

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN CHẾ TẠO ĐẾN TÍNH CHẤT QUANG CỦA CHẤM LƯỢNG TỬ CARBON CHẾ TẠO TỪ VỎ QUẢ GẮC

Lê Xuân Diễm Ngọc^{1*}, Đỗ Thanh Tiến², Ngô Khoa Quang¹

¹ Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

² Trường Đại học Nông lâm, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Lê Xuân Diễm Ngọc <lexuandiemngoc@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 16-12-2024; Hoàn thành phản biện: 20-05-2025; Ngày chấp nhận đăng: 05-06-2025)

Tóm tắt. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành chế tạo dung dịch chấm lượng tử carbon-carbon dots (CDs) từ phần vỏ của quả Gấc bằng phương pháp thủy nhiệt. Nhiệt độ phản ứng là 190 °C và thời gian thủy nhiệt là 6, 8, 10, 12, 14 và 16 giờ. Dung dịch sau thủy nhiệt được đánh giá cấu trúc thông qua phổ nhiễu xạ tia X cũng như các tính chất quang thông qua phép đo phổ hấp thụ, phổ quang phát quang, phổ hồng ngoại và hiệu suất lượng tử. Kết quả cho thấy dung dịch chấm lượng tử carbon chế tạo từ vỏ quả Gấc hấp thụ mạnh bức xạ ở khoảng bước sóng 276 nm và phát quang ở khoảng bước sóng 430 nm. Phổ hồng ngoại cho thấy trên bề mặt lõi carbon xuất hiện các nhóm chức hydroxyl và carbonyl. Khi thay đổi thời gian thủy nhiệt, giá trị hiệu suất lượng tử cũng thay đổi và đạt cực đại (5,06%) tại 190 °C trong 14 giờ.

Từ khóa: vỏ quả Gấc, chấm lượng tử carbon, tính chất quang

Effect of fabrication technique on optical properties of carbon nano-dots from Gac fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng) skin

Le Xuan Diem Ngoc^{1*}, Do Thanh Tien², Ngo Khoa Quang¹

¹ University of Sciences, Hue University, Hue, Vietnam

² University of Agriculture and Forestry, Hue University, Hue, Vietnam

* Correspondence to Le Xuan Diem Ngoc <lexuandiemngoc@hueuni.edu.vn>

(Received: 16 December 2024; Revised: 20 May 2025; Accepted: 05 June 2025)

Abstract. In this study, we fabricated carbon dots (CDs) solutions from the skin of the Gac fruit by using the hydrothermal method. The samples were fabricated at 190 °C for 6, 8, 10, 12, 14, and 16 hours. We investigated the structural properties of the obtained CDs via X-Ray diffraction (XRD), and the optical properties of the samples were accessed via UV-Vis absorption, photoluminescence, FTIR spectra, and the quantum yield. The results show that the CDs absorb light at the wavelength of 276 nm and emit at the wavelength of 430 nm. The FTIR spectrum clarifies that the functional groups on the surface of the carbon core are hydroxyl and carbonyl. The results indicate that the quantum yield varies with the treatment time and reaches a maximal value (5,06%) at 190 °C and 14 hours.

Keywords: Gac fruit skin, carbon dots, optical properties

1 Mở đầu

Chấm lượng tử carbon (carbon dots) – ký hiệu là CDs – lần đầu được phát hiện vào năm 2004 khi Xu và cộng sự tách chiết các ống carbon nano ra khỏi muội than bằng phương pháp điện di trên gel [1]. Từ đó, khái niệm chấm lượng tử carbon hình thành. Đó là các hạt carbon có kích thước dưới 10 nm với cấu trúc bao gồm lớp lõi là khối cầu carbon lai hóa sp^2/sp^3 ở dạng vô định hình hoặc tinh thể; bao bọc bên ngoài là các nhóm chức như carboxyl, hydroxyl, carboxylic acid và các nhóm chức chứa nitrogen [2].

