

Innovation of basic and applied experimental teaching driven by the integration of science and education under the background of “Double First-Class” construction—Taking the photocatalytic production of hydrogen peroxide by cadmium sulfide nanorods and its UV-visible absorption spectroscopy as an example

Jianfang Jing

College of Chemistry and Chemical Engineering, Inner Mongolia University, Hohhot, Inner Mongolia, 010021, China

Abstract

This study develops a comprehensive experimental teaching system for photocatalytic hydrogen peroxide production using cadmium sulfide nanorods, based on the education concept of integrating scientific research with teaching under China’s “Double First-Class” initiative. The program transforms research outcomes into a progressive teaching workflow encompassing “material synthesis-performance testing-instrumental analysis”, systematically integrating core knowledge points including inorganic material synthesis, photocatalytic principles, and UV-Vis spectroscopy. Students can not only deepen their understanding of professional theories but also cultivate experimental design, data analysis, and scientific research innovation capabilities. The research outcomes provide a successful case for implementing research-teaching integration reforms in STEM disciplines, demonstrating significant exemplary value for cultivating innovative talents.

Keywords

Fundamentals - Applied Experimental Teaching; Integration of science and education; Photocatalytic production of hydrogen peroxide by cadmium sulfide nanorods

“双一流”建设背景下科教融合驱动的基础—应用实验教学创新——以硫化镉纳米棒光催化产过氧化氢及其紫外—可见吸收光谱法分析为例

景建芳

内蒙古大学化学化工学院, 中国·内蒙古·呼和浩特 010021

摘要

本研究基于“双一流”建设背景下科教融合的教育理念, 构建了硫化镉纳米棒光催化产过氧化氢的综合性实验教学体系。该方案将科研成果转化为“材料合成—性能测试—仪器分析”递进式教学流程, 系统整合了无机材料合成、光催化原理和紫外-可见光谱法等核心知识点。学生不仅能深化专业理论认知, 更能培养实验设计、数据分析和科研创新能力。研究成果为理工科专业实施科教融合教学改革提供了成功案例, 对培养创新型人才具有重要示范价值。

关键词

基础-应用实验教学; 科教融合; 硫化镉纳米棒光催化产过氧化氢

【基金项目】国家自然科学基金(项目编号: 22309093); 内蒙古自治区自然科学基金(项目编号: 2023QN02001); 内蒙古自治区高校重点科研项目(项目编号: NJZZ23093)。

【作者简介】景建芳(1994-), 女, 中国内蒙古鄂尔多斯人, 博士, 研究员, 从事有机光催化材料的设计合成及其在小分子催化转化中的应用研究。

1 引言

德国教育改革家威廉·冯·洪堡于1809年提出“教学与科研相统一”理念, 确立了科研作为大学的基本职能, 开创了现代大学模式, 对全球高等教育影响深远。当前, 科教融合的内涵与实践持续深化。在中国式现代化建设中, 教育、科技、人才被定位为基础性战略支撑。作为高等教育的核心理念, 科教融合通过科研与教学互动, 将前沿成果转化为教

学内容,更新课程体系,培养学生批判性思维和解决问题能力,推动从知识传授向能力培养的转变^[1]。本研究以“双一流”建设为契机,将硫化镉(CdS)纳米棒光催化产过氧化氢(H₂O₂)这一前沿成果转化为本科实验教学内容。实验采用紫外-可见(UV-Vis)吸收光谱法定量分析,构建了科教融合的创新实验体系。实验过程包括: CdS 纳米棒制备、光催化反应、H₂O₂ 产率测定及数据处理(Origin 作图求反应速率)。该实验整合了光催化技术应用与传统化学实验,具有反应温和、操作简便的特点,既能强化基础实验技能,又能培养文献检索、数据分析和科研思维能力。通过分组汇报讨论,有效激发了学生的学习兴趣,为后续科研工作奠定了基础。

