

Nghiên cứu vật liệu nanosilica và than sinh học trích ly từ tro trấu từ lò hơi công nghiệp

Lê Hồn Nhiên^{1,2,*}, Đặng Thị Minh Thư^{1,2}, Lê Thị Tiến^{1,2}, Đào Thị Bằng Tâm^{1,2}, Nguyễn Trung Độ^{1,2}, Hà Thúc Chí Nhân^{1,2}

¹Khoa Khoa học và Công nghệ Vật liệu, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM, Việt Nam

²Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, Thành phố Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Lê Hồn Nhiên, Khoa Khoa học và Công nghệ Vật liệu, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM, Việt Nam

Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, Thành phố Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: lhnien@hcmus.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 16-11-2023
- Ngày sửa đổi: 20-5-2024
- Ngày chấp nhận: 9-10-2024
- Ngày đăng: 31-12-2024

DOI :10.32508/stdjns.v7iS1.1327



Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Vỏ trấu từ những đồng lúa rộng lớn là nguồn nhiên liệu dồi dào cho các lò hơi công nghiệp trong xu hướng phát triển năng lượng tái tạo tại Việt Nam. Sau quá trình đốt cháy sinh khối cung cấp nhiệt lượng đun sôi nước và tạo hơi nước, các lò hơi thải ra một lượng tro trấu khá lớn (khoảng 20 - 25 % khối lượng của vỏ trấu ban đầu). Tro trấu là một nguồn vật liệu chi phí thấp chứa thành phần chính là silica và carbon. Những quy trình thân thiện môi trường tái chế tro trấu thành nanosilica và than sinh học cho nhiều ngành công nghiệp, như polymer composite, sơn và lớp phủ, làm sạch nước, hóa chất nông nghiệp, mỹ phẩm và vật dụng y sinh. Trong bài báo này, nguyên liệu tro trấu và các sản phẩm được nghiên cứu bằng các phương pháp phổ huỳnh quang tia X (XRF), kính hiển vi huỳnh quang tia X (micro XRF), phổ nhiễu xạ tia X (XRD), phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR), phổ hấp thụ ánh sáng khả kiến - cực tím (UV-Vis), kính hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS). Kết quả phân tích vật liệu nanosilica cho thấy cấu trúc silica vô định hình, kích thước hạt nano (< 50 nm) và độ tinh khiết cao ($\text{SiO}_2 > 95\%$). Nanosilica dạng gel và nanosilica dạng bột được phối trộn với polyvinyl alcohol (PVA) để chế tạo màng mỏng PVA/nanosilica bằng phương pháp dung dịch đổ khuôn. Thử nghiệm cơ lý kéo các màng PVA/nanosilica cho thấy sự gia cường nanosilica đã cải thiện đáng kể độ bền kéo, mô đun đàn hồi, độ giãn dài và năng lượng kéo đứt. Bên cạnh đó, phân tích vật liệu than sinh học cho thấy tinh thể silica, cấu trúc graphite và thành phần nguyên tố gồm carbon, oxygen, silicon, potassium, magnesium, phosphorus. Than sinh học chứa silica và graphite có thể ứng dụng làm vật liệu gia cường cho polymer composite. Hàm lượng potassium, phosphorus, silicon, magnesium trong than sinh học là chất dinh dưỡng đa trung lượng cho ứng dụng trồng cây trong nông nghiệp. Nhìn chung, các sản phẩm nanosilica và than sinh học có chất lượng tốt cho các ứng dụng khoa học, nông nghiệp và công nghiệp.

Từ khoá: tro trấu, nanosilica, than sinh học, polymer nanocomposite, thân thiện môi trường

MỞ ĐẦU

Việt Nam là nước phát triển nông nghiệp với những cánh đồng lúa diện tích lớn, đặc biệt ở vùng đồng bằng sông Cửu Long. Khi đến mùa thu hoạch, lúa chín được gặt hái và vận chuyển đến các nhà máy lúa gạo để sấy khô, xay xát và phân tách hạt gạo và vỏ trấu. Nước ta đạt sản lượng gạo hàng đầu thế giới, với sản lượng gạo xuất khẩu là 7,1 triệu tấn trong niên vụ 2021-2022¹. Bên cạnh đó, khối lượng phụ phẩm vỏ trấu cũng rất lớn, đến khoảng 8,6 triệu tấn hằng năm². Một lượng lớn vỏ trấu được các nhà máy xay xát lúa gạo thải ra các dòng sông, gây ô nhiễm môi trường³. Các hướng xử lý vỏ trấu hiện nay bao gồm: đốt cháy để tạo thành than sinh học (biochar) giúp cải thiện đất trồng, và dùng làm chất đốt trong các lò hơi công nghiệp. Phương án tận dụng vỏ trấu làm nhiên liệu trong lò hơi công nghiệp có tính hiệu quả và thân thiện môi trường hơn. Năng lượng sinh khối cũng là một dạng năng lượng tái tạo đang được đầu tư

phát triển tại Việt Nam. Tuy nhiên, sau quá trình đốt cháy vỏ trấu để cung cấp nhiệt lượng trong lò hơi, tro trấu (rice husk ash) thải ra từ lò hơi vẫn là một lượng chất thải cần xử lý. Tro trấu có thể được dùng làm phân bón cải tạo đất, vật liệu xử lý nước và phụ gia xi măng⁴. Đặc biệt, với hàm lượng silica cao, tro trấu là nguồn nguyên liệu chi phí thấp để sản xuất nanosilica với nhiều giá trị ứng dụng và kinh tế. Do đó, nhiều quy trình tái chế tro trấu thành nanosilica đã được nghiên cứu và phát triển⁵⁻¹⁰.

Vật liệu silica là một nguyên liệu quan trọng trong các ngành công nghiệp cao su, nhựa composite, vật liệu bê tông, nước sơn, phân bón, thủy tinh, gốm sứ, thực phẩm và vật liệu y sinh¹⁰⁻¹⁵. Phần lớn silica thương mại trên thị trường thế giới hiện nay là dạng silica kết tủa (precipitated silica)¹⁶. Trong quy trình sản xuất silica kết tủa truyền thống, nguyên liệu cát thạch anh được nung với sodium carbonate ở nhiệt độ cao, tiêu tốn nhiều năng lượng, và nhà máy thải ra khối lượng lớn carbon dioxide trong khí thải và sodium sulfate

Trích dẫn bài báo này: Nhiên L H, Thư D T M, Tiến L T, Tâm D T B, Độ N T, Nhân H T C. **Nghiên cứu vật liệu nanosilica và than sinh học trích ly từ tro trấu từ lò hơi công nghiệp.** *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.* 2024; 7(S1):1-16.

trong nước thải, gây ô nhiễm môi trường¹⁷. Do đó, con đường sản xuất silica từ tro trấu được đánh giá là thân thiện môi trường hơn¹⁷⁻¹⁹. Tro trấu được xử lý trích ly silica trong dung dịch kiềm mạnh và sau đó trung hòa với dung dịch axit, tạo thành silica kết tủa trong một quy trình tiết kiệm năng lượng. Những tiến bộ mới trong việc xử lý hóa chất thải của quy trình có thể giúp nhà máy sản xuất sạch và tối ưu. Bên cạnh sản phẩm silica, nhiều quy trình tái chế tro trấu có khả năng sản xuất ra sản phẩm thứ hai là than carbon sinh học²⁰⁻²². Than carbon nguồn gốc sinh học có tiềm năng ứng dụng đa dạng trong các ngành sản xuất phân bón nông nghiệp, vật liệu cao su, polymer composite và công nghệ xử lý môi trường. Một hướng nghiên cứu ứng dụng than sinh học từ vỏ trấu là chế tạo vật liệu điện cực trong các thiết bị lưu trữ năng lượng²³⁻²⁵. Một số bài báo khoa học đã sử dụng tro trấu để chế tạo các cấu trúc nano carbon tiên tiến, như tấm nano graphene và chấm lượng tử graphene²⁶⁻²⁸. Triển vọng sản xuất các vật liệu nano từ tro trấu là thích hợp với mục tiêu công nghiệp hóa và hiện đại hóa.