Vật liệu carbon nano là loại vật liệu phát quang không độc hại, thân thiện với môi trường mà vẫn có các đặc tính phát quang độc đáo nên được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Gần đây, chấm lượng tử carbon nhanh chóng trở thành một vật liệu tiềm năng, có thể ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như quang xúc tác, quang điện tử, hình ảnh sinh học và cảm biến [3].

Các nhà khoa học đã sử dụng nhiều phương pháp khác nhau để chế tạo CDs như phương pháp điện hoá [4, 5], phương pháp cắt bỏ bằng laser [6, 7], phương pháp thủy nhiệt [8, 9] hoặc phương pháp xử lý bằng vi sóng [10, 11]. Trong số các phương pháp nêu trên, hướng lựa chọn phương pháp chế tạo có quy trình đơn giản, thân thiện với môi trường, nguồn nguyên liệu dễ tìm và thành phẩm chế tạo có những tính chất quang học tốt thường được ưu tiên, đặc biệt là phương pháp thủy nhiệt. Đây là kỹ thuật chế tạo sử dụng nước ở áp suất và nhiệt độ cao nhằm tạo ra sự phân hủy nhiệt hóa vật liệu [12]. Ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, dễ thực hiện và có thể áp dụng với nguyên liệu đầu vào có nguồn gốc tự nhiên hoặc hóa chất [13].

Nhiều ứng dụng của dung dịch chấm lượng tử carbon được xây dựng dựa vào các tham số quang học của chúng. Mặc dù các tính chất quang này đã được nghiên cứu và công bố, nhưng

một số kết quả trước đây cho thấy các đặc tính này thay đổi một cách đáng kể phụ thuộc vào tiền chất sử dụng cũng như các thông số của quá trình thủy nhiệt [4]. Do đó, việc đánh giá các tham số quang học của chấm lượng tử carbon được chế tạo từ một tiền chất mới là rất quan trọng.

Các vật liệu có nguồn gốc từ tự nhiên được xem là nguồn cung cấp tiền chất dồi dào, đa dạng, thân thiện và ít tốn kém cho việc chế tạo dung dịch chấm lượng tử carbon. Vì vậy, chúng tôi lựa chọn và sử dụng phần vỏ của quả Gấc để làm tiền chất và sử dụng phương pháp thủy nhiệt để chế tạo dung dịch chấm lượng tử carbon. Kích thước trung bình của hạt carbon được xác định thông qua ảnh TEM. Phổ phát quang, phổ hấp thụ và phổ hồng ngoại của CDs cũng đã được khảo sát trên các thiết bị chuyên dụng. Hiệu suất lượng tử cho thấy có sự thay đổi rõ rệt khi thay đổi thời gian thủy nhiệt.

2 Thực nghiệm

2.1 Nguyên liệu, hoá chất và thiết bị

Quả Gấc có tên khoa học là *Momordica cochinchinensis* Spreng được mua từ chợ địa phương ở Thành phố Huế, Việt Nam. Chúng tôi chọn quả chín đỏ, cắt đôi và tách lấy phần vỏ, bao gồm phần vỏ cứng đỏ bên ngoài và phần vỏ xốp mềm màu vàng cam ở bên trong.

Dung dịch đối chứng để đo hiệu suất lượng tử được pha chế bằng cách hoà tan quinine sulfate ($C_{40}H_{50}N_4O_8S$) của hãng AnalaR NORMAPUR với dung môi là sulfuric acid (H_2SO_4 95–98%, Trung Quốc) đã được pha loãng trong nước cất hai lần đến nồng độ 0,1 M.

Cấu trúc của sản phẩm dung dịch chấm lượng tử carbon được đánh giá thông qua nhiễu xạ tia X (XRD) trên hệ đo D8 Advance (Đức) sử dụng nguồn phát Cu-K α ($\lambda = 1,54056$ Å). Phổ hấp thụ UV-Vis được ghi trên máy GENESYS 10S UV-Vis (Thermo Scientific, Mỹ) và phổ phát quang

được ghi trên máy FS5 spectrofluorometer (Edinburgh Instrument, Anh). Phổ hồng ngoại FTIR được ghi trên thiết bị FTIR Affinity-1S (Shimadzu, Nhật Bản). Kích thước của carbon CDs được xác định bằng phương pháp chụp ảnh bằng kính hiển vi điện tử truyền qua JEOL Jem-1010 của hãng JEOL, Nhật Bản, với điện áp gia tốc 80 kV.