2 实验设计

2.1 实验目的

了解光催化产过氧化氢的反应机理和测试方法。

了解水热法制备 CdS 纳米棒的方法。

学习并掌握紫外-可见分光光度计的基本原理与使用方法。

学会使用软件分析和处理实验数据。

2.2 实验原理

2.2.1 光催化产过氧化氢原理

H₂O₂ 作为绿色氧化剂和能源载体,在化工、医药及环保领域应用广泛。传统蒽醌法合成 H₂O₂ 工艺存在能耗高、污染大等缺点,而光催化法以水和氧气为原料,利用太阳能驱动反应,具有环境友好、可持续的优势。光催化过程包括光吸收、光生电荷分离、迁移及表面氧化还原反应^[2]。光催化剂受光激发后产生位于导带中的电子(e⁻)和价带中的空穴(h⁺),e⁻可还原 O₂ 生成 H₂O₂ (氧还原路径,ORR); h⁺可氧化 H₂O 生成 H₂O₂ (水氧化路径,WOR)^[3](图1)。CdS 因其窄带隙和适宜的能带位置,可高效驱动 ORR 反应,是理想的光催化材料。本实验采用水热法制备 CdS 纳米棒,在氙灯光照下催化生成 H₂O₂,并通过紫外-可见光谱定量分析产物浓度。

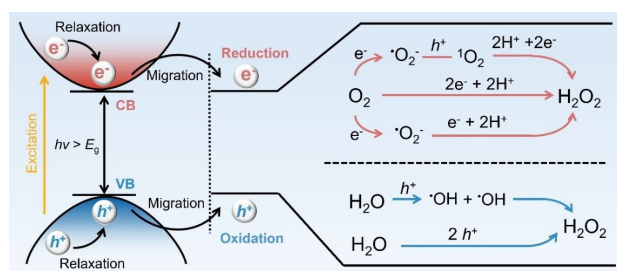


图1 光催化合成 H₂O₂ 的机理图^[3]

2.2.2 紫外-可见吸收光谱法原理

紫外-可见吸收光谱法通过分析物质在 200~800nm 波长范围内的特征吸收,实现定性和定量测定。当紫外-可见光通过样品时,物质中的电子会吸收特定波长的光子发生跃迁(如 $\pi \rightarrow \pi^*$ 、 $n \rightarrow \pi^*$ 等),在一定的浓度范围内,吸收

强度与物质浓度成正比。紫外-可见吸收光谱定量分析的依据是朗伯-比尔(Lambert-Beer)定律,说明光吸收与吸收层厚度的关系,吸收物质浓度一定时,吸光度与吸收层厚度成正比:

$$A = \lg \frac{I_0}{I} = \epsilon bc$$

其中, A 为吸光度; ϵ 为摩尔吸光系数,单位是 $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$,摩尔吸光系数 ϵ 是定量分析的灵敏度指标,与波长有关; b 是光透过物质的距离,通常为吸收池的厚度,单位是 cm ; c 是摩尔浓度,单位是 $mol \cdot L^{-1}$; Lambert-Beer 定律成立的条件是:要求均一溶液,稀溶液;入射光为单色光;溶液界面无反射,光度计内无杂散光;溶液为真溶液(无溶质、溶剂及悬浊物引起的散射);吸收过程中,吸收物质的行为互不相关。

2.2.3 比色法测定 H₂O₂ 浓度

本研究采用碘量法-紫外分光光度联用法测定 H₂O₂ 浓度,该方法兼具化学计量准确性和快速检测优势^[4]。其原理为:在酸性条件下, H₂O₂ 与 KI 定量反应生成 I₃⁻ (H₂O₂ + 3I⁻ + 2H⁺ → I₃⁻ + 2H₂O), I₃⁻ 在 350 nm 处具有特征吸收峰。利用紫外-可见分光光度计测定碘溶液的吸光度,其吸光度与碘浓度成正比,进而与初始过氧化氢浓度成正比。

