

# Analysis of Carbon based Quantum Dot Fluorescence Sensor Technology in Environmental Detection

Lei Zhang<sup>1</sup> Chao Li<sup>2</sup>

1. Xinjiang Zhengyu Lianke Inspection and Testing Co., Ltd., Hotan, Xinjiang, 848101, China

2. Hotan New Jade Performing Arts Culture Co., Ltd., Hotan, Xinjiang, 848000, China

## Abstract

With the acceleration of global industrialization and urbanization, environmental pollution problems are severe, damaging the ecological environment and threatening human health. In this context, environmental monitoring is very important. It is an important means of evaluating environmental quality, monitoring pollution sources, and formulating environmental protection measures. Its accuracy and efficiency are related to environmental effectiveness, and its importance is self-evident. In recent years, carbon based quantum dots, as a new type of nanomaterial, have received widespread attention and research due to their unique fluorescence properties, good biocompatibility, and excellent environmental stability, and are expected to play an important role in the field of environmental detection. It has shown great potential for application in the field of environmental detection. This article aims to explore the application of carbon based quantum dot fluorescence sensor technology in environmental detection, providing new ideas and methods for the development of environmental detection technology.

## Keywords

environmental detection; Carbonized polymer electricity; fluorescent sensor

## 环境检测中碳基量子点荧光传感器技术分析

张磊<sup>1</sup> 李朝<sup>2</sup>

1. 新疆正玉联科检验检测有限公司, 中国·新疆和田 848101

2. 和田地区新玉演艺文化有限责任公司, 中国·新疆和田 848000

## 摘要

随着全球工业化、城市化加速, 环境污染问题严峻, 威胁生态环境与威胁人类健康。在此背景下, 环境检测十分重要, 它是评估环境质量、监测污染源、制定环保措施的重要手段, 其准确性和高效性关乎环保成效, 重要性不言而喻。近年来, 碳基量子点作为新型纳米材料, 因独特荧光性质、良好生物相容性及出色环境稳定性, 受广泛关注研究, 有望在环境检测领域发挥重要作用。在环境检测领域展现出巨大的应用潜力。本文旨在探讨碳基量子点荧光传感器技术在环境检测中的应用, 为环境检测技术的发展提供新的思路和方法。

## 关键词

环境检测; 碳化聚合物电; 荧光传感器

## 1 引言

在现代社会可持续发展中, 环境监测至关重要, 是确保公共安全的关键手段, 也是构建生态文明建设的基础工作。碳基量子点因具有良好光学特性、生物相容性和低毒性, 在生物医学、环境监测等领域有巨大应用潜力。荧光传感器技术是基于荧光物质的光学检测技术, 通过荧光信号变化感知和量化目标分析物<sup>[1]</sup>。该技术具有高灵敏度、快速响应和易操作等优势, 已成为环境监测重要工具。尤其在碳基量子点辅

助下, 荧光传感器技术性能提升, 为环境监测提供更精确高效解决方案。

## 2 碳基量子点荧光传感器的技术原理

### 2.1 荧光传感机制

荧光传感机制是碳基量子点荧光传感器核心原理之一。荧光是光致发光现象, 物质吸收特定波长光子, 电子从基态跃迁到激发态, 再通过非辐射或辐射跃迁回基态, 释放低能量光子即荧光。碳基量子点是新型纳米材料, 其荧光强度和波长对环境化学物质、生物分子敏感, 能通过荧光变化检测目标物质<sup>[2]</sup>。当碳基量子点与目标物质作用, 其表面状态和电子结构改变, 影响荧光发射强度和光谱特性。这种荧光变化可定量或定性表征目标物质浓度和种类, 为环境检测提

【作者简介】张磊(1983-), 男, 中国河南周口人, 本科, 工程师, 从事检测设备的智能化及标准化检测应用于食品行业、环境及建材检测等领域的开发研究。

供高灵敏度、高选择性检测手段。

## 2.2 信号转换与检测模式

信号转换与检测模式是碳量子点荧光传感器实现环境检测的关键。传感器工作时，碳量子点与目标物质作用产生的荧光信号，需经系列转换处理，最终变为可读检测数据。信号转换包括荧光强度变化、波长位移及寿命调制等。检测模式依据具体需求和场景选择，常见有荧光强度检测、光谱分析、时间分辨荧光测量等。荧光强度检测通过测强度变化定量分析目标物质浓度；荧光光谱分析记录光谱变化，提供更多信息以区分目标物质；时间分辨荧光测量利用寿命差异，提高检测灵敏度和抗干扰能力<sup>[9]</sup>。

