

## 基于稻壳制备生物质碳点的综合教学实验设计与实践

汪快兵\*, 毛菲菲, 章维华, 吕波

南京农业大学理学院化学系, 南京 210095

**摘要:** 新创综合实验旨在开发一种基于“绿色化学”教学理念的新型实验课程, 综合文献检索、无机合成、仪器分析与电化学理论知识, 将废弃物化学回收、再利用、再拓展有机结合, 旨在加深学生对基础化学原理的认识, 拓展创新思维, 提升创新意识。该实验以碳量子点与能源存储作为切入点, 选用稻壳水热反应获得的碳量子点为研究对象, 探究其结构与性能的关系。通过实验设计、结果分析与集中讨论, 学生可以认识到“农理”交叉与科教融合的可行性, 切实提高学生实践和创新能力, 增强学业自信。

**关键词:** 稻壳; 电化学; 碳量子点; 能源存储

**中图分类号:** G64; O6

## Design and Practice of a Comprehensive Teaching Experiment for Preparing Biomass Carbon Dots from Rice Husk

Kuaibing Wang\*, Feifei Mao, Weihua Zhang, Bo Lv

Department of Chemistry, College of Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China.

**Abstract:** This innovative comprehensive experiment aims to develop a teaching concept based on “green chemistry” by integrating theoretical knowledge of literature retrieval, inorganic synthesis, instrumental analytical chemistry and electrochemistry. Emphasizing chemical recycling, reuse and repurposing of waste, the experiment deepens students’ understanding of basic chemistry principles, promotes innovative thinking, and enhances their innovation consciousness. Taking carbon quantum dots and energy storage as the entry point, the research focuses on carbon quantum dots obtained from the hydrothermal reaction of rice husk, aiming to explore the relationship between their structure and properties. Through experimental design, result analysis and collaborative discussion, students can gain insights into the interdisciplinary potential of “agriculture and science” integration and the fusion of science and education. This approach effectively improves students’ practical and innovation abilities, and enhances their academic confidence.

**Key Words:** Rice husk; Electrochemistry; Carbon dot; Energy storage

2023年由国家统计局根据31省(区、市)早稻实割实测抽样调查结果推算, 全国早稻总产量2833.7万吨, 比2022年增加21.4万吨, 增长了0.8%<sup>[1]</sup>。据估算, 每吨稻谷可产出约180公斤的稻壳, 那么仅在过去一年, 我国的稻壳产量约为510.1万吨。在我国, 稻壳主要用于花卉种植、饲料加工、动物垫料等方面。然而, 多余稻壳通常通过焚烧和掩埋进行处理。焚烧不仅污染环境, 还不能充分利用其价值, 造成了严重的资源浪费。

收稿: 2024-07-11; 录用: 2024-09-18; 网络发表: 2024-11-08

\*通讯作者, Email: wangkb@njau.edu.cn

基金资助: 国家自然科学基金(22279061); 南京农业大学应用化学“国家一流”专业建设项目(2022YHJG002); 南京农业大学实验教学和教学实验室建设研究项目(SYJX202407)

碳量子点(Carbon Dots, 简称为CDs), 以下简称碳点, 是一种粒径小于10 nm的一种新型碳基纳米材料, 是由碳原子形成的一类碳的同素异形体, 最初是由Xu等在2004年用电泳的方法纯化碳纳米管时意外获得的<sup>[2]</sup>。碳点一般是由石墨化的 $sp^2$ 碳核和由不同官能团组成的外壳组成, 因其具有易制备、毒性低、性能稳定等, 自发现以来就引起了研究者的广泛兴趣<sup>[3,4]</sup>。

生物质碳点(BCDs)是以生物质为原料合成的碳点, 通常由绿色植物(如麦秆、稻壳、竹子、柚皮、秸秆)中的纤维素和木质素等成分<sup>[5]</sup>经过碳化等程序制备而成, BCDs在生物检测、药物运输、生物成像以及能源存储领域都有广泛应用<sup>[6-8]</sup>。然而, 作为储能电极材料, BCDs的研究却鲜有报道。除绿色环保、价格低廉、原料易得等优点外, BCDs还具有以下优势: (a) 结构和机械性能稳定: 可以提供优异的循环性能, 有些生物碳甚至具有天然的独特复杂纳米结构; (b) 巨大的比表面积和丰富的孔结构: 可以提高电极材料的电容, 其孔道结构还可以通过各种制备活化方式实现有效调节; (c) 导电性能出色: 可以作为优良的导电基底与其他材料复合, 满足市场对大功率密度、大电流快速充电的要求; (d) 杂原子掺杂: 由于生物质本身含有一些氮、硫、磷等杂原子, 在制备的过程中可以形成一些杂原子掺杂的材料, 改善电化学性能; (e) 经济效益明显: 与化石燃料类储能材料相比, 具有明显经济优势。由此可见, BCDs在储能领域具有巨大的潜在优势, 也是生物质废弃物资源再利用可借鉴方法之一。

