

## 奈达铂在微电化学池中的电化学测定研究

赵建松<sup>1</sup>, 丁岗芯<sup>1</sup>, 贝玉祥<sup>2</sup>, 李国达<sup>1</sup>, 熊华斌<sup>1</sup>, 李晓芬<sup>1</sup>, 高云涛<sup>1\*</sup>

(1. 云南民族大学 化学与环境学院, 生物基材料绿色制备技术国家地方联合工程研究中心, 云南省跨境民族地区生物质资源清洁利用国际联合研究中心, 昆明 650500; 2. 昆明贵研药业有限公司, 昆明 650106)

**摘要:** 设计和制作一种基于丝网印刷电极基微电化学池装置, 建立了奈达铂的电化学在线快速测定新方法。用循环伏安法(CV)研究奈达铂在微电化学池中的电化学行为, 在此基础上建立了差分脉冲伏安(DPV)定量分析方法。结果表明, 奈达铂在-0.8~1.0 V 电位范围内有一对明显的准可逆氧化还原峰; 在  $0.40 \times 10^{-2} \sim 1.20 \times 10^{-2}$  mg/mL 浓度范围内, 氧化峰电流与其浓度呈现良好的线性关系 ( $R^2=0.9995$ ), 检出限为  $3.97 \times 10^{-4}$  mg/mL, 样品加标回收率为 97.4%~103.8%。微电化学池测定样品消耗量小(0.1 mL), 适用于奈达铂含量的实时测定。

**关键词:** 抗癌药; 奈达铂; 定量测定; 微电化学池; 循环伏安法; 差分脉冲伏安法

**中图分类号:** O657.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2020)04-0061-07

### Electrochemical Determination of Nedaplatin in a Miniature Electrochemical Cell

ZHAO Jian-song<sup>1</sup>, DING Gang-xin<sup>1</sup>, BEI Yu-xiang<sup>2</sup>, LI Guo-da<sup>1</sup>, XIONG Hua-bin<sup>1</sup>, LI Xiao-fen<sup>1</sup>, GAO Yun-tao<sup>1\*</sup>

(1. School of Chemistry and Environment, Yunnan Minzu University, National and Local Joint Engineering Research Center for Green Preparation Technology of Biobased Materials, Joint Research Centre for International Cross-border Ethnic Regions Biomass Clean Utilization in Yunnan, Kunming 650500, China; 2. Kunming Guiyan Pharmaceutical Co. Ltd., Kunming 650106, China)

**Abstract:** A miniature electrochemical reaction cell based on screen-printed electrode was designed and fabricated, and it can be utilized for rapid online electrochemical determination of Nedaplatin. Cyclic Voltammetry (CV) was used to study the electrochemical behavior of Nedaplatin. Differential Pulse Voltammetry (DPV) quantitative analysis method was established based on its oxidation peak current. The nedaplatin has a pair of obvious quasi-reversible redox peak in the potential range of -0.8~1.0 V. The oxidation peak current and the concentration of nedaplatin showed a good linear relationship in the concentration range of  $0.40 \times 10^{-2} \sim 1.20 \times 10^{-2}$  mg/mL ( $R^2=0.9995$ ), and its detection limit was  $3.97 \times 10^{-4}$  mg/mL, and its standard recovery rate was 97.4%~103.8%. The micro-electrochemical cell has small sample consumption (0.1 mL) and is suitable for real-time determination of Nedaplatin.

**Key words:** Anti-cancer medicine; nedaplatin; quantitative analysis; miniature electrochemical reaction cell; cyclic voltammetry; differential pulse voltammetry

奈达铂(Nedaplatin, NDP), 化学名为顺式-乙醇酸-二氨合铂, 是继顺铂、卡铂后第三代铂类抗肿瘤药物。主要用于食管癌、非小细胞肺癌、小细胞肺癌的治疗, 是我国和亚洲应用广泛的抗肿瘤药<sup>[1-5]</sup>。其疗效与顺铂相当或更优, 具有治疗指数高、肾和

胃肠道毒性低、使用方便、不需水化等优点<sup>[6-8]</sup>。目前文献报道的 NDP 分析方法仅见高效液相色谱法一种<sup>[9-13]</sup>。电化学方法具有响应迅速、低成本、灵敏度高等优势, 能够帮助研究者更好地完成对铂族药物进行原位、在线、实时、动态等复杂的分析任

收稿日期: 2020-02-17

基金项目: 云南省科技项目(2017FD118)