2.2 Phương pháp chế tạo

Chúng tôi tổng hợp dung dịch chấm lượng tử carbon bằng phương pháp thủy nhiệt. Các bước chế tạo được mô tả như sau: cân 5,0 g phần vỏ quả Gấc, cắt nhỏ và trộn với 80 mL nước cất hai lần. Hỗn hợp được cho vào bình Teflon có nắp kín, gia cố bằng bình kim loại dày bên ngoài rồi nung thủy nhiệt ở 190 °C trong 6, 8, 10, 12, 14 và 16 giờ. Sau quá trình nung ủ ở trên, bình thủy nhiệt được để nguội tự nhiên đến nhiệt độ phòng; quá trình này mất khoảng 10 giờ. Tiếp theo, dung dịch được lọc sơ bộ qua giấy lọc và ly tâm ở tốc độ 14000 vòng/phút trong 15 phút để loại bỏ các hạt có kích thước lớn. Dung dịch cuối cùng trong suốt, màu vàng nâu, được bọc tránh ánh sáng và bảo quản ở 4 °C để sử dụng cho các thí nghiệm tiếp theo.



Hình 1. Quy trình chế tạo dung dịch chấm lượng tử carbon từ vỏ quả Gấc

2.3 Khảo sát các đặc trưng quang học và xác định hiệu suất lượng tử

Dung dịch CDs được cô cạn trên lam kính nhằm chuẩn bị cho phép đo nhiễu xạ tia X và bốc hơi tự nhiên trên nền rắn KBr để chuẩn bị cho ghi phổ hồng ngoại. Để chuẩn bị ghi phổ phát quang và hấp thụ, dung dịch chấm lượng tử carbon ban đầu được pha loãng trong nước cất hai lần với các

nồng độ khác nhau sao cho độ hấp thụ của tất cả các dung dịch này tại bước sóng 340 nm đều nhỏ hơn 0,1 [14]. Bức xạ ở bước sóng 340 nm cũng được sử dụng để kích thích khi ghi phổ phát quang của các dung dịch carbon này.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp so sánh để xác định hiệu suất lượng tử của dung dịch chấm lượng tử carbon [15]. Quy trình đo được thực hiện bằng cách xác định độ hấp thụ quang của dung dịch chấm lượng tử carbon tại bước sóng 340 nm và diện tích dưới đường cong phổ phát quang tính từ 360 đến 700 nm của dung dịch khi kích thích bằng bức xạ 340 nm. Sau đó, kết quả được so sánh với độ hấp thụ và diện tích dưới đường cong phổ phát quang của mẫu chuẩn là dung dịch quinine sulfate.

Giá trị hiệu suất lượng tử của dung dịch chấm lượng tử carbon được tính dựa vào biểu thức

$$QY = QY_R \left(\frac{m}{m_R} \right) \left(\frac{n^2}{n_R^2} \right) \quad (1)$$

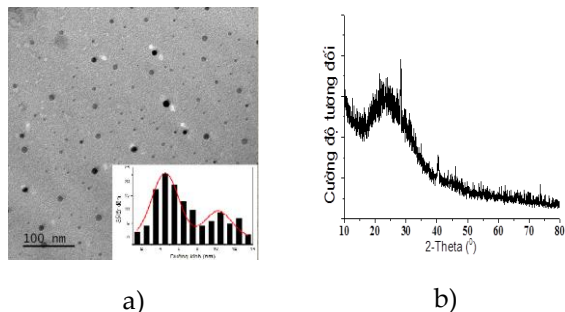
trong đó QY là hiệu suất lượng tử của dung dịch; m là hệ số góc của đường chuẩn mô tả mối liên hệ giữa độ hấp thụ và diện tích dưới đường cong phổ phát quang của dung dịch; n là chiết suất của dung dịch. Chỉ số dưới R ứng với giá trị của dung dịch chuẩn. Ở đây, chúng tôi sử dụng quinine sulfate làm dung dịch chuẩn và có các thông số tương ứng là $QY_R = 0,54$; $n_R = 1,33$ [14, 16].