基于此, 本实验以笔者学校(南京农业大学丹阳水稻示范基地)采集的稻壳为原料, 结合自身科研方向, 开发融合无机化学合成、材料化学、仪器分析化学<sup>[9]</sup>与电化学储能<sup>[10,11]</sup>的新创复合型实验课程。在对接新农科建设“农理”深度交叉融合的同时, 践行科教融合、教研相长, 旨在协同促进人才培养, 提升学生的创新意识、创新能力和科研素养。此外, 这一创新实验举措符合绿色环保理念, 致力于提高学生环保意识, 培养新一代高素质多学科交叉型复合人才。通过该实验课程, 学生不仅能够掌握前沿的科研方法, 还能增强其在绿色化学和可持续发展方面的实践能力。这种教学模式旨在培养学生解决实际问题的能力, 促进他们在学术和职业生涯中的全面发展。

## 1 实验内容

### 1.1 实验试剂与仪器

稻壳来源于南京农业大学丹阳水稻示范基地; 氢氧化钾(AR)与异丙醇(AR)购于国药集团化学试剂有限公司、乙炔黑(Li-250, 瑞士特米高公司)、聚四氟乙烯(D-210C, 日本大金DAIKIN)、活性炭(100 g, SSA:  $1800 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , 先锋纳米材料科技有限公司); Light-Emitting-Diode (LED)实验所需耗材: 炭布、纽扣电池壳(CR2032)、LED灯泡、导线、展示台, 均购于苏州正泰荣科研新材料公司。

大型仪器: X-射线粉末衍射仪(XRD, MiniFlex 600, 日本理学)、高分辨透射电子显微镜(HR-TEM, JEM-1011, 日本JEOL, )、X-射线光电子能谱仪(XPS, ESCALab MKII, 赛默飞中国)与比表面积分析测试仪(BET, ASAP 2460, 美国麦克仪器有限公司); 小型设备: 磁力搅拌器、冷冻干燥仪、电化学工作站、分析天平、手动辊压机、鼓风干燥箱、离心机、纽扣电池切片机、纽扣电池封装机和玻璃仪器等。

### 1.2 实验步骤

#### 1.2.1 BCDs的制备

稻壳打粉, 用天平称取0.1–2.0 g稻壳粉末于50 mL烧杯中并加入20 mL去离子水, 用玻璃棒搅匀, 将混合液转移至水热反应釜中进一步合成碳点。反应温度设置在160–200 °C之间, 反应10–48 h。待反应结束后, 让体系自然冷却至室温。将反应后的混合液转移至50 mL的离心管中, 在 $10000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度下离心5 min, 以去除大颗粒沉淀物。将上清液放入冰箱中冷冻。将冷冻后固体置于真空冷冻干燥机中干燥得到BCDs粉末, 备用。

#### 1.2.2 泡沫镍的制备

泡沫镍可用作BCDs的载体, 其疏松的多孔结构为活性材料提供了大的接触面积。它的制备过程

如下：将切割成 $0.8\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ 矩形条的泡沫镍浸入制备的 $3\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ HCl}$ 中，超声处理 $25\text{ min}$ ，以去除表面的 $\text{NiO}$ 层。用超纯水对泡沫镍进行第二次超声波清洗。在使用超纯水之前，应倒出洗液，并用超纯水冲洗镍泡沫和烧杯。将泡沫镍完全浸没于去离子水中，超声处理 $30\text{ min}$ 。最后一次清洗是用无水乙醇超声清洗泡沫镍 $30\text{ min}$ ，以完全去除泡沫镍中的剩余酸。为了确保泡沫镍与溶液充分接触，需倒入足够的溶液以完全覆盖泡沫镍，并在超声处理期间，使用玻璃棒进行适当搅拌。清洁后的镍泡沫在塑料薄膜上自然干燥，用塑料薄膜密封，备用。

### 1.2.3 电极制备

本实验以由稻壳粉水热合成的BCDs为正极材料，选用乙炔黑(EB)作导电剂，聚四氟乙烯(PTFE)作粘合剂，根据各组分质量比 $m(\text{BCDs}) : m(\text{EB}) : m(\text{PTFE}) = 30 : 6 : 4$ 称量并添加样品，分别倒入玛瑙研钵中，研磨 $20\text{ min}$ ，以确保混合均匀<sup>[12,13]</sup>。研磨后将其转移入小玻璃瓶中，加入分散剂异丙醇，再加入磁子磁力搅拌 $12\text{ h}$ ，得到的黑色悬浮浆料。将处理后的泡沫镍进行筛选，选择形状规则、表面无黄变的泡沫镍进行涂覆。在涂覆前需对泡沫镍进行称重。涂覆时，用毛笔蘸取样品均匀涂抹至泡沫镍底端约 $0.8\text{ cm} \times 0.8\text{ cm}$ 的面积。将涂覆好的泡沫镍放入真空冷冻干燥机中干燥 $6\text{ h}$ 。干燥后，将泡沫镍用称量纸包裹，使用手动碾压机压片，并进行第二次称重。计算两次称重的质量差，控制样品在泡沫镍上的附载量为 $2\text{--}4\text{ mg}$  (负极材料活性炭的制备步骤相同)。

