

ĐÁNH GIÁ TÍNH KHÁNG KHUẨN CỦA CHẤM LƯỢNG TỬ CARBON ĐƯỢC CHẾ TẠO TỪ NƯỚC CAM

Lê Thị Bảo Chi¹, Lê Thị Kim Dung², Ung Thị Thủy¹, Đỗ Hoàng Tùng³,
Trần Duy Quỳnh Như², Nguyễn Minh Hoa^{2*}

¹ Bộ môn Vi sinh, Trường Đại học Y-Dược, Đại học Huế, Huế, Việt nam

² Khoa cơ bản, Trường Đại học Y-Dược, Đại học Huế, Huế, Việt nam

³ Viện Vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Nguyễn Minh Hoa <nguyenminhoa@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 29-11-2023; Hoàn thành phản biện: 28-03-2024; Ngày chấp nhận đăng: 17-04-2024)

Tóm tắt. Trong nghiên cứu này, chấm lượng tử carbon (CDs) đã được tổng hợp từ nước cam bằng phương pháp plasma ở áp suất khí quyển với nhiệt độ thấp. Kích thước trung bình của CDs thu được khoảng 4,7 nm với sự phân bố hẹp. Màu sắc phát xạ của CDs có màu xanh ứng với bước sóng phát xạ 460 nm khi kích thích tại bước sóng 390 nm. Sự hình thành CDs được khẳng định bằng phổ hấp thụ UV-Vis và tán xạ Raman. Mẫu CDs được thử nghiệm khả năng ức chế sự phát triển của hai chủng vi khuẩn *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 và *Escherichia coli* ATCC 25922. Kết quả chỉ ra rằng tác dụng ức chế vi khuẩn của mẫu CDs xảy ra sau 30 giây tiếp xúc đối với *Escherichia coli* ATCC 25922 và 5 phút tiếp xúc đối với *Staphylococcus aureus* ATCC 29213. Hiệu suất kháng khuẩn ở mức trung bình của mẫu CDs đối với hai chủng *Staphylococcus aureus* và *Escherichia coli* tương ứng là 62,1% và 57,0%.

Từ khóa: chấm lượng tử carbon, plasma, kháng khuẩn, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*

Evaluation of Antibacterial Activity Properties of Carbon Quantum Dots Synthesized from Orange Juice

Le Thi Bao Chi¹, Le Thi Kim Dung², Ung Thi Thuy¹, Do Hoang Tung³,
Tran Duy Quynh Nhu², Nguyen Minh Hoa^{2*}

¹ Department of Microbiology, University of Medicine and Pharmacy, Hue University, Hue City, Vietnam

² Faculty of Fundamental Sciences, Hue University of Medicine and Pharmacy, Hue University, Hue City, Vietnam

³ Institute of Physics, Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

* Correspondence to Nguyen Minh Hoa <nguyenminhoa@hueuni.edu.vn>

(Received: 29 November 2023; Revised: 28 March 2024; Accepted: 17 April 2024)

Abstract. In this study, carbon quantum dots (CDs) were synthesized through plasma processing of orange juice at atmospheric pressure and low temperature. The resulting CDs exhibited an average size of approximately 4.7 nm with a narrow distribution. A blue emission was observed with a peak wavelength of 460 nm under excitation at 390 nm. The formation of CDs was confirmed by UV-Vis absorption spectra and Raman scattering analyses. The antibacterial activities of the CDs were evaluated against *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 and *Escherichia coli* ATCC 25922 strains. Results indicated that inhibitory effects on bacterial strains were observed after 30 seconds of exposure for *Escherichia coli* ATCC 25922 and 5 minutes for *Staphylococcus aureus* ATCC 29213. The average antibacterial efficiency of

the CDs sample against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* strains was found to be 62.1% and 57.0%, respectively.

Keywords: carbon quantum dots, plasma, antibacteria, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*

