

中国材料大会 2024
暨第二届世界材料大会
CMC 2024 & WMC 2024

July 8-11, 2024
Guangzhou, China

D14-碳点功能材料
D14-Carbon Dots Functional
Materials

Organized by

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.scimeeting.cn>

D14. 碳点功能材料

分会主席：杨柏、康振辉、孙再成、卢思宇、雷炳富

分会编号-01

碳点复合光电催化体系的原位研究探索

康振辉*

苏州大学纳米科学技术学院

纳米碳点 (C-dots)，是一类尺寸小于 10 nm 的新型碳纳米材料。目前碳点已逐渐成为碳纳米材料家族中的重要成员。碳点在能源、催化和生物领域具有很广泛的应用前景。我们最近的工作集中于碳点的大规模可控制备，性质调控以及催化特性。建立了碳-水体系的电化学刻蚀法，实现高质量碳量子点的大量可控制备；阐明了碳量子点的结构、表面组成与光电化学性质间的关系；建立了描述碳量子点表面官能团、碳核尺寸以及能级位置的半经验方程；首次解析出一对手性碳量子点的化学结构和空间结构；实现了对碳量子点光电性质的调变，使其成为高效非金属光电催化剂；建立了复合光电催化界面电子传输动力学表征的新方法，开发出宽时域光电瞬态原位表征的原理样机；提出“能量转换与电子传递协同作用”的催化剂设计思路，设计出一系列基于碳量子点的高效光电催化体系；提出并示范了完全光分解水的“两步-两电子过程”新机制。这里将主要向大家汇报一下关于碳点的一些研究进展，主要包括：碳点的制备、光电化学性质、光电催化性质，光电催化界面表征新方法以及碳量子点的生物活性。

分会编号-02

细胞内 ATP 配位驱动的原位合成类过氧化物纳米酶诱导可监测的肿瘤细胞铁死亡

李建，薛小矿，陈铁金，王泽华，葛介超*

中国科学院理化技术研究所

通讯联系人：jchge2010@mail.ipc.ac.cn

纳米医学和纳米催化的结合促进了纳米酶的出现和发展，已报道的体外合成的纳米酶在肿瘤治疗中具有很大的应用潜力。然而，利用细胞内组分驱动的原位合成策略进行原位合成纳米酶的研究还尚未报道。在本研究中，我们使用红光碳点 (CDs) 作为 Fe^{3+} 载体，利用二者之间的配位作用合成了非活性的 Fe/CDs 纳米组装体 (Fe/CDs-A)。在 Fe/CDs-A 在三磷酸腺苷 (ATP) 过表达的肿瘤细胞中被激活并解组装，导致 CDs 的特异性释放和荧光的恢复，同时原位快速形成 Fe^{3+} -ATP 纳米复合物。有趣的是，原位形成的 Fe^{3+} -ATP 纳米复合物具有类过氧化物酶 (POD) 活性，在肿瘤细胞内酸性过氧化氢存在下有效生成剧毒的羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$)，诱导肿瘤细胞铁死亡；同时，荧光恢复的 CDs 首先进入肿瘤细胞的溶酶体内，并最终富集在死亡/垂死细胞的细胞核中，实时肿瘤细胞铁死亡过程的监测。简而言之，体外和体内的研究表明了我们首次实现了利用细胞内 ATP 配位驱动的原位合成策略原位合成类 POD 纳米酶，从而为细胞内原位生成纳米酶用于精确的癌症治疗提供了新的研究思路。

分会编号-03

面向电化学储能应用的碳点新材料

侯红帅*

中南大学

在能源革命进程中，可充电电池作为关键支撑技术，展现出巨大应用潜力。聚阴离子型正极材料具有优异的循环稳定性和安全性，是重要的钠离子电池正极候选材料。然而，其差的本征电子导电性严重阻碍了实际应用。碳包覆策略是提高聚阴离子正极电导率不可或缺的方法，但由于碳前驱体与正极之间的反应过程复杂，建立统一的碳前驱体筛选原则仍是一个技术难题。在此，我们通过系列原位观察手段，揭示了

碳质前驱体热解化学性质对 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ (NVP) 正极形成过程和性能的关键影响。通过对三种碳质前驱体（导电炭黑，柠檬酸，碳点）的研究，发现含 O/H 的官能团可为正极前驱体提供更多的键合位点，并通过热解产生还原气氛，有利于形成聚阴离子材料和均匀的碳包覆层。结果表明碳点(CDs)具有合适官能团从而易于形成完整的包覆层。因此，NVP/CDs 正极显示出卓越的循环稳定性，在 50 C 的高倍率下循环 10000 次后仍能保持 92% 的容量。此外，还提出了一种界面动力学和热力学协同策略，以同步增强聚阴离子正极的快速充电能力和结构稳定性。通过引入源自 N/S 共掺杂碳点的界面层，成功实现了 NVP/NSFC 复合正极的制备。得益于这种界面协同策略，NVP/NSC 以惊人的低含碳量 (2.23%) 实现了高容量和出色的循环稳定性，在 100 C 的超高温下可循环 10000 次 (87.2 mAh g⁻¹, 每循环容量衰减 0.0028%)。最后，提出缺陷构型熵策略进一步优化超级快充型聚阴离子正极。通过 N/S/F 共掺杂碳点构筑缺陷构型熵界面层，随缺陷构型种类的增加能够同步实现 NVP 结构稳定性增强、电子电导与离子电性同步提升和电解液浸润性增加，从而大幅提升复合材料的倍率性能。得益于缺陷构型熵策略，NVP/NSFC 在 200 C 下获得了 88.9 mAh g⁻¹ 的高容量，在 100 C 大电流下 5000 次稳定循环后仍具有 90.2% 容量保持率。这些发现为设计超快充正极材料提供了新的思路。

分会编号-04

碳基量子点光致发光机制及界面特性研究

杨思维*

中国科学院上海微系统与信息技术研究所

以石墨烯量子点、碳点、碳化聚合物量子点等为代表的碳基量子点以其在光场、电场、磁场、化学场下的多样化性质受到了广泛关注。然而，由于碳基量子点 sp^2 - sp^3 杂化碳纳米结构带来的复杂性使其在光致发光机制及界面特性研究领域面临困境。针对这一现状，我们提出通过机器学习方法与经典光致发光模型的结合，实现碳纳米结构特性与光致发光性质关联模型的构建。进而对模型背后的物理内涵进行阐释。另一方面，我们借助碳纳米结构的精确调制实现了石墨烯量子点晶格中 N 原子的有序掺杂，我们证明这一结构特殊的界面响应特性。基于此结果我们发展了该量子点在生物传感及疾病治疗领域的系列应用。最后，我们介绍基于超导极低场磁共振系统的激发态下碳纳米结构界面质子输运特性新研究手段及相关研究进展。

分会编号-05

基于机器学习的碳点基余辉发光材料的探索和设计

刘应亮*, 杨宏伟, 罗艺盟, 冉准, 肖勇, 胡超凡, 庄健乐, 李唯, 雷炳富

华南农业大学材料与能源学院, 广州 510642

碳点基长余辉材料因其低成本和无毒等优势，引起了光学领域的广泛关注。然而，对于类似碳点这类结构复杂且结构未知的材料想定向合成某种性能，仍然是一个重大挑战。本研究首次利用机器学习的强大非线性拟合能力，探索了碳点余辉性质，并指导合成具有高性能的碳点基长余辉材料。通过将量子化学计算与实验相结合，我们设计了碳点余辉性质相应的回归模型，阐明了前驱体和碳点余辉性质之间的关系。XGBoost 算法在最佳激发波长、最佳发射波长和余辉寿命预测中表现出优异的性能，对应的回归系数分别为 0.97、0.99 和 0.98，筛选出的长寿命碳点的磷光寿命高达 3.43 秒。这些发现表明，机器学习可以建立前驱体和结构未知材料之间的非线性关系，揭示其内在联系，并简化材料的设计探索，从而加速其研发进程。

分会编号-06

碳化聚合物点结构调控与功能研究

卢思宇*

郑州大学

碳化聚合物点（CPDs）是一类单颗粒具有聚合物特性和核-壳结构特征的碳点，并表现为，结构可设计性强、低毒、高荧光效率、良好相容性等优点。CPDs 可通过多功能团单体、具有功能侧基的合成高分子及天然大分子等为起始原料，经交联聚合、脱水碳化等过程来制备。我们在碳化聚合物点相关研究主要聚焦在其结构的解析和精准调控：（1）CPDs 的发光中心确认和调控；（2）功能 CPDs 的设计、定向制备与性能优化；（3）以 CPDs 为基元构筑复合材料，拓展应用。

分会编号-07

碳点/稀土发光材料复合物的构建及性能研究

庄健乐*

华南农业大学

碳点是一类尺寸小于 10 nm 的零维碳基纳米材料，因其独特的光学性能、良好的生物相容性和易于制备等优点而备受关注，是当前纳米发光领域的研究热点。稀土发光材料具有优异的光学性能，可利用掺杂稀土离子丰富的 4f 能级调节其发光性能。将碳点与稀土发光材料复合构建复合材料，可充分利用两者优势，取长补短，获得单一材料难以实现的性能，例如：利用碳点调节稀土上转换材料的发光性能；利用上转换材料构建可用近红外光激发的碳点基余辉材料；利用稀土材料作为基质诱导碳点的磷光。在此，我们将介绍课题组近年来在碳点/稀土发光材料复合物的构建、性能及应用研究方面取得的一些进展。

分会编号-08

功能化碳点用于诊断和治疗柑橘黄龙病的研究

陈久存*, 雷天刚

西南大学

柑橘黄龙病菌是一种革兰阴性细菌，寄生在柑橘韧皮部筛管细胞，干扰线粒体和叶绿体正常功能，导致枝梢生长失绿黄化、果实着色异常或红鼻果、植株器官营养输送受阻或缺乏供给而枯死。虽然已从田间经验性诊断发展到更为精准的免疫学和分子检测，但前提是柑橘植株内黄龙病菌繁殖发展到一定程度，因此无法了解黄龙病菌在宿主体内浸染和繁殖的发病规律。

在报告人前期已合成的大量荧光碳点中，筛选出适合用于柑橘树苗体内成像的荧光碳点，并进一步将抗菌药物负载到碳点表面，利用黄龙病菌半离体培养方法进行药效评价，考察碳点负载抗生素具有增强抗生素对柑橘黄龙病菌的抑菌效果，碳点负载药物可增强其对黄龙病菌的抑菌作用及在植物体内的转运和组织渗透。碳点独特的物理化学性质和稳定的荧光性能使其成为荧光标记物的理想选择，可用于追踪药物在植物体内的分布和转运过程。这些发现为进一步研究药剂在植物体内的运输规律提供了重要信息。

分会编号-09

多色及比率荧光碳点的常温常压制备与应用

沈洁*

江南大学

碳点的常温常压制备法因能耗小、设备简单，操作便捷安全而有望实现碳点的大规模生产。本文以邻苯二胺和不同种类的多元醇为前驱体，在常温常压下分别合成多色和双发射荧光碳点。通过对多色碳点结构和光学性质的表征，结合理论计算阐明多色碳点的形成机理和发光机制。结果表明，氧化、席夫碱和酰胺化反应为前驱体的脱水、聚合和碳化提供了足够的能量，从而促进了多色碳点的形成。并且碳点粒径越

大, 石墨化程度越强, 共轭体系越宽, 禁带越窄, 发射波长越红移。对双发射荧光碳点进行柱层析分离, 并对各荧光组分进行结构和光学性能分析, 阐明不同荧光组分与双发射中心之间的关系。这表明该碳点主要形成了两种荧光组分, 导致其拥有两个发光中心, 最后导致双发射的形成。最后, 将多色碳点成功应用于 LED 制备中。与此同时, 将双发射碳点用于检测抗坏血酸 (AA) 比率荧光传感器的构建, 并与智能手机结合建立了便携式传感平台, 通过表征分析碳点结构与 AA 之间的构效关系, 揭示了 AA 对双发射碳点的响应机制。结果表明, AA 和碳点表面的 -NH_2 发生酰胺化反应, 导致碳点荧光增强和蓝移。本文为多种类型碳点的常温常压制备提供了理论基础, 并对其应用性能进行探索。

分会编号-10

碳点的发光性质研究及应用

刘钰鹏, 曲松楠*

University of Macau

Carbon dots (CDs), with sizes smaller than 10 nm, have attracted great interest as one of the most emerging photoluminescent (PL) carbon nanomaterials. The optical properties of CDs are one of their most attractive aspects. The luminescence of CDs can usually be divided into three types: fluorescence, delayed fluorescence, and phosphorescence according to the exciton transition path, of which the latter two are also called afterglow. Although there are many reports about different types of the luminescence of CDs. As for the fluorescence of CDs, it is currently mainly concentrated in the visible light region, and the photoluminescence quantum efficiency (PLQY) in aqueous solution is not high. As for afterglow, what is currently reported is mainly the single-mode afterglow of CDs. Therefore, the development of CDs with near-infrared luminescence and ultrahigh PLQY in the aqueous phase is of great significance for their biological applications. In addition, the development of dual-mode afterglow CDs has great potential for high-level information encryption. In this report, we focus on the preparation and biological applications of strong near-infrared absorption/emission CDs in aqueous media, ultra-high PLQY CDs in aqueous solution and their laser and lighting applications, as well as the dual-mode thermochromic afterglow of CDs and their advanced information encryption application.

分会编号-11

碳化聚合物点室温氨气传感材料

高宜逊, 尹昱博, 王耀*

华南师范大学

人体呼出气中包含众多种类的生理过程代谢物, 其实时浓度可以与不同疾病的特定病理特征建立相关联系^[1]。气敏传感器常用于定性和定量地检测多种气体分子, 其用于人体呼出气检测是一种非侵入式的疾病诊疗手段, 具有检测快速灵敏、便携、低成本等优势, 近年来在医学诊断和临床监控领域具有很大的发展潜力^[2-3]。本工作针对典型的疾病标志物氨气 (NH_3), 以柠檬酸和三乙氧基硅烷为前驱体, 通过一步水热法制备了硅氧共掺杂碳化聚合物点 (Si, O-CPDs) 用于室温气体传感。Si, O-CPDs 传感器对表现出高灵敏度 (5 ppm NH_3 , $R_a/R_g=1.40$) 和快速响应/恢复时间 (30 s/36 s), 以及室温下出色的可重复性、选择性和长期稳定性。同时, 该传感器具有优秀的抗湿能力 (20%-80%湿度范围内响应值偏差低于 5%), 对于呼出气检测而言至关重要。机理研究表明, Si, O-CPDs 所含有的硅氧键可在 NH_3 作用下发生水解, 为该材料带来了优秀的传感性能和湿度抗性^[4-5]。该工作首次将碳化聚合物点材料单独应用于室温化学电阻式氨气传感, 为碳化聚合物点在气体传感领域的实际应用提供了实验依据和理论基础。

参考文献

[1] Li J. The Cyranose Chemical Vapor Analyzer. *Sensors*, 2000, 17(8):56.

- [2] Guntner A, Abegg S, Konigstein K, et al. Breath Sensors for Health Monitoring. ACS Sens., 2019, 4(2):268-280.
- [3] Nakhleh M, Amal H, Jeries R, et al. Diagnosis and Classification of 17 Diseases from 1404 Subjects via Pattern Analysis of Exhaled Molecules. ACS Nano, 2017, 11(1):112-125.
- [4] Li Y, Bellani C, Yebo N, Dendooven J, Seo J W, Detavernier C, Baets R, Martens J, Sree S P. Nanoporous Silica-Alumina Films Fabricated on Silicon Photonic Chips for Selective Ammonia Sensing. ACS Appl. Nano Mater. 2022, 5, 16126-16135.
- [5] Harris M T, Brunson R R, Byers C H. The base-catalyzed hydrolysis and condensation reactions of dilute and concentrated TEOS solutions. J. Non-Cryst. Solids 1990, 121, 397-403.

致谢:

国家自然科学基金面上项目(51973070); 广东省自然科学基金面上项目(2022A1515010577, 2023A1515010814); 广州市科技计划(2019050001); 2019 广东省教育厅创新团队项目(自然科学); 华南师范大学启动基金。

分会编号-12

碳化聚合物点诊疗纳米基元构筑及生物应用探索

杨明锡¹, 路来金¹, 杨柏*²

1. 吉林大学第一医院

2. 吉林大学

碳化聚合物点 (CPDs), 由于具备水溶性强、生物相容性好, 光学性质稳定以及制备简单和易于修饰等独特优势, 在生物医学领域展现出广阔的应用潜力。基于此, 我们以 CPDs 为基元, 通过非金属元素和金属离子掺杂策略, 构筑了系列具有特定生物学功能的新型诊疗纳米平台, 探索了 CPDs 在生物医学中的多功能应用。具体来说, 我们合成了抗氧化硫掺杂碳点 (S-CPDs), 可清除炎症和损伤导致的活性氧自由基 (ROS)。在心肌纤维化模型中, S-CPDs 增加了线粒体功能相关蛋白表达及 ATP 含量, 逆转心肌肥大现象, 强化心脏功能; 此外, S-CPDs 作为放疗肠道保护剂, 经口服后可显著减轻 X 射线辐射下细胞 DNA 损伤, 抑制急性放射性肠炎, 其保护作用优于目前临床批准的氨磷汀。特别是对慢性肠纤维化亦有显著治疗作用, 从而实现放射性肠炎急/慢性损伤全程治疗。我们首次报道了肾脏友好的 Li⁺掺杂碳化聚合物点 (Li-CPDs), 通过激活施万细胞自噬促进周围神经再生。重要的是, Li-CPDs 改变 Li⁺药代动力学, 使其由竞争 Na⁺通道入胞转变为脂筏介导内吞方式入胞, 提升药物利用率的同时, 减少代谢毒性; 制备了一种铁掺杂碳点 (Fe-CDs) 用于诱导肿瘤细胞凋亡—激活免疫—抑制转移的“三阶段”癌症治疗。在无靶标和刺激条件下, 静脉注射 Fe-CDs 即表现出高效抗肿瘤活性, 显著抑制了小鼠体内肿瘤的生长, 且连续给药并未表现出明显毒副作用。综上, CPDs 作为一种生物相容的、可定制化的、有机/无机杂化纳米基元, 具有巨大的生物医学应用前景, 随着 CPDs 结构和机制的不断明确完善, 其有望成为临床上新一代纳米药物。

分会编号-13

细胞衍生荧光碳点的合成与生物应用

朱俊杰*

Nanjing University, China

我们利用癌细胞作为碳、氮、磷和硫的来源, 水热法合作了 N/P/S 共掺杂的荧光碳点, 该碳点有宽的光吸收和高的光稳定性, 在 795 nm 激光照射下有出色的生物相容性和对癌细胞的靶向能及光热/光动力学效应。这种碳点能作为红外治疗窗口内靶向成像和光热光动力协同治疗的优良治疗剂。

分会编号-14

光电化学功能多孔半导体聚合物及器件

余丁山*

中山大学高分子材料科学研究所

聚合物复合材料及功能材料教育部重点实验室

太阳能的转换和高效利用对实现“碳中和”及可持续发展至关重要，一直是国际前沿研究焦点。发展新型光电化学能源技术，实现太阳能在可充电电池中的转换与存储，为克服太阳能间歇性/随机性供应的局限提供了独特的解决方案；而先进的光电化学功能材料是实现能源高效转化与存储的核心。其中新兴的多孔半导体聚合物包括二维聚合物片和零维聚合物点不仅在涉及能源的众多领域中极具应用前景，也是构效关系研究的理想模型材料。充分利用多孔半导体聚合物结构和功能可精准设计等诸多优势，开发新型的光电化学功能聚合物及复合材料，建立有力的功能分子设计平台，探寻实现关键材料和光电化学能源器件高性能化和功能化的新方法新机制是当前一个极具挑战的前沿研究方向。在此，我将介绍课题组在新型功能多孔半导体聚合物的设计合成、结构调控及其在光耦合电池领域的应用探索等方面的研究进展。

分会编号-15

林木资源的光理化特性与转化

陈志俊*

东北林业大学，材料科学与工程学院

Email: chenzhijun@nefu.edu.cn

充分发挥林木资源自身优势，创新林木生物质，特别是包括工业木质素在内的废弃生物质转化研究工作，开发具有高附加值的生物基化学品与材料，对实现林木资源精细与高值化利用具有重要意义，也是实现“森林四库”中“钱库”价值的重要途径。在研究中，课题组发现了多类天然木材在撤去紫外光激发后的余辉发射现象，这表明林木资源在转化为光功能材料方面具有独特的优势。因此，课题组提出了“定向转化林木资源为光功能材料”的创新学术思想，以期通过该类转化促进林木资源的高附加值利用与光功能材料的低碳制造。在本次讲座中，将会为大家介绍，课题组是如何通过研究林木资源光学特性成因、构效关系等基础理论，进而突破林木资源向分子型与碳点型两大类型光功能材料的定向转化。

分会编号-16

荧光碳点在光合作用及植物标记的应用研究

李唯*

South China Agricultural University

碳点作为一种新兴的纳米材料，具有发光性能可调控、生物相容性高、水溶性高等优点，在植物应用上具有良好的前景。目前，碳点在提高光合生物的光合作用方面展现出巨大的潜力。在我们工作中，研究了碳点的转光性能或含氮官能团分别对光合系统产生的能量转移作用或电子转移作用，从而促进光合系统中光电流的产生，提高植物光合作用效率；同时，碳点作为自由基清除剂和光吸收剂，可以缓解光合系统在强光下受到的胁迫，使光系统捕获的光能更好地分配利用，减弱了过量的激发能在 QA 处的积累导致的氧化损伤，使更多的能量用于电子传递，修复光合系统并提高光合效率。此外，利用碳点作为光学探针，构建了一个自制的低成本传感平台，该平台能够以高空间和时间分辨率动态监测不同种类植物中 Cu^{2+} 的分布。该传感平台还被用于报告 Cu^{2+} 在植物外部环境中的空间分布，证明其适用于监测活体植物和周围环境中的 Cu^{2+} ，为植物内部和外部环境中的精确检测提供了一个可行的策略。

分会编号-17

Smart phone-assisted multi-mode sensor based on dandelion-derived carbon dots with high temperature tunable fluorescence for sensing water and 2, 4-dinitrophenol

Fang Chai*, Peng Sun
Harbin Normal University

Recently, turning biomass wastes into available and portable probe for pollutant sensing and monitoring has been highly promising and challenging. Herein, red-emitting carbon dots (R-CDs) and blue-emitting carbon dots (B-CDs) derived from dandelion were prepared with simple solvothermal method via high-temperature tuning. The water percentage in ethanol, acetonitrile and acetone could be detected based on the sensitive and rapid quenching response of R-CDs to water, and the expected results were obtained in the analysis of liquor samples. Besides, benefit from the conspicuous fluorescence quenching of 2, 4-dinitrophenol to B-CDs and the color of solution changed dramatically from colorless to yellow, a "One-Stone-Two-Birds" fluorescent and colorimetric sensing strategy for 2, 4-DNP was ingenious designed, which demonstrated excellent application potential in real water sample analysis.