### 1.2.4 LED灯泡实验

吸取 $2\text{--}3$ 滴电极材料悬浮液(正极和负极)，滴涂到直径 $1\text{ cm}$ 的碳布上，确保碳布完全浸润。分别将正、负碳布电极材料放置在真空干燥箱中，在 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下烘干 $2\text{--}4\text{ h}$ 。取出电极材料，拼装纽扣电池，并用纽扣电池封装机进行封装<sup>[8]</sup>。用导线串联两颗纽扣电池，以搭建小型电路，并测试LED灯组实验。

## 2 实验结果与讨论

根据反应步骤，可以看出该实验是一种可自主设计型实验。在实验中，原料的质量、反应温度和反应时间都可以进行调控和优化，以获得最佳的实验结果。这种灵活性使得实验更具有探索性和创造性，学生可以根据自己的兴趣和需求进行实验设计和参数调整，从而深入理解实验原理和过程，并提高实验操作和问题解决能力。图1为由稻壳制备的BCDs(反应条件：稻壳粉 $1.0\text{ g}$ ，反应时间为 $12\text{ h}$ ，温度为 $180\text{ }^\circ\text{C}$ ，下同)的透射电子显微镜(TEM)图像和高分辨透射电子显微镜(HRTEM)图像，图1a展示了材料中分散的碳量子点，图像显示制备所得的碳点形貌近似于球形，粒径分布较为均匀，分散性良好，无明显团聚现象。在图1b中，碳点的晶格条纹平均间距为 $0.22\text{ nm}$ ，对应于石墨碳的(100)晶面<sup>[14]</sup>，表现了良好的结晶状态。

X-射线粉末衍射(XRD)分析可进一步观测BCDs样品的结晶程度。图1c是由该稻壳粉制备得到的BCDs的XRD图，从图中可以看到，曲线中并未出现尖锐的特征峰，仅在 $25^\circ$ 附近出现一个明显的吸收峰。这个吸收峰可归因于碳基材料的(100)晶面，与高分辨透射电镜观察结果一致。

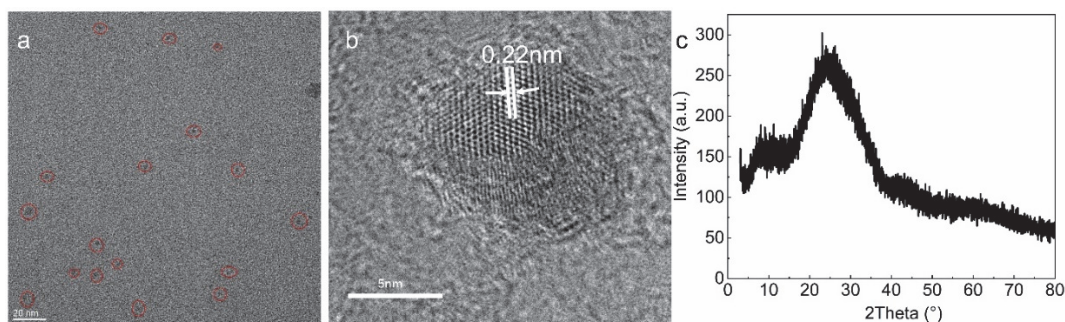


图1 稻壳衍生碳点的(a) TEM图, (b) HRTEM与(c) XRD图

除形貌与结晶分析外,其表面状态与内部孔道分布情况也做了具体表征,如图2所示。图2a是BCDs的X射线电子能谱(XPS)分析图,根据XPS分析结果,可以观察到在280和530 eV附近有两处强峰,通过查找XPS结合能对照表发现其分别对应的是C 1s和O 1s峰。另外在400 eV附近还存在N 1s峰,并在102、153和378 eV处区域内还有三个小峰,分别对应Si 2p、Si 2s和K 2s。通过对比峰面积发现,主要元素为碳、氧、氮,分别占总含量的68.7%、27.9%和2.43%,同时还含有微量的Si、K、S等元素<sup>[15]</sup>。这些微量元素在碳点的合成过程中被保留下来,构成原位掺杂,有助于提升材料的电化学性能。通过对C、O、N三种主要元素的谱图进行解谱分析,图2b为C 1s的分峰图谱,共有三个峰,分别代表三种形式的碳原子,分别为COOR (288.9 eV)、C-OH (285.4 eV)、C-HOPG (284.5 eV),表明该材料含有大量的亲水基团,具有很强的水溶性。图2c为O 1s的高分辨分峰图,包含两个拟合峰分别为C=O (532.3 eV)和C-O (531.2 eV)。图2d为N 1s的高分辨分峰谱图,共有三种形式的氮元素,分别为吡啶氮(399.3 eV)、吡咯氮(399.9 eV)和N-H (401.1 eV)。由此可见,制备得到的BCDs材料具有丰富的含氧和含氮官能团,这也是生物质碳量子点材料被广泛应用于生物领域的原因之一。

