

廣西大學

博士学位答辩资格审核表

学 院	轻工与食品工程学院		学科专业名称 (与学籍信息一致)		轻工技术与工程		
研究生姓名	赵思宇	学号	2216401015		入学日期	2022 年 9 月	
指导教师 (姓名、职称)	王双飞院士、宋雪萍教授		学位类型		☒ 学术学位 ☐ 专业学位		
学位成果类型	☒ 学位论文 ☐ 实践成果 (成果形式:)						
学位成果题目	木质素衍生碳点的荧光增强及发射波长红移调控机制研究						
质量审核							
评阅 情况	送审情况			评审结果			
	聘 请	评阅专家	其中行业专家	专 家 1	专 家 2	专 家 3	
		3 人	3 人				
	回 收	3 份	3 份	88 分	93 分	88 分	
答辩专家组成审核							
答 辩 委 员 会		姓 名	职 称	是否 博导	是否我校 兼职博导	工 作 单 位	备 注
	主席	陈朝吉	教授	是	否	武汉大学	
	委员	张文礼	教授	是	否	广东工业大学	
		刘刚	教授	是	否	中南大学	
		曾林涛	教授	是		广西大学	
		张云	副教授	是		广西大学	
答辩秘书 (姓名、职称)	康希恒 助理教授		联系电话	15078740037	答 辩 时间、地点	2026 年 8 月 14 日 轻工学院 204 会议室	
学院学位评定分委员会审核意见:				校学位评定委员会办公室备案			
是否同意答辩: ☒ 同意 ☐ 不同意							
学位评定分委员会主席 (签名)  (单位公章)  2026 年 8 月 15 日							

注: 1. 本页不足可增页, 增页时, 审核表应双面打印。

2. “是否我校兼职博导”栏, 本校老师请留空。

3. 根据评阅意见需修改后答辩的, 须附上《博士学位成果修改认定表》。



广西大学

博士答辩资格简况表

学院 轻工与食品工程学院		食品工程学院		学科专业 (研究方向)		轻工技术与工程 (生物质化学与工程)	
研究生姓名 20210070赵思宇		入学日期		2022 年 9 月		指导教师 王双飞 院士 宋雪萍 教授	
学位成果类型		☒ 学位论文 ☐ 实践成果 (成果形式:)					
学位成果题目		木质素衍生碳点的荧光增强及发射波长红移调控机制研究					
答辩地点		轻工学院 204 会议室		答辩时间		2026 年 8 月 14 日	
主要研究内容及重要结论 (≤300 字): (1) 阐明了木质素向 L-CDs 转化的时序演化历程, 可划分为木质素大分子解聚、木质素小分子聚合成核、L-CDs 结构生长和动态平衡四个阶段。(2)通过碳源结构优化实现 L-CDs 荧光增强, Pd/C 催化剂与超临界体系协同裂解木质素得到 CL-1, 制备的 CL-CDs-1 荧光由 63 提升至了 963。(3) 从后处理改性角度实现了 L-CDs 荧光增强, L-CDs 荧光存在浓度依赖性, 最优浓度为 0.1 mg/mL。氨基、羟基修饰均可提升荧光强度, 存在协同作用, 将荧光强度由 184 提升至了 1225, 供电子共轭效应为荧光增强核心机制。(4) 向 L-CDs 修饰叶绿素制备红光发射 RL-CDs, 波长红移至 667 nm。负载铁死亡引发剂 RSL3 构筑 RL-CDs@RSL3 复合纳米材料, 可富集于血管瘤细胞诱导其铁死亡, 依靠红色荧光实现细胞实时可视化, 构建了“成像-治疗”一体化方案。							
创新点内容: (1) 从时间维度上明晰了木质素的解聚产物特性与 L-CDs 形成的关系, 以及木质素小分子聚合为团簇、L-CDs 碳核的形成及其结构生长等演化规律, 揭示了木质素向 L-CDs 转化的演变历程, 对现有 L-CDs 形成的时序演化机制进行了有力补充。 (2) 提出了通过超临界体系-Pd/C 催化裂解木质素优化碳源, 以及利用 NaBH₄ 和 EDA 进行后处理改性调控 L-CDs 表面供电子取代基的策略, 实现了 L-CDs 荧光的显著增强, 提升了其实际应用潜力。 (3) 提出了利用叶绿素修饰 L-CDs 后再负载铁死亡引发剂 RSL3 的策略, 实现了 L-CDs 的发射波长红移并赋予了 L-CDs 高成像辨识性及药理作用, 且负载 RSL3 后未影响其红移的发射波长, 成功构建了针对细胞铁死亡的“成像-治疗”一体化荧光纳米复合材料。							