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Hình thái và cấu trúc

Kích thước của chấm lượng tử carbon được xác định bằng ảnh hiển vi điện tử truyền qua và mô tả ở Hình 2a. Dựa vào ảnh TEM trên hình, có thể thấy các hạt có kích thước nhỏ, phân bố rời rạc và không kết đám. Sử dụng phần mềm ImageJ để khảo sát sự phân bố kích thước hạt bằng cách đo đường kính các hạt; dữ liệu thống kê kích thước hạt được mô tả ở góc dưới bên phải Hình 2a và

cho thấy kích thước hạt carbon trung bình của dung dịch chế tạo được là $6,5 \pm 2,9$ nm.



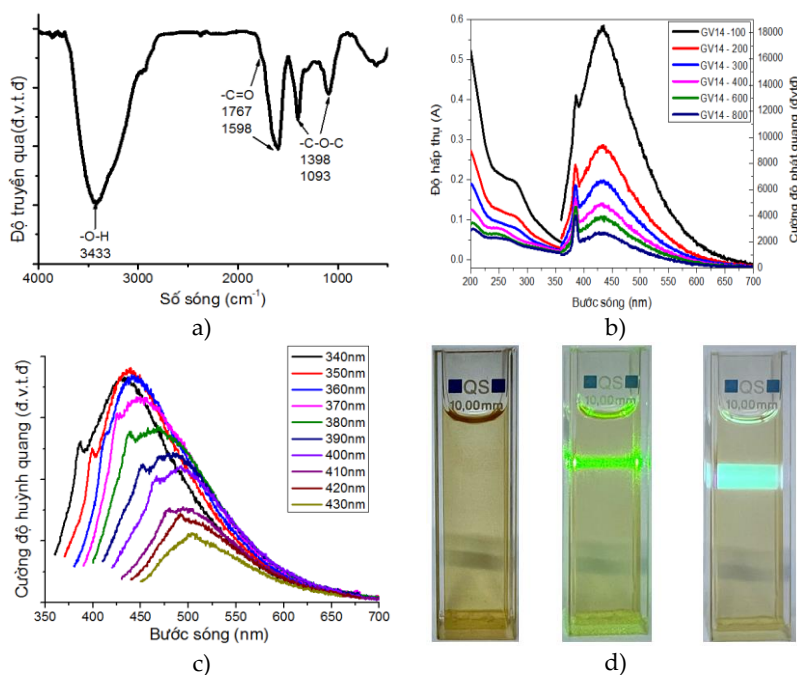
Hình 2. (a) Ảnh TEM của dung dịch chấm lượng tử carbon với thanh định cỡ 100 nm và (b) Giảm nhiễu xạ tia X của vật liệu chấm lượng tử carbon

Giảm nhiễu xạ tia X của vật liệu chấm lượng tử carbon được trình bày trên Hình 2b. Giảm nhiễu XRD cho thấy sự xuất hiện của một đỉnh rộng ở vị trí góc $2\theta \sim 24^\circ$; đây là đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của họ mặt (002) đối với vật liệu carbon có

cấu trúc vô định hình và phù hợp với kết quả quan sát từ một nghiên cứu trước đây [17].

