氮掺杂碳点的制备及其对阿莫西林高灵敏检测

弓　辉　康　玉　张　荣　任国栋　侯笑雨　张　敏
李丽红　刘　文　王浩江　刁海鹏*
（山西医科大学基础医学院　太原 030001）

摘　要　以天然物质石斛为原料，一步水热法合成高荧光量子产率的氮掺杂碳点（NCDs），通过透射电子显微镜（TEM）、X 射线光电子能谱（XPS）、傅里叶变换红外光谱（FT-IR）、紫外-可见光吸收图谱（UV-Vis）及荧光光谱（PL）对合成的 NCDs 进行表征。实验结果显示合成的 NCDs 发强烈的蓝色荧光，呈现为球形或准球形，均匀分散，尺寸范围在 1 ~ 5 nm；其表面含有丰富的 COOH、OH 和 NH_2 等水溶性基团，最佳激发和发射波长分别为 350 和435 nm，且具有良好的发光稳定性。通过测定，合成的 NCDs 的荧光量子产率高达 29. 19%。在 pH = 7. 4 的缓冲溶液中测定不同物质对 NCDs 的荧光影响，相同条件下发现只有阿莫西林能够对 NCDs 荧光进行明显猝灭，表明合成的 NCDs 可选择性的识别阿莫西林，通过 NCDs 的荧光强度变化构建一种可灵敏检测阿莫西林的传感器，检测线性范围为 2. 6 ~ 30 μmol/L，检出限为 0. 15 μmol/L。

关键词　氮掺杂碳点；高荧光量子产率；荧光猝灭；阿莫西林
中图分类号：O613　　文献标识码：A　　文章编号：1000-0518（2020）02-0227-08
DOI：10. 11944/j. issn. 1000-0518. 2020. 02. 190226

阿莫西林是一种最常用的广谱 β-内酰胺类抗生素，属于半合成青霉素类，其在酸性条件下稳定，故在胃肠道吸收率高达 90%，其化学结构式如图 1 所示。阿莫西林杀菌作用强且易穿透细胞膜，口服后其分子中内酰胺基团发生水解并生成肽键，可与菌体内的转肽酶发生作用使之失去活性，从而切断了菌体依靠转肽酶合成糖肽用来构筑细胞壁的唯一路径，最终细菌因细胞壁被损坏，水份不断渗透而胀裂死亡。阿莫西林对大多数革兰氏阴性和阳性细菌感染引起的疾病有很好的疗效，用以治疗伤寒、其他沙门菌感染及伤寒带菌者可达到满意疗效[1-3]。

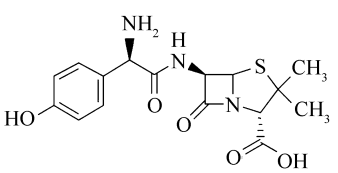


图 1　阿莫西林的化学结构
Fig. 1　Chemical structure of amoxicillin

虽然阿莫西林是非常有效的广谱抗菌药物，但过度使用对人体（如过敏、毒性和双重感染）和环境都是有害的，而过度使用抗生素，甚至会导致耐药菌的出现和传播[4-5]。目前已有很多方法检测阿莫西林，例如高效液相色谱法、质谱和电化学技术等方法，但这些技术有很多缺点，包括测定的检出限不理想，仪器昂贵以及检测过程繁琐等等。因此，有必要开发一种快速有效的分析方法来灵敏和选择性地检测微量阿莫西林的存在。

碳点（CDs）是一种具有球形或准球形的发光碳纳米材料，其拥有易制备、发光稳定、低毒性和水溶性好等众多优点，目前应用于很多领域，包括催化、生物成像、传感及载送药物等等。尤其在传感领域表

2019-08-23 收稿，2019-10-16 修回，2019-11-05 接受
国家自然科学基金（21705104）、山西省重点研发计划项目（201703D321015-2）和山西省自然科学基金（201701D221064）资助
通讯联系人：刁海鹏，教授；Tel：0351-3985152；E-mail：diaohp@ sxmu. edu. cn；研究方向：发光纳米材料的制备及生物应用

现尤为出众,目前文献报道可检测一些金属离子、阴离子和一些小分子化合物(例如透明质酸,谷胱甘肽和四环素等等),检测主要通过荧光猝灭的方法测定[6-11]。本文使用一种绿色天然物质石斛为原料,一步水热法合成了高荧光量子产率的氮掺杂的 CDs(NCDs),合成的 NCDs 具有优良的光学性质,最重要的是可以灵敏检测阿莫西林,检出限低至 0.15 μmol/L。