第一作者: 赵建松, 男, 硕士研究生, 研究方向: 电化学分析。E-mail: smwan6821@foxmail.com

\*通信作者: 高云涛, 男, 博士, 教授, 研究方向: 电化学分析。E-mail: yuntaogao@sohu.com

务, 获得更多的生理生化信息<sup>[14-17]</sup>。已有研究表明铂族抗癌药物具有良好的电化学响应, 并据此建立了卡铂<sup>[18]</sup>、顺铂<sup>[19]</sup>、甲铂<sup>[20]</sup>等的电化学测定方法。

随着新材料、新器件和新方法在电极和传感器系统中的发展, 电化学分析在药物质量控制、代谢研究、作用机理和毒害物质分析等领域获得广泛应用<sup>[21]</sup>。丝网印刷电极(Screen Printed Electrode)具有结构小巧、集成度高、成本低、可批量生产等特点, 因其前处理简单, 使用方便, 在药物、代谢产物和降解物分析中的应用受到广泛关注<sup>[22-30]</sup>。近年来, 研究者致力于应用丝网印刷电极构建小型化、便携式的在线微量分析系统, 可应用于实现多种介质中微小量样品(20~100  $\mu\text{L}$ )的快速分析, 展现了良好的应用前景<sup>[31-34]</sup>。

本文基于丝网印刷电极的特点设计和制作了一种新型的微电化学池装置, 研究了 NDP 在微电化学池中的电化学行为, 建立了 NDP 的电化学微量快速测定新方法, 并将其应用于 NDP 生产线样品的在线快速电化学分析, 为铂族药物分析提供了一种新的思路。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器与试剂

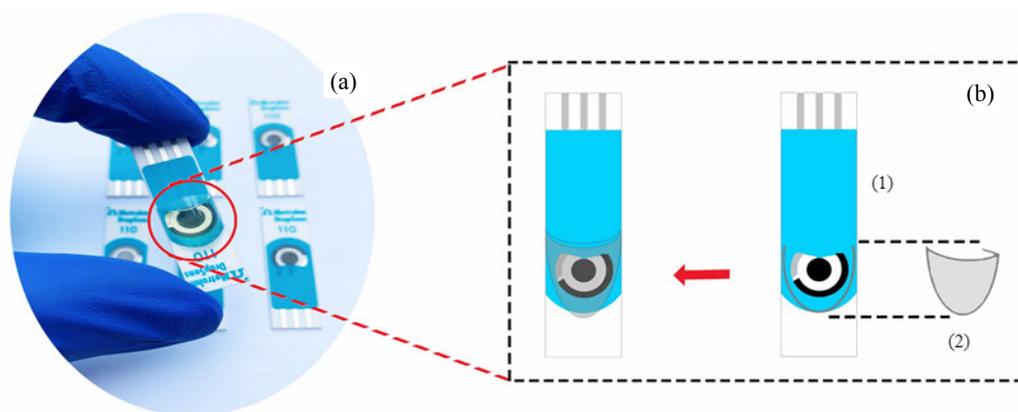
CHI650E 型电化学工作站(上海辰华仪器有限公司); DRP-110 丝网印刷电极(瑞士万通有限公司), 电极为陶瓷基底, 工作电极和对电极为碳浆、参比

电极为银/氯化银浆印制, 三电极呈直径为 7 mm 的圆形区域; 丝网印刷电极连接线; 1.5 mL 圆底聚丙烯离心试管; 紫外光胶(配备紫外灯)。

NDP 标准品(白色粉末状, 含量 $\geq 99.0\%$ , 昆明贵研药业有限公司), 用 pH=7.4 的 0.1 mol/L 氯化铵溶液溶解, 配制为 1 mg/mL 的贮备液, 于 4 $^{\circ}\text{C}$  避光密封保存, 使用前用 0.1 mol/L 的氯化铵溶液稀释为一定浓度的标准溶液。NDP 针剂(固体, 规格: 10 mg, 江苏奥赛康药业有限公司)。NDP 生产线初产品(白色晶体, 昆明贵研药业有限公司)。氯化铵、醋酸钠、冰乙酸、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、氯化钾、氢氧化钠、铁氰化钾、亚铁氰化钾等均为优级纯(GR)试剂, 纯度(质量分数) $\geq 99.8\%$ 。实验用水为去离子水。