分会编号-18

碳纳米点光谱调控及其应用探索

曲松楠*
University of Macau

发光碳基纳米点是近十年发展起来的新型零维碳基半导体材料，在生物成像、医疗、照明等领域已展现出诱人的应用前景，其发光特性研究已成为低维半导体发光领域的新兴热点。我们课题组自 2012 年以来，针对如何调控碳纳米点发光带隙的难题，提出构建共轭尺寸可控氮掺碳基内核、表面调控、金属元素掺杂的研究方法，通过尿素与柠檬酸的制备体系，实现了碳纳米点在可见到近红外波段的高效发光；针对碳纳米点聚集诱导的荧光猝灭问题，提出碳纳米点原位无机壳层包覆、立体聚合等方法，实现碳纳米点固态体系下全色段稳定的高效发光；针对碳纳米点功能开发，提出基于组装手段调控碳纳米点光学特性的研究思路，构筑近红外发光碳纳米点组装体，实现了碳纳米点在近红外 I, II 区高效的光热转换和喷水荧光信息打印；针对碳纳米点在生物医疗中的应用，研制出具有有效近红外吸收/近红外发射特性的碳纳米点，实现在红光和近红外波段的多光子荧光过程，显著的光热/光催化特性，并通过尾静脉注射方式，实现基于近红外发光碳纳米点的小鼠活体的肿瘤光声成像及光热/光催化肿瘤治疗。

致谢：

该研究得到澳门科学技术发展基金项目（FDCT/0139/2022/A3），深圳市科技计划项目（深港澳 C 类（SGDX20210823103803021），和澳门大学-华发联合实验室项目的资助。

参考文献：

- [1] Y. Liu, B. Wang, Y. Zhang, J. Guo, X. Wu, D. Ouyang, S. Chen, Y. Chen, S. Wang, G. Xing, Z. Tang, S. Qu, Adv. Funct. Mater. 2024, 2401353.
- [2] Zhang, T.; Cheng, Q.; Lei, J. H.; Wang, B.; Chang, Y.; Liu, Y.; Xing, G.; Deng, C.; Tang, Z.; Qu, S. Adv. Mater., 2023, 2302705.
- [3] Guo, D.; Lei, J. H.; Rong, D.; Zhang, T.; Zhang, B.; Tang, Z.; Shen, H.; Deng, C. D.; Qu, S. Adv. Sci., 2022, 9, 2205106.
- [4] Zhang, H.; Wang, G.; Zhang, Z.; Lei, J. H.; Liu, T. M.; Xing, G.; Deng, C. D.; Tang, Z. K.; Qu, S. Light: Sci. Appl., 2022, 11, 1.

分会编号-19

缺陷对碳点/氧化物复合材料长余辉发光性质的调控作用

胡超凡*, 冉准, 刘金坤, 刘应亮, 庄健乐, 雷炳富
华南农业大学

缺陷工程是优化无机长余辉材料性能的关键手段之一。前期研究中, 我们发现了无机氧化物缺陷对碳点激发三重态的稳定和能量传递作用, 为优化碳点基长余辉材料性能提供了一种新途径^[1, 2]。然而, 目前对于碳点与氧化物之间的相互作用和能量传递的物理机制缺乏系统深入研究, 限制了该类新型材料的性能优化和应用。近期研究中, 我们深入研究高温固相合成过程中碳点与氧化物的相互作用机制, 探究复合材料多发光中心的形成过程和能量传递调控方式, 揭示碳点组成结构-氧化物缺陷-复合物长余辉发光性能之间的内在关联, 为调控和优化碳点/氧化物复合长余辉材料的发光性能提供理论模型^[3-6]。

参考文献

- [1] W. Li, Y. Liu*, B. Lei*, C. Hu*, et al., *Angew. Chem.*, 2019: 58, 7278-7283.
- [2] J. He, C. Hu*, Y. Liu*, et al., *Small*, 2020, 16, 2005228.
- [3] Z. Song, Y. Liu, C. Hu*, et al., *ACS Appl. Mater. Interf.*, 2021, 13, 34705-34713.
- [4] Z. Zhou, Y. Liu*, C. Hu*, et al., *Adv. Opt. Mater.*, 2022, 10, 2100704.
- [5] J. Liu, Y. Liu, C. Hu*, et al., *Chem. Eng. J.*, 2023, 474, 145597.
- [6] Z. Ran, Y. Liu, C. Hu*, et al., *Small Method.*, 2024, 8, 202301013.

分会编号-20

近红外发光碳化聚合物点及光功能诊疗

蔡青, 段静旖, 刘艳群, 韩天阳, 孟维艳, 朱守俊*
吉林大学

荧光成像技术被视为临床领域中下一代具有巨大潜力的成像技术。本报告基于 Knoevenagel 反应, 将花菁类生色团结构与醛基碳化聚合物点进行共价键链接, 形成具有近红外发射的碳化聚合物点。研究了这类材料的合成方法学, 并对其物化性质和荧光机制进行了探索和表征, 拓展了其在生物领域的多功能应用。相比同等生色团的商业化染料, 近红外碳化聚合物点表现出更优越的近红外信号强度, 同时具有制备难度低、纯化方法简单、成本低等优势。实现了在碳化聚合物点领域实现>1100 nm 范围的近红外二区成像, 且在不考虑稀土金属掺杂的情况下, 实现了碳化聚合物点家族中最远的近红外区发射尾(约 1400 nm)。此外, 我们验证了该方法的普适性, 适用于大部分花菁染料的官能团, 并成功搭载天然黄酮结构, 实现了发光与药物搭载的多功能一体化应用。

分会编号-21

功能化碳点的开发及其药物分析和生物治疗领域的应用

翁少煌*, 章梦涵, 王耀
福建医科大学

碳点 (Carbon dots, CDs) 是一种新型荧光碳基纳米材料, 具有优异的光学性能、良好的水溶性和生物相容性、制备简单且易于表面功能化等优点。CDs 可以通过多种途径制备获得, 在生物传感、成像和医学等领域具有广阔的应用前景。近年来, 研究者们致力于获得具有特定激发/发射性质、光学性能更优异的 CDs, 期望拓展 CDs 的应用领域。其中, 设计、合成 CDs 获得特定的光致发光或理化性质, 从而应用 CDs 与特殊物质、分子和离子发生特定作用而实现目标物的检测或治疗等特定生物应用是其中重要的研究内容。

我们团队致力于基于药物的结构、性质以及临床用药监测的需求, 设计系列不同发光特点、表面结构不同等碳点, 从而实现不同机制实现系列不同结构性质的药物体外、体内的高效检测; 此外在进行药物检测的过程, 我们剖析碳点与药物作用的特点, 分析作用力方式以及作用机制, 从而设计具有治疗作用的差异性碳点, 达到抗菌、抗氧化的作用, 进一步实现感染控制、促血管改善愈合等作用, 用于细菌性

感染、植入物血管化以及感染性骨缺损等体系的干预，取得了良好的结果。

参考文献：

- [1] R. Cai, C. Miao, L. Zhang, Y. Zhou, Y. Liu, C. Zheng, W. Han, Z. Huang, X. Zhou, S. Weng, *Sensors & Actuators: B. Chemical* 2022, 361, 131721.
- [2] W. Han, C. Miao, X. Zhang, Y. Lin, X. Hao, Z. Huang, S. Weng, X. Lin, X. Guo, J. Huang, *Analytica Chimica Acta*, 2021, 1179, 338853.
- [3] C. Zhao, X. Wang, L. Yu, L. Wu, X. Hao, Q. Liu, L. Lin, Z. Huang, Z. Ruan, S. Weng, A. Liu, X. Lin, *Acta Biomaterialia*, 2022, 138, 528-544.
- [4] X. Zhang, X. Bai, X. Deng, K. Peng, Z. Zheng, J. Xiao, R. Zhang, Z. Huang, J. Huang, M. Chen, S. Weng, *Carbon*, 2023, 213, 118229.
- [5] R. Zhang, C. Miao, X. Lin, R. Lin, X. Deng, J. Huang, Y. Wang, Y. Xu, S. Weng, M. Chen, *Carbon*, 2024, 217, 118617.

分会编号-22

碳点的基础研究与工业化应用

陈苏*

Nanjing Tech University

碳点作为一种新型碳基纳米材料，具有多色荧光发射、光学性质可调、原料易得和生物相容性好等特性，然而碳点的宏量制备一直是一个挑战，限制了其广泛应用。本文以绿色环保或廉价易得的原料为前驱体，通过磁热法、微流控法、纺丝化学法或高温碳化法等手段来高效制备碳点：开发了磁热反应装置及技术，以节能、非接触、高效的方式实现多色荧光碳点的快速宏量制备；开发了微流控气喷纺丝技术，实现高纯度碳点粉末的宏量制备；开发了微流控芯片反应平台实现了高量子产率碳量子点连续化制备方法；并进一步探究了碳点在荧光膜、防伪、指纹检测、细胞标记、阻燃和聚合物机械性能增强等领域的广阔应用。

分会编号-23

零维功能碳材料绿色催化

王亮*

上海大学

因“量子点的发现和合成”，三位科学家获得 2023 年度诺贝尔化学奖。石墨烯量子点兼具了二维石墨烯和零维量子点这两类诺奖材料的优异特性，具有制备过程简单、易于表面修饰、光学性能可调、性质稳定等优势。因此，发展新的设计理论和精准合成策略，实现石墨烯量子点在电子、原子到分子水平上的多尺度调控，是推动其在环境、催化、纳米、生命等领域广泛应用的关键。课题组一直围绕先进零维碳纳米功能材料——石墨烯量子点的可控合成、多尺度调控与应用展开系统研究。主要取得了以下三个方面的进展：1) 通过电子水平电荷调控，构筑石墨烯量子点高效的全色光源；2) 发展原子水平官能团调控，实现石墨烯量子点的高效能源转化；3) 提出石墨烯量子点分子调控，实现二维纳米材料的精准化学合成。基于上述创新性研究成果，初步确立了石墨烯量子点的结构与其性能的内在关联，为合理设计和构筑特定功能导向石墨烯量子点提供了理论指导，促进了石墨烯量子点材料的开发和新性能的发现。

分会编号-24

血晶素基碳化聚合物点气体传感材料

许锦棠¹，张紫茹¹，常江楠¹，高宜逊¹，李贻昆²，王耀*¹，周国富¹

1. 华南师范大学

2. 香港科技大学

金属卟啉及其衍生物由于其独特的大环结构和螯合金属离子,使其在气相甚至液相中对 NO 可发生高效的电子转移相互作用^[1],并在很大范围内改变自身电阻或电导,因此有望制备具有快速响应、工作温度低、灵敏度高的卟啉基 NO 传感器。我们于前期工作中发现血晶素(Hemin)修饰的石墨烯基复合材料具有良好的 NO 传感性能(实际检测限 pLOD: 500 ppb)^[2]。但 Hemin 固有的自聚集特性减少了 Hemin 分子中金属活性位点的数量^[3,4],限制了 Hemin 传感材料的 NO 响应能力。(1)我们从设计 Hemin 阻隔结构出发,利用丙烯酰胺(AAm)和 Hemin 为功能单体,通过溶液自由基聚合法制备了血晶素功能聚合物 PHcAAm,得益于聚合物分子链段的阻隔作用,释放了更多金属活性位点,并与功能化石墨烯复合后,PHcAAm@ANS-rGO 表现出 NO 室温传感的增强响应($R_a/R_g=3.05$, 5 ppm; pLOD=50 ppb)。(2)为进一步提升传感材料比表面积和孔隙率,进一步增强对 NO 的响应能力,我们通过一步溶剂热法将 PHcAAm 传感材料制备成血晶素基碳化聚合物点 CPD(HcAAm)。得益于碳化聚合物点特有的高比表面积特性,与功能化石墨烯复合后,CPD(HcAAm)@ANS-rGO 传感材料表现出 NO 室温传感更优异的响应($R_a/R_g=5.39$, 5 ppm; pLOD=50 ppb)。结果表明,卟啉材料阻隔结构的设计与制备碳化聚合物点方法相结合,有助于实现卟啉基 CPDs 在化学电阻式传感器领域的新突破。

致谢:国家自然科学基金面上项目(51973070)、广东省自然科学基金面上项目(2022A1515010577 和 2021A1515012420)、广州市科技计划(2019050001)、广东省教育厅创新团队项目(2018KCXTD009)、广东省国际科技合作项目(2022A0505050069)、华南师范大学启动资金。

分会编号-25

基于碳点生物传感器的构建

林小凤, 黄启同*

赣南医科大学

作为新型的“零维”碳纳米材料,碳点由于其优异的光电性能、良好的稳定性、好的生物相容性等优点,使其在传感器领域得到广泛应用。本报告主要针对近年来本团队所构建的基于碳点的食品安全传感器和多巴胺传感器进行介绍,以期进一步拓宽碳点的实际应用性。

分会编号-26

精准定位生物膜结构的碳点荧光探针设计与合成

毕红*

安徽大学

荧光成像技术具有非侵入性、高灵敏度以及高空间分辨率等特点,使其在生物成像领域得到了广泛应用。然而,传统的商用有机小分子荧光染料和荧光蛋白存在水溶性不好、光稳定性较差、不能抗光漂白、进入活细胞较慢、往往在提高了空间分辨率的同时降低了时间分辨率,甚至有些还需要转染等前处理的缺点。碳点是一类尺寸小于 10 nm 的类球形荧光碳纳米颗粒,可以快速被细胞内吞,且还具有荧光量子产率高、水溶性好、毒性低、光稳定性好、表面基团和理化性质易调控等优点,使其成为活细胞成像荧光探针的绝佳选择。近年来,本课题组基于碳点的核-壳结构特征,从反应源头分子设计出发,合成了一系列表面带有特异性识别基团的两亲性碳点,能够直接、快速进入活细胞并靶向线粒体、溶酶体和细胞核等多种细胞器或选择性识别活细胞内核糖体 RNA,实现了细胞内应激颗粒的实时、动态荧光成像。此外,我们对上述碳点的结构模型进行了初探,通过合理选择反应前驱物的种类和投料比,调控所合成碳点的表面电性、极性、亲水-亲脂性以及生物功能性基团的种类与含量,实现了对细胞膜、内质网和高尔基体等生物膜结构的精准定位,并分别在活细胞和斑马鱼模型中得到了验证,为研究细胞在应激条件下生物膜结构的变化、信号传导和细胞代谢过程提供了有力工具。

参考文献:

- [1] L. Jiang, H. Cai, W. Zhou, Z. Li, L. Zhang and H. Bi, *Adv. Mater.*, 2023, 35(21), 2210776.
- [2] W. Qin, M. Wang, Y. Li, L. Li, K. Abbas, Z. Li, A. C. Tedesco and H. Bi, *Mater. Chem. Front.*, 2024, 8, 930-955.
- [3] D. W. Boukhvalov, V. Yu. Osipov, D. Murzalinov, A. Serikkanov and H. Bi, *Carbon*, 2024, 225, 119101.
- [4] H. Cai, Y. Yang, Y. Li, Z. Li, A. C. Tedesco and H. Bi, *Biochem. Bioph. Res. Co.*, 2024, 690, 149311.

分会编号-27

碳化聚合物点宏观材料

李云峰*

吉林大学化学学院

将纳米粒子组装成具有高机械强度、可加工性和可回收性的宏观材料是材料科学和纳米技术领域的一项重要而具有挑战性的任务。作为一种性能优越的新兴材料，碳化聚合物点组装成宏观材料将继承碳化聚合物点的优良性能，并进一步提供新兴的集成性能。然而，仅由碳化聚合物点组装的宏观材料仍未被探索。我们进一步研究了由脲基嘧啶酮修饰的碳化聚合物点组装而成的宏观材料。该薄膜不仅具有继承自碳化聚合物点的可调荧光。更重要的是，该薄膜具有自愈性、可回收性和优异的力学性能，杨氏模量超过 490 MPa，断裂强度超过 30 MPa。经过多次循环利用后仍保持原有的机械性能。此外，分子动力学模拟表明，薄膜的力学性能取决于粒子间和粒子内氢键的相互作用。薄膜通过环保的水塑法可以加工成各种形状。这项工作为探索由纳米粒子组装的功能宏观材料提供了方向，并将加速纳米材料在实际应用中的创新发展。

分会编号-28

碳点的表面可控修饰及其双功能聚合物复合材料

朱成*¹, 康振辉²

1. 广东以色列理工学院
2. 苏州大学

碳点的结构具有多样性，其表面态对其功能有着极大的影响。实现碳点的表面态可控修饰对实现功能为导向的碳点及其复合材料的订制十分重要。在这里，我们报道了电化学刻蚀结合化学处理的方法实现碳点表面基团（羟基、羧基、氨基、酰胺基、分子基团等）的可控修饰和调节，并实现了碳点性能的拓展和演变。通过化学共聚或者物理共混的方法，我们成功制备了碳点/聚甲基丙烯酸甲酯和碳点/聚氨酯等几种典型的聚合物复合材料，其双功能主要包括：荧光/断面修复，金属防腐/自修复和金属防腐/抗菌等。其中，碳点/聚氨酯薄膜保护的碳钢在海水中稳定性超过 80 天，是普通聚氨酯薄膜的 30 倍，此外其具有优异的抗大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和铁细菌附着和生长的能力。碳点/聚合物复合材料在功能上实现了从微观到宏观的跨尺度延伸，为未来设计多功能复合材料提供了一种可行的方法。

分会编号-29

Activating One/Two-Photon Excited Red Fluorescence on Carbon Dots: Emerging $n \rightarrow \pi$ Photon Transition Induced by Amino Protonation

Qing Zhang, Xiaoxia Zhong*

Shanghai Jiao Tong University

Due to the complicated nature of carbon dots (CDs), fluorescence mechanism of red fluorescent CDs is still unrevealed and features highly controversial. Reliable and effective strategies for manipulating the red fluorescence of CDs are urgently needed. Herein, CDs with one-photon excited (622 nm, QYs $\approx$ 17%) and two-photon (629 nm) excited red fluorescence are prepared by acidifying o-phenylenediamine-based reaction

sediments. Systematic analysis reveals that the protonation of amino groups increases the particle surface potential, disperse the bulk sediments into nano-scale CDs. In the meanwhile, amino protonation of pyridinic nitrogen ($-N=$) structure inserts numerous n orbital energy levels between the $n \rightarrow \pi^*$ transition, narrows the gap distance for photon transition, and induces red fluorescence emission on CDs. Present research reveals an effective pathway to activate CDs reaction sediments and trigger red emission, thus may open a new avenue for developing CDs with ideal optical properties and promising application prospects.(<https://doi.org/10.1002/advs.202207566>)

分会编号-30

碳点三重激发态调控与功能化应用探索

谈静*, 李奇军

扬州大学

余辉材料凭借其较长的寿命、大的斯托克斯位移, 不受背景荧光的干扰等优势, 在光电器件、防伪加密、生物成像等方面具有广阔的应用前景。目前常见的余辉材料主要包括金属有机配合物、纯有机化合物和无机荧光粉等, 但是这些材料存在着价格昂贵、毒性大、开采能耗高等缺点, 严重限制了其应用。

碳点 (CDs) 作为一种新兴的余辉材料, 具有光稳定性好、制备方法简单、毒性小、成本低等优点, 并且 CDs 的余辉颜色可受激发波长、温度或时间等外界因素调控, 引起了研究人员的广泛关注。近年来, 越来越多的余辉 CDs 被相继报道, 但是余辉 CDs 的发射颜色主要集中在短波长区域 (小于 550 nm), 为了适应不同应用需要, 合成具有多色余辉发光特性的 CDs 材料具有十分重要的意义。鉴于此, 本文通过 CDs 表面调控、聚集诱导能级裂变、Förster 共振能量转移等策略, 实现了 CDs 材料的多色余辉发射, 探索了其在光电显示、信息防伪等领域的应用。

分会编号-31

有序富氮碳点 (N-CDs) 促进碳纤维集流体表面锂离子传输动力学

杨国夺, 孙海珠*

东北师范大学化学学院, 吉林省长春市人民大街 5268 号, sunhz335@nenu.edu.cn

三维集流体负极能够有效解决锂金属“无主体”的缺点, 并且根据 Sand 公式, 高比面积的三维骨架能够降低局部电流密度进而减缓枝晶生长^[1, 2]。在各类三维集流体中, 轻质、柔性的碳基三维集流体已被广泛关注和研究, 但是碳本质上的疏锂性限制了锂离子在其表面成核和传输^[3, 4]。因此, 本工作利用石墨烯活性层将碳点 (CDs) 原位生长在碳纤维表面构建了有序 N-CD-还原石墨烯-碳纤维分级结构的三维碳基集流体 (CD@RGCCF)^[5, 6]。亲锂 N-CDs 在初始成核阶段可诱导 Li 的均匀成核。有序结构的 N-CDs 提供了快速的 Li^+ 传输通道, 加快离子在纤维表面的沉积扩散动力学。该 CD@RGCCF 集流体负极展现了超过 5000 h 的长循环寿命, 且仅有 10.5 mV 电压滞后。与商业化正极磷酸铁锂 (LFP) 组装的扣式和软包全电池展现了良好的实用性, 并且将 CD@RGCCF 作为硫正极载体组装的 Li-S 全电池展现了高的放电比容量。该工作为碳点在负极材料中的应用提供了新思路。

致谢: 感谢国家自然科学基金 (批准号: 22035001, 22275030)、吉林省科技发展计划项目 (国际合作项目 20240402073GH)、吉林省教育厅项目 (JJKH20231304KJ)、中央高校基本科研业务费专项 (科技成果转化专项) 项目 (CGZH202203) 资助。

参考文献:

- [1] R. Zhang, X. Chen, Q. Zhang, et al. *Joule* 2018, 2, 764.
- [2] Y.-S. Feng, Y.-N. Li, P. Wang, et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, 62, e202310132.
- [3] Y. H. Kim, G. W. Lee, K.B. Kim, et al. *Adv. Funct. Mater.* 2022, 32, 2113316.