1 实验部分

1.1 试剂和仪器

石斛(市售,安徽霍山);$AgNO_3$、KCl、NaCl、$CaCl_2$、$CoCl_2$、$CdCl_2$、$FeCl_2$、$CuCl_2$、$NiCl_2$、$Hg(NO_3)_2$、$MnCl_2$、$MgCl_2$、$ZnCl_2$、$PbCl_2$、$AlCl_3$、$CrCl_3$、$FeCl_3$、NaH_2PO_4和 Na_2HPO_4均为分析纯试剂,购自于上海阿拉丁生化科技股份有限公司;氟苯尼考、阿莫西林、罗红霉素、甲硝唑、氯霉素和红霉素均为分析纯试剂,购自于北京索莱宝科技有限公司。实验用水均为二次蒸馏水。

TECNAI G2 F20 型透射电子显微镜(TEM,美国 FEI 公司);EscaLab-250xi 型 X 射线光电子能谱(XPS,美国 Thermo 公司); Varian 640 型傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR,美国 Varian 公司);UV-6100 型紫外可见分光光度计(UV-Vis,上海美谱达仪器有限公司);Cary Eclipse 型荧光分光光谱仪(PL,美国 Varian 公司);pHSJ-3F 型实验室 pH 计(上海仪电科学仪器股份有限公司);DZF-6050 型真空干燥箱(上海博讯实业有限公司医疗设备厂)。

1.2 NCDs 的合成

称取干石斛 0.5 g 于 250 mL 烧杯中,加水超声 10 min 后,倒入聚四氟乙烯的内衬中,放入反应釜中,置于烘箱中 200 ℃反应 3 h,待冷却后得到深棕色的液体。对上述深棕色液体在 10000 r/min 转速下离心 15 min 后,再使用 0.22 μm 的过滤膜过滤,然后在 500 ~ 1000 D 的透析袋中透析 24 h 后得到棕色液体,然后冷冻干燥得到黄色固体,即为 NCDs 粉末。

1.3 NCDs 的表征

合成的 NCDs 溶液滴加于超薄碳膜上,然后在空气中自然干燥后进行测试。TEM 的测定条件为电压 200 kV。统计 TEM 图上 100 ~ 200 个 NCDs,测量其直径,然后分析其粒径分布并作图。

将 NCDs 粉末与溴化钾按质量比 1∶100 充分混合,研磨后进行压片,在红外光谱仪上测试其红外吸收光谱,设置波长范围为 4000 ~ 500 cm^{-1}。

XPS 谱图的测定是将合成的 NCDs 粉末置于样品带上,使用 300 W Al$K\alpha$ 射线照射测定,对得到的谱图进行拟合。

配置 NCDs 溶液(0.5 mg/mL)进行光学性质测定,UV-Vis 光谱测定以水为空白对照,测试范围是 200 ~ 800 nm NCDs 溶液的吸收;荧光光谱是以激发波长分别为 300、310、320、330、340、350、360、370、380、390、400、410、420 和 430 nm 为测定条件,激发和发射狭缝均为 5 nm。

1.4 荧光量子产率的测定

使用硫酸奎宁为标准物质测定合成的 NCDs 的荧光量子产率,硫酸奎宁的量子产率为 54%。为了减小溶液的再吸收现象,所有对光的吸收度保持在 0.1 之下(测试波长为 360 nm 处的吸收值)。合成 NCDs 的荧光量子产率按照式(1)测定:

$$Q = Q_R \times \frac{I}{I_R} \times \frac{A_R}{A} \times \frac{n^2}{n_R^2} \quad (1)$$

式中,Q 代表物质的荧光量子产率,I 是在 360 nm 激发下待测溶液荧光发射面积的积分,A 为溶液的吸收值,n 是溶液的折射率(水溶液的折射率为 1),下标 R 表示标准物质硫酸奎宁。

1.5 阿莫西林的检测

使用 PBS 缓冲溶液分别配置 23 份 NCDs 溶液(0.3 mg/mL),然后加入等浓度不同金属离子和等浓度不同药物(200 μmol/L)后,静置 3 min 后测定其荧光,测定条件是:荧光激发波长为 360 nm,测定发射光谱范围为 350 ~ 600 nm,激发和发射狭缝均为 5 nm。

使用 PBS 缓冲溶液配置 NCDs 溶液(0.3 mg/mL),然后加入不同浓度(0 ~ 300 μmol/L)的阿莫西林后,静置 3 min 后测定其荧光,测试条件是:荧光激发波长为 360 nm,测定发射光谱范围为 350 ~ 600 nm,激发和发射狭缝均为 5 nm。

2　结果与讨论

2.1　NCDs 形貌的表征

图 2 是 NCDs 的透射电子显微镜照片,图 2A 上显示其呈现球形或准球形,粒径小于 10 nm 且均匀分散,从 TEM 上选取 150 个 NCDs 图像进行粒径分析,得出 NCDs 的粒径分布范围在 1 ~ 5 nm,平均粒径为 2.63 nm。