### 1.2 丝网印刷电极基微电化学池制备

本文设计的丝网印刷电极基微电化学池装置包括丝网印刷电极基片和半圆状槽体两部分, 装置如图 1 所示。丝网印刷电极采用瑞士万通有限公司市售的 DRP-110 丝网印刷电极, 具有尺寸合适圆形三电极区。半圆状槽体采用 1.5 mL 圆底聚丙烯离心试管沿中线垂切开制得, 其圆形部分略大于丝网印刷电极三电极区。将半圆状槽体切面圆形部分正对于丝网印刷电极的圆形三电极区, 外缘与电极基片用紫外光胶粘合, 即可制得一半圆柱状体的丝网印刷电极基微电化学池装置。本法所制备的微电化学池相对于微流控芯片、纸基微电极等已有的丝网印刷电极基微电化学池装置而言, 具有制作简单快速, 材料易得, 成本低廉, 可抛弃式使用等优点。



(a). 装置实物图(Device diagram); (b). 装置组装图(Device assembly drawing)

(1). 丝网印刷电极(Screen-printed electrodes); (2). 半圆状槽体(Semi-circular groove)s

图 1 微电化学池构建图

Fig.1 Miniature electrochemical reaction cell construction diagram

### 1.3 电极活化

使用微量进样器准确移取 100  $\mu\text{L}$  0.05 mol/L 氢氧化钠溶液于微电化学池中，在电位范围-0.8~1.0 V、扫描速度 0.05 V/s、扫描段数 2、采样间隔 0.001 V 的条件下循环伏安法扫描 30 次，用去离子水洗净，风干备用。

### 1.4 电化学测定

微电化学池竖直固定，将其用丝网印刷电极连接线与电化学工作站相连接，使用微量进样器准确移取 100  $\mu\text{L}$  待测试溶液于微电化学池中，进行循环伏安(CV)和差分脉冲伏安(DPV)测定。其中，CV 测定参数为：电位范围-0.8~1.0 V、扫描速度 0.05 V/s；DPV 测定参数为：电位范围-0.2~1.2 V、脉冲宽度

0.04 V、电位增量 0.005 V、振幅 0.05 V、脉冲周期 0.9 s。

## 2 结果与讨论

### 2.1 微电化学池性能分析

用电化学工作站进行测定时，当微电化学池溶液体积达到 0.1 mL，即可完全覆盖三电极区域。以 0.05 mol/L  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6/\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  (1:1)，0.1 mol/L KCl 作为电化学探针溶液，在微电化学池上进行电化学性能测试，并使用常规电化学池(相同电极，溶液量 20 mL)进行对比测试，结果如图 2 所示，得到的分析性能参数列于表 1。

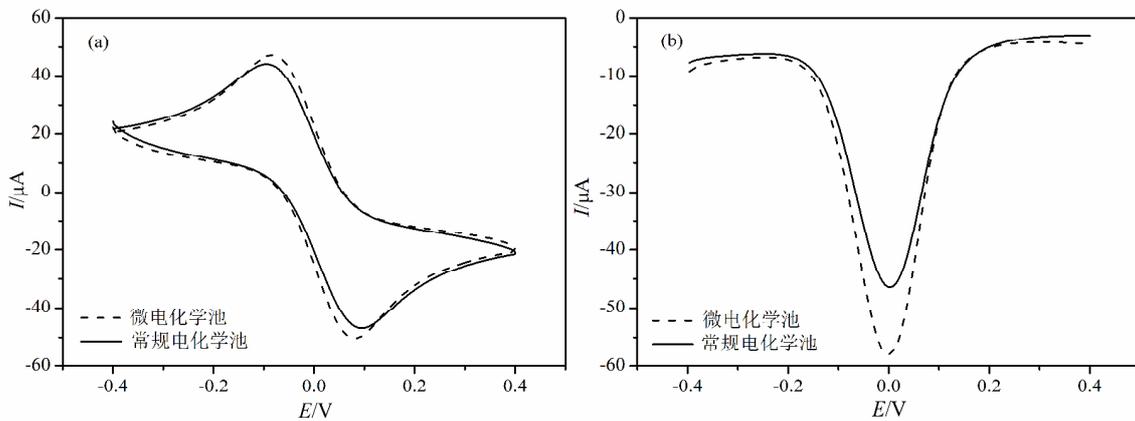


图 2 微电化学池和常规电化学池的循环伏安图和差分脉冲伏安曲线

Fig.2 The CV curves (a) and DPV curves (b) of miniature electrochemical reaction cell and conventional electrochemical cell

表 1 分析性能测定结果( $n=5$ )

Tab.1 Analytical performance measurement results ( $n=5$ )

电池类型	$V/\text{mL}$	CV		DPV	
		$\bar{E}_{pa}/\bar{E}_{pc}$	$\bar{I}_{pa}/\bar{I}_{pc}$	$\bar{I}_{pa}/\mu\text{A}$	RSD/%
微电化学池	0.10	1.02	1.004	-45.9	1.45
常规电化学池	20.0	1.28	1.024	-41.7	3.46