图2e展示了BCDs材料的N<sub>2</sub>吸脱附等温曲线。曲线整体呈IV型等温曲线,BET (Brunauer-Emmett-Teller)面积为10.47 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>。在低压下,曲线上没有明显的微孔吸附,这表明材料中存在较少的微孔结构。在P/P<sub>0</sub>大于0.6时,出现明显的回滞环,说明材料中具有丰富的介孔结构。适当的孔径有助于提供良好的离子通道,从而在电化学反应中发挥作用。图2f显示的是该材料的孔径分布图,可以看出材料的空隙主要为介孔,吸附平均孔径为23.64 nm,有助于电解质离子的运输。

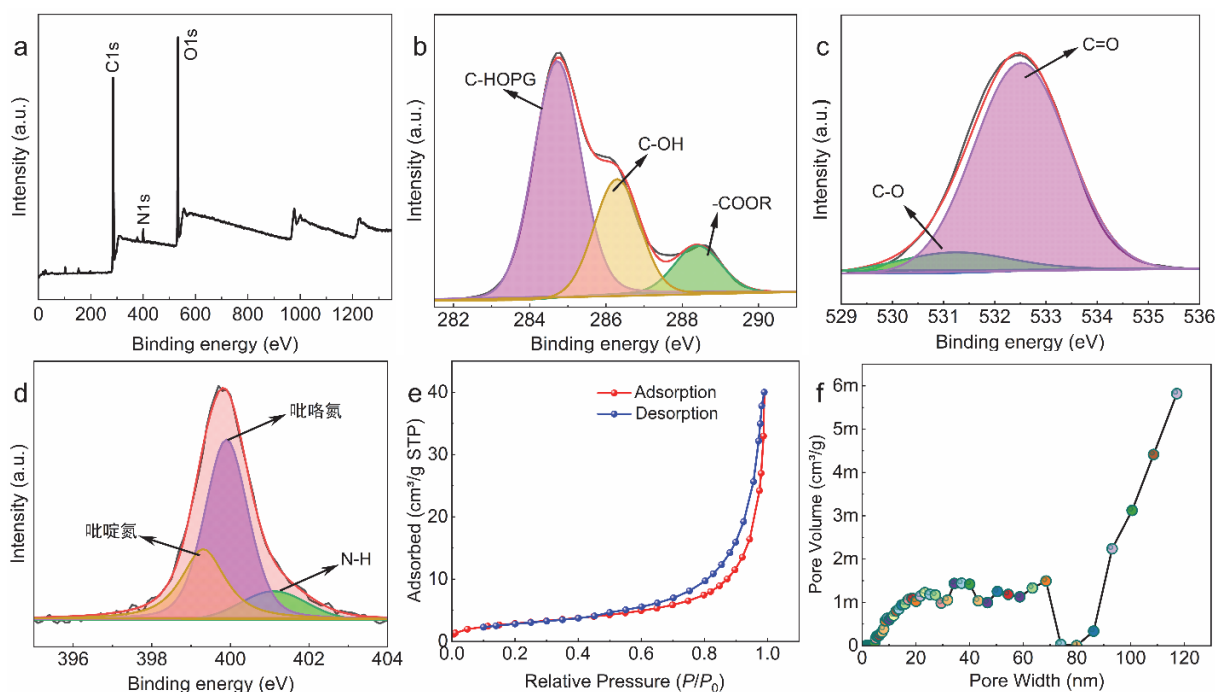


图2 稻壳衍生碳点的XPS、吸脱附曲线与孔径分布图

(a) XPS全谱图; (b) C 1s XPS曲线图; (c) O 1s XPS曲线图; (d) N 1s XPS曲线图;

(e) 碳点的N<sub>2</sub>吸脱附等温曲线; (f) 碳点的孔径分布曲线

在三电极体系下,对BCDs材料电极在正电压范围内进行电化学性能测试。图3a所示为制备所得的稻壳衍生碳量子点电极材料在不同电流密度下的恒电流充放电测试(CP)图像。所有样品测试均在6 mol·L<sup>-1</sup>的KOH溶液及电压窗口为0-0.5 V下完成。通过分析各电极材料的恒流充放电曲线图像可以发现,充电时间较长,放电时间较短,呈不对称分布。同时,电极电位随时间呈现非线性变化,这