3 试剂及仪器设备

四水合硝酸镉(Cd(NO₃)₂ · 4H₂O)、硫脲(CH₄N₂S)、乙二胺(C₂H₈N₂)、碘化钾溶液(KI, 0.4 M)、3wt% 过氧化氢溶液、邻苯二甲酸氢钾溶液(0.1 M)、无水乙醇和去离子水(实验室自制)。实验所用试剂和药品均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司,使用前未进行纯化处理。

磁力搅拌器(HJ-6,常州金坛良友仪器有限公司),离心机(TG1605-WS,上海卢湘仪器有限公司),电子分析天平(ME204,梅特勒-托利多),电热鼓风干燥箱(WGL-45B,天津泰斯特仪器有限公司),氙灯(300 W,北京中教光源科技有限公司),紫外分光光度计(UV-2600,日本岛津仪器有限公司),烧杯,磁子,水热反应釜,移液枪,量筒,容量瓶。

4 实验步骤

4.1 CdS 的制备

将 4.62g 硝酸镉和 3.43g 硫脲溶于 40mL 乙二胺中,剧烈搅拌 1h,然后将所得溶液转移到 100mL 聚四氟乙烯内衬的高压反应釜中,密封后置于烘箱中,160℃加热 48h。冷却后,离心得到黄色沉淀,用去离子水和乙醇反复洗涤沉淀,所得产物在 60℃下干燥 12h,研磨备用^[5]。

4.2 UV-Vis 标准曲线绘制

标准曲线绘制方法:用 3wt% H₂O₂ 溶液配置 11 个不同浓度的标准溶液(可自主设计浓度梯度),例如,25 μM、50 μM、75 μM、100 μM、125 μM、150 μM、175 μM、

200 μM 、250 μM 、300 μM 和 350 μM 。按体积比为 H_2O_2 标准溶液: 邻苯二甲酸氢钾溶液 (0.1M, $\text{pH}\approx 4$): KI 溶液 = 3: 1: 1 混合, 混匀后避光显色 30 钟, 测定 350nm 处的吸光度, 并将 H_2O_2 浓度与吸光度进行线性拟合, 得到标准曲线 (图 2)。通过实验数据绘制的标准曲线为: $A=0.01017C-0.02409$, 相关系数 $R^2=0.999$, A 为吸光度, C 为 H_2O_2 浓度 (μM)。

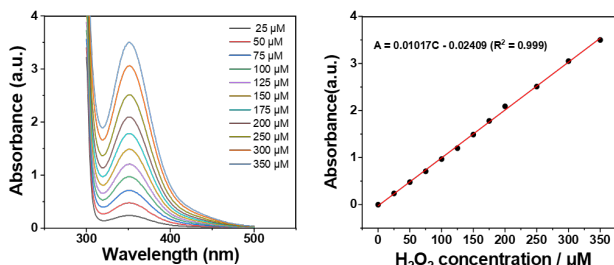


图 2 H_2O_2 标准溶液的紫外 - 可见吸收光谱 (左) 和 H_2O_2 标准溶液吸光度与浓度的标准曲线 (右)

4.3 光催化产 H_2O_2 测试

称取 5mg 制备好的 CdS 粉末, 分散于 50mL 去离子水中, 超声处理 10min 以确保均匀分散。开启磁力搅拌并接通冷凝水 (控制温度)。在 300W 氙灯照射下进行反应, 每隔 15min 从反应体系抽取 2mL 反应液 (图 3), 用 0.22 μm 滤膜过滤。将 1.5mL 滤液与 0.5mL 邻苯二甲酸氢钾溶液和 0.5mL KI 溶液 (显色剂) 混合均匀, 避光静置 30min 显色。测定 350nm 处的吸光度, 根据标准曲线计算生成 H_2O_2 浓度。