Trong xu hướng phát triển bền vững, năng lượng tái tạo từ quá trình đốt vỏ trấu trong lò hơi được xem là một phương án hiệu quả để tận dụng khối lượng vỏ trấu rất lớn tại Việt Nam. Việc xử lý tro trấu thải từ lò hơi cũng cần được nghiên cứu và phát triển cho một nền kinh tế tuần hoàn và thân thiện môi trường. Các nghiên cứu trước đã trình bày phương pháp tái chế tro trấu thành nanosilica và than carbon sinh học, nhưng quy trình tái chế tro trấu có thể sản xuất ra các sản phẩm trung gian khác, như dung dịch silicate và nanosilica dạng gel. Trong bài báo này, nguyên liệu tro trấu và các sản phẩm trong một quy trình tái chế tiên tiến được phân tích một cách toàn diện, giúp chuẩn bị cho quá trình tái chế tro trấu trên quy mô lớn. Tro trấu thải ra từ lò hơi công nghiệp được thu thập và phân tích các tính chất độ ẩm, tỉ trọng, thành phần, hàm lượng và bản đồ các nguyên tố. Nhóm nghiên cứu đã thiết kế và áp dụng quy trình sản xuất sạch để tái chế nguyên liệu tro trấu thành nhiều sản phẩm đa dạng: dung dịch potassium silicate, gel nanosilica, bột nanosilica và than sinh học. Quá trình nghiên cứu phân tích bằng các kỹ thuật phổ hồng ngoại (FTIR), nhiễu xạ tia X (XRD), quang phổ hấp thụ ánh sáng khả kiến – cực tím (UV-Vis), kính hiển vi điện tử quét (SEM), phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS) và bản đồ huỳnh quang tia X (micro XRF) thể hiện các đặc tính vật lý, cấu trúc, thành phần và sự phân bố nguyên tố trong các vật liệu nanosilica và than sinh học. Các kết quả phân tích và thử nghiệm chứng minh chất lượng của các sản phẩm, tạo tiền đề cho việc ứng dụng các sản phẩm nanosilica và than sinh học trong nhiều lĩnh vực đa dạng.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Vật liệu

Nguyên liệu tro trấu từ lò hơi công nghiệp được cung cấp bởi công ty Năng Lượng Nhiệt Star Tech, Thành phố Hồ Chí Minh. Hóa chất KOH (rắn) và H₂SO₄ 95–98% (lỏng) có xuất xứ từ công ty Xilong, Trung Quốc. Polyvinyl alcohol (n = 1750 ± 50) là sản phẩm từ công ty Shanghai Zhanyun Chemical, Trung Quốc. Nước cất và cồn công nghiệp 96° được sử dụng trong quá trình nghiên cứu thí nghiệm.

Quy trình tái chế tro trấu thành nanosilica và than sinh học

Tro trấu nguyên liệu được nghiền mịn và xử lý trích ly trong dung dịch KOH nóng (nhiệt độ khoảng 90°C). Quá trình trích ly và lọc rửa phân tách dung dịch potassium silicate với chất rắn than trấu. Dung dịch potassium silicate được trung hòa bằng dung dịch axit loãng để tạo kết tủa gel nanosilica. Dung dịch gel silica được lọc rửa bằng nước cất và cồn công nghiệp, thu được nanosilica dạng gel (GS). Sau khi sấy khô và nghiền mịn, sản phẩm bột nanosilica (NS) được tạo thành cho quá trình nghiên cứu phân tích. Than trấu thu được từ quá trình lọc được rửa bằng nước và sấy khô, thu được sản phẩm than sinh học cho các phân tích tính chất cấu trúc và thành phần.

Quy trình chế tạo màng PVA/nanosilica

PVA được khuấy hòa tan trong nước cất ở nhiệt độ 80°C, thu được dung dịch PVA 10% khối lượng. Nanosilica dạng gel (GS) và nanosilica dạng bột (NS) được phân tán trong nước cất và siêu âm trong 15 phút, tạo thành dung dịch GS 1% và dung dịch NS 1%. Dung dịch PVA 10% được khuấy trộn với dung dịch NS 1% theo các tỉ lệ khối lượng PVA:nanosilica là 99,9:0,1 và 99,5:0,5. Dung dịch PVA/nanosilica được đổ vào khuôn đĩa petri nhựa và sấy ở 60°C trong tủ sấy. Khi màng vật liệu vừa khô (vẫn còn độ ẩm), tách khuôn và thu được màng PVA/0.1NS và màng PVA/0.5NS. Điều chế tương tự với dung dịch GS 1%, chế tạo được màng PVA/0.1GS và màng PVA/0.5GS. Màng PVA có độ ẩm tương tự và không chứa nanosilica được tổng hợp để so sánh với các màng PVA/GS và PVA/NS.

Các phương pháp phân tích vật liệu nanosilica và than sinh học

Các vật liệu gel nanosilica, bột nanosilica và than sinh học được phân tích khối lượng và độ ẩm bằng cân phân tích Ohaus Pioneer và máy cân đo độ ẩm A&D MX-50. Phương pháp đo độ mất khối lượng khi nung

(loss on ignition) được dùng để xác định khối lượng carbon đã cháy trong quá trình nung trong không khí ở nhiệt độ 700°C trong 4 giờ, giúp ước tính hàm lượng carbon trong tro trấu. Thiết bị EDX-8000 (Shimadzu) được dùng để phân tích phổ huỳnh quang tia X (XRF) của mẫu tro trấu trong môi trường khí He, giúp xác định hàm lượng các nguyên tố có số hiệu nguyên tử ≥ 11 . Các mẫu tro trấu và than sinh học được phân tích bản đồ phân bố nguyên tố bằng thiết bị micro XRF (Bruker M4 Tornado Plus).

Phổ hồng ngoại (FTIR) được phân tích bằng thiết bị quang phổ FT/IR-4700 type-A. Phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) được thực hiện trên thiết bị Bruker D2 Phaser (nguồn chiếu xạ Cu K với bước sóng tia tới là 1,54 Å). Quang phổ hấp thụ ánh sáng cực tím-khả kiến (UV-Vis) được phân tích trên thiết bị quang phổ Jasco V-670. Các phân tích kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường (FE-SEM) và phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS) được thực hiện bằng hệ thống thiết bị SEM (Hitachi S-4800) và EDS (Emax Energy).

Phương pháp thử nghiệm cơ lý kéo của màng PVA/nanosilica

Thiết bị đo cơ lý kéo vạn năng Yang Yi Technology (YM-H4202-H02) được sử dụng để phân tích thử nghiệm cơ lý kéo các màng mỏng polymer. Màng mỏng polymer được chuẩn bị và thử nghiệm kéo theo tiêu chuẩn ASTM D882. Các mẫu màng polymer có kích thước 50 x 6 mm và độ dày khoảng 0,3 mm. Tốc độ thử nghiệm kéo mẫu màng polymer là 10 mm/phút. Mỗi loại màng polymer được thử nghiệm kéo 5 lần để tính giá trị trung bình. Từ bảng kết quả thử nghiệm kéo, các giá trị cơ lý chính bao gồm độ bền kéo (MPa), mô đun đàn hồi (MPa), độ giãn dài (%) và năng lượng kéo đứt (kgf/mm).

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

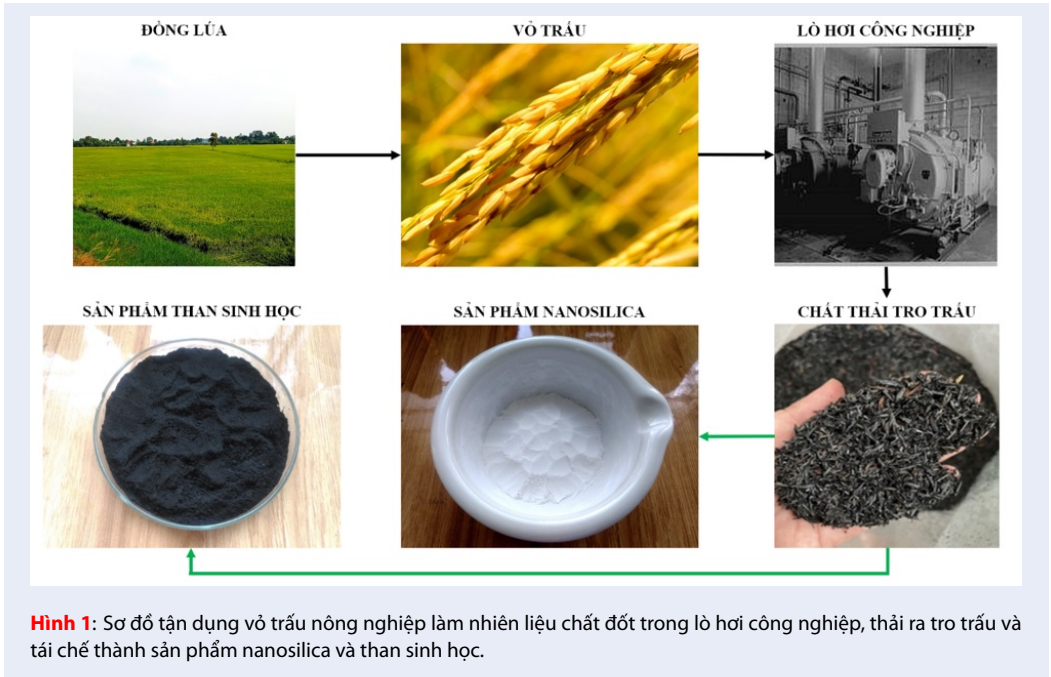
Sơ đồ tận dụng vỏ trấu nông nghiệp và phân tích nguyên liệu tro trấu