- [4] Y.-K. Lee, K.-Y. Cho, S. Lee, et al. *Adv. Energy Mater.* 2023, 13, 2203770
- [5] S. Zhu, Q. Meng, B. Yang, et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2013, 152, 4045.
- [6] G.-D. Yang, Z. Wang, H.-Z. Sun, et al. *Chem. Eng. J.* 2024, 492, 152087.

分会编号-32

功能荧光碳点分子探针制备及传感成像研究

杨征*¹, 许甜甜¹, 张绍炳¹, 李辉², 刘向荣¹, 李剑利²

1. 西安科技大学

2. 西北大学

碳基纳米材料因独特的光电性质在环境与生物医学传感领域优势备受关注, 其中零维结构的碳点(CDs)可实现传感器结构的超微化, 赋予探针优异的生物亲和性及荧光发光性能, 在靶向传感和生物成像及信息示踪中广受青睐。

我们通过对碳点材料的合成、性能优化、发光机理、识别传感、生物成像和诊疗方面的探究, 结合我们在功能荧光探针领域多年的研究积累, 系统总结和综述了零维碳纳米材料在荧光成像和传感领域的研究新进展^[1]。依托资源化学, 选择西部地区丰富的煤炭资源作为原料, 制备煤基氮掺杂功能荧光碳点探针, 并通过氮元素掺杂调节内部电子构型, 提升 CDs 荧光量子产率、发光效率和光稳定性, 赋予其优异的荧光成像性能, 可作为荧光油墨用与信息加密领域如防伪印刷和机密文件书写^[2,3]。随后, 通过表面功能化提供活性中心和官能团, 显著提升 CDs 对靶向目标的灵敏度和选择性, 可作为多功能传感器, 基于荧光信号变化通过溶液、试纸和水凝胶传感器用于环境和生物体系多种金属离子和活性小分子的高选择性、灵敏度传感和活细胞成像^[4]。通过调节碳源 π 共轭体系和 n 电子类型及数目, 结合反应条件优化, 调控实现 CDs 发射波长显著红移到近红外区域, 可有效避免生物成像过程中的背景干扰, 实现了对细胞内极性的检测和酯滴成像^[5], 并通过将得到的 CDs 与可在酸性乏氧肿瘤微环境下高效产氧的 CaO_2 、纳米 LDHs 等材料复合, 实现了对肿瘤细胞的有效光动力治疗和复发抑制, 显示出良好的应用前景。

参考文献:

- [1] Yang, Z.; Xu, T.; Li, H.; She, M.; Chen, J.; Wang, Z.; Zhang, S.; Li, J*. *Chem. Rev.*, 2023, 123, 11047.
- [2] Xu, T.; Zhang, X.; Yang, H.; Li, H.; Zhang, S.; Yang, Z.*; Jia, X.; Liu, X.; Li, J*. *Chem. Eng. J.*, 2023, 467, 143465.
- [3] Li, H.; Xu, T.; Zhang, Z.; Chen, J.; She, M.; Ji, Y.; Zheng, B.; Yang, Z.*; Zhang, S.; Li, J*. *Chem. Eng. J.*, 2023, 463, 139722.
- [4] Yang, Z.; Xu, T.; Zhang, S.; Li, H.; Ji, Y.; Jia, X.; Li, J*. *Nano Res.*, 2023, 16(4), 5401.
- [5] Yang, Z.; Li, H.; Xu, T.; She, M.; Chen, J.; Jia, X.; Liu, P.; Liu, X.; Li, J*. *J. Mater. Chem. A*, 2023, 11, 2679.

分会编号-33

红外激光协同聚合物限域原位诱导基于碳点的彩色荧光图案

郭媛媛, 王耀*

华南师范大学

激光直写技术被广泛应用于材料改性和材料表面结构性能调整, 同时也被用于制备荧光材料和高效绘制荧光图案^[1-3]。其主要优势在于高能量、高精度和高效^[4]。此外, 红外二氧化碳激光不仅能改变材料的结构和形貌, 还能诱导分子反应。由于其低成本, 在实际应用中具有优势。

在早期研究中, 我们课题组利用二氧化碳激光热解固态醋酸丁酸纤维素大分子成功制备了黄绿色碳点, 并在醋酸丁酸纤维素膜表面原位绘制了具有特异光学和表面形貌的荧光图案。我们提出了利用激光原位直写技术绘制基于碳点的荧光防伪图案的方法^[5]。基于二氧化碳激光诱导光化学反应的特性, 我们利用该技术实现了在聚乙烯醇固体膜和水凝胶内原位合成含有 N/S 的彩色碳点, 并绘制了彩色荧光图案。通过调节

聚乙烯醇聚合物膜和水凝胶分子网络内的小分子碳点前驱体的成分，我们成功调控了荧光图案的颜色，从黄色变换到蓝色和橙色（360nm 紫外光照射）。蓝色荧光图案的绝对量子效率高达 23%。此外，我们所绘制的彩色荧光图案具有分级结构以及独特的表面形貌，因此具有潜在的优秀防伪应用价值。

致谢：国家自然科学基金面上项目（51973070）、广州市科技计划（2019050001）、2019 广东省教育厅创新团队项目（自然科学）、广东省科技计划国际科学研究合作项目、华南师范大学启动资金。

参考文献：

- [1] Wang S, Lin J, He Y, et al. [J]. Chemical Engineering Journal, 2020, 394:124889.
- [2] Senyuk B, Behabtu N, Martinez A, et al. [J]. Nature communications, 2015, 6(1): 1-7.
- [3] Wenjie Z, Linghai M, et al.[J]. ACS Photonics, 2021, 8 (3): 765-770.
- [4] Zhu S, Song Y, Zhao X, et al. [J]. Nano Research, 2015, 8(2): 355-381.
- [5] Guo Y, Wang Q, Wang Y, et al. [J]. ACS Nano , 2022, 16: 2910-2920.

分会编号-34

基于荧光碳点凝胶的多功能仿生软体机器人的研究探索

吴双双*

杭州师范大学

荧光高分子凝胶是一种具有可调发光特性的智能凝胶。作为发光材料，它以高度溶胀的准固态形式存在，因此展现出许多类似固体和溶液的优势性质。其交联的三维聚合物网络能显著促进物质与周围环境的交换，从而产生显著的荧光响应。其中，新兴的荧光碳点凝胶因其良好的生物相容性、环境友好性和组成可调性等优势而备受研究人员的关注。到目前为止，荧光碳点凝胶在传感、加密和光电器件等领域已经展现出了巨大的应用潜力。然而，这类材料在软机器人技术中的应用却相对滞后。这可能由以下几个原因造成：（1）碳点凝胶的变色范围较窄，仅表现出荧光开关行为，远不及能够显示不同颜色的生物体皮肤。（2）大多数报道的碳点凝胶存在 π - π 堆积的共轭体系，容易发生聚集诱导猝灭效应，因此聚合物网络中的掺杂浓度通常受到限制。（3）目前的荧光碳点凝胶通常具有各向同性的结构，这导致它们通常表现出刺激响应的均匀收缩/膨胀行为，限制了其完成复杂的三维形状变形/运动的潜力。基于以上问题，报告人主要开展了以下工作：（1）利用溶剂热手段制备了溶剂响应变色碳点，通过调控碳点与溶剂间的氢键相互作用力来调控其发光，光谱可调范围覆盖从蓝光波段到红光波段，这一特性可用于传感与检测。（2）利用碳点与高分子网络的物理缠结和化学交联，成功制备了荧光碳点凝胶，并开发了“无刺激残留”、可局部和远程控制的水、光、电刺激可控变形或变色体系，展现了出色的环境交互性能。（3）结合荧光碳点凝胶的物质交换能力和各向异性结构的设计，构建了一种具有三维复杂形变、智能荧光色变和仿生可控运动三功能协同的新型凝胶仿生软体机器人。本研究为多色荧光碳点凝胶的设计与制备提供了新的思路，将有助于推动仿生智能凝胶的发展，并为开发先进的多功能仿生智能柔性机器人提供了良好的策略。

分会编号-35

光治疗纳米颗粒用于肿瘤术后治疗

虞玺，殷佩浩*

上海中医药大学附属普陀医院，中心实验室

结肠癌在全球癌症发病率中为第 3 位，其死亡率居恶性肿瘤死因的第 2 位，属于人类高发恶性肿瘤。目前手术仍是临床治疗中的首选手段，在疾病早期通常能在内镜下切除原发病灶的肿瘤组织，且具有较好的预后效果。而放疗与化疗是目前主要的肿瘤术后辅助治疗手段，针对肿瘤的复发与转移具有较好的抑制作用。但健康组织同样会因此受到影响，从而可能导致患者产生骨髓抑制、免疫力下降等不耐受症状。本文设计制备了具有蟾毒灵靶向缓释与光治疗功能的碳纳米点用于结肠癌术后的辅助治疗领域。碳点不仅改

善蟾毒灵的生物利用度，起到减毒增效作用；同时蟾毒灵与光治疗的协同作用能在杀伤肿瘤细胞的同时，激活机体免疫反应，降低免疫逃逸，进一步抑制肿瘤组织的生长。

本工作选用柠檬酸与透明质酸作为原材料制备具有肿瘤靶向性的光治疗纳米碳点，通过动态光散射仪测得其粒径在 150 nm 左右。随后在其表面接枝 β -环糊精，改性后的碳点粒径增加至 200 nm 左右。该碳点可通过浓度调节，在近红外光刺激下控制升温范围 45-80 °C；通过顺磁共振波谱仪在暗场和近红外光下的测试结果可知，在近红外光刺激下碳点能够产生单线态氧，起到光动力治疗作用。通过溶剂交换法可将疏水小分子药物蟾毒灵载入环糊精的疏水空腔中，通过紫外分光光度计测得最高载药率可达 50 %，包封率可达 98%。蟾毒灵是提取于中药蟾酥的活性单体，不仅具有显著的肿瘤杀伤性，同时还能够调节免疫、促进光治疗效率。通过 WB 实验和文献报道可知，光热治疗会使肿瘤细胞中的热休克蛋白（HSPs）上升，光动力治疗促进肿瘤的乏氧状态从而提高 HIF-1 α 的表达。而 HSPs 和 HIF-1 α 的高表达会造成肿瘤细胞表面 PD-L1 的表达，因此增加免疫逃逸的风险。而蟾毒灵的加入能够有效抑制光治疗过程中 HSPs 和 HIF-1 α 表达，从而抑制 PD-L1，为光治疗后续激活免疫反应提供有利环境。体内外的细胞实验和动物实验显示，蟾毒灵和光治疗碳点的联合协同作用能够有效降低肿瘤细胞的存活率，并且显著逆转肿瘤的发育。细胞流式分析显示，蟾毒灵和光治疗的协同作用能够激活 DC 细胞成熟，提高 CD8⁺和 CD4⁺的 T 细胞与 NK 细胞比例，启动免疫反应。

综上所述，在近红外光刺激下，肿瘤靶向释药碳点能够起到光热/光动力联合治疗作用。在与蟾毒灵协同作用下，通过同时调节 HSPs 与 HIF1 α 来抑制 PD-L1 表达，促进光治疗效率，有效抑制免疫逃逸的发生，提升术后辅助治疗效果。

分会编号-36

含氮碳点的形成过程研究

孙再成*

Beijing University of Technology

碳点作为 21 世纪的一种新型纳米材料，在许多领域都显示出了良好的应用前景。然而，碳点的荧光机理尚不清楚已成为阻碍其发展的主要原因之一。^[1,2]邻苯二胺是长波发光碳点的重要前驱体。碳点的形成过程及其荧光机理的揭示，对于指导碳点的光学调控，促进碳点的发展具有重要意义^[3]。因此，我们以邻苯二胺为前驱体，采用无溶剂的方法合成了 600 nm 和 650 nm 双峰发射红碳点。通过对反应过程的监测和对反应中间体的检测验证，发现碳点在分子状态下的荧光行为与 5, 14-二氢喹啉[2, 3-b]吩那嗪(DHQP)相似。通过构效关系的验证，发现这些碳点的红色荧光与 DHQP 分子有关。在此基础上，通过改变反应溶剂来调节反应中间体的合成。成功制备了红、绿、蓝三色发射碳点。证明了这三种碳点的荧光来源于分子态 DHQP、2, 3-二氨基非那嗪-2, 3-二胺(DAP)和 1h-苯并咪唑(BI)。本研究为后续碳点定向合成提供了坚实的理论基础，间接促进了碳点光学等领域的发展。

参考文献：

- [1] X. Miao, D. Qu, D. Yang, B. Nie, Y. Zhao, H. Fan, Z. Sun, Adv. Mater. 2018, 30, 1704740.
- [2] S. Xue, P. Li, L. Sun, L. An, D. Qu, X. Wang, Z. Sun, Small 2023, 10.1002/sml.202206180.
- [3] P. Li, S. Xue, L. Sun, X. Zong, L. An, D. Qu, X. Wang, Z. Sun, Light Sci. Appl. 2022, 11, 298.

分会编号-37

煤基碳点充当太阳能转化提升器的研究

胡胜亮*

North University of China

本报告以煤产品转化的碳点新材料为组元设计复合体系用于提升太阳能转化利用效率，涉及光热转化与光催化转化两个方面。提出了煤基碳点复合设计的合理方法，证明了煤基碳点在能量转化中的作用，为

煤基碳点的产业化应用提供了基本方案。

分会编号-38

碳点的三重态激子发光研究

刘凯凯*

郑州大学

以碳纳米点为代表的新的纳米发光材料，由于具有可调谐的光学特性、稳定性以及良好的生物兼容性在光电器件、生物成像诊疗、发光墨水等方面已经取得了令人欣慰的进展。在本次报告当中，我们主要介绍课题组近些年来在碳点三重态激子发光方面的工作。主要包括通过调控碳点共轭尺寸实现全光谱三重态激子发光；提出纳米空间限域的策略，实现了高效长寿命的水溶性磷光碳点；通过福斯特能量转移的方式实现三重态激子的能量转移和调控。在应用探究中，探索了碳点在高能光子杀菌、延时成像、延时发光器件领域的创新性应用。

分会编号-39

磷光碳点的构筑及应用研究

梁亚川*

郑州轻工业大学

碳点在生物标记、光电器件、信息加密等领域具有重要的潜在应用价值。此外，碳点表面丰富的表面官能团和其内部的氢键相互作用可以稳定其三重态，并促进载流子的系间窜越，使其表现出优异的室温磷光发射性能。但由于三重态激子不稳定，容易被自身的分子振动和溶解氧消耗掉，因此磷光不易实现，如何实现高效且长寿命磷光发射仍是难题。

针对上述问题，研究团队利用纳米层空间限域和多维度限域的方式，限制碳点的震动与转动，稳定了三重态激子，实现了碳点的室温磷光发射。由于制备的磷光碳点高的寿命和超长的磷光发射，团队计划将其应用于生物医学标记、信息加密、信息存储以及机器人轨迹识别等领域，有望推动磷光纳米粒子在各方面中的应用。

分会编号-40

室温磷光碳化聚合物点的合成设计及性能调控

陶淞源、杨柏*

吉林大学

碳化聚合物点是有机小分子和聚合物通过水热、溶剂热过程形成的一类发光纳米材料。碳化聚合物点的形成通常经历脱水、缩合、交联、碳化四个过程，这使得粒子既可继承原料自身的分子性，又可体现由聚合、碳化带来的高分子及量子点特性。通过合理的前驱体结构设计和反应过程控制，调节碳化聚合物点粒子内的发射团结构及相互作用，可调控纳米粒子的室温磷光性能。在相关工作中，我们以聚丙烯酸和胺为模型体系，结合交联增强发射效应机制，在无需金属及基质辅助的条件下，首次实现了碳点类材料优异的室温磷光。我们进一步发展了限域交联增强发射效应，实现了对体系荧光和室温磷光的全面调控。此外，我们通过调节碳化聚合物点内限域的羧酸二聚体含量，实现了时间分辨的变色室温磷光。

分会编号-41

基于碳点的长余辉材料可控制备、性能调控及潜在应用研究

林恒伟*

江南大学

传统纯无机和纯有机长余辉材料因其通常难溶（或分散）于水介质及功能化修饰，因而存在应用领域受限的问题。为了解决这个问题，我们采用生成电荷分离态-激基复合物发光的策略开发一类余辉性能可调、易于表面功能化及可分散的碳点基长余辉材料。首先，通过对碳点的微结构和能级控制及复合基质的筛选，开发了基于碳点的长余辉材料高效、便捷制备方法，实现对其发光波长、余辉持续时间及表面官能团的调控；其次，探究基于碳点的长余辉材料发光来源、发射波长和余辉持续时间的关键影响因素，阐明碳点结构和能级分布及碳点-基质复合方式、激基复合物电子跃迁途径等与长余辉性能之间的构效关系与调控机制；最后，通过表面偶联技术对碳点基长余辉材料进行特定的功能化修饰，明确其在生物靶向成像/示踪、光电器件等领域的应用潜力。以上工作不仅有助于突破传统长余辉材料的应用局限，而且对促进碳点研究领域的发展具有重要意义。

分会编号-42

用于细胞成像、区分及疾病治疗的碳点

吴富根*

东南大学

碳点因其优异的粒径、良好的光学性质以及丰富的表面基团等性质，在生物医学领域受到了越来越多的关注和应用。本报告将介绍碳点在细胞荧光成像（包括各种亚细胞结构的成像）、细胞荧光区分（包括动物细胞、细菌细胞和真菌细胞的死活区分、革兰氏类型区分等）、以及疾病治疗（包括肿瘤治疗、抗菌等）等方面的应用。

