

多壁碳纳米管固定化生物酶修饰电极检测杂色曲霉素的初步研究

姚冬生¹ 文圣梅¹ 刘大岭^{1*} 谢春芳¹ 白 燕² 冉艳红¹

(¹ 暨南大学 生命科学技术学院 生物技术室; ² 暨南大学 生命科学技术学院 化学系分析化学教研室 广州 510632)

摘 要 杂色曲霉素(ST)是一种致癌致畸的真菌毒素,已报道的检测 ST 的技术有 TLC、HPLC、ELISA 以及毒素基因的 PCR 检测技术。初步探索了酶生物传感器三电极系统对 ST 的电化学分析。在实验中,应用多壁碳纳米管作为分子识别元件 ADTZ 的固定化基质和传感器的电子传递体构建了 Au 工作电极,对 ST 进行 CV 和 DPV 分析,结果表明 ST 在 -600mV 位置有一明显的特征还原峰电位,线性检测范围是 $8.32 \times 10^{-5} \sim 66.56 \times 10^{-5}$ mg/mL,检测下限为 8.32×10^{-5} mg/mL,响应时间 10s,为进一步的研究打下良好的基础。

关键词 杂色曲霉素,多壁碳纳米管,酶,传感器

中图分类号 Q503 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3061(2004)04-0601-06

杂色曲霉素(Sterigmatocystin, ST)是日本学者初田勇一等 1954 年从杂色曲霉(*Aspergillus versicolor*)菌丝体中首先分离并命名的^[1],是真菌中黄曲霉毒素合成途径的前体(sterigmatocystin(ST)—O-methylsterigmatocystin(OMST)—AFB1)^[2],结构酷似黄曲霉毒素(Aflatoxin, AFT)。但杂色曲霉素由于污染含量高,危害性高于黄曲霉毒素,与地区性肝癌、胃癌、食道癌的发生呈很大的正相关性^[3]。目前已报道的检测杂色曲霉素的方法有:薄板层析(TLC),酶联免疫吸附测定(ELISA),高效液相色谱(HPLC),毒素基因的 PCR 检测等^[4-12]。电化学检测杂色曲霉素还尚未见报道。

本实验室在先前的研究证明黄曲霉毒素解毒酶(Aflatoxin-detoxinifzyme, ADTZ)对 AFT 有良好的解毒作用,并且发现 ADTZ 对 ST 也有相似的催化作用^[13,14]。本研究利用该酶作为杂色曲霉素的分子识别元件,并且利用羧化多壁碳纳米管做酶固定化载体及中间电子传递体构建金工作电极,探讨用三电极系统电分析方法检测杂色曲霉素的可行性。

1 材料和方法

1.1 仪器与试剂

原子力显微镜(AUTOPROBE CP RESEARCH,

THERMO 公司,USA),透射电镜(TECNAI 10, Philips, Heland),电化学分析仪(BAS100, BAS 公司, USA),三电极系统:参比电极为 Ag/AgCl 电极,对电极为 Pt 丝电极(BAS-100 配置);工作电极: Au 电极(天津兰力科技公司),pH 计(METTLER TOLEDO 320-S, 上海, 中国),多壁碳纳米管(Multi-wall carbon nanotube, MWNT)购自深圳纳米港,超速冷冻离心机(Sorvall® RC-5B, Dupont, USA),杂色曲霉素(Sterigmatocystin, ST)购自 Sigma 公司,其它试剂均为国产分析纯试剂,所有实验均在室温下进行。

1.2 羧化多壁碳纳米管溶液的制备^[15,16]

将 MWNT 用王水(浓硝酸:浓硫酸 = 1:3)回流 9 ~ 10h, 10 000g, 15min 离心,弃上清,用二次蒸馏水清洗沉淀, 10 000g, 15min 离心,重复此步骤 2 次。置于烘箱中烘干。然后称取上述 1mg 羧基化的 MWNT 溶于 10mL 的二甲基甲酰胺(DMF)中,超声波搅拌均匀后,配成 0.1mg/mL 的溶液。

1.3 酶液的制备

ADTZ 的制备参照 Liu 等报道方法^[17]。酶液浓度 0.189 μ g/ μ L,活力为 300u(以 ST 在波长 230nm 处的紫外最大吸收值下降一个单位所需的酶量为酶的活力值)。