1 Đặt vấn đề

Những tiến bộ của công nghệ nano và quá trình kiểm soát chính xác về mặt kích thước nano đã tạo nên nhiều thành công trong việc ứng dụng các vật liệu nano trên nhiều lĩnh vực khác nhau: quang điện, môi trường,... và đặc biệt trong y sinh như truyền dẫn thuốc, kỹ thuật mô và hình ảnh sinh học, tác nhân trị liệu hoặc kháng khuẩn [1,2]. Những nghiên cứu nhằm tìm kiếm các tính chất hóa lý của hạt nano phù hợp và hiệu quả cho ứng dụng y sinh luôn được sự chú ý quan tâm của các nhà khoa học. Các loại vật liệu nano luôn được hướng đến các đặc tính như tương thích sinh học, giảm khả năng miễn dịch, tăng cường an toàn và khả năng hòa tan được trong các dung môi như nước [3]. Đây là những thuộc tính quan trọng trong các nghiên cứu khả năng kháng khuẩn của các đối tượng hạt nano. Ngoài ra, những đặc trưng về kích thước, hình dạng và diện tích bề mặt cũng ảnh hưởng đến hiệu quả kháng khuẩn, đồng thời nó sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho khả năng xâm nhập sâu vào tế bào vi khuẩn và can thiệp vào các phân tử quan trọng, để chống lại mối đe dọa về vấn đề kháng thuốc của vi khuẩn [4]. Nhiều loại hạt nano kim loại như hạt nano Ag, Au, Cu hoặc Fe đã được sử dụng cho ứng dụng kháng khuẩn và cũng chứng minh được hiệu suất kháng khuẩn khá tốt. Tuy nhiên, việc sử dụng các hạt nano này trong lâm sàng vẫn còn nhiều thách thức vì thực tế cho thấy vẫn có nguy cơ độc hại đối với tế bào [4].

Gần đây, chấm lượng tử carbon (CDs) là một đối tượng vật liệu mới và đang được quan tâm nghiên cứu. Vật liệu nano carbon có các tính chất thú vị như khả năng tương thích sinh học, độ ổn định hóa học cao, khả năng hòa tan trong nước, khả năng phát quang đa màu, độc tính thấp [5]. CDs có thể tổng hợp dễ dàng, với kích thước nhỏ hơn 10

nm sở hữu các hiệu ứng bề mặt và giam giữ lượng tử mạnh, độ ổn định quang cao [6] đang là ứng cử viên thay thế các nano kim loại và có khả năng mở rộng với quy mô công nghiệp trong ứng dụng cho các thiết bị quang điện, cảm biến huỳnh quang [7], quang xúc tác [8], truyền dẫn thuốc [9].

Mặt khác, các tính chất quang của CDs cũng bị ảnh hưởng trực tiếp bởi các tiền chất dẫn xuất carbon (như acid citric, carbohydrate, ...) [10], gây ra sự giảm hiệu suất huỳnh quang và ổn định quang, do đó về mặt công nghệ chế tạo vẫn cần được cải thiện. Hiện nay, phương pháp tổng hợp CDs đều được tập trung theo hai cách là “từ trên xuống” khi vật liệu than chì đóng vai trò là nguồn tiền chất carbon và “từ dưới lên” với các phân tử hữu cơ là nguồn dẫn xuất carbon [11]. Tuy nhiên, mỗi phương pháp đều có những hạn chế nhất định. Ví dụ, việc sử dụng các dẫn xuất carbon từ các tiền chất độc hại như acid hữu cơ, CHCl_3 , $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_2$ ảnh hưởng đến môi trường và sức khỏe con người. Hơn nữa, quy trình chế tạo mẫu phức tạp đòi hỏi điều kiện nghiêm ngặt, nhiệt độ chế tạo cao, thời gian dài, ... làm tăng giá thành sản xuất [12–14]. Để giải quyết những thách thức này, các nhà nghiên cứu vẫn tìm cách phát triển phương pháp chế tạo vật liệu CDs hiệu quả về chi phí và an toàn hơn. Một phương pháp gần đây đang được sử dụng để chế tạo các vật liệu nano là plasma tương tác dung dịch thể hiện được nhiều ưu điểm nổi trội hơn so với phương pháp hóa học, vật lý. Chẳng hạn, thời gian phản ứng để có thể hình thành các hạt nano ngắn hơn, kích thước cũng có thể điều khiển dễ dàng [15]. Phương pháp này áp dụng đã chế tạo nhiều vật liệu nano kim loại (Au, Ag, Fe, Cu, ...) [16]. Các nghiên cứu chế tạo CDs bằng xử lý microplasma cũng đã được khảo sát [17,18], điều đáng chú ý là kết quả báo cáo cho thấy đều sử dụng các tiền chất không thân thiện như acid

cloroplatinic, sodium dodecyl sunfate, chitosan, hydrocarbon, acid citric và acid folic [18,19]. Sử dụng các tiền chất "xanh" (dẫn xuất tự nhiên) để chế tạo CDs bắt đầu được tập trung khảo sát nhiều hơn. Điều này là rất cần thiết cho việc sản xuất các hạt nano an toàn cho sức khỏe và môi trường với chi phí thấp, đặc biệt quan trọng có thể ứng dụng tốt trong lĩnh vực y sinh học [5]. Tuy nhiên, vẫn còn rất ít báo cáo việc sử dụng phương pháp plasma để tạo ra CDs từ các tiền chất thực phẩm xanh an toàn cho hướng ứng dụng trong y sinh. Vì vậy, vấn đề tổng hợp CDs từ các tiền chất thân thiện, với kỹ thuật đơn giản và có thể thực hiện ở quy mô công nghiệp vẫn là một yêu cầu cấp thiết.