注: 本页不足可增页, 增页后存档时应双面打印

10593 | 广西大学

博士学术学位论文评阅书

学号：2216401015

论文名称：木质素衍生碳点的荧光增强及发射波
长红移调控机制研究

作者姓名：赵思宇

作者学科专业：轻工技术与工程

作者研究方向：木质纤维资源高值化利用；新型生物
质基材料

作者研究方向：

论文题目	木质素衍生碳点的荧光增强及发射波长红移调控机制研究	
学科(专业)	轻工技术与工程	
评议项目	评价要素	分档
选题与综述	选题的前沿性和开放性；研究的理论意义、现实意义；对国内外该选题以及相关领域发展现状的归纳、总结情况。	良好
基础知识与科研能力	论文体现的科学理论基础坚实宽广程度和专业知 识系统深入程度；论文研究方法的科学性，引证资料的翔实性；论文所体现的作者独立从事科学研究的能力。	良好
研究内容、创新性 及论文价值	对有价值现象的探索、新规律 的发现、新命题新方法的提出等新的科学发现；对解决自然科学或工程技术中重要问题的作用；论文及成果对科技发展和社会进步的影响和贡献。	良好
学术规范与写作水平	引文的规范性，学风的严谨性，论文结构的逻辑性；文字表述的准确性和流畅性。	良好
总分	88	
总体评价	良好 90>总分≥80	
是否同意答辩	达到博士学位授予要求，同意答辩（90>评阅总分≥80）	
是否推荐参加优秀学位论文评选	推荐省级优秀	

论文编号:976687737

论文题目:木质素衍生碳点的荧光增强及发射波长红移调控机制研究

简述推荐理由	
1	推荐。该论文选题前沿，创新性好，取得了较多成果。
对论文熟悉程度	很熟悉

对学位论文的学术评语

木质素作为造纸与生物炼制工业的大宗副产物，年产量达数千万吨，但目前高值化利用率极低，大部分被直接焚烧处理。将其转化为高附加值的碳点（CDs），符合国家绿色可持续发展战略和生物基材料产业政策导向。本研究聚焦L-CDs荧光强度低和发射波长偏短两大关键瓶颈，从形成机制、碳源优化、后处理改性和功能化构建四个层面开展系统研究，兼具学术前沿性和产业应用价值。

本论文从阐明木质素向L-CDs转化的演变历程入手，进而从碳源结构优化和后处理改性两个维度建立荧光增强策略，再通过叶绿素修饰实现波长红移并构建具有铁死亡诱导功能的纳米复合材料，整体研究思路清晰、逻辑性强，已发表多篇学术论文，获得了较创新的成果，体现了作者独立从事科学研究的能力。整体上，论文达到了博士学位论文的学术水平。