表明所制得的电极材料可逆性有待进一步提高。根据放电时间，可计算出所制BCDs电极材料在 $0.5 \text{ A}\cdot\text{g}^{-1}$ 的电流密度下，比电容可以达到 $156 \text{ F}\cdot\text{g}^{-1}$ 。随着电流密度的增加，测试时间延迟，比电容呈下降趋势，这可能与电极样品在电解液中的溶解性有关。因为CDs具有水溶性，即便在乙炔黑与PTFE的包裹下，在电解液中仍有部分溶解，导致比电容逐渐下降。

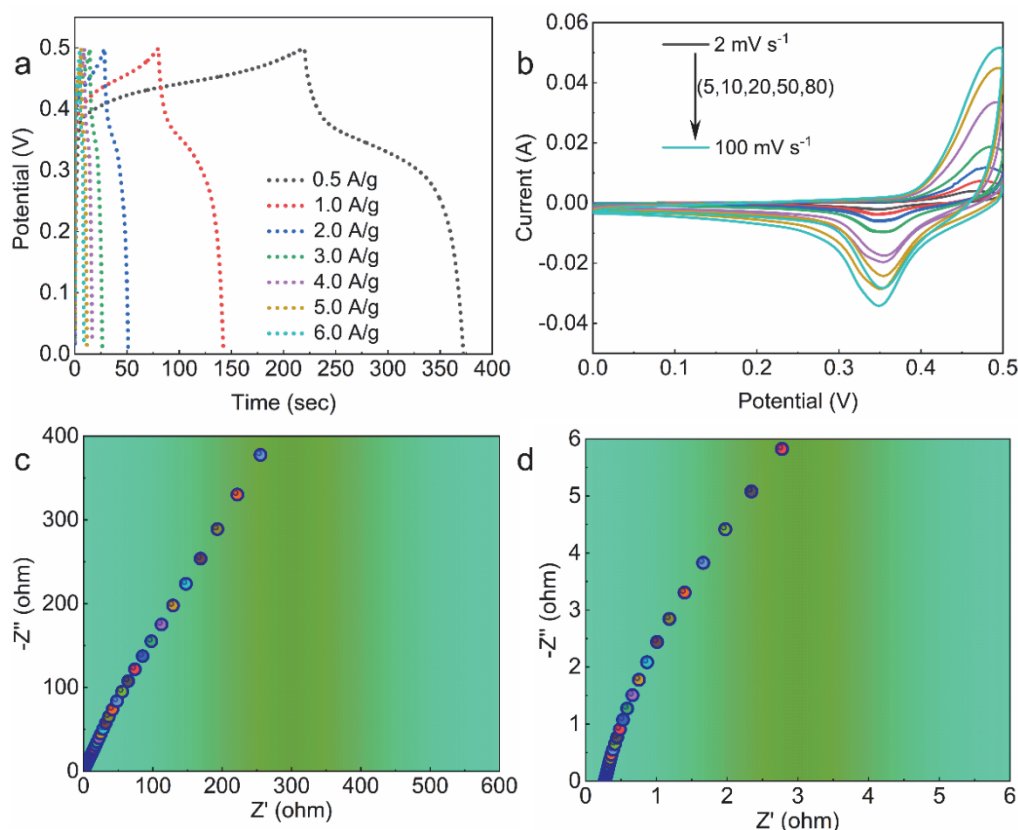


图3 三电极体系电化学测试

(a) BCDs的CP曲线图；(b) BCDs的CV曲线图；(c) BCDs电化学阻抗图；(d) EIS的局部放大图

稻壳BCDs材料在不同扫描速率下测得的循环伏安(CV)曲线如图3b图所示。根据曲线可知，该材料表现出良好的氧化还原反应特性，其CV曲线上存在明显的氧化还原峰。随着扫描速率的增加，氧化还原峰的高度和面积均逐渐增大，表明该材料具有良好的电子传输能力和反应动力学特性。具有这一显著特征的材料可应用于高速传感器等电化学领域此外，其氧化还原峰的高度并不一致，这也与计时电位测试(CP)中充放电时间不同相互呼应。总体而言，该材料具有良好的电化学性能，并且可以作为电化学储能器件的潜在材料进行进一步研究和开发。图3c为样品在三电极测试条件下的阻抗图像，图3d为其高频区的放大图，经过观察分析，该材料的内阻为 $0.27 \Omega$ ，说明具有良好的导电性。同时，在高频段区的曲线通过圆弧拟合，其半径较大，说明其转移电阻相对较大，但是由于碳点材料内部丰富的介孔为电解液中离子的运输提供了通道，从而可以降低材料的电荷转移电阻。

