

ĐẠI HỌC HUẾ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC

NGUYỄN PHƯỚC NHÂN

NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP, ỨNG DỤNG
CHẤM LƯỢNG TỬ CARBON VÀ PHÂN BÓN NANO
PHOSPHORUS TỬ THAN BÙN
TẠI THÀNH PHỐ HUẾ

TÓM TẮT
LUẬN ÁN TIẾN SĨ HÓA HỌC

HUẾ - NĂM 2026

ĐẠI HỌC HUẾ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC

NGUYỄN PHƯỚC NHÂN

NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP, ỨNG DỤNG
CHẤM LƯỢNG TỬ CARBON VÀ PHÂN BÓN NANO
PHOSPHORUS TỪ THAN BÙN
TẠI THÀNH PHỐ HUẾ

Ngành: Hóa Lý thuyết và Hóa lý
Mã số: 9440119

TÓM TẮT
LUẬN ÁN TIẾN SỸ HÓA HỌC

Người hướng dẫn khoa học:

1. GS.TS. ĐINH QUANG KHIẾU
2. PGS.TS. NGUYỄN HẢI PHONG

HUẾ - NĂM 2026

ĐẶT VẤN ĐỀ

Than bùn là một loại trầm tích hữu cơ tích lũy tại tầng mặt đất, hình thành chủ yếu từ quá trình phân hủy không hoàn toàn của tàn dư thực vật dưới điều kiện yếm khí kéo dài. Loại vật chất này thường phân bố ở các hệ sinh thái ngập nước như đầm lầy, vùng đất trũng hay các bãi than bùn. Các mẫu than bùn có đặc trưng cấu trúc mềm, toi xốp và mịn; mức độ phân giải hữu cơ gia tăng theo độ sâu khai thác, phản ánh quá trình biến đổi vật chất hữu cơ dưới tác động của thời gian và môi trường khử oxy. Nhờ giàu thành phần hữu cơ (humic acid, fulvic acid, lignin, cellulose, phenolic...).

P vừa là nguyên tố cần thiết đối với cây trồng, nhưng đồng thời lại là nguyên tố gây ô nhiễm nguồn nước mặt khi bị rửa trôi vào các thủy vực. Hầu hết (95-99%) lượng P trong đất nhiệt đới tồn tại dưới dạng P hữu cơ và vô cơ, chúng được giải phóng hòa tan vào dung dịch đất rất chậm [3]. 1-5% lượng P còn lại nằm ở các phức hợp hữu cơ khoáng khi các nhóm humic và fulvic liên kết chặt chẽ với các hợp chất sắt hoặc nhôm trong đất [4].

Trong luận án này chúng tôi chọn đề tài: ***“Nghiên cứu tổng hợp, ứng dụng chấm lượng tử carbon và phân bón nano phosphorus từ than bùn tại thành phố Huế”***, mục tiêu đặt ra là phát triển hai hướng ứng dụng song song từ than bùn: (i) điều chế carbon chấm lượng tử (CQDs) cho các ứng dụng trong phân tích điện hóa; và (ii) điều chế phân bón nano kết hợp dịch chiết than bùn với phosphorus dạng nano, ứng dụng cho cây dưa lưới và cây lạc. Nghiên cứu không chỉ góp phần khai thác hiệu quả nguồn tài nguyên tự nhiên sẵn có mà còn hướng đến các giải pháp bền vững trong nông nghiệp và kỹ thuật phân tích hiện đại.

Cấu trúc của Luận án gồm:

- Đặt vấn đề;
- Chương 1: Tổng quan tài liệu;
- Chương 2: Mục tiêu, nội dung và phương pháp nghiên cứu;
- Chương 3: Kết quả và thảo luận;
- Kết luận;
- Danh mục các công trình công bố liên quan đến luận án;
- Tài liệu tham khảo.

Chương 1

TỔNG QUAN TÀI LIỆU

1.1. THAN BÙN

1.1.1. Tổng quan than bùn

Than bùn là một loại trầm tích hữu cơ tích lũy ở tầng mặt đất, được hình thành chủ yếu từ quá trình phân hủy không hoàn toàn các tàn dư thực vật dưới điều kiện yếm khí kéo dài, thường gặp ở các hệ sinh thái ngập nước như đầm lầy, vùng đất trũng, hoặc bãi than bùn.



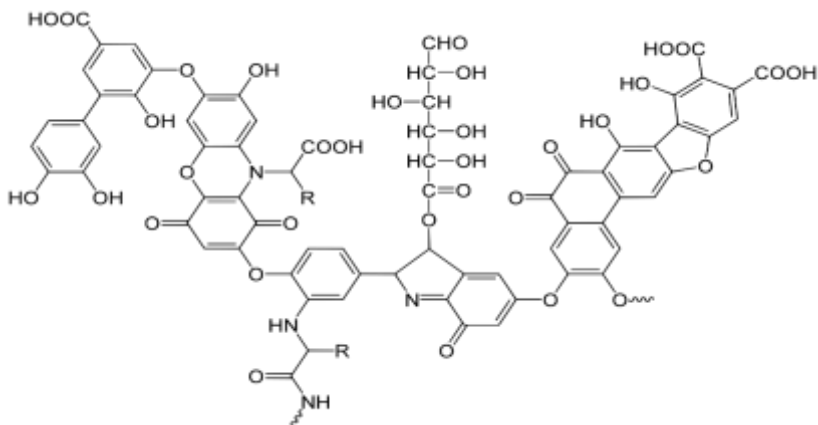
Hình 1.1. Khảo sát mỏ than bùn tại phường Phong Quang, Tp Huế

1.1.2. Tính chất vật lý và hóa học của than bùn

Than bùn chứa khoảng 65% là các chất hữu cơ được phân hủy từ xác thực vật; Chứa humic acid và fulvic acid có vai trò quan trọng cho sự phát triển tốt của cây, humic acid và mùn tạo nên màu sắc đặc trưng từ nâu đậm đến đen cho than bùn. Thành phần hóa học của than bùn khá phong phú, gồm các nguyên tố khoáng khác nhau, thông thường là C, H, N, O, S. Ngoài ra, chứa các chất trung - vi lượng khác như: Fe, Si, Ca, Mg, K,...

1.1.3. Humic acid

Humic acid là một thành phần chính của các chất mùn, đó là những hợp chất hữu cơ nền tảng cấu tạo nên đất màu mỡ, duy trì và tăng độ phì nhiêu cho đất. Bổ sung thêm humic acid giúp đất tăng khả năng giữ chất dinh dưỡng, giữ nước. Bên cạnh đó humic acid còn là nguồn thức ăn cho các sinh vật có lợi trong đất, giúp đất phân giải các chất hữu cơ.



Hình 1.2. Minh họa về một humic acid điển hình, có một loạt các thành phần như quinon, phenol, catechol và các nửa đường

1.1.4. Các ứng dụng của than bùn hiện nay

1.2. CARBON CHẤM LƯỢNG TỬ (CQDS) VÀ ỨNG DỤNG PHÁT TRIỂN ĐIỆN CỰC ĐỂ PHÂN TÍCH ĐIỆN HÓA

1.2.1. Nguyên lý phân tích điện hóa

1.2.2. Tổng hợp CQDs

1.2.3. Ứng dụng CQDs để phát triển điện cực phân tích Theophylline

1.3. TỔNG QUAN VỀ PHÂN BÓN NANO

1.3.1. Khái niệm và đặc điểm

1.3.2. Phân lân nano

1.4. GIỚI THIỆU VỀ CÂY DƯA LƯỚI VÀ CÂY LẠC

1.4.1. Dưa lưới (*Cucumis melo* L.)

1.4.2. Cây lạc hay đậu phộng (*Arachis hypogaea* L.)

Chương 2

MỤC TIÊU, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. MỤC TIÊU

Tổng hợp được một số vật liệu trên cơ sở than bùn thành phổ Huế giá trị ứng dụng trong phân tích điện hóa và nông nghiệp

2.2. NỘI DUNG

- Nghiên cứu tổng hợp carbon chấm lượng tử từ than bùn tự nhiên và ứng dụng biến tính điện cực xác định Theophylline.

- Nghiên cứu tổng hợp hệ phân tán nano hữu cơ từ than bùn và xương động vật.

- Ứng dụng làm phân lân nano hữu cơ cho cây dưa lưới và cây lạc.

2.3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.3.1. Phổ hấp thụ tử ngoại - khả kiến

2.3.2. Hiển vi điện tử quét

2.3.3. Nhiễu xạ tia X

2.3.4. Đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp phụ nitrogen

2.3.5. Phổ tán sắc năng lượng tia X

2.3.6. Phổ tán xạ Raman

2.3.7. Hiển vi điện tử truyền qua

2.3.8. Quang phổ huỳnh quang

2.3.9. Phương pháp voltametry hòa tan

2.4. THỰC NGHIỆM

2.4.1. Hóa chất

2.4.2. Điều chế carbon chấm lượng tử từ than bùn và ứng dụng phát triển điện cực phân tích theophylline trong dược phẩm

2.4.3. Điều chế Hydroapatite Nanoparticles (HANPs), Humic Acid Extracts (HEs), Water Soluble Chitosan (WSC) và Phân bón nano-P và ứng dụng làm phân lân cho cây dưa lưới và cây lạc

2.4.3.1. Điều chế HANPs, HEs, WSC và Phân bón nano-P

Xương bò sạch được sấy khô qua đêm trong lò ở 80 °C. Xương khô, được nghiền thành kích thước hạt trong phạm vi vài trăm mm, được đặt trong một chén sứ có nắp đậy và được nung (calcined) trong 3 giờ ở các nhiệt độ khác nhau (300, 500, 650, và 800 °C). Chất rắn thu được đã được nghiền để lấy các bột mịn HANPs (ký hiệu là CB - xương bò ban đầu, CB-300, CB-500, CB-650, và CB-800, trong đó con số biểu thị nhiệt độ nung).

Các HEs (dịch chiết humic) đã được chiết xuất từ than bùn sử dụng một phương pháp chiết kiềm đã được điều chỉnh (modified alkali extraction method), như đã được mô tả bởi Zhang và cộng sự.^[26] Tóm tắt: 10 g than bùn thô được hòa tan trong 200 mL dung dịch KOH 0.1 M. Hỗn hợp được khuấy bằng máy khuấy từ. Các HEs trong huyền phù đã được tách khỏi phần rắn (gồm humin và tạp chất vô cơ) bằng phương pháp ly tâm (centrifugation). Huyền phù này được ký hiệu là HEs.

WSC (Chitosan tan trong nước) đã được chuẩn bị theo hướng dẫn. Cân 2 g chitosan và sau đó thêm 2.5 mL acid lactic và 2.5 mL H₂O₂ (Hydrogen peroxide). Đưa tổng thể tích lên 100 mL. Khuấy trong 3 giờ và để yên trong 7 ngày để thu được WSC (Chitosan tan trong nước) ở nồng độ 20.000 ppm.

Trộn WSC stabilized HANPs (hạt nano hydroxyapatite đã được ổn định bằng WSC) và HEs (chiết xuất humic) trong khi khuấy với tỷ lệ mong muốn và điều chỉnh pH đến 9 trong 1 giờ ở 50 °C để thu được huyền phù ổn định được gọi là phân bón nano-P.

2.4.3.2. Thử nghiệm phân bón nano-P trên cây dưa lưới

- a) Thời gian thực hiện: 12/8/2024 đến 15/10/2024.
- b) Diện tích: 500 m²/mô hình x 2 mô hình (01 mô hình thử nghiệm và 01 mô hình đối chứng).
- c) Địa điểm: Nhà vườn Vinh Hưng, xã Vinh Lộc, thành phố Huế.

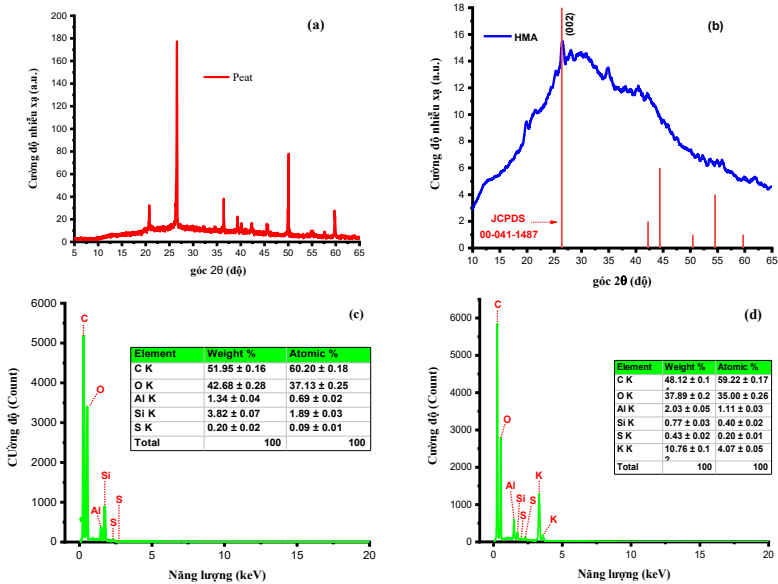
2.4.3.3. Thử nghiệm phân bón nano-P trên cây lạc

- a) Thời gian thực hiện: 20/01/2025 đến 10/5/2025.
- b) Diện tích: 500 m²/mô hình x 2 mô hình (01 mô hình thử nghiệm và 01 mô hình đối chứng).
- c) Địa điểm: Hợp tác xã sản xuất và chế biến nông sản Quảng Phú, thôn Bác Vọng Đông, xã Quảng Phú, huyện Quảng Điền, Tp Huế.