Sơ đồ trong Hình 1 mô tả quá trình tận dụng phụ phẩm vỏ trấu từ các ruộng lúa nông nghiệp làm nhiên liệu chất đốt trong các lò hơi công nghiệp. Khi những cánh đồng lúa chín vàng, lúa được thu hoạch và vận chuyển đến nhà máy lúa gạo. Sau quy trình sấy khô, xay xát và sàng lọc, lúa gạo được phân tách thành sản phẩm hạt gạo và các phụ phẩm như tấm, cám và vỏ trấu. Hiện nay, vỏ trấu đang được tận dụng để làm củi trấu, đặc biệt là nhiên liệu chất đốt trong các lò hơi. Quá trình đốt cháy vỏ trấu trong lò hơi cung cấp nhiệt lượng để đun sôi nước và tạo hơi nước nóng cho các hoạt động sản xuất và sinh hoạt. Hơi nước nóng có thể được sử dụng để quay động cơ tua bin hơi nước (steam

turbine), sản xuất điện năng trong các nhà máy nhiệt điện. Việc sản xuất điện từ nguồn sinh khối vỏ trấu là một hướng phát triển năng lượng tái tạo tại Việt Nam, đặc biệt là đồng bằng sông Cửu Long²⁹. Tuy nhiên, sau quá trình đốt trấu, các lò hơi công nghiệp thải ra một lượng lớn tro trấu. Khối lượng tro trấu có thể gần 25% khối lượng của vỏ trấu khô trước khi đốt cháy³⁰. Trong xu hướng phát triển kinh tế tuần hoàn và thân thiện môi trường, chất thải tro trấu cần được tái chế thành các sản phẩm có giá trị. Những quy trình tái chế tro trấu với ưu điểm sản xuất sạch và hiệu quả cao có thể sản xuất các vật liệu nanosilica và than sinh học cho nhiều ngành công nghiệp và ứng dụng thực tiễn. Mô hình tận dụng vỏ trấu để tạo ra năng lượng xanh và sản xuất vật liệu nano có nhiều ưu điểm về môi trường, kinh tế và xã hội trong triển vọng phát triển bền vững.

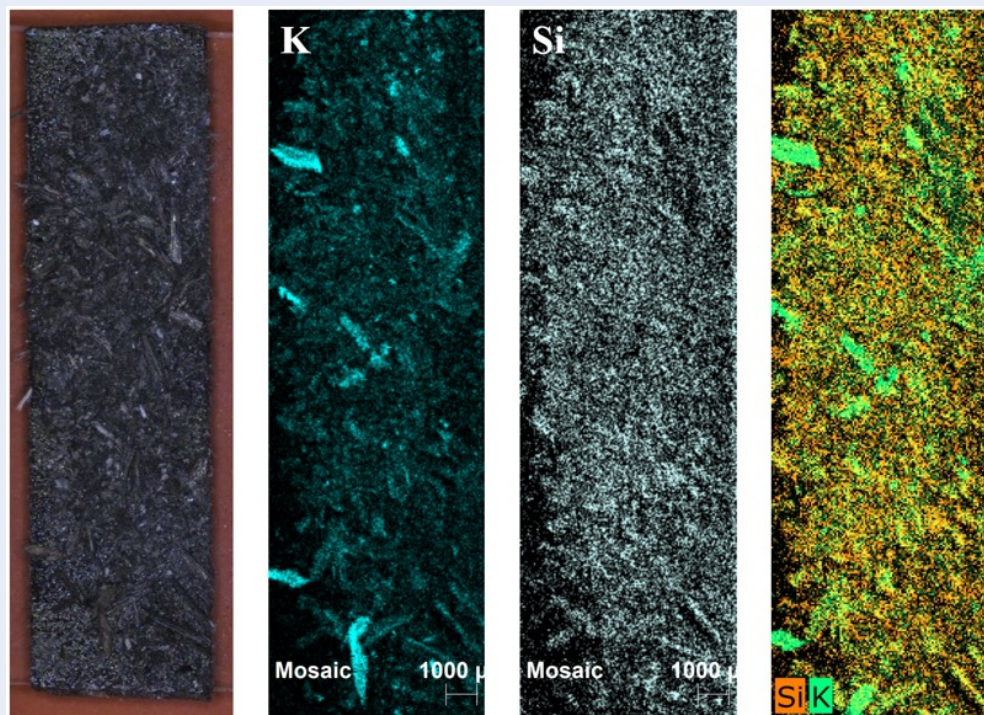
Tro trấu thải ra từ lò hơi công nghiệp là nguyên liệu của quy trình tái chế tro trấu thành nanosilica và than carbon. Mẫu tro trấu đã được phân tích độ ẩm, tỉ trọng và các thành phần nguyên tố. Kết quả phân tích độ ẩm bằng máy cân đo độ ẩm A&D MX-50 cho thấy nguyên liệu tro trấu có độ ẩm trung bình 7% khối lượng. Cân đo khối lượng và thể tích tro trấu cho thấy tỉ trọng tương đối thấp là 0,1585 g/cm³. Phương pháp xác định mất khối lượng khi cháy trong môi trường không khí (loss on ignition) giúp ước tính khối lượng carbon trong tro trấu. Phương pháp phân tích phổ huỳnh quang tia X (XRF) đã xác định các thành phần nguyên tố có số hiệu nguyên tử ≥ 11 trong tro trấu, bao gồm: Si, K, Ca, Al, Mn, S, P, Fe, Zn, Rb, Cu, Sr. Tổng hợp kết quả khối lượng carbon và các nguyên tố khác, Bảng 1 thể hiện hàm lượng % khối lượng của các nguyên tố trong tro trấu khô. Nguyên liệu tro trấu có hàm lượng carbon khoảng 17,945% và hàm lượng silicon 70,673%.

Với hàm lượng silicon và carbon cao, tro trấu là nguồn nguyên liệu chi thấp để sản xuất vật liệu nanosilica và than sinh học. Ngoài ra, tro trấu chứa hàm lượng đáng kể các nguyên tố K (8,057%), Ca (1,52%), Al (0,661%), Mn (0,409%), S (0,258%), P (0,204%) và Fe (0,197%). Phân tích micro XRF trong Hình 2 thể hiện bản đồ phân bố nguyên tố của cấu trúc tro trấu, điển hình là nguyên tố K và Si. Với hàm lượng lớn nhất trong tro trấu, các nguyên tử Si có mật độ dày đặc trong cấu trúc. Sự tích tụ nguyên tử K trong các mảnh tro trấu lớn tạo thành các điểm xanh lục mật độ cao trên bản đồ nguyên tố. Trong quy trình tái chế tro trấu, quá trình phản ứng trong dung dịch kiềm mạnh hòa tan thành phần chính silica trong tro trấu; sau đó, quá trình phân tách tạo thành dung dịch potassium silicate và chất rắn than carbon sinh học. Dung dịch potassium silicate được chuyển đến quá trình trung



Bảng 1: Kết quả phân tích hàm lượng các thành phần nguyên tố trong nguyên liệu tro trấu.

Nguyên tố	Hàm lượng (% khối lượng)	Phương pháp phân tích
Si	70,673	Phổ huỳnh quang tia X (XRF) trong môi trường khí trơ He
K	8,057	
Ca	1,520	
Al	0,661	
Mn	0,409	Xác định độ mất khối lượng khi cháy trong môi trường không khí (loss on ignition)
	0,258	
	0,204	
Fe	0,197	
Zn	0,029	
Rb	0,023	
Cu	0,018	
Sr	0,006	
C	17,945	



Hình 2: Phân tích micro XRF cho thấy ảnh chụp mẫu tro trấu, bản đồ nguyên tố K, bản đồ nguyên tố Si và bản đồ kết hợp nguyên tố Si và K (theo thứ tự từ trái sang phải).

hòa và lọc rửa để sản xuất các sản phẩm nanosilica kết tủa.