论文的不足之处和建议

1. 在综述部分: 制备工艺优化(掺杂改性)和化学改性(后处理)是CDs荧光增强的主要的技术手段, 建议增加这两类策略在木质素基CDs体系中适用边界和局限性的深入讨论。
2. 在综述部分: 木质素基CDs在QCE(量子限域效应)和SSE(表面态效应)两种发射波长调控机制下的研究进展和面临的需要解决的问题, 需要进一步阐述清楚。
3. GC-MS仅能检测挥发性小分子, 无法检测高沸点低聚物和反映中间体的变化。在第二章GC-MS分析中, 将“体系中小分子种类在所有 HTCLX 中最多”作为“表明此时木质素解聚程度达到了峰值”的依据, 结论不严谨。
4. 第三章碳源裂解改性、第四章表面后改性为两条平行荧光增强路线, 都实现了L-CDs荧光增强, 但两个策略的效果差异和适用条件综合对比优劣如何?
5. 第五章构建的RL-CDs@RSL3纳米复合材料在细胞层面表现出良好的铁死亡诱导效果, 建议与商业化铁死亡诱导剂进行对比讨论, 进一步探讨该材料在实际应用中可能面临的挑战, 客观评价其优势和不足。
6. 创新点凝练不够, 当前表述偏重研究结果的表述, 未充分阐述出本研究的意义, 对本研究领域的贡献或促进作用。如创新点(2)建议明确指出两种策略(碳源优化与后处理修饰)在机理上的本质区别和优势, 使创新点表述更精准。创新点(3)中, 利用叶绿素实现红移是一个亮点。建议补充说明该策略相较于传统“杂原子掺杂”或“表面态调控”实现红移的优势(如: 波长固定、不破坏碳核结构等), 以凸显其独特性。
7. 论文规范性: 浓度单位“mg/mL”与“mg/ml”需统一, 建议检测全文; 公式2-1中出现了多种符号, 建议补充完整的符号说明。

创新点	内容	分档
创新点1	(一) 从时间维度上明晰了木质素的解聚产物特性与L-CDs形成的关系, 以及木质素小分子聚合为团簇、L-CDs碳核的形成及其结构生长等演化规律, 揭示了木质素向L-CDs转化的演变历程, 对现有L-CDs的形成机制进行了有力补充。	B (良好)
创新点2	(二) 提出了通过超临界体系-Pd/C催化裂解木质素优化碳源, 以及利用NaBH ₄ 和EDA进行后处理改性调控L-CDs表面供电子取代基的策略, 实现了L-CDs荧光的显著增强。	B (良好)
创新点3	(三) 提出了利用叶绿素修饰L-CDs后再负载铁死亡引发剂RSL3的策略, 实现了L-CDs的发射波长红移并赋予L-CDs高成像辨识度及药理作用, 成功构建了针对细胞铁死亡的“成像-治疗”一体化荧光纳米复合材料。	B (良好)
创新点4	无	
创新点5	无	

10593 | 广西大学

博士学术学位论文评阅书

学号: 2216401015

论文名称: 木质素衍生碳点的荧光增强及发射波
长红移调控机制研究

作者姓名: 赵思宇

作者学科专业: 轻工技术与工程

作者研究方向: 木质纤维资源高值化利用; 新型生物
质基材料

论文题目	木质素衍生碳点的荧光增强及发射波长红移调控机制研究	
学科(专业)	轻工技术与工程	
评议项目	评价要素	分档
选题与综述	选题的前沿性和开放性； 研究的理论意义、现实意义； 对国内外该选题以及相关领域发展现状的归纳、总结情况。	优秀
基础知识与科研能力	论文体现的科学理论基础坚实宽广程度和专业 知识系统深入程度； 论文研究方法的科学性，引证资料的翔实性； 论文所体现的作者独立从事科学研究的能力。	良好
研究内容、创新性 及论文价值	对有价值现象的探索、新规律的发现、新命题新方法的提出等新的科学发现； 对解决自然科学或工程技术中重要问题的作用； 论文及成果对科技发展和社会进步的影响和贡献。	良好
学术规范与写作水平	引文的规范性，学风的严谨性，论文结构的逻辑性； 文字表述的准确性和流畅性。	优秀
总分	88	
总体评价	良好 90>总分≥80	
是否同意答辩	达到博士学位授予要求，同意答辩（90>评阅总分≥80）	
是否推荐参加优秀学位论文评选	推荐校级优秀	

论文编号:976687737

论文题目:木质素衍生碳点的荧光增强及发射波长红移调控机制研究

简述推荐理由	
1	论文选题前沿，逻辑性较好，作者发表了多篇较高水平的研究论文
对论文熟悉程度	很熟悉

对学位论文的学术评语

该论文主要开展了木质素衍生碳点的荧光增强及发射波长红移调控机制研究,木质素的高值化利用是当前研究的难点和热点,将木质素基荧光探针用于医疗领域对于解决木质素的应用具有重要的意义。论文总体上选题新颖,逻辑性强,语言通顺,资料翔实,引文规范,体现出作者较强的独立开展科学研究的能力,达到了博士学位论文的要求。