收稿日期 2003-12-12, 修回日期 2004-03-22。

基金项目 国家自然科学基金(No.39970664)及广东省自然科学基金重点项目(No.010418)资助。

* 通讯作者。Tel: 86-20-85228422; Fax: 86-20-85226223; E-mail: tldl@jnu.edu.cn

© 中国科学院微生物研究所期刊联合编辑部 http://journals.im.ac.cn

1.4 MWNT 修饰酶电极的制备^[18,19]

将 Au 电极以牙膏、硅藻土在绒布上打磨至光亮,并依次在丙酮、0.5mol/L 的 NaOH 溶液、1:1 浓硝酸以及双蒸水中超声波清洗,每次 3~5min,将 10 μ L MWNT 溶液滴加在电极表面,置于 60 $^{\circ}$ C 烘箱中烘干成膜后,将电极置于酶液中 4 $^{\circ}$ C 冰箱中过夜,用之前用 PBS 缓冲液冲洗电极 3 次,洗去电极表面未固定上的酶。

1.5 MWNT 修饰 ADTZ 酶电极对杂色曲霉素的电化学响应^[20,21]

在电位范围 -1000mV~1000mV,10mL 的 0.1mol/L,NaH₂PO₄-Na₂HPO₄(PBS),pH6.0 含 0.1g/L KCL 支持电解质的缓冲液中,用 BAS-100 Electrochemical analyzer 进行循环伏安(CV)研究和示差脉冲伏安(DPV)研究,扫描速率 100mV/s。分别检测裸金电极、MWNT 修饰电极和 MWNT 固化 ADTZ 修饰电极对杂色曲霉素的响应情况。

2 结果

2.1 羧化处理前后的 MWNT 的透射电镜显微图

将经王水处理过和未经王水处理过的 MWNT 滴加到铜网上干燥后用透射电镜(TEM)观察羧化多壁碳纳米管开管情况。图 1 显示的是未经强酸切割的 MWNT,可被视为线性分子,端头为球形的凸起结构。图 2 为经强酸切割后的 MWNT,由图中可以看到有多处碳纳米管的开口。据资料报道,强酸切割开口的 MWNT 顶端会具有一定数量的羧基、羟基等活性基团,为利用酶对它进行化学修饰提供更大的电化学活性。

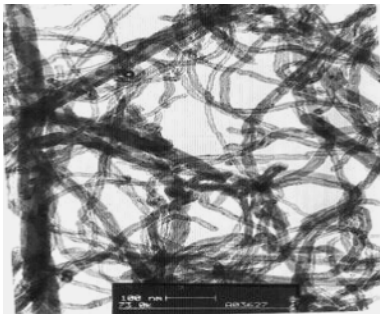


图 1 强酸切割前的 MWNT 的 TEM 图

Fig. 1 The TEM of MWNT before acid treatment

2.2 羧化前后 MWNT 固化 ADTZ 电极表面原子力电镜显微图

用原子力电子显微镜(AFM)观察电极表面羧化 MWNT 和用酶修饰羧化后的 MWNT 的情况,结果表明羧化 MWNT 在工作电极 Au 电极表面形成厚度为

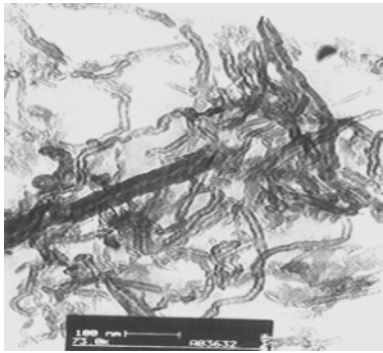


图 2 强酸切割后的 MWNT 的 TEM 图

Fig. 2 The TEM of MWNT after acid treatment

0.030pm(10^{-12} m)表面均一性良好的薄膜,用羧化 MWNT 修饰的 Au 电极对电解支持液扫描得到的基线平稳光滑(见图 3)。用 ADTZ 修饰的羧化 MWNT 的 Au 电极表面 AFM(图 4)显示电极表面膜不均一,厚度达到 0.084 pm,比未用酶修饰前厚度增加了 0.054 pm,说明 ADTZ 已吸附在 MWNT 上。该膜的厚度不均一是由于 ADTZ 自组装均一性功能不如纳米材料 MWNT。

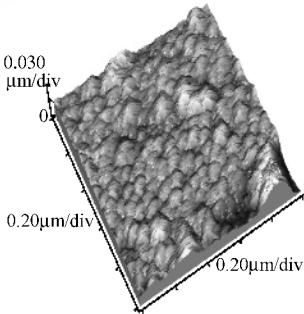


图 3 MWNT 的 Au 电极表面的 AFM 图

Au 电极表面的 AFM 图, μ m/div 表示微米/格

Fig. 3 The AFM of the Au surface with MWNT the Au surface with ADTZ-immobilized MWNT; μ m/div " represents micromete per division

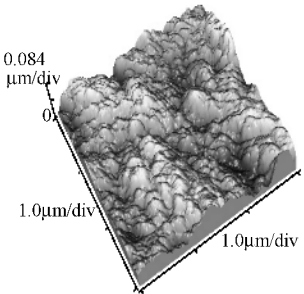


图 4 MWNT 固化 DATZ 的 Au 电极表面的 AFM 图,

μ m/div 表示微米/格

Fig. 4 The AFM of the Au surface with ADTZ-immobilized MWNT; μ m/div " represents micromete per division

2.3 MWNT 固化 ADTZ 修饰 Au 电极的电化学行为

在 pH6.0 的电解质缓冲液和含有一定浓度 ST 的电解质缓冲液中,用裸金电极、MWNT 修饰电极和 MWNT 固化 ADTZ 修饰电极在电位范围 1000mV ~ -1000mV,扫描速率 100mV/s 条件扫描时,图 5、图 6 显示在含有与不含有 ST 的缓冲液中裸金电极和 MWNT 修饰电极的循环伏安图谱基本一致,表明这两个电极对底物杂色曲霉素均没有电化学响应。而图 7 显示,对比于在不含有 ST 缓冲液中的循环伏安图,用羧化 MWNT 固化 ADTZ 后的电极在 -600mV 对杂色曲霉素有一个很明显的特征峰电位电流响应值。

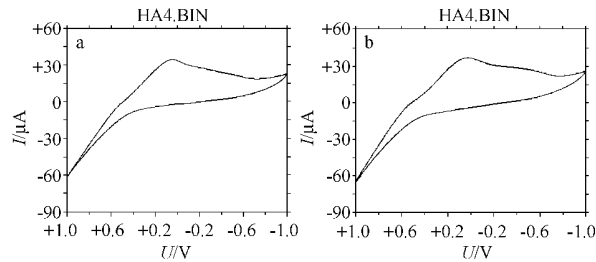


图 5 裸 Au 电极电 PBS 及 ST 溶液的循环伏安图
Fig. 5 Cyclic voltammogram of PBS and ST solution with bare Au electrode

a the scanning of pH6.0 PBS solution (scan rate :100mV/s) b the scanning of 4.16×10^{-3} mg/mL ST in pH6.0 PBS between ± 1000 mV (scan rate :100mV/s)

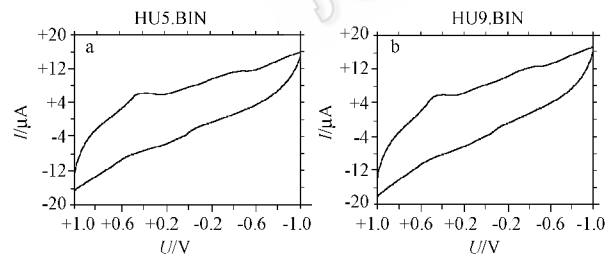


图 6 MWNT 修饰的 Au 电极电 PBS 及 ST 溶液扫描的循环伏安图

Fig. 6 Cyclic voltammogram of PBS and ST solution with MWNT-modified Au electrode

a the scanning of pH6.0 PBS solution (scan rate :100mV/s) b the scanning of 4.16×10^{-3} mg/mL ST in pH6.0 PBS between ± 1000 mV (scan rate :100mV/s)

2.4 MWNT 固化酶电极对不同浓度的 ST 的示差脉冲伏安法 (DPV) 扫描

图 8 为 0.1mol/L, pH6.0, 含 0.1g/L KCl 的 PBS 缓冲液中,不同浓度的 ST 在 MWNT 固化 ADTZ 修饰电极上的 DPV 图。ST 浓度与峰电流的关系如图 9

所示。当 ST 的浓度在 $8.32 \times 10^{-5} \sim 66.56 \times 10^{-5}$ mg/mL 范围时,峰电流随着 ST 浓度的增加而上升;在 $8.32 \times 10^{-5} \sim 33.28 \times 10^{-5}$ mg/mL 间,峰电流和 ST 浓度成良好的线性关系,线性方程为 $i_p = 0.0098C + 1.786$, $R^2 = 0.9947$;而当 ST 的浓度在 $33.28 \times 10^{-5} \sim 66.56 \times 10^{-5}$ mg/mL 时,峰电流已趋于平缓;ST 的浓度大于 66.56×10^{-5} mg/mL 时,峰电流随 ST 浓度的增加而下降。ST 的峰电位在 -600mV 位置与循环伏安对 ST 扫描所得峰电位在 -600mV 的结果相一致。

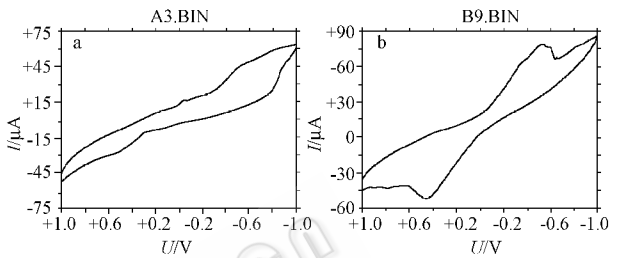


图 7 固化 ADTZ 的 MWNT 修饰 Au 电极的循环伏安图

Fig. 7 Cyclic voltammogram of PBS and ST solution with Au electrode modified by MWNT with ADTZ-immobilized

a the scanning of pH6.0 PBS solution (scan rate :100mV/s) b the scanning of 4.16×10^{-3} mg/mL ST in pH6.0 PBS between ± 1000 mV (scan rate :100mV/s)

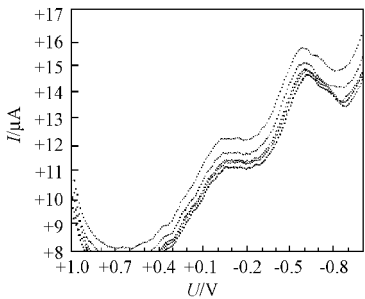


图 8 MWNT 固化酶电极对不同浓度的 ST 的示差脉冲伏安法 (DPV) 扫描图

Fig. 8 DPV response of Au electrode modified by MWNT with ADTZ-immobilized to various ST concentration

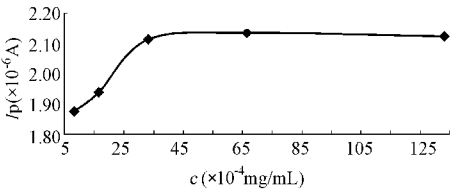


图 9 峰电流对于 ST 浓度的关系

Fig. 9 The relationship of the peak current I_p against the concentration of ST

3 讨论

杂色曲霉素是一类与黄曲霉毒素化学结构近似的化合物,其基本结构是由双呋喃环与氧杂蒽醌连接组成,化合物结构见图 10^[22-24]。因含有大环共轭体系,热稳定性非常好,分解温度高达 280℃^[24]。

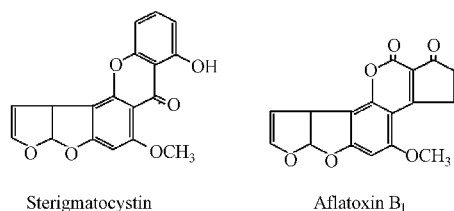


图 10 ST 及 AFB₁ 的化学结构

Fig. 10 The chemical structures of sterigmatocystin and aflatoxin B₁

在报道的检测 ST 技术中,TLC 是最早应用的方法,操作步骤繁琐,灵敏度低。HPLC 灵敏度相对较高,但需要昂贵的仪器和试剂,以及专业熟练的操作人员,检测周期较长。ELISA 需要昂贵试剂以及专业熟练的操作人员,检测周期较长。PCR 技术不是直接检测 ST,使用的局限性较明显。循环伏安法素有“电化学谱”之称,是一种简便的定性方法,对于一个新的体系,在两分钟内即可得到很多信息,常被用来分析电化学反应以及电化学反应之外还存在其他化学反应的过程和机理。该方法扫描速度快,只需在荧光屏上直接读取峰高,只需几秒或几十秒钟就可以得到结果,具有灵敏度高、响应快的优点^[25]。生物酶分子具有很高的催化性和较强的特异性,能在含有较多杂质的测试物中特异识别专一性的底物,利用酶作为生物传感器的分子识别元件构建酶生物传感器可大大提高测试的效率,越来越受到广泛的重视。