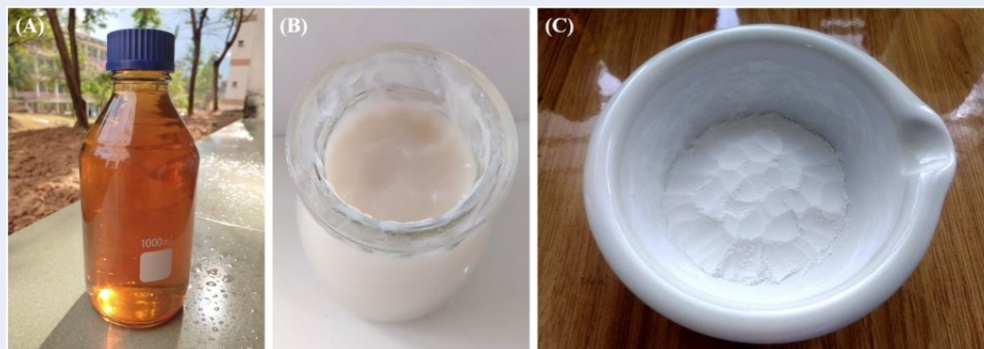
Nghiên cứu phân tích vật liệu nanosilica

Quy trình tái chế tro trấu thành nanosilica tạo ra sản phẩm trung gian là dung dịch potassium silicate (Hình 3A). Dung dịch potassium silicate có màu nâu vàng, trong suốt và tính kiềm mạnh (pH 14). Mặc dù là sản phẩm trung gian để sản xuất nanosilica, dung dịch potassium silicate có nhiều ứng dụng trong nông nghiệp và công nghiệp, như phân bón lá, phân bón cải tạo đất phèn chua, lớp chống cháy trên vật liệu gỗ, ứng dụng chế tạo lớp phủ chống ăn mòn và sản xuất vật liệu bê tông. Trong nghiên cứu này, phản ứng trung hòa dung dịch potassium silicate sản xuất ra sản phẩm gel silica (GS, Hình 3B) và bột nanosilica (NS, Hình 3C). Phân tích độ ẩm cho thấy GS có hàm lượng chất rắn 14% và hàm lượng nước 86%. Sau khi sấy khô và nghiền mịn, thu được sản phẩm NS dạng bột rất mịn màu trắng. NS là vật liệu giá trị cao với nhiều ứng dụng trong lĩnh vực polymer nanocomposite, cao su, sơn và lớp phủ, hóa chất nông nghiệp, mỹ phẩm và y sinh.

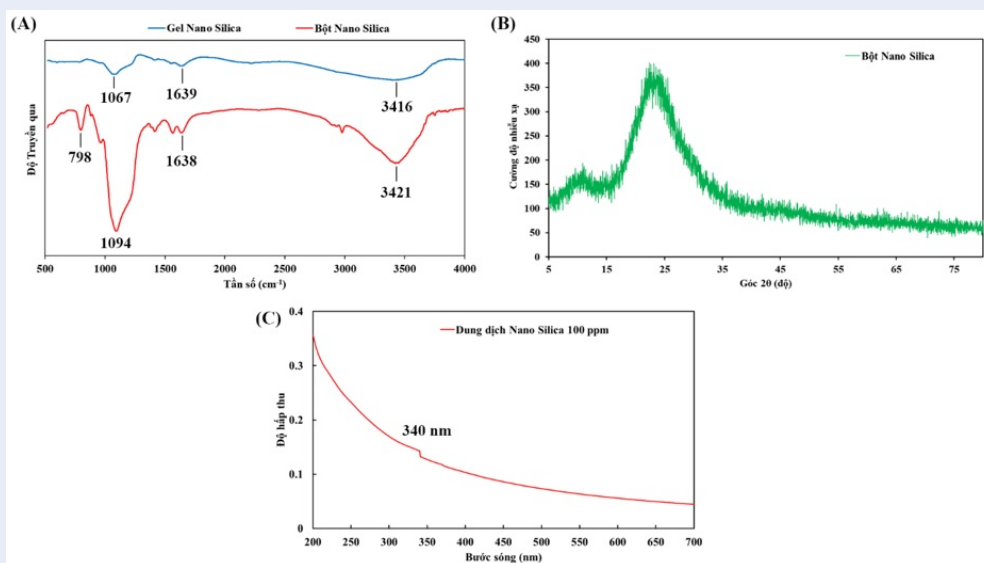
Hình 4A trình bày phổ hồng ngoại của vật liệu GS và NS. Phổ hồng ngoại của bột nanosilica (NS) cho thấy

đỉnh đặc trưng của dao động kéo giãn bất đối xứng Si–O–Si tại 1094 cm^{-1} và kéo giãn đối xứng Si–O–Si tại 798 cm^{-1} của nhóm siloxane trong cấu trúc nanosilica^{31,32}. Dao động kéo giãn O–H tại 3421 cm^{-1} và biến dạng O–H tại 1638 cm^{-1} tương ứng với phân tử nước và nhóm hydroxyl trên bề mặt nanosilica. Mẫu bột NS có độ ẩm thấp, nên các đỉnh đặc trưng của cấu trúc nanosilica có cường độ rõ ràng hơn. Hình 4B thể hiện phổ nhiễu xạ tia X (XRD) của bột NS, cho thấy một đỉnh rộng tại vị trí góc 2θ khoảng $21\text{--}23^\circ$. Đỉnh rộng này đặc trưng cho cấu trúc nanosilica vô định hình được tổng hợp bằng phương pháp kết tủa, hay còn gọi là nanosilica kết tủa (precipitated silica). Bột NS có khả năng phân tán tốt trong nước với sự hỗ trợ của sóng siêu âm. Dung dịch NS nồng độ 100 ppm được phân tích quang phổ hấp thụ ánh sáng khả kiến – cực tím (UV-Vis). Phổ UV-Vis trong Hình 4C cho thấy sự hấp thụ ánh sáng của NS tăng dần từ vùng cận cực tím (400–300 nm) đến vùng trung cực tím (300–200 nm). Một đỉnh nhỏ tại 340 nm thể hiện sự tăng cường độ hấp thụ ánh sáng của nanosilica vô định hình trong vùng cận cực tím^{33–35}.

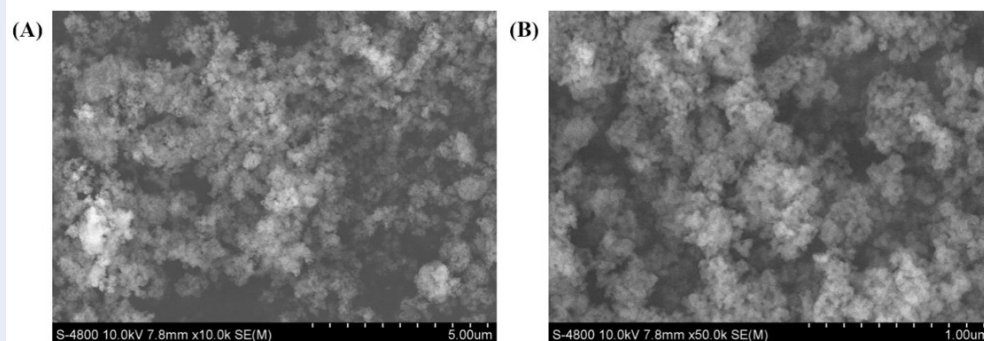
Hình thái cấu trúc, thành phần nguyên tố và bản đồ nguyên tử của vật liệu bột NS được phân tích bằng kỹ thuật kết hợp kính hiển vi điện tử quét (FE-SEM)



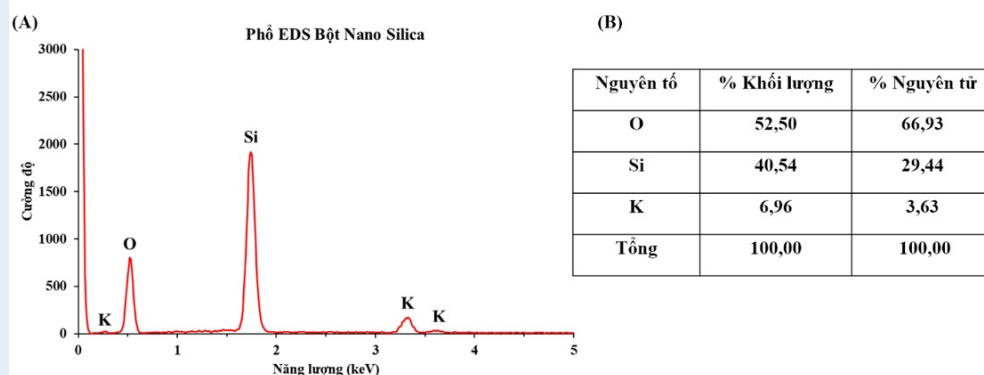
Hình 3: Các sản phẩm của quy trình sản xuất sạch tái chế tro trấu thành nanosilica. (A): Dung dịch potassium silicate (B) Gel nanosilica (GS) (C) Bột nanosilica (NS).