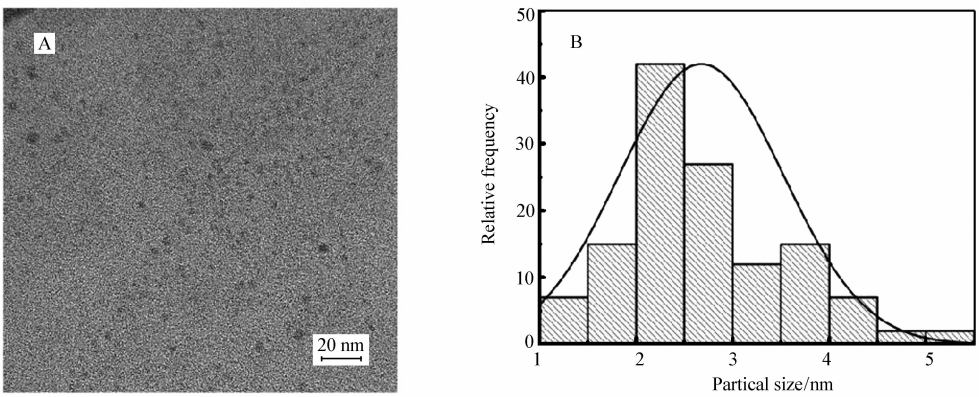


图 2　NCDs 的 TEM 照片(A)和粒径分布图(B)

Fig. 2　TEM image(A) and diameter distribution(B) of NCDs

2.2　NCDs 官能团的表征

图 3 为 NCDs 的红外光谱图。由图 3 可知,NCDs 在 3450 cm^{-1}处有强的宽吸收峰,说明其含有羟基(—OH 和—NH_2)。在 2920 与 2845 cm^{-1}处的峰位可归属为 C—H 的伸缩振动;在 1636 cm^{-1}的吸收峰位可归属为 C═O 的伸缩振动;在 1376 cm^{-1}处的吸收峰位可归属为 C—O—C 的特征吸收峰;在 1246 cm^{-1}的吸收峰位可归属为 C—N—C 的特征峰;在 1100 cm^{-1}处的吸收峰为 C—O 的弯曲振动。

图 4 是 NCDs 的 XPS 图谱,图 4A 显示 NCDs 在 285.1、401.2 和 531.8 eV 处有 3 个强的峰位,分别为 C1*s*、N1*s* 和 O1*s* 的 XPS 特征峰。图 4B 是对 C1*s* 的 XPS 峰位进行放大拟合的曲线,在结合能量 284.7、285.9 和 288.1 eV 处有拟合峰位,分别归属为 C═C、C—OH/C—N和 C═O 的峰位;图 4C 是对 N1*s* 的 XPS 峰位进行放大拟合的曲线,结合能量在 398.6、400.1 和 407.1 eV 处有拟合峰位,分别归属为 C—N—C,N—$(C)_3$和 N—H 的峰位;图 4D 是对 O1*s* 的 XPS 峰位进行放大拟合的曲线,结合能量在 531.1 和 532.1 eV 处有拟合峰位,分别归属为 C═O 和C—OH/C—O—C的峰位。XPS 的表征结果与 FTIR 的结果基本一致,合成的 NCDs 表面上主要含有 COOH、OH 和 NH_2。

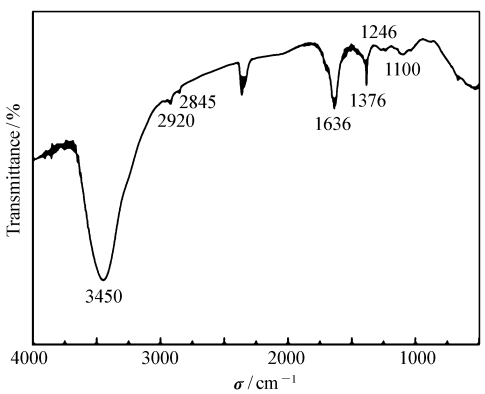


图 3　NCDs 的红外光谱

Fig. 3　FT-IR spectrum of NCDs

2.3　NCDs 的光学性质研究

图 5A 曲线 a 为 NCDs 的紫外-可见光吸收图谱,在 282 nm 处有强的吸收峰,可归属 C═O基电子 n-π^* 的跃迁[12-13]。图 5A 曲线 b 和 c 为 NCDs 的最佳激发谱和在最佳激发波长下的最佳发射谱,图上显示最佳激发波长为 350 nm,而最佳发射波长为 435 nm。图 5B 是合成 NCDs 溶液在不同激发波长下的发