论文的不足之处和建议

几点建议如下:

- 1) 在研究背景部分, 建议增加木质素来源、结构和碳点关系的内容, 木质素来源广泛, 不同木质素理化性质差异很大, 建议从不同结构木质素出发, 分析其构效关系, 确定论文呢采用不同类型木质素的策略。
- 2) 在第二章不同反应时间演变过程部分, 建议结合气质分析谱图, 提出相关产物生成的过程机理, 提高理论深度。
- 3) 木质素基碳点的荧光增强机制阐述不明确, 为何超临界乙醇制备的碳点能够增强的原理阐述较少。

创新点	内容	分档
创新点1	(一) 从时间维度上明晰了木质素的解聚产物特性与L-CDs形成的关系, 以及木质素小分子聚合为团簇、L-CDs碳核的形成及其结构生长等演化规律, 揭示了木质素向L-CDs转化的演变历程, 对现有L-CDs的形成机制进行了有力补充。	A (优秀)
创新点2	(二) 提出了通过超临界体系-Pd/C催化裂解木质素优化碳源, 以及利用NaBH ₄ 和EDA进行后处理改性调控L-CDs表面供电子取代基的策略, 实现了L-CDs荧光的显著增强。	B (良好)
创新点3	(三) 提出了利用叶绿素修饰L-CDs后再负载铁死亡引发剂RSL3的策略, 实现了L-CDs的发射波长红移并赋予L-CDs高成像辨识度及药理作用, 成功构建了针对细胞铁死亡的“成像-治疗”一体化荧光纳米复合材料。	B (良好)
创新点4	无	
创新点5	无	

10593 | 广西大学

博士学术学位论文评阅书

学号：2216401015

论文名称：木质素衍生碳点的荧光增强及发射波
长红移调控机制研究

作者姓名：赵思宇

作者学科专业：轻工技术与工程

作者研究方向：木质纤维资源高值化利用；新型生物
质基材料

论文题目	木质素衍生碳点的荧光增强及发射波长红移调控机制研究	
学科(专业)	轻工技术与工程	
评议项目	评价要素	分档
选题与综述	选题的前沿性和开放性； 研究的理论意义、现实意义； 对国内外该选题以及相关领域发展现状的归纳、总结情况。	优秀
基础知识与科研能力	论文体现的科学理论基础坚实宽广程度和专业 知识系统深入程度； 论文研究方法的科学性，引证资料的翔实性； 论文所体现的作者独立从事科学研究的能力。	优秀
研究内容、创新性 及论文价值	对有价值现象的探索、新规律的发现、新命题新方法的提出等新的科学发现； 对解决自然科学或工程技术中重要问题的作用； 论文及成果对科技发展和社会进步的影响和贡献。	优秀
学术规范与写作水平	引文的规范性，学风的严谨性，论文结构的逻辑性； 文字表述的准确性和流畅性。	优秀
总分	93	
总体评价	优秀 总分 ≥ 90	
是否同意答辩	达到博士学位授予要求，同意答辩，并同意推荐为优秀（评阅总分 ≥ 90 ）	
是否推荐参加优秀学位论文评选	推荐省级优秀	

论文编号:976687737

论文题目:木质素衍生碳点的荧光增强及发射波长红移调控机制研究

简述推荐理由	
1	选题前沿，研究水平高，研究成果多。
对论文熟悉程度	熟悉

对学位论文的学术评语

一、 选题的意义

木质素作为造纸和生物炼制工业的主要副产物,其高值化利用是实现生物质全组分利用和“双碳”目标的关键环节。碳点(CDs)作为一类新型荧光纳米材料,在生物医药、传感、催化等领域前景广阔。然而,木质素基碳点(L-CDs)普遍存在荧光强度低,荧光量子产率低、发射波长短等瓶颈,严重制约了其实际应用。如果能够增强荧光,可以要检测时产生更强的信号、实现更高灵敏度。而发射波长红移,则在生物组织中穿透更深,背景更干净。是实现高质量生物成像,特别是深层组织成像的关键一步。

本论文聚焦于L-CDs的荧光增强与发射波长红移这两大核心难题,旨在揭示其调控机制。研究成果可以用于生物成像与示踪、药物递送和控制释放、光热和光动力治疗、抗菌和抗氧化等。同时,研究面向生物成像、肿瘤铁死亡诊疗一体化高端应用需求,从碳源预处理、碳点后修饰两条技术路线建立荧光调控体系,突破传统木质素碳点发光短板,可为农林废弃木质素资源化、低成本生物医用碳点规模化制备提供完整理论支撑与工艺方案,契合我国生物基材料产业发展政策导向,选题科学、前沿,研究目标明确,现实与学术意义突出。该研究有利于木质素的高附加值转化,也为高性能生物质材料设计与功能化应用提供了坚实的理论基础,契合国家发展生物基材料及绿色可持续发展的战略需求。该选题具有重要的科学价值和现实意义。

二、 研究内容与方法

论文设置四大核心研究章节,层层递进、逻辑闭环,整体技术路线设计科学严谨:

基础机理研究:以碱木质素水热体系为对象,梯度调控温度、保温时间,结合 GC-MS、TEM、XPS、XRD 多表征手段,首次完整划分木质素向碳点转化四阶段演变历程,完善 L-CDs 成核生长理论,为后续性能调控奠定机理基础;

碳源结构优化增亮策略:创新采用超临界乙醇 - Pd/C 协同催化裂解木质素,大幅降低木质素分子量、富集芳香小分子,从源头优化碳前驱体,实现碳点荧光数十倍提升,并构建叶酸靶向肝癌细胞荧光探针;

表面供电子基团协同增亮策略:系统阐明 L-CDs 荧光浓度依赖性,分别开展羟基还原、氨基水热单改性及氨基 - 羟基双重协同改性,定量对比三种修饰方案荧光提升幅度,揭示供电子共轭增强发光机制;

叶绿素修饰红移及诊疗一体化:提出叶绿素卟啉大环分子表面修饰策略,将 L-CDs 发射红移至 667 nm 红光,负载 RSL3 构建可实时可视化追踪、诱导血管瘤细胞铁死亡的纳米复合材料,实现成像-治疗一体化。

全部实验变量设置梯度对照,表征体系完整(光谱、微观形貌、元素分析、细胞生物学实验全覆盖),对照组设计充分,细胞毒性、共聚焦成像、铁死亡通路等生物学验证完整,实验方法规范、数据详实可重复,工作量饱满,实验设计具备高度系统性与创新性。

对学位论文的学术评语

三、 研究结果与创新性

本文研究成果在多个方面都表现出显著的创新性。

机理：从时间维度完整解析水热过程木质素 “大分子解聚 — 小分子聚合成核 — 碳点生长 — 动态平衡” 四阶段演化路径，借助 GC-MS 追踪中间芳香单体演变，完善现有木质素碳点形成理论，填补时序演化机制研究空白；

工艺：提出超临界乙醇 - Pd/C 协同催化裂解木质素新预处理工艺，无需外加高压氢即可高效断裂木质素醚键，制备低分子量富芳香裂解碳源，从碳源源头大幅提升碳点荧光与上转换发光性能，工艺绿色可回收；

改性机制：系统地证实了氨基、羟基两类供电子取代基对碳点荧光协同增强效应，定量给出单修饰、双修饰荧光提升数据，阐明电子云密度提升、非辐射跃迁抑制的双重发光增强机理；

应用：首次利用天然叶绿素实现木质素碳点长波长红光发射，构建负载 RSL3 的 RL-CDs@RSL3 复合纳米材料，兼具红色荧光细胞示踪与诱导血管瘤细胞铁死亡双重功能，拓展木质素碳点在肿瘤诊疗一体化的全新应用场景。

四项创新分别覆盖基础机理、原料预处理、表面改性、生物医用功能化，层次分明，原创性突出，突破现有文献常规研究思路。

四、 文章写作的规范性

论文结构完整，写作规范，逻辑性强。摘要精炼地概括了全文核心工作，绪论部分文献综述详实，能准确把握领域内的研究现状与不足，并据此凝练出清晰的科学问题。

各章节内部组织有序，图表清晰（如GC-MS产物演变表、荧光增强机制示意图等），数据呈现直观，分析讨论深入，能够将实验结果与理论机制有机结合。结论总结全面，并对未来研究方向提出了合理的展望。

五、总体评价

该博士论文选题前沿、理论创新显著，实验体系完整、数据丰富，逻辑严谨，写作规范，完整完成预设全部研究目标，在木质素资源化、荧光碳点光学调控、肿瘤诊疗纳米材料领域取得多项原创性成果，充分证明作者具备扎实专业理论、娴熟实验技能与独立科研创新能力，符合轻工技术与工程专业博士学位授予标准，同意答辩。

论文的不足之处和建议

第二章通过“间歇取样”的方式研究演变历程,虽揭示了产物的静态变化,但无法捕捉水热过程中中间体的瞬态变化及自由基反应路径。应结合原位高温高压表征技术(如原位拉曼、原位XRD)或理论计算(如DFT模拟反应路径)来验证所提出的“解聚-聚合”机制。

作者指出NaBH₄处理会导致L-CDs碎片化,但基于发射波长未蓝移排除了量子限域效应。然而,粒径减小通常会导致表面缺陷态比例增加,这本身也是一种荧光增强途径,是否可能与供电子共轭效应并存?建议作者对“碎片化”带来的表面态变化进行更深入的XPS或超快光谱分析。

本论文的生物学实验均在细胞层面完成,即在体外完成,未开展活体动物体内成像、抗肿瘤药效与长期生物安全性评价;这是该研究向临床前推进最重要的缺失环节。后续可补充小鼠模型体内实验,完善诊疗一体化材料体内应用数据;

超临界 Pd/C 裂解工艺仅实验室小试,未开展工艺参数放大、催化剂循环稳定性、产物分离纯化经济性分析,工业化应用潜力论证不足;

作者提及使用的为混合叶绿素,但未区分叶绿素a和b。两者结构差异可能对L-CDs的光学性能及稳定性有不同影响,建议后续研究加以区分。对叶绿素修饰碳点共价 / 非共价结合方式可借助核磁、质谱进一步精准表征,细化红移分子间作用机理。

文章中虽然证实了羟基和氨基的协同作用,但关于二者如何协同的分子机制(如是否形成氢键网络增强共轭、是否改变表面电荷分布等)可以进一步深入阐述。

论文表达中有些明显的笔误,例如,图2-3的中英文标题明显含义不一致。英文标题中将(a)同时赋予了UV-vis光谱和160° C的PL光谱,出现了重复编号(a)。实际上,UV-vis光谱在图中可能并未分区编号,或者编号方式与文字描述不一致。这种中英文编号不对应的情况属于明显的编辑疏漏。

本文第2.2.7节公式(2-1)计算荧光量子产率,公式公式中的 s 和 s_{qs} 应分别为样品和参比物的荧光发射光谱积分面积,通常用大写 S 或 I 表示,而非小写 s (小写 s 在物理中常代表秒或位移)。另外公式中的 n 和 n_{qs} 分别为样品和参比物溶剂的折射率。但公式中出现了 n^2/n_{qs}^2 。在标准文献中,该比值通常写为 $(n/n_{qs})^2$,这样更清晰。在公式中未对各项参数进行定义说明,这在学术写作中是不规范的。

创新点	内容	分档
创新点1	(一) 从时间维度上明晰了木质素的解聚产物特性与L-CDs形成的关系, 以及木质素小分子聚合为团簇、L-CDs碳核的形成及其结构生长等演化规律, 揭示了木质素向L-CDs转化的演变历程, 对现有L-CDs的形成机制进行了有力补充。	A (优秀)
创新点2	(二) 提出了通过超临界体系-Pd/C催化裂解木质素优化碳源, 以及利用NaBH ₄ 和EDA进行后处理改性调控L-CDs表面供电子取代基的策略, 实现了L-CDs荧光的显著增强。	A (优秀)
创新点3	(三) 提出了利用叶绿素修饰L-CDs后再负载铁死亡引发剂RSL3的策略, 实现了L-CDs的发射波长红移并赋予L-CDs高成像辨识度及药理作用, 成功构建了针对细胞铁死亡的“成像-治疗”一体化荧光纳米复合材料。	B (良好)
创新点4	无	
创新点5	无	