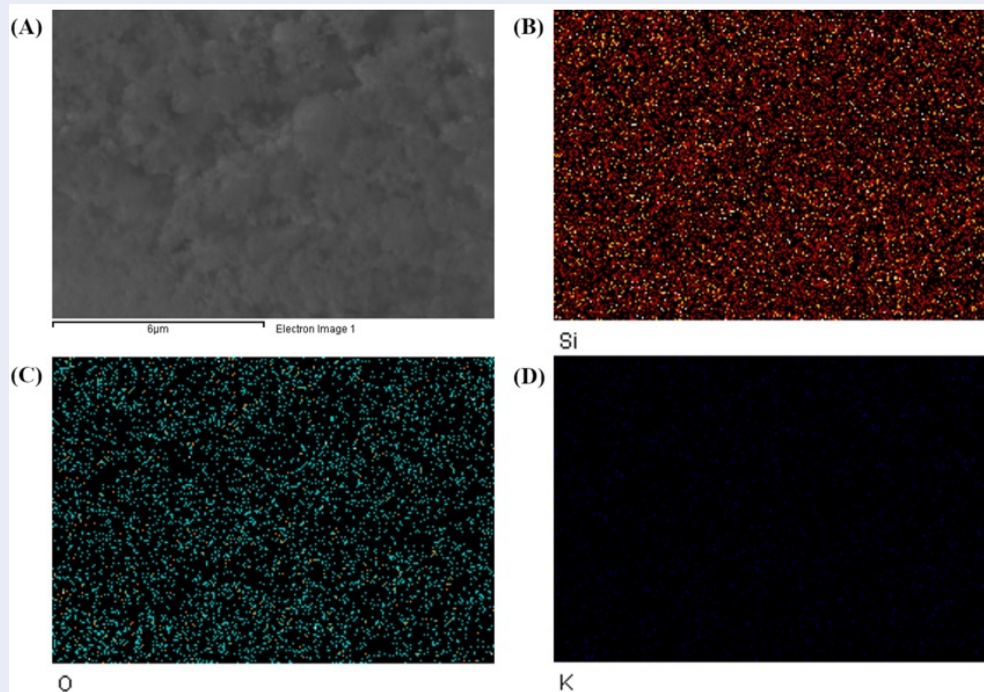
Hình 4: (A) Phổ hồng ngoại (FTIR) của gel nanosilica và bột nanosilica. (B) Phổ nhiễu xạ tia X (XRD) của bột nanosilica. (C) Quang phổ hấp thụ ánh sáng (UV-Vis) của bột nanosilica trong dung dịch nước (nồng độ 100 ppm).



Hình 5: Ảnh kính hiển vi điện tử quét (FE-SEM) của bột nanosilica với thang kích thước 5 μm (A) và thang kích thước 1 μm (B).



Hình 6: Kết quả phân tích phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS). (A) Phổ EDS của bột nanosilica; (B) Hàm lượng các thành phần nguyên tố trong bột nanosilica.



Hình 7: Phân tích bột nanosilica bằng phương pháp EDS để lập bản đồ các nguyên tố. (A) Ảnh SEM của vùng phân tích bản đồ nguyên tố; (B, C, D): Bản đồ các nguyên tố Si (chấm đỏ), O (chấm xanh lam nhạt) và K (chấm xanh dương) trong bột nanosilica.

và phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS). Các ảnh SEM trong Hình 5 thể hiện cấu trúc nano của bột NS. Các hạt nanosilica kích thước < 50 nm sắp xếp thành các khối cấu trúc xốp. Kết quả này cho thấy khá rõ kích thước nano của các hạt nanosilica. Kích thước hạt nano là một tính chất quan trọng cho ứng dụng chế tạo các vật liệu nanocomposite. Hình 6 và Hình 7 trình bày kết quả phân tích EDS của bột NS. Vật liệu nanosilica có thành phần nguyên tố gồm 66,93% nguyên tử oxygen, 29,44% nguyên tử silicon và 3,63% nguyên tử potassium. Mặc dù một lượng nhỏ potassium vẫn còn trong cấu trúc vật liệu, sản phẩm NS đạt độ tinh khiết cao (96,37% SiO₂). Bản đồ phân bố các nguyên tử Si, O và K được thể hiện trong Hình 6B, 6C và 6D. Với kích thước hạt nano và độ tinh khiết > 95%, bột NS có chất lượng tương đương với các sản phẩm nanosilica giá trị cao trên thị trường.

Tính chất cơ lý của màng PVA/nanosilica tổng hợp từ gel nanosilica và bột nanosilica

Các màng PVA, PVA/GS và PVA/NS được chế tạo bằng phương pháp đổ khuôn dung dịch polymer và sấy ở 60°C. Hình 8 cho thấy các mẫu màng được chuẩn bị cho thử nghiệm đo cơ lý kéo theo tiêu chuẩn ASTM D882. Các màng PVA, PVA/GS và PVA/NS đều có độ trong suốt cao. Quá trình phối trộn nanosilica vào màng PVA không làm ảnh hưởng đáng kể đến độ trong suốt của màng vật liệu. Đặc điểm này là cần thiết đối với các ứng dụng cần màng vật liệu trong suốt.

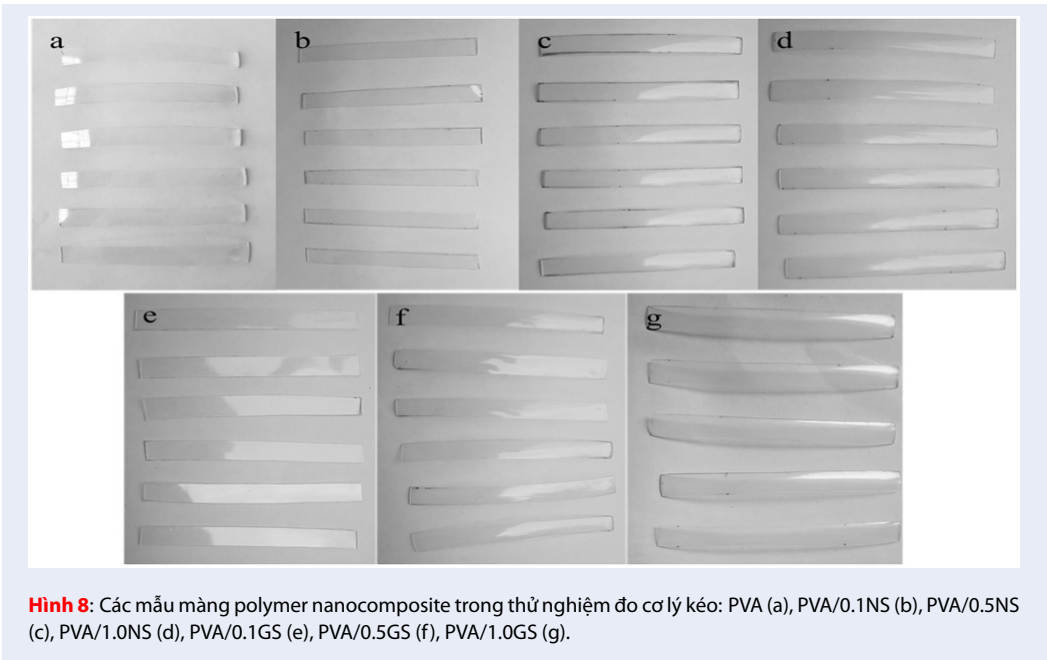
Kết quả thử nghiệm cơ lý kéo của các màng PVA, PVA/GS và PVA/NS được trình bày trong Bảng 2 và Hình 9. Màng PVA có độ bền kéo 28,55 MPa, mô đun đàn hồi 50,62 MPa, đặc biệt là độ giãn dài 529,47% và năng lượng kéo đứt 403,50 kgf/mm. Sự phối trộn và gia cường GS trong màng PVA đã làm tăng đáng kể độ bền kéo và mô đun đàn hồi. Màng PVA/0.5GS có độ bền kéo 36,16 MPa, mô đun đàn hồi 127,46 MPa, độ giãn dài 595,65% và năng lượng kéo đứt 460,10 kgf/mm. Đáng chú ý là các màng PVA/NS nanocomposite có sự gia tăng mạnh hơn của các tính chất cơ lý kéo. Với hàm lượng 0,1% bột nanosilica gia cường, màng PVA/0.1NS đạt độ bền kéo 38,09 MPa (tăng 33,42% so với màng PVA), mô đun đàn hồi 145,33 MPa (tăng 187,1% so với màng PVA), độ giãn dài 638,36 (tăng 20,57% so với màng PVA) và năng lượng kéo đứt 561,09 kgf/mm (tăng 39,06% so với màng PVA). Như vậy, với hàm lượng thích hợp và sự phân bố đồng đều của các hạt nanosilica trong nhựa nền, màng PVA/0.1NS nanocomposite đã có sự tăng cường tính chất cơ lý và độ trong suốt cao cho nhiều ứng dụng, như bao bì và y sinh.