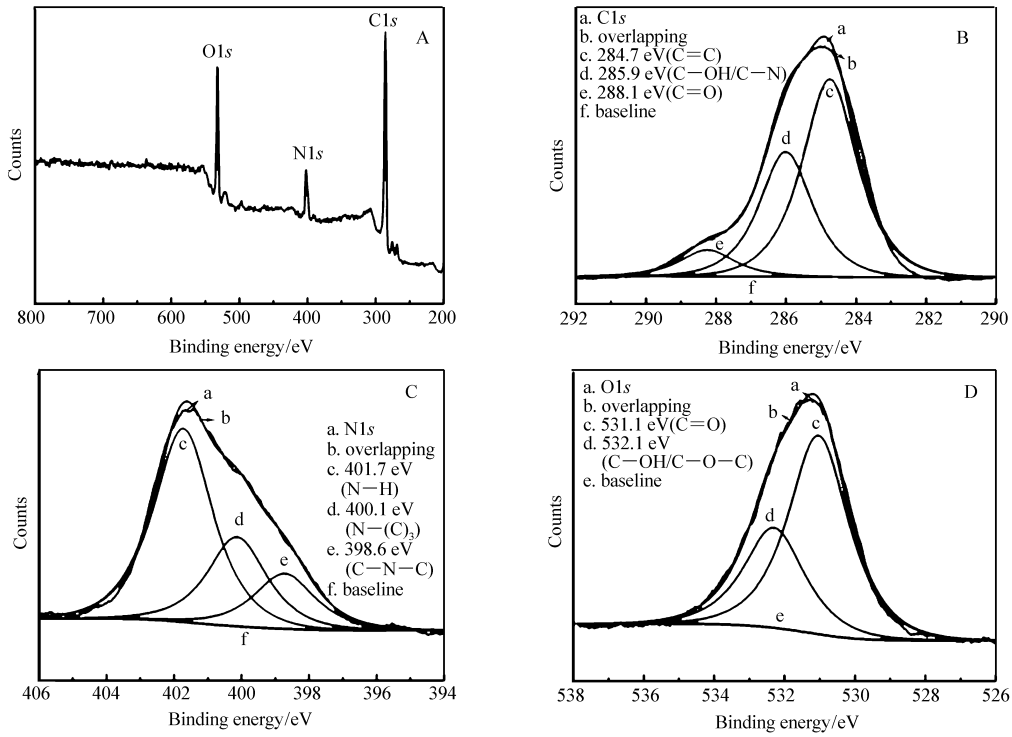


图4 NCDs的XPS图谱总谱(A);C1*s*(B)、N1*s*(C)和O1*s*(D)的XPS放大图谱

Fig. 4 XPS spectrum of NCDs(A) and relative high-resolution peaks of C1*s*(B), N1*s*(C) and O1*s*(D)

射波谱,图上显示随着激发波长的红移,NCDs的荧光发射波长也在向长波长移动,即合成的NCDs荧光发射具有激发波长依赖性,这可能与NCDs尺寸效应及表面缺陷有关[14]。

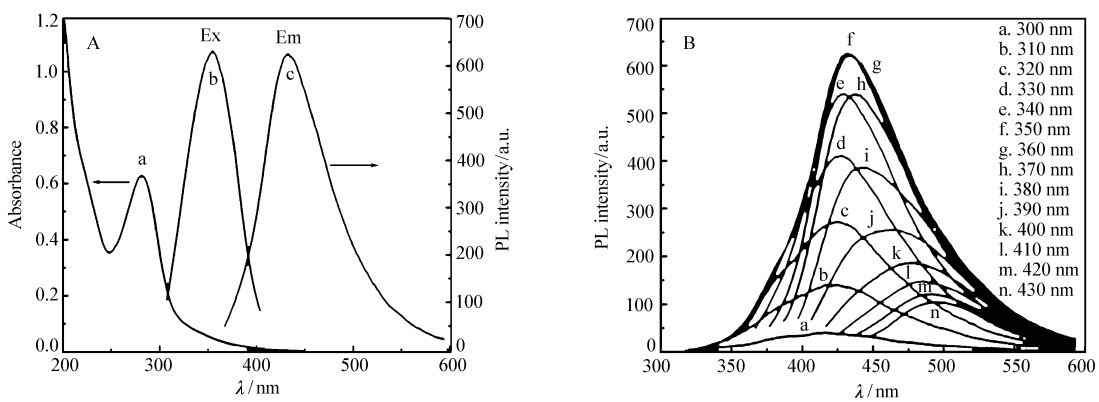


图5 NCDs的紫外-可见光吸收图谱和最佳激发谱、最佳发射谱(A);NCDs溶液在不同激发下的荧光发射谱图(B)

Fig. 5 UV-Vis absorbance, excitation and emission spectra of the NCDs(A), PL excitation-independent emission spectra of the NCDs(B)

通过与标准物质硫酸奎宁(Q = 54%)的比较,见图6,得出合成的NCDs的荧光量子产率为29.19%,与一些文献[15-19]报道的以天然物质合成NCDs的Q相比较,NCDs的Q有明显提高。

2.4 NCDs的光学稳定性

图7是不同条件下NCDs的光学稳定性测试结果,图7A是测试NCDs在不同浓度的NaCl溶液中的荧光变化图,发现即使NaCl浓度高达3.0 mol/L时,NCDs溶液的荧光强度下降甚小,表明NCDs在不同的盐浓度下具有良好的光学稳定性。图7B是NCDs在不同pH溶液中的荧光强度变化图,显示NCDs荧光在酸性条件下会受到较大影响,但在中性和碱性条件下荧光强度基本不受影响。图7C和7D是NCDs