分会编号-43

最终交流类型：邀请报告

碳点的表面态调控

刘翠*

重庆大学

碳点具有极佳的生物相容性且集荧光和类酶催化活性于一体，其研究是纳米生物医学领域的交叉前沿方向。我们对碳点由内部共轭结构到表面含氧官能团进行了精准调控，诠释了碳点的发光位点结构，揭示了碳点的表面态发光机制。碳点的羰基和 π -体系强烈耦合决定其表面态能级结构，最终影响荧光发射波长和荧光量子产率。同时，阐明了碳点在外界压力、pH 或金属离子刺激下的结构与荧光性质的变化关系及相关机制。此外，我们发现碳点具有类超氧化物歧化酶（SOD）活性，将其与荧光特性相结合将为疾病治疗提供新思路。但由于大多数碳点的催化活性较低，或荧光性质较差，难以实现荧光、催化双功能独特性质的协同应用。为此，我们系统研究了碳点 SOD 酶催化机制，发现碳点表面的羟基和羧基通过氢键与超氧阴离子结合而起到底物捕获作用，与 π -体系共轭的羰基则作为电子传递站，接收超氧阴离子的一个电子，产生氧气和较为稳定的还原态碳点。基于这一研究成果，我们设计制备了酶活性高于 10000 U/mg 的碳点 SOD 纳米酶，超越了天然酶活力（~5000 U/mg）。同时，证实羰基是催化反应的主导因素，但会显著降低其荧光性能。为了平衡碳点的荧光性质与 SOD 酶活性，我们通过氮掺杂技术，在碳点表面构建能够代替羰基发挥电子传递作用的含氮基团，成功制备了 SOD 酶活性、荧光性质和炎症靶向性于一体的氮掺杂碳点纳米酶，具有体内示踪与炎症疾病治疗的双重功效。上述工作有助于深入理解碳点的结构与其荧光性质和催化活性之间的依赖关系，为碳点在生物医学领域中的应用奠定了重要基础。

分会编号-44

功能性碳化聚合物点的构筑及应用

王周玉*, 单飞狮, 廖成霜, 严丽, 张靖
西华大学理学院化学系, 成都, 610039

*Email: zhouyuwang@mail.xhu.edu.cn

碳化聚合物点作为近年来新兴发展的碳纳米材料, 其功能性拓展一直是研究者们所关注的重要方向。但是, 目前碳化聚合物点的功能性设计往往缺乏系统性与完整性。因此, 如何从原子、分子角度理解碳化聚合物点的结构, 精准提升其性能, 从而实现其多功能性是该领域亟待深入的课题。本报告将围绕溶剂调控、杂原子修饰以及取代基位阻等策略, 汇报我们课题组在功能化碳化聚合物点构筑与应用上的进展。

分会编号-45

碳点的绿色化学合成与独特应用前景

熊焕明*

复旦大学

碳点自 2004 年被发现以来, 已经红红火火地发展了 20 年。碳点的合成制备方法、功能机制研究、实际应用前景都有广泛的报道, 创新成果层出不穷。在下一个 20 年, 碳点要想实现长期稳定的发展, 还有很多重要的问题亟待解决。其中之一是碳点的绿色化学合成, 这决定了将来碳点能否大规模生产制造。产业化是源源不断的、推动新材料长期发展的动力。目前流行的水热/溶剂热合成虽然能够制备高质量碳点, 但是产量产率都很低, 高温高压的反应难以放大生产。室温下碳点的合成最近也有报道, 但是大多数发光性能不佳。我们课题组在碳点的固相催化合成方面有一些经验, 希望能和大家分享并获得指导建议。另外, 碳点要在实际应用领域打开一个突破口, 就要战胜市场上已有的材料。这意味着不仅碳点的制造成本要成百上千倍地下降, 而且某方面的性能突出, 能够替代现有的产品, 或者能够制造出市场上完全没有的新材料。我们课题组将向大家汇报一下两个方面的独特应用, 一个是碳点和蚕丝复合形成的多功能材料, 另一个是新颖的“碳点造孔术”。

分会编号-46

碳点的颗粒、簇发光调控及应用

彭智利*

云南大学材料与能源学院

碳点在分散态 (dispersed state) 和聚集态 (aggregated state) 的发光显著不同, 因此, 如何实现碳点在聚集态的高效发光是近年来的一个研究热点。目前为止, 研究人员对碳点的聚集诱导淬灭 (aggregation-caused-quenching, ACQ) 和聚集诱导发光 (aggregation-induced-emission, AIE) 两种聚集态下的发光行为研究比较深入; 但是对其它类型的聚集态发光行为 (如聚集态下既有 ACQ, 同时也有带隙的改变) 关注不足, 研究不够深入。本报告中, 作者拟探讨一种同时具备分散态和聚集态发光的碳点。在分散态下, 该碳点的发光主要以碳点颗粒发光为主 (particle luminescence); 在聚集态下, 其发光主要以碳点自组装后形成的团簇发光为主 (cluster luminescence)。通过对分散条件的控制, 可达到对该碳点颗粒、簇发光的细致调控, 实现单一碳点的全光谱发光。机理研究表明, 该碳点的颗粒、簇发光转化主要是通过调控碳点间氢键辅助下的空间共轭效应 (through-space conjugation) 来实现的。利用该碳点的颗粒、簇双重发光特性, 其在信息加密和防伪, 以及 LED 发光调控等领域的应用也得到了有效的展示。

分会编号-47

碳点基纳米发光材料设计及功能化应用

娄庆*

郑州大学

碳点作为新兴的零维碳基半导体发光材料, 具有斯托克斯位移大、带隙可调、量子产率高和稳定性好等优点, 有望应用于光电器件、生物成像、信息加密等领域。但长期以来, 碳点基固态发光猝灭严重、传感器灵敏度低、发光寿命短等问题, 极大的制约了碳基半导体发光材料商业化应用。我们利用异质原子掺杂打破跃迁禁阻、空间自限域抑制耦合作用等技术手段调控载流子辐射复合, 提升固态发光效率, 促进其光电照明和信息加密应用。利用能级匹配和配体修饰策略促进载流子能量传递以及钝化缺陷, 实现了高效多色带间发射, 并提升了碳点基半导体传感器灵敏度。利用光氧化激励和空间位阻调控碳点与高能中间体之间电子交换速率实现碳点超长寿命余辉发射。利用其优异发光性质, 在生物成像和光电器件等领域做了应用展示。

分会编号-48

The nonlinear optical properties and cellular applications of CDs-based nanomaterials

Jiangling He*

Wuhan Polytechnic University

*National R&D Center for Se-rich Agricultural Products Processing, Hubei Engineering Research Center for Deep Processing of Green Se-rich Agricultural Products, School of Modern Industry for Selenium Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, P. R. China.

E-mail: hejiangling@whpu.edu.cn

Carbon dots (CDs)-based nanomaterial has become a popular candidate in biological field due to its small size distribution, adjustable photoluminescence, high emission efficiency, quite low toxicity, etc. Herein, CDs was embedded into silica to construct CDs-based composites, which realized the efficient and long afterglow (including TADF component and phosphorescence component) both in powdery state and in aqueous state. We also observed the conversion process changing from saturable absorption (SA) to anti-saturation absorption as the monitoring source was long-wavelength ultrafast femtosecond laser. The two-photon excited fluorescence (2PEF) property of CDs-based composites was also successfully confirmed and further applied in biological imaging, and it is more advantageous for cellular imaging comparing to 1PEF. Besides the phosphorescence signal from CDs-based composite was also successfully carried out in cancer cellular imaging. Moreover, the photoinduced absorption (PIA) phenomenon was firstly observed via nanosecond transient absorption (ns-TA) spectroscopy among CDs-based nanomaterials, and the detected PIA was peaked at 466 nm comprising of a “faster” component and a “slower” component. CDs-based composites can be a great candidate as the saturable absorber or the deeper-tissue imaging agent.

分会编号-49

用于抗菌及半人工光合应用的碳纳米材料研究

雷炳富*, 李唯, 张浩然, 潘晓琴, 寇尔丰

生物基材料与能源教育部重点实验室, 材料与能源学院, 华南农业大学, 广州 510642

目前工作成功构建了共价有机框架与碳点的复合材料(Coalent Organic Framework@carbon dot, COF@CD), 实现了高通量电荷转移和高效的光催化活性, 并尝试用于抗菌光催化治疗。利用供体-受体(D-A)半导体与 CO-H-N 氢键基团聚合物之间分子内电荷转移过程, 构建了由 D-A COF 半导体与亲水性 CDs 的电荷转移通道。报道了一种用于人工抗菌光合作用的氢键二维 COF-零维 CDs 复合材料。在这种光催化体系中, 瞬态光电压(TPV)测量表明, 均匀分布在 COF 纳米片表面的 CDs 作为电子转移和存储容器, 在抑制电荷重组方面发挥了重要作用。动力学研究表明, CDs 的引入通过从 COF 中提取大量的光生 π 电子, 大大提高了电荷分离效率, 从而产生了更多的活性氧。COF@CDs (4 wt% CDs)具有光催化抗菌活性, 作为

APCT 的光催化剂对大肠杆菌 (*Escherichia coli*, *E. coli*) 的杀灭效率高于纯 COF, 在可见光激活 60 min 后, 杀菌效率为 >95%。

关键字 碳纳米材料, 光合作用, 植物抗逆, 体内可视化检测

参考文献:

- [1] Jiarong Liang, Haoran Zhang*, Bingfu Lei*, et al., *J. Mater. Chem. A*, 2022, 10, 23384-23394.
- [2] Xiaoqin Pan, Bingfu Lei*, et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2021, 13(33), 39446-39457.
- [3] Erfeng Kou, Bingfu Lei*, et al., *J. Mater. Chem. A*, 2023, 11, 3060-3069.

分会编号-50

碳点基纳米酶在自由基调控的应用

蒋妍彦*

山东大学材料科学与工程学院

具有内在酶活性的纳米材料 (纳米酶) 是天然酶的潜在替代品。由于纳米材料的高稳定性、可调节性和可控的催化活性, 已在抗菌、抗氧化和治疗等领域实现广泛应用。在已开发的纳米材料中, 贵金属纳米材料、过渡金属氧化物和单原子催化剂表现出了多种酶活性, 如过氧化物酶 (POD), 过氧化氢酶 (CAT), 超氧化物歧化酶 (SOD) 等。然而, 复杂的合成方法、高生产成本, 潜在的生物毒性和不理想的酶反应速率严重限制了这些纳米酶的实际应用。因此, 开发合成方法简便, 生物毒性低, 酶促反应速率高和低成本的新型纳米酶十分必要。

碳点 (CDs) 是特征尺寸小于 10 nm 的无定形碳材料。当前研究表明, CDs 基纳米酶由于其良好的生物安全性和生态友好性具有广泛的应用潜力。碳源是影响 CDs 基纳米酶性质的重要因素之一。受具有抗炎特性的中草药启发, 半枝莲 (SB) 和 白花蛇舌草 (HHD) 被选为碳源, 通过水热反应制备了 SB-HHD-CDs。SB-HHD-CDs 表现出清除多种活性氧和氮物种 (RONS) 的出色能力。实现了对香烟烟雾中 RONS 的高效清除。同时, 以黄连为碳源制备的碳点 (CCzymes) 也展现出了优异的自由基清除能力, 能够高效清除羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$), 超氧阴离子 ($\cdot\text{O}_2^-$) 以及多种氮自由基。DFT 计算揭示了羧基和羰基作为活性位点清除 RONS 的反应机制。进一步的, CCzymes 实现了对溃疡性结肠炎有效治疗。

过渡金属原子 (TMAs) 掺杂也是赋予 CDs 酶活性的重要手段。我们之前的研究表明, TMAs 掺杂会降低 CDs 表面羧基和氨基含量, 增大 $\text{sp}^2\text{-C}$ 在碳核中的比例。同时, 选择合适的碳前体和 TMAs 能够构建具有特定结构的 TMAs-doped CDs。基于此, 以邻苯二胺, 植酸和 MnCl_2 为碳源, 制备了具有 $\text{Mn-N}_2\text{O}_2$ 配位结构的 Mn 掺杂红光发射碳点 (R-Mn-CDs)。实验和 DFT 计算结构表明, Mn 掺杂扩大了 CDs 的 sp^2 域、减小了带隙、缓解了氧化缺陷, 增加了受激电子数量、抑制了非辐射跃迁路径, 这些效果使得 R-Mn-CDs 的水相荧光量子产率提高至 41.3%, 是现阶段报道的一步法制备的水相红光碳点量子产率最高值。此外, 受天然 Cu 基与 Mn 基 SOD 启发, 通过微波水热法制备了 Cu 和 Mn 双原子掺杂碳点 (Cu, Mn-doped CDs)。Cu, Mn-CDs 展现了类 SOD, 类 CAT 和 $\cdot\text{OH}$ 清除等多酶活性。实验结果表明, Cu 和 Mn 原子是以 Cu-N_4 和 Mn-N_4 的形式存在于 CDs 中的。DFT 计算表明 Cu, Mn-CDs 在 $\cdot\text{OH}$ 清除过程中, 催化过程的每一步自由能变化都小于 0, 表明催化是自发进行的, 无需能量输入。同时, 在清除过程 $\cdot\text{O}_2^-$ 中, Cu, Mn-CDs 仅需克服 0.05 eV 的能垒, 就能将 $\cdot\text{O}_2^-$ 转变为 H_2O 。将 Cu, Mn-CDs 固体粉末作为自由基清除剂放入香烟过滤嘴中, 能够有效清除香烟烟气中 60.67% 的 ROS。小鼠模型实验结果表明, 在香烟过滤嘴中添加 Cu, Mn-CDs 后, 可显著减轻香烟烟气对小鼠肺部的损伤, 降低小鼠的氧化应激水平。进一步的, 通过分别掺杂 Co、Zn 和 Ce, 还实现了具有类过氧化物酶, 类氧化物酶和类水解酶活性等 TMAs-doped-CDs 的构建。

参考文献

- [1] Gao, F.; Liu, J.; Gong, P.; Yang, Y.; Yang, Y.; Jiang, Y.; *Chem. Eng. J.* 2023, 462: 142338.
- [2] Gao, F.; Huang, J.; Gong, P.; Ruan, Y.; Li, H.; Jiang, Y.; *Angew. Chem. Int. Ed* 2023, 62: e202214042.

分会编号-51

高强超声空化制备石墨烯量子点机理及工艺研究

宗虎、高敏慧、于磊、赵夙*

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

作为一种新型的二维碳同素异形体，石墨烯量子点的制备与应用备受关注。本研究中，我们通过对流动腔施加静态压力的超声液相剥离法，成功地从石墨片中制备了石墨烯量子点。通过对石墨烯量子点的表征和超声空化的理论分析，我们深入探讨了超声作用下石墨烯量子点的制备机理。并且观察到，在施加至 6 MPa 的超声压力后，增强了空化泡的能量和稳定性，从而提高了对石墨烯量子点尺寸的控制能力。同时，我们的研究表明，低温超声处理可以显著提高石墨烯量子点的产率。这一研究为超声液相剥离法在石墨烯量子点制备中的应用提供了新的思路，展现出在石墨烯量子点放大生产方面巨大的潜力。

分会编号-52

余辉颜色可调的碳点基圆偏振长余辉发光

孙晓峰*

山东理工大学

近年来，具有长寿命的圆偏振长余辉材料是手性发光领域的研究前沿。碳点作为一种制备简单和生物相容性良好的发光碳材料，是构建圆偏振长余辉材料的理想候选者。然而，受限于磷光碳点的发光颜色主要集中于短波长，构建余辉颜色可调的碳点基圆偏振长余辉材料仍存在巨大挑战。基于此，我们主要进行了以下研究：i) 设计合成了绿色手性磷光碳点，将其作为能量供体，以从黄色到红色发射的市售荧光染料为能量受体，通过一步或连续圆偏振磷光共振能量转移的策略成功实现了圆偏振长余辉颜色的定向调控。利用可调节的余辉颜色，余辉寿命以及圆偏振长余辉发光性质，实现了信息的加密^[1,2]。ii) 设计合成了具有聚集诱导发光的手性碳点，将其嵌入聚乙烯醇薄膜中产生了绿色圆偏振延迟荧光，利用碳点和染料之间的荧光共振能量转移策略构筑了多色和近红外圆偏振延迟荧光^[3]。以上工作的开展，丰富了碳点的发光特性，使其在圆偏振发光领域具有更大的发展空间。

参考文献：

- [1] F. Wang, S. Zhou, Y. Zhang, Y. Wang, R. Guo, H. Xiao, X. Sun. *Small* 2024, 20, 2306969.
[2] F. Wang, Y. Wang, R. Guo, Y. Wu, S. Zhou, H. Xiao, X. Sun. *Chem. Commun.* 2024, 60, 5419-5422.
[3] Y. Wang, R. Guo, F. Wang, Y. Wu, X. Sun, S. Zhou, J. Zhou. *J. Phys. Chem. Lett.* 2024, 15, 2049-2056.

分会编号-53

Excitation & solution-dependent N, S doped single-layer graphene quantum dots for white light-emitting diodesXinghao Liu¹, Nan Li^{1,2}, Xugui Lv^{1,2}, Jingjing Wang^{1,2}, Qingyu Ma¹, Zheng Xie^{*1,2}

1. School of Chemistry and Chemical Engineering, School of Materials Science and Engineering, University of Jinan, Jinan 250022, China.
2. Key Laboratory of Photochemical Conversion and Optoelectronic Materials, Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China.

Different-types graphene quantum dots (GQDs) with multicolor had potentials as a novel class of light source in the field of light-emitting diodes (LEDs). However, the excitation dependent redshift of the emission peak of GQDs led to decrease in fluorescence intensity, which limited application. In this study, the excitation and

solution-dependent effects of N, S doped single-layer GQDs were prepared via simple solvothermal method to overcome above drawbacks. The single-layer GQDs doping N, S named as Y-GQDs showed uniform size and good fluorescence stability with photoluminescence absolute quantum yields 10.77%. The optimal excitation and emission wavelengths of Y-GQDs were 380 nm and 535 nm, respectively. Additionally, it possessed varieties of fluorescence regulation methods including excitation wavelength, solvent, and concentration regulations. At the high concentration of Y-GQDs, the fluorescence emission was yellow. In this condition, the prepared LEDs could obtain white light, and the color rendering index reached 83.7 with color temperature of 5306. The WLEDs exhibited good optical stability under different driving currents, indicating that it had excellent potential as a high performance lighting device.

分会编号-54

碳点规模化应用探索——滨海混凝土腐蚀防护

何闯*

台州学院

碳点是 2004 年新发现的零维碳纳米材料，得益于原料来源广、荧光可调、荧光量子效率高、光稳定性强、生物相容性好等优点，广泛应用于化学传感、生物成像、催化、光电器件等领域。然而，碳点仍缺乏大规模应用场景，导致其工业化制备进程缓慢，进而阻碍了其快速发展。水泥基材料是世界上最常用的材料之一（仅次于水）。因此，探索碳点在水泥基材料中应用，有助于为碳点开辟大规模应用场景。本报告介绍了碳点在滨海混凝土腐蚀防护应用中的最新进展：制备适用于碱性环境、缓蚀效率高的碳点，直接作为混凝土的缓蚀剂；制备功能化碳点作为氯离子固化剂，提升水泥基材料氯离子固化能力；碳点辅助分散 2D 材料，用于氯离子固化。上述研究不仅可为水泥基材料腐蚀防护提供新思路，而且有助于为碳点开辟大规模应用场景。

分会编号-55

碳点提高作物抗逆性的机制研究：抗逆生理、根际调控、和生长势的关键作用

李亚东^{*1}，许荣华¹，祁婧艺¹，王洪杰¹，刘应亮²

1. 河北大学

2. 华南农业大学

农作物常常会遭遇各种不良的环境条件，抑制其生长，使粮食减产。在长期与环境互作过程中，农作物进化出一套复杂的相互关联的抗逆防御系统，包括胁迫感知、信号传递、抗逆反应等。近些年，诸多纳米材料对植物的抗逆性表现出优异的促进作用。碳点是一类新兴的零维荧光碳纳米材料，尺寸低于 10 nm，具有良好的水溶性、低毒性、环境友好性、生物相容性，制备原料来源广，成本低，易改性。碳点可通过物理转光、化学营养和生物调控等途径显著提高植物的光合作用，进而促进其生长和产量。本团队近期研究发现，碳点处理可显著增强作物的非生物胁迫抗逆性，尤其促进根系的锚定和对水和营养物质的获取。转录组测试分析得知，碳点显著提高抗逆相关通路及功能基因的表达。同时，碳点处理介导作物根系分泌物，改善了根际环境和微生物群落组成。最终，在抗逆生理、根际环境和生长势的协同作用下，碳点处理保护并提高了作物在逆境条件下的生长发育，并能有效阻控作物重金属积累与危害。

分会编号-56

Calcium-Mobilizing Properties of *Salvia miltiorrhiza*-Derived Carbon Dots Confer Enhanced Environmental Adaptability in Plants

Yanjuan Li¹, Bingfu Lei², Jian Sun^{*1}

1. Jiangsu Normal University

2. South China Agricultural University

Biomass-derived carbon dots (CDs) are promising nano-tools for agricultural applications and function as a reactive oxygen species (ROS) scavenger to alleviate plant oxidative stress under adverse environments. Nevertheless, plants need ROS burst to fully activate Ca^{2+} -regulated defensive signaling pathway. The underlying mechanism of CDs to improve plant environmental adaptability without ROS is largely unknown. Here, *Salvia miltiorrhiza*-derived CDs triggered ROS-independent Ca^{2+} mobilization in plant roots. Mechanistic investigation attributed this function mainly to the hydroxyl and carboxyl groups on CDs. CDs-triggered Ca^{2+} mobilization was found to be dependent on the production of cyclic nucleotides and cyclic nucleotide-gated ion channels. Lectin receptor kinases were verified as essential for this Ca^{2+} mobilization. CDs hydroponic application promoted Ca^{2+} signaling and plant environmental adaptability under salinity and nutrient-deficient conditions. All these findings uncover that CDs have Ca^{2+} -mobilizing property and thus can be used as a simultaneous Ca^{2+} signaling amplifier and ROS scavenger for crop improvement.