Hàm lượng thấp (0,1%) của các hạt silica kích thước nano trong PVA nền đã tạo thành cấu trúc polymer nanocomposite đồng đều. Trong quá trình đo độ bền kéo, ứng suất kéo tác động vào polymer nền được truyền đến các hạt nanosilica. Nhờ diện tích tương tác lớn với PVA nền, các hạt nanosilica giúp tăng cường sự liên kết trong cấu trúc nanocomposite, dẫn đến sự tăng cường độ bền kéo của màng vật liệu. Khi tăng hàm lượng nanosilica lên nồng độ cao hơn (0,5%), các hạt nanosilica bắt đầu kết tụ thành các hạt to hơn trong màng vật liệu. Các cấu trúc silica kết tụ có diện tích tương tác nhỏ hơn với polymer nền, nên hiệu quả gia cường thấp hơn so với cấu trúc nanosilica phân tán tốt trong polymer nền. Do đó, màng PVA/0.5NS có độ bền kéo (30,91 MPa) thấp hơn so với màng PVA/0.1NS (38,09 MPa). Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu trước. Tác giả Wang Chao và cộng sự đã chứng minh rằng hàm lượng nhỏ nanosilica giúp tăng cường đáng kể độ bền kéo của màng PVA/nanosilica nanocomposite³⁶. Nghiên cứu của tác giả Lee Ji-hye và đồng nghiệp đã cho thấy hàm lượng nhỏ nanosilica (< 0,5%) làm tăng sự kết tinh của PVA trong màng nanocomposite³⁷. Độ kết tinh cao hơn có thể là một nguyên nhân dẫn đến sự tăng độ bền kéo của màng PVA/0.1NS.

Nghiên cứu phân tích vật liệu than sinh học

Carbon là một trong hai thành phần nguyên tố chính trong nguyên liệu tro trấu, với hàm lượng ~ 17,9% khối lượng. Do đó, quy trình tái chế tro trấu thành nanosilica cũng sản xuất ra sản phẩm thứ hai là than sinh học. Hình 10A cho thấy sản phẩm than sinh học có dạng bột mịn màu đen. Phân tích độ ẩm cho kết quả hàm lượng nước 10%. Phương pháp cân khối lượng và đo thể tích cho kết quả tỉ trọng của than sinh học là 0,2607 g/cm³, cao hơn tỉ trọng 0,1585 g/cm³ của tro trấu ban đầu. Than sinh học có hạt nhỏ mịn, chiếm mật độ cao với ít khoảng trống hơn trong một đơn vị thể tích, nên đạt tỉ trọng cao hơn.

Phổ nhiễu xạ tia X (XRD) của bột than sinh học được trình bày trong Hình 10B. Đỉnh XRD ở góc 2θ = 21,9° đặc trưng cho cấu trúc silica tinh thể. Sau quá trình phản ứng trích ly silica, một lượng silica vẫn còn trong than sinh học. Khác với đỉnh rộng trong khoảng 2θ = 21° – 23° của silica vô định hình (Hình 4B), đỉnh nhọn ở góc 2θ = 21,9° cho thấy cấu trúc tinh thể của silica trong than sinh học. Quá trình đốt cháy ở nhiệt độ cao trong lò hơi công nghiệp có thể đã hình thành các cấu trúc tinh thể silica trong tro trấu. Quá trình trích ly trong dung dịch kiềm mạnh đã không hòa tan hoàn toàn các cấu trúc tinh thể silica. Do đó, một hàm lượng tinh thể silica vẫn tồn tại trong sản phẩm



Hình 8: Các mẫu màng polymer nanocomposite trong thử nghiệm đo cơ lý kéo: PVA (a), PVA/0.1NS (b), PVA/0.5NS (c), PVA/1.0NS (d), PVA/0.1GS (e), PVA/0.5GS (f), PVA/1.0GS (g).

Bảng 2: Tính chất cơ lý kéo của màng PVA và các màng nanocomposite PVA/GS và PVA/NS.

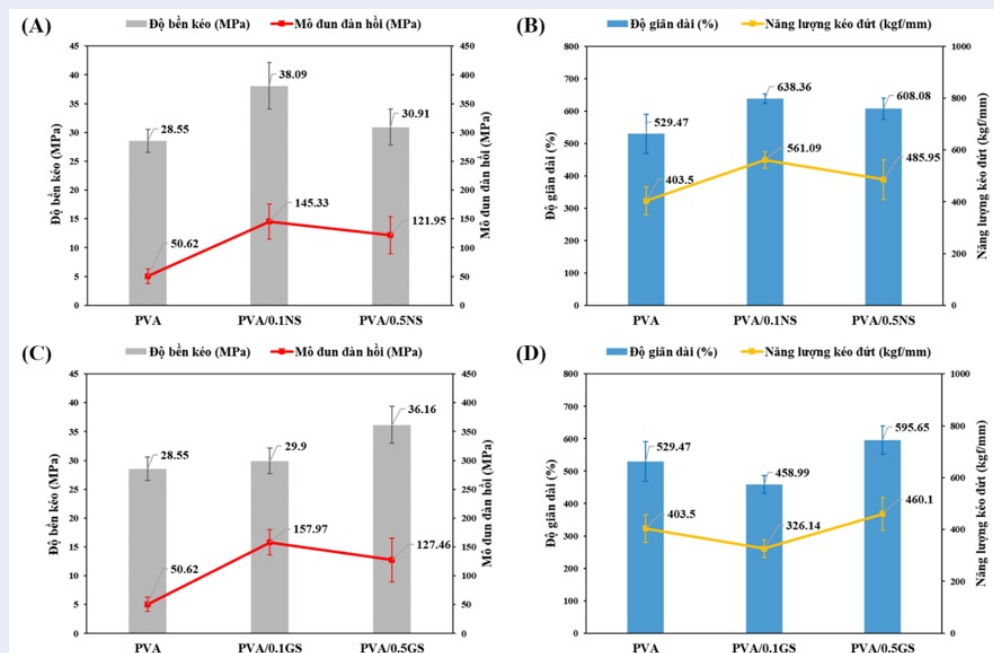
Màng vật liệu	Độ bền kéo (MPa)	Mô đun đàn hồi (MPa)	Độ giãn dài (%)	Năng lượng kéo đứt (kgf/mm)
PVA	28,55 ± 2,01	50,62 ± 12,52	529,47 ± 61,12	403,50 ± 53,17
PVA/0.1GS	29,90 ± 2,24	157,97 ± 22,03	458,99 ± 26,98	326,14 ± 34,65
PVA/0.5GS	36,16 ± 3,19	127,46 ± 38,37	595,65 ± 42,97	460,10 ± 64,00
PVA/0.1NS	38,09 ± 4,00	145,33 ± 30,56	638,36 ± 14,15	561,09 ± 31,80
PVA/0.5NS	30,91 ± 3,13	121,95 ± 32,27	608,08 ± 32,23	485,95 ± 76,95

than sinh học. Phổ XRD trong Hình 10B thể hiện một đỉnh nhọn khác ở góc $2\theta = 26,5^\circ$, đặc trưng cho cấu trúc tinh thể graphite. Tương tự như quá trình hình thành tinh thể silica, cấu trúc tinh thể graphite có thể được hình thành trong quá trình đốt cháy ở nhiệt độ cao trong lò hơi công nghiệp. Sự hiện diện của tinh thể silica và tinh thể graphite trong than sinh học là một điểm đặc trưng cho ứng dụng làm vật liệu gia cường trong polymer composite. Các tinh thể silica và graphite là những cấu trúc cứng, giúp tăng cường tính chất cơ lý của vật liệu polymer composite.