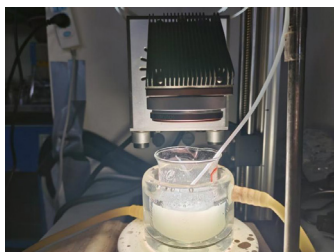


图 3 光催化产 H_2O_2 实验装置

5 结果讨论与拓展

关联光催化产 H_2O_2 速率与 UV-Vis 吸光度数据, 讨论误差来源 (如光干扰、显色稳定性)。

如何提高 H_2O_2 产率? 引导学生引入变量 (pH、温度、催化剂用量、光照时间的能) 探究反应条件对 H_2O_2 产率的影响。

学生分组汇报 UV-Vis 结果, 对比不同组的实验方案差异。

总结紫外 - 可见分光光度计使用过程中注意事项。

6 科教融合在实验过程中的体现

实验前期学生通过文献调研系统梳理 H_2O_2 的工业应用

价值与传统合成方法的局限性; 掌握光催化合成 H_2O_2 原理; CdS 纳米材料的研究进展。在此基础上, 设计 CdS 纳米棒的制备方案; 制定紫外 - 可见分光光度法检测 H_2O_2 浓度的实验流程。在此过程中, 学生能够提升文献检索、信息整合与科研设计能力, 培养创新思维; 激发对光催化前沿研究的探索热情, 为后续实验奠定基础。在实验操作环节中, 学生将掌握水热法合成化镉纳米棒的制备方法; 开展光催化合成 H_2O_2 的实验, 分析反应条件对催化效率的影响; 完成标准曲线制作及紫外 - 可见分光光度法检测 H_2O_2 浓度的测试, 建立完整的性能评估流程。这一过程提升学生的实验操作规范性与技术熟练度; 强化科学观察与现象分析能力, 培养团队协作与问题解决意识; 建立从实验设计到结果分析的完整科研思维。在实验完成后, 学会运用 Origin 等专业软件进行数据可视化, 建立图表与实验结论的关联性; 学习实验报告的规范化写作范式, 同时可练习科技论文的基本写作模式, 实践从数据到结论的逻辑推导过程; 最后, 通过对实验异常数据的合理解释, 培养学生的批判性思维, 锻炼学术表达能力。

7 结语

本文以将光催化产过氧化氢这一科研前沿成果转化为本科实验教学内容, 以硫化镉纳米棒的制备、光催化性能测试及其紫外 - 可见分光光度法为核心, 构建了科教融合的创新实验体系。实验采用温和的反应条件和简便的操作流程, 通过紫外 - 可见分光光度法对产物进行定量分析, 既能强化学生的基础实验技能, 又能培养其仪器操作和数据处理能力。实验内容融合了材料化学、催化化学和环境科学等多学科知识, 通过光催化技术在环境修复和能源转化中的实际应用, 有效拓展学生的学科视野。该实验不仅激发了学生的科研兴趣, 更通过完整的科研流程训练, 培养了学生的创新思维和解决问题能力, 为后续毕业论文和研究生阶段的科研工作奠定了基础。

8 参考文献

- [1] 李晓微, 秦来, 邢其鑫, 等. 张雷国家级一流本科专业建设背景下“科”与“教”协同作用培育高水平创新人才—以BiOI光催化降解甲基橙的实验为例[J]. 大学化学, 2022, 37(6): 2107016.
- [2] 杨跃武, 凌冉冉, 周书葵, 等. 光催化技术在水处理中的应用研究进展[J]. 精细化工, 2024, 41(4): 707-718.
- [3] Xin Sun, Jindi Yang, Xiangkang Zeng, et al. Pairing Oxygen Reduction and Water Oxidation for Dual-Pathway H_2O_2 Production [J]. Angew. Chem. Int. Ed., 2024, 63, e202414417.
- [4] Zhen Wei, Meili Liu, Zijian Zhang, et al. Efficient visible-light-driven selective oxygen reduction to hydrogen peroxide by oxygen-enriched graphitic carbon nitride polymers [J]. Energy Environ. Sci., 2018, 11, 2581-2589.
- [5] 陈书堂, 张小玲, 侯晓淼, 等. CdS 纳米棒的制备、表征及其形成机理[J]. 物理化学学报, 2010, 26(2): 511-514.