## 3 EU<sup>3+</sup> 参比碳量子点比率荧光传感器构建与环丙沙星检测

### 3.1 实验部分

#### 3.1.1 样品制备

制备环丙沙星标准溶液步骤：先精确称取 0.0165g 环丙沙星，再将其溶解于 2mL 乙酸和 8mL 去离子水组成的混合溶剂中。以葡萄糖作碳源制备碳量子点 (Carbon Quantum Dots, CQDs) 时，首先，称取 0.500g 无水葡萄糖，溶于 10mL 去离子水。用磁力搅拌器搅拌 30min，随后将溶液转移至反应釜，在 180℃ 鼓风干燥箱内反应 50min。待溶液冷却至室温，获得 CQDs 原液用于后续实验。同时，称取 0.1115g 六水硝酸铕，溶于 50mL 去离子水，制备 5 mM Eu<sup>3+</sup> 溶液 [5]。

#### 3.1.2 CQDs/Eu<sup>3+</sup> 比率荧光传感器的制备

操作移液器，吸取 400μL 的 Eu<sup>3+</sup> 溶液，随后将其注入 200mL 的纯净去离子水中。接着，向混合液添加 4mL 预先制备的 CQDs 储备液。将所得混合液放搅拌器上持续搅拌 30min，确保各组分充分混合、均匀分散，制备出 CQDs/Eu<sup>3+</sup> 比率荧光传感器溶液。随后进行环丙沙星检测实验：先取 5ml 制备好的 CQDs/Eu<sup>3+</sup> 比率荧光传感器溶液倒入 10mL 比色皿，再将实验样本分别与不同浓度的环丙沙星水溶液进行充分混合，确保每个样本都能均匀接触到相应浓度的环丙沙星，用去离子水将混合液体积调至 10mL。待混合液稳定后，运用荧光分光光度计测定荧光强度。配置如下：激发光源波长设为 395nm，检测波长范围设为 380~650nm，覆盖荧光反应光谱区域。同时，将发射狭缝与激发狭缝宽度均调至 10nm，降低杂散光干扰，提升测量分辨率。

### 3.2 结果与讨论

#### 3.2.1 实验条件优化

为研究 CQDs 溶液与 Eu<sup>3+</sup> 发光峰关系，分析 Eu<sup>3+</sup> 浓度与环丙沙星相互作用，揭示 CQDs 与 Eu<sup>3+</sup> 荧光光谱特性及 CQDs/Eu<sup>3+</sup> 比率传感器稳定性。CQDs 荧光光谱特征显示，其发光峰位置在不同激发波长下稳定，无显著红移或蓝移，395nm 激发时，459nm 处发光峰最强。不同激发波长下 Eu<sup>3+</sup> 荧光表现中，5mM Eu<sup>3+</sup> 浓度时，激发波长从 360nm 增至

395nm，594nm 和 616nm 处荧光发射峰强度提升，确定最佳激发波长为 395nm。所以，采用 395nm 为 CQDs/Eu<sup>3+</sup> 比率荧光传感器后续实验激发波长，确保实验精确度和效率。

#### 3.2.2 CQDs/Eu<sup>3+</sup> 比率传感器检测环丙沙星及机理分析

在荧光材料稀释液中每次加 1μM 环丙沙星标准溶液，通过监测荧光强度变化评估检测效果。环丙沙星在不同浓度下展现出固有的荧光特性，且其荧光强度随着浓度的提升而呈现出增强的趋势。Eu<sup>3+</sup> 对不同浓度环丙沙星的荧光响应中，环丙沙星荧光强度几乎不受 Eu<sup>3+</sup> 影响，而 Eu<sup>3+</sup> 荧光强度在加入环丙沙星后有所提升。为达成更为稳定的检测性能，将 Eu<sup>3+</sup> 与 CQDs 进行结合，制备出一种比率型荧光传感器。在此传感器中，Eu<sup>3+</sup> 的添加提升了 CQDs 的荧光强度，同时并未对荧光发射峰造成影响。

环丙沙星与 CQDs 之间通过形成强烈的氢键和电荷转移作用，对于 CQDs 的荧光强度存在直接影响<sup>[4]</sup>。这一现象可能进一步促进了 C=C 双键的聚合反应。该定量荧光传感器克服传统单波长荧光传感器检测局限性，提高检测准确性与灵敏度。环丙沙星通过复杂作用机制，改变 CQDs 荧光特性，为 C=C 键聚合创造条件，使传感器在复杂环境性能卓越，具有良好应用前景。

## 4 UiO-66-NH<sub>2</sub>@Y-CQDs 比率荧光传感器的构建及用于硝酸盐检测

### 4.1 实验部分

#### 4.1.1 UiO-66-NH<sub>2</sub> 的制备

称 700mg 的 2-氨基对苯二甲酸，倒入 100mL 二甲基甲酰胺中，用超声波搅拌 30min 制成溶液 A。再称 230mg 四氯化锆，量取 67.5mL 乙酸与 330mL 二甲基甲酰胺，倒入 500mL 烧杯，用超声波搅拌 30min 制成溶液 B。接着将溶液 A 与 B 混合，放入 120℃ 鼓风干燥箱反应 36 小时。反应结束，待混合物自然冷却至室温。用去离子水洗涤沉淀物，重复三次除杂。洗涤完成，将沉淀物自然晾干至完全干燥，最终获得浅黄色粉末状的 UiO-66-NH<sub>2</sub>。

#### 4.1.2 Y-CQDs 的制备

将 216mg 邻苯二胺与 3mL 磷酸混合，加水溶解，制成 30mL 溶液。接着在 160℃ 环境下加热反应 5 小时，制得发射黄色荧光的 CQDs (Y-CQDs)。

#### 4.1.3 UiO-66-NH<sub>2</sub>@Y-CQDs 的制备

取用 100mgUiO-66-NH<sub>2</sub>，首先，取 45mL 去离子水放超声波清洗机处理，使成分溶解均匀。处理时观察溶液，确保超声效果最佳。随后，用移液枪吸取 400μL 的 Y-CQDs 储备液，缓慢加入已处理的去离子水，用磁力搅拌器等工具充分搅拌，让两者混合均匀，避免分层或沉淀，反应 30min 后，可制备 UiO-66-NH<sub>2</sub>@Y-CQDs 比例荧光传感器溶液。

#### 4.1.4 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的检测

量取 3mL 比率荧光传感器溶液，小心注入 5mL 比色皿，

接着与不同浓度硝酸根溶液精确混合,再用去离子水补充至总体积 5mL。待溶液完全稳定后,用荧光分光光度计进行荧光测定。

## 4.2 结果与讨论

### 4.2.1 UiO-66-NH<sub>2</sub>@Y-CQDs 形貌结构表征

样本在经过 X 射线衍射仪 (X-ray Powder diffractometer, XRD) 谱和傅里叶变换红外光谱 (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) 检测之后,发现 UiO-66-NH<sub>2</sub> 的 XRD 衍射谱有尖锐衍射峰,代表其相关晶面。加入 Y-CQDs 后,UiO-66-NH<sub>2</sub> 部分衍射峰向高角度偏移,部分晶面峰消失,可能因二者相互作用影响其结构。UiO-66-NH<sub>2</sub>@Y-CQDs 中与 -COOH 相关拉伸振动峰在特定区域被检测到,表明金属中心 Zr<sup>4+</sup> 与 -COOH 发生配位致峰偏移。此外,还指出了其他几个峰分别对应的振动峰情况。在 UiO-66-NH<sub>2</sub>@Y-CQDs 复合材料中,随着 Y-CQDs 含量的增加,特定吸收峰向短波长方向移动,这表明 Y-CQDs 已成功嵌入。复合材料的 FT-IR 与纯 UiO-66-NH<sub>2</sub> 的光谱相似,说明 Y-CQDs 的引入

对结构影响甚微。然而,随着 Y-CQDs 与 UiO-66-NH<sub>2</sub> 体积比的提高,UiO-66-NH<sub>2</sub>@Y-CQDs 复合材料的 X 射线衍射 (XRD) 峰强度有所下降,但在 UiO-66-NH<sub>2</sub>@4%Y-CQDs 样品中,某衍射峰强于其他两个样品,表明其在复合过程中较好保留结晶度和结构完整,因此选择其作为比率荧光传感器溶液。

图 1 展示了 UiO-66-NH<sub>2</sub> 和 UiO-66-NH<sub>2</sub>@Y-CQDs 的扫描电子显微镜与透射电子显微镜图像。其中,图 1 (a) 为 UiO-66-NH<sub>2</sub> 的扫描电子显微镜图像,其晶体分布均匀,呈八面体形状,大小一致,直径约 100nm。由图 1 (b)、(c) 和 (d) 可知,UiO-66-NH<sub>2</sub>@Y-CQDs 的表面比 UiO-66-NH<sub>2</sub> 粗糙,有明显凸起结构,可能因 UiO-66-NH<sub>2</sub> 包裹 Y-CQDs 致其聚集。从图 1 (e) 和 (f) 可见,UiO-66-NH<sub>2</sub> 分散性好,呈规则八面体,内部有锥体结构,直径约 100nm。图 1 (g) 和 (h) 展示了 UiO-66-NH<sub>2</sub>@4%Y-CQDs 的 TEM 图像,经分析,可发现在 UiO-66-NH<sub>2</sub> 边缘周围有很多 Y-CQDs,证实 Y-CQDs 已成功封装到 UiO-66-NH<sub>2</sub> 结构中。

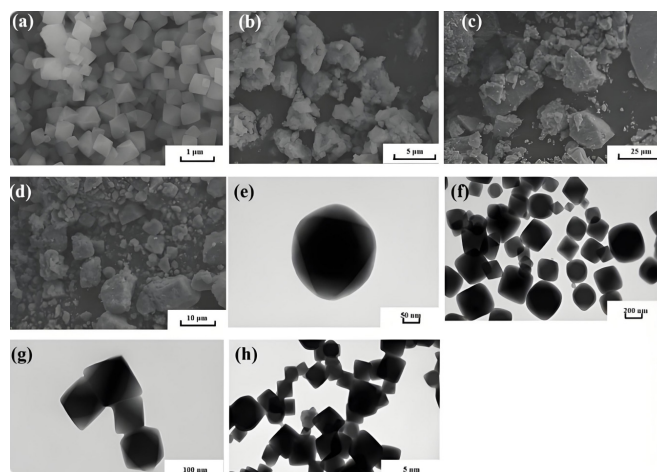


图 1 (a) UiO-66-NH<sub>2</sub>; (b) UiO-66-NH<sub>2</sub>@4%Y-CQDs; (c) UiO-66-NH<sub>2</sub>@8%Y-CQDs; (d) UiO-66-NH<sub>2</sub>@12%Y-CQDs 的扫描电子显微镜图; (e, f) UiO-66-NH<sub>2</sub> 的透射电子显微镜图; (g, h) UiO-66-NH<sub>2</sub>@4%Y-CQDs 的透射电子显微镜图像

### 4.2.2 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 检测条件优化

确定最佳荧光检测条件,包括激发光波长、检测时间和溶液 pH 值。当激发波长为 365nm 时,对 UiO-66-NH<sub>2</sub> 荧光反应影响小,而 UiO-66-NH<sub>2</sub>@Y-CQDs 在该波长下发射峰在 413nm 和 564nm。pH 值为 7.5 时,荧光强度比 (F413/F564) 最大,所以选为最佳 pH 值。孵育时间 15min 后荧光信号稳定,因此确定为最佳孵育时间。

## 5 总结

综上所述,碳量子点荧光传感器技术具有荧光性能和高灵敏度的特点,能够高效地捕捉并响应环境中的各类污染物。将其应用于环境检测实践中,不仅能够实现对各种污染物的快速识别与精确检测,还能在大规模的环境监测和污染预警系统中发挥关键作用,为环境保护和污染防控提供

帮助。

## 参考文献

- [1] 翟应惠,王婷婷,唐家璇,等.基于碳量子点-银nm簇荧光共振能量转移nm探针的荧光传感器检测转基因成分CaMV35S[J]. 分析测试学报,2023,42(5):550-558.
- [2] 刘飞燕,赵笙良,赖璇迪,等.基于金nm簇和碳量子点的比率荧光传感法快速检测Hg<sup>2+</sup>[J]. 材料导报,2023,37(21):82-89.
- [3] 李宏达,刘春庆,尹雨晴,等.基于碳量子点可视化识别TNT、PA、Tetryl的荧光比色传感阵列[J]. 火工品,2023(1):74-80.
- [4] 韦庆益,林轩然,张佩瑶,等.基于金nm粒子的荧光适配体传感器检测食品中的17β-雌二醇[J]. 食品科学,2023,44(14):368-376.
- [5] 李雅琪,于新,彭双凤,等.双信标荧光生物传感器同时检测黄曲霉毒素及其产毒基因[J]. 分析实验室,2024,43(11):1586-1593.