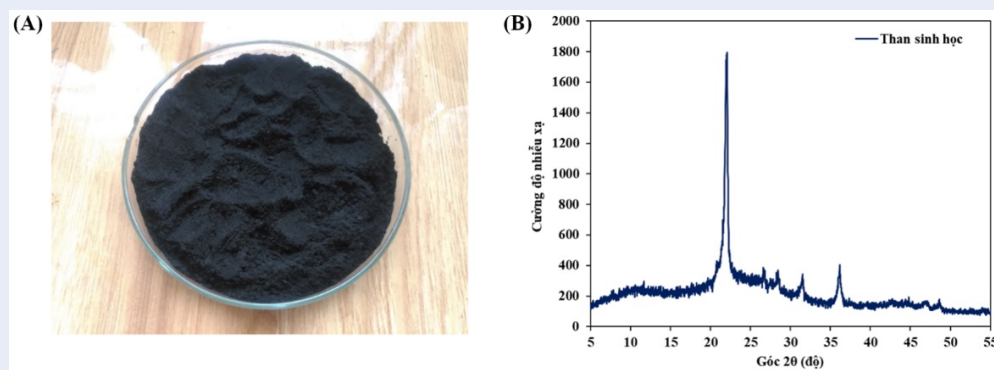
Hình 11 cho thấy các ảnh SEM của vật liệu than sinh học. Những mảnh carbon lớn có kích thước 50–100 μm (Hình 11A), và những mảnh carbon nhỏ có độ dày $\sim 100\text{ nm}$ (Hình 11C). Hình thái cấu trúc vật liệu than sinh học có độ rỗng xốp và một số cấu trúc carbon có kích thước nano. Mẫu than sinh học được phân tích phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS) để xác định hàm lượng và bản đồ các nguyên tố thành

phần. Trong Hình 12, kết quả phân tích EDS cho thấy than sinh học chứa 87,84% nguyên tử carbon, 11,27% nguyên tử oxygen, 0,28% nguyên tử silicon, 0,32% nguyên tử potassium, 0,16% nguyên tử magnesium và 0,13% nguyên tử phosphorus. Các bản đồ nguyên tử trong Hình 13 cho thấy sự phân bố đồng đều các loại nguyên tử trong vật liệu than sinh học. Như vậy, ngoài nguyên tố chính là carbon, than sinh học chứa hàm lượng đáng kể các nguyên tố Si, K, Mg and P. Potassium và phosphorus là hai nguyên tố dinh dưỡng đa lượng cho cây trồng; silicon và magnesium là hai nguyên tố dinh dưỡng trung lượng cho cây trồng. Do đó, vật liệu than sinh học có tiềm năng ứng dụng làm phân bón bổ sung dinh dưỡng trong trồng trọt nông nghiệp.

Phương pháp micro XRF được áp dụng để phân tích bản đồ nguyên tố trên vật liệu than sinh học. Micro XRF là một kỹ thuật phân tích hiện đại giúp xác định sự phân bố nguyên tố trong phạm vi diện tích



Hình 9: Tính chất cơ lý kéo của màng PVA/NS nanocomposite (A, B) và màng PVA/GS nanocomposite (C, D). Đồ thị độ bền kéo – mô đun đàn hồi (A) và đồ thị độ giãn dài – năng lượng kéo đứt (B) của màng PVA và PVA/NS. Đồ thị độ bền kéo – mô đun đàn hồi (C) và đồ thị độ giãn dài–năng lượng kéo đứt (D) của màng PVA và PVA/GS.



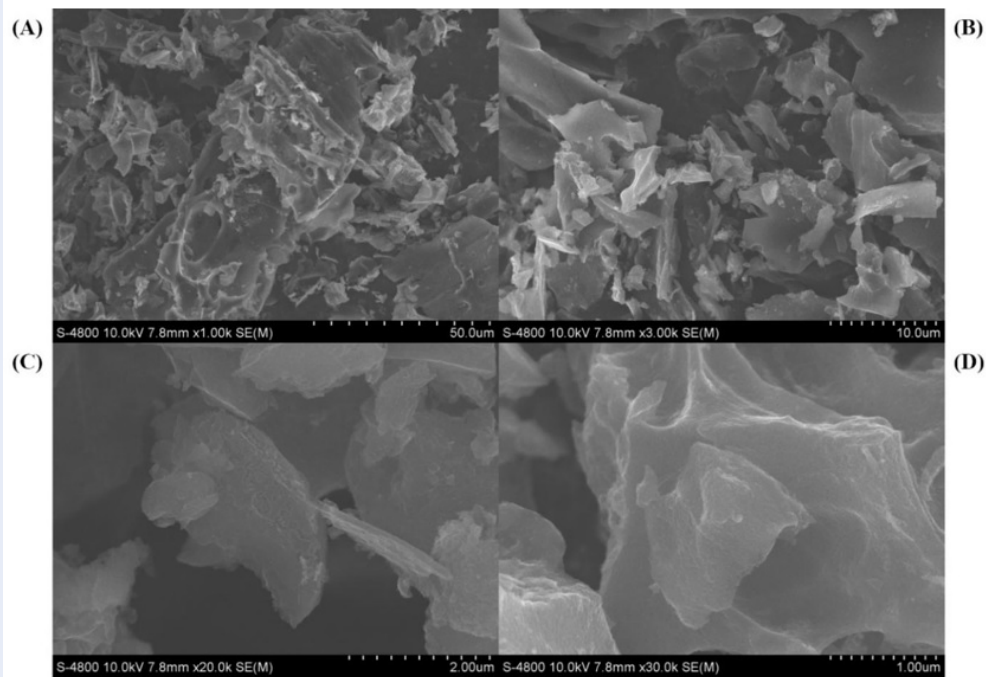
Hình 10: Sản phẩm than sinh học (A) và hồ nhiễu xạ tia X (XRD) của than sinh học (B).

mở rộng trên các vật liệu đa nguyên tố, đặc biệt là mẫu đá khoáng vật và các cấu trúc thực vật^{38,39}. Bản đồ nguyên tố trong Hình 2 cho thấy các điểm tích tụ potassium (K) và sự hiện diện silicon (Si) trong toàn bộ cấu trúc tro trấu. Tương tự, bản đồ nguyên tố potassium và silicon của các hạt than sinh học trên phạm vi kích thước centimét được thể hiện trong Hình 14. Sau quá trình trích ly silica, vật liệu than sinh học vẫn có sự phân bố Si đều khắp và sự tích tụ K tại các điểm trong cấu trúc. Điều này phù hợp với kết quả phân tích EDS về sự hiện diện và phân bố K và Si trên phạm vi kích thước micromét trên vật liệu

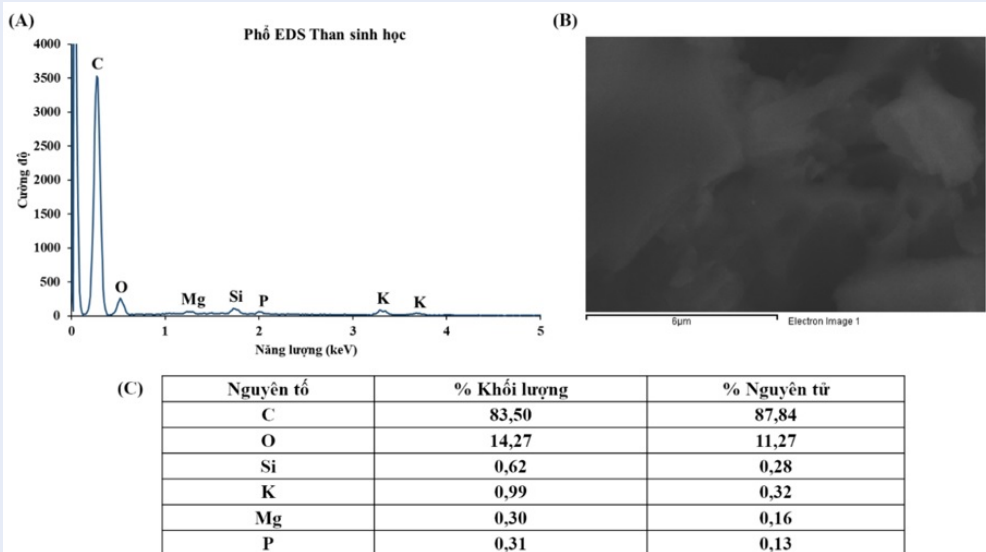
than sinh học.