分会编号-57

碳点复合木质素阻燃剂的制备及其在聚合物中的应用

韩亮、贾本真、李晴、黄小羽、任红威、张金锋*

河北科技大学

为了改善环氧树脂的燃烧性能，通常使用卤素、磷系、氮系、无机阻燃剂对其进行改性，且取得了较好的阻燃效果。在环氧树脂燃烧过程中易形成高温和有毒烟气环境，燃烧产物易对人体健康及环境造成危害，这在一定程度上限制了材料的应用。开发高效环保的阻燃剂，降低其燃烧产物的危害，成为当前阻燃材料开发领域备受关注的-一个问题。基于碳点的环保、高稳定和良好的阻燃特性，本文以四氮唑、丙三醇、正硅酸乙酯为原料，采用一步水热法合成了 N-Si 掺杂碳点，通过复合碳点、木质素磺酸钠制备 N-Si 掺杂碳点改性木质素磺酸钠阻燃剂 (N-Si-CDs/Sodi)。采用反应型添加剂策略，探究阻燃剂对于环氧树脂的协同阻燃效果及机理，构建了一种新型的环氧树脂阻燃机制。由于 N 和 Si 元素的协同作用，开发的阻燃剂不仅能在气相中发挥捕集自由基，也能在凝聚相中通过促成炭形成，有效提升了材料的阻燃性能。对材料的阻燃性能评估表明，添加 8wt% 的 N-Si-CDs/Sodi，相比纯 EP 总烟量 (TSP) 从 23.8 m^2 下降到 16.9 m^2 ，降幅为 28%。极限氧指数 LOI 值从 18% 升高到 29%，改性环氧树脂阻燃等级达到 V-0，表现出良好的阻燃效果。

分会编号-58

近红外碳点作为缓释单线态氧敏化剂用于关节炎诊疗

胡晶¹，杨永珍*¹，康伟伟*²

1 太原理工大学 新材料界面科学与工程教育部重点实验室，山西 太原 030024；

2 山西医科大学，山西 太原 030000

关节炎易引起关节的红、肿、热、痛、功能障碍及关节畸形的问题，甚至导致关节残疾，或危及患者性命。目前关节炎的治疗方式主要为外科治疗，辅以物理治疗和药物治疗等。然而，外科治疗后可能导致关节僵硬，关节功能障碍等不良反应。近红外碳点可以经过光能量激活，通过能量转移产生高细胞毒性的单线态氧，对关节炎进行光动力治疗，减少外科手术副作用的产生。并且，其荧光性能也为关节炎的诊断提供便利。本研究以吖啶菁绿 (ICG) 为前驱体，以支链聚乙烯亚胺为钝化剂，以谷氨酸钠 (MSG) 为掺杂剂，通过一步法合成具有良好生物相容性的近红外碳点 (ICGCDs-MSG)。ICGCDs-MSG 利用 MSG 在高温反应后产生的吡啶酮，可以对单线态氧进行捕获，并在无激光照射的条件下持续释放，实现单线态氧的缓释，能够在无激光照射的情况下继续诱导细胞凋亡，从而减少持续辐照的副作用。因此，本研究利用 ICGCDs-MSG 的荧光性能以及单线态氧的缓释性能对关节炎进行成像诊断与治疗，有望实现高效的关节炎

诊疗一体化。

分会编号-59

能够实现全色谱发光的 N/S 共掺杂碳点的合成

朱静*

济南大学

碳点因其具有良好的水溶性、低毒性以及环境友好、原料来源广、成本低、生物相容性好等多个优点，而被广泛应用在光功能器件、生物成像等多个领域。

本实验以木质素和苯二胺为前驱体，采用一步溶剂热法合成了具有溶剂效应的 N, S 共掺杂碳点，碳点的荧光发射随着溶剂极性的增加，逐渐发生红移，能够实现碳点从红橙黄绿青蓝全色谱可调谐发光，同时 N, S-CDs 在乙酸溶剂中，会出现质子化现象，产生近红外红光发射。并与聚乙烯醇(PVA)水溶液混合实现红黄绿三色固态薄膜发光并实现 LED 发光；将合成的碳点用作生物染色试剂，可以靶向定位细胞器-溶酶体。

墙报

D14-P01

多色脂滴靶向碳化聚合物点的发光调控及其生物成像应用

于子桐、徐抒平*

吉林大学

主要内容：通过一锅溶剂热合成法以及改变反应前驱体，制备出了颜色可调的脂滴靶向碳化聚合物点（CPDs）。通过柱色谱法分离反应产物，它们呈现出从红色到蓝色的渐变荧光。我们分析了这些多色 CPDs 的结构，发现它们的发射波长受粒径和表面状态的调节。其发射波长从 630 纳米到 500 纳米的蓝移，其可归因于带隙的变化，主要表现为 N 含量的增加、O 含量的减少以及粒径尺寸的不同。多种光物理参数表明，合成的 CPDs 具有优异的发光特性。我们的全彩 CPDs 与脂滴型商业染料的荧光共聚焦成像结果令人满意，没有出现与商业染料的串色。此外，它们还可用于斑马鱼体内全彩脂滴靶向生物成像，突出显示斑马鱼胚胎富含脂质的卵黄囊。总之，这些纳米探针在研究脂滴代谢调控方面大有可为，并具有良好的生物相容性、易于制造和亲油性等优点。

材料：采用溶热合成法制备了四种全彩 CPDs：R-CPD、Y-CPD、G-CPD 和 B-CPD。在一个四氟乙烯高压反应釜中注入 10 毫升乙醇，并加入 40 毫克 N,N-二乙基对苯二胺，然后在高压釜中反应(200 °C, 12 小时)。反应釜冷却至室温后，以二氯甲烷和甲醇为洗脱剂，通过硅胶柱层析进一步分离生成物。该方案产生了红色荧光成分的产物，称为 R-CPD。将 30 毫克 N,N-二乙基对苯二胺和 30 毫克 8-羟基久洛尼定在 10 毫升乙醇中的溶液引入聚四氟乙烯高压釜中。反应在 200 °C 下进行 12 小时。然后将反应釜冷却至室温，用硅胶柱色谱法（洗脱液：二氯甲烷和甲醇）进一步分离产物，得到三色荧光成分（黄色、绿色和蓝色成分分别记为 Y-CPD、G-CPD 和 B-CPD）。

结论：我们首次利用溶剂热法通过小分子调制剂制备了四种高效的 LD 特异性全彩 CPDs，它们具有突出的溶剂变色特性、良好的生物相容性和较低的细胞毒性。结构表征结果表明，制备的多色 CPDs 主要由 C、N、O 三种元素组成，其氧化程度与荧光发射波长相关。随着 CPDs 的粒径减小，N 的含量增加，而 O 的含量减少，从而增加了它们的带隙，改变了发射波长。值得注意的是，制备的多色 CPDs 不仅能对各种细胞中的 LDs 进行体外成像，还能对活体斑马鱼中的 LDs 进行简单、无创的原位标记。这项研究拓展了多色 CPDs 在 LD 代谢调控中的应用，提高了其在生物技术和材料科学领域的实用价值。

D14-P02

基于杜仲合成的铁掺杂碳点作为安全有效的抗菌剂和伤口愈合剂

祁瑾*

山西医科大学

目的：传统抗生素面临着细菌耐药及生物相容性低等难题，从而阻碍了临床转化。近年来，抗菌纳米材料为抵抗细菌感染提供了有前途的替代策略，其中碳点（CDs）以其优异的性能受到越来越多的关注。通过引入生物质碳点为抗菌材料体系提供了一种安全有效的方法，然而单纯的生物质碳点抗菌能力较弱。Fe 是人体必要的营养元素，比其他金属掺杂表现出更高的类酶活性，从而提高了生物质碳点的抗菌性能。本实验以生物质中草药杜仲为碳源， $\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 为铁掺杂剂，采用简单环保的一步水热法合成了生物相容性良好且具有类酶活性的铁掺杂碳点纳米酶（Fe-CDs）。本研究为新型抗菌材料的发展和组织再生工程提供了参考意义。

方法：（1）通过 TEM, UV-vis, FT-IR, XPS 等对 Fe-CDs 形貌结构进行表征。（2）利用体内毒性实验和溶血试验对 Fe-CDs 的生物安全性进行分析。（3）通过单组分 TMB 显色液和亚甲基蓝（MB）检测 Fe-CDs 的类酶活性。（4）通过平板计数，SYTO9/PI 染色，SEM 和 TEM 等对 Fe-CDs 的体外抗菌性能进行系统评估。（5）最后，通过构建大肠杆菌感染伤口模型，记录伤口愈合过程，并利用 HE 染色和 IHC 探索 Fe-CDs 促进伤口愈合的内在因素。

结果：（1）通过一步水热法成功合成超小尺寸 Fe-CDs（1.1 nm ~ 5.4 nm），FT-IR, XPS 均证明了 Fe 的成功掺杂。（2）Fe-CDs 与 L929 细胞共培养后，Fe-CDs（ $200 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ）表现出更好的细胞活性和细胞增殖能力。（3）通过单组分 TMB 显色液和 MB 检测出 Fe-CDs 具有较强的类酶活性。（4）体外抗菌实验表明 Fe-CDs 对 *E.Coil* 的抗菌率达 94.82%，且在电镜下观察经材料处理的 *E.Coil* 细菌膜被明显破坏。（5）体内实验证明 Fe-CDs 能够降低 IL-6 的产生，促进 TGF- β 和 VEGF 的生成，具有显著的伤口愈合能力。

结论：总之，我们通过简单环保的一步水热法合成了一种具有类酶活性的铁掺杂生物质碳点，用于安全有效的抗菌治疗和伤口愈合。本研究为新型抗菌材料的研发和组织再生工程提供了重要启发。

D14-P03

锌掺杂碳点/细菌纤维素复合膜的制备及促进伤口愈合的研究

刘颖玉^{1,2}，李冰^{*1,2}

1. 山西医科大学

2. 山西医科大学口腔医院

细菌感染、炎症功能障碍、过度氧化应激和血管生成抑制是导致感染伤口延迟愈合的主要因素，为了加速感染伤口愈合进程，生产一种兼具抗菌、抗炎、抗氧化和促血管生成功能的新型多功能伤口敷料至关重要。在本工作中，我们使用锌掺杂碳点(Zn-QCDs) 改性缺乏生物活性的细菌纤维素(BC)基伤口敷料，开发了一种表面沉积了锌掺杂碳点的多功能细菌纤维素敷料(Zn-QCDs/BC)。其主要研究内容如下：

(1)以槲皮素、六水合硝酸锌为前驱体,采用一步水热法制备出具有良好水溶性和荧光性能的锌掺杂槲皮素碳点 (Zn-QCDs)。以细菌纤维素为基体,采用原位浸渍的方法制备出了 Zn-QCDs/BC 复合膜。通过紫外-可见光谱仪、荧光光谱仪、透射电子显微镜等对 Zn-QCDs 的结构和性能进行了表征，通过 X 射线衍射仪、扫描电子显微镜、傅里叶变换红外光谱仪等对 Zn-QCDs/BC 复合膜的结构进行了表征。结果证实，锌掺杂碳点成功制备且通过氢键相互作用成功负载到 BC 膜上。并且与纯 BC 膜相比，Zn-QCDs/BC 复合膜的亲水性和拉伸性能显著提高。(2)通过活死荧光染色法、圆盘扩散法等实验对其抗菌能力进行系统性评估，Zn-QCDs/BC 复合膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均表现出高于 95%的抑菌率。(3)通过 CCK8 法、活死荧光染色和溶血实验，对 Zn-QCDs/BC 复合膜进行生物安全性分析，Zn-QCDs/BC 复合膜具有良好的血液相容性，并对 HUVEC、L929、RAW264.7 细胞无明显杀伤作用。(4)通过 PCR 实验、DPPH 自由基清除实验、划痕实验、免疫荧光染色等对其抗炎、抗氧化及成血管能力进行分析，证实了 Zn-QCDs/BC 复合膜具有优异的抗炎、抗氧化和血管生成能力。(5)通过使用大鼠的全层皮肤感染缺损模型研究了 Zn-QCDs/BC 复合膜促进伤口愈合的效果。Zn-QCDs/BC 复合膜组显示出增强的皮肤再生效果，其伤口闭合加速，剩余真皮间隙长度更短，肉芽组织形成更厚，胶原沉积更多。此外，Zn-QCDs/BC 复合膜治疗的伤口减少了炎症反应，

增强了血管生成, 这表明该复合膜通过促进抗炎和血管生成促进感染伤口愈合。我们的结果表明, 所制备的 Zn-QCDs/BC 复合膜具有良好的治疗感染伤口的潜力, 是一种有效的药物绷带替代材料。

D14-P04

荆芥衍生碳点的制备及加速伤口愈合的研究

郭苏苏, 李冰*

山西医科大学

背景: 碳点(CDs)直径约为 10 纳米, 是一种新型纳米材料, 近年来因其良好的生物相容性、荧光特性和低毒性而受到广泛关注。这些特性使它们在各种应用领域, 特别是在生物医学领域具有广泛的应用前景。作为中国古代科学的瑰宝, 中草药含有丰富的各种有效成分, 发挥着多种药效学作用, 已被使用了数千年。以中草药为碳源制备的中药衍生 CDs 可以产生一些特殊的功能, 有望发挥更大的药用价值。然而, 从中草药中提取 CDs 的研究是有限的, 它们在生物医学上的潜力在很大程度上仍未被开发。

方法: 以荆芥(NCL)为碳源, 采用水热法制备了一种新型的碳点, 命名为 NCL-CDs。利用多种技术对 NCL-CDs 进行表征, 包括透射电镜、紫外可见光谱、傅里叶变换红外光谱、x 射线衍射、荧光光谱等。使用人脐静脉内皮细胞和小鼠单核巨噬细胞白血病细胞进行了细胞增殖、细胞划痕、细胞摄取、免疫荧光、活性氧检测、RT-qPCR、生物相容性测试、伤口愈合分析等相关实验, 研究了 NCL-CDs 在炎症条件下促进大鼠创面愈合的潜力。

结果: NCL-CDs 在 365 纳米紫外光照射下表现出稳定的绿色荧光, 具有良好的生物相容性。在炎症阶段, NCL-CDs 吸收过量的活性氧(ROS), 有助于细胞内 ROS 的下调。同时, 通过减少促炎因子 TNF- α 、IL-6 和 IL-1 β 的表达, 使局部炎症得到缓解。在大鼠皮肤缺损模型中, NCL-CDs 促进创面愈合, 刺激创面附近血管形成和组织再生, 增加 CD31、VEGF 的表达, 减少 INOS 的表达, 进一步证明了 CDs 的治疗功能。所有这些结果表明, 具有高抗炎性的 NCL-CDs 可作为一种出色的功能性纳米材料应用于临床创面治疗。

D14-P05

壳聚糖衍生碳点及其复合水凝胶的制备和加速伤口愈合的研究

郭苏苏, 李冰*

山西医科大学

目的: 细菌感染一直以来都是阻碍伤口愈合的最大障碍, 细菌的滋生会使伤口发炎, 加重伤势, 随着细菌不断发展形成的细菌生物膜还可以通过胞外聚合物进一步加速细菌的繁殖, 造成伤口溃烂、化脓等危重情况。碳点(CDs)是一种新型碳纳米材料, 具有优异的荧光性、水溶性、生物相容性和结构可调控性等, 近几年来, CDs 在抗菌领域的开发被广泛报道。水凝胶由于具有多孔性、柔韧性、吸水和持水性等优点, 被广泛应用于医用外科伤口敷料。具有抗菌性能的水凝胶更是可以有效避免伤口感染, 减轻患者的痛苦。因此, 通过选择合适的前体或巧妙的设计, 制备具有抗菌性能的水凝胶具有重要现实意义。

方法与材料: 选择生物相容性良好, 具有广谱抗菌性能的壳聚糖(CS)为前驱体, 通过一步水热法制备 CS-CDs; 将天然聚合物葡聚糖氧化制备氧化葡聚糖(ODA)用以提供醛基(-CHO), 利用 CS-CDs 表面丰富的氨基(-NH₂)与 ODA 分子链上的-CHO, 通过席夫碱反应制备壳聚糖碳点复合氧化葡聚糖(CS-CDs/ODA)水凝胶。采用透射电子显微镜、扫描电子显微镜、紫外可见吸收光谱、光致发光光谱及傅立叶变换红外光谱等进行系列表征; 通过 CCK8 法、活死荧光染色及溶血试验进行生物安全性测定; 通过抗菌实验、扫描电镜观察细菌膜破坏形态、细菌 ROS 产生测量及细菌活死荧光染色分析实验进行抗菌性能和抗菌机制的测定。最后通过测量创口愈合创面大小、组织学分析和体内毒性实验进行体内伤口愈合的研究。

结果与讨论: 一系列表征表明, CS-CDs 可作为节点, 凭借亚胺键(-C=N-)将 ODA 聚合物链连结起来, 构建出具有三维网状结构的水凝胶。通过 CCK8、活死荧光染色分析及溶血试验证明了其具有良好的生物相容性, 细胞活性均高于 90%。抗菌实验表明, CS-CDs/ODA 对革兰氏阳性金黄色葡萄球菌表现出更优异

的抗菌活性，对革兰氏阴性大肠杆菌也具有一定抑菌效果。扫描电镜下可观察到大量细菌膜皱缩破裂；细菌内检测出大量活性氧等结果均证明 CS-CDs/ODA 水凝胶具有较强的抑菌作用。更重要的是，CS-CDs/ODA 可以有效破坏成熟金黄色葡萄球菌的生物膜，在抗菌及抗生物膜领域表现出良好的发展前景。最后通过 H&E 染色和 Masson 染色镜下观察到丰富的胶原纤维、大量的结缔组织和血管再生。CS-CDs/ODA 水凝胶的成功制备为开发具有抗菌性能的伤口敷料水凝胶提供了新思路。

D14-P06

硫掺杂碳化聚合物点作为超高效且生物友好的光催化剂实现高速水相 PET-RAFT 聚合

于跃，杨柏*

吉林大学

近十年来，光诱导电子转移可逆加成-断裂链转移（PET-RAFT）聚合作为一种在时空可控的温和条件下，构建具有明确结构的聚合物的精确方法得到了广泛研究。然而，传统的半导体介导的 PET-RAFT 聚合在效率和聚合环境方面仍有相当大的局限性。我们通过水热法合成了一种硫掺杂的碳化聚合物点（S-CPDs），并将其应用于催化水相 PET-RAFT 高效聚合。S-CPDs 介导的 PET-RAFT 聚合的最高增殖速率常数达到了前所未有的 5.05 h^{-1} ，并且得到的聚合物还具有极佳的分子量控制和极窄的分子量分布（ $\text{Đ} < 1.10$ ）。通过一系列光谱表征，我们深入研究了聚合过程中光诱导电子转移过程，并提出了 S-CPDs 介导 PET-RAFT 聚合的机理。此外，我们还进一步证明了该 S-CPDs 广泛适用于多种光源（蓝光/绿光/太阳光照射）、多种单体、以及低催化剂负载（低至 0.01 mg mL^{-1} ）和多种极性溶剂环境，其聚合效率远远高于现有的半导体介导 PET-RAFT 聚合。最后，这种 S-CPDs 还被证实是无细胞毒性的，并且能在细胞培养基中催化丙烯酸胺/丙烯酸酯等单体的高效 PET-RAFT 聚合，证实该方法在生物医学领域具有广阔的应用前景。

D14-P07

High refractive index carbonized polymer dots acting as light scattering units in nanocomposites for full-screen light guide plate

Zhicheng Zhu, Chongming Liu, Bai Yang*

Jilin University

The full-screen mobile phone can be fabricated by integrating the camera beneath the screen, which needs the nanocomposite light guide plate (nano-LGP) with exceptional transparency and light guiding properties simultaneously. Choosing an appropriate nanoparticle with high refractive index difference and exceptional compatibility within polymer matrix is crucial for producing the nano-LGP. In this study, we synthesize the high refractive index carbonized polymer dots (HRI-CPDs) through the solvothermal treatment, achieving a refractive index value of 1.7220 at 450 nm. Subsequently, the mHRI-CPDs/PMMA nanocomposites are fabricated by copolymerizing the modified HRI-CPDs (mHRI-CPDs) with methyl methacrylate (MMA). Due to the high visible light transmittance and Rayleigh scattering characteristics when light passes through the nanocomposites, this kind of nanocomposites is suitable for serving as nano-LGPs. We originally explore the potential of carbonized polymer dots as light-scattering unit to improve surface illuminance and uniformity of nano-LGPs. The best performing 4.3-inch LGP with 1.0 wt% doping content shows 15.8 times higher surface illuminance and 2.1 times higher uniformity than pure PMMA. This new type of LGP based on mHRI-CPDs/PMMA nanocomposite holds tremendous promise in conjunction with advanced liquid crystal display (LCD) technology.

D14-P08

窄带宽固态发射碳点的合成及其电致发光性能李恒¹，陈旭东¹，郑静霞^{*1,2}，杨永珍^{1,2}，刘旭光³

1. 太原理工大学新材料界面科学与工程教育部重点实验室
2. 山西浙大新材料与化工研究院
3. 太原理工大学材料科学与工程学院

高色纯度电致发光二极管 (LEDs) 具有很强的色彩表现力、高标准色域和高发光效率, 在照明显示领域受到广泛关注。碳点 (CDs) 由于具有低成本、良好的溶解性、较高的电子迁移率等优点可作为 LEDs 器件的发光层材料。然而, 一方面, 聚集状态下, CDs 的 π - π 堆积和过度的能量共振转移, 使 CDs 内部的电子会发生重排, 破坏原有的能级带隙导致固态猝灭; 另一方面, CDs 产生大共轭域结构的电子云密度分布不均匀, 很大程度上增加了基态 (S) 和单重激发态 (S_1) 之间的振动耦合, 不利于窄带宽发射。若想实现高色纯度的 LEDs 器件, 则需要制备一种具有窄带宽 (半峰宽 < 60 nm) 的固态发射 CDs 作为器件的发光层。本工作以具有共轭结构的邻苯二胺为碳源, 采用烷基链构建 sp^3 杂化网络策略, 一步水热法合成兼顾窄半峰宽和固态发射两种光学特性的 CDs, 其半峰宽为 49 nm、在 260 nm 激发波长下发光波长为 305 nm。然后, 将窄带宽固态发射 CDs 作为发光层制作得到 LEDs 器件。这项工作将为实现低成本、高色纯度的 CDs 基电致发光显示器件提供一种新思路。

D14-P09

F 掺杂长寿命双余辉碳点基复合材料的合成和机理研究

李兴梅¹, 赵莹莹¹, 刘星宇¹, 郑静霞^{*1,2}, 杨永珍^{1,2}, 刘旭光³

1. 太原理工大学新材料界面科学与工程教育部重点实验室
2. 山西浙大新材料与化工研究院
3. 太原理工大学材料科学与工程学院

双余辉 (同时具备室温磷光 RTP 和热活化延迟荧光 TADF) 材料因其持续发光、斯托克斯位移大, 在防伪与信息加密、照明、生物成像、传感等领域表现出广泛的应用前景。碳点 (CDs) 由于具有优异的光学性能、制备简单、成本低廉、低毒环保等优点成为理想的双余辉候选材料。然而, 目前多数双余辉发射的 CDs 基复合材料肉眼可见余辉仅为几秒 (< 10 s), 限制其应用范围和应用效果。为了延长双余辉 CDs 材料的寿命, 本工作首先以叶酸为碳源、氟化铵为掺杂剂, 采用水热法制备 CDs (F-CDs), 再用硼酸包覆 CDs 得到 F 掺杂 CDs 基复合材料 (F-CDs@BA)。通过调控原料用量比、反应温度、反应时间等参数, 制得同时具有肉眼可见 11 s 的蓝色 TADF 和肉眼可见 13 s 的绿色 RTP 的 F-CDs@BA。通过对比并分析 F 掺杂前后复合材料的形貌结构和光学性能, 明晰 CDs 与基质之间结构的相互作用和 F 原子对其余辉发射和寿命的影响规律, 并揭示双余辉发光机理。

D14-P10

基于碳化聚合物点组装体构筑的光热驱动发电机

单飞狮¹, 严丽², 魏志弘¹, 王周玉², 田玉玺¹, 王乐勇^{*1}

1. 南京大学
2. 西华大学

能源危机是 21 世纪全世界共同面临的一场大考。热能能量转移是一种很有前途的解决方案, 可以在几乎没有任何排放或污染的情况下, 将热能转化为电能。然而, 在热电发电领域仍然存在一个主要障碍, 即有效利用光能以实现从光到热并最终到电的连续能量转移。碳化聚合物点 (Carbonized Polymer Dots: CPDs) 因其低毒性、合成简单和易于组装等优势而成为量子点家族中有前途的成员。在这里, 我们利用具有特殊“核-壳”结构的 CPDs “壳”结构中丰富的官能团作为氢键供体与以二甲基亚砜为代表的强氢键受体之间的氢键相互作用构建出 CPDs 组装体。这些组装体表现出显著增强的发射和吸收性能以及优异的光热转化效果。因此, 我们进一步将 CPDs 组装体构筑成光热驱动发电机, 不仅可以在实验室条件下成功实现 LED 灯泡的点亮与智能手机充电, 还能拓展到自然环境中实现应用。本研究为 CPDs 组装体的构建提供了

氢键视角，并提出了实现光热电连续能量转移的 CPDs 见解。

D14-P11

基于可见光诱导表面还原的强氧化能力的无金属碳纳米点用于光催化抗菌和肿瘤治疗

张蕙琦², 曲松楠^{*1}

1. 澳门大学
2. 重庆交通大学

在水溶液中具有光诱导的强氧化能力和良好的生物相容性的无金属碳点 (CDs) 对于高性能光催化抗菌和肿瘤治疗非常稀缺。在这项工作中，我们实现了基于无金属 CDs 的可见光诱导的细胞死亡和抗菌性能。CDs 表面吸电子结构在可见光诱导下捕获光生电子，延长了光生空穴的寿命，使具有强氧化能力的光生空穴氧化水分子并产生具有细胞毒性的羟基自由基。在可见光照射下，CDs 能有效抑制对抗生素具有耐药性的细菌，并实现了基于 CDs 的光催化肿瘤治疗。

D14-P12

Poly(Lysine)-Derived Carbon Quantum Dots Conquer Enterococcus faecalis Biofilm-Induced Persistent Endodontic Infections

Yuanping Hao*

Qingdao Stomatological Hospital Affiliated to Qingdao University, Qingdao 266001, China.

Introduction: Persistent endodontic infections (PEIs) mediated by bacterial biofilm mainly cause persistent periapical inflammation, resulting in recurrent periapical abscesses and progressive bone destruction. However, conventional root canal disinfectants are highly damaging to the tooth and periodontal tissue and ineffective in treating persistent root canal infections. Antimicrobial materials that are biocompatible with apical tissues and can eliminate PEIs-associated bacteria are urgently needed.

Methods: Here, ϵ -poly (L-lysine) derived carbon quantum dots (PL-CQDs) are fabricated using pyrolysis to remove PEIs-associated bacterial biofilms.

Results: Due to their ultra-small size, high positive charge, and active reactive oxygen species (ROS) generation capacity, PL-CQDs exhibit highly effective antibacterial activity against *Enterococcus faecalis* (E. faecalis), which is greatly dependent on PL-CQDs concentrations. 100 $\mu\text{g/mL}$ PL-CQDs could kill E. faecalis in 5 min. Importantly, PL-CQDs effectively achieved a reduction of biofilms in the isolated teeth model, disrupting the dense structure of biofilms. PL-CQDs have acceptable cytocompatibility and hemocompatibility in vitro and good biosafety in vivo.

Discussion: Thus, PL-CQDs provide a new strategy for treating E. faecalis-associated PEIs.

D14-P13

基于多巴胺-空心 MnO_2 -N 掺杂碳点的多功能光疗纳米平台增强缺氧肿瘤协同治疗

郑富敏^{1,2}, 王万春^{*1}

1. 青岛市口腔医院
2. 青岛大学

背景: 口腔肿瘤是头颈部最常见的恶性肿瘤之一，发病率高，恶性程度高不仅会造成畸形和功能障碍，还可能危及生命。目前口腔鳞状细胞癌的传统治疗方法，如手术、放疗等都存在一定的缺陷，导致的面部畸形和功能障碍显著降低了中晚期患者的生活质量和生存率。因此，寻找一种有效、安全、有效的治疗口腔肿瘤的新方法具有重要意义。**方法:** 本研究开发了一种聚多巴胺包覆的空心二氧化锰(hMnO_2)负载红光发射 N 掺杂碳点(NCDs)，即 $\text{N-CDs@MnO}_2\text{-PDA}$ (NMP NPs)纳米系统。**结果:** 我们观察到 NMP NPs 在体

内外都具有抗口腔鳞状细胞癌的治疗效果。在 635 nm 激光照射下, MnO_2 与 TME 中丰富的 H_2O_2 反应生成大量的氧, 缓解了肿瘤内的缺氧环境, 显著提高了 NCDs 的光敏转化效率, 而在 808 nm 激光照射下表现出良好的光热效应。在体内治疗研究中, 通过给药结合双激光照射达到理想的抗癌效果。在酸性肿瘤微环境中, 富集的 H_2O_2 与 hMnO_2 反应生成大量的 $\text{Mn}^{2+}/\text{O}_2$, 缓解了肿瘤内的缺氧环境并产生了足够的 $^1\text{O}_2$ 用于 PDT, 结合 PDA 涂层更高的光热转化能力表现出显著的抗癌作用。结论: NMP NPs 纳米系统在体内应用中表现出高度理想的生物相容性, 并且在通过 PDT 和 PTT 联合疗法成功抑制肿瘤生长。

D14-P14

聚赖氨酸修饰的近红外发射碳点装配体: 促进肿瘤富集用于增强肿瘤光热治疗

黎镇坚, 曲松楠*

澳门大学

在肿瘤治疗中, 提高光热疗法治疗效果的一个关键挑战是提高光热剂在肿瘤部位的被动靶向积累效率。碳点具有荧光可调、光热转换效率高、生物相容性优异等优点, 是做为光热剂的理想选择。在这项工作中, 我们将近红外发射碳点与聚赖氨酸在二次溶剂热反应下合成了聚赖氨酸修饰的近红外发射碳点装配体。通过表征其形态、化学和发光特性, 确认了其封装结构。经过聚赖氨酸修饰后, 聚赖氨酸修饰的近红外发射碳点装配体的粒径增加至约 40 ± 8 纳米, 该粒径大小处于适合实现高渗透性长滞留效应的尺寸范围内。聚赖氨酸修饰的近红外发射碳点装配体不仅表现出增强的近红外荧光发射, 而且维持了高达 54.9% 的光热转换效率, 加上其在肿瘤部位积累效率增大, 导致其肿瘤光热治疗效果更高效。因此, 聚赖氨酸修饰的近红外发射碳点装配体在肿瘤光热消融治疗中具有巨大的应用潜力。

D14-P15

碳化聚合物点调节离子溶剂化结构提升水系锌金属电池性能

张家裕, 孙海珠*

东北师范大学化学学院, 吉林省长春市人民大街 5268 号, sunhz335@nenu.edu.cn

锌金属由于含量丰富、安全性高, 在大规模能源储存应用上被认为是理想的电极材料^[1-3]。然而, 因为不可控的枝晶生长, 严重的析氢反应和电解液的腐蚀, 锌电极的实际应用仍然面临挑战^[4-6]。本工作通过在水系锌离子电解液中引入天冬氨酸为前体的碳化聚合物点(CPDs)添加剂, 有效的抑制了锌负极的腐蚀。对其机理的深入研究表明, CPDs 参与了锌离子的溶剂化过程, 降低了电解液中水的活性, 有效抑制了析氢反应, 减少了负极副产物的生成。因此, 组装的对称电池可以在 10 mA cm^{-2} 的大电流下稳定循环超过 1100 h, 库伦效率高达 99.09%。与 MnO_2 正极组装全电池时, 表现出了优异的电化学性能。本研究为电解液添加剂的发展提供了新思路。

致谢: 感谢国家自然科学基金(批准号: 22035001, 22275030)、吉林省科技发展计划项目(国际合作项目 20240402073GH)、吉林省教育厅项目(JJKH20231304KJ)、中央高校基本科研业务费专项(科技成果转化专项)项目(CGZH202203)资助。

参考文献:

- [1] M. Wang, J. Ma, Y. Meng, et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, 62, e202214966
- [2] K. Zhou, Z. Li, X. Qiu, et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, e202309594
- [3] Z. Shi, Y. Wang, X. Yue, et al. *Adv. Mater.* 2024, 2401711
- [4] X. Shi, J. Xie, J. Wang, et al. *Nat. Commun.* 2024, 15, 302
- [5] D. Xu, X. Ren, H. Li, et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, e202402833
- [6] K. Zhao, G. Fang, J. Liu, et al. *J. Am. Chem. Soc.* 2022, 144, 11129

D14-P16

“双面神”碳化聚合物点：自比率型荧光传感器的构筑与次氯酸根的选择性感测廖成霜¹, 单飞狮², 王乐勇², 王周玉*¹

1. 西华大学
2. 南京大学

碳化聚合物点 (Carbonized Polymer Dots: CPDs) 因其优异的光致发光性能、出色的生物相容性、高灵敏度和高信噪比而成为比率型光致发光 (Photoluminescence: PL) 传感器的新构筑模块。然而, 目前基于 CPDs 的 PL 传感器通常需要集成多个发射模块, 这与简单、高效的生命分析化学的实际需求相违背; 同时, 这也很难充分开发 CPDs 独特的 Janus 结构。因此, 全面理解 CPDs 的结构特性, 并在此基础上开发自比率型传感器至关重要。本研究合理设计并合成了绿色/红色双发射 CPDs, 并巧妙利用 CPDs 独特核-壳结构发光机制的差异, 将其开发为次氯酸根 (ClO^-) 的特异性自比率型 PL 传感器。进一步利用 CPDs 的低毒性和高水溶性, 在细胞中成功地实现了外源性和内源性 ClO^- 传感, 为构建自比率型 PL 传感器提供了独特的 CPDs 视角。

D14-P17

分子筛中双碳点组装实现时间分辨余晖颜色演变

宗思宇, 李激扬*

吉林大学化学学院

分子筛是一类具有规则孔道结构的无机微孔晶体材料, 它不仅在催化与吸附分离领域有重要的应用, 也是一种优良的主体材料, 其多孔空间结构可以根据功能的需求, 组装不同的客体功能分子。碳点是一类新兴的碳基纳米材料, 具有独特的光学性质以及低毒, 生物兼容性好, 易制备等优点。为解决固态碳点聚集诱导的荧光淬灭, 我们利用分子筛晶体材料为基质负载碳点, 构建了一系列碳点@分子筛复合发光材料。在复合材料中, 分子筛基质对碳点起到很好的限域和稳定作用, 同时碳点和分子筛基质间的相互作用有利于减少碳点的非辐射跃迁, 稳定其三重态能量, 实现长余辉发光和高的发光效率。最近, 具有时间分辨磷光发射 (TDPC) 的碳点余辉材料为高级动态信息加密提供了新的思路, 但实现水稳定的 TDPC 碳点材料仍然具有挑战。基于此, 在反应体系中引入二乙胺、 N,N' -二甲基乙二胺两种碳源, 它们既可以作为模板剂导向分子筛的合成, 并且水热过程中可以生成两种具有不同发光性质的碳点, 在分子筛晶化过程中原位嵌入到基质中, 通过限域作用使其具有磷光发射, 其中二乙胺碳源得到的碳点具有蓝色 (430 nm) 的余辉发射, N,N' -二甲基乙二胺碳源得到的碳点具有绿色 (505 nm) 的余辉发射, 并且寿命不同, 经紫外光照射后余辉颜色随时间由蓝变绿, 其特殊的动态磷光性质可应用于高级防伪领域。

D14-P18

产生具有增强深红色荧光和光热性能的长波长吸收带的熔合碳点聚集体

曲松楠*, 吴君, 雷海鹏, 何丙辰, 邓初夏, 汤子康

澳门大学

具有长波长吸收和发射特性的碳点 (CDs) 在生物应用中备受青睐。在此, 我们报告了一种新的超碳点策略, 即在溶解热处理条件下, 通过浓度诱导的碳纳米粒子间的脱水过程, 以共价键的方式构建基于绿色发光碳点的熔合碳点聚集体 (f-CDAs)。所获得的熔合碳点 f-CDAs 在 550-700 nm 波段有明显的新出现的吸收带, 并在 N,N -二甲基甲酰胺中的深红色荧光也显著增强。655 nm 激发下, 熔合碳点的光量子产率达 15.6%, 在水中的光热转换效率高达 26.1%。得益于高光热性能, 在 0.5 W/cm^2 的 655 nm 激光照射下, 通过瘤内注射 f-CDAs 实现了小鼠体内肿瘤光热治疗。

Carbon dots (CDs) with long-wavelength absorptions and emissions are highly desired for biological applications. Herein, we report a new supra-CDs strategy to construct long-wavelength absorption bands based on fused CDs aggregates (f-CDAs) through a concentration-induced interparticle dehydration process among green emissive CDs (r-CDs) under solvothermal treatment. The obtained fused f-CDAs exhibit an obvious absorption band in 550–700 nm and significantly enhanced deep red fluorescence in *N,N*-dimethylformamide with photoluminescence quantum yields of 15.6% and high photothermal conversion efficiency up to 26.1% in water. Benefiting from the high photothermal performance, in vivo tumor photothermal therapy has been realized via intratumoral injection of f-CDAs under 655 nm laser irradiated at 0.5 W/cm².

D14-P19

Assignment of Core and Surface States in Multicolor-Emissive Carbon Dots

Zekun Yan, Songnan Qu*

University of Macau, Insititue of Applied Physics and Material Engineering

It is important to reveal the luminescence mechanisms of carbon dots (CDs). Herein, CDs with two types of optical centers are synthesized from citric acid in formamide by a solvothermal method, and show high photoluminescence quantum yield reaching 42%. Their green/yellow emission exhibits pronounced vibrational structure and high resistance toward photobleaching, while broad red photoluminescence is sensitive to solvents, temperature, and UV–IR. Under UV–IR, the red emission is gradually bleached due to the photoinduced dehydration of the deprotonated surface of CDs in dimethyl sulfoxide, while this process is hindered in water. From the analysis of steady-state and time-resolved photoluminescence and transient absorption data together with density functional theory calculations, the green/ yellow emission is assigned to conjugated sp²-domains (core state) similar to organic dye derivatives stacked within disk-shaped CDs; and the broad red emission—to oxygen-containing groups bound to sp²-domains (surface state), whereas energy transfer from the core to the surface state can happen.

D14-P20

Toward Rational Design of Carbon Nanodots with High Photothermal Efficiency for Tumor Photothermal Therapy

Xue Wu, SongNan Qu*

university of macau

Carbon nanodots (CDs) with high photothermal performance are ideal candidates for tumor photothermal therapy (PTT). Herein, we investigated the photothermal performance of CDs synthesized from urea and citric acid via solvothermal method in dimethyl sulfoxide (DMSO) at different temperatures. Photothermal conversion efficiency (PCE) of up to 61.3% was obtained in the CDs synthesized at 150 °C (150-CDs), which is much better than the CDs synthesized at 180 °C (180-CDs). By analyzing the morphologies, chemical structures, and absorption spectra of these CDs, we found that the photothermal effect of the CDs was due to the lattice vibration of their carbonized cores, in which moderate carbonization with high content of surface carbonyl group (C=O) contributed for enhanced absorption band in deep red region with improved photothermal performance. Moreover, we also demonstrated that 150-CDs with moderate carbonized cores exhibit much better tumor PTT performance in vivo than 180-CDs with higher carbonized cores.