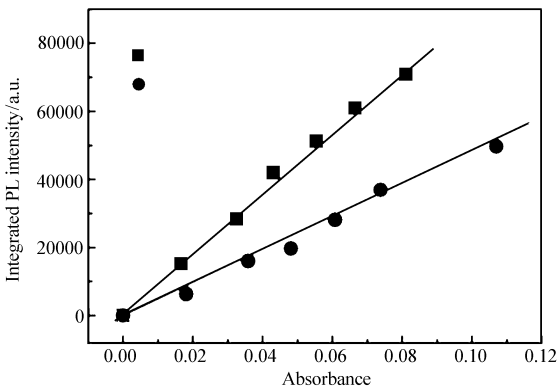


图 6　硫酸奎宁与 NCDs 的荧光量子产率比对图

Fig. 6　Plots of integrated PL intensity against the absorbance of quinine sulfate and NCDs

溶液在储存不同时间后测定其荧光变化,即使储存时间达到 90 d 后测定其荧光也没未发生明显变化。终上所述,NCDs 具有良好的光学稳定性,为后期的应用奠定了坚实基础。

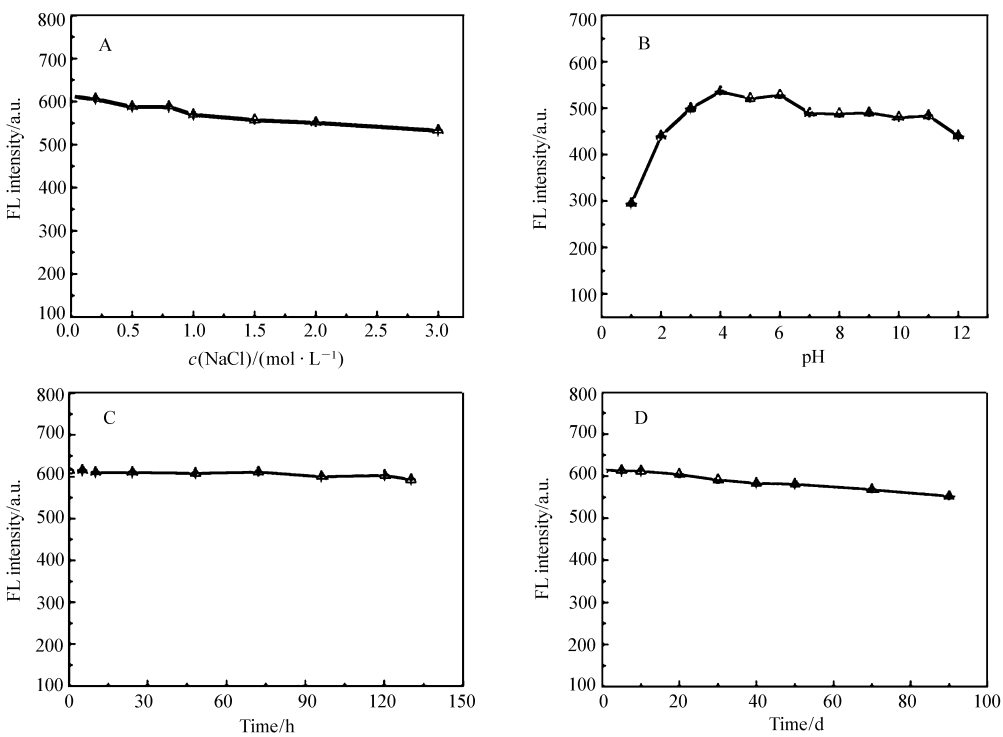


图 7　NCDs 溶液在不同浓度 NaCl 溶液存在下的荧光强度图(A);NCDs 溶液在不同 pH 溶液中的荧光强度图(B);NCDs 溶液在不同储存时间后的荧光强度图(C 和 D)

Fig. 7　The relative fluorescence intensity of NCDs in various concentrations of KCl solutions(A), dependence of the relative PL intensity of G-CDs on the pH values from 1.98 to 11.92(B) and photostability of NCDs as a function of the storage time(C and D)

2.5　阿莫西林的检测

2.5.1　选择性

图 8 为在 pH = 7.4 的缓冲溶液中不同物质对 NCDs 的荧光影响柱状图,首先研究了 NCDs 对各种金属离子(200 μmol/L 的 Ag^{+}、Al^{3+}、Ca^{2+}、Cd^{2+}、Co^{2+}、Cu^{2+}、Cr^{3+}、Hg^{2+}、K^{+}、Mg^{2+}、Mn^{2+}-Na^{+}、Ni^{2+}、Pb^{2+}、Zn^{2+}、Fe^{2+}和 Fe^{3+})的选择性,可见这些金属离子对 NCDs 的荧光强度无明显影响;随后研究了不同药物(300 μmol/L 氟苯尼考,阿莫西林,罗红霉素,甲硝唑,氯霉素,红霉素)对 NCDs 荧光的影响,发现只有阿莫西林能够对 NCDs 荧光进行猝灭,相同条件下 NCDs 的荧光强度下降了 80 %,说明合成的

NCDs 可以选择性地识别阿莫西林。

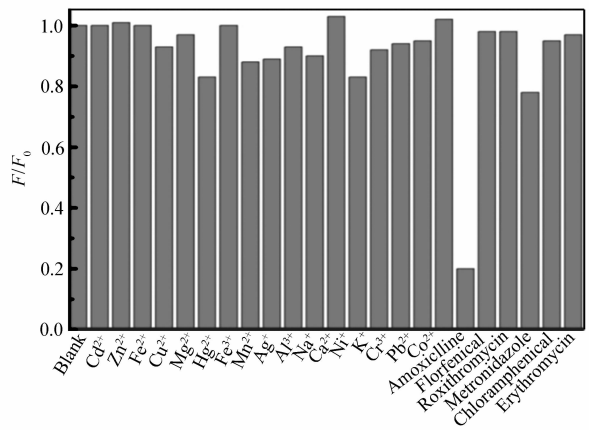


图 8 不同金属离子和小分子药物对 NCDs 荧光强度的影响柱状图

Fig. 8 Effect of various metal ions and small molecule drugs on F/F_0 of NCDs solution in PBS buffer solution

2.5.2 灵敏度

图 9A 是合成的 NCDs 与不同浓度的阿莫西林作用后的荧光光谱图,随着阿莫西林浓度逐渐增大,NCDs 的荧光在逐渐的下降,说明合成 NCDs 对阿莫西林浓度是比较敏感的。图 9B 所示,根据 Stern-Volmer 方程:

$$F_0/F = + K_{sv}[Q] , \quad (2)$$

式中,F 是加入阿莫西林后的 NCDs 在 435 nm 处的荧光强度,F_0 是未加入阿莫西林时 NCDs 在 435 nm 处的荧光强度,以 F_0/F 为纵坐标,[Q]为横坐标作图,由图 9B 可得在阿莫西林浓度 0 ~ 30 μmol/L 时,NCDs 的荧光比值 F_0/F 与阿莫西林浓度呈现良好的线性相关(线性相关系数 $R = 0.9958$),说明 NCDs 可对阿莫西林实现灵敏检测。根据检出限公式 $LOD = 3\sigma/K$(σ 为空白溶液荧光测定 10 次的标准偏差,K 为拟合直线的斜率),经计算,NCDs 对阿莫西林的检测范围为 2.6 ~ 30 μmol/L,检出限为 0.15 μmol/L。

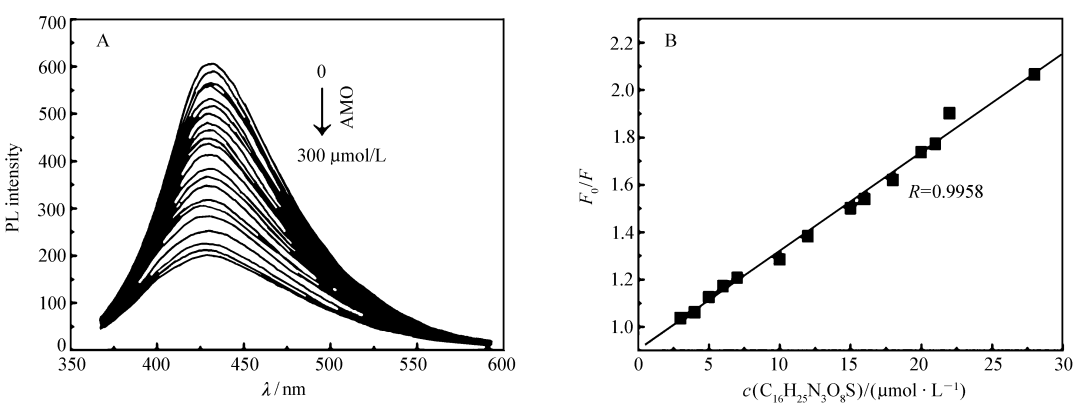


图 9 NCDs 与不同浓度阿莫西林存在下的荧光光谱图(A);阿莫西林对 NCDs 荧光猝灭的 Stern-Volmer 曲线(B)

Fig. 9 Fluorescence spectra of NCDs solution in the presence of different concentrations of amoxicillin in PBS buffer solution(A), Plot of F_0/F versus different concentrations amoxicillin(B)

2.5.3 检测机理

对阿莫西林的检测机理初步推断是 NCDs 表面含有大量 NH_2 和 OH 基团,而阿莫西林结构中也存在 OH、COOH 和 NH_2,当两者混合后可能通过氢键结合,当阿莫西林靠近 NCDs 表面时会影响其表面电子的重新排列,从而猝灭了 NCDs 的荧光。另外分别测试了阿莫西林的紫外吸收与 NCDs 的最佳荧光激发谱图,如图 10 所示,发现阿莫西林在 360 nm 左右有较强的吸收(图 10 曲线 a),而 NCDs 最佳的激发

波长也在 350 nm 左右(图 10 曲线 b),当二者同时存在时,由于发生内滤效应会引起 NCDs 的荧光猝灭。

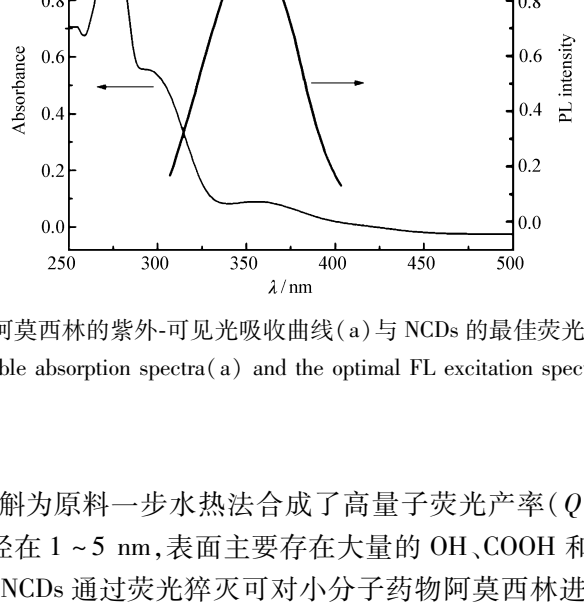


图 10　阿莫西林的紫外-可见光吸收曲线(a)与 NCDs 的最佳荧光激发谱(b)

Fig. 10　UV-visible absorption spectra(a) and the optimal FL excitation spectra of the NCDs(b)

3　结　论

本文使用天然物质石斛为原料一步水热法合成了高量子荧光产率(Q)的氮掺杂碳点(NCDs,Q = 29.19%),通过表征其粒径在 1 ~ 5 nm,表面主要存在大量的 OH、COOH 和 NH_2 水溶性基团,且具有良好的发光稳定性。合成的 NCDs 通过荧光猝灭可对小分子药物阿莫西林进行灵敏检测,线性检测范围为 2.6 ~ 30 μmol/L,检出限为 0.15 μmol/L。

参　考　文　献

[1] De Baere S, De Backer P. Quantitative Determination of Amoxicillin in Animal Feed Using Liquid Chromatography with Tandem Mass Spectrometric Detection[J]. *Anal Chim Acta*, 2007, **586**(1/2): 319-325.

[2] Bergamini M F, Teixeira M F S, Dockal E R, *et al*. Evaluation of Different Voltammetric Techniques in the Determination of Amoxicillin Using a Carbon Paste Electrode Modified with [*N*,*N*′-ethylenebis(salicylideneaminato)] Oxovanadium(Ⅳ)[J]. *J Electrochem Soc*, 2006, **153**(5): E94-E98.

[3] Shah K, Hassan E, Ahmed F, *et al*. Novel Fluorene-Based Supramolecular Sensor for Selective Detection of Amoxicillin in Water and Blood[J]. *Ecotox Environ Safe*, 2017, **141**: 25-29.

[4] Cohen M L. Epidemiology of Drug Resistance: Implications for a Post-antimicrobial Era[J]. *Science*, 1992, **257**(5073): 1050-1055.

[5] Gonzales R, Bartlett J G, Besser R E, *et al*. Principles of Appropriate Antibiotic Use for Treatment of Acute Respiratory Tract Infections in Adults: Background, Specific Aims, and Methods[J]. *Ann Emerg Med*, 2001, **37**(6): 690-697.

[6] Shangguan J, Huang J, He D, *et al*. Highly Fe^{3+}-Selective Fluorescent Nanoprobe Based on Ultrabright N/P Codoped Carbon Dots and Its Application in Biological Samples[J]. *Anal Chem*, 2017, **89**(14): 7477-7484.

[7] Tan J, Zou R, Zhang J, *et al*. Large-scale Synthesis of *N*-Doped Carbon Quantum Dots and Their Phosphorescence Properties in a Polyurethane Matrix[J]. *Nanoscale*, 2016, **8**(8): 4742-4747.

[8] Wang J, Qiu F, Wu H, *et al*. Fabrication of Fluorescent Carbon Dots-Linked Isophorone Diisocyanate and β-Cyclodextrin for Detection of Chromium Ions[J]. *Spectrochim Acta A*, 2017, **179**: 163-170.

[9] HUANG Xiaomei, DENG Xiang. Preparation of New Photoluminescent Carbon Dots and Its Application in Hg^{2+} Detection[J]. *Chinese J Appl Chem*, 2019, **36**(5): 603-610(in Chinese).
黄小梅,邓祥. 新型荧光碳点的制备及其在 Hg^{2+} 检测中的应用[J]. 应用化学,2019,**36**(5):603-610.