为了探究由稻壳制备的BCDs碳材料的实际应用，对BCDs材料进一步采用双电极体系进行电化学测试，即：BCDs作为正极，商业活性炭(AC)作为负极(标记为BCDs//AC)， $6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ KOH}$ 作为电解液，分别在 $2\text{--}100 \text{ mV s}^{-1}$ 的扫速率下进行循环伏安测试，并在电流密度为 $1\text{--}6 \text{ A}\cdot\text{g}^{-1}$ 下进行恒电流充放电测试。最后对电极材料进行了交流阻抗谱测试，其结果如图4所示。

图4a为样品材料在不同电流密度下的充放电曲线。通过计算，在电流密度为 $1 \text{ A}\cdot\text{g}^{-1}$ 下该样品的

比电容为 $76.1 \text{ F}\cdot\text{g}^{-1}$ 。随着电流密度的增加,该样品在双电极测试条件下,其比电容仍有着较好的保持率。此外,该双电极体系在 $799.8 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ 功率密度时其能量密度达到 $13.5 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ (突破了商业的 $10 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ )。即便在功率密度为 $4802.2 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,其能量密度仍达到 $7.4 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。图4b为样品在0–1.6 V电压窗口下的循环伏安测试的曲线。在0.8–1.6 V范围内,充电速率较快,但是充满状态后的饱和区电流密度较小,电容增长缓慢。在反向扫描区,电流急速下降,说明该超级电容器的放电速率较快。图4c,d为样品的电化学阻抗测试结果图,其中图4d为在高频区的放大图。可以看出,整体上该材料在高频区呈现半径较小的弧度,其值约为 $0.2 \Omega$ ,说明其在电荷转移过程中电阻较小,传输效率较高。综上所述,稻壳衍生的超级电容器器件在快速充电和放电应用场景中具有优势,且具有较长的循环寿命和较高的电容保持率,具有商业应用的前景。此外,为了增加趣味性,将正极和负极材料组装成纽扣电池,两颗电池串联后可点亮四组LED灯泡近5 min(如图5)。