Một số nghiên cứu về khả năng ức chế một số loài vi khuẩn của CDs cũng được báo cáo và cho thấy tiềm năng đầy hứa hẹn của chúng [20]. Khả năng kháng khuẩn đã được chứng minh trên hai chủng vi khuẩn *Escherichia coli* và *Bacillus cereus* dưới sự chiếu xạ ánh sáng xanh bằng cách sử dụng các đế như thủy tinh, SiO₂/Si và mica phủ màng CDs [21]. Hơn nữa, hầu hết các hợp chất tự nhiên với ưu điểm ít độc hại đang được nghiên cứu sử dụng CDs độc lập và kết hợp với một số hoạt chất khác để đánh giá khả năng ức chế sự phát triển của màng sinh học được tạo bởi các nhóm tụ cầu khác nhau như *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*... [22]. Một thử nghiệm kháng khuẩn khác của một loại vật liệu tổng hợp nano polydimethylsiloxane được ngâm tẩm với chấm lượng tử carbon trên các chủng *S. aureus*, *E.coli* và *Klebsiella pneumoniae* có hiệu quả sau 15 phút chiếu xạ [23]. Nghiên cứu từ Zang và cộng sự với việc sử dụng lớp phủ bề mặt của nền bằng ZnO/CDs đã chứng tỏ sự hiệu quả của quá trình ức chế sự phát triển của vi khuẩn dưới ánh sáng nhìn thấy với hiệu suất đạt được là 92,35%, 90,28% và 96,13% tương ứng với các chủng vi khuẩn *E. coli*, *S. aureus* và *Streptococcus mutans* [24]. Như vậy, ứng dụng các chấm lượng tử carbon để làm các chất khử khuẩn bề mặt [25] hay việc phủ màng CDs trên các nền khác nhau như chất kháng sinh là rất khả thi

và có thể áp dụng rộng rãi như trong các điều trị chỉnh nha cố định [26]. Ngoài ra, CDs còn có thể được sử dụng với hoạt tính kháng khuẩn phổ rộng trong điều trị các vết thương nhiễm khuẩn phối hợp [27].

Trong nghiên cứu này, CDs thân thiện với môi trường đã được tổng hợp từ dẫn xuất nước cam thông qua phương pháp xử lý plasma. Mẫu CDs đã được sử dụng để khảo sát khả năng kháng khuẩn. Mục đích chính của nghiên cứu là định tính một cách sơ bộ khả năng kháng khuẩn của CDs trên hai chủng vi khuẩn chuẩn *S. aureus* ATCC 29213 và *E. coli* ATCC 25922. Đồng thời xác định hiệu suất kháng khuẩn của chúng đối với hai chủng vi khuẩn trên.

2 Phương pháp nghiên cứu

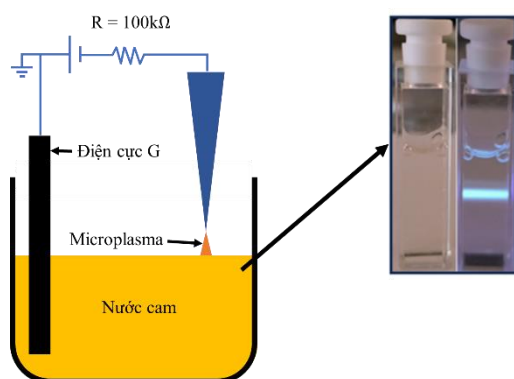
2.1 Vật liệu

Cam Vinh, nước cất hai lần sử dụng thiết bị Aquatron A4000D thuộc Phòng thí nghiệm Trung tâm Vật lý Kỹ thuật, Viện Vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

2.2 Chế tạo các chấm lượng tử carbon

Quy trình chế tạo các CDs bằng phương pháp plasma được minh họa như Hình 1 [28]. Hệ microplasma bao gồm một điện cực than chì, vòi phun plasma, nguồn điện áp DC cao và cốc thủy tinh chứa dung dịch tiền chất. Điện cực plasma là một thanh vonfram có đường kính khoảng 1,5 mm, được nối với cực âm thông qua điện trở 100 kΩ.

Quy trình tổng hợp CDs: cốc thủy tinh chứa 30 ml dung dịch nước cam được xử lý plasma trong thời gian 20 phút, dòng điện hoạt động không đổi 5 mA. Dung dịch sau đó được lọc qua giấy lọc để loại bỏ phần cặn rồi mang ly tâm để rửa sạch mẫu. Mẫu sau ly tâm được phân tán lại trong nước, dung dịch CDs thu được cuối cùng có màu trắng trong và phát sáng xanh khi chiếu đèn UV với bước sóng 354 nm như thể hiện ở Hình 1.



Hình 1. Minh họa sơ đồ hệ microplasma tổng hợp CDs và hình ảnh quang học của CDs dưới sự chiếu sáng của ánh sáng thường và đèn UV với bước sóng 354 nm

2.3 Phương pháp khảo sát đặc trưng tính chất quang của mẫu

Phổ hấp thụ được thực hiện ở nhiệt độ phòng bằng máy UV-Vis (Agilent Cary 60) với dải bước sóng đo từ 250 – 700 nm. Phổ huỳnh quang (PL) được thực hiện bằng máy quang phổ huỳnh quang (Fluorolog 3, HORIBA Jobin Yvon, USA) với bước sóng kích thích 390 nm. Kích thước hạt được phân tích bằng kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM) (JEOL 2100). Tán xạ Raman được thực hiện bằng thiết bị XploRA PLUS của Horiba Jobin Yvon, S.A.S, Pháp, với bước sóng kích thích 532 nm.

2.4 Đánh giá tính kháng khuẩn của CDs

Nghiên cứu khả năng kháng khuẩn của CDs được thực hiện trên hai chủng vi khuẩn chuẩn *S. aureus* ATCC 29213 và *E. coli* ATCC 25922 (MicroBiologics - Mỹ). Các chủng thử nghiệm F2 được cấy chuyển từ các chủng F1 trên môi trường thạch dinh dưỡng (Himedia, Ấn Độ), ủ ở nhiệt độ 37°C trong thời gian từ 18-24 giờ. Sau đó tiến hành tạo huyền dịch vi khuẩn với nước muối sinh lý 0,9% để đạt được nồng độ vi khuẩn 0,5 McFarland tương ứng với 10^8 CFU/ml (Colony Forming Units (CFU) - Đơn vị hình thành khuẩn lạc) [29].

Định tính khả năng kháng khuẩn

Mẫu CDs thử nghiệm được trộn đều với huyền dịch vi khuẩn đã pha ở trên theo tỷ lệ 1:1. Sau khoảng thời gian tiếp xúc (5 giây, 10 giây, 30 giây, 1 phút và 5 phút), hút 50 μ l hỗn hợp vào 10 ml môi trường BHI lỏng (Himedia, Ấn Độ). Sau khi ủ ở tủ ấm 37°C trong 24 giờ, các ống nghiệm được quan sát bằng mắt thường để ghi nhận sự phát triển của vi khuẩn thông qua độ đục của huyền dịch trong ống thử nghiệm. Ống thử nghiệm mờ hoặc đục được xác định là dương tính (+) hay có sự phát triển của vi khuẩn và ngược lại nếu ống thử nghiệm trong suốt hoàn toàn có thể được xem là âm tính (-) hay không có sự phát triển của vi khuẩn [30].

Xác định hiệu suất kháng khuẩn của CDs

Quy trình thử nghiệm hiệu suất kháng khuẩn của mẫu CDs được thực hiện có sự điều chỉnh dựa trên quy trình được xây dựng trước đó của Zang và cộng sự [24]. Một cách ngắn gọn, nồng độ huyền dịch vi khuẩn cần dùng trong thí nghiệm được pha loãng 1:100 trong nước muối sinh lý 0,9% từ nồng độ ban đầu 10^8 CFU/ml. Sau đó, 1,5 ml môi trường Muller Hinton lỏng được trộn đều với 50 μ l huyền dịch vi khuẩn trên trong ống thử nghiệm. Tiếp theo, 50 μ l mẫu CDs được cho thêm vào hỗn hợp đã chuẩn bị ở trên (nhóm thử nghiệm) và được ủ ở nhiệt độ phòng trong 24 giờ. Nhóm đối chứng không thêm mẫu CDs được thực hiện đồng thời.

Sau thời gian ủ ở nhiệt độ phòng, hỗn hợp thử nghiệm và đối chứng đều được lắc mạnh và sau đó pha loãng theo các nồng độ khác nhau (10^{-2} ; 10^{-4} ; 10^{-6} ; 10^{-8} ; 10^{-9} ; 10^{-10}). Chọn 3 ống có độ pha loãng cao nhất, hút 100 μ l hỗn hợp để ria lên bề mặt thạch dinh dưỡng theo phương pháp cấy ria. Sau khi ủ trong tủ ấm 37°C trong 24 giờ, tiến hành đếm số lượng khuẩn lạc trên các đĩa thạch dinh dưỡng. Hiệu suất kháng khuẩn được tính dựa trên số lượng các khuẩn lạc hình thành (CFU/ml) và được

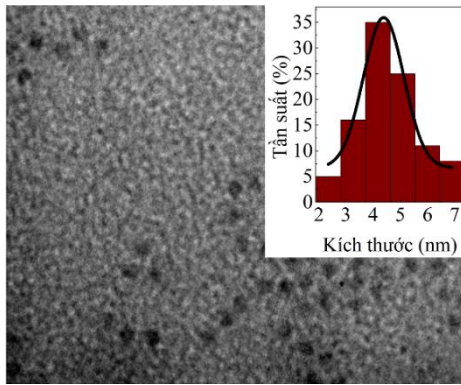
tính theo công thức xác định tỷ lệ kháng khuẩn dưới đây:

$$\text{Tỷ lệ kháng khuẩn} = \frac{\text{Nhóm chứng} - \text{Nhóm thử nghiệm}}{\text{Nhóm chứng}} \times 100$$

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Đặc trưng cấu trúc của CDs

Hình 2 trình bày đặc trưng hình thái học của CDs thu được thông qua ảnh TEM. Kết quả cho thấy các hạt CDs đã được hình thành có hình dạng



Hình 2. Ảnh TEM của CDs

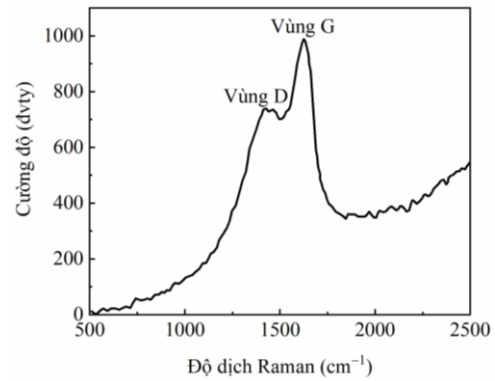
3.2 Tính chất quang

Phổ hấp thụ và PL của CDs được thể hiện trên Hình 4. Từ phổ hấp thụ chỉ ra rằng có vị trí đỉnh cực đại ở bước sóng khoảng 280 nm là đỉnh chuyển dời $\pi-\pi^*$ của các liên kết C=C và một đỉnh ở vùng gần 342 nm là chuyển dời $n-\pi^*$ trong liên kết C=O [10]. Điều này cho thấy các hạt nano carbon đã được hình thành sau phản ứng, cũng phù hợp với một số kết quả thực nghiệm được báo cáo [31,32].

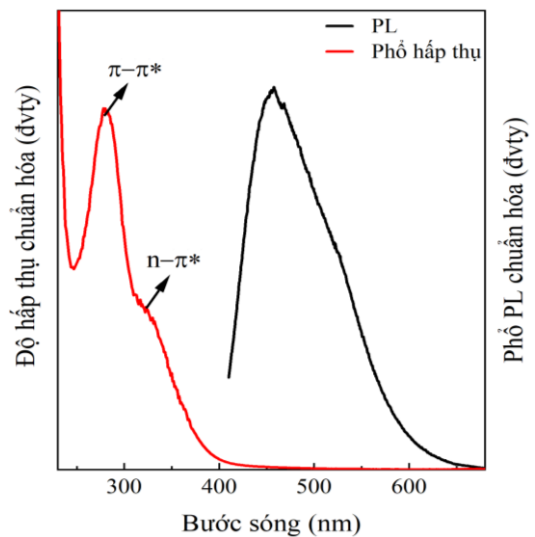
Phổ PL cho thấy vị trí phát xạ cực đại của CDs ở bước sóng 460 nm có cường độ phát xạ mạnh khi được kích thích ở bước sóng 390 nm, điều này chứng tỏ có sự tồn tại của các CDs với kích thước nhỏ [14]. Hơn nữa, phổ PL có sự bất đối xứng về phía bước sóng dài là do sự đóng góp của các trạng thái bề mặt có thể được hình thành trong quá trình carbon hóa. Thành phần của nước cam

tươi cầu. CDs có kích thước trung bình khoảng 4,7 nm và sự phân bố kích thước hẹp như thể hiện ở hình nhỏ của Hình 2.

Phổ tán xạ Raman được sử dụng để đánh giá sự hình thành cấu trúc của CDs. Phổ Raman của CDs được trình bày ở Hình 3. Kết quả cho thấy hai đỉnh dao động xuất hiện ở số sóng 1425 cm^{-1} và 1625 cm^{-1} . Đây là đặc trưng cấu trúc của các CDs với vùng D (do sự sắp xếp bất trật tự của carbon sp^3) và vùng G (được gán cho các nguyên tử carbon lai hóa sp^2).



Hình 3. Phổ Raman của CDs



Hình 4. Phổ hấp thụ và PL của CDs tại bước sóng kích thích 390 nm

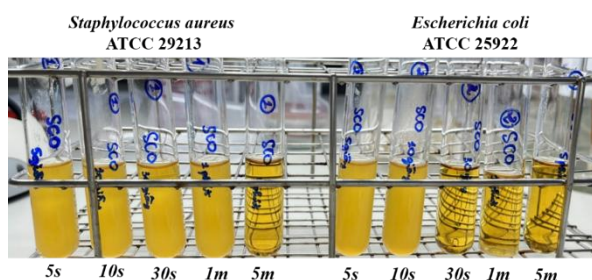
bao gồm nhiều hợp chất khác nhau như carbohydrate và acid hữu cơ tự nhiên như acid ascorbic và acid citric, glucose, fructose, sucrose là

dẫn xuất carbon [18]. Sự hình thành các nhóm trên bề mặt này dẫn đến sự tạo ra các bẫy phát xạ ở các liên kết C=C ở các trạng thái chuyển dời π và π^* của CDs, làm cho đặc trưng hấp thụ và phát xạ của chúng bị thay đổi.

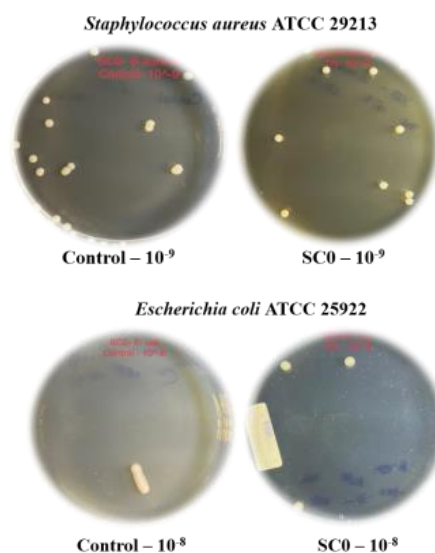
3.3 Tính kháng khuẩn của mẫu CDs

Kết quả thử nghiệm định tính khả năng ức chế sự phát triển của hai chủng vi khuẩn được thể hiện ở Hình 5. Sau 24 giờ ủ mẫu cho thấy CDs có khả năng ức chế được sự phát triển của chủng *E. coli* sau thời gian tiếp xúc 30 giây, 1 phút và 5 phút, trong khi đối với chủng *S. aureus* CDs chỉ có khả năng ức chế sau thời gian tiếp xúc 5 phút. Kết quả này cũng phù hợp với một số kết quả gần đây của Yadav và các cộng sự trên đối tượng CDs pha tạp nitride và chiếu xạ với ánh sáng cực tím cho thấy hiệu suất ức chế gần 99% chủng *E. coli* và gần 90% chủng *S. aureus* [33]. Hơn nữa, kết quả còn cho thấy ức chế sự phát triển đối với *E. coli* xảy ra sớm hơn so với *S. aureus*. Kết quả này có khác hơn so với một số kết quả đã công bố về nghiên cứu tính kháng khuẩn bằng phương pháp đo đường kính vòng vô khuẩn trên thạch của CDs đối với chủng Gram dương (*S. aureus*) mạnh hơn so với chủng Gram âm (*E. coli*) [34,35].

Thử nghiệm đánh giá hiệu suất diệt khuẩn của CDs được trình bày ở Hình 6. Kết quả ghi nhận được ở mức độ trung bình với tỷ lệ kháng khuẩn là 57,0% và 62,1% lần lượt với *E. coli* và *S. aureus*. Giá trị ước tính cho thấy kết quả này mặc dù thấp hơn so với một số kết quả đã được công bố trước đó [24,36], nhưng kết quả này có thể được giải thích là do trong thí nghiệm đã sử dụng mẫu CDs xử lý trực tiếp mà không có sự tham gia thêm hoạt chất nào khác cũng như không có bất cứ sự tác động ngoài khác như chiếu xạ bằng ánh sáng hay tia cực tím nên hiệu suất ghi nhận không cao.



Hình 5. Định tính khả năng kháng khuẩn của CDs sau thời gian tiếp xúc khác nhau trên hai chủng vi khuẩn *S. aureus* ATCC 29213 và *E. coli* ATCC 25922. Kết quả được ghi nhận sau 24 giờ ủ mẫu (s – giây/ m – phút)



Hình 6. Kết quả thử nghiệm hiệu suất kháng khuẩn của mẫu CDs với hai chủng vi khuẩn *S. aureus* ATCC 29213 và *E. coli* ATCC 25922

4 Kết luận

Các CDs đã được tổng hợp từ tiền chất nước cam tươi thân thiện với môi trường bằng phương pháp plasma. CDs thu được kết tinh tốt và phát quang mạnh ở bước sóng 467 nm. Phổ Raman thể hiện rõ vùng D và G ở số sóng 1425 cm^{-1} và 1625 cm^{-1} chứng tỏ sự hình thành cấu trúc CDs. Kết quả kháng khuẩn của mẫu CDs cho thấy thời gian ức chế sự phát triển của chủng *E. coli* ATCC 25922 chỉ sau 30 giây tiếp xúc, và *S. aureus* ATCC 29213 sau 5 phút tiếp xúc. Hiệu suất kháng khuẩn của CDs là

khoảng 57,0% và 62,1% tương ứng với *E. coli* và *S. aureus*. Kết quả cũng chứng tỏ được những lợi thế của CDs được tổng hợp từ tiền chất “xanh”, khả năng phân tán trong nước, phát quang mạnh hứa hẹn sẽ là vật liệu mới có tiềm năng trong các ứng dụng quang điện, y sinh.

Lời cảm ơn

Công trình này được hỗ trợ bởi Quỹ Khoa học và Công nghệ Đại học Huế (Số tài trợ DHH2022-04-180).

Tài liệu tham khảo

1. De Marco BA, Rechelo BS, Tócoli EG, Kogawa AC, Salgado HRN. Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review. *Saudi Pharm J.* 2019;27(1):1-8.
2. Villena de Francisco E, García-Esteva RM. Nanotechnology in the agrofood industry. *J Food Eng.* 2018;238:1-11.
3. Vahdani MRK, Ehsanfard N. Nonlinear optical properties of a slab of CdSe/ZnS quantum dot matrix. *Phys B Condens Matter.* 2018;548:1-9.
4. Parveen S, Misra R, Sahoo SK. Nanoparticles: A Boon to Drug Delivery, Therapeutics, Diagnostics and Imaging. *Nanomedicine in Cancer.* 2018;47-98.
5. Wei S, Luo X, Miao J, Zhang L. Efficient green quantum dot light-emitting diodes enabled by high-quality alloyed gradient CdSeS/CdS/ZnS core/shell quantum dots. *J Mater Sci Mater Electron.* 2022;1-23.
6. Joshi PN, Mathias A, Mishra A. Synthesis of ecofriendly fluorescent carbon dots and their biomedical and environmental applications. *Mater Technol.* 2018;33(10):672-680.
7. Li M, Chen T, Gooding JJ, Liu J. Review of carbon and graphene quantum dots for sensing. *ACS Sensors.* 2019;4(7):1732-1748.
8. Atchudan R, Edison TNJI, Aseer KR, Perumal S, Karthik N, Lee YR. Highly fluorescent nitrogen-doped carbon dots derived from *Phyllanthus acidus* utilized as a fluorescent probe for label-free selective detection of Fe³⁺ ions, live cell imaging and fluorescent ink. *Biosens Bioelectron.* 2018;99:303-311.
9. Feng T, Ai X, An G, Yang P, Zhao Y. Charge-Convertible Carbon Dots for Imaging-Guided Drug Delivery with Enhanced in Vivo Cancer Therapeutic Efficiency. *ACS Nano.* 2016;10(4):4410-4420.
10. Liu W, Li C, Ren Y, Sun X, Pan W, Li Y, et al. Carbon dots: Surface engineering and applications. *J Mater Chem B.* 2016;4(35):5772-5788.
11. Xu Y, Liu J, Gao C, Wang E. Applications of carbon quantum dots in electrochemiluminescence: A mini review. *Electrochem Commun.* 2014;48:151-154.
12. Mao LH, Tang WQ, Deng ZY, Liu SS, Wang CF, Chen S. Facile access to white fluorescent carbon dots toward light-emitting devices. *Ind Eng Chem Res.* 2014;53(15):6417-6425.
13. Li H, He X, Kang Z, Huang H, Liu Y, Liu J, et al. Water-soluble fluorescent carbon quantum dots and photocatalyst design. *Angew Chemie - Int Ed.* 2010;49(26):4430-4434.
14. Wang Z, Lu Y, Yuan H, Ren Z, Xu C, Chen J. Microplasma-assisted rapid synthesis of luminescent nitrogen-doped carbon dots and their application in pH sensing and uranium detection. *Nanoscale.* 2015;7(48):20743-20748.
15. Huang X, Li Y, Zhong X, Rider AE, Ostrikov K. Fast microplasma synthesis of blue luminescent carbon quantum dots at ambient conditions. *Plasma Process Polym.* 2015;12(1):59-65.
16. Iqbal Khan MJ, Kanwal Z, Yousaf M, Nabi A, Ahmad J, Latif A, et al. Investigating structural, electronic and optical properties of CdS:Cr (A GGA and GGA+U study). *Solid State Sci.* 2020;108:1-8.
17. Ma X, Li S, Hessel V, Lin L, Meskers S, Gallucci F. Synthesis of luminescent carbon quantum dots by microplasma process. *Chem Eng Process - Process Intensif.* 2019;140:29-35.
18. Joffrion JB, Clower W, Wilson CG. Tunable excitation-independent emissions from graphene quantum dots through microplasma-assisted electrochemical synthesis. *Nano-Structures and Nano-Objects.* 2019;19:1-7.
19. Tyutrin AA, Glazunov DS, Rakevich AL, Martynovich EF. The axial VUV radiation intensity distribution of a glow discharge and its application for creation luminescence centers in crystalline media. *AIP Conf Proc.* 2019;2069:1-5.
20. Ghirardello M, Ramos-Soriano J, Galan MC. Carbon dots as an emergent class of antimicrobial agents. *Nanomaterials.* 2021;11(8):1877:1-24.

21. Stanković NK, Bodik M, Šiffalović P, Kotlar M, Mičušik M, Špitalsky Z, et al. Antibacterial and Antibiofouling Properties of Light Triggered Fluorescent Hydrophobic Carbon Quantum Dots Langmuir-Blodgett Thin Films. *ACS Sustain Chem Eng*. 2018;6(3):4154-4163.
22. Yong YY, Dykes GA, Choo WS. Biofilm formation by staphylococci in health-related environments and recent reports on their control using natural compounds. *Crit Rev Microbiol*. 2019;45(2):201-222.
23. Marković ZM, Kováčová M, Humpolíček P, Budimir MD, Vajďák J, Kubát P, et al. Antibacterial photodynamic activity of carbon quantum dots/polydimethylsiloxane nanocomposites against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2019;26:342-349.
24. Zhang J, An X, Li X, Liao X, Nie Y, Fan Z. Enhanced antibacterial properties of the bracket under natural light via decoration with ZnO/carbon quantum dots composite coating. *Chem Phys Lett*. 2018;706:702-707.
25. Mahat NA, Nor NSM, Shamsudin SA. Effects of Positive Carbon Quantum Dots on Gram-Negative Bacteria as an Antimicrobial Agent. *J Inorg Organomet Polym Mater*. 2022;32(7):2428-2440.
26. Oz AZ, Oz AA, Yazicioglu S, Sancaktar O. Effectiveness of an antibacterial primer used with adhesive-coated brackets on enamel demineralization around brackets: an in vivo study. *Prog Orthod*. 2019;20(1):1-7.
27. Zhao C, Wang X, Yu L, Wu L, Hao X, Liu Q, et al. Quaternized carbon quantum dots with broad-spectrum antibacterial activity for the treatment of wounds infected with mixed bacteria. *Acta Biomater*. 2022;138:528-544.
28. Tung DH, Thuong TT, Cong ND, Liem NT, Kha N Van, Manh LH, et al. Facile Synthesis of Carbon Quantum Dots by Plasma-liquid Interaction Method. *Commun Phys*. 2018;27(4):1-6.
29. CLSI. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility. *Clsi*. 2020;40(1):50-51.
30. Kampf G, Meyer B, Goroncy-Bermes P. Comparison of two test methods for the determination of sufficient antimicrobial activity of three commonly used alcohol-based hand rubs for hygienic hand disinfection. *J Hosp Infect*. 2003;55(3):220-225.
31. Yousaf H, Mehmood A, Ahmad KS, Raffi M. Green synthesis of silver nanoparticles and their applications as an alternative antibacterial and antioxidant agents. *Mater Sci Eng C*. 2020;112:1-7.
32. Thang PN, Hung LX, Thuan DN, Yen NH, Hien NTT, Hanh VTH, et al. Temperature-dependent Raman investigation and photoluminescence of graphene quantum dots with and without nitrogen-doping. *J Mater Sci*. 2021;56(8):4979-4990.
33. Yadav P, Nishanthi ST, Purohit B, Shanavas A, Kailasam K. Metal free visible light photocatalytic carbon nitride quantum dots as efficient antibacterial agents: An insight study. *Carbon N Y*. 2019;152:587-597.
34. Ftekan AK, Alobaidi YM, Hamza AM. Antibacterial Activities of Carbon Quantum Dots Derived From Lemon Juice. *AIP Conf Proc*. 2022;2437:1-5.
35. Pandiyan S, Arumugam L, Srengan SP, Pitchan R, Sevugan P, Kannan K, et al. Biocompatible Carbon Quantum Dots Derived from Sugarcane Industrial Wastes for Effective Nonlinear Optical Behavior and Antimicrobial Activity Applications. *ACS Omega*. 2020;5(47):30363-30372.
36. Chatzimitakos T, Stalikas C. Antimicrobial properties of carbon quantum dots. *Nanotoxicity Prev Antibact Appl Nanomater*. 2020;301-315.