D14-P21

氮掺杂碳量子点的制备及对忆阻器功耗的影响

何锦涛¹, 郝浩天¹, 杨永珍^{*1,2}

1. 太原理工大学新材料界面科学与工程教育部重点实验室
2. 山西浙大新材料与化工研究院

低功耗忆阻器对于人工神经形态智能系统的构建至关重要。碳量子点 (Carbon quantum dots, CQDs) 凭借热稳定性好、电子迁移率高以及易于形成导电通路的特点, 成为制造低功耗忆阻器件的理想材料。本研究以柠檬酸为碳源, 分别选择尿素、对苯二胺和三聚氰胺为氮源, 通过一步水热法合成三种不同结构的氮掺杂碳量子点 (N doped CQDs, N-CQDs), 并以其为功能层材料, 构建三种忆阻器件。通过氮原子的掺杂, 可以调控 CQDs 的电荷密度和能级带隙, 从而降低忆阻器功耗, 有望获得具有低于生物神经元动作电位的功耗水平 (1–100 pJ) 的忆阻器件。通过对比不同 N-CQDs 中氮的掺杂构型、掺杂位置和掺杂量对忆阻器功耗的影响, 提出低功耗碳基忆阻器的构建策略。研究结果有望推动可穿戴电子设备向更高效和更节能的方向发展, 为未来智能存算一体化设备提供更加绿色和可持续的能源解决方案。

D14-P22

聚集诱导的聚噻吩碳点的固态荧光发射机制研究

李建, 葛介超*

中国科学院理化技术研究所

近年来, 具有固态荧光发射的碳点在光电显示领域的应用潜力备受瞩目。然而, 设计具有固态荧光性质的碳点并深入揭示其荧光机理仍是一项挑战性的任务。在此, 我们成功合成了一种新型的聚噻吩衍生的碳点, 即聚-3, 4-二苯甲酸噻吩碳点, 该碳点表现出优异的固态荧光性质。随后的结构与光学表征研究揭示了其聚集诱导发射的固态荧光发射机制。具体而言, 在聚集状态下, 碳点表面的共轭聚合物结构基团发生交叉重叠, 自身转动和振动受到抑制, 显著减弱了其非辐射跃迁过程, 从而增强了固态荧光发射。为了进一步验证聚集诱导的固态荧光机理, 我们又精心设计了三种聚噻吩衍生的碳点。这些碳点不仅验证了我们的理论假设, 而且为碳点的固态荧光机制研究提供了丰富的实验依据。基于上述所设计制备的碳点独特的固态荧光特性, 我们联合商用的 460 nm 芯片成功制备了白光发光二极管器件。该器件表现出高达 82.7 的显色指数和 (0.37, 0.39) 的色坐标性能, 表明其在光电子领域应用的巨大潜力。本项工作对促进碳点的固态荧光机理的发展, 推动其在光电领域的应用研究具有很大意义。

D14-P23

近红外 II 区荧光成像介导的 I 型光动力碳点光敏剂用于肿瘤治疗

薛小矿, 葛介超*

中国科学院理化技术研究所

光动力疗法(PDT), 因其具有无创、对正常器官和组织损伤小、抑制多药耐药性等独特优势, 在肿瘤治疗上受到广泛关注。在过去的几十年里, 已经开发出了许多光疗药物和设备, 但一些不可避免的缺点, 如对氧的依赖, 光穿透深度有限等, 在很大程度上限制了其治疗实体肿瘤的疗效。针对传统光动力治疗的局限性, 我们以吡咯和 2, 5-二溴对苯二甲醛为前驱物设计合成了一种新型碳点 P-CDs, 用于近红外二区引导的 PDT 治疗。P-CDs 在近红外 (800-1000 nm) 处有明显的吸收, 能够在 880 nm 激光照射下能专一地产生 $\cdot\text{O}_2^-$, 具有 I 型 PDT 效果。同时在 880 nm 激发下能产生近红外二区荧光。细胞实验表明, P-CDs 可以专一地产生 $\cdot\text{O}_2^-$, 随后在胞内的超氧化物歧化酶和 Haber-Weiss 反应催化下可以产生大量的 $\cdot\text{OH}$ 。体外抗肿瘤结果表明, P-CDs 在正常氧和乏氧条件下均具有良好的抗肿瘤效果。在活体实验中, P-CDs 可以在肿瘤富集, 通过近红外二区成像介导的 PDT 有效抑制肿瘤生长。总之, 体外和体内实验结果表明, P-CDs 可以有效克服传统光动力对氧气的依赖和穿透深度不足等缺点, 通过近红外二区成像介导的 I 型 PDT 达到良好的抗肿瘤疗效。

D14-P24

Active shrinkage hydrogel based on red light-emitting carbon dots photosensitizer for bacterially infected diabetic wound healing

Yongliang Hao*

Technical Institute of Physics and Chemistry CAS

Rapid closure and elimination of infection after skin trauma are critical for scar-free healing. This work successfully developed a photodynamic antibacterial hydrogel (PNSP), which effectively achieves antibacterial effects and skin contraction through mechanical contraction under body temperature conditions and antibacterial exposure to sunlight, thereby promoting the closure of large bacterially infected wounds. PNSP is composed of temperature-sensitive monomer N-isopropylacrylamide (NIPAM) through free radical polymerization to form a temperature-responsive network, and carboxyl-rich sodium alginate is introduced to form a semi-interpenetrating network to improve the biophase of the hydrogel. capacitive and mechanical properties. In addition, polythiophene-derived carbon dots with excellent singlet oxygen generation ability are evenly distributed in the hydrogel, ensuring excellent photodynamic antibacterial effects. In in vivo experiments, PNSP significantly modulated the inflammatory and proliferative phases, promoting re-epithelialization and skin contraction. This novel photodynamic antibacterial mechanical shrinkage hydrogel is expected to become a universal strategy to promote wound closure by simultaneously modulating biochemical and mechanical signals.

D14-P25

碳点促进类囊体光生电子机制研究

黄恩临, 李唯*

华南农业大学

植物光合作用体内产生电子传递, 该电子传递链不仅在植物体内具有提升能量转换效率, 增加 ATP 合成等作用, 提取出类囊体甚至可以在体外光照下产生光电流, 因此提高类囊体光生电子传递链速率有着重大的意义。碳点作为一种具有高生物相容性, 低毒性, 独特的光学性质等特点的特殊碳纳米材料, 一直受到广泛关注。将碳点和类囊体相互结合可产生两种作用机制——能量传递和电子转移, 进而提高类囊体光生电子传递速率。本研究将从柠檬酸尿素体系的碳点出发, 通过荧光光谱、瞬态吸收光谱、时间分辨荧光光谱、能级测试等方面, 详细介绍碳点和类囊体发生相互作用时, 两种不同传递方法提高光生电子传递链的促进效果、机理、相似点和不同点比较。

D14-P26

具有增强近红外发射和延长代谢时间的 D-精氨酸功能化碳点用于肿瘤荧光引导光热治疗

李凌云, 王黎明, 曲松楠*

澳门大学

Carbon dots (CDs) have attracted considerable attention owing to their unique optical properties. Nonetheless, their obvious fluorescence quenching in aqueous media and ultra small size-related low tumor accumulation efficacy hinder their bioimaging and biomedical applications. In this study, we proposed a facile surface modification strategy by functioning D-arginine on CDs (D-Arg@CDs) to enhance their near-infrared (NIR) fluorescence in aqueous solution and keep their high photothermal conversion property. Due to the low utilization rate of dextral amino acids by animals, the modification of CDs with low molecular weight D-arginine (D-Arg@CDs) didn't increase the particle size but facilitated a prolonged metabolism time in blood circulation, thereby resulting in improved accumulation efficiency at tumor site in mice model. More important, the improved tumor accumulation of D-Arg@CDs exhibited much better tumor NIR fluorescence imaging and photothermal therapy performance than pure CDs and L-arginine functionalized CDs. We prospect this dextral amino acids

modification strategy could be an effective tool to promote the biomedical applications of CDs.

D14-P27

水溶液中近 100%量子产率的花二酸衍生碳点用于激光和照明

梁颖琪, 曲松楠*

澳门大学

Carbon dots (CDs) are a burgeoning star of luminescent carbon-based nanomaterials with emerging interest for various applications. Luminescence from the sp^2 -conjugated domains in the carbon cores is considered to be the intrinsic bandgap emission of CDs, whereas the relationship between them remains poorly understood. Simultaneously, the solvent relaxation of water molecules will quench the fluorescence of CDs, thus, obtaining strong luminescence from CDs aqueous solutions remains a great challenge. Herein, a facile one-step spatial-confined cross-condensation method that uses a heat-induced self-foaming process in ambient pressure has been developed to synthesize highly luminescent CDs with unprecedented photoluminescence quantum yield (PLQY) over 97.2% in water. The unique precursor-derived cross-arranged perylene skeleton in the cores hinders π - π stacking, while the hydrophobicity of the conjugated units mitigates solvent relaxation by water molecules, resulting in near-unity PLQY in aqueous solutions, enabling this to demonstrate the first optically pumped green lasing emission in the CDs aqueous solution. Moreover, a biomaterial-based white light emitting diode is fabricated using the CDs-stained silks as a fluorescence conversion cover to realize a high luminous efficiency of 60.7 lm W^{-1} with CIE color coordinate of (0.33, 0.35).

D14-P28

辣木衍生碳点通过维持活性氧代谢稳态延缓采后菜心衰老和贮藏品质劣变

周紫燕, 雷炳富*

华南农业大学

菜心是中国特色蔬菜之一, 菜心品质柔嫩, 富含 Vc、氨基酸、黄酮类等物质, 但采后不耐贮藏, 常温下菜心失水严重, 叶片变黄, 易受微生物浸染。其中, 活性氧代谢失衡是造成果蔬采后衰老的关键因素之一。生物质衍生的碳点 (CDs) 作为一种活性氧清除剂, 可以缓解植物在逆境下的氧化胁迫, 近年来备受关注。然而, 生物质碳点在延缓采后菜心衰老, 提高耐贮性方面的研究较少。因此, 本研究以辣木叶为碳源, 通过水热法制备了辣木衍生碳点 ($MoCDs$), 并应用于采后菜心贮藏保鲜。研究表明, $MoCDs$ 处理从两个方面维持活性氧代谢稳态, 保持较高的采后菜心贮藏品质: 一方面是, $MoCDs$ 作为有效的抗氧化剂, 其体积小、带负电荷、水分散性好, 有利于 $MoCDs$ 通过叶片表面气孔进入叶片细胞, 直接清除过量积累的活性氧; 另一方面是, $MoCDs$ 处理有效增强了菜心抗氧化酶的活性, 促进了抗坏血酸-谷胱甘肽循环中抗坏血酸和谷胱甘肽的再生, 并提高非酶抗氧化物质的含量, 从而增强了活性氧的清除能力, 抑制了采后菜心叶片的过氧化氢、超氧阴离子的积累。综上所述, $MoCDs$ 处理维持了采后菜心活性氧代谢稳态, 缓解氧化损伤, 从而延缓采后菜心的衰老和品质劣变, 延长贮藏期和货架期。

D14-P29

Combination of Efficient Red Fluorescence and High Photothermal Conversion in the Second Near-Infrared Window from Carbon Dots through Photoinduced Sodium-Doping Approach

Qingcheng Wang, Songnan Qu*

University of macau

Carbon dots (CDs) are highly desired in biological applications. However, achieving a balance between photoluminescence (PL) efficiency and photothermal conversion efficiency (PTCE) is challenging. In this study,

we reported unprecedented combination of efficient red fluorescence and high PTCE in the second near-infrared (NIR-II) window in a sodium doped CDs system. Upon 808 nm laser irradiation, photo-induced oxidation–reduction reactions happened on the surface of sodium cation-functionalized CDs (Na-CDs), leading to the partial reduction of surface-functionalized sodium (Na) ions. The photo-reduced Na atoms coordinated with sp^2 C domains in the core, resulting in Na-doped CDs (ir-Na-CDs) with an enhanced absorption band in the NIR-II window and a high PTCE of 43% under 1064 nm laser irradiation (1 W cm^{-2}). Composing the ir-Na-CDs with bovine serum albumin (BSA) enhanced the PLQY of the red emission to 31% in water without diminishing the PTCE in the NIR-II region. Transient absorption spectra revealed that no energy transfer occurred between the red emission center and the NIR-II absorption band, revealing a novel CDs system with independent Janus photophysical processes. Moreover, ir-Na-CDs@BSA exhibited negligible to low cytotoxicity and demonstrated tumor accumulation capacity after intravenous injection, enabling effective tumor photothermal therapy in the NIR-II region. Considering their efficient red emission, high PTCE in the NIR-II region, and suitability for renal excretion, the developed biocompatible Na-doped CDs are suitable for translation into clinical biomedical applications.

D14-P30

基于荧光碳点的新型叶面转光剂的制备

谢镇熙, 李唯*

华南农业大学

碳点作为一种新型的碳基纳米材料, 因其粒径小、水溶性好、生物相容性高、光谱可调性、无毒性、合成工艺简单、原料易获取等优点, 在荧光成像、传感检测、信息加密、生物医学、光电器件等诸多领域表现出良好的应用前景。近年来, 碳点在农业领域的应用不断扩展, 而将碳点运用于植物叶面转光剂的研究还鲜有报道。本研究通过一步水热法合成了具有良好水溶性的红光碳点, 并选取合适的基质和碳点复合, 制备成叶面转光剂。结果表明, 当叶面转光剂应用在意大利生菜时, 体内和体外的光合作用效率均得到显著增强。一方面, 碳点具有良好的光学性能, 可以将生菜难以利用的黄绿光 (500-610 nm) 转换为利于生菜光合作用的红光 (600-800 nm), 进而提高生菜光合作用效率, 促进生菜生长发育。另一方面, 该叶面转光剂在生菜叶片表面具有良好的润湿性和粘附性, 能够在生菜叶片表面成膜, 实现碳点在叶面转光效果的长时间维持。

D14-P31

煤基碳点抑制赤藓糖醇过冷, 提升其蓄热能力, 用于中温热能储存。

梁婧雅*

中北大学

相变材料赤藓糖醇在蓄热过程中中过冷效应和蓄热能力减弱是常出现的问题, 之前的研究证明一些成核剂的加入确实可以抑制它的过冷, 但是会降低其相变潜热, 影响其蓄热能力。基于此, 将一种有潜力的添加剂——煤基碳点 CDs 来抑制赤藓糖醇过冷, 但与此同时, CDs 也可以提高它的相变焓值。将不同质量分数的煤基碳点 CDs 分散在赤藓糖醇中, 发现当赤藓糖醇与碳点的含量为 100: 1 时, 赤藓糖醇的过冷度从 $94.79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 抑制到 $61.41\text{ }^{\circ}\text{C}$, 降低了 $33.38\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而其相变熔融潜热从 397.52 J g^{-1} 升高到 410.20 J g^{-1} , 结晶释热从 209.03 J g^{-1} 增加到 240.20 J g^{-1} , 结果都有效表明煤基碳点可以有效抑制赤藓糖醇的过冷以及提高它的蓄热能力, 用于中温热能储存。

D14-P32

一步法合成固态发光的磁性复合材料 CDs@Fe₃O₄ 用于指纹提取

赵允洋*

在个人识别和刑事案件侦查中指纹信息可提供有效证据。磁刷法是指纹提取的重要方法，然而该方法用到的磁性粉往往颜色较暗，在黑暗客体上的指纹提取中分辨率较低。因此，开发合成具有磁性和荧光特性的纳米复合物成为改进磁刷法提取指纹的关键。本文通过一锅微波水热法一步合成具有固态发光性质的磁性碳点-四氧化三铁复合物 (CDs@Fe₃O₄)。该磁性荧光粉呈纳米团簇状态，且少量的 Fe₃O₄ 不仅没有猝灭 CDs 的荧光发射，还阻止碳点纳米粒子间的聚集诱导荧光猝灭，从而实现了固态发光。利用磁性和固态发光特性将 CDs@Fe₃O₄ 用于汗潜指纹提取，结果表明该磁性荧光粉能够对不同客体上的指纹进行显影，并清晰显示指纹的细节特征。本工作为磁性荧光粉的合成提供新的实验经验，对不同客体上的指纹提取提供新思路。

D14-P33

基于碳点的比率荧光探针用于铜离子和草甘膦的检测

黄明玥, 李茹雪, 周硼*

大连理工大学

草甘膦是一种广泛使用的除草剂，也是危害环境的污染物之一，因此建立简便、灵敏和选择性良好的检测方法，对环境安全评价具有重要意义。本研究构筑了一种基于双发射碳点的新型比率荧光探针，用于环境中的铜离子和草甘膦的灵敏检测。首先采用水热法以二氨基马来腈和柠檬酸为原料合成了发蓝色荧光的碳点，再以邻苯二胺为原料制备了发黄色荧光的碳点。将两种碳点包硅后提高碳点的光稳定性和量子产率，将包硅后的两种碳点构建的蓝光/黄光纳米比例荧光探针，对铜离子显示出良好的选择性。当铜离子加入时，450 nm 处蓝色的荧光强度降低，而在 580 nm 处黄色荧光增强，而草甘膦的存在抑制了这一过程。该荧光探针对铜离子和草甘膦分别在 0~100 μM 和 0~200 μM 的范围内具有出良好的线性响应，检出限分别为 0.144 μM 和 0.50 μM。在实际样品检测中，所构建的比例荧光探针也显示出了良好的抗干扰性和重现性，具有潜在的应用价值。

D14-P34

Bioimaging application and growth promotion behavior of pollen carbon points on cotton

Hui Sun¹, Rui Wang², Juan Wu¹, Lingzhong Wan¹, Ying Ni¹, Xiaonan Deng^{*1}

1. Cotton Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences

2. College of Materials and Chemistry, Anhui Agricultural University; Hefei 230036; China.

In this study, carbon dot solutions were synthesized using cotton stalks as raw material through a hydrothermal method. These carbon dot solutions were then applied during the growth process of cotton plants. Comparative analysis revealed that the carbon dot solutions significantly promoted cotton growth. Moreover, fluorescence substances from the carbon dot solutions were absorbed by the cotton fibers, enhancing their fluorescence intensity. We analyzed the chemical and fluorescence properties, as well as the quantum yield of the carbon dots using fluorescence spectroscopy, infrared spectroscopy, and X-ray diffraction. Additionally, various characterization methods were employed to compare the differences between the cotton fibers in the experimental group and the control group. The aim of this research is to trace the origin of cotton fibers by introducing fluorescent substances into them. This novel approach not only contributes to the field of bioimaging but also provides a potential method for cotton fiber origin tracing, enhancing the value and traceability of cotton products.

D14-P35

多色两亲碳点的结构优化及性能研究

刘晓倩, 冯宁, 李洪光*, 郝京诚
山东济南山东大学中心校区

作为新一代零维碳纳米材料, 碳点 (Carbon dots, CDs) 的能级可调性和表面丰富的官能团结构使其成为创新型、高性能材料化学领域的关注焦点之一。光致发光两亲碳点具有量子尺寸的准球形颗粒结构, 是目前有望实现高效光电器件、催化乳化和生物成像的新星材料。

本课题组注重功能性碳点材料的开发, 近期我们利用长链聚合物对红光碳核进行表面改性, 较大的空间位阻赋予 CDs 抵抗聚集诱导猝灭效应 (ACQ) 的能力。此外, 碳点表面聚合物链与环糊精之间的超分子相互作用进一步实现了复合物的交联增强发射 (SCEE), 固体红光材料的量子产率为 71%。值得注意的是, 在应用方面碳点的超支化结构性能远超直链型材料, 利用结构优势我们选择聚醚作表面修饰基团, 通过合成策略调节碳点的共轭 π 畴, 实现 CDs 特定的能隙结构和光学性质, 获得了全色两亲碳点。量子产率高达 63%, 并且保留原有的表面活性, 在功能性复合材料制备、石油开采、油田乳化等领域具有广阔的应用前景。

D14-P36

利用表面改性获得亲油性的无机室温磷光材料

张岩, 刘应亮*
华南农业大学

近年来, 利用表面改性获得目标材料的研究非常深入。如何提高无机室温磷光材料在油相下的稳定性仍是当前研究的热点。本研究提出一种新的策略, 综合化学修饰和物理修饰, 对碳点基二氧化硅(CDs@SiO₂)复合材料进行表面改性。在一定条件下, 油酸(OLA)的羧基(-COOH)和二氧化硅表面的羟基(-OH)形成稳定酯键, 进而引入了油酸的疏水长烃链, 进而获得亲油性的 CDs@SiO₂ 室温磷光材料 (即 SSA 复合材料)。SSA 不仅在油性环境下可以稳定分散, 并且具有 1.263s 的衰减寿命和 48%高磷光量子产率。将 SSA 复合材料运用到静电纺丝中, 不仅提高了纳米纺丝膜的疏水性, 并增加了防伪性能。

D14-P37

π 共轭结构增强碳点的紫外吸收性能及其在浅色太阳眼镜设计中的应用

黄欣瑜, 刘应亮*
华南农业大学

传统的紫外线吸收剂由于紫外线吸收不完全和潜在的毒性问题而面临挑战。尽管碳点有望成为绿色紫外线吸收剂, 但它仍然阻碍可见光的传输, 并表现出有限的紫外线吸收效率。不仅如此, 关于紫外线吸收碳点稳定性的研究还十分有限。本研究以柠檬酸 (CA) 和乙二胺 (EDA) 为前驱体, 合成了双组分碳点 (CDs)。酰胺基团是 NCDs 可以吸收 UVA 的原因。为了扩大紫外吸收范围, 以邻苯二胺 (*o*-PD) 为修饰剂, 通过筛选反应条件, 合成了高效的三组分全波段紫外吸收碳点。*o*-PD 的引入在 NCDs 表面构建了一个较大的共轭域。这种结构通过 π - π^* 跃迁增强了 NCDs 对 UVB 的吸收能力, 并且不会对可见光带来影响。此外, 还探究了 NCDs 的良好耐盐、耐酸碱、耐高温及耐光漂白性能与官能团的亲水性、结构稳定性及电子跃迁活性密切相关。最后, 将 NCDs 与聚氨酯 (PU) 复合, 设计出了具有出色紫外线屏蔽和抗光漂白能力的浅色太阳镜。这项工作利用了共轭结构的电子跃迁特性来扩大碳点的紫外吸收范围, 具有重要意义。

D14-P38

广谱紫外吸收碳点的稳定性及纯化研究

叶炜浩, 刘应亮*
华南农业大学

随着全球气候的恶化, 过量的紫外线辐射逐渐影响到人类的健康、动植物的生长和材料的稳定性。紫外吸收是近年来碳点研究的一个新方向。本文以芳香族化合物为原料, 通过水热法制备了三组分水溶性碳点(Im-CDs), 该碳点具有广谱紫外线(UV)吸收性能, 特别是优异的 UVA 和 UVB 吸收性能。考察了不同有机酸/盐和芳香化合物对碳点紫外吸收的影响。然而, 碳点紫外吸收的稳定性仍然存在一定的挑战。研究发现, 利用小分子自下而上合成碳点通常会产生小分子或低荧光副产物。不充分的净化会导致对其性质和特性的误解。因此, 采用常规透析、延长透析和硅胶柱层析对制备的碳点进行纯化, 比较不同纯化方法对结果的影响和误差。在此过程中, 根据观察到的现象和由此产生的纯化过程, Im-CDs 的结构模型表明碳核具有核壳结构, 其表面附着弱配体, 而不是强作用力。经层析纯化后的 Im-CDs 具有较好的耐热性、抗紫外线性耐酸碱性和耐氧化性, 因为样品中没有过量的羧基或氨基产生自由基。因此, 为满足实际应用的先决条件, 合适的 cd 纯化方法是至关重要的一步。这对碳点的产业化具有重要意义。

D14-P39

Multiple confinement-limited activation and defect effect co-triggered the ultra-long lifetime of carbon dots

Yimeng Luo, Jiangling He, Qin Jiang, Jinkun Liu, Chaofan Hu, Jianle Zhuang, Mingtao Zheng, Bingfu Lei,
Yingliang Liu*

South China Agricultural University

The luminescence process of carbon dots (CDs) is typically influenced by spin-forbidden transition, triplet exciton quenching, and non-radiative transition. Thus, it faces great challenges to achieve efficient and ultra-long lifetime afterglow for CDs. The commonly employed strategy to obtain efficient afterglow performance of CDs is to encapsulate CDs into a rigid matrix to protect the afterglow signal from quenching. Generally, the ultra-long lifetime and excellent luminescent properties of inorganic RTP (room temperature phosphorescence) nanomaterials attribute to the slow release of electrons trapped in defect states of the surfaces. This capture-release mechanism has advanced afterglow lifetime of CDs towards longer levels via the design of defect states. Anchoring CDs onto a rigid matrix can preserve the rigid structure for the restrictive effect, and also can create structural defects. Herein, as-prepared RHCDs@SiO₂ composite can exhibit an ultra-long afterglow lifetime of 7.76 s, which is the highest value achieved for CDs in silica matrix to date. This composite is also successfully applied in anti-counterfeiting and cell imaging fields. The synergistic multiple confinement effect and defect effect from the composite provides a universal strategy to design and achieve the ultra-long afterglow lifetime of CDs.