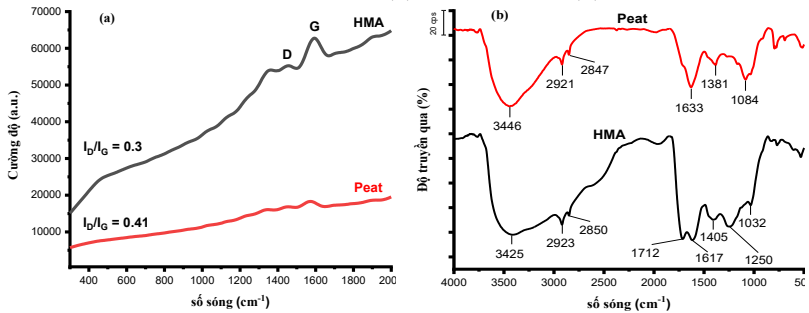
Chương 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐIỆN HÓA 1,3-DIMETHYLBENZYLAMINE TRONG VIÊN NÉN ĐƯỢC PHẠM BẰNG ĐIỆN CỰC CARBON THUY TÍNH BIẾN TÍNH CHẤM LƯỢNG TỬ CARBON CÓ NGUỒN GỐC TỪ THAN Bùn

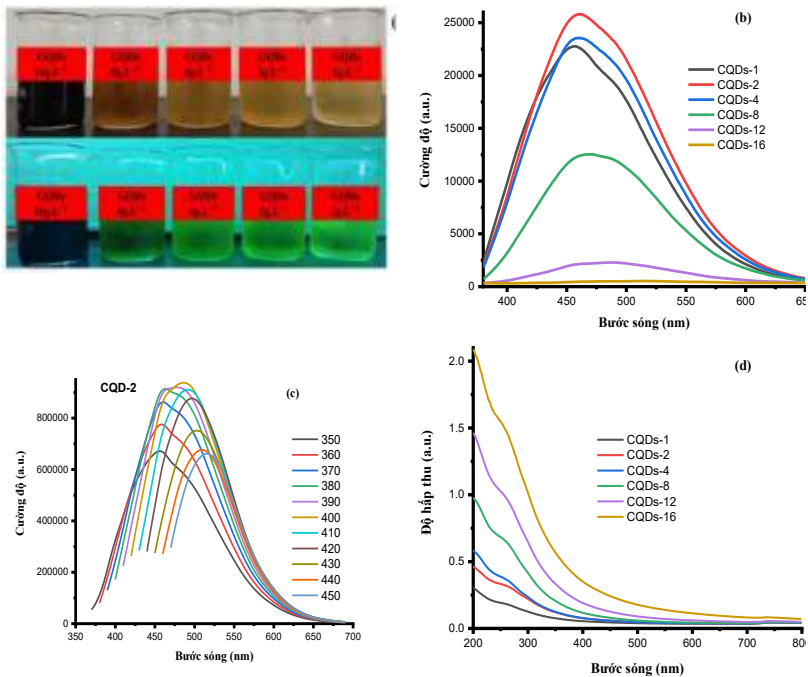
3.1.1. Đặc trưng của vật liệu



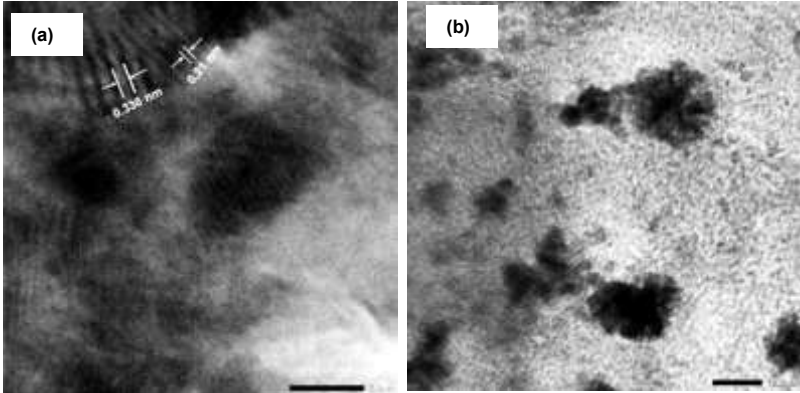
Hình 3.1. *Giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) của (a) than bùn và (b) HMA và Phổ EDX của (c) than bùn và (d) HMA*



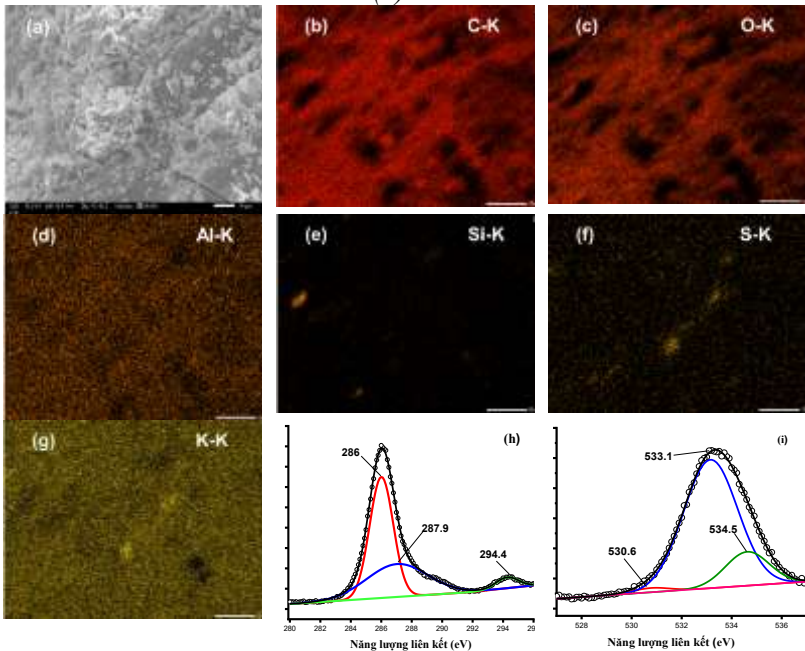
Hình 3.2. *Phổ Raman (a) và HMA (b)*



Hình 3.3. (a) Ảnh chụp kỹ thuật số của các mẫu CQDs với các nồng độ HMA khác nhau: chiếu sáng bằng ánh sáng trắng (trên) và chiếu sáng bằng ánh sáng tử ngoại với bước sóng 254 nm (dưới), (b) Phổ quang phát quang (PL) của các dung dịch với nồng độ HMA khác nhau, (c) Phổ quang phát quang (PL) của các dung dịch HMA được kích thích bằng các bước sóng khác nhau, (d) Phổ tử ngoại-khả kiến (UV-Vis) của các dung dịch với nồng độ HMA khác nhau.



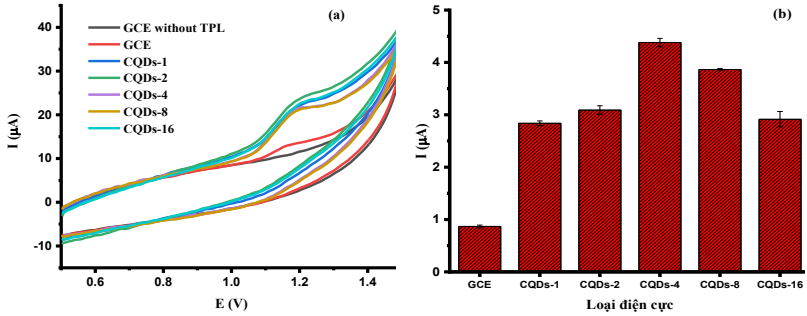
Hình 3.4. Ảnh hiển vi điện tử truyền qua độ phân giải cao (HR-TEM) của CQDs với các độ phân giải khác nhau (CQDs-4) ở (a) 600 K và (b) 200 K



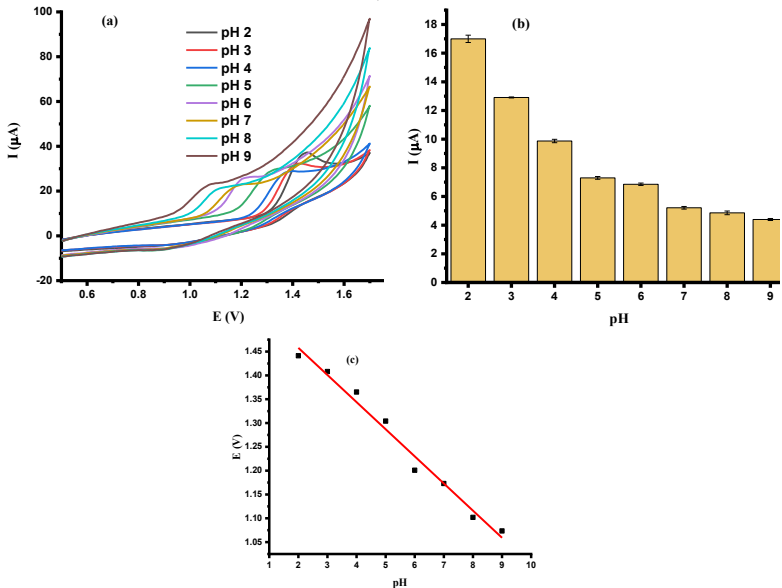
Hình 3.5. Phổ EDX phân bố nguyên tử của CQDs-4: (a) Ảnh điện tử, (b) Nguyên tố C, (c) Nguyên tố O, (d) Nguyên tố Al, (e) Nguyên tố Si, (f) nguyên tố S, (g) Nguyên tố K; (h, i) Phổ XPS của CQDs-4 đối với nguyên tố C và O

3.1.2. Xác định TPL bằng phương pháp voltammetry dòng điện cực biến tính bằng CQDs (CQDs/GCE)

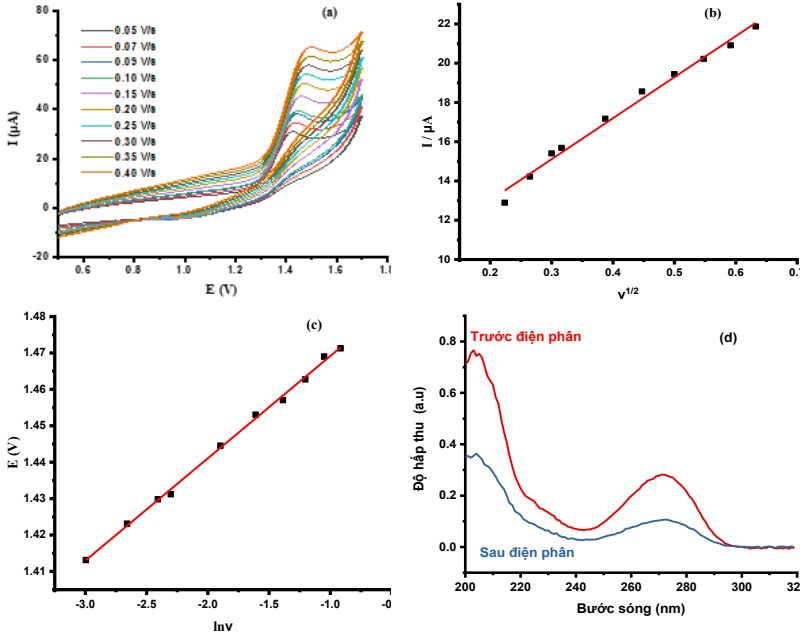
3.1.2.1. Đặc trưng điện hóa của TPL tại các điện cực khác nhau



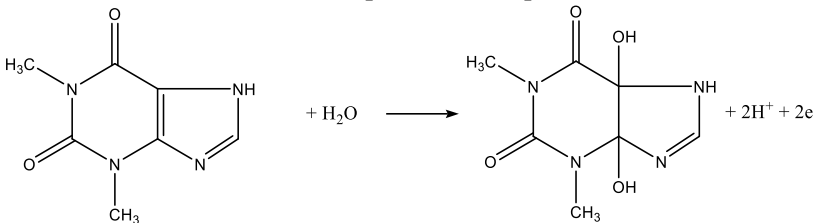
Hình 3.6. (a) Giải đồ CVs của 50 μM TPL tại QCDs/GCE và (b) Cường độ dòng đỉnh tại điện cực QCDs/GCE. (Tốc độ quét: 100 mV/s^{-1} ; dung dịch đệm BR 0.1 M pH=3) (Thanh sai số của ba phép đo)



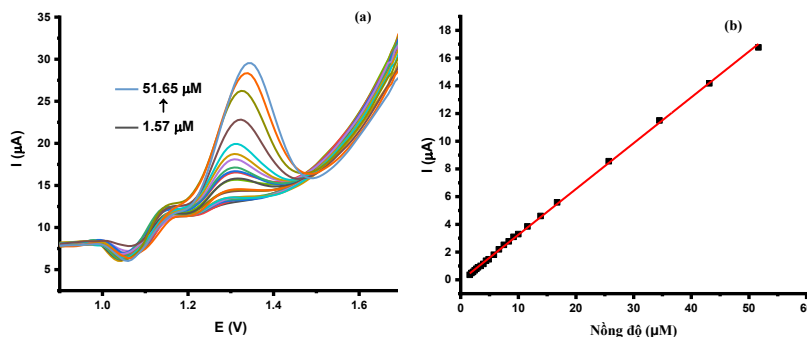
Hình 3.7. (a) Giải đồ CVs của 50 μM TPL tại điện cực CQDs-4/GCE trong dung dịch đệm BR (pH 2-9), (b) Biểu đồ cột của cường độ dòng đỉnh ở các giá trị pH khác nhau, (c) Đồ thị tuyến tính của thế điện đỉnh và pH



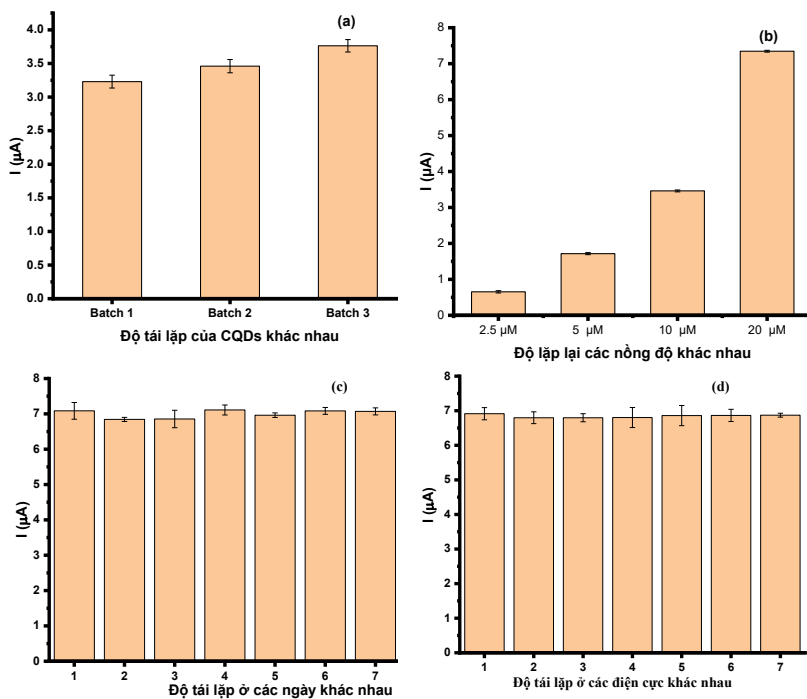
Hình 3.8. (a) Giảm đồ CV của 50 μM TPL trong dung dịch đệm 0.1 M BR (pH 2.0) với tốc độ quét từ 0.05 - 0.40 $\text{V}\cdot\text{s}^{-1}$; (b) Đồ thị tuyến tính của cường độ dòng đỉnh, I_p , với căn bậc hai của tốc độ quét, $v^{1/2}$; (c) Đồ thị tuyến tính của cường độ thế đỉnh với logarit tự nhiên của tốc độ quét; (d) Phổ tử ngoại-khả kiến (UV-Vis) của 50 μM TPL trong dung dịch đệm 0.1 M BR ở pH=3 trước và sau quá trình điện phân



Sơ đồ 3.1. Cơ chế oxy hóa khả thi của TPL tại điện cực biến tính



Hình 3.9. (a) Các đường cong DPV với các nồng độ TPL khác nhau (Nồng độ C_{TPL} từ 1,57 - 51,65 μM) tại điện cực CQDs-4/GCE trong dung dịch đệm 0,1 M BR (pH=3) và (b) đồ thị tuyến tính của cường độ dòng đỉnh với nồng độ TPL.