3.2 Đặc trưng quang học

Hình 3 trình bày một số đặc trưng quang học của dung dịch chấm lượng tử carbon chế tạo từ vỏ quả Gấc, nung ở 190°C trong 14 giờ, ký hiệu là GV14. Nhằm dự đoán một cách định tính các nhóm chức xuất hiện trên bề mặt lõi carbon, trước tiên chúng tôi tiến hành ghi phổ hồng ngoại. Hình 3a cho thấy có một dải hấp thụ rộng đặc trưng của nhóm chức O–H trong vùng số sóng 3433 cm^{-1} [18], các đỉnh ở số sóng 1767 cm^{-1} và 1598 cm^{-1} tương ứng với dao động kéo giãn của nhóm chức C=O [18–20] và các đỉnh ở số sóng 1398 cm^{-1} và 1093 cm^{-1} xuất hiện do dao động kéo giãn bất đối xứng của nhóm chức C–O–C [21]. Những kết quả phổ FTIR này đã làm rõ sự tồn tại của nhiều nhóm chức khác nhau trên bề mặt lõi carbon sau quá trình thủy nhiệt.



Hình 3. (a) Phổ hồng ngoại của dung dịch chấm lượng tử carbon; (b) Phổ hấp thụ (bên trái) và phổ phát quang khi kích thích bằng bức xạ 340 nm (bên phải) của dung dịch GV14 khi thay đổi nồng độ pha loãng; (c) Phổ phát quang của dung dịch GV14 khi thay đổi bức xạ kích thích; (d) Hình ảnh dung dịch chấm lượng tử carbon dưới ánh sáng mặt trời, ánh sáng kích thích có bước sóng 532 nm và 405 nm

Phổ hấp thụ UV-Vis và phổ phát quang của dung dịch chấm lượng tử carbon đã được khảo

sát nhằm làm rõ tính chất quang của vật liệu. Phổ hấp thụ ở phía trái của Hình 3b cho thấy có một

đỉnh rộng ở khoảng bước sóng 276 nm, được cho là do chuyển dịch $\pi-\pi^*$ của liên kết C=C ở lõi carbon [22]. Phổ phát quang của vật liệu ở phía phải Hình 3b cho thấy khi kích thích bằng bức xạ 340 nm phổ phát quang có dạng dải rộng, cực đại phổ ở khoảng bước sóng 430 nm.

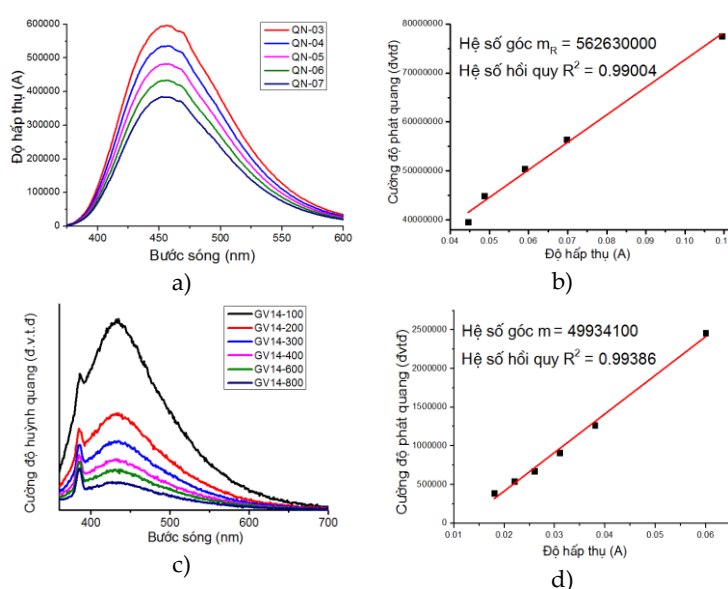
Trong quá trình nghiên cứu các chấm lượng tử, chúng tôi cũng khảo sát tính chất quang học, đặc biệt tập trung vào hiện tượng phát quang phụ thuộc vào bước sóng kích thích. Hình 3b cho thấy khi thay đổi bước sóng kích thích từ 340 đến 430 nm, trên phổ phát quang có vùng phát xạ rộng, thay đổi từ 430 đến 505 nm. Trong các nghiên cứu trước đây, sự tương tác giữa lõi carbon và các nhóm chức khác nhau trên bề mặt được cho là nguyên nhân dẫn đến sự hình thành các bẫy phát xạ riêng biệt [23]. Khi các bẫy này được kích thích tại các bước sóng khác nhau, vật liệu phát xạ tại các bước sóng khác nhau.

Hình 3d là ảnh chụp dung dịch chấm lượng tử carbon dưới ánh sáng mặt trời ở bước sóng 532 nm (màu xanh lá) và 405 nm (màu xanh trời). Hình ảnh này cho thấy bức xạ phát quang có màu

thay đổi theo bức xạ kích thích và cường độ ánh sáng phát quang là khá mạnh và có thể quan sát rõ bằng mắt thường. Như vậy, vị trí đỉnh phát quang phụ thuộc vào bước sóng của ánh sáng kích thích và có xu hướng dịch chuyển về phía bước sóng dài khi tăng bước sóng của ánh sáng kích thích.

3.3 Hiệu suất lượng tử

Phổ phát quang của dung dịch quinine sulfate và dung dịch chấm lượng tử carbon thủy nhiệt từ vỏ quả Gấc ở 190 °C trong thời gian 14 giờ (GV14) khi pha loãng ở các nồng độ khác nhau được trình bày trên Hình 4a và 4c. Theo đó, đường chuẩn mô tả mối liên hệ giữa độ hấp thụ và diện tích dưới đường cong phổ phát quang của hai loại dung dịch trên sau khi xử lý số liệu bằng phần mềm OriginPro 8.5 cũng được trình bày trên Hình 4b và 4d. Thực hiện ghi phổ phát quang và xây dựng đường chuẩn tương tự cho các dung dịch chấm lượng tử carbon thủy nhiệt trong 6, 8, 10, 12 và 16 giờ. Số liệu về hệ số góc, hệ số hồi quy tuyến tính và kết quả tính toán hiệu suất lượng tử (quy đổi thành %) theo công thức (1) của các dung dịch trên được liệt kê trong Bảng 1.



Hình 4. a) Phổ phát quang; b) Đường chuẩn mô tả mối liên hệ giữa độ hấp thụ và diện tích dưới đường cong phổ phát quang của dung dịch quinine sulfate; c) Phổ phát quang; d) Đường chuẩn mô tả mối liên hệ giữa độ hấp thụ và diện tích dưới đường cong phổ phát quang của dung dịch GV14

Bảng 1. Số liệu về hệ số góc, hệ số hồi quy tuyến tính và tính toán hiệu suất lượng tử của dung dịch chấm lượng tử carbon

Thời gian nung (giờ)	Ký hiệu	Hệ số góc	Hệ số hồi quy tuyến tính	Hiệu suất lượng tử (%)
	QN	562630000	0,99004	
6	GV6	30732200	0,9993	2,95
8	GV8	40058500	0,99842	3,84
10	GV10	33087400	0,9972	3,18
12	GV12	48540300	0,9989	4,66
14	GV14	52740500	0,9992	5,06
16	GV16	50928200	0,9988	4,89

Từ kết quả tính toán hiệu suất lượng tử đã thống kê ở Bảng 1 có thể thấy hiệu suất lượng tử của dung dịch chấm lượng tử carbon được chế tạo từ phần vỏ quả Gấc phụ thuộc vào thời gian ủ nhiệt và có giá trị thay đổi từ 2,95 đến 5,06%. Dung dịch GV14, tương ứng với thời gian ủ nhiệt 14 giờ, cho giá trị hiệu suất lượng tử lớn nhất. Cụ thể, khi thời gian thủy nhiệt tăng từ 6 đến 14 giờ thì cường độ phát quang cũng thay đổi tỉ lệ thuận và đạt giá trị cực đại, sau đó giảm tại mốc thời gian 16 giờ. Các nghiên cứu trước đó đã chỉ ra rằng việc kéo dài thời gian xử lý thủy nhiệt có thể thúc đẩy quá trình hình thành cấu trúc ổn định của carbon dots, từ đó làm tăng cường độ phát quang của vật liệu [24]. Tuy nhiên, sự kéo dài thời gian thủy nhiệt này cũng đồng thời làm tăng mật độ hạt, kéo theo hiện tượng dập tắt phát quang [25]. Kết quả nghiên cứu của chúng tôi cho thấy xu hướng tương tự, tương đồng nhất với công bố của Hoàn và cộng sự khi khảo sát ảnh hưởng của thời gian thủy nhiệt đến tính chất quang của vật liệu CNPs tổng hợp từ quả Chanh [26].

4 Kết luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng vỏ quả Gấc để làm tiền chất chế tạo dung dịch

chấm lượng tử carbon bằng phương pháp thủy nhiệt. Theo đó, chúng tôi lựa chọn giá trị 190 °C làm nhiệt độ nung và thay đổi thời gian nung từ 6 giờ đến 16 giờ. Đường kính trung bình của chấm carbon sau khi chế tạo là $6,5 \pm 2,9$ nm. Giản đồ nhiễu xạ tia X cho thấy đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của họ mặt (002) đối với vật liệu carbon có cấu trúc vô định hình. Phổ hồng ngoại cho thấy trên bề mặt lõi carbon xuất hiện các nhóm chức hydroxyl và carbonyl. Dung dịch chấm lượng tử carbon có cực đại phát quang ở khoảng bước sóng 430 nm khi kích thích bằng bức xạ 340 nm và có xu hướng dịch chuyển về phía bước sóng dài khi tăng bước sóng của ánh sáng kích thích. Chúng tôi đã trình bày kết quả nghiên cứu một cách khá chi tiết về sự ảnh hưởng của thời gian thủy nhiệt đến hiệu suất lượng tử của CDs. Khi thay đổi thời gian thủy nhiệt, hiệu suất lượng tử cũng thay đổi theo và đạt giá trị cực đại là 5,06% khi nung ở trong 14 giờ.

Thông tin tài trợ

Nghiên cứu này được Đại học Huế tài trợ trong đề tài khoa học và công nghệ, mã số DHH2023-01-208.