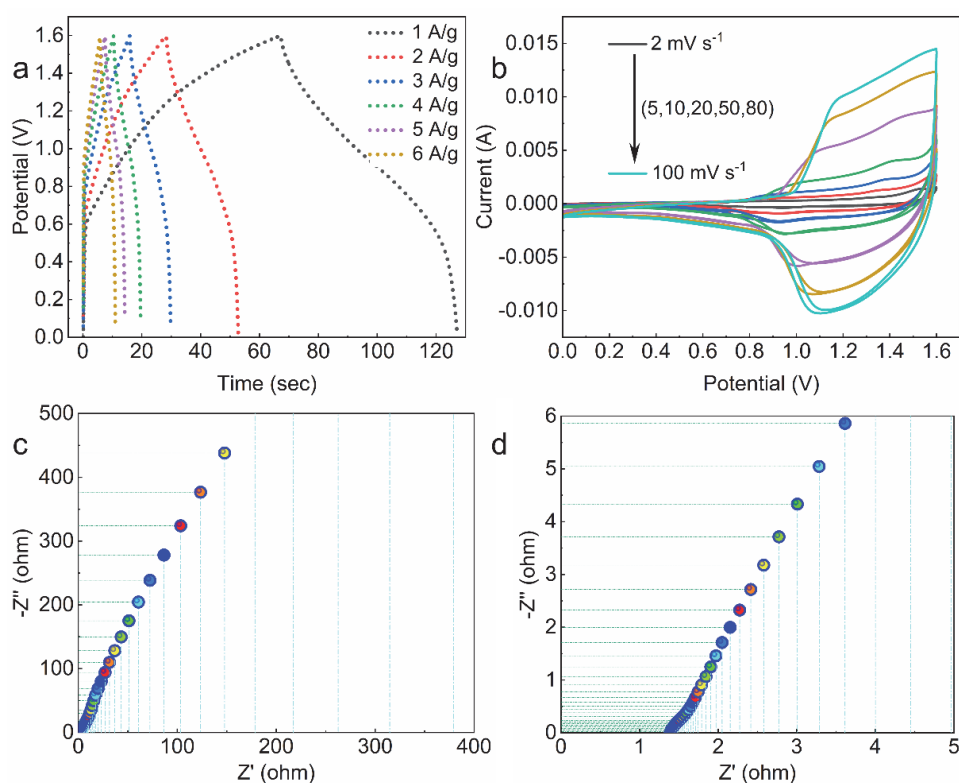


图4 两电极体系电化学测试

(a) BCDs的CP曲线图; (b) BCDs的CV曲线图; (c) BCDs电化学阻抗图; (d) EIS的局部放大图



图5 (a–e) LED灯组在不同时段下的点亮示意图

### 3 实验教学设计与实施

目前, 本新创实验已经在无机合成、分析化学和仪器分析化学三门课程中作为拓展实践环节, 并作为实践作业进行评价(占比约20%)。因反响强烈, 该实验目前已作为18课时的材料分析方法选修课程单独开设。该课程主要面向笔者所在学院应用化学专业本科生, 也面向全校公选开放(每年选课人数60–80人)。自从2020级本科生(大二, 第4学期)开始实施以来, 已经连续进行了四个年头。参与该实验的学生需已完成无机化学、分析化学(大农类自然学科完成无机及分析化学课程)与文献检索课程的理论学习。在“科教融合、教研相长”背景下, 该实验的教学目标主要是重点培养学生自主学习能力和创新能力。经过近几年的实施与修正, 已形成一定雏形的固定实验教学模式, 包括定向文献调研、实验方案设计与调整、实验操作与结果分析以及结果汇报讨论与实验报告四个方面。具体如下:

(1) 团队协作、定向文献调研: 将学生分组, 根据选课人数, 一般按照6–8人为一组(共分为10组)。要求学生利用学习通在线平台, 发布关键词(定向关键词: 碳量子点、电化学、能源存储), 学生自行通过Web of Science、中国知网、万方数据库等平台进行文献检索、调研。作业要求学生以精读与泛读文献的方式, 寻求最简洁、经济的合成方法以获取稻壳碳量子点材料实验方案。每个小组需要将调研结果以PPT形式提交, 这部分内容可以作为最终汇报PPT中的研究背景部分。

(2) 实验方案设计与调整: 根据学生所找到的方案, 经讨论、挑选(此环节通过学习通在线投票), 笔者发布最终实验方案(1.2 (1)部分)。鉴于浓度、温度与时间等条件对稻壳碳点的形貌、大小乃至性能的影响, 要求10个小组的学生在不同的反应条件下完成实验, 确保至少有一个条件不同(例如: 原料质量、反应时间、温度)。同时, 学生需要将实验方案记录在PPT上, 并提交至学习通。笔者进一步确认是否有重复的实验条件, 并及时进行调整。

(3) 实验操作与结果分析: 在教师的引导下, 各组根据各自实验方案完成稻壳碳点的合成、样品的结构表征、电极材料的组装、电化学测试以及最终的结果处理与分析, 所得结果记录于PPT中, 线上提交作业。这一部分涉及合成实验、动手操作以及大型仪器的操作, 并且需要使用各类软件进行数据分析。因此, 课时占用最长(具体如表1)。该综合实验, 主要涵盖三块: (1) 合成实验: 学生将完成稻壳碳点的制备与电极材料的组装测试; (2) 仪器分析: 学生将掌握X-射线粉末衍射仪、X-射线光电子能谱、透射电子显微镜与比表面积分析测试仪的原理与实践操作; (3) 文献调研、数据处理与分析: 学生需要熟悉并掌握各类文献检索工具、Origin软件、PPT等数据处理与分析。具体实施时, 可根据课程属性进行综合性展示, 也可侧重于单项进行成果展示。

表1 新创实验课时安排

实验教学内容	教学方式	课时
文献调研与实验方案设计	学习通, 线上教学	2
碳点的合成	实验室, 线下教学	2
样品表征(XRD、XPS、TEM、BET)	仪器室, 实践教学	4
电化学测试	实验室, 线下教学	4
数据处理与分析	多媒体教室, 讨论式教学	3
数据汇报与讨论	翻转课堂, 讨论式教学	3

(4) 结果汇报讨论与实验报告: 实验操作结束后, 单独安排课时, 进行PPT汇报, 学生与教师都参与讨论。学生可以在提交作业的基础上修饰、改进上传的PPT。要求PPT规范, 对各组PPT形式和汇报内容进行打分。汇报时长控制在5–8 min之间, 与本科毕设与大学生研究训练计划(SRT)时间一致, 这一可以锻炼学生临场应变与表达能力, 同时也提升学生团队协作能力与培养科研兴趣。实验

报告要求按照南京农业大学本科生论文模板完成，同时也作为该课程的课程论文。实验报告是最终的考核评价作业，与线上作业和汇报讨论共同构成课程的考核成绩。

## 4 实验教学成效

### 4.1 实验教学效果

该实验项目体现了“回收利用农业废弃物，变废为宝”这一“绿色化学”理念，非常适合“农理”交叉学科及化学相关专业综合性实验教学。本新创实验，切实让学生“实际联系理论，理论解释实际”，在实践中成长，在讨论中提升。近几年学生给与的评价非常的积极与正面，从笔者自身侧出发，本人连续多年获得教学评价优秀。从学生侧角度，学生在实际操作过程中提升交流、团队协作能力。具体来说：