D14-P40

Rosa roxburghii derived carbon dots as carbon nano fertilizer to promote photosynthesis and improve lettuce quality

Qingyun Xu, Yingliang Liu*
South China Agricultural University

Agriculture is the cornerstone of human survival and development, and the advancement of nanotechnology is emerging as a pivotal force in the innovation of modern agricultural technologies. In this work, we prepared rosa roxburghii derived carbon dots by microwave-hydrothermal method and electrochemical. The findings indicate that the RR-CDs produced by the microwave hydrothermal method exhibit a broader ultraviolet absorption spectrum and emit blue fluorescence, making them superior light-harvesting agents to enhance photosynthesis in plants. The RR-CDs increased the biomass of lettuce by 56.36%, the content of chlorophyll by 31.83%, the net photosynthetic rate by 137.86%, and the electron transfer rate of photosystem II by 14.73%. Therefore, we found that the microwave hydrothermal method can bring better benefits, with a yield rate of 40.20%. RR-CDs promote photosynthesis by enhancing light conversion and improving nutrient efficiency, providing a new idea for sustainable agricultural production.

D14-P41

荧光碳纳米点的大规模绿色合成及其光学应用

叶江*, 汪捷

西华大学

本工作介绍了一种简单、绿色的单锅大规模制备碳纳米点的方法。碳点具有强荧光和激发波长相关的光致发光等一系列优异的光学特性。通过使用廉价、可获得的天然材料(如牛奶、蜂蜜、丝绸、头发、柠檬和木兰)作为绿色碳质前体,可以快速、方便地大规模生产 C-dots(例如, 0.3 g C-dots/25 min)。制备的 C-dots 被证明可以作为高性能荧光染料,非常适合各种光学相关应用,包括体外和体内生物成像,印刷油墨和传感器。这种微波辅助策略可以作为合成具有强荧光的大规模碳点的有力工具,在无数光学相关应用中具有巨大的前景。

D14-P42

The preparation of composite carbon dots and the improvement of leaf adhesion and photosynthetic efficiency of plants

Jijie Han, Yingliang Liu*

South China Agricultural University

Nano-fertilizer develops rapidly, however, when applied on the leaf surface, the nano-fertilizer will easily fall off the leaf due to the small adhesion of the fertilizer, which will reduce the force of the nano-fertilizer. In this study, nano-silica was used as the carrier, and the composite carbon dots (Mg, N-CDs@SiO₂) prepared by simple composite showed small contact angle and hydrophilic properties. The adhesion of carbon dots on leaves is greatly improved, and the effective utilization of nano-fertilizer is effectively improved. In this study, lettuce from stem vegetables and cherry radish from root vegetables were selected as plant models, and the fresh weight and photosynthetic rate of lettuce and cherry radish were significantly increased by applying complex carbon dots (100mg·L⁻¹) on leaves to improve plant yield. Overall, the significant benefits of Mg, N-CDs@SiO₂ for plants give it great potential for increasing agricultural yields.

D14-P43

碳点在水果保鲜中的作用机制和应用研究进展

谭敦源, 郑明涛*

华南农业大学

传统的水果保鲜方法不能满足人们对新鲜水果的可持续需求,如何进一步延长水果的保鲜期限成为一大挑战。碳点是一种新兴的碳纳米材料,具有优异的抗氧化和抗菌性能,在水果保鲜中具有良好的应用前景。本论文综述了碳点在水果保鲜中的应用,包括碳点在包装材料和涂层技术中的应用的最新研究进展以及与其他保鲜方法的结合应用,讨论了水果保鲜的挑战以及碳点在水果保鲜中的作用机制,以期为新水果保鲜技术的进一步开发提供理论参考。

D14-P44

Effects of multifunctional cerium-doped carbon dots on photosynthetic capacity and nutritional quality of lettuce

赵世利, 郑明涛*

华南农业大学

As biocompatible water-soluble nanomaterials, carbon dots (CDs) have attracted the interest of researchers in

agricultural production. In this work, cerium-doped carbon dots (Ce-CDs) have been prepared as a water-soluble carbon nano-fertilizer using a one-pot hydrothermal method. The effects on lettuce yield and quality are investigated. The application of lower concentrations of Ce-CDs ($50\text{--}150\text{ mg L}^{-1}$) all contributes to lettuce yield and quality enhancement. 100 mg L^{-1} of Ce-CDs demonstrates the most significant effect, increasing biomass by about 83.3% and promoting the accumulation of soluble sugars (87.5%) and soluble proteins (52.3%). Further investigation reveals that Ce-CDs can promote the electron transfer rate (33.35%), photosynthetic activity (30.28%), photoconversion efficiency (37.90%) and Rubisco activity (37.38%), and have a promoting effect on glutamine synthetase (GS, 3.10%) and glutamate synthase (GOGAT, 10.09%) activities. Regarding the net photosynthetic rate (54.99%), Ce-CDs elevate and induce stomatal opening and promote nutrient accumulation. This work not only evaluates the effects of rare earth-doped CDs as nano-fertilizers on plants but also provides strong technical support for the application of nano-fertilizers in practical production and life sciences.

仅发表论文

D14-PO01

二乙烯三胺修饰碳量子点的合成及其在 Fe^{3+} 和 Co^{2+} 双重传感中的应用

蒲梓萱、汪茜、李宽、范文林、李明田*

四川轻化工大学

表面改性是调节碳量子点结构、提高其性能的重要方法。本文以对苯二胺为碳源，二乙烯三胺为改性剂，无水乙醇为溶剂，采用溶剂热法合成了绿色荧光碳量子点 (G-CQDs)。通过 G-CQDs 的表征方法包括 TEM、FTIR、XPS、紫外可见吸收光谱、荧光光谱和 Zeta 电位。G-CQDs 的粒径约为 2.11 nm，经过二乙烯三胺修饰后，G-CQDs 的荧光量子产率从 1.07% 提高到 28.90%。改性后氮和氧含量的增加丰富了表面的含氧基团和含氮基团，为金属离子提供了更多的反应位点。研究进一步发现，基于两种不同的荧光“开-关”机制，G-CQDs 可以检测 Fe^{3+} 和 Co^{2+} ，检测限分别为 $0.88\text{ }\mu\text{M}$ 和 $0.95\text{ }\mu\text{M}$ 。在实际应用中，G-CQDs 优异的荧光性能对信息防伪具有良好的效果。将其用于自来水中 Fe^{3+} 和 Co^{2+} 的检测，加标回收率分别为 98.11~106.80% 和 95.87~104.49%，显示出良好的准确性和重现性。

D14-PO02

多巴胺碳点光动力杀菌和抗生物膜性能研究

李培礼*

安徽科技学院

鉴于细菌耐药性的持续扩散，特别是“超级细菌”的兴起，当务之急是创造新的、有效的、无毒的、无耐药性的抗菌材料和技术，用于医疗环境。通过两步法制备了由盐酸多巴胺和柠檬酸衍生的碳点 (DA-CDs)，显示出低耐药性的光动力治疗 (PDT) 特性。当暴露于蓝光时，DA-CDs 对金黄色葡萄球菌 (*S. aureus*) 和大肠杆菌 (*E. coli*) 的最小抑制浓度 (MIC) 分别为 $0.0625\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$ 和 $0.125\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$ ，而且仅 $0.125\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$ 浓度的 DA-CDs 就能有效地破坏已建立的金黄色葡萄球菌生物膜，导致生物膜破坏率为 96.2 %。28 代后，*S. aureus* 和 *E. coli* 在暴露于蓝光下时对 DA-CDs 的敏感性保持不变，表明 DA-CDs 不会导致细菌产生耐药性。对这一过程的研究表明，细菌被有效杀死的主要原因是 DA-CDs 在暴露于蓝光下时会产生活性氧 (ROS)。此外，DA-CDs 表面的超高负 ζ 电位 (-35 mV) 也是杀菌模式之一，它可以通过 DA-CDs 与细菌膜之间的静电排斥力使细菌膜出现凹陷和破裂。此外，细胞毒性测试表明，DA-CDs 表现出优异的生物相容性，对红细胞 (RBCs) 和小鼠胚胎成纤维细胞 (3T3) 造成伤害。其中，3T3 细胞在用 4 mg mL^{-1} 的 DA-CDs 处理后暴露于蓝光时存活率达到 93 %。本研究中开发的 DA-CDs 能够有效消除有害细菌，并使用 PDT 增强对已建立的生物膜的根除，这为开发替代抗生素提供一种新的方法，并为研究治疗生物膜相关病灶的新临床策略提供资源。

D14-PO03

Cascading Nanozymes Based on Carbon Dots Reduce the Cell Toxicity in Lettuces under Imidacloprid Stress

Fengqiong Chen, wei Li, bingfu Lei*
South China Agricultural University

The improper use of pesticides will cause oxidative damage to cells and destroy the detoxification system, accumulating pesticides in the vegetable and ultimately threatening human health. Carbon dots (CDs) with nanoenzyme activity can effectively scavenge free radicals and improve the stress resistance of plants, but there are few reports on alleviating pesticide stress. Herein, we synthesized CDs with cascading nanozymes activity, including superoxide dismutase-like (SOD-like, its activity is 1.05 times that of commercial SOD) and peroxidase-like (POD-like), making CDs could effectively scavenge free radicals ($\cdot\text{OH}$, $\text{DPPH}\cdot$ and $\cdot\text{O}_2^-$ by 80%, 70% and 90%, respectively). Through surface modifications, the mechanism of SOD-like activity has relied on the $-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$ and $-\text{OH}$ groups for binding superoxide anions ($\cdot\text{O}_2^-$), and the $\text{C}=\text{O}$ group providing π -system and the electron-deficient structure for electron transfer. The POD-like activity relied on $-\text{COOH}$ and $\text{C}=\text{O}$ of CDs provided binding and catalytically active sites. Additionally, under imidacloprid (IMI) stress, CDs could strengthen multiple defense systems (including antioxidant systems, phenylpropane biosynthesis, signal cascading and amplification) of lettuces to reduce cellular ROS toxicity ($\cdot\text{O}_2^-$, H_2O_2 , and MDA, by 26.77%, 48.52%, and 13.10%, respectively). Meanwhile, CDs upregulate the expression of detoxification genes to reduce IMI residue (by 42.74%) in lettuces. Moreover, the risk assessment results showed that the acceptable daily intake of IMI in lettuce with CDs treatment is no risk. Therefore, CDs as ROS scavengers and pesticide degraders are essential for reducing the cell toxicity of plants, ensuring food safety and sustainable agriculture.

D14-PO04

具有长波长光催化的 Pt(IV)碳量子点用于肿瘤精准治疗

郭东波*
海南大学

快速、高效和精准的癌症治疗是非常需要的。在这里，本研究报道了溶剂热合成的光激活 Pt(IV)碳点 (Pt-CDs) 及其牛血清白蛋白 (BSA) 复合物 (Pt-CDs@BSA) 作为一种新型的长波长光触发抗肿瘤治疗药物。Pt-CDs 中均匀分布的 Pt (IV) 具有明显的可见吸收，具有良好的光催化性能，不仅有效释放细胞毒性 Pt (II)，而且在橙色光下促进水中生成羟基自由基。当用长波长 660 nm 激光触发时，Pt-CDs@BSA 具有细胞内 Pt(II)物种释放、羟基自由基生成和酸化的超强癌细胞杀伤能力，从而诱导强大的免疫原性细胞死亡。用 660 nm 激光单次治疗激活 Pt-CDs@BSA 可有效消除原发肿瘤，抑制远处肿瘤生长和肺转移。因此，本研究提出了一个新的概念，构建光激活 Pt(IV)富集纳米药物的碳点用于精确的癌症治疗。

D14-PO05

响应面法优化 PET 基碳点制备工艺及其在光线阻挡膜及荧光防伪中的应用

魏建斐、马超慧、邴琳涵、黄寒江、刘博同、王锐*
北京服装学院

以 PET 废弃物、均苯四甲酸和氨水为前驱体采用一步水热法制备 PET 基碳点 (PET-CDs) 是一种具有重大应用前景的 PET 废弃物高值利用方案。为实现对 PET 废弃物的高效回收利用，本研究以荧光量子产率为考察指标，利用响应面法优化 PET-CDs 制备时的前驱体配比，得到较优制备工艺：PET 用量 1.180 g，PMA 用量 3.287 g， $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 为 8.969 mL，反应温度为 260°C，反应时间为 12 h。所制备 PET-CDs 的荧光为非激发波长依赖型，最佳激发波长为 410 nm、最佳发射波长为 485 nm，QY 高达 83.34%。结构上，

PET-CDs 为类球形结构, 表面含有氨基和羧基, 粒径在 1.61~4.92 nm 之间, 平均粒径为 2.88 nm。就应用而言, PET-CDs 可应用于光线阻挡膜(LBFs), 当添加量为 8%时所制备 LBFs 的防蓝光性能优于市售防蓝光眼镜; 利用 PET-CDs 溶液打印图案在自然光下不可见而紫外光下可见的性能可应用于荧光防伪。

D14-PO06

黑蒜衍生的碳点作为选择性对抗革兰氏阳性细菌的杀菌剂

蒋琴、张浩然*

华南农业大学

由细菌引起的流行病和传染病正在严重威胁世界各地人民的健康。此外, 抗生素治疗导致越来越严重的细菌耐药性, 因此迫切需要制定新的治疗战略来对付细菌。在本研究中, 我们用两种不同方法合成了黑蒜碳点, 天然提取的黑蒜碳点具有石墨晶格结构和负电荷(-23.97 mV), 抗金黄色葡萄球菌的最低抑制浓度为 30 mg/mL; 一步水热法制备的碳点具有石墨晶格结构和正电荷(+0.35 mV), 抗金黄色葡萄球菌的最低抑制浓度为 1.5 mg/mL。黑蒜碳点的抗菌机制包括: (1) 静电相互作用促进碳点对革兰氏阳性细菌的渗透; (2) 碳点对细菌细胞结构的破坏导致细胞内成分的泄漏。另外, 在溶血实验和细胞毒性测试中, 黑蒜碳点表现出了较高的生物相容性。总之, 本研究开发了一种以生物质为基础的新型抗菌纳米材料, 为抗菌碳点的开发带来新的视角, 为合理利用自然生物防治细菌感染提供了重要思路。

D14-PO07

紫外光、湿度、pH 多重响应的碳点基水凝胶

杨娜、雷炳富*、李唯

华南农业大学

由于具有独特的荧光响应特性, 荧光水凝胶已成为开发仿生材料和人工智能最有前途的候选材料之一。然而, 如何通过简单的方法制造出在不同刺激下改变荧光颜色和形状的水凝胶仍然是一项挑战。本研究采用邻苯二胺(O-PDA)作为唯一的前驱体, 配制 N,N-二甲基甲酰胺(DMF)与水的混合溶液作为反应溶剂, 经过一步水热合成法和柱层析分离纯化法, 制备出在 591 nm 发射的高亮度橙色碳点(O-CDs)。以聚乙二醇和二苯甲酮为水凝胶主要合成材料, 采用高温高压法成功制备出聚乙二醇水凝胶薄膜, 并以其为载体, 橙色碳点为光催化剂, 设计构建出兼具 pH 响应、湿度驱动和紫外光吸收功能的荧光变化水凝胶。采用透射电子显微镜、扫描电子显微镜、紫外可见吸收光谱、光致发光光谱及傅立叶变换红外光谱等进行系列表征。该复合膜对紫外光具有优异的响应性能, 可实现在 30 s 内迅速感应, 从 591 nm 的橙色荧光变化到 478 nm 的蓝绿色荧光, 并且具有一定的恢复性能, 可重复使用。通过改变紫外灯的功率大小和照射时间, 可实现荧光变化的数字化调控。此外, 当空气湿度从 10%升高至 90%时, 水凝胶利用水分驱动卷曲、舒展, 其弯曲角度可达到 149.17°。受自然生物启发, 一种人造牵牛花在不同 pH 值的缓冲溶液作用下, 会发生颜色和形状的变化。这项工作为开发高性能、可拉伸和小型化的基于碳点基水凝胶的传感器, 用于实时监测环境中的紫外线和湿度强度, 提供了一种可行策略。

D14-PO08

碳点随时间变化的荧光色用于多重动态信息加密

曹珏然、雷炳富*

华南农业大学

碳点 (CDs) 是独特的发光纳米粒子, 对各种应用都很有价值。了解碳点的发光机制和调控其发射中心对推进其相关应用具有重要意义。在本工作中, 利用 1, 4, 5, 8-萘四甲酸酐和氮化硼纳米片(BNNs)利用溶剂热法一锅合成出了具有时变荧光的 CDs。该 CDs 在 365 nm 的照射下可以实现荧光在 1 s 内从蓝色逐渐变为绿色, 而在 395 nm 的照射下可以实现绿色逐渐变为橘色的响应。在合适的光能(波长约为 365 nm、

395 nm)照射下,两个荧光中心可以同时被激活,发出不同衰减率的绿、橘色荧光。针对 CDs 不同寻常的荧光特性,设计了一种多重动态荧光彩色二维码,用于多重动态信息加密。

D14-PO09

腐植酸基多色碳点的制备及其对生菜产量和品质的提高

江霆杰、雷炳富*

华南农业大学材料与能源学院

荧光碳点作为一种新型功能纳米材料,具有细胞毒性低、生物相容性好,光稳定性高等特点,在农业中的应用引起了研究人员关注。本工作以廉价的腐植酸褐煤为原料,利用溶剂热法制备出多种颜色发射(蓝色、绿色、红色)的碳点,并将该碳点作为碳纳米肥料,研究了其对生菜生物量和品质的影响。研究表明,该腐植酸碳点具有农业增产和品质提升的潜力。

D14-PO10

铁掺杂的碳点纳米酶缓解生菜砷胁迫下的氧化应激

谢美华¹, 肖勇*¹, 崔江虎²

1. 华南农业大学

2. 广东省科学院生态环境与土壤研究所

砷胁迫引起的植物氧化损伤会已经成为威胁作物的产量和品质的一项主要环境挑战。开发一种能够高效清除活性氧的抗氧化的碳点纳米酶是提高植物抗逆性的一项有效策略。在本研究中,制备的铁掺杂碳点(Fe-CDs)纳米酶旨在减轻生菜生长中砷胁迫的氧化应激。Fe-CDs 纳米酶具有多种类酶活性,类 POD 酶,类 CAT 酶和类 SOD 酶活性,能够有效得清除多种活性氧(H_2O_2 , $\cdot O_2^-$ 和 $\cdot OH$)和稳定自由基 $\cdot DPPH$ 。基于此,我们评价了 Fe-CDs 对砷胁迫下的生菜生长的影响,Fe-CDs 能够有效的发挥抗氧化纳米酶的作用去清除生菜体内过多累积的活性氧,成功实现了提高生菜的抗逆性。研究表明,这种纳米酶催化策略是有效的,Fe-CDs 纳米酶可以作为一种潜在的清除活性氧的抗氧化剂。通过下调生物系统里累积的活性氧以达到减轻作物的非生物胁迫压力的目的。同时,这也为农作物应对各种胁迫开辟了一种新的途径。