酶生物传感器的发展和性能很大程度上依赖于用来构建的材料,构建传感器材料的物化性质以及固化酶的基质,固化剂以及中间电子介体^[26]。经王水氧化回流 10h 的 MWNT 末端大多数开管^[27],表面被活化极易引入 -COOH, -OH 和其他类似的氧化基团^[15,28],这些基团对于酶的固定或稳定非常有用,并且碳纳米管具有金属和导体的性质^[29],所以碳纳米管可以同时充当酶固载体和电子传递体。1998 年 Stanislaus 在 Nature 杂志上报道了共价修饰的纳米管作为纳米探针在生物和化学领域的应用。在本研究中用 TEM 观察了经王水硝化处理的 MWNT 以及 AFM 观察了 MWNT 修饰电极的表面,发现有很多

酶分子附在羧化开管处理的 MWNT 上,证实了羧化后的 MWNT 能很好地固化生物酶大分子,并通过 MWNT 的自组装吸附在工作电极上。过往的文献报道羧化 MWNT 修饰电极可直接检测溶液中的溶质,如神经递质多巴胺和 5-羟色胺,以及细胞色素 C 等^[15,16,18],但在本研究中未固定有 ADTZ 的 MWNT 修饰电极与裸 Au 电极一样未能检测到缓冲液中的 ST(如图 5 和 6),而用 MWNT 固化 ADTZ 酶修饰电极在 -600mV 位置检测到了 ST 的还原峰电位,响应时间为 10s,检测下限为 8.32×10^{-5} mg/mL,如图 7,且多次的重现良好。这些可能与 ST 分子的稳定性较高有关,直接的电极电催化不足以产生 MWNT 修饰电极可检测氧化电流,需要在酶的催化下活化才产生可检测氧化电流。单纯的 MWNT 修饰电极不能完成 ST 的检测。MWNT 固化酶电极对不同浓度的 ST 进行示差脉冲伏安法(DPV)扫描,初步对 ST 进行定量分析,浓度与电流有很好的线性关系,相关系数达到 0.9947,如图 9。这些结果为以后进一步的优化检测条件,降低检测下限值提供了良好的研究基础。

以上的研究结果表明用 ADTZ 作为杂色曲霉素的分子识别元件,羧化多壁碳纳米管做酶固定化基质及中间电子传递体构建的金工作电极,检测缓冲液中的 ST 的方法是可行的,技术简便,为检测 ST 探讨了一个新方法,但在本文的条件下检测灵敏度还不够理想,有待进一步的研究。

致谢:本文在完成的过程中原子力电子显微镜和透射电镜的检测工作得到暨南大学实验技术中心郭敬文、唐福星、梁志红老师帮助,电化学检测方面得到了暨南大学生命科技学院化学系实验中心在仪器设备上的支持,在实验过程中还得到李蕊同学的帮助,在此表示感谢!

REFERENCES(参考文献)

- [1] Zhao BY(赵宝玉),Sha YB(沙勇波),Cao GR(曹光荣). The studying developments about sterigmatocystin. *Chinese Journal of The Animal Medical Development* (动物医学进展),1997,18(2):18-21
- [2] Bhatnagar D,Cleveland TE,Kingston DG. Enzymological evidence for separate pathways for aflatoxin B₁ and B₂ biosynthesis. *Biochemistry*, 1991,30(17):4343-4350
- [3] Reijula K,Tuomi T. Mycotoxins of Aspergill;exposure and health

- [4] Scudamore KA , Hetmanski MT , Clarke PA *et al.* Analytical methods for the determination of sterigmatocystin in cheese , bread and corn products using HPLC with atmospheric pressure ionization mass spectrometric detection. *Food additives and contaminants* ,1996 , **13** (3) : 343 – 358
- [5] Huang HC(黄化成) , Zhao ZX(赵尊行) , Li YH(李寅宾) . Studies on simultaneous determination of aflatoxin B₁ and sterigmatocystin in feed by high performance liquid chromatography. *Chinese Journal of Chromatography* ,1994 , **12** (4) : 299 – 300
- [6] Carlson MA , Barger Carlson CB , Barger MA *et al.* An automated , handheld biosensor for aflatoxin. *Biosensors & Bioelectronics* , 2000 , **14** (11) : 841 – 848
- [7] Elena Butnaru , Cotrau M , Coman I. Investigation of mycotoxins from vegetable drugs. *Toxicology Letters* , 1995 , **78** (Supplement 1) : 24
- [8] <http://www.food169.com/fs/fs-txt/jyff/57.htm>
- [9] <http://www.brinsbio.com/product/elisa/history.html>
- [10] Lou JI(楼建龙) , Guo ZQ(郭振泉) , Meng ZH(孟昭赫) . Preparation and identification of monoclonal antibody against sterigmatocystin. *Journal of Chinese Preventive Medicine* (中华预防医学杂志) , 1995 , **29** (2) : 92 – 95
- [11] Färber Paul , Geisen Rolf , Holzapfel WH. Detection of aflatoxinogenic fungi in figs by a PCR reaction. *International Journal of food microbiology* , 1997 , **36** (2 – 3) : 215 – 220
- [12] Mayer Zsuzsanna , Bagnara Angelo , Farber Paul *et al.* Quantification of the copy number of nor-1 , a gene of the aflatoxin biosynthetic pathway by real-time PCR , and its correlation to the cfu of *Aspergillus flavus* in foods. *International Journal of Food Microbiology* , 2003 , **82** (2) : 143 – 151
- [13] Liu DI(刘大岭) , Yao DS(姚冬生) . A novel micro-enzyme—aflatoxin-detoxifzyme. The Papers Collection of the Chinese Enzymology and Enzyme Engineering Development Symposium (酶学与酶工程发展方向讨论会论文集) , 2001 , pp. 29 – 33
- [14] Liu Da-Ling , Yao Dong-Sheng , Liang Ren *et al.* Detoxification of Aflatoxin B₁ by enzymes isolated from *Armillariella* sp. *Food and Chemical Toxicology* , 1998 , **36** : 563 – 574
- [15] Liu Jie , Rinzler Andrew G , Dai Hongjie *et al.* Fullerene pipes. *Science* , 1998 , **280** : 1253 – 1256
- [16] Wang Jianxiu , Li Meixian , Shi Zujin *et al.* Electrocatalytic oxidation of 3,4-dihydroxyphenylacetic acid at a glassy carbon electrode modified with single-wall carbon nanotubes. *Electrochimica Acta* , 2001 , **47** : 651 – 657
- [17] Liu Da-Ling , Yao Dong-Sheng , Liang Yu-Qiang *et al.* Production , purification , and characterization of an intracellular aflatoxin-detoxifzyme from *Armillariella* (E-20) . *Food and Chemical Toxicology* , 2001 , **39** : 461 – 466
- [18] Britto PJ , Santhanam KSV , Ajayan PM. Carbon nanotube electrode of dopamine. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* , 1996 , **41** : 121 – 125
- [19] Wang GY(王歌云) , Wang ZH(王宗花) , Xiao SH(肖素芳) *et al.* Electrocatalytic separation for dopamine and epinephrine at multi-wall carbon nanotube modified electrode. *Chinese Journal of Analytical Chemistry* (分析化学杂志) , 2002 , **22** (3) : 7 – 13
- [20] Joshua Oni , Tebello Nyokong. Simultaneous voltammetric determination of dopamine and serotonin on carbon paste electrodes modified with iron(II) phthalocyanine complexes. *Analytica Chimica Acta* , 2001 , **434** : 9 – 21
- [21] Garjonyte R , Malinauska A. Amperometric glucose biosensor based on Prussian Blue- and polyaniline-glucose oxidase modified electrodes. *Biosensor & Bioelectronics* , 2000 , **15** : 445 – 451
- [22] Brown MP , Brown-Jenco CS , Payne GA. Genetic and molecular analysis of aflatoxin. *Biosynthesis Fungal Genetics and Biology* , 1998 , **26** : 81 – 98
- [23] Michael J Sweeney , Alan DW Dobson. Molecular biology of mycotoxin biosynthesis. *FEMS Microbiology Letters* , 1999 , **175** : 149 – 163
- [24] Liu DI(刘大岭) , Yao DS(姚冬生) , Liang R(梁仁) . The advance development of aflatoxins and its removal or transformations. *Foreign Medical Sciences the Hygienics Section* (国外医学卫生学分册) , 1998 , **25** (1) : 9 – 16
- [25] Anson F , Gao XX(高小霞) , Huang WZ(黄慰曾) *et al.* Electrochimica and Electronic Analytica Chimica (电化学和电分析化学) . Beijing : Beijing University Press (北京大学出版社) , 1983 , 1st ed , pp. 7 – 29
- [26] Sotiropoulou S , Gavalas VG , Chaniotakis NA *et al.* Novel carbon materials in biosensor system. *Biosensors & Bioelectronics* , 2003 , **18** : 211 – 215
- [27] Wang MW(王敏伟) , Peng NQ(彭年才) , Li FY(李凤仪) . Studies on oxidation method of purifying and opening carbon nanotubes with HNO₃. *Jiangxi Science* (江西科学) , 2002 , **20** (4) : 203 – 206
- [28] Stanislaus S Wong , Ernesto Joselevich , Adam T Woolley *et al.* Covalently functionalized nanotubes as nanometresized probes in chemistry and biology. *Nature* , 1998 , **394** (6688) : 52 – 55
- [29] Odom Teri Wang , Huang Jin-Lin , Kim Philip *et al.* Atomic structure and electronic properties of single-walled carbon nanotubes. *Nature* , 1998 , **391** (6662) : 62 – 64
- [30] Lou Jian-Long , Meng Zhao-He , Wang Dian-Sheng. Production and characterization of sterigmatocystin. *Biomedical and Environmental Sciences* , 1994 , **7** (4) : 293 – 301

The Primary Study on the Detection of Sterigmatocystin by Biologic Enzyme Electrode Modified with the Multiwall Carbon Nanotubes

YAO Dong-Sheng WEN Sheng-Mei LIU Da-Ling* XIE Chun-Fang BAI Yan RAN Yan-Hong

(Life Science and Technology College, Ji-nan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract Sterigmatocystin (ST), the secondary metabolite of many kinds of filamentous fungi, is a potent carcinogen structurally related to the aflatoxins (AFT). With similar chemical structure, sterigmatocystin behaves much the homogeneous properties to aflatoxins, both of these mycotoxins exhibit similar biological properties due to their bisfuranoid structure. Since the common, and even heavier pollution, found in foods and feeds-stuff, sterigmatocystin is more harmful than aflatoxins. The reported detection methods of sterigmatocystin included the Thin-layer Chromatography, the High-Performance-Liquid Chromatography, the Enzyme-Linked Immunosorbant Assay and the PCR detection to the toxic gene, however studies about both easy and inexpensive electro-chemical methods have not been found.

Our previous studies had discovered that Sterigmatocystin (ST) exist similar sensitivity towards aflatoxin-detoxifzyme (ADTZ), which we had isolated from a fungus, as aflatoxin does. In this work, the preliminary study on electrochemical analysis and determination of ST with triplet electrode enzyme-biosensor system (Ag/AgCl as the reference electrode, Pt and Au as the pair and work electrode, respectively) was carried out. Multiwall-carbon-nanotube (MWNT) had been used to increase the electron transportation on electrode. In the research, the Au electrode was modified by MWNT-immobilized ADTZ, and then the voltammetric behavior of ST was studied by means of cyclic voltammogram analysis and different pulse analysis. Autoprobe CP Research Atomic Force Microscope and TECNAI 10 Transmission Electron Microscope had been used to detect the MWNT as well as the surface of MWNT-modified ADTZ. The voltammetric behavior of ST was studied by means of cyclic voltammogram analysis and different pulse analysis. The results show that the red-ox peak potential of ST is at the point of -600mV , the linear detection range is from 8.32×10^{-5} to $66.56 \times 10^{-5} \text{mg/mL}$, the detection limit is at $8.32 \times 10^{-5} \text{mg/mL}$, and the response time is 10 seconds. This study provided a good basic work for further research.

Key words sterigmatocystin, multiwall-carbon-nanotube, enzyme, biosensor

Received: 12-12-2003

This work was supported by Grants from National Natural Science Foundation of China (No. 39970664), Natural Science Foundation of Guangdong Province, Key Project (No. 010418).

* Corresponding author. Tel: 86-20-85228422; Fax: 86-20-85226223; E-mail: lldl@jnu.edu.cn © 中国科学院微生物研究所期刊联合编辑部 <http://journals.im.ac.cn>