[10] Luo M, Hua Y, Liang Y, *et al*. Synthesis of Novel β-cyclodextrin Functionalized S, N Codoped Carbon Dots for Selective Detection of Testosterone[J]. *Biosens Bioelectron*, 2017, **98**: 195-201.

[11] WANG Shiqi, TU Yufei, LIU Zhixiao, *et al*. Microwave Synthesis of Nitrogen-Doped Carbon Dots and Its Application in Detection of Ferric Ions[J]. *Chinese J Lumin*, 2019, **40**(6): 751-757(in Chinese).
王诗琪,涂雨菲,刘之晓,等. 微波法制备掺氮碳点及用作探针检测铁离子[J]. 发光学报,2019,**40**(6):751-757.

[12] Eda G, Lin Y Y, Mattevi C, *et al*. Blue Photoluminescence from Chemically Derived Graphene Oxide[J]. *Adv Mater*, 2010, **22**(4): 505-509.

[13] Paredes J I, Villar-Rodil S, Martíınez-Alonso A, *et al*. Graphene Oxide Dispersions in Organic Solvents[J]. *Langmuir*,

2008,**24**(19):10560-10564.
[14] Zhu S,Meng Q,Wang L,*et al*. Highly Photoluminescent Carbon Dots for Multicolor Patterning, Sensors, and Bioimaging[J]. *Angew Chem Int Ed*,2013,**52**(14):3953-3957.
[15] Wei J,Zhang X,Sheng Y,*et al*. Dual Functional Carbon Dots Derived from Cornflour *via* a Simple One-Pot Hydrothermal Route[J]. *Mater Lett*,2014,**123**:107-111.
[16] Wu D,Huang X,Deng X,*et al*. Preparation of Photoluminescent Carbon Nanodots by Traditional Chinese Medicine and Application as a Probe for Hg^{2+}[J]. *Anal Meth*,2013,**5**(12):3023-3027.
[17] Gedda G,Lee C Y,Lin Y C,*et al*. Green Synthesis of Carbon Dots from Prawn Shells for Highly Selective and Sensitive Detection of Copper Ions[J]. *Sens Actuators B-Chem*,2016,**224**:396-403.
[18] Wei J,Shen J,Zhang X,*et al*. Simple One-Step Synthesis of Water-Soluble Fluorescent Carbon Dots Derived from Paper Ash[J]. *RSC Adv*,2013,**3**(32):13119-13122.
[19] Chen Y,Wu Y,Weng B,*et al*. Facile Synthesis of Nitrogen and Sulfur Co-doped Carbon Dots and Application for Fe(III) Ions Detection and Cell Imaging[J]. *Sens Actuators B-Chem*,2016,**223**:689-696

Preparation of Nitrogen-Doped Carbon Dots for Highly Sensitive Detection of Amoxicillin

GONG Hui, KANG Yu, ZHANG Rong, REN Guodong, HOU Xiaoyu, ZHANG Min, LI Lihong, LIU Wen, WANG Haojiang, DIAO Haipeng*
(*College of Basic Medical*,*Shanxi Medical University*,*Taiyuan* 03001,*China*)

Abstract In this paper, the nitrogen-doped carbon dots (NCDs) were synthesized using the natural material dendrobe as the raw material by one-step hydrothermal method. The synthesized carbon dots were characterized by transmission electron microscopy (TEM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, ultraviolet-visible (UV-Vis) absorption spectroscopy and photoluminescence spectroscopy (PL). The experiment results show that NCDs are spherical or quasi-spherical, uniformly dispersed with the size ranges from 1 to 5 nm, which can emit strong blue fluorescence. The surface of the synthesized NCDs is rich in water-soluble groups such as COOH, OH and NH_2. The optimal excitation and emission wavelengths of NCDs are 350 and 435 nm, respectively. Meanwhile, the fluorescence emission has good luminescence stability. The fluorescence quantum yield of the carbon dots is as high as 29.19%. The effects of different substances on the fluorescence of NCDs were measured in a buffer solution with pH = 7.4. Under the same conditions, only amoxicillin is able to significantly quench the fluorescence of NCDs, indicating the synthesized NCDs can selectively interact with amoxicillin. A sensitive sensor was constructed for detecting amoxicillin by changing the fluorescence intensity of carbon dots. The linear detection range for amoxicillin is from 2.6 to 30 μmol/L and the detection limit is 0.15 μmol/L.

Keywords nitrogen-doped carbon dots; high fluorescence quantum yield; fluorescence quenching; amoxicillin

Received 2019-08-23; Revised 2019-10-16; Accepted 2019-11-05
Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 21705104), the Key Research and Development Projects of Shanxi Province (No. 201703D321015-2), and the Youth Science Foundation of Shanxi Province (No. 201701D221064)
Corresponding author: DIAO Haipeng, professor; Tel: 0351-3985152; E-mail: diaohp@sxmu.edu.cn; Research interests: preparation and biological application of luminescent nanomaterials