从图 2 中可以看出，微电化学池对探针溶液较常规电化学池具有更好的电化学响应，并在一定程度上改善了对探针溶液 CV 和 DPV 的测试性能。根据表 1 所示结果，与常规电化学池相比，微电化学池的氧化峰电位( $E_{pa}$ )与还原峰电位( $E_{pc}$ )之比变小，氧化峰电流( $I_{pa}$ )与还原峰电流( $I_{pc}$ )之比更接近 1，说明微电化学池中的电化学反应可逆性更好；从 DPV 测定结果看， $I_{pa}$  值较常规电化学池明显增加，更重要的是，微电化学池的测试相对标准偏差(RSD)值比

常规电化学池更低，表明相同条件下微电化学池具有更高的测试精密度。

### 2.2 支持电解质及其酸度的影响

条件试验中以醋酸-醋酸钠溶液、PBS 缓冲溶液、氯化钾溶液和氯化铵溶液作为支持电解质进行对比测定。结果表明：NDP 在 0.1 mol/L 的氯化铵溶液中呈现出一对明显的氧化还原峰，峰形较好，且峰电流值与其浓度呈正比关系。选择 0.1 mol/L 的氯化铵溶液作为支持电解质。

进一步探究了 pH 值对 NDP 电化学行为的影响。pH 值在 5.5~8.5 范围内， $E_{pa}$  和  $E_{pc}$  均随 pH 值的增加而逐渐负移，说明在该 pH 范围内 NDP 在微电化学池中的电化学行为受  $\text{H}^+$  质子的影响较大。 $I_{pa}$  值随 pH 值的增加而呈现先增加后减小的趋势，在 pH=7.4 左右达到最大值，且峰形最好。因此，最佳 pH 值为 7.4。

在优化条件下对 NDP 进行 CV 测定, 结果如图 3 所示。由图 3 可见, 向空白底液(0.1 mol/L 氯化铵溶液, pH=7.40, 虚线)加入 NDP 溶液后, 出现一对明显的准可逆氧化还原峰(实线),  $E_{pa}$  和  $E_{pc}$  分别为 0.61 V 和 0.02 V, 氧化还原峰电位差( $\Delta E$ )为 0.57 V,  $I_{pa}$  与  $I_{pc}$  的比值为 2.03。

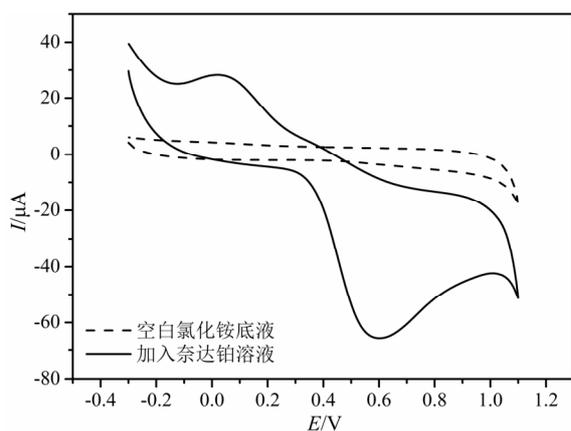


图 3 奈达铂在微电化学池中的循环伏安图

Fig.3 The CV curves of nedaplatin in miniature electrochemical reaction cell

### 2.3 扫描速度的影响

在微电化学池中加入 100  $\mu$ L 一定浓度的 NDP 标准溶液, 探究了扫描速度( $v$ )在 0.01~0.1 V/s 范围内对 NDP 电化学行为的影响, 结果如图 4 所示。

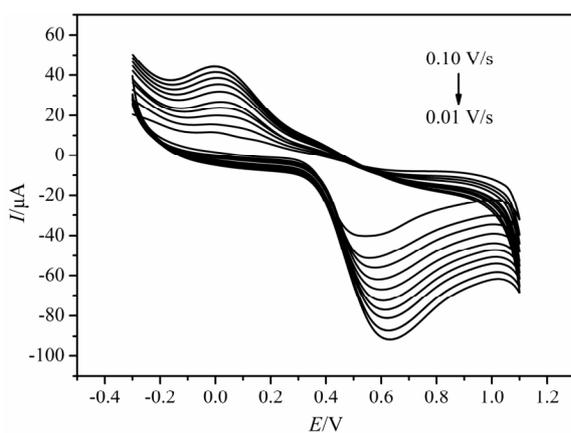


图 4 奈达铂在不同扫速下的循环伏安图

Fig.4 The CV curves of nedaplatin at different scan rate

由图 4 可见,  $I_{pa}$  和  $I_{pc}$  随着  $v$  的增加而均匀增加,  $E_{pa}$  正移,  $E_{pc}$  负移, 且  $I_{pa}$  与  $I_{pc}$  均与  $v$  的平方根成正比, 其线性关系分别为:

$$I_{pa} = 280.12v^{1/2} - 8.28 \quad R^2 = 0.9993 \quad (1)$$

$$I_{pc} = -278.84v^{1/2} + 109.43 \quad R^2 = 0.9996 \quad (2)$$

上述结果表明, 在 0.01~0.1 V/s 的扫速范围内, NDP 在微电化学池电极表面的氧化和还原过程是准可逆过程, 在此范围内受扩散控制。大量重复性实验表明, 当扫速在 0.05 V/s 时, CV 测定的峰形最佳, 重现性好, 因此本实验选择的扫速为 0.05 V/s。NDP 的峰电流( $I_p$ )与  $v$  成线性关系, 根据 Laviron 理论, 有如下关系式:

$$I_p = \frac{n^2 F^2 A T v}{4RT} = \frac{n F Q v}{4RT} \quad (3)$$

式中,  $n$  为电子转移数,  $F$  为法拉第常数,  $A$  为电极表面积,  $T$  为 298 K,  $R$  为摩尔气体常量,  $Q = nFA$  为循环伏安单一过程的峰面积(以电量计)。由上式可知, 在一定扫速下, 通过计算 NDP 的峰面积, 可得出参与电子反应的电子数。因此当  $v = 0.05$  V/s 时, 不同浓度 NDP 参与电极反应的电子数约等于 2。

### 2.4 分析性能及干扰试验

按照 1.4 操作, 用微电化学池对 NDP 进行 DPV 定量分析, 测定了不同浓度的 NDP 在微电化学池中的氧化峰, 结果如图 5 所示。

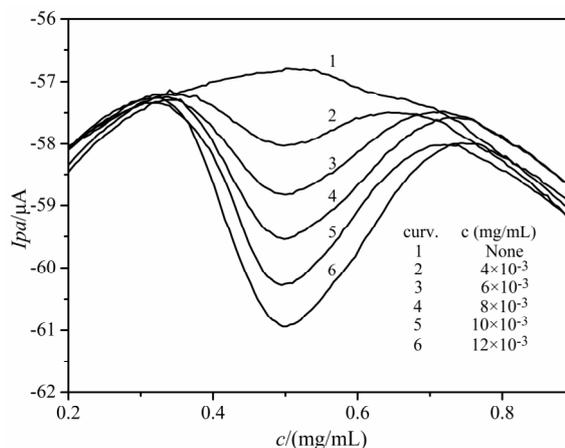


图 5 不同浓度奈达铂的差分脉冲曲线图

Fig.5 The DPV curves of nedaplatin at different concentrations

根据图 5 数据, NDP 的  $I_{pa}$  值与其浓度( $c$ )在  $0.4 \times 10^{-2} \sim 1.2 \times 10^{-2}$  mg/mL 范围内呈现良好的线性关系, 线性方程为  $I_{pa} = -284.57c + 0.0329$  ( $R^2 = 0.9995$ ), 检出限( $3s/b$ )为  $3.97 \times 10^{-4}$  mg/mL。

干扰试验表明, 当干扰水平为 5% 时, 3 倍的 Pt(II), 100 倍的  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^+$ 、 $Mg^{2+}$  和  $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ , 10 倍的  $Fe^{3+}$ 、 $Co^{2+}$  和  $Ni^{2+}$ , 20 倍  $Cu^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$  和  $Cd^{2+}$  不干扰测定结果。

## 2.5 样品测定

模拟注射液使用江苏奥赛康药业有限公司生产的注射剂固体,按照临床注射使用方法,用生理盐水配制为  $0.80 \times 10^{-2}$  mg/mL 的模拟注射液。生产线样品取自昆明贵研药业有限公司 NDP 合成生产线待包装的晶体,用生理盐水溶解配制为  $0.80 \times 10^{-2}$  mg/mL 生产线样品测试溶液。两种样品测定前用 0.1 mol/L 氯化铵溶液(pH=7.4)稀释至一定浓度,根据 1.4 项所述方法进行 DPV 的测定,进行加标回收实验,并与液相色谱方法进行对照,结果如表 2 所列。

表 2 实际样品加标回收实验测定结果( $n=5$ )

Tab.2 Measurement result of actual samples by recovery experiment ( $n=5$ )

