

**TÍN HIỆU VON-AMPE XUNG VI PHÂN CỦA RACTOPAMINE
TRÊN ĐIỆN CỰC THAN THỦY TINH BIẾN TÍNH
BẰNG CARBON CHẤM LƯỢNG TỬ**

**Đỗ Mai Nguyễn¹, Nguyễn Văn Hợp¹,
Nguyễn Lê Mỹ Linh², Trần Thanh Tâm Toàn^{3,*}**

¹Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

²Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế

³Trường Đại học Đông Á, Đà Nẵng

Email: toanttt@donga.edu.vn

Ngày nhận bài: 21/12/2023; ngày hoàn thành phản biện: 01/01/2024; ngày duyệt đăng: 12/01/2024

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, carbon chấm lượng tử đã được tổng hợp từ rơm rạ (rice straw carbon dots-RSCDs) bằng phương pháp thủy nhiệt và phân tích đặc trưng bằng phổ hồng ngoại FT-IR, quang phổ hấp thụ phân tử UV-Vis và phổ Raman. Bề mặt RSCDs có các nhóm chức hydroxyl (-OH) và carboxyl (-CO). RSCDs được dùng để biến tính bề mặt điện cực carbon thủy tinh với mục đích phát triển một cảm biến hóa học mới nhằm xác định ractopamine bằng phương pháp von-ampe xung vi phân (Differential pulse voltammetry - DPV). Tín hiệu cường độ dòng đỉnh DPV thu được lặp lại tốt và có quan hệ tuyến tính tốt với nồng độ của RTP trong khoảng 0,1 μM – 5,6 μM . Giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng xác định được bằng phương pháp 3 σ lần lượt là 0,029 μM và 0,087 μM . Kết quả ghi I_p của dung dịch RTP không thay đổi đáng kể giữa các lần biến tính điện cực GCE bằng RSCDs khác nhau.

Từ khóa: carbon chấm lượng tử, von-ampe xung vi phân, ractopamine.

1. MỞ ĐẦU

Ractopamine (RTP) là một phenethanolamine được sử dụng làm thuốc giảm đau, thuốc giãn phế quản và thuốc bổ tim trong y học cho người và động vật [1]. Trong khi đó, chất này lại được sử dụng trái phép làm chất dinh dưỡng, tái tạo mô để điều hướng chất dinh dưỡng từ tích tụ mỡ đến tạo cơ bắp [2]. Tuy nhiên, dư lượng thuốc tích trữ trong mô động vật có thể gây nguy cơ tiềm ẩn cho sức khỏe người tiêu dùng, chẳng hạn như gây run cơ bắp, nôn mửa, hồi hộp lo lắng và tăng nhịp tim [3]. Do đó, ractopamine không được cho phép sử dụng trong chăn nuôi ở nhiều nước, trong đó có Việt Nam.

Hiện nay, có nhiều phương pháp phân tích khác nhau được phát triển để phát hiện ractopamine trong thức ăn chăn nuôi, mô động vật và nước tiểu. Những phương pháp này bao gồm sắc ký lỏng – khối phổ [4], sắc ký khí – khối phổ [5], phân tích miễn dịch [6], sắc ký lỏng hiệu năng cao [7] và điện di mao quản [8]. Vì ractopamine có chứa các nhóm phenolic hydroxyl nên nó có hoạt tính điện hóa và có thể bị oxy hóa ở bề mặt điện cực. Vì vậy, có thể sử dụng phương pháp điện hóa để xác định RTP với chi phí thấp quy trình phân tích đơn giản, độ nhạy cao.

Kết quả nghiên cứu của Ni và cộng sự [9] cho thấy rằng quá trình oxi hóa ractopamine trên điện cực than thủy tinh (glassy carbon) liên quan đến phản ứng trao đổi 2 electron. Một số phương pháp phân tích điện hóa khác dựa trên vật liệu carbon ống đa tường (MWCNTs) và màng mỏng graphene oxide cũng đã được phát triển để phân tích ractopamine gần đây [10], [11].

Carbon chấm lượng tử (carbon dots – CDs) thường được sử dụng làm các chất biến tính bề mặt điện cực do có các tính chất đặc biệt như tan trong nước, tính độc thấp, cường độ phát xạ được đánh giá tốt và độ bền hóa học theo thời gian [12]. Cấu trúc của CDs bao gồm lõi carbon và một lớp bề mặt hoạt hóa chứa các nhóm chức chủ yếu như hydroxyl (-OH), carboxyl (-C=O) hay amine (-NH₂). Các nhóm chức này giúp cho việc liên kết với các phân tử khác như protein được dễ dàng hơn [13].

Cho đến nay đã có nhiều nghiên cứu sử dụng CDs để biến tính điện cực than nhão (carbon paste), than thủy tinh nhằm xác định một số chất hữu cơ như adrenaline, axit ascorbic, serotonin... và một số ion kim loại như Fe³⁺... nhưng chưa có công bố nào sử dụng CDs để biến tính điện cực với mục đích xác định RTP.

Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu bước đầu về tín hiệu von-ampe xung vi phân của RTP trên điện cực than thủy tinh biến tính bằng CDs tổng hợp từ rom rạ (ký hiệu là RSCDs). Các thông tin thu được từ nghiên cứu này cho phép đánh giá khả năng phát triển phương pháp điện hóa để xác định RTP trên cơ sở điện cực than thủy tinh biến tính bằng RSCDs.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

Các hóa chất được sử dụng trong thí nghiệm (ractopamine hydrochloride, Na₂HPO₄, NaH₂PO₄, NaOH) là hóa chất tinh khiết phân tích của hãng Merck (Đức). Các dung dịch đều được pha với nước cất hai lần (double-distilled water).

2.2. Thiết bị và dụng cụ

Hình thái vật liệu được đo bằng kính hiển vi Raman (Raman microscopy) – XploRA Plus Horiba – Mỹ, phổ hồng ngoại FTIR được đo bằng máy Shimadzu IR

Prestige-21 (Nhật Bản) tần số trong khoảng $4000 - 500 \text{ cm}^{-1}$, phổ hấp thụ phân tử UV-Vis được đo bằng máy DR6000 (HACH, Đức).

Thí nghiệm điện hóa được thực hiện trên thiết bị CPA-HH5 Computerized Polarography Analyzer (Việt Nam). Hệ điện cực gồm 3 điện cực: điện cực làm việc (than thủy tinh - GCE) đường kính $2,8 \pm 0,1 \text{ mm}$; điện cực so sánh (Ag/AgCl/KCl 3 M) và điện cực đối (than Pt).

2.3. Tổng hợp carbon chấm lượng tử từ rơm rạ

Carbon chấm lượng tử RSCDs được tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt. Rơm rạ được rửa với nước cất nhiều lần, sau đó sấy khô ở nhiệt độ 80°C và cắt nhỏ. Cân $1,0 \text{ g}$ rơm rạ đã cắt nhỏ phân tán vào 50 mL nước cất hai lần, khuấy đều trong 15 phút trước khi chuyển hỗn hợp này vào bình phân hủy mẫu (sample digestion vessel) thể tích 100 mL (có vỏ làm bằng thép không gỉ). Thực hiện phương pháp thủy nhiệt bằng tủ sấy ở nhiệt độ 180°C trong 24 giờ. Sau đó hỗn hợp phản ứng được để nguội tự nhiên đến nhiệt độ phòng. Chuyển hỗn hợp vào ống ly tâm thể tích 15 mL , ly tâm với tốc độ 4000 vòng/phút trong thời gian 15 phút. Loại bỏ phần rắn, dung dịch thu được có màu vàng nhạt là dung dịch carbon chấm lượng tử (RSCDs) [14].

2.4. Chuẩn bị điện cực biến tính RSCDs/GCE

Bề mặt điện cực GCE được mài và đánh bóng bằng bột nhôm oxit (Al_2O_3) (kích thước hạt $0,05 \mu\text{m}$), sau đó được làm sạch bằng cách ngâm trong dung dịch HNO_3 (tỉ lệ 1:2) trong 4-6 giờ và rửa lại bằng nước cất hai lần trước khi sử dụng. Tiếp tục làm sạch bề mặt điện cực nhờ sóng siêu âm trong hỗn hợp ethanol : nước (1:1, v/v). Bề mặt điện cực GCE được sấy khô dưới nguồn nhiệt từ bóng đèn vonfram (40°C).

Phân tán 10 mg RSCDs trong 10 mL nước cất hai lần trong bể siêu âm khoảng 24 giờ. Sau đó thêm $50 \mu\text{L}$ Nafion 1 % (trong ethanol) vào $1,0 \text{ mL}$ RSCDs 1 mg/mL thu được dung dịch đồng nhất A. Nafion được dùng như chất kết dính vật liệu để biến tính bề mặt điện cực GCE [15]. Điện cực GCE được biến tính bằng cách nhỏ giọt $10 \mu\text{L}$ dung dịch A lên bề mặt điện cực và làm khô ở nhiệt độ phòng. Điện cực GCE được biến tính bởi RSCDs được ký hiệu là RSCDs/GCE.

2.5. Phương pháp von-ampe xung vi phân

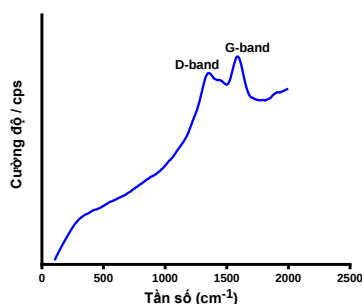
Nghiên cứu này sử dụng phương pháp von-ampe xung vi phân với các thông số đo như sau: khoảng quét thế từ $+0,4$ đến $+1,2 \text{ V}$, biên độ xung vi phân $0,06 \text{ V}$, tốc độ quét thế 20 mV/s , thời gian mỗi bước thế $0,3 \text{ s}$, Bước nhảy thế $0,006 \text{ V}$, thời gian làm giàu 0 s .

2.5. Phương pháp phân tích đặc trưng vật liệu

Vật liệu RSCDs tổng hợp được phân tích đặc trưng bằng các phương pháp phổ Ramam, phổ hấp thụ phân tử UV-Vis và phổ FTIR.

3. KẾT QUẢ THẢO LUẬN

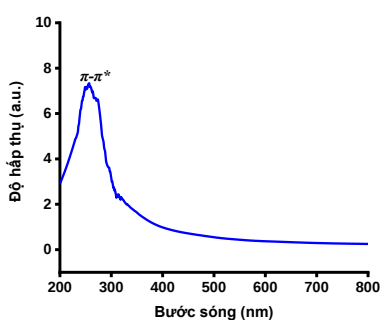
3.1. Phân tích đặc trưng vật liệu



Hình 1. Phổ Raman của RSCDs.

Vật liệu RSCDs tổng hợp được được đặc trưng bởi phương pháp quang phổ Raman, phổ thu được được trình bày trong hình 1. Trong phổ Raman có thể thấy rõ ràng hai đỉnh tại 1347 cm^{-1} và 1590 cm^{-1} , chúng được gọi lần lượt là D-band (có cường độ là I_D) và G-band (có cường độ là I_G). Tỷ lệ cường độ I_D/I_G biểu thị độ mất trật tự [16]. Đối với RSCDs tổng hợp được tỷ số I_D/I_G xác định được là 0,5, cho thấy RSCDs có lớp graphite khá tốt, đủ để bảo vệ tốt vật liệu khỏi sự ăn mòn và oxi hóa [17]. Điều này cho thấy đã tổng hợp thành công được RSCDs.

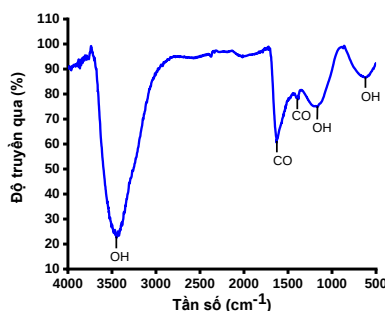
Phương pháp quang phổ hấp thụ tử ngoại khả kiến (UV-Vis) được sử dụng để nghiên cứu tính chất quang của vật liệu RSCDs tổng hợp được. Hình 2 trình bày phổ hấp thụ phân tử của vật liệu RSCDs ở bước sóng từ 200 nm đến 800 nm. Sự hấp thụ xảy ra ở khoảng 253 nm do sự dịch chuyển năng lượng $\pi-\pi^*$ ứng với của liên kết C=C [18], [19].



Hình 2. Phổ hấp thụ phân tử UV Vis của CDs từ rom rạ.

Các nhóm chức của RSCDs được đặc trưng bởi phương pháp quang phổ hồng ngoại, Fourier-transform infrared spectroscopy-FTIR. Hình 3 là kết quả đo phổ FTIR của vật liệu RSCDs, các peak hấp thụ ở 3442 cm^{-1} , 1166 cm^{-1} và 621 cm^{-1} gây ra bởi dao động dài của nhóm OH-, chỉ ra rằng sự tồn tại của nước bị hấp thụ lên bề mặt của RSCDs [20]. Các peak tương ứng ở 1629 cm^{-1} , 1382 cm^{-1} gây ra bởi dao động dài của các nhóm đối

xúng và bất đối xứng C=O [21], [22]. Kết quả FTIR cho thấy sự có mặt của các nhóm chức hydroxyl (-OH) và carboxyl (-CO) trên bề mặt của RSCDs. Điều này cho thấy khả năng phân tán tốt của RSCDs trong nước Từ những kết quả đặc trưng vật liệu cho thấy RSCDs đã được tổng hợp thành công.

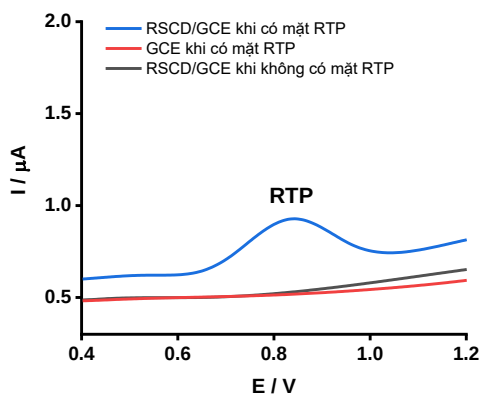


Hình 3. Phổ FTIR của RSCDs.

3.2. Xác định ractopamine bằng phương pháp điện hóa

3.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của việc biến tính điện cực đến tín hiệu von-ampe của RTP

Để khẳng định hoạt tính điện hóa của vật liệu RSCDs đối với chất phân tích RTP, các thí nghiệm được thực hiện trên các điện cực GCE và RSCD/GCE sử dụng phương pháp DPV trong khoảng quét thế từ +0,4 đến +1,2 V, với biên độ xung vi phân 0,06 V, tốc độ quét thế là 20 mV/s, thời gian mỗi bước thế 0,3 s, bước nhảy thế 0,006 V. Đường von-ampe xung vi phân của dung dịch RTP 0,8 μ M trên điện cực RSCDs/GCE trình bày ở hình 4 cho thấy đỉnh oxy hóa RTP (E_p) xuất hiện ở thế +0,84 V. Đỉnh oxy hóa này không xuất hiện trên các đường DPV của dung dịch RTP 0,8 μ M khi dùng điện cực GCE cũng như đường DPV của dung dịch không có RTP khi dùng điện cực RSCDs/GCE. Điều này chứng tỏ rằng chỉ có thể ghi được đỉnh oxy hóa của RTP trên điện cực GCE đã được biến tính bằng RSCDs. Do đó, điện cực GCE biến tính bởi RSCDs được dùng để ghi tín hiệu DPV của RTP trong các thí nghiệm tiếp theo.

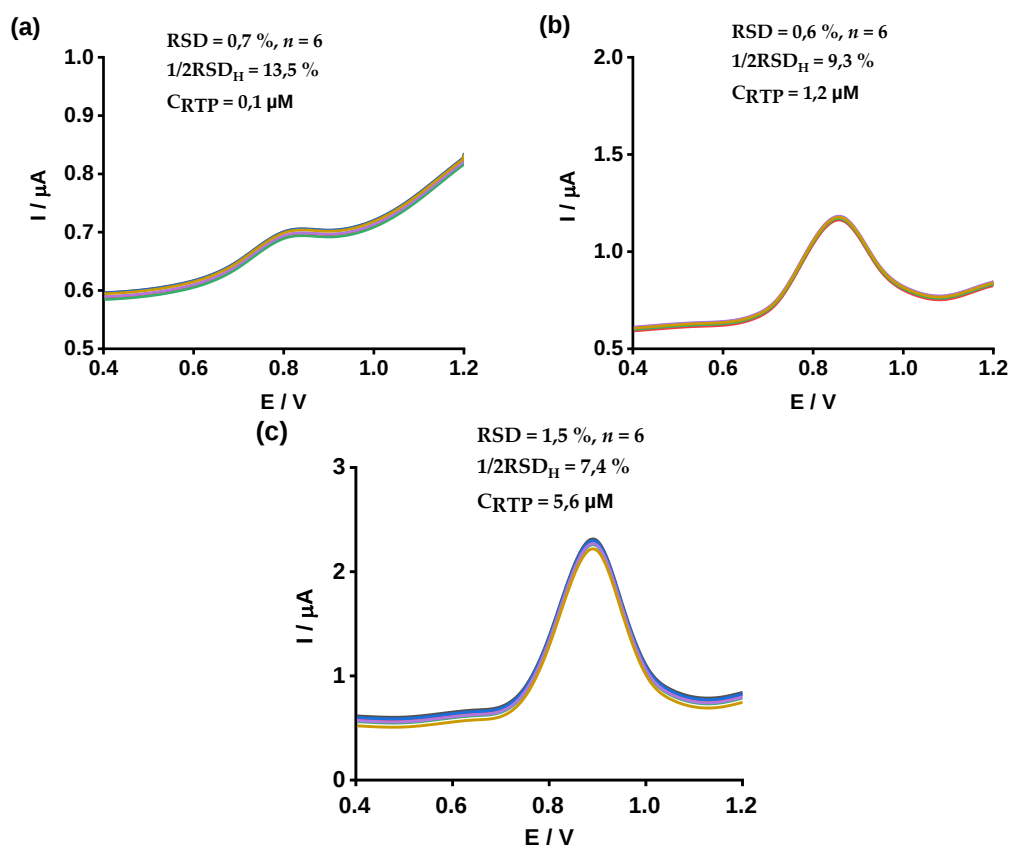


Hình 4. Đường DPV của RTP đối với các loại điện cực khác nhau.

Điều kiện thí nghiệm (ĐKTN): RTP 0,8 μM , dung dịch đệm PBS 0,2 M (pH = 7,0), quét thế từ +0,4 V đến +1,2 V, biên độ xung vi phân: 0,06 V, tốc độ quét thế: 20 mV/s, thời gian mỗi bước thế: 0,3 s, Bước nhảy thế: 0,006 V.

3.2.2. Độ lặp lại của tín hiệu DPV

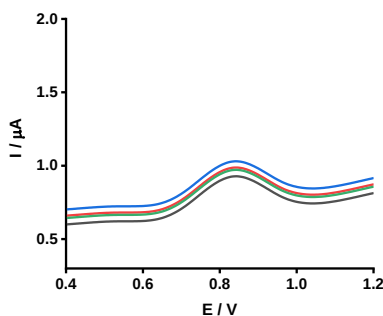
Độ lặp lại của tín hiệu DPV của dung dịch RTP trên RSCDs/GCE được đánh giá bằng cách ghi lặp lại ($n = 6$) cường độ dòng đỉnh oxy hóa (I_p) của các dung dịch RTP ở các mức nồng độ khác nhau 0,1 μM , 1,2 μM và 5,6 μM trong nền dung dịch đệm PBS 0,2 M có pH = 7,0. Kết quả được trình bày ở hình 5. Giá trị RSD(%) của tín hiệu dòng đỉnh RTP ở các mức nồng độ đã nêu trên lần lượt là 0,7 %, 0,6 % và 1,5 %. Các giá trị RSD thu được đều nhỏ hơn $\frac{1}{2} \cdot \text{RSD}_H$ (13,5 %, 9,3 %, 7,4 % lần lượt tại nồng độ RTP 0,1; 1,2; 5,6 μM) [23]. Điều này cho thấy tín hiệu dòng đỉnh DPV của RTP ghi được trên điện cực RSCDs có độ lặp lại tốt.



Hình 5. Các đường DPV của RTP ở ba nồng độ khác nhau: (a) 0,1 μM ; (b) 1,2 μM ; (c) 5,6 μM trong dung dịch đệm PBS 0,2 M (pH = 7,0).

ĐKTN: quét thế từ +0,4 V đến +1,2 V, biên độ xung vi phân: 0,06 V, tốc độ quét thế: 20 mV/s, thời gian mỗi bước thế: 0,3 s, Bước nhảy thế: 0,006 V, thời gian làm giàu 0 s.

3.2.3. Độ tái lập của tín hiệu DPV trên các điện cực biến tính khác nhau



Hình 6. Các đường DPV của RTP ghi trên các điện cực GCE được biến tính cùng một kỹ thuật với RSCDs.

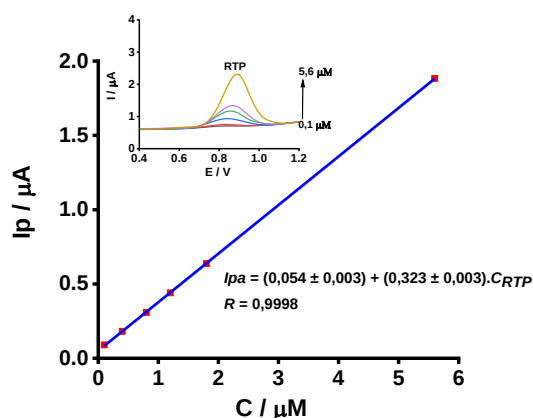
ĐKTN: quét thế từ +0,4 V đến +1,2 V, biên độ xung vi phân: 0,06 V, tốc độ quét thế: 20 mV/s, thời gian mỗi bước thế: 0,3 s, Bước nhảy thế: 0,006 V, thời gian làm giàu 0 s.

Để đánh giá độ tái lập của tín hiệu DPV của RTP với các lần biến tính điện cực khác nhau, đã tiến hành thí nghiệm ghi I_p của dung dịch RTP 0,8 μM trong dung dịch đệm PBS 0,2 M trên cùng một điện cực GCE được biến tính lặp lại bốn lần khác nhau bằng RSCDs (hình 6).

Độ tái lập của tín hiệu I_p trên các điện cực RSCDs/GCE đã nêu được đánh giá thông qua việc so sánh giá trị RSD % của các I_p ghi được ($n = 4$) với $\frac{1}{2} \cdot \text{RSD}_H$ xác định ở mức nồng độ RTP đang khảo sát. Kết quả thí nghiệm cho thấy giá trị RSD % xác định được là 4,3 % nhỏ hơn $\frac{1}{2} \cdot \text{RSD}_H$ tính toán được là 9,9% [23], [24]. Kết quả thí nghiệm này cho thấy tín hiệu I_p của dung dịch RTP ghi được có độ tái lập tốt trên các điện cực GCE được biến tính bằng phương pháp biến tính với RSCDs như đã nêu trong mục 2.4.

3.2.4. Quan hệ tuyến tính, độ nhạy, giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng

Để đánh giá sơ bộ quan hệ tuyến tính giữa tín hiệu I_p trên điện cực RSCDs/GCE với nồng độ của RTP, đã tiến hành ghi I_p của các dung dịch RTP có các nồng độ tăng dần từ 0,1 μM đến 5,6 μM . Kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 1 và Hình 7.



Hình 7. Cường độ I_p của các dung dịch RTP có nồng độ khác nhau trên RSCDs/GCE và các đường DPV của các dung dịch RTP này (inset).

ĐKTN: quét thế từ +0,4 V đến +1,2 V, biên độ xung vi phân: 0,06 V, tốc độ quét thế: 20 mV/s, thời gian mỗi bước thế: 0,3 s, Bước nhảy thế: 0,006 V, thời gian làm giàu 0 s.

Bảng 1. Cường độ I_p của các dung dịch RTP có nồng độ khác nhau trên RSCDs/GCE.

C_{RTM} (μM)	0,1	0,4	0,8	1,2	1,8	5,6
I_p (μA , $n = 3$)	0,09	0,18	0,31	0,44	0,64	1,88

(ĐKTN: quét thế từ +0,4 V đến +1,2 V, biên độ xung vi phân: 0,06 V, tốc độ quét thế: 20 mV/s, thời gian mỗi bước thế: 0,3 s, Bước nhảy thế: 0,006 V, thời gian làm giàu 0 s.)

Kết quả thí nghiệm cho thấy, trong khoảng nồng độ từ 0,1 μM đến 5,6 μM , tín hiệu I_p ghi trên RSCDs/GCE có quan hệ tuyến tính tốt với nồng độ của RTP. Độ nhạy của phép đo I_p chính là hệ số góc thu được trong phương trình hồi quy tuyến tính I_p - C_{RTP} . Giá trị độ nhạy xác định được là 0,3230 $\mu\text{A}/\mu\text{M}$.

Áp dụng quy tắc 3 σ với các số liệu thí nghiệm thu được của các dung dịch RTP có nồng độ từ 0,1 μM đến 1,2 μM có thể xác định được giới hạn phát hiện (limit of detection – LOD) và giới hạn định lượng (limit of quantification – LOQ) của phép đo tín hiệu DPV của dung dịch RTP trên RSCDs/GCE lần lượt là 0,029 μM và 0,087 μM .

4. KẾT LUẬN

Có thể tổng hợp được CDs từ nguồn nguyên liệu là rom rạ bằng phương pháp thủy nhiệt với quy trình đơn giản, chi phí thấp. Điện cực GCE biến tính bằng vật liệu CDs vừa tổng hợp được cho phép ghi được tín hiệu DPV của dung dịch RTP với độ lặp lại tốt, độ nhạy cao. Tín hiệu I_p và nồng độ của RTP có quan hệ tuyến tính tốt trong khoảng nồng độ từ 0,1 μM đến 5,6 μM . Giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng của phép đo I_p lần lượt là 0,029 μM và 0,087 μM . I_p của dung dịch RTP ghi được trên các GCE biến tính trong các lần khác nhau có độ tái lặp tốt.

Các kết quả khảo sát sơ bộ này cho phép tiếp tục nghiên cứu chi tiết hơn để phát triển phương pháp DPV dùng để định lượng RTP bằng điện cực RSCDs/GCE.

LỜI CẢM ƠN

Đỗ Mai Nguyễn được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2023.TS.079

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] X. Lu *et al.*, "Detection of ractopamine residues in pork by surface plasmon resonance-based biosensor inhibition immunoassay," *Food Chem.*, vol. 130, no. 4, pp. 1061–1065, 2012.
- [2] J.-X. Dong *et al.*, "Development of a single-chain variable fragment-alkaline phosphatase fusion protein and a sensitive direct competitive chemiluminescent enzyme immunoassay for detection of ractopamine in pork," *Anal. Chim. Acta*, vol. 736, pp. 85–91, 2012.
- [3] D. D. Boler *et al.*, "Effect of ractopamine hydrochloride (Optaflexx) dose on live animal performance, carcass characteristics and tenderness in early weaned beef steers," *Meat Sci.*, vol. 92, no. 4, pp. 458–463, 2012.
- [4] J. Blanca *et al.*, "Determination of clenbuterol, ractopamine and zilpaterol in liver and urine by liquid chromatography tandem mass spectrometry," *Anal. Chim. Acta*, vol. 529, no. 1–2, pp. 199–205, 2005.
- [5] L. He, Y. Su, Z. Zeng, Y. Liu, and X. Huang, "Determination of ractopamine and clenbuterol in feeds by gas chromatography–mass spectrometry," *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol. 132, no. 3–4, pp. 316–323, 2007.
- [6] J. Pleadin, N. Perši, A. Vulić, D. Milić, and N. Vahčić, "Determination of residual ractopamine concentrations by enzyme immunoassay in treated pig's tissues on days after withdrawal," *Meat Sci.*, vol. 90, no. 3, pp. 755–758, 2012.
- [7] M. P. Turberg, J. M. Rodewald, and M. R. Coleman, "Determination of ractopamine in monkey plasma and swine serum by high-performance liquid chromatography with electrochemical detection," *J. Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl.*, vol. 675, no. 2, pp. 279–285, 1996.
- [8] W. Wang, Y. Zhang, J. Wang, X. Shi, and J. Ye, "Determination of β -agonists in pig feed, pig urine and pig liver using capillary electrophoresis with electrochemical detection," *Meat Sci.*, vol. 85, no. 2, pp. 302–305, 2010.
- [9] Y. Ni, Y. Wang, and S. Kokot, "Voltammetric, UV–vis spectrometric and fluorescence study of the interaction of ractopamine and DNA with the aid of multivariate curve resolution-alternating least squares," *Electroanalysis*, vol. 22, no. 19, pp. 2216–2224, 2010.
- [10] A. Lomae, S. Nantaphol, T. Kondo, O. Chailapakul, W. Siangproh, and J. Panchompoo, "Simultaneous determination of β -agonists by UHPLC coupled with electrochemical detection based on palladium nanoparticles modified BDD electrode," *J. Electroanal. Chem.*, vol. 840, no. January, pp. 439–448, 2019, doi: 10.1016/j.jelechem.2019.04.003.

- [11] Z. Liu, Y. Zhou, Y. Wang, Q. Cheng, and K. Wu, "Enhanced oxidation and detection of toxic ractopamine using carbon nanotube film-modified electrode," *Electrochim. Acta*, vol. 74, pp. 139–144, 2012.
- [12] M. Bonet-San-Emeterio, M. Algarra, M. Petković, and M. Del Valle, "Modification of electrodes with N-and S-doped carbon dots. Evaluation of the electrochemical response," *Talanta*, vol. 212, p. 120806, 2020.
- [13] X. Ding, Y. Niu, G. Zhang, Y. Xu, and J. Li, "Electrochemistry in carbon-based quantum dots," *Chem. Asian J.*, vol. 15, no. 8, pp. 1214–1224, 2020.
- [14] N.-A. Nguyen *et al.*, "Au/Cdot-Nanohybrid Electrocatalyst Synthesized by Rice-Straw-Derived Carbon Dots as a Reducing Agent for Improved Hydrogen Evolution Reactions," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 168, no. 4, p. 044509, 2021, doi: 10.1149/1945-7111/abf267.
- [15] J. Li *et al.*, "Synthesis of a manganese dioxide nanorod-anchored graphene oxide composite for highly sensitive electrochemical sensing of dopamine," *Analyst*, vol. 145, no. 9, pp. 3283–3288, 2020.
- [16] Y. Y. Wang *et al.*, "Raman studies of monolayer graphene: the substrate effect," *J. Phys. Chem. C*, vol. 112, no. 29, pp. 10637–10640, 2008.
- [17] R. Atchudan, T. N. J. I. Edison, D. Chakradhar, S. Perumal, J.-J. Shim, and Y. R. Lee, "Facile green synthesis of nitrogen-doped carbon dots using Chionanthus retusus fruit extract and investigation of their suitability for metal ion sensing and biological applications," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 246, pp. 497–509, 2017.
- [18] S. Chandra, D. Laha, A. Pramanik, A. Ray Chowdhuri, P. Karmakar, and S. K. Sahu, "Synthesis of highly fluorescent nitrogen and phosphorus doped carbon dots for the detection of Fe³⁺ ions in cancer cells," *Luminescence*, vol. 31, no. 1, pp. 81–87, 2016.
- [19] C. Zheng, L. Huang, Q. Guo, W. Chen, W. Li, and H. Wang, "Facile one-step fabrication of upconversion fluorescence carbon quantum dots anchored on graphene with enhanced nonlinear optical responses," *RSC Adv.*, vol. 8, no. 19, pp. 10267–10276, 2018.
- [20] T. A. Tabish, F. A. Memon, D. E. Gomez, D. W. Horsell, and S. Zhang, "A facile synthesis of porous graphene for efficient water and wastewater treatment," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, p. 1817, 2018.
- [21] P. Jin, J. Song, X. C. Wang, and X. Jin, "Two-dimensional correlation spectroscopic analysis on the interaction between humic acids and aluminum coagulant," *J. Environ. Sci.*, vol. 64, pp. 181–189, 2018.
- [22] S. Suresh, S. Karthikeyan, and K. Jayamoorthy, "FTIR and multivariate analysis to study the effect of bulk and nano copper oxide on peanut plant leaves," *J. Sci. Adv. Mater. Devices*, vol. 1, no. 3, pp. 343–350, 2016.
- [23] L. R. Feldstein *et al.*, "Multisystem inflammatory syndrome in US children and adolescents," *N. Engl. J. Med.*, vol. 383, no. 4, pp. 334–346, 2020.
- [24] I. Taverniers, M. De Loose, and E. Van Bockstaele, "Trends in quality in the analytical laboratory. II. Analytical method validation and quality assurance," *TrAC Trends Anal. Chem.*, vol. 23, no. 8, pp. 535–552, Sep. 2004, doi: 10.1016/j.trac.2004.04.001.

OPTIMIZATION OF VARIOUS ELECTROCHEMICAL PARAMETERS FOR DETERMINING RACTOPAMINE BY CARBON QUANTUM DOTS MODIFIED ELECTRODE

Do Mai Nguyen¹, Nguyen Van Hop¹,
Nguyen Le My Linh², Tran Thanh Tam Toan^{3,*}

¹University of Sciences, Hue University

²University of Education, Hue University

³Dong A University, Da Nang

*Email: toanttt@donga.edu.vn

ABSTRACT

This study synthesized carbon quantum dots from rice straw (rice straw carbon dots – RSCDs) using the hydrothermal method and characterized by FT-IR infrared spectroscopy, UV-Vis molecular absorption spectroscopy, and Raman spectra. The surface of RSCDs has hydroxyl (-OH) and carboxyl (-CO) functional groups. RSCDs were used to modify the glassy carbon electrode surface to develop a new chemical sensor to determine ractopamine using differential pulse voltammetry (DPV). The DPV peak current signal was obtained with good repeatability and a good linear relationship with the concentration of RTP in the range of 0.1 μM – 5.6 μM . The limit of detection and limit of quantification determined by the 3σ method were 0.029 μM and 0.087 μM , respectively. The I_p recording results of the RTP solution did not change significantly between GCE modifications with RSCDs.

Keywords: carbon quantum dots, electrochemistry method, ractopamine.



Đỗ Mai Nguyễn sinh ngày 02/07/1997 tại Quảng Ngãi. Ông tốt nghiệp Cử nhân Sư phạm chuyên ngành Hóa học năm 2020 tại Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế; tốt nghiệp Thạc sĩ chuyên ngành Hóa học năm 2023 tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế. Ông hiện tại đang là Nghiên cứu sinh chuyên ngành Hóa phân tích tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: vật liệu điện hóa, phân tích điện hóa.



Nguyễn Văn Hợp sinh ngày 02/02/1956 tại Nghệ An. Ông tốt nghiệp cử nhân chuyên ngành Hóa Vô cơ tại Đại học Tổng hợp Hà Nội vào năm 1977. Năm 2001, ông nhận học vị tiến sĩ chuyên ngành Hóa Phân tích tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc gia Hà Nội. Năm 2005, ông nhận học hàm phó giáo sư tại Việt Nam. Ông hiện đang là giảng viên cao cấp, Khoa Hóa – Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Phát triển phương pháp điện hóa phân tích lượng vết các kim loại độc trong môi trường; Phân tích và đánh giá các kim loại độc và dư lượng hóa chất bảo vệ thực vật trong môi trường; Phân tích và đánh giá chất lượng nước, các nguồn ô nhiễm nước.



Nguyễn Lê Mỹ Linh sinh ngày 30/09/1981 tại Thành phố Huế. Bà tốt nghiệp Cử nhân Sư phạm chuyên ngành Hóa học năm 2003 tại Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế; tốt nghiệp Thạc sĩ chuyên ngành Hóa học năm 2008 tại Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế; tốt nghiệp Tiến sĩ chuyên ngành Hóa lý thuyết và Hóa lý năm 2017 tại Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế. Hiện bà là giảng viên khoa Hóa học, Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Vật liệu nano, xúc tác, hấp phụ, điện hóa.



Trần Thanh Tâm Toàn sinh ngày 25/04/1991 tại tỉnh Thừa Thiên Huế. Ông tốt nghiệp Cử nhân chuyên ngành Hóa học năm 2013 tại Trường Đại học Khoa học Huế, tốt nghiệp Thạc sĩ chuyên ngành Hóa học năm 2015 tại Trường Đại học Khoa học Huế, tốt nghiệp Tiến sĩ chuyên ngành Hóa học năm 2021 tại Trường Đại học Khoa học Huế. Hiện ông là Giảng viên trường Đại học Đông Á.

Lĩnh vực nghiên cứu: vật liệu xúc tác, vật liệu điện hóa, phân tích điện hóa.