Tài liệu tham khảo

1. Xu X, Ray R, Gu Y, Ploehn HJ, Gearheart L, Raker K, Scrivens WA. Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments. *Journal of the American Chemical Society*. 2004;126:12736-12737.
2. Lim SY, Shen W, Gao Z. Carbon quantum dots and their applications. *Chemical Society Reviews*. 2015;44:362-381.
3. Zuo J, Jiang T, Zhao X, Xiong X, Xiao S, Zhu Z. Preparation and Application of Fluorescent Carbon Dots. 2015;2015(1):787862.
4. Deng J, Lu Q, Mi N, Li H, Liu M, Xu M, et al. Electrochemical Synthesis of Carbon Nanodots Directly from Alcohols. 2014;20(17):4993-9.
5. Li H, He X, Kang Z, Huang H, Liu Y, Liu J, et al. Water-Soluble Fluorescent Carbon Quantum Dots and Photocatalyst Design. 2010;49(26):4430-4.
6. Suda Y, Ono T, Akazawa M, Sakai Y, Tsujino J, Homma N. Preparation of carbon nanoparticles by plasma-assisted pulsed laser deposition method – size and binding energy dependence on ambient gas pressure and plasma condition. *Thin Solid Films*. 2002;415:15-20.
7. Sun Y-P, Zhou B, Lin Y, Wang W, Fernando KAS, Pathak P, et al. Quantum-Sized Carbon Dots for Bright and Colorful Photoluminescence. *Journal of the American Chemical Society*. 2006;128(24):7756-7.
8. Liu S, Tian J, Wang L, Zhang Y, Qin X, Luo Y, et al. Hydrothermal treatment of grass: a low-cost, green route to nitrogen-doped, carbon-rich, photoluminescent polymer nanodots as an effective fluorescent sensing platform for label-free detection of Cu(II) ions. *Advanced Materials*. 2012;24(15):2037-41.
9. Yang Y, Cui J, Zheng M, Hu C, Tan S, Xiao Y, et al. One-step synthesis of amino-functionalized fluorescent carbon nanoparticles by hydrothermal carbonization of chitosan. *Chemical Communications*. 2012;48(3):380-2.
10. Zhai X, Zhang P, Liu C, Bai T, Li W, Dai L, et al. Highly luminescent carbon nanodots by microwave-assisted pyrolysis. *Chemical Communications*. 2012;48(64):7955-7.
11. Jaiswal A, Ghosh SS, Chattopadhyay A. One step synthesis of C-dots by microwave mediated caramelization of poly(ethylene glycol). *Chemical Communications*. 2012;48(3):407-9.
12. Meng W, Bai X, Wang B, Liu Z, Lu S, Yang B. Biomass-derived carbon dots and their applications. *Energy & Environmental Materials*. 2019;2(3):172-92.
13. Namdari P, Negahdari B, Eatemadi A. Synthesis, properties and biomedical applications of carbon -based quantum dots: an updated review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2017;87:209-22.
14. Allen MW. Measurement of Fluorescence Quantum Yields. Thermo Fisher Scientific; 2010.
15. Lawson-Wood K, Upstone SL, Evans K, editors. Determination of Relative Fluorescence Quantum Yields using the FL 6500 Fluorescence Spectrometer (014216_01)2018; 2018.
16. Lakowicz JR. Principles of Fluorescence Spectroscopy. Springer; 1999.
17. Sahu S, Behera B, Maitib TK, Mohapatra S. Simple one-step synthesis of highly luminescent carbon dots from orange juice: application as excellent bio-imaging agents. *Chemical Communications*. 2012;48:8835-8837.
18. Liu Y, Zhao Y, Zhang Y. One-step green synthesized fluorescent carbon nanodots from bamboo leaves for copper(II) ion detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2014;196:647-652.
19. Qiu Z, Ruan J, Shu S. Air Insulation Prediction Theory and Applications. Springer; 2019.
20. Ding H, Li XH, Chen XB, Wei JS, Li XB, Xiong HM. Surface states of carbon dots influences on luminescence. *Journal of Applied Physics*. 2020;127:231101-231121.
21. Hsu P, Chen PC, Ou CM, Chang HY, Chang HT. Extremely high inhibition activity of photoluminescent carbon nanodots toward cancer cells. *Journal of Materials Chemistry B*. 2013;1(13):1774-1781.
22. Hoan BT, Huan PV, Van HN, Nguyen DH, Tam PD, Nguyen KT, et al. Luminescence of lemon-derived carbon quantum dot and its potential application in luminescent probe for detection of Mo⁶⁺ ions. *Wiley Analytical Science*. 2018;33(3):545-551.
23. Ambika MN, Philomina A, Vidhya L, Subodh G. Green synthesis of blue-fluorescent carbon nanospheres from the pith of tapioca (*Manihot esculenta*) stem for Fe(III) detection. *Journal of*

- Materials Science: Materials in Electronics. 2020;31:1-12.
24. Son LVT, Thảo TTN, Thảo DTT, Thùy LTM, Trần CB, Uyên PTT, et al. Ảnh hưởng của điều kiện thủy nhiệt đến tính chất quang của hạt carbon nano được tổng hợp từ quả bầu. Tạp chí Khoa học - Trường Đại học Sư phạm TP Hồ Chí Minh, 2023;20(12):2095–2105.
25. Zulfajri M, Gedda G, Chang CJ, Chang YP, Huang GG. Cranberry beans derived carbon dots as a potential fuorescence sensor for selective detection of Fe^{3+} ions in aqueous solution. ACS Omega. 2019;4(13):15382-15392.
26. Hoan BT, Tam PD, Pham VH. Green Synthesis of Highly Luminescent Carbon Quantum Dots from Lemon Juice. Journal of Nanotechnology. 2019;2019(1):2852816.