样品	编号	测定均值/ ( $10^{-2}$ mg/mL)	RSD/%	加入量/ ( $10^{-2}$ mg/mL)	回收率 /%	HPLC 测定值/ ( $10^{-2}$ mg/mL)
模拟注射液	1	0.88	2.16	0.10	97.4	0.88
	2	1.01	1.38	0.20	101.5	0.97
	3	1.10	1.46	0.30	100.4	1.08
生产线样品	4	0.89	2.18	0.10	98.4	0.86
	5	1.02	1.47	0.20	101.7	0.97
	6	1.14	1.91	0.30	103.8	1.08

根据表 2 的结果,测得模拟注射液和生产线样品的 RSD 在 1.38%~2.18%之间,加标回收率在 97.4%~103.8%范围之间,表明本方法具有良好的准确度和精密度。样品浓度的测定平均值与液相色谱法的结果相近,因此本法可以用于生产、临床使用等过程中 NDP 的定量快速在线测定。

## 3 结论

1) 用市售丝网印刷电极和圆底聚丙烯离心试管制作得到微电化学池。该微电化学池试液容量为 0.1 mL,制作简便,材料易得,成本低廉。

2) 研究了抗癌药奈达铂(NDP)在微电化学池中的电化学特性,考察酸度、支持电解质和扫描速率对循环脉冲和差分脉冲曲线的影响,结果表明微电化学池对探针溶液较常规电化学池具有更好的电化学响应。

3) 采用差分脉冲方法进行 NDP 的定量测定。NDP 浓度  $0.4 \times 10^{-2}$ ~ $1.2 \times 10^{-2}$  mg/mL 范围内,与  $I_{pa}$  值内呈现良好的线性关系,测定结果与液相色谱法测定结果相当。

4) 这一技术可用于企业生产、临床用药等过程中 NDP 的定量快速测定,亦可用于其它铂类药物生产和使用过程中的快速在线分析,并有望拓展到环境、生物等领域的贵金属及稀有金属的微量快速测定。

## 参考文献:

- [1] WU Y, JAMES S. Nedaplatin: A new platinum for squamous lung cancer[J]. The Lancet Oncology, 2015, 16(16): 1573-1574.
- [2] 刘伟平, 张永俐, 孙加林. 铂类抗癌药物展望[J]. 贵金属, 2005, 26(1): 50-55.  
LIU W P, ZHANG Y L, SUN J L. Future development of platinum anticancer drugs[J]. Precious Metals, 2005, 26(1): 50-55.
- [3] 朱宏. 奈达铂治疗恶性肿瘤的临床效果观察[J]. 中国实用医药, 2018, 13(1): 116-117.  
ZHU H. Clinical effect of nedaplatin in the treatment of malignant tumors[J]. China Practical Medicine, 2018, 13(1): 116-117.
- [4] AKAZA H, SAIJO N, AIBA K, et al. Platinum compounds in cancer therapy-past, present, and future[J]. Cancer & Chemotherapy, 2001, 28(5): 625-635.
- [5] 田敬荣, 苗毅, 何新梅, 等. 奈达铂联合 5-氟尿嘧啶新辅助化疗食管癌手术患者的疗效观察[J]. 河北医科大学学报, 2016, 37(8): 897-899.  
TIAN J R, MIAO Y, HE X M, et al. Clinical study of nedaplatin combined with 5-FU in neo-adjuvant chemotherapy for esophageal cancer patients[J]. Journal of Hebei Medical University, 2016, 37(8): 897-899.
- [6] ZHONG L Z, XU H Y, ZHAO Z M, et al. Comparison of efficacy and toxicity between nedaplatin and cisplatin in treating malignant pleural effusion[J]. Onco Targets and Therapy, 2018, 11: 5509-5512.
- [7] KATO H, FUKUCHI M, MANDA R, et al. Efficacy and toxicity of nedaplatin and 5-FU with radiation treatment for advanced esophageal carcinomas[J]. Anticancer Research, 2003, 23(4): 3493-3498.
- [8] 孙俊. 铂类抗肿瘤药物及其临床研究进展[J]. 中国药业, 2008, 17(23): 1-3.  
SUN J. Progress of clinical research on platinum based drugs[J]. China Pharmaceuticals, 2008, 17(23): 1-3.
- [9] 杨水艳, 谢笑天, 叶青松, 等. 铂类抗癌配合物的高效液相色谱法研究进展[J]. 贵金属, 2011, 32(3): 95-103.

- YANG S Y, XIE X T, YE Q S, et al. Research progress of the HPLC method for anti-cancer platinum complexes[J]. *Precious Metals*, 2011, 32(3): 95-103.
- [10] 陈祥峰, 袁玉. RP-HPLC 法测定注射用奈达铂含量及有关物质[J]. *药物分析杂志*, 2008, 28(01): 131-133.
- CHEN X F, YUAN Y. RP-HPLC determination of nedaplatin for injection and its related substances[J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2008, 28(01): 131-133.
- [11] 苏华, 张文静. HPLC 法测定人血清中奈达铂浓度[J]. *药学与临床研究*, 2011, 19(4): 383-384.
- SU H, ZHANG W J. Nedaplatin determination in human serum by HPLC[J]. *Pharmaceutical and Clinical Research*, 2011, 19(4): 383-384.
- [12] 牛玉娟. 奈达铂质量评价方法研究[D]. 辽宁: 大连理工大学, 2014.
- NIU Y J. Evaluation method research of quality for nedaplatin[D]. Liaoning: Dalian University of Technology, 2014.
- [13] OTSUKI Y, KOTANI A, KUSU F. Capillary liquid chromatography with UV detection using N,N-diethyl dithiocarbamate for determining platinum-based antitumor drugs in plasma[J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 2012, 60(5): 665-669.
- [14] SEVINC K, SIBLE A O. Electrochemical carbon based nanosensors: A promising tool in pharmaceutical and biomedical analysis[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2018, 147: 439-457.
- [15] 戴兴德, 张小林. 基于铁氰化钾选择性氧化方波伏安法测定制剂中半胱氨酸和胱氨酸[J]. *药物分析杂志*, 2018, 38(8): 1388-1392.
- DAI X D, ZHANG X L. Square wave voltammetry based on the characteristics of the selective oxidation of potassium ferricyanide for the determination of cysteine and cystine in the potions[J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2018, 38(8): 1388-1392.
- [16] 唐俊彦, 王飞, 李曹龙. 新型电化学传感器在药物电分析化学中的应用[J]. *药学进展*, 2019, 43(6): 446-458.
- TANG J Y, WANG F, LI C L. Application of novel electrochemical sensors in pharmaceutical electro-analytical chemistry[J]. *Progress in Pharmaceutical Sciences*, 2019, 43(6): 446-458.
- [17] YILDIZ G, AYDOGMUS Z, CINAR M E, et al. Electrochemical oxidation mechanism of eugenol on graphene modified carbon paste electrode and its analytical application to pharmaceutical analysis[J]. *Talanta*, 2017, 173: 1-8.
- [18] 叶丽清, 普绍平, 放茂良, 等. 卡铂在多壁碳纳米管玻碳电极上的电化学行为及测定的研究[J]. *贵金属*, 2013, 23(4): 48-52.
- YE L Q, PU S P, FANG M L, et al. Study on the electrochemical behavior of carboplatin at multi-walled carbon nanotubes modified glassy carbon electrode and the determination of carboplatin [J]. *Precious Metals*, 2013, 23(4): 48-52.
- [19] 放茂良, 李乔丽, 刘琼, 等. 顺铂在玻碳电极上的电化学行为及其测定的研究[J]. *药物分析杂志*, 2011, 31(6): 171-173.
- FANG M L, LI Q L, LIU Q, et al. Study on the electrochemical behavior and determination of cisplatin at glassy carbon electrode [J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2011, 31(6): 171-173.
- [20] 闫莉莉, 高云涛, 王振峰, 等. 新型抗癌药甲铂在多壁碳纳米管玻碳电极上的电化学及 DPV 测定研究[J]. *药物分析杂志*, 2012, 32(8): 121-124.
- YAN L L, GAO Y T, WANG Z F, et al. Study on the electrochemical behavior and DPV determination of a novel anticancer drug picoplatin on multi-walled carbon nanotubes modified glassy carbon electrode[J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2012, 32(8): 121-124.
- [21] ASHRAFIA H, HASSANPOUR S, SAADATI A. Sensitive detection and determination of benzodiazepines using silver nanoparticles-N-GQDs ink modified electrode: A new platform for modern pharmaceutical analysis [J]. *Microchemical Journal*, 2019, 145: 1050-1057.
- [22] MARIA A L, OLGA D R. Screen-printed biosensors in drug analysis[J]. *Current Pharmaceutical Analysis*, 2017, 13(2): 169-174.
- [23] 王永秋. 丝网印刷电极在电化学生物传感器上的应用研究[J]. *网印工业*, 2018(3): 50-53.
- WANG Y Q. Application of screen-printed electrodes on electrochemical biosensors[J]. *Screen Printing Industry*, 2018(3): 50-53.
- [24] 王小菊, 王琪, 于艺铭, 等. 纳米银导电油墨的制备及性能研究[J]. *贵金属*, 2019, 40(2): 45-49.
- WANG X J, WANG Q, YU Y M, et al. Preparation and printing performance of nano-silver conductive ink[J]. *Precious Metals*, 2019, 40(2): 45-49.
- [25] 周建红, 令玉林, 司士辉. 丝网印刷电极在食品检测中

- 的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(1): 388.
- ZHOU J H, LING Y L, SI S H. Recent development of application of screen-printed electrodes in food determination[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(1): 388.
- [26] 马庆运. 丝网印刷电极的制备及其电化学性能研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2017.
- MA Q Y. Preparation of screen-printed electrode and its electrochemical properties[D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2017.
- [27] 郑曼曼. 石墨烯及其复合材料修饰丝网印刷电极的制备与应用[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- ZHENG M M. Fabrication and application of graphene and its composite modified screen-printing electrode[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [28] RADI A E, KHAFAGY A, SHOBAKYA A, et al. Anodic voltammetric determination of gemifloxacin using screen-printed carbon electrode[J]. Journal of Pharmaceutical Analysis, 2013, 3(2): 132-136.
- [29] COUTO RAS, LIMA J L F C, QUINAZ M B. Recent developments, characteristics and potential applications of screen-printed electrodes in pharmaceutical and biological analysis[J]. Talanta, 2015, 146: 801-814.
- [30] RODRIGUEZ J, CASTANEDA G, LIZCANO I. Electrochemical sensor for leukemia drug imatinib determination in urine by adsorptive stripping square wave voltammetry using modified screen-printed electrodes[J]. Electrochimica Acta, 2018, 269: 668-675.
- [31] HERL T, TARABA L, BOHM D, et al. Electrooxidation of cytosine on bare screen-printed carbon electrodes studied by online electrochemistry-capillary electrophoresis-mass spectrometry[J]. Electrochemistry Communications, 2019, 99: 41-45.
- [32] FOTINI T, PERIKLIS P, KONSTANTUNOS S, et al. Lab-on-a-screen-printed electrochemical cell for drop-volume voltammetric screening of flunitrazepam in untreated, undiluted alcoholic and soft drinks[J]. Biosensors & Bioelectronics, 2019, 132: 136-142.
- [33] GISELA R V, TERESA G B, MONTANER J, et al. Paper microfluidics on screen-printed electrodes for simple electrochemical magneto-immunosensor performance[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2019, 298: 126897.
- [34] YOON Y J, LI K H H, LOW Y Z, et al. Microfluidics biosensor chip with integrated screen-printed electrodes for amperometric detection of nerve agent[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2014, 198: 233-238.

\*\*\*\*\*

## 《贵金属》征稿简则

作者投稿请登录本刊网站, 按模板格式灌文后将稿件发至本刊邮箱。编辑部在检查和检测后回复收稿信息, 审稿完成后(一般 1 个月内)会尽快通知作者。投稿后如未收到反馈信息, 请通过邮件或电话了解情况。

1) 来稿篇幅一般在 12000 字以内。论文文责自负, 应保证数据真实, 论证合理, 结果可靠。

### 2) 文章格式

① 中英文题目: 简洁切题。中文题目一般控制在 20 字以内; 英文题目不宜过长, 实词首字母大写。

② 中英文摘要: 简述研究目的、方法、结果及结论(150~250 字), 中英文摘要内容宜对应一致。

③ 中英文关键词: 3~6 个。

④ 作者简介: 文稿首页附第一作者和通讯作者简要信息, 包括姓名、性别、学历、职称、研究方向和 E-mail。若论文属基金项目, 应提供基金项目类别(项目编号)。

⑤ 正文: 结构布置合理, 文字简练通顺, 引用资料应注明参考文献序号。

⑥ 图表: 图表应清晰简介, 紧随相应的文字说明, 并提供中英文的图题和表头。图表内的符号和单位量值采用国际单位制。

⑦ 英文稿件: 英文稿件须附相应的中文题名、单位、摘要和图题、表头。国内作者投英文稿件时请随附 **论文中文译稿**。

### 3) 参考文献著录格式

① 执行 GB/T 7714-2015, 采用顺序编码制。

② 非英文文献采用**双语题录**。为便于国际检索, 需提供参考文献的原文英文题录。

③ 参考文献中外作者的姓名均采用“姓前名后”的格式, 最多保留前 3 名作者。英文姓名全部使用大写字母, 名可采用首字母简写形式。

4) 作者联系方式: 需提供作者联系方式。