(1) 与我校农业特色学院结合，回收再利用农业废弃物，通过化学改造，将其转化为有用的化学材料，实现了“变废为宝”的目标。同时对接绿色环保的热点问题，激发学生环保意识。

(2) 将无机合成、仪器分析、文献检索相关课堂学习知识与能源存储、碳量子点等前沿知识有效结合，旨在培养学生的科研兴趣和创新思维，提升其创新意识。学生在“做与学”的过程中不断提升自己的主动学习能力，增强学业自信。

(3) 数据分析与处理的环节可以锻炼学生对化学问题的分析能力和逻辑思维能力。通过讨论过程还可以提升他们的思辨能力，加深对科研问题的理解和处理能力，从而提升其科研素养。此外，小组分工协作的过程也有助于提升其团队协作与领导能力。

### 4.2 教学实践情况

这个实验项目在教师和学生之间建立了良好的沟通和合作渠道，在操作、理论学习和实验讨论的过程中不仅取得了一定的成果，比如发表SCI论文、获得国家级SRT项目资助等，还增进了师生之间的情谊。对学生而言，通过这个新创实验的激发，他们不断进行思辨讨论，敢于走上讲台，敢于创新地将课堂理论知识与实验内容相结合，并参加各种校内外举行的全国大学生创新创业比赛、节能减排比赛，乃至在京都举办的国际创业大赛，取得了不俗的成绩。例如，指导的相关项目获得了江苏省创业实践项目的立项；指导的第十六届“挑战杯”与十八届“挑战杯”分别获得了省二等奖与国家三等的好成绩；今年指导的“挑战杯”大学生创业计划竞赛目前也获得了省银奖。

此外，在几年的实践中，经学生自主建议，已将生物质原材料进行了进一步拓展，目前已经开展的有菌渣、植物叶片、水稻秸秆等。相信未来会有更多的创新实验方案陆续涌现。

## 5 结语

设计了一个融合无机合成化学、材料化学、仪器分析化学与电化学等多学科交叉的综合型本科生实验教学课程体系。从农业废弃物稻壳出发，设计化学合成反应，对接碳量子点科研前沿与能源存储领域，符合绿色化学与环保理念。通过近四年课堂教学的不断深化与改进，实验教学内容不断拓展延伸，增加了趣味性的同时，激发并培养了学生的科研兴趣。在实践操作与数据处理的过程中，既培养了学生理论与实际相结合、科教融汇的创新意识，也锤炼了学生团队协作的领导力，提升了他们的主动学习能力与思辨能力，增强了其学业自信。

## 参 考 文 献

- [1] 国家统计局关于2023年粮食产量数据的公告. [2024-11-06]. [https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202312/t20231211\\_1945417.html](https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202312/t20231211_1945417.html)
- [2] Xu, X.; Ray, R.; Gu, Y.; Ploehn, H. J.; Gearheart, L.; Raker, K.; Scrivens, W. A. *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126* (40), 12736.
- [3] 郭颖, 尚永辉, 郑敏燕. 大学化学, **2021**, *36* (8), 2105020.
- [4] 张凯悦. 微波法制备多色荧光碳量子点及其检测和成像的应用研究[硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2020.

- [5] 程朝歌. 生物质纤维素基碳量子点的功能化制备及应用研究[博士学位论文]. 上海: 东华大学, 2019.
- [6] 陈芳, 朱丽华, 王宏. 大学化学, **2019**, *34* (7), 67.
- [7] 杨雅儒, 陆泮, 胡敏, 吴宥伸, 向丹, 高培红, 张雯. 大学化学, **2021**, *36* (8), 2009038.
- [8] 张绮彤, 刘天行, 王宇. 大学化学, **2021**, *36* (10), 2103032.
- [9] 郭琳琳, 张金君, 范小振, 刘博静, 苗成朋. 化学教育(中英文), **2024**, *45* (10), 25.
- [10] Wang, K.; Li, Q.; Guo, Y.; Zhang, Q. *Small Struct.* **2022**, *3* (5), 2100115.
- [11] Guo, Y.; Wang, K.; Hong, Y.; Wu, H.; Zhang, Q. *Dalton Trans.* **2021**, *50* (33), 11331.
- [12] Wang, K.; Chen, C.; Li, Y.; Hong, Y.; Wu, H.; Zhang, C.; Zhang, Q. *Small* **2023**, *19* (23), 2300054.
- [13] Wang, K.; Wang, S.; Liu, J.; Guo, Y.; Mao, F.; Wu, H.; Zhang, Q. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2021**, *13* (13), 15315.
- [14] Kercher, A. K.; Nagle, D. C. *Carbon* **2003**, *41* (1), 15.
- [15] 刘文龙, 张嘉任, 蒋世阳, 胡江涛, 张兴文. 大学化学, **2018**, *33* (7), 90.