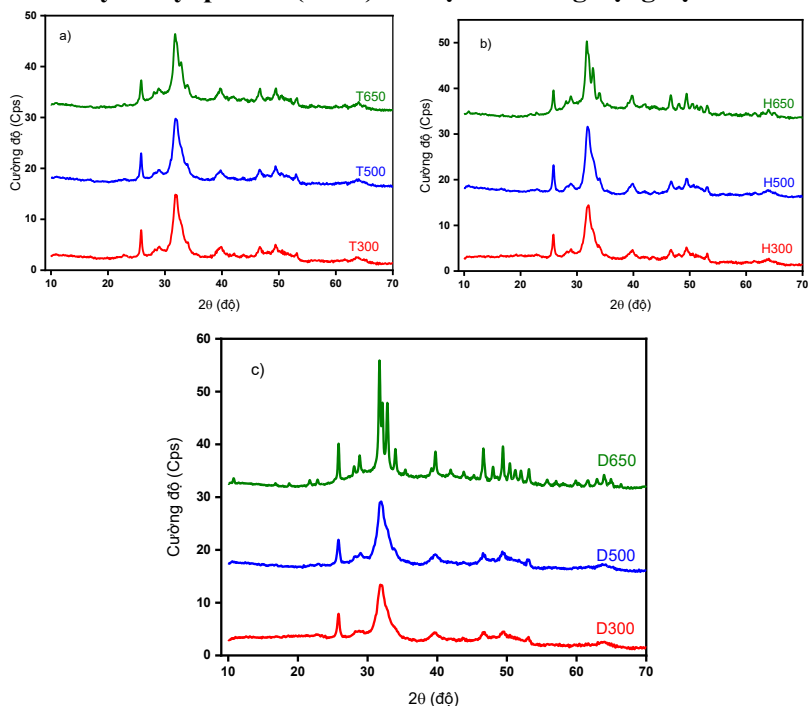


Hình 3.10. (a) Cường độ dòng đỉnh của 10 μM TPL trên các điện cực khác nhau (CQDs-4a, CQDs-4b, CQDs-4c/GCEs) trong dung dịch

đệm 0,1 M BR ở pH 3 (ba phép đo liên tiếp); (b) Cường độ dòng đỉnh trung bình (I_p) của 2,5, 5, 10 và 20 μM TPL trong dung dịch đệm 0,1 M BR ở pH 3 (mười phép đo liên tiếp); (c) Cường độ dòng đỉnh (I_p) của 20 μM TPL trong dung dịch đệm 0,1 M BR ở pH 3 trong bảy ngày để kiểm tra độ ổn định dài hạn; (d) Cường độ dòng đỉnh của bảy điện cực CQDs-4/GCE được chế tạo theo cùng một quy trình.

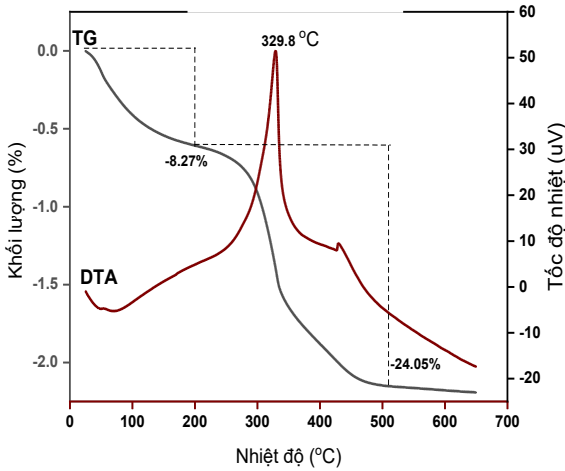
3.2. TỔNG HỢP CÁC NANO HYDROXYAPATITE/CHIẾT XUẤT HUMIC (NANO P/HES) TỪ THAN BÙN VÀ XƯƠNG BÒ LÀM PHÂN LÂN NANO HỮU CƠ

3.2.1. Hydroxyapatites (HAP) từ một số xương động vật

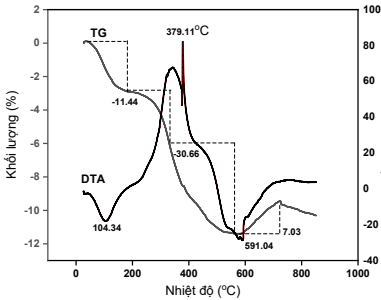


Hình 3.11. Giải đồ XRD của: a) Xương Trâu; b) Xương Lợn và c) Xương Dê nung ở nhiệt độ 300, 500, 650 °C

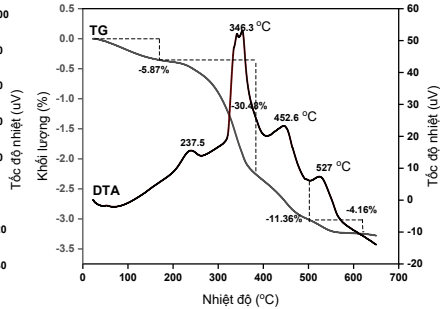
a) Xương trâu



b) Xương lợn



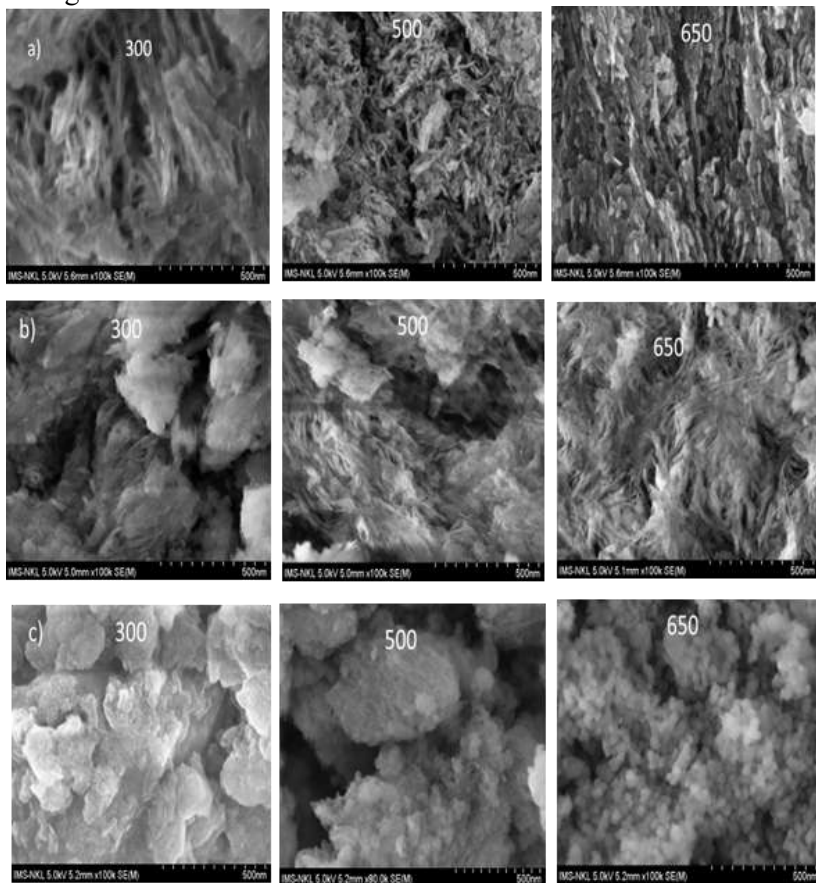
c) Xương dê



Hình 3.12. *Giản đồ phân tích nhiệt TG DSC của a) Xương trâu; b) Xương lợn; c) Xương dê*

Hình 3.12 trình bày sơ đồ TG/DSC của một số loại xương. Hình 3.12a TG/DSC của xương trâu gồm ba giai đoạn phân hủy nhiệt chính được quan sát thấy: Đầu tiên là quá trình thu nhiệt, xảy ra ở nhiệt độ từ 25-250 °C tương ứng với quá trình giải hấp phụ nước khỏi bề mặt mẫu với sự giảm khối lượng khoảng 8,27 %; khi nhiệt độ tăng từ 250-500 °C, khối lượng giảm đến 24,05 % và có peak tỏa nhiệt tại peak 329,8 °C là do sự phân hủy các chất hữu cơ như collagen... ; khi nhiệt độ lớn hơn 500 °C thì sự giảm khối lượng không đáng kể và được xem là HAP chiếm tỷ lệ 67,7%. Hình 3.12b

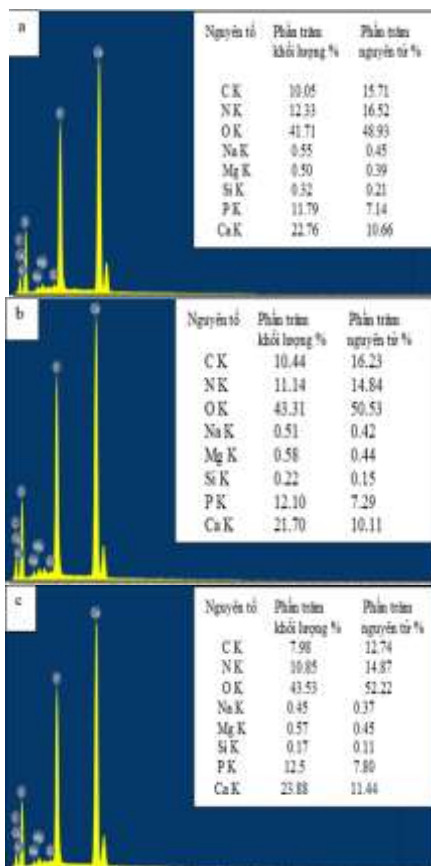
TG/DSC của xương lợn gồm ba giai đoạn phân hủy nhiệt chính được quan sát thấy: Đầu tiên là quá trình thu nhiệt, xảy ra ở nhiệt độ từ 25-250 °C tương ứng với quá trình giải hấp phụ nước khỏi bề mặt mẫu với sự giảm khối lượng khoảng 11,44 %; khi nhiệt độ tăng từ 250-500 °C, khối lượng giảm đến 30,66 % và có peak tỏa nhiệt tại peak 379,11 °C là do sự phân hủy các chất hữu cơ như collagen...



Hình 3.13. Ảnh SEM của than xương ở các nhiệt độ khác nhau 300 °C, 500 °C và 650 °C của a) Xương trâu; b) Xương lợn; c) Xương dê

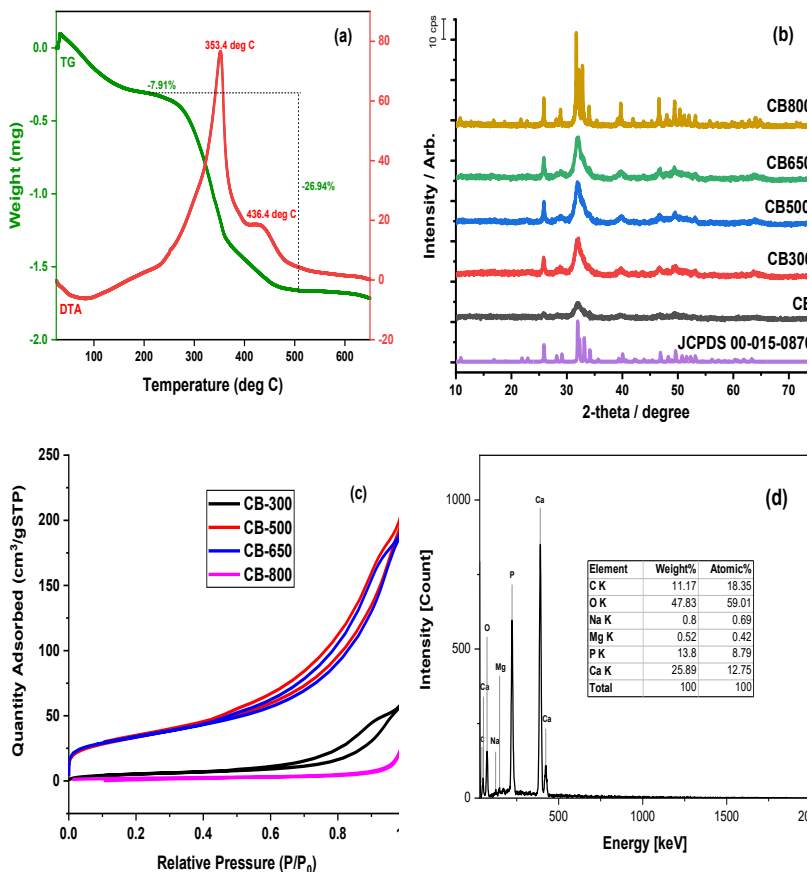
Nghiên cứu cho thấy đa số xương của các loại có pha tinh thể chính trong xương là HAP với công thức chung là $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$.

Giản đồ phân tích nhiệt TG/DSC xác định thành phần HAP xương trâu cao nhất là 67%, xương lợn là 58% và xương dê thấp nhất là 48%.



Hình 3.14. Phổ EDX của than xương nung ở nhiệt độ 500 °C của; a) Xương trâu; b) Xương lợn; c) Xương dê

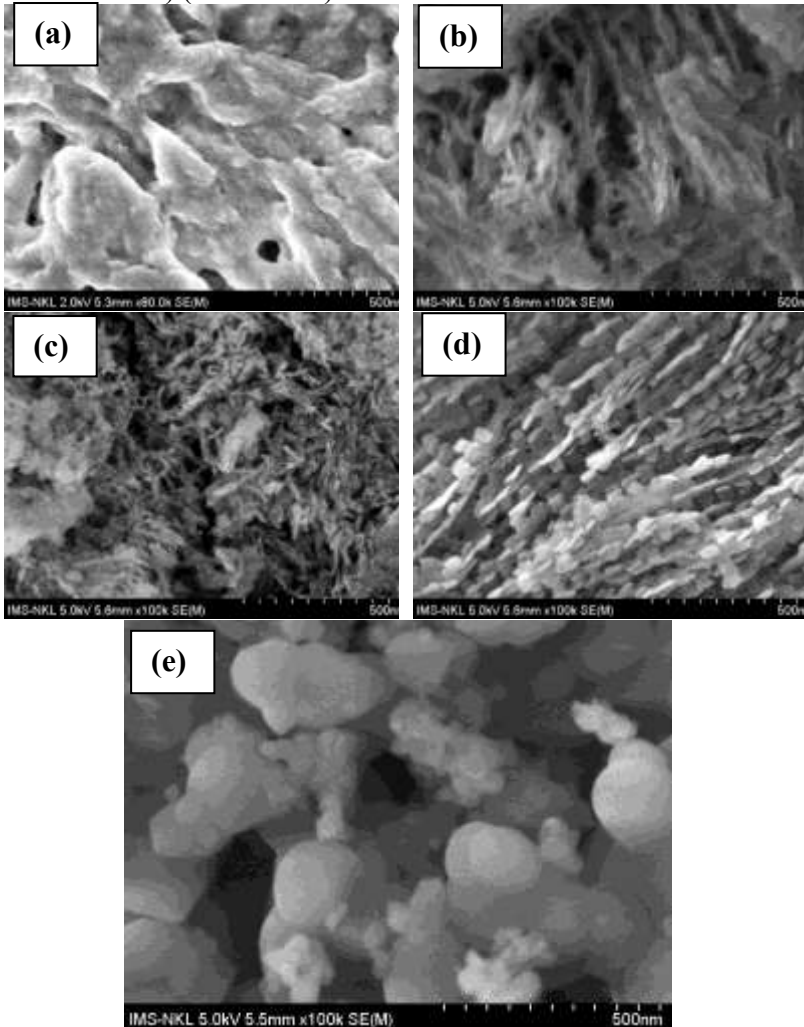
3.2.2. Tổng hợp nano hydroxyapatites (HANPs) từ xương bò



Hình 3.15. a) Giảm đồ TG/DSC; b) Giảm đồ nhiễu xạ tia X; c) Đường đẳng nhiệt hấp phụ/giải hấp nitơ; và d) Phổ EDX của xương bò.

Hình 3.15a trình giảm đồ TG/DSC của xương bò. Ba giai đoạn phân hủy nhiệt chính của xương bò đã được quan sát. Giai đoạn đầu tiên là một quá trình thu nhiệt xảy ra ở nhiệt độ 25-250 °C, tương ứng với sự giải hấp nước (water desorption) từ bề mặt mẫu, dẫn đến giảm khối lượng khoảng 7.91%. Sự giảm khối lượng tiếp theo, khoảng 26.94% trong phạm vi 250-500 °C, liên quan đến hai quá trình tỏa nhiệt tại 353.4°C và 436.4 °C, góp phần vào sự phân hủy chất hữu cơ, như collagen và có thể là các thành phần khác được tìm thấy trong xương. Phần dư khoảng 65.2%, được quy cho là hydroxyapatite. Các

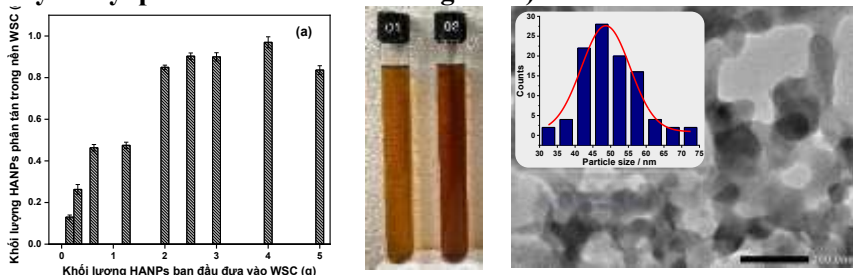
phổ nhiễu xạ tia X (XRD) của cả xương bò thô và xương bò được nung ở các nhiệt độ khác nhau đều thể hiện cấu trúc tinh thể lục giác và nhóm không gian P 63/m của hydroxyapatite, theo dữ liệu JCPDS (00-015-0876) (Hình 3.15b).



Hình 3.16. Quan sát SEM của: a) Xương bò thô ; và b) Hydrochar xương bò được nung ở 300 °C, c) 500 °C, d) 650 °C, và e) 800°C

3.2.3. Đặc trưng hóa HANPs/WSC (hạt nano)

hydroxyapatite/Chitosan tan trong nước) và Phân bón Nano-P

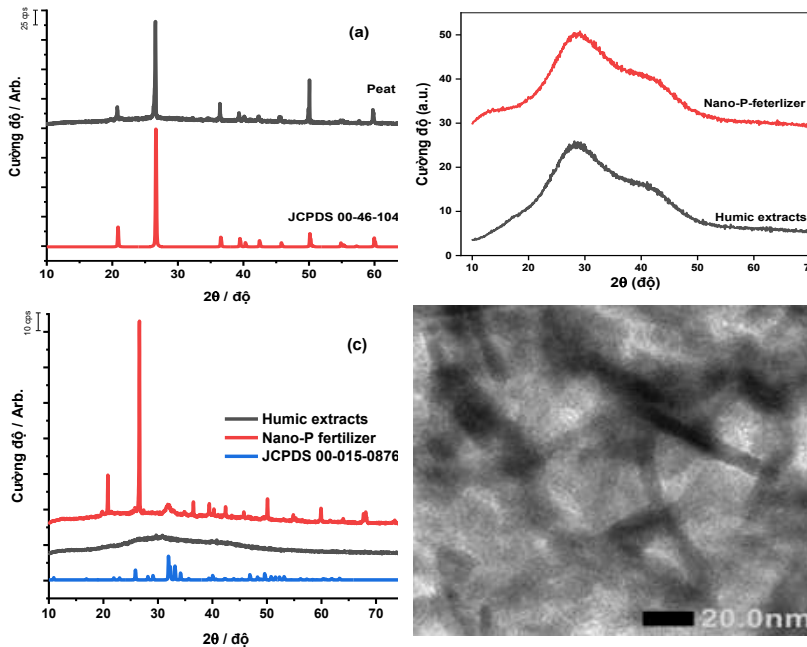


Hình 3.17. a) Mối quan hệ giữa lượng HANPs ban đầu và lượng HANPs phân tán (dispersed) trong WSC; b) Dung dịch chitosan tan trong nước (01) và huyền phù HANPs được ổn định bằng WSC (02); và c) Ảnh hiển vi điện tử truyền qua độ phân giải cao (HR-TEM) của HANPs được ổn định bằng WSC (100 mL dung dịch 20 g.L⁻¹), và hình ảnh thu nhỏ trình bày phân bố kích thước hạt HANPs trong HANPs được ổn định bằng WSC.

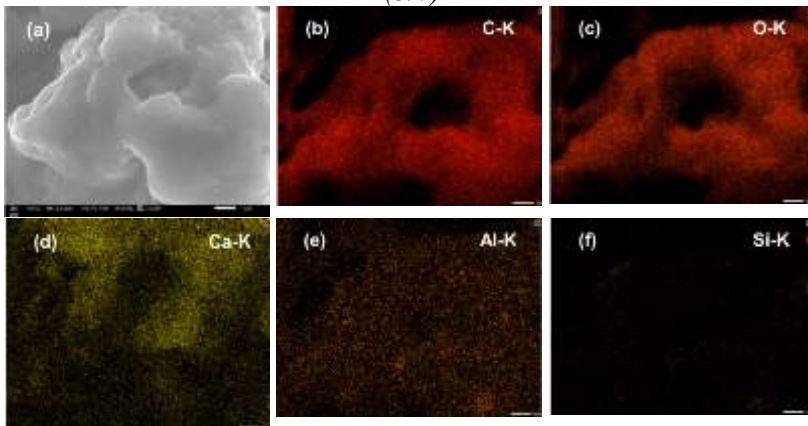


Hình 3.18. a) Ảnh hưởng của pH lên sự lắng đọng của HEs (Chiết xuất Humic), b) Hỗn hợp HANPs và HEs (1); phân rắn tách ra từ HANPs/HEs sau 2 ngày (2), c) Hỗn hợp HANPs được ổn định bằng WSC và HEs với tỷ lệ thể tích 3/7 ở các mức pH khác nhau

Một hỗn hợp HANPs được ổn định bằng WSC và HEs theo tỷ lệ thể tích 3/5 với các mức pH khác nhau đã được thực hiện. Các phân bón nano-P trở nên ổn định không có sự lắng đọng ở pH > 9, như thể hiện trong Hình 3.18c.

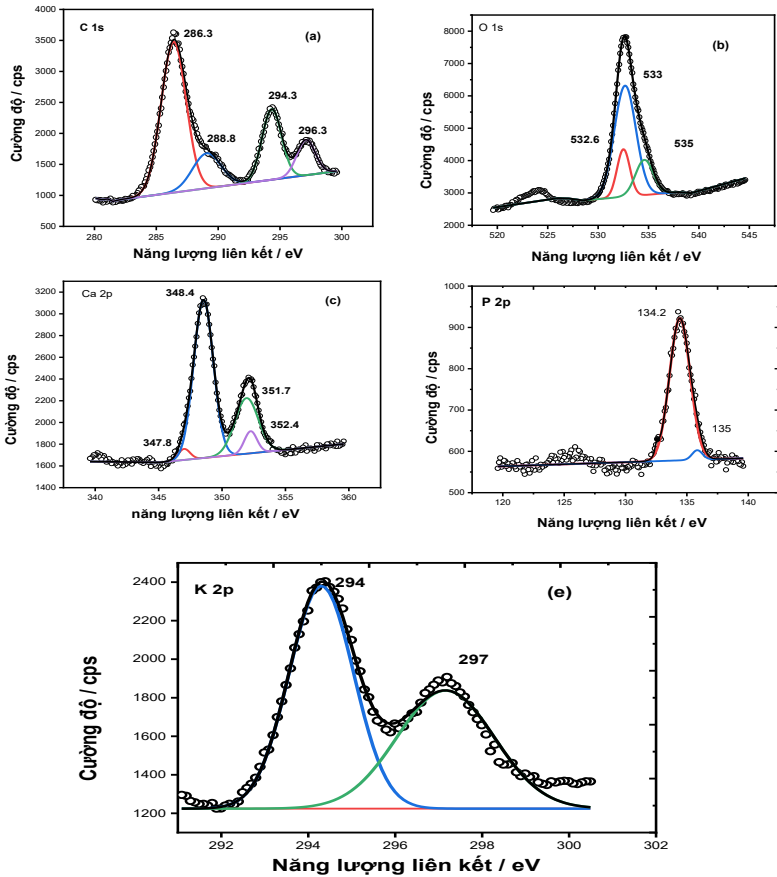


Hình 3.19. Phổ nhiễu xạ tia X của: a) Than bùn (peat), b) HES (Chiết xuất Humic) và HANPs được ổn định bằng WSC/HES (3/7) ở dạng huyền phù, c) HES và HANPs được ổn định bằng WSC/HES (3/7) ở dạng rắn và d) Ảnh hiển vi điện tử truyền qua độ phân giải cao (HR-TEM) của HES và HANPs được ổn định bằng WSC/HES (3/7)





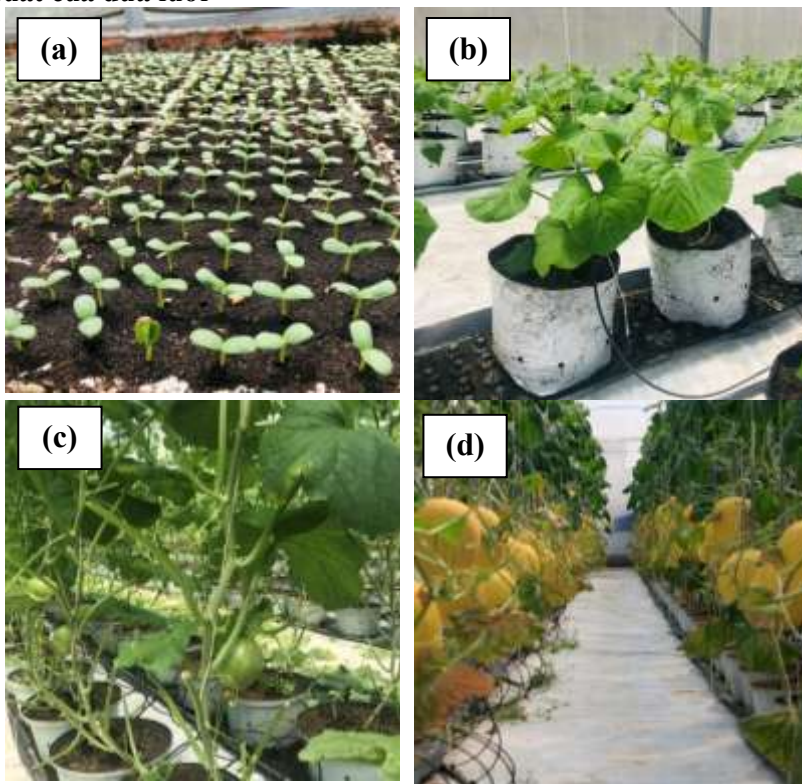
Hình 3.20. Phân tích X-quang tán sắc năng lượng - Lập bản đồ nguyên tố của vật liệu composite



Hình 3.21. Phổ XPS (XPS) ở độ phân giải năng lượng cao trên phân bón nano-P tại nhiệt độ phòng, hiển thị: a) Các đỉnh C 1s, b) O 1s, c) Ca 2p, d) P 2p, e) K 2p và các đỉnh phù hợp tương ứng

3.3. ỨNG DỤNG PHÂN NANO-P VÀO MỘT SỐ CÂY NÔNG NGHIỆP

3.3.1. Ảnh hưởng của phân bón nano-P lên sự sinh trưởng và năng suất của dưa lưới



Hình 3.22. a) Cây dưa lưới (*Cantaloupe plants*) mọc từ hạt nảy mầm (*germinating seeds*) được 3 ngày tuổi, b) Sau 10 ngày, chúng được tách ra và trồng trong chậu nhựa, c) Cây dưa lưới sau khi loại bỏ quả, chỉ để lại một quả duy nhất, d) Cây dưa lưới sẵn sàng để thu hoạch được trồng theo công thức thông thường (*regular formula*) có áp dụng phân bón nano-P

Phân bón Nano-P đã được phát triển, bao gồm HANPs (hạt nano hydroxyapatite) được ổn định bằng chitosan tan trong nước và các chất humic (*humic substances*) được chiết xuất từ than bùn. Các HANPs, với đường kính xấp xỉ 5-30 nm, được phân tán hiệu quả và bền vững trong chiết xuất humic bằng cách sử dụng chitosan tan

trong nước như một chất tạo huyền phù. Loại phân bón này cải thiện đáng kể chất lượng dưa lưới về mặt tổng lượng đường, trọng lượng quả và năng lượng so với các mẫu đối chứng. Việc sử dụng HANPs và HEs như một dạng phân bón photpho mới có thể tăng cường năng suất cây trồng đồng thời giảm thiểu rủi ro phú dưỡng hóa nguồn nước. Cách tiếp cận này mở ra cánh cửa cho việc tạo ra phân bón nano vi oxide thông qua cầu nối chitosan liên kết các oxide này với các chất humic. Nghiên cứu trong tương lai nên tập trung vào các thử nghiệm thực địa dài hạn, cơ chế tương tác giữa HANPs và đất, cùng với ảnh hưởng của chúng đến hoạt động của vi sinh vật và enzyme.

3.3.2. Ứng dụng phân lân vào cây lạc

Phân bón nano điều chế đã ảnh hưởng đến sự sinh trưởng của cây lạc gồm thời gian mọc mầm, cành cấp 1, ra hoa; thời gian sinh trưởng; sự phát triển của sâu bệnh và năng suất của cây lạc.

KẾT LUẬN

(i) Đã tổng hợp thành công chấm lượng tử carbon (CQDs) từ humic acid có nguồn gốc từ than bùn tự nhiên bằng phương pháp một nồi thân thiện với môi trường. Các CQDs thu được có kích thước nano đồng đều, phân tán tốt trong nước và mang nhiều nhóm chức chứa oxy trên bề mặt, tạo tiền đề thuận lợi cho các ứng dụng trong lĩnh vực điện hóa.

(ii) Đã ứng dụng thành công CQDs làm vật liệu biến tính điện cực để xác định theophylline bằng phương pháp điện hóa. Điện cực CQDs thể hiện hoạt tính xúc tác điện tốt đối với quá trình oxy hóa theophylline, làm tăng đáng kể cường độ dòng đỉnh so với điện cực nền. Nghiên cứu đã xác định quá trình oxy hóa theophylline là quá trình bất thuận nghịch có sự tham gia của hai electron và hai proton. Phương pháp được phát triển có khả năng ứng dụng thực tiễn trong phân tích dược phẩm với độ thu hồi cao và độ tin cậy tốt.

(iii) Đã điều chế thành công phân bón nano phospho (Nano-P) trên cơ sở các hạt nano hydroxyapatite (HANPs) có nguồn gốc từ xương động vật (bò, dê, trâu và heo), được ổn định bởi chitosan tan trong nước và các chất humic chiết xuất từ than bùn. Các HANPs có kích thước khoảng 5–30 nm, phân tán ổn định trong môi trường humic, tạo thành hệ phân bón nano có tiềm năng cung cấp phospho hiệu quả cho cây trồng, đồng thời góp phần giảm thất thoát dinh dưỡng và hạn chế nguy cơ phú dưỡng hóa nguồn nước.

(iv) Đã thử nghiệm thành công phân bón Nano-P trên cây dưa lưới và cây lạc tại thành phố Huế. Kết quả cho thấy Nano-P cải thiện

đáng kể sinh trưởng, năng suất và chất lượng nông sản. Đối với cây dưa lưới, trọng lượng quả, hàm lượng đường tổng số và giá trị năng lượng đều tăng so với đối chứng. Đối với cây lạc, số quả, số quả chắc, khối lượng quả và năng suất thu hoạch được cải thiện rõ rệt. Những kết quả này khẳng định tiềm năng ứng dụng của phân bón Nano-P trong sản xuất nông nghiệp theo hướng hiệu quả, an toàn và bền vững.

Nhìn chung, nghiên cứu đã chứng minh khả năng khai thác hiệu quả nguồn than bùn tự nhiên để chế tạo các vật liệu nano chức năng phục vụ cả lĩnh vực phân tích điện hóa và nông nghiệp công nghệ cao, góp phần nâng cao giá trị sử dụng của nguồn tài nguyên trong nước.

HUE UNIVERSITY
UNIVERSITY OF SCIENCES

NGUYEN PHUOC NHAN

**RESEARCH ON SYNTHESIS AND APPLICATIONS
OF CARBON QUANTUM DOTS AND NANO-
PHOSPHORUS FERTILIZER DERIVED FROM
PEAT IN HUE CITY**

SUMMARY OF DOCTORAL THESIS IN CHEMISTRY

HUE- 2026

HUE UNIVERSITY
UNIVERSITY OF SCIENCES

NGUYEN PHUOC NHAN

**RESEARCH ON SYNTHESIS AND APPLICATIONS
OF CARBON QUANTUM DOTS AND NANO-
PHOSPHORUS FERTILIZER DERIVED FROM
PEAT IN HUE CITY**

**Major: Theoretical and Physical Chemistry
Code: 9440119**

SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION

Supervisors:

- 1. Prof. Dr. DINH QUANG KHIEU**
- 2. Assoc. Prof. Dr. NGUYEN HAI PHONG**

HUE, 2026

INTRODUCTION

Peat is a type of organic sediment that accumulates on the soil surface, primarily formed through the incomplete decomposition of plant residues under prolonged anaerobic conditions. This material is typically distributed in wetland ecosystems such as swamps, lowlands, or peatlands. Peat samples are characterized by a soft, porous, and fine structure; the degree of organic decomposition increases with the excavation depth, reflecting the transformation of organic matter over time under an oxygen-depleted environment. Due to being rich in organic components (humic acid, fulvic acid, lignin, cellulose, phenolic compounds, etc.).

Phosphorus (P) is an essential element for plant growth, but simultaneously acts as a pollutant to surface water sources when washed into aquatic bodies. Most (95-99%) of the P in tropical soils exists in the form of organic and inorganic P, which are released and dissolved into the soil solution very slowly [3]. The remaining 1-5% of P resides in organic-mineral complexes, where humic and fulvic groups are tightly bound to iron or aluminum compounds in the soil [4].

In this dissertation, we selected the topic: **"Research on synthesis and applications of carbon quantum dots and nano-phosphorus fertilizer derived from peat in hue city"**. The set objective is to develop two parallel application pathways from peat: (i) preparing carbon quantum dots (CQDs) for electrochemical analysis applications; and (ii) preparing nano-fertilizers that combine peat extracts with nano-structured phosphorus, applied to cantaloupe and peanut plants. This research not only contributes to the efficient exploitation of available natural resources but also targets sustainable solutions in modern agriculture and analytical techniques.

The structure of the Dissertation consists of:

- Introduction;
- Chapter 1: Literature Review;
- Chapter 2: Objectives, Contents, and Research Methods;
- Chapter 3: Results and Discussion;
- Conclusions;
- List of Published Scientific Papers Related to the Dissertation;

- References.

Chapter 1

LITERATURE REVIEW

1.1. Peat

1.1.1. Overview of Peat

Peat is a type of organic sediment that accumulates on the soil surface, primarily formed through the incomplete decomposition of plant residues under prolonged anaerobic conditions. It is commonly found in wetland ecosystems such as swamps, lowlands, or peatlands



Figure 1.1. Survey of the peat mine in Phong Quang Ward, Hue City

1.1.2. Physical and Chemical Properties of Peat

Peat contains approximately 65% organic matter decomposed from plant residues; it contains humic acid and fulvic acid, which play a crucial role in the healthy growth of plants. Humic acid and humus impart the characteristic dark brown to black color to peat. The chemical composition of peat is quite diverse, consisting of various mineral elements, typically C, H, N, O, and S. In addition, it contains other secondary and micro-nutrients such as Fe, Si, Ca, Mg, K, etc.

1.1.3. Humic Acid

Humic acid is a major component of humic substances, which are the fundamental organic compounds that constitute fertile soil, maintaining and enhancing soil fertility. The addition of humic acid increases the soil's capacity to retain nutrients and water. Furthermore, humic acid serves as a food source for beneficial soil organisms, aiding the soil in the decomposition of organic matter.

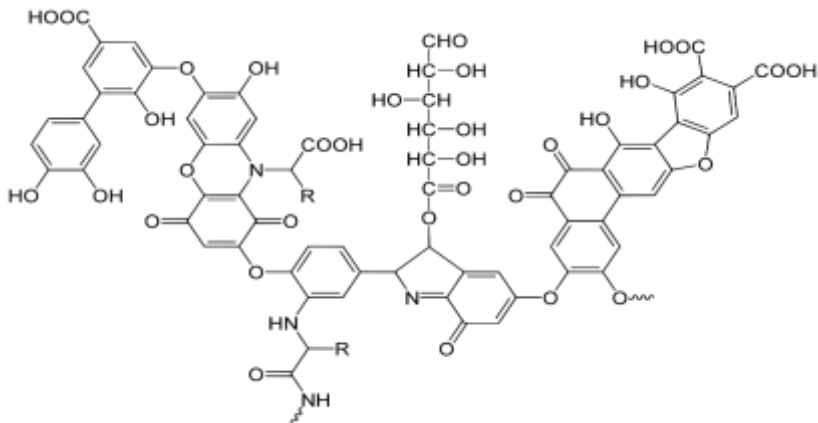


Figure 1.2. Illustration of a typical humic acid, containing a variety of moieties such as quinones, phenols, catechols, and sugar moieties

1.1.4. Current Applications of Peat

1.2. Carbon Quantum Dots (CQDs) and Application in Electrode Development for Electrochemical Analysis

1.2.1. Principles of Electrochemical Analysis

1.2.2. Synthesis of CQDs

1.2.3. Application of CQDs in Electrode Development for Theophylline Analysis

1.3. Overview of Nano-fertilizers

1.3.1. Concept and Characteristics

1.3.2. Nano-phosphorus Fertilizer

1.4. INTRODUCTION TO CANTALOUPE AND PEANUT PLANTS

1.4.1. Cantaloupe (*Cucumis melo* L.)

1.4.2. Peanut or Groundnut (*Arachis hypogaea* L.)

Chapter 2

OBJECTIVES, CONTENTS, AND RESEARCH METHODS

2.1. OBJECTIVES

To successfully synthesize several materials derived from Hue city peat with high application value in electrochemical analysis and agriculture.

2.2. CONTENTS

To study the synthesis of carbon quantum dots from natural peat and their application in electrode modification for the determination of Theophylline.

To study the synthesis of organic nano-dispersion systems from peat and animal bones.

To apply the synthesized materials as organic nano-phosphorus fertilizers for cantaloupe and peanut plants.

2.3. RESEARCH METHODS

2.3.1. UV-Vis Absorption Spectroscopy (*Phổ hấp thụ tử ngoại - khả kiến*)

2.3.2. Scanning Electron Microscopy (SEM) (*Hiển vi điện tử quét*)

2.3.3. X-ray Diffraction (XRD) (*Nhiều xạ tia X*)

2.3.4. Nitrogen Adsorption-Desorption Isotherms (*Đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp phụ nitrogen*)

2.3.5. Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX/EDS) (*Phổ tán sắc năng lượng tia X*)

2.3.6. Raman Scattering Spectroscopy (*Phổ tán xạ Raman*)

2.3.7. Transmission Electron Microscopy (TEM) (*Hiển vi điện tử truyền qua*)

2.3.8. Fluorescence Spectroscopy (*Quang phổ huỳnh quang*)

2.3.9. Stripping Voltammetry Methods (*Phương pháp voltametry hòa tan*)

2.4. EXPERIMENTAL

2.4.1. Chemicals

2.4.2. Preparation of carbon quantum dots from peat and application in electrode development for the analysis of theophylline in pharmaceuticals

2.4.3. Preparation of Hydroxyapatite Nanoparticles (HANPs), Humic Acid Extracts (HEs), Water Soluble Chitosan (WSC), and Nano-P Fertilizer, and their application as phosphorus fertilizers for cantaloupe and peanut plants

2.4.3.1. Preparation of HANPs, HEs, WSC, and Nano-P Fertilizer

Clean cattle bones were dried overnight in an oven at 80 °C. The dried bones, crushed into a particle size range of a few hundred micrometers (μm), were placed in a covered porcelain crucible and calcined for 3 hours at different temperatures (300, 500, 650, and 800 °C). The obtained solid was ground to yield fine HANPs powders (designated as CB for the raw cattle bone, and CB-300, CB-500, CB-650, and CB-800, where the numbers indicate the calcination temperature).

The HEs (humic extracts) were extracted from peat using a modified alkali extraction method, as described by Zhang et al. [26]. Briefly, 10 g of raw peat was dissolved in 200 mL of a 0.1 M KOH solution. The mixture was stirred using a magnetic stirrer. The HEs in the suspension were separated from the solid phase (consisting of humin and inorganic impurities) by centrifugation. This suspension was designated as HEs. WSC (Water-Soluble Chitosan) was prepared according to the guidelines. Weigh 2 g of chitosan and then add 2.5 mL of lactic acid and 2.5 mL of H_2O_2 (Hydrogen peroxide). Bring the total volume up to 100 mL. Stir for 3 hours and allow to stand for 7 days to obtain WSC (Water-Soluble Chitosan) at a concentration of 20,000 ppm.

WSC-stabilized HANPs (hydroxyapatite nanoparticles stabilized by WSC) and HEs (humic extract) were mixed under stirring at the desired ratio, and the pH was adjusted to 9 for 1 hour at 50 °C to obtain a stable suspension referred to as nano-P fertilizer.

2.4.3.2. Testing of nano-P fertilizer on cantaloupe plants

a) Implementation period: August 12, 2024, to October 15, 2024.

b) Area: 500 m^2/model \times 2 models (01 experimental model and 01 control model).

c) Location: Vinh Hung Garden, Vinh Loc Commune, Hue City.

2.4.3.3. Testing of nano-P fertilizer on peanut plants

a) Implementation period: January 20, 2025, to May 10, 2025.

b) Area: 500 m^2/model \times 2 models (01 experimental model and 01 control model).

c) Location: Quang Phu Agricultural Production and Processing Cooperative, Bac Vong Dong Hamlet, Quang Phu Commune, Quang Dien District, Hue City.

Chapter 3

RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Electrochemical Determination Method of 1,3-Dimethylxanthine in Pharmaceutical Tablets Using a Glassy Carbon Electrode Modified with Peat-Derived Carbon Quantum Dots

3.1.1. Characterization of Materials

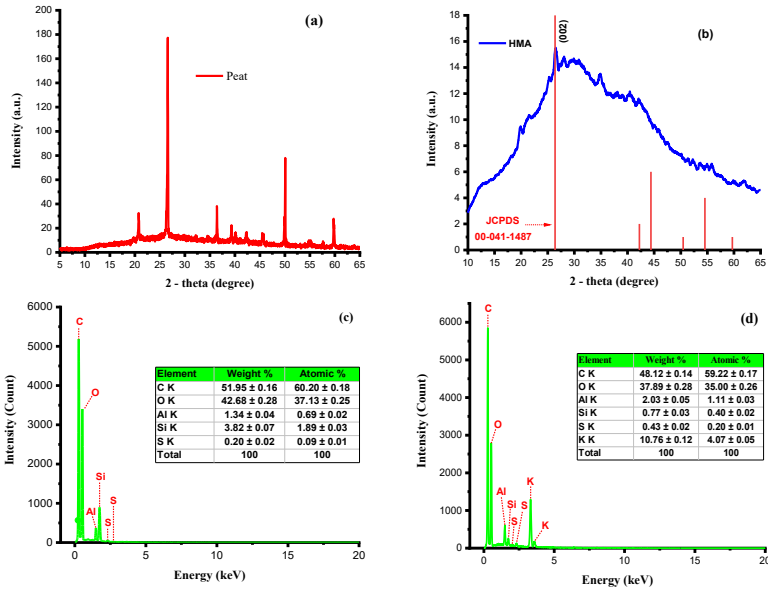


Figure 3.1. X-ray diffraction (XRD) patterns of (a) peat and (b) HMA, and EDX spectra of (c) peat and (d) HMA

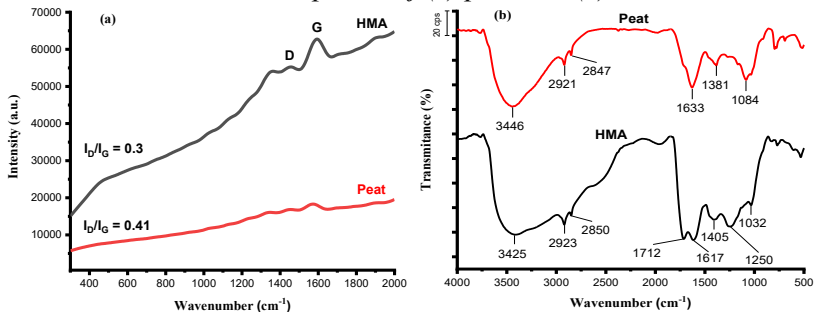


Figure 3.2. Raman spectra of (a) peat and (b) HMA

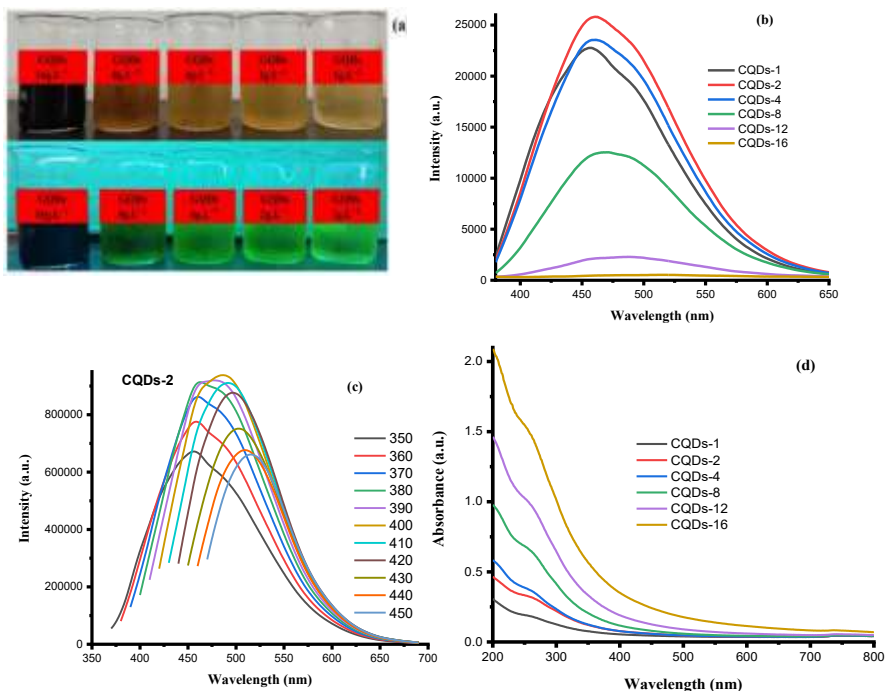


Figure 3.3. (a) Digital photographs of CQDs samples prepared with different concentrations of HMA under white light illumination (top) and ultraviolet (UV) light illumination at a wavelength of 254 nm (bottom); (b) Photoluminescence (PL) spectra of solutions with different HMA concentrations; (c) Photoluminescence (PL) spectra of HMA solutions excited at different wavelengths; (d) Ultraviolet-visible (UV-Vis) spectra of solutions with different HMA concentrations.

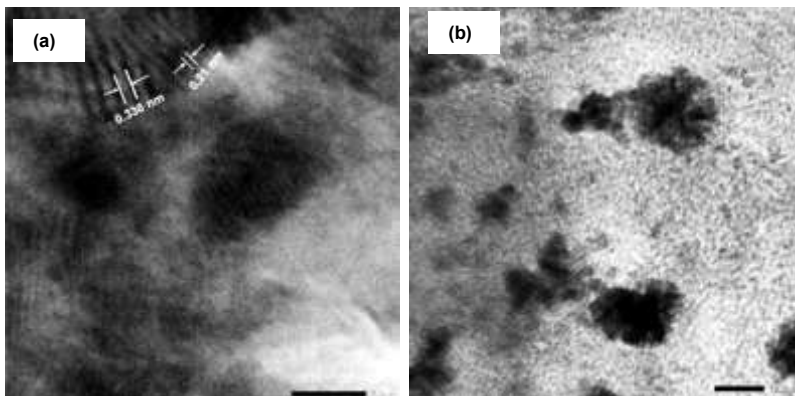


Figure 3.4. High-resolution transmission electron microscopy (HR-TEM) images of CQDs at different magnifications (CQDs-4) at (a) 600 K and (b) 200 K.

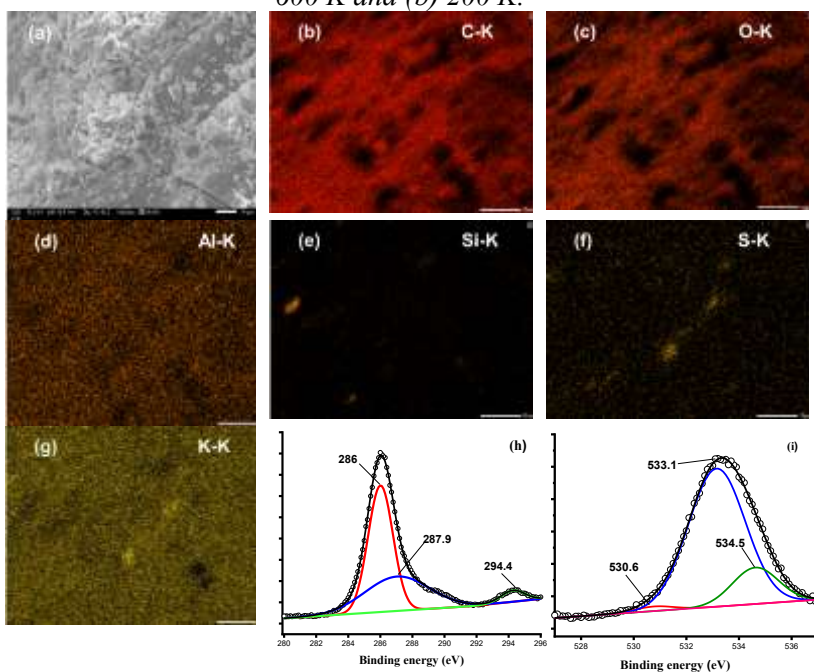


Figure 3.5. EDX elemental mapping images of CQDs-4: (a) Electron image, (b) C element, (c) O element, (d) Al element, (e) Si element, (f) S element, (g) K element; (h, i) XPS spectra of CQDs-4 for C and

O elements.

3.1.2.1. Electrochemical characteristics of TPL at different electrodes

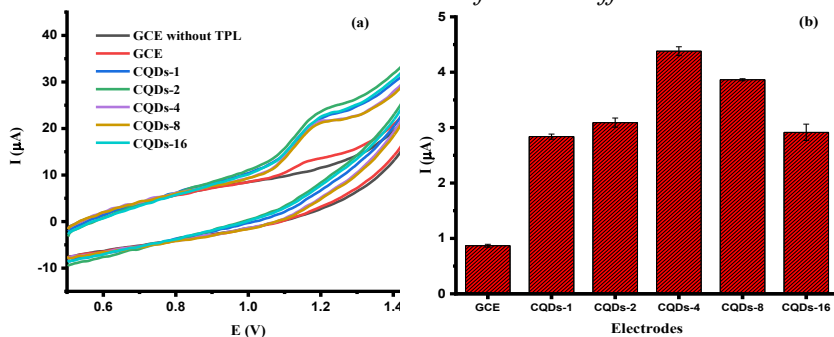


Figure 3.6. (a) CVs of 50 μM TPL at CQDs/GCE and (b) Peak current intensity at the CQDs/GCE. (Scan rate: 100 mV s^{-1} ; 0.1 M BR buffer solution, $\text{pH} = 3$) (Error bars from three measurements).

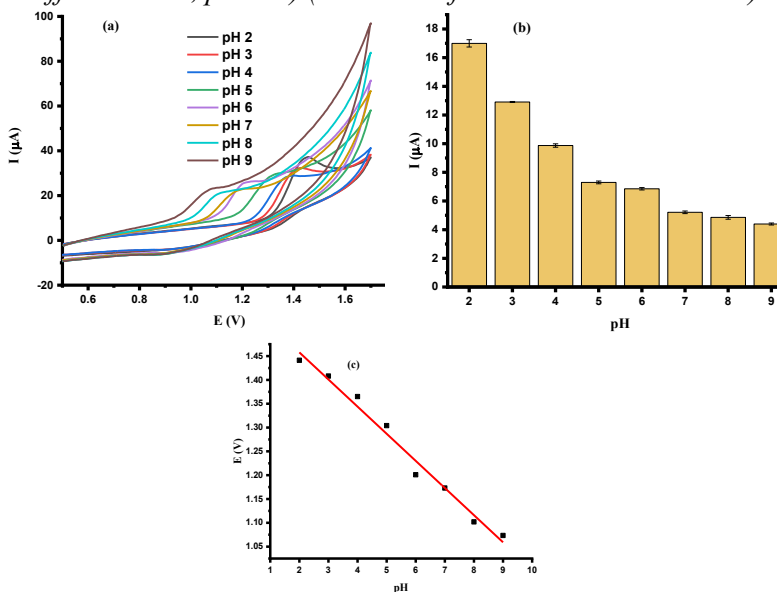


Figure 3.7. (a) CVs of 50 μM TPL at the CQDs-4/GCE in BR buffer solution ($\text{pH} 2\text{--}9$); (b) Bar chart of peak current intensity at different pH values; (c) Linear plot of peak potential versus pH .

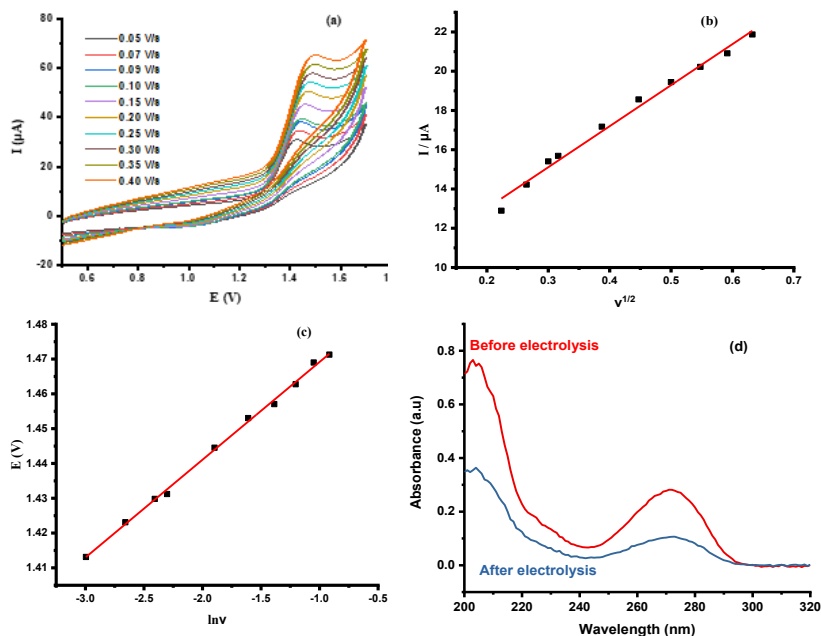
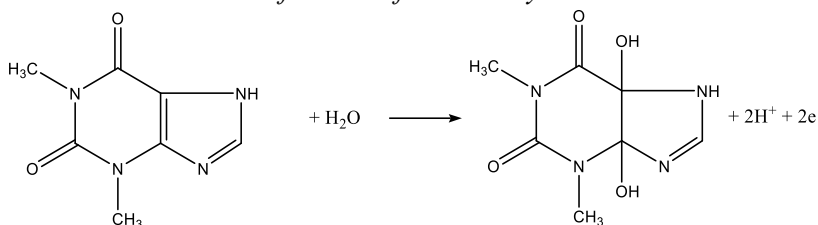


Figure 3.8. (a) CVs of 50 μM TPL in 0.1 M BR buffer solution (pH 2.0) at scan rates ranging from 0.05 to 0.40 V s^{-1} ; (b) Linear plot of peak current intensity, I_p , versus the square root of the scan rate, $v^{1/2}$; (c) Linear plot of peak potential versus the natural logarithm of the scan rate; (d) Ultraviolet-visible (UV-Vis) spectra of 50 μM TPL in 0.1 M BR buffer solution at pH = 3 before and after electrolysis



Scheme 3.1. Proposed oxidation mechanism of TPL at the modified electrode.

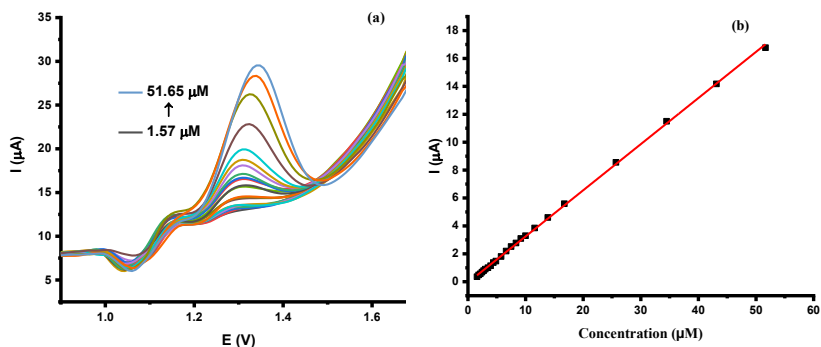


Figure 3.9. (a) DPV curves with different TPL concentrations (C_{TPL} to 1,57 - 51,65 μM) at the CQDs-4/GCE in 0.1 M BR buffer solution (pH = 3) and (b) linear plot of peak current intensity versus TPL concentration.

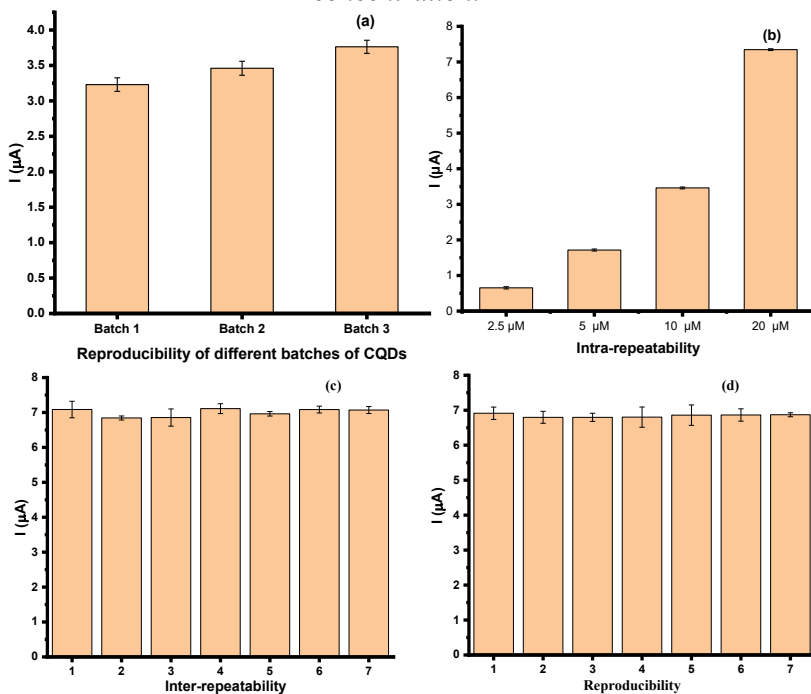


Figure 3.10. (a) Peak current intensity of 10 μM TPL at different electrodes (CQDs-4a, CQDs-4b, CQDs-4c/GCEs) in 0.1 M BR buffer solution at pH 3 (three consecutive measurements); (b)

Average peak current intensity (I_p) of 2.5, 5, 10, and 20 μM TPL in 0.1 M BR buffer solution at pH 3 (ten consecutive measurements); (c) Peak current intensity (I_p) of 20 μM TPL in 0.1 M BR buffer solution at pH 3 over seven days for long-term stability testing; (d) Peak current intensity of seven CQDs-4/GCEs fabricated under the same procedure.

3.2. SYNTHESIS OF NANO-HYDROXYAPATITE/HUMIC EXTRACT (NANO-P/HES) FROM PEAT AND BOVINE BONES AS ORGANIC NANO-PHOSPHORUS FERTILIZERS

3.2.1. Hydroxyapatites (hap) from various animal bones

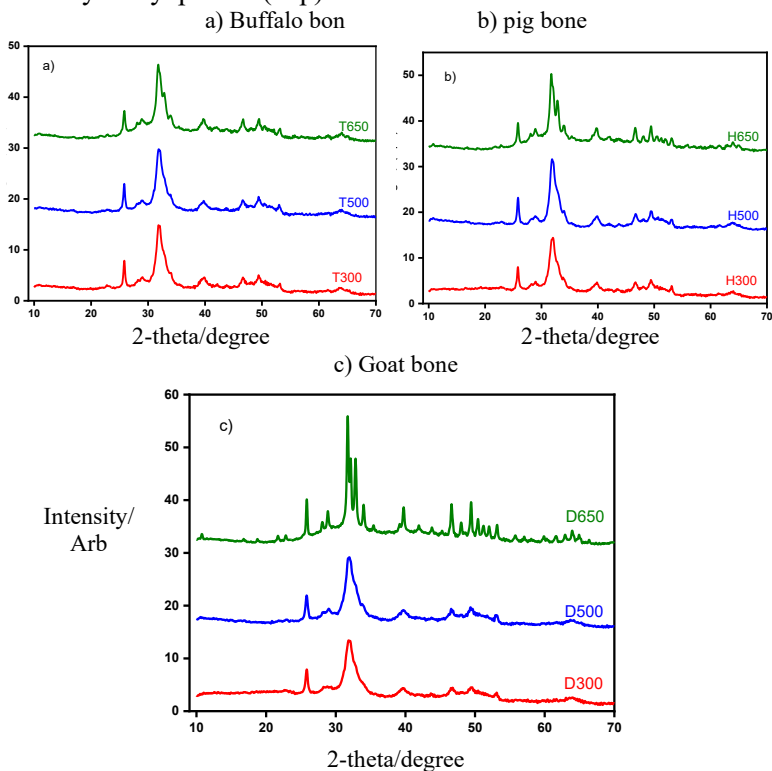


Figure 3.11. XRD patterns of: a) buffalo bone, b) pig bone, and c) goat bone calcined at temperatures of 300, 500, and 650 °C.

a) Buffalo bon

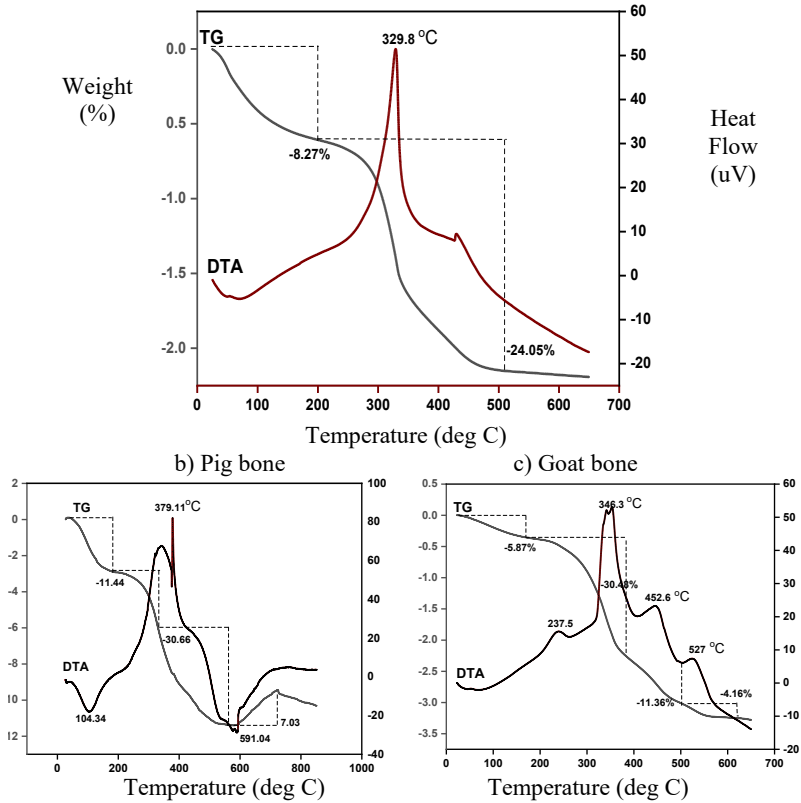


Figure 3.12. TG/DSC thermal analysis curves of a) buffalo bone, b) pig bone, and c) goat bone.

Figure 3.12 presents the TG/DSC curves of several types of bones. In Figure 3.12a, the TG/DSC analysis of buffalo bone shows three main thermal decomposition stages: First, an endothermic process occurring in the temperature range of 25–250 °C, corresponding to the desorption of water from the sample surface with a weight loss of approximately 8.27%; as the temperature increases from 250 to 500 °C, the weight decreases by up to 24.05% with an exothermic peak observed at 329.8 °C, which is attributed to the decomposition of organic substances such as collagen...; when the temperature exceeds 500 °C, the weight loss is negligible, and the remaining portion is considered to be HAP, accounting for 67.7%. In

Figure 3.12b, the TG/DSC analysis of pig bone also exhibits three main observed thermal decomposition stages: First, an endothermic process occurring at 25–250 °C, corresponding to the water desorption from the sample surface with a weight loss of about 11.44%; when the temperature rises from 250 to 500 °C, the weight drops by up to 30.66% with an exothermic peak at 379.11 °C due to the decomposition of organic matters such as collagen

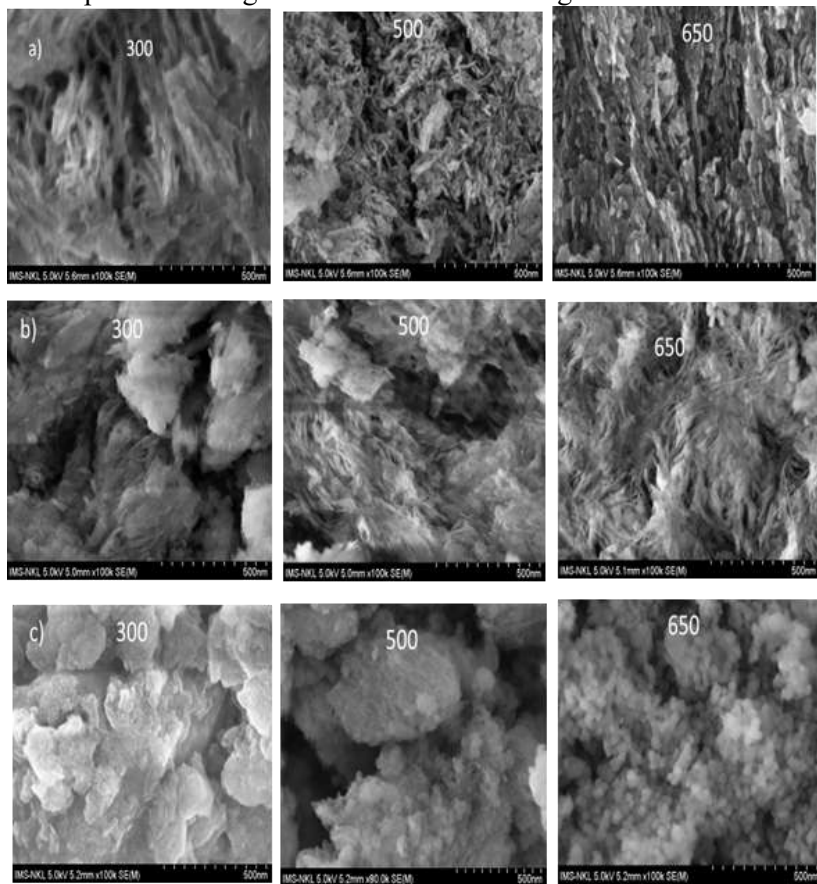


Figure 3.13. SEM images of bone char at different temperatures of 300 °C, 500 °C, and 650 °C of a) buffalo bone, b) pig bone, and c) goat bone

The study indicates that for most animal bones, the primary

crystalline phase is HAP, with the general formula of $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$. TG/DSC thermal analysis curves determined that the HAP content is highest in buffalo bone at 67%, followed by pig bone at 58%, and lowest in goat bone at 48%.

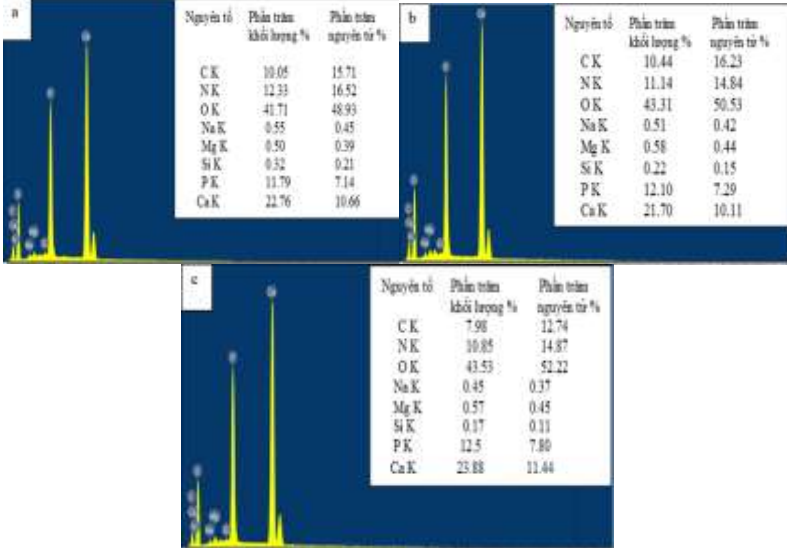
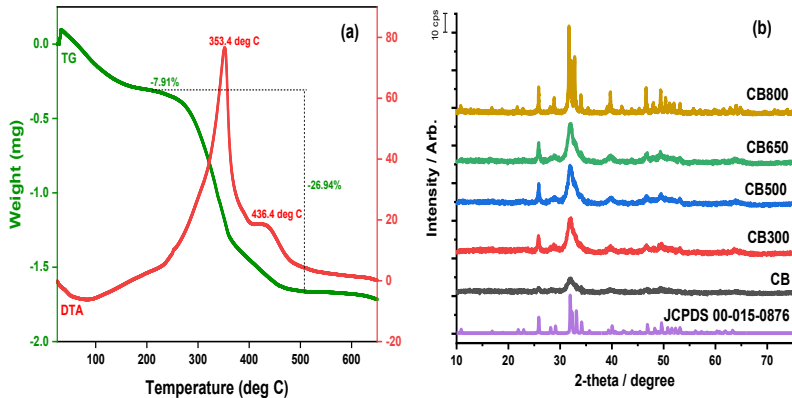


Figure 3.14. EDX spectra of bone char calcined at 500 °C of: a) buffalo bone, b) pig bone, and c) goat bone

3.2.2. Synthesis of Nano-Hydroxyapatites from Bovine Bones



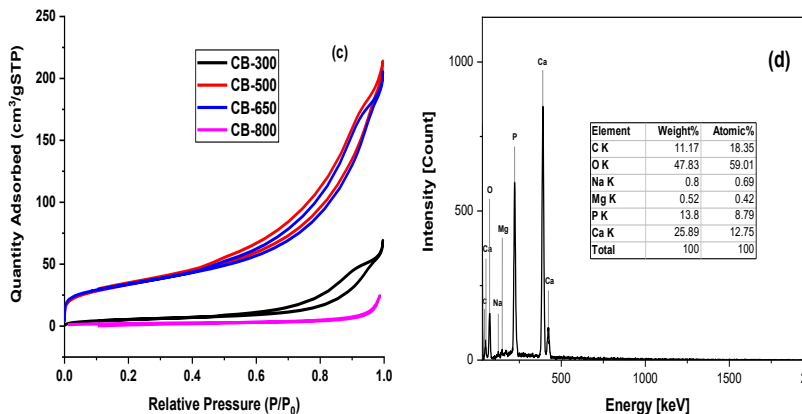


Figure 3.15. a) TG/DSC curves; b) X-ray diffraction patterns; c) Nitrogen adsorption/desorption isotherms; and d) EDX spectrum of bovine bone.

Figure 3.15a presents the TG/DSC curves of bovine bone. Three main thermal decomposition stages of bovine bone were observed. The first stage is an endothermic process occurring in the temperature range of 25–250 °C, corresponding to water desorption from the sample surface, leading to a weight loss of approximately 7.91%. The subsequent weight loss of about 26.94% within the 250–500 °C range is associated with two exothermic processes at 353.4 °C and 436.4 °C, contributing to the decomposition of organic matter, such as collagen and possibly other components found in bone. The remaining residue of about 65.2% is attributed to hydroxyapatite. The X-ray diffraction (XRD) patterns of both raw bovine bone and bovine bone calcined at different temperatures exhibit the hexagonal crystal structure and P 63/m space group of hydroxyapatite, according to the JCPDS data (00–015–0876) (Figure 3.15b).

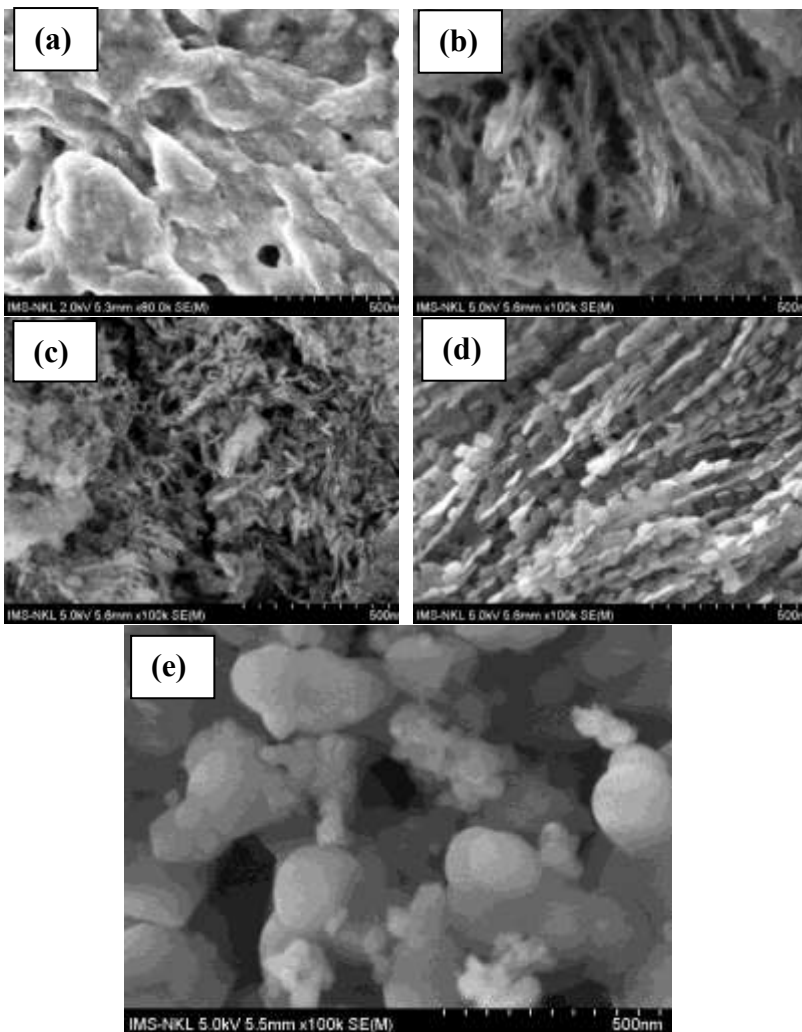


Figure 3.16. SEM observations of: a) raw bovine bone; and b) bovine bone hydrochar calcined at 300 °C, c) 500 °C, d) 650 °C, and e) 800 °C

3.2.3. Characterization of HANPs/WSC (Hydroxyapatite Nanoparticles/Water-Soluble Chitosan) and Nano-P Fertilizers

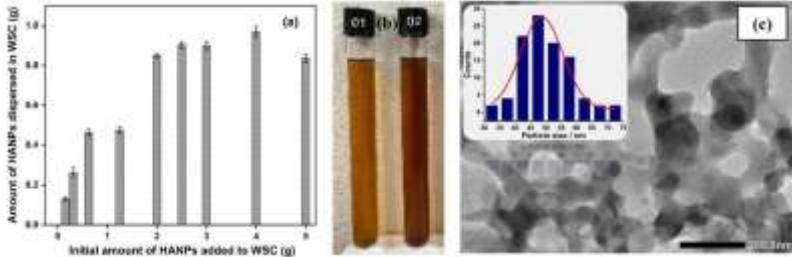


Figure 3.17. a) Relationship between the initial amount of HANPs and the amount of HANPs dispersed in WSC; b) Water-soluble chitosan solution (01) and WSC-stabilized HANP suspension (02); and c) High-resolution transmission electron microscopy (HR-TEM) image of WSC-stabilized HANPs (100 mL of 20 g.L⁻¹), with the inset showing the particle size distribution of HANPs in the WSC-stabilized HANPs



Figure 3.18. a) Effect of pH on the precipitation of HEs (Humic Extract); b) Mixture of HANPs and HEs (1), solid phase separated from HANPs/HEs after 2 days (2); c) Mixture of WSC-stabilized HANPs and HEs at a volume ratio of 3/7 at different pH levels.

A mixture of WSC-stabilized HANPs and HEs at a volume ratio of 3/5 at different pH levels was prepared. The nano-P fertilizers became stable without any precipitation at pH > 9, as shown in Figure 3.18c.

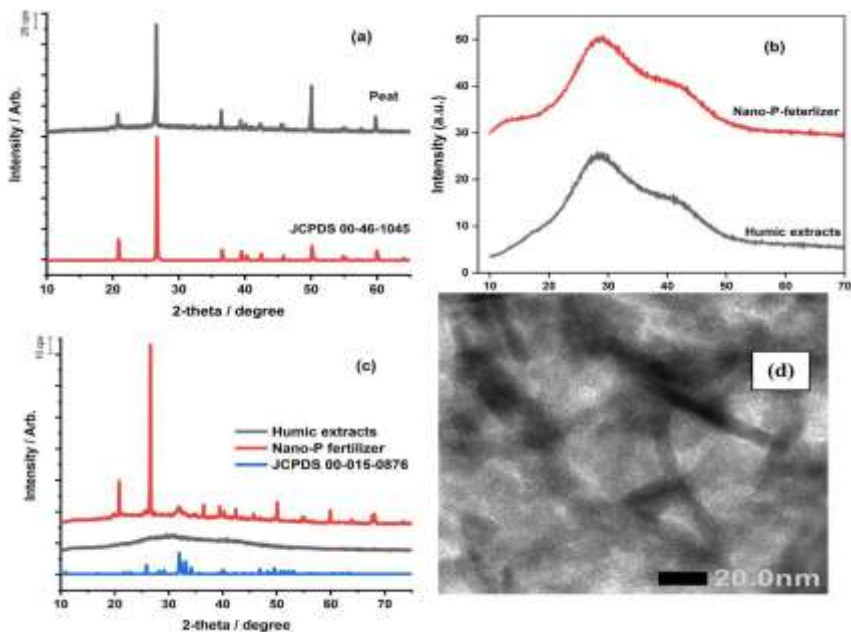
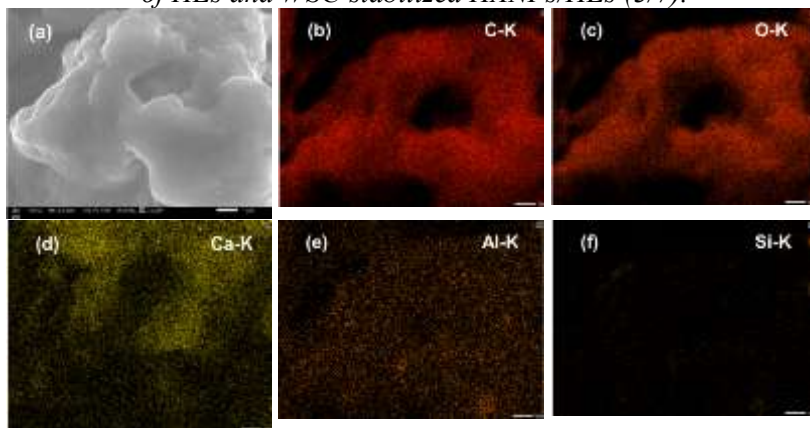


Figure 3.19. X-ray diffraction patterns of: a) peat, b) HEs (Humic Extract) and WSC-stabilized HANPs/HEs (3/7) in suspension form, c) HEs and WSC-stabilized HANPs/HEs (3/7) in solid form, and d) High-resolution transmission electron microscopy (HR-TEM) image of HEs and WSC-stabilized HANPs/HEs (3/7).



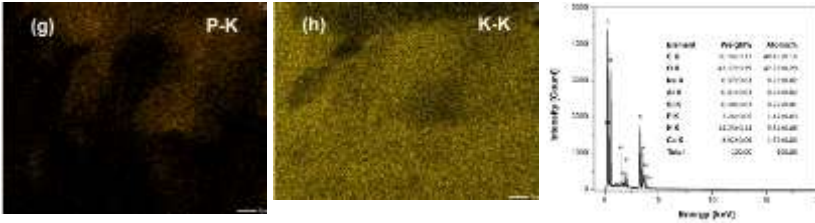


Figure 3.20. Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) elemental mapping of the composite material

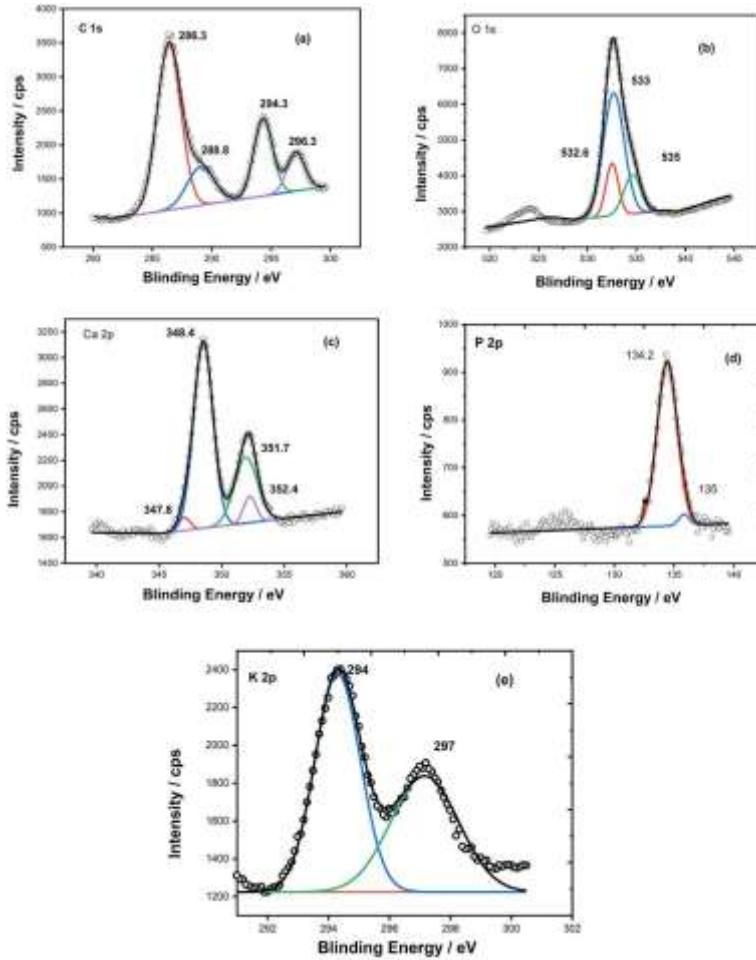


Figure 3.21. High-resolution XPS spectra of the nano-P fertilizer at room temperature, showing: a) C 1s, b) O 1s, c) Ca 2p, d) P 2p, e) K 2p peaks, and their corresponding fitted curves.

3.3. APPLICATION OF NANO-P FERTILIZERS TO SEVERAL AGRICULTURAL CROPS

3.3.1. Effects of nano-p fertilizers on the growth and yield of cantaloupe



Figure 3.22. a) 3-day-old cantaloupe plants grown from germinating seeds; b) After 10 days, they were separated and transplanted into plastic pots; c) Cantaloupe plants after fruit thinning, leaving only a single fruit; d) Cantaloupe plants ready for harvest, grown under the regular formula with the application of nano-P fertilizer.

The nano-P fertilizer has been developed, consisting of HANPs (hydroxyapatite nanoparticles) stabilized by water-soluble chitosan and humic substances extracted from peat. The HANPs,

with diameters of approximately 5–30 nm, are efficiently and sustainably dispersed in the humic extract by using water-soluble chitosan as a suspending agent. This fertilizer significantly improves cantaloupe quality in terms of total sugar content, fruit weight, and energy compared to control samples. The utilization of HANPs and HEs as a novel form of phosphorus fertilizer can enhance crop yields while minimizing the risks of water eutrophication. This approach opens up opportunities for designing nano-metal oxide fertilizers through a chitosan bridge that links these oxides with humic substances. Future research should focus on long-term field trials, the interaction mechanisms between HANPs and soil, along with their effects on microbial and enzymatic activities.

3.3.2. Application of Phosphorus Fertilizers to Peanut Crops

The prepared nano-fertilizer influenced the growth of peanut crops, including germination time, primary branching, flowering, total growth period, pest and disease development, and peanut yield

CONCLUSIONS

(i) Carbon quantum dots (CQDs) were successfully synthesized from natural peat-derived humic acid using an eco-friendly, one-pot method. The resulting CQDs exhibited uniform nano-sized dimensions, excellent water dispersibility, and a high density of oxygen-containing functional groups on their surface, establishing a favorable foundation for applications in the electrochemical field.

(ii) The CQDs were successfully applied as an electrode modifier for the electrochemical determination of theophylline. The CQDs-modified electrode demonstrated strong electrocatalytic activity toward theophylline oxidation, significantly enhancing the peak current intensity compared to the bare electrode. The study confirmed that the oxidation of theophylline is an irreversible process involving the transfer of two electrons and two protons. The developed method holds practical potential for pharmaceutical analysis, demonstrating high recovery rates and excellent reliability.

(iii) Nano-phosphorus (Nano-P) fertilizers were successfully prepared based on animal bone-derived (bovine, goat, buffalo, and pig) hydroxyapatite nanoparticles (HANPs), stabilized by water-soluble chitosan and peat-extracted humic substances. The HANPs, with sizes ranging from 5 to 30 nm, were stably dispersed in the humic medium, forming a nano-fertilizer system with the potential to provide phosphorus efficiently to crops, while simultaneously minimizing nutrient loss and mitigating the risk of water eutrophication.

(iv) The Nano-P fertilizer was successfully trialed on cantaloupe and peanut crops in Hue City. The results indicated that Nano-P significantly improved the growth, yield, and quality of the agricultural products. For cantaloupes, the fruit weight, total sugar content, and energy value were all enhanced compared to the control. For peanuts, the number of pods, number of filled pods, pod weight, and harvest yield showed marked improvements. These findings confirm the application potential of Nano-P fertilizers in promoting efficient, safe, and sustainable agricultural production.

Overall, this research demonstrates the viable efficiency of exploiting natural peat resources to fabricate functional nanomaterials for both electrochemical analysis and high-tech agriculture, contributing to enhancing the utilization value of domestic resources.