KẾT LUẬN

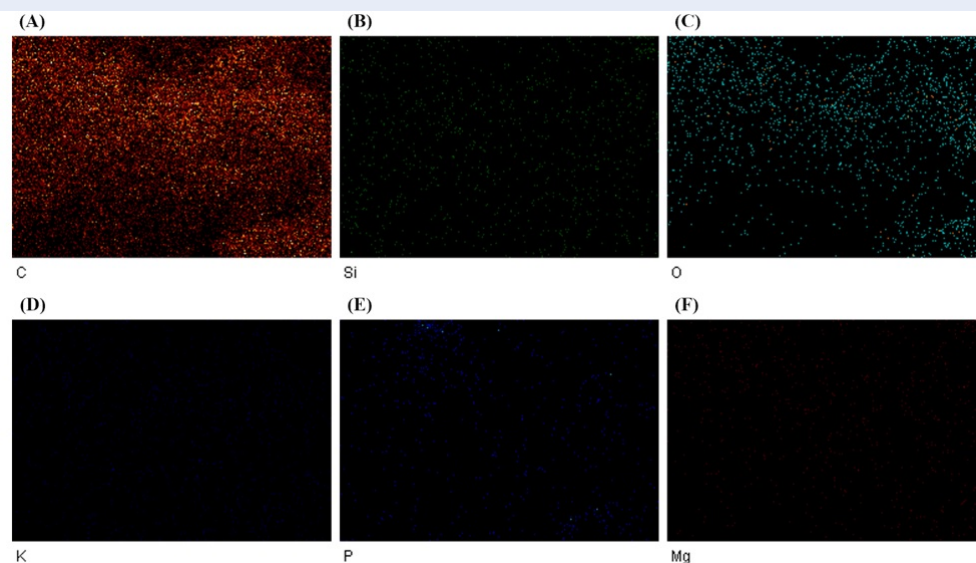
Việc tận dụng phụ phẩm vỏ trấu làm nhiên liệu chất đốt trong lò hơi công nghiệp là một hướng phát triển năng lượng tái tạo vì vỏ trấu là nguồn sinh khối dồi dào có thể tái tạo hàng năm từ các ruộng lúa nông nghiệp tại Việt Nam, đặc biệt tại vùng đồng bằng sông Cửu Long. Nhiều nhà máy công nghiệp đã sử dụng lò hơi đốt vỏ trấu để cung cấp nhiệt lượng cho quá trình sản xuất, giúp tiết kiệm năng lượng điện và chi



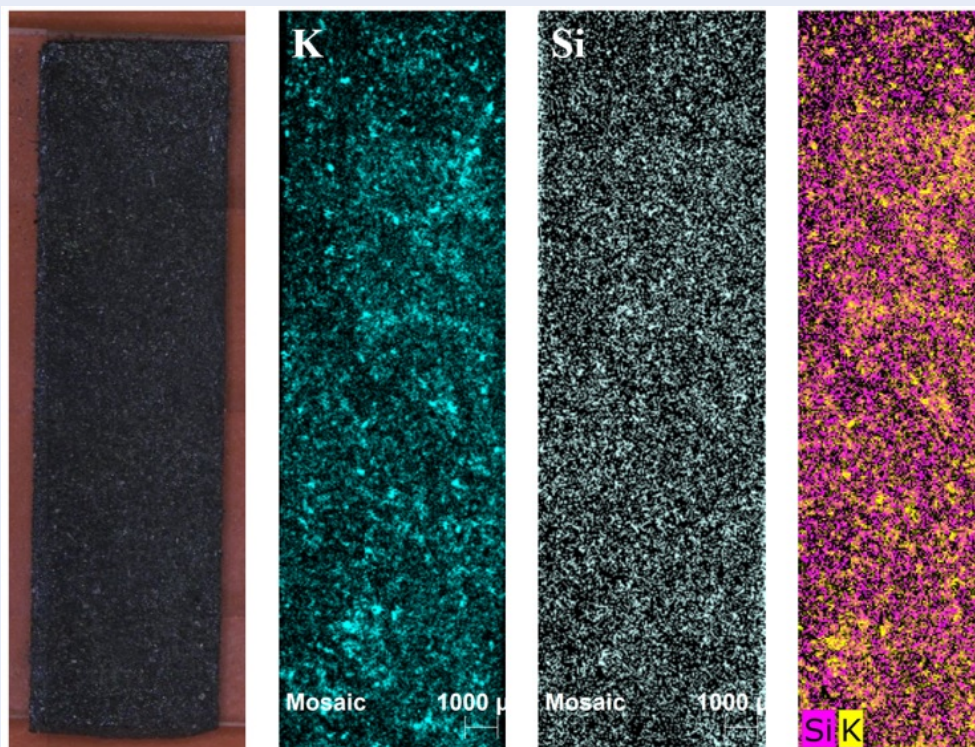
Hình 11: Ảnh kính hiển vi điện tử quét (FE-SEM) của vật liệu than sinh học với các thang kích thước 50 μm (A), 10 μm (B), 2 μm (C) và 1 μm (D).



Hình 12: Kết quả phân tích phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS) của than sinh học: Phổ EDS (A) Ảnh SEM của vùng phân tích EDS (B) Hàm lượng các nguyên tố trong vật liệu than sinh học (C).



Hình 13: Bản đồ nguyên tố cho thấy sự phân bố các nguyên tử trong vật liệu than sinh học: (A) Bản đồ nguyên tử C (chấm đỏ) (B) Bản đồ nguyên tử Si (chấm xanh lục) (C) Bản đồ nguyên tử O (chấm xanh lam nhạt) (D) Bản đồ nguyên tử K (chấm xanh dương đậm) (E) Bản đồ nguyên tử P (chấm xanh dương) (F) Bản đồ nguyên tử Mg (chấm đỏ đậm).



Hình 14: Phân tích micro XRF cho thấy ảnh chụp mẫu than sinh học, bản đồ nguyên tố K, bản đồ nguyên tố Si và bản đồ kết hợp nguyên tố Si và K (theo thứ tự từ trái sang phải).

phí vận hành. Tuy nhiên, lượng lớn tro trấu thải ra từ các lò hơi cần được tiếp tục tái chế thành các sản phẩm giá trị như vật liệu nanosilica và than sinh học. Quá trình phân tích tính chất và thành phần tro trấu giúp đánh giá và tính toán quy trình tái chế tro trấu hiệu quả. Tro trấu chứa 70,673% silicon và 17,945% carbon là nguồn nguyên liệu chi phí thấp để sản xuất nanosilica và than sinh học. Quy trình sản xuất sạch tái chế tro trấu thành nanosilica và than sinh học có thể góp phần phát triển nền kinh tế tuần hoàn và thân thiện môi trường.

Quá trình nghiên cứu phân tích vật liệu nanosilica đã trình bày các tính chất đặc biệt của các sản phẩm. Dung dịch potassium silicate có tiềm năng ứng dụng làm phân bón lá, phân bón cải tạo đất, chế tạo các vật liệu bê tông, vật liệu gỗ chống cháy và vật liệu chống ăn mòn. Gel nanosilica và bột nanosilica là các sản phẩm chính chứa các hạt nanosilica vô định hình. Các hạt nanosilica có kích thước < 50 nm và sắp xếp thành các khối cấu trúc xốp. Thí nghiệm chế tạo polymer nanocomposite cho thấy các màng PVA/0.5GS và PVA/0.1NS có tính chất cơ lý cao hơn đáng kể so với màng PVA. Đặc biệt, màng PVA/0.1NS có hàm lượng nanosilica gia cường thấp (0,1%), độ trong suốt cao và sự tăng cường mạnh các tính chất cơ lý kéo (độ bền kéo, mô đun đàn hồi, độ giãn dài và năng lượng kéo đứt). Ngoài ứng dụng trong polymer nanocomposite, bột nanosilica còn có khả năng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực, bao gồm vật liệu cao su, sơn và lớp phủ, hóa chất trong nông nghiệp và thủy sản, mỹ phẩm và vật liệu y sinh.

Kết quả nghiên cứu phân tích vật liệu than sinh học đã thể hiện các cấu trúc và thành phần đặc trưng. Bột than sinh học chứa cấu trúc tinh thể silica và tinh thể graphite được hình thành trong quá trình đốt cháy trong lò hơi. Về hình thái cấu trúc, các mảnh carbon lớn có kích thước 50 – 100 μm , và các mảnh carbon nhỏ có bề dày 100 nm. Phân tích thành phần và bản đồ nguyên tố cho thấy cấu trúc than sinh học bao gồm 87,84% nguyên tử carbon và 11,27% nguyên tử oxygen. Hàm lượng K (0,99% khối lượng) và P (0,31% khối lượng) là các nguyên tố dinh dưỡng đa lượng. Hàm lượng Si (0,62% khối lượng) và Mg (0,3% khối lượng) là các nguyên tố dinh dưỡng trung lượng. Như vậy, than sinh học chứa tinh thể silica và graphite là vật liệu gia cường cho polymer composite. