemical behaviors, electrochemical kinetics and electrochemical determination of sulfamethoxazole (SMZ) at both glassy carbon electrode (GCE) and multi-wall carbon nanotubes-Nafion modified glassy carbon electrode (MWCNTs-Nafion/GCE) were investigated by cyclic voltammetry (CV), chronocoulometry (CC), chronoamperometry (CA), linear scan voltammetry (LSV) and amperometric $i-t$ curve. The experimental results showed that the electrochemical oxidation of SMZ was sluggish on GCE, but the oxidation peak current of SMZ increased significantly at MWCNTs-Nafion/GCE in comparison with that at the bare GCE, which indicated that MWCNTs-Nafion/GCE could catalyze the electrochemical oxidation of SMZ very well. The plot of oxidation peak currents versus the square roots of the scanning rates for the redox in the potential range of $10 \sim 1\,000 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ showed a straight line, as expected for a diffusion-limited electrochemical process for SMZ electrochemical oxidation. At the bare GCE and MWCNTs-Nafion/GCE the oxidation peak current was linearly proportional to the concentration of SMZ over the concentration range $5.0 \times 10^{-5} \sim 2.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ and $1.0 \times 10^{-5} \sim 6.0 \times 10^{-3}$

收稿日期: 2007-07-30.

基金项目: 宁夏高等学校科学研究基金资助项目(200623); 宁夏大学自然科学基金资助项目(ZR0641).

*通讯作者 Tel: 86-951-2062066, Fax: 86-951-2062860, E-mail: gaozn@nxu.edu.cn

$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. The detection limits were 1.0×10^{-5} and $5.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. The relative standard deviation was between 0.85% - 1.98% and the recovery was in the range of 98% - 101.2%. This MWCNTs-Nafion/GCE could be applied in SMZ electrochemical determination with satisfied results. The proposed method can be applied to the determination of SMZ in tablet samples with satisfied results.

Key words: sulfamethoxazole; carbon nanotubes-Nafion modified glassy carbon electrode; electrocatalytic oxidation

磺胺甲噁唑(sulfamethoxazole, SMZ)化学名为 *N*-(5-甲基-3-异噁唑基)-4-氨基-苯磺酰胺, 是常用的磺胺类抗菌药物。中国药典 2005 年版第二部使用容量法和色谱法测定了 SMZ 的含量^[1], 其他测定方法主要有分光光度法^[2-4]、色谱法^[5,6]、双波长薄层扫描法^[7]、毛细管电泳法^[8]、光化学法^[9]和电化学方法^[10-12]等。脉冲极谱法^[10]根据磺酰基在酸性条件下在滴汞电极上发生还原反应而产生导数极谱波原理对 SMZ 制剂定量测定。聚乙烯修饰电极^[11]和利用 DNA 酶修饰电极对磺胺类药物的研究^[12]也有报道。但在玻碳电极(GCE)及碳纳米管-Nafion 修饰电极(MWCNTs-Nafion/GCE)上对 SMZ 电化学反应、电动力学性质及电化学分析方法研究尚未见报道。

碳纳米管(carbon nanotube, CNT)具有高比表面积、高电导率、稳定的化学性质及高机械强度等特性已成为研究热点^[13]。用碳纳米管作电极材料可以加速电子交换^[14]; Nafion 膜是一类全氟磺酸型阳离子交换膜, 由亲水磺酸基团与疏水性骨架组成, Nafion 中的亲水磺酸基团通过静电作用对阳离子具有很好的富集作用, 而其中疏水的碳氟化合物对疏水有机阳离子也具有较高的离子选择性^[15]。因此研究这种新型碳结构的复合修饰电极具有十分重要的意义。

本文在前期工作^[16-19]基础上运用循环伏安法(cyclic voltammetry, CV)、计时库仑法(chronocoulometry, CC)、计时电流法(chronoamperometry, CA)、线性扫描伏安法(linear scan voltammetry, LSV)及电流-时间曲线研究了 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的电化学反应及其电动力学性质。建立的 SMZ 含量的电化学测定方法简便快捷, 测定结果令人满意。

材料与方 法

仪器 CHI660A 电化学工作站(美国 CHI 仪器公司), 电化学测定采用三电极系统: 以 CHI104GCE(美国 CHI 仪器公司)和 MWCNTs-Nafion/GCE 为工

作电极, 饱和甘汞电极(SCE)为参比电极, CHI115 铂丝电极为辅助电极。

试剂 磺胺甲噁唑原料药(昆山双鹤药业有限公司, 批号: 051016); 甲氧苄啶(TMP, 华北制药集团动物保健品有限责任公司生产, 批号: 050307); 磺胺甲噁唑片[金花企业(集团)股份有限西安大庆制药厂, 批号: 070225]; MWCNT 由清华大学化工系魏飞教授提供, Nafion(质量分数为 20%, 美国 Aldrich 公司, 溶于无水乙醇配成 0.2% Nafion 溶液)。

本文所涉及到的电位均为相对饱和甘汞电极(SCE)的电极电位。所有测试均在室温下进行。

MWCNTs-Nafion/GCE 制备 准确称取羧基化的 MWCNT 1.0 mg, 加入 DMF-H₂O-0.2% Nafion(1:2:1)水溶液 2 mL 中超声分散 15 min, 得 0.50 mg · mL⁻¹ 悬浮液。GCE 用 0.3 μm α-Al₂O₃ 抛光, 然后分别于丙酮和水中超声清洗, 烘干。用微量取样器移取悬浮液 11 μL 滴加在 GCE 表面, 烘干即得 MWCNTs-Nafion/GCE。

结果与讨论

1 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的伏安行为

在 0.10 mol · L⁻¹ PBS (pH 6.8) 中, 扫描速度 50 mV · s⁻¹ 及电位窗口 0.2 ~ 1.0 V, 用 CV 法研究了浓度为 1 × 10⁻³ mol · L⁻¹ SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的电化学反应, 见图 1。

由图 1 曲线 a 可知, 在 0.721 V 处出现一个明显氧化峰(MWCNTs-Nafion/GCE)。与在 GCE 上相比, SMZ 在 MWCNTs-Nafion/GCE(图 1 曲线 a)上氧化峰电位负移 140 mV, 氧化峰电流增大约 6 倍。

在 Nafion/GCE 上(曲线 d)与在 GCE(曲线 e)上相比氧化峰电流略有增加, 峰电位略有正移。其原因可能为 SMZ 属于阳离子型磺胺类药物, 而 Nafion 本身含有磺酸基团, 对阳离子具有很好的选择性^[20], 因此 Nafion 对其氧化起到了很好的促进作用, 但 Nafion 在促进 SMZ 选择性的同时在电极表面

形成的 Nafion 膜阻碍了电子的转移, 从而使其电位略有正移。

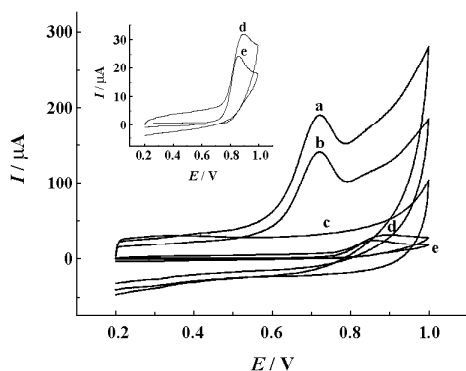


Figure 1 CVs of SMZ at the MWCNTs-Nafion/GCE in $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ PBS (pH 6.8) in the presence (curve a) and absence (curve c) of $1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ SMZ. Curve e, b and d are CVs of SMZ at bare GCE, MWCNT/GCE and Nafion/GCE in $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ PBS (pH 6.8) containing $1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ SMZ. The scan rate: $50 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$

经过比较 SMZ 在 MWCNT/GCE (曲线 b) 与 MWCNTs-Nafion/GCE (曲线 a) 上的电化学行为发现, 在 MWCNTs-Nafion/GCE 上 SMZ 氧化峰电流明显增强, 结果表明, MWCNTs-Nafion/GCE 对 SMZ 电化学氧化具有良好的催化作用, 且该电化学氧化反应是一个不可逆的氧化过程。该催化的可能原因: 其一是由于 MWCNT 具有较大的反应位点, 加速了 SMZ 的电子交换速率, 对 SMZ 的电化学氧化起了良好的催化作用^[21]; 其二是 Nafion 膜对 SMZ 的选择性, 两者的协同作用使 MWCNTs-Nafion/GCE 对 SMZ 具有更好的催化作用。在扫描速度 $10 \sim 1000 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$, 用 CV 研究了扫描速度对 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上电化学行为影响。实验结果表明, 随扫描速度增加, SMZ 氧化峰电位 E_{pa} 发生正移, 峰电流 I_{pa} 增大, 且峰电流 I_{pa} 与扫描速度平方根 ($\nu^{1/2}$) 呈良好的线性关系 ($r = 0.9979$ 、 0.9989), 结果表明 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的电化学氧化反应均为受扩散控制的电极反应过程。

2 实验条件对 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上电化学行为影响

电位窗口 $0.2 \sim 1.0 \text{ V}$, 以 $50 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ 扫描速度分别以 NaCl、NaClO₄、NaNO₃、Na₂SO₄、CH₃COONa

和 PBS 水溶液为支持电解质进行 CV 测试。实验结果表明, 在 PBS 水溶液中, SMZ 具有良好的电化学反应行为。同时研究了 SMZ 在 PBS 浓度为 $0.10 \sim 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CV 行为。实验结果表明, 在浓度为 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ PBS 中 SMZ 氧化峰形良好。

用 CV 法研究了 MWCNTs-Nafion 修饰剂用量对 SMZ 氧化峰电流的影响, 实验结果表明, 当用量由 $1 \mu\text{L}$ 逐渐增加到 $11 \mu\text{L}$ 时 SMZ 氧化峰电流逐渐增加; 当从 $11 \mu\text{L}$ 增加到 $15 \mu\text{L}$ 时氧化峰电流增加缓慢, 再增加用量, 氧化峰电流反而降低。这可能是由于 GCE 表面 MWCNTs-Nafion 修饰膜厚度过大, 降低了 MWCNTs-Nafion 修饰膜的导电性能^[22], 且溶剂挥发时间较长, 故本实验选择修饰剂用量为 $11 \mu\text{L}$ 。

在 pH 3 ~ 9 时分别研究了 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上介质 pH 对 SMZ 氧化峰电位 E_{pa} 和峰电流 I_{pa} 的影响。实验结果表明, SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上氧化峰电位 E_{pa} 随介质 pH 增大发生负移, 表明 SMZ 电化学氧化反应有质子参与。而 SMZ 氧化峰电流 I_{pa} 在 MWCNTs-Nafion/GCE 上与在 GCE 上相比明显增大, 但在 MWCNTs-Nafion/GCE 上氧化峰电流 I_{pa} 随介质 pH 增大逐渐降低, 根据人体的生理特点, 选择 pH 6.8 为最佳测试条件。

3 电化学动力学

3.1 电荷转移系数 α 用 CV 法研究扫描速度对 SMZ 氧化峰电位 E_{pa} 影响。结果 GCE 的 $E_{\text{pa}} \sim \log \nu$ 关系, 其线性方程 $E_{\text{pa}} (\text{mV}) = 25.86 \log \nu + 822.55$, $r = 0.9989$ 。由该直线斜率求得 $E_{\text{pa}} / (\log \nu)$ 为 25.86 mV 。

根据完全不可逆扩散控制过程方程式^[23]:

$$E_p = (b \log \nu) / 2 + \text{constant}$$

式中 $b = 2.3RT/n(1-\alpha)F$ 为 Tafel 斜率, 由 $E_{\text{pa}} \sim \log \nu$ 关系直线斜率可得 $b/2$, 即 $b = 2 \times \partial E_{\text{pa}} / \partial (\log \nu) = 51.72 \text{ mV}$ 。依据以上实验数据求得 $n(1-\alpha) = 1.14$ 。已知 $n = 2$ ^[24], 故求得 α 值。用同样的方法求得 SMZ 在 MWCNTs-Nafion/GCE 上的 α 值 (表 1)。同时也可用 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的氧化峰电流 I_{pa} 与其浓度关系得到 $E_{\text{pa}} \sim \log I_{\text{pa}}$ 直线, 由该直线斜率可得 Tafel 斜率 b 分别为 52.13 和 262.41 , 通过计算得到 α 为 0.43 和 0.88 。此结果与 $E_{\text{pa}} \sim \log \nu$ 关系直线所得结果一致。

3.2 扩散系数 D 根据电位阶跃计时电量法 (CC) [25]:

$$Q = \frac{2nFACD^{1/2}t^{1/2}}{\pi^{1/2}} + Q_{dl} + Q_{ads}$$

其中 Q 为总电量, Q_{dl} , Q_{ads} 分别为双电层充电的电量、吸附反应物还原所需的电量, C 为 SMZ 的浓度。以 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 为模型化合物 (在 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 中其扩散系数 $D = 7.6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) 测定了 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 的电极面积 A 分别为 0.065 和 0.276 cm^2 。根据实验结果得到 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的 $Q-t^{1/2}$ 关系直线 (Anson 计时库仑图) 斜率分别为 2.257×10^{-4} 和 $1.425 \times 10^{-3} \text{ C}$, 由此斜率计算得 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的扩散系数 D (表 1)。

3.3 电极反应速率常数 k_f 平板电极上可逆电化学反应的电流响应遵循如下关系式 [26]:

$$I(t) = nFAk_f C \left(1 - \frac{2H\sqrt{t}}{\sqrt{\pi}}\right)$$

式中 $H = k_f/D_{\text{Ox}}^{1/2} + k_b/D_{\text{Rd}}^{1/2}$ 。对于完全不可逆反应 $k_b = 0$, 则 $H = k_f/D_{\text{Ox}}^{1/2}$ 。因此可采用电位阶跃计时电流法 (CA) 测定 k_f 。由 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的 $I(t) \sim t^{1/2}$ 关系直线截距 (5.305×10^{-5} , 2.661×10^{-4}) 计算得到 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的电极反应速率常数 k_f (表 1)。

Table 1 Kinetic parameters for SMZ at both GCE and MWCNTs-Nafion/GCE

Electrode	α	$D \times 10^{-5} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	$k_f \times 10^{-4} / \text{s}^{-1}$
GCE	0.43	1.02	8.46
MWCNT-Nafion/GCE	0.89	2.25	9.99

3.4 反应级数 由 SMZ 氧化峰电流 I_{pa} 与其浓度 C_{SMZ} 关系, 依据电化学动力学原理 [27] 可得出, SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的 $\log I_{\text{pa}}$ 与 $\log C_{\text{SMZ}}$ 呈线性关系, 线性方程分别为 $\log I_{\text{pa}}(\text{GCE}) = 0.9718 \log C + 1.428$, $r = 0.9986$, $\log I_{\text{pa}}(\text{MWCNTs-Nafion/GCE}) = 0.9626 \log C + 1.993$, $r = 0.9953$, 斜率分别为 0.9718 和 0.9626 , 表明该电催化氧化反应对 SMZ 为准一级反应。

在相同实验条件下, 利用稳态电流-时间曲线方法测定了 SMZ 在 MWCNTs-Nafion/GCE 上的响应电流和浓度关系 (图 2)。在搅拌速度为 100

$\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, 间隔 100 s 、浓度呈梯度逐步向溶液中滴加 SMZ 到某一浓度。由图 2 可看出, SMZ 稳态电流响应信号随其浓度成比例增长, 响应时间小于 5 s 。最低响应浓度为 $5 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。该方法检测限低, 灵敏度高, 可用于 SMZ 电化学定量测定。

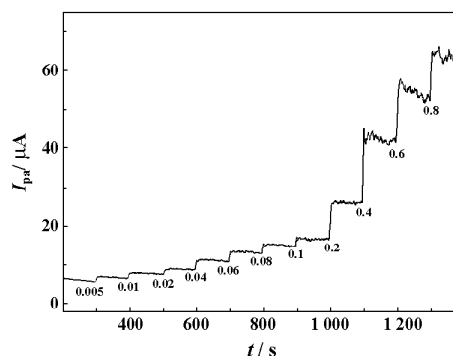


Figure 2 Time-dependent steady state currents obtained at MWCNTs-Nafion/GCE while increasing SMZ concentration ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) at 0.90 V with a stirring rate of $100 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$

4 干扰测定

在相同实验条件下, 考察了磺胺类药物的增效剂、常见离子以及淀粉、葡萄糖、蔗糖等制剂辅料对 SMZ 催化氧化峰电流的影响。实验结果表明, 5 倍的甲氧苄啶 (TMP), 1 000 倍 Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 或 NO_3^- , 200 倍的淀粉、葡萄糖或蔗糖等均不干扰 SMZ 电化学测定。

5 SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的线性范围及检测限

在相同实验条件下用 LSV 研究了 SMZ 氧化峰电流 I_{pa} 随其浓度变化关系。SMZ 在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上氧化峰电流 I_{pa} 与其浓度分别在 $5.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-3}$ 及 $1.0 \times 10^{-5} \sim 6.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 呈良好的线性关系, 线性方程分别为 $I_{\text{pa}}(\mu\text{A}) = 21.89C + 2.69$, $I_{\text{pa}}(\mu\text{A}) = 92.46C + 9.84$, r 分别为 0.9963 、 0.9978 。检测限分别为 1.0×10^{-5} 和 $5.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

6 电极稳定性及重现性

用同一支修饰电极对 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ SMZ 连续平行扫描 10 次, SMZ 在 MWCNTs-Nafion/GCE 上的氧化峰电流 RSD 为 1.89% ; 平行修饰 6 次, RSD 为 2.72% , 表明制作的 MWCNTs-Nafion/GCE 有良好的重复性和再现性。修饰电极在室温下放置

30 d, 平行测定 10 次的平均峰电流仅降低 2.20%, 而峰电位几乎不变, 进一步表明该修饰电极具有良好的稳定性。

7 样品测定

取磺胺甲噁唑片 10 片, 精密称取适量(约相当于 SMZ 400 mg), 用二次蒸馏水溶解后定容至 100 mL 进行测定, 然后加入已知量的 SMZ 对照品进行回收率测定(表 2)。

由表 2 测定结果可知, 所测得样品 RSD 为 0.85% ~ 1.98%, 加样回收率为 98.0% ~ 101.2%。说明本方法符合测定要求, 可用于 SMZ 的电化学定量检测。

Table 2 Determination results of the samples ($n=6$)

Sample	Labeled tablet/mg	Determ. tablet/mg	RSD /%	Added /mg	Determ. /mg	Recovery /%
1	400	412.0	1.98	253.0	668.1	101.2
2		403.5	1.24	253.0	651.6	98.0
3		408.3	0.85	380.0	782.1	98.4

小结

运用 CC 和 CA 法分别测定在 GCE 及 MWCNTs-Nafion/GCE 上的电极过程动力学参数。实验结果表明, 电极反应速率常数在 MWCNTs-Nafion/GCE 上的明显高于 GCE 上, 与 GCE、Nafion/GCE 及 MWCNT/GCE 相比 MWCNTs-Nafion/GCE 对 SMZ 电化学氧化具有更良好的催化作用, MWCNTs 与 Nafion 对 SMZ 的氧化起到了很好的协同作用。

References

- [1] State Pharmacopoeia Committee of the People's Republic of China. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (中华人民共和国药典) [S]. 2005 ed. Part II. Beijing: Chemical Industry Press, 2005:439,857.
- [2] Li QM, Yang ZJ. Spectrophotometric determination of sulfamethoxazole using sodium 1, 2-naphthoquinone-4-sulfonate as the chemical derivative chromogenic reagent [J]. Chin J Anal Chem (分析化学), 2006, 34:83-86.
- [3] Nagaraja P, Yathirajan HS, Raju CR, et al. 3-Aminophenol as a novel coupling agent for the spectrophotometric determination of sulfonamide derivatives [J]. Farmaco, 2003, 58:1295-1300.
- [4] Kesimli B, Topaci A, Topaci C. An interaction of caffeine and sulfamethoxazole: studied by IR spectroscopy and PM3 method [J]. J Mol Struct, 2003, 645:199-204.
- [5] Lu KH, Chen CY, Lee MR. Trace determination of sulfonamides residues in meat with a combination of solid-phase microextraction and liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Talanta, 2007, 72:1082-1087.
- [6] Pereira AV, Cass QB. High-performance liquid chromatography method for the simultaneous determination of sulfamethoxazole and trimethoprim in bovine milk using an on-line clean-up column [J]. J Chromatogr B, 2005, 826:139-146.
- [7] Shi JY, Zhao RH, Zhang WB. Determination of sulfamethoxazole and trimethoprim in compound sulfamethoxazole tablets by dual wavelength TLC scanning [J]. Chin J Pharm Anal (药物分析杂志), 2005, 25:1077-1078.
- [8] Nevado JJB, Penalvo GC, Bernardo FJG. Determination of sulfamethoxazole, sulfadiazine and associated compounds in pharmaceutical preparations by capillary zone electrophoresis [J]. J Chromatogr A, 2001, 918:205-210.
- [9] Numan A, Villemure JL, Lockett KK, et al. Photochemical reactivity of sulfamethoxazole and other sulfa compounds with photodiode array detection [J]. Microchem J, 2002, 72:147-154.
- [10] Liang YA, Liu ZH, Sun JH. Quantitative determination of sulfamethoxazole by second derivative differential pulse polarography [J]. Chin J Anal Chem (分析化学), 2000, 28:1136-1139.
- [11] Msagati TAM, Ngila JC. Voltammetric detection of sulfonamides at a poly(3-methylthiophene) electrode [J]. Talanta, 2002, 58:605-610.
- [12] Evtugyn G, Mingaleva A, Budnikov H, et al. Affinity biosensors based on disposable screen-printed electrodes modified with DNA [J]. Anal Chim Acta, 2003, 479:125-134.
- [13] He JB, Chen CL, Liu JH. Study of multi-wall carbon nanotubes self-assembled electrode and its application to the determination of carbon monoxide [J]. Sens Actuators B, 2004, 99:1-5.
- [14] Wu FH, Zhao GC, Wei XW. Electrocatalytic oxidation of nitric oxide at multi-walled carbon nanotubes modified electrode [J]. Electrochem Commun, 2002, 4:690-694.
- [15] Wang ZH, Zhang HZ, Zhou SP, et al. Determination of trace metoclopramide by anodic stripping voltammetry with nafion modified glassy carbon electrode [J]. Talanta, 2001, 53:1133-1138.
- [16] Liang B, Zhao YD, Gao ZN. Electrocatalytic reduction of hydroxylamine at a carbon nanotube modified glassy carbon electrode and its electrochemical kinetics [J].

- Chin J Anal Lab (分析实验室), 2006, 25:14-17.
- [17] Liang B, Sun YQ, Gao ZN. Electrochemical behaviors of hydroquinone and its electrochemical kinetics at carbon nanotube modified glassy carbon electrode [J]. Chem Res and Appl (化学研究与应用), 2007, 19:89-92.
- [18] Bi YH, Liang B, Huang ZL, et al. Interactions between DNA and metal chelates at nanometer scale interface [J]. Indian J Chem, 2005, 44A:989-993.
- [19] Sun YQ, You W, Gao ZN. Electrocatalytic oxidation of pseudoephedrine hydrochloride at multi-wall carbon nanotubes modified glassy carbon electrode and its electrochemical kinetics [J]. Chin J Appl Chem (应用化学), 2008, 25:58-62.
- [20] Zeng R, Huang WY, Pang ZC, et al. Cation selectivity of perfluorosulfonate polymer [J]. Chin J Anal Chem (分析化学), 1999, 27:965-968.
- [21] Wang JX, Li MX, Shi ZJ, et al. Electrocatalytic oxidation of 3,4-dihydroxyphenylacetic acid at a glassy carbon electrode modified with single-wall carbon nanotubes [J]. Electrochim Acta, 2001, 47:651-657.
- [22] Zeng BZ, Huang F. Electrochemical behavior and determination of fluphenazine at multi-walled carbon nanotubes/(3-mercaptopropyl) trimethoxysilane bilayer modified gold electrodes [J]. Talanta, 2004, 64:380-386.
- [23] Golabi SM, Zare HR. Electrocatalytic oxidation of hydrazine at glassy carbon electrode modified electrodeposited film derived from caffeic acid [J]. Electroanalysis, 1999, 11:1297-1298.
- [24] El-Naggar MM. Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium by some sulfa drugs compounds [J]. Corros Sci, 2007, 49:2226-2236.
- [25] Adams RN. Electrochemistry at solid electrode [M]. New York: Marcel Dekker, 1969:220-222.
- [26] Wu HQ, Li YF. Electrochemical kinetics (电化学动力学) [M]. Beijing: Higher Education Press, 1998:96-100.
- [27] Wu HH. Electrochemistry (电化学) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004:84-85.

· 消息 ·

《药学报》通过 2007 年度中国科协精品科技期刊工程项目总结验收, 2008 年度继续获得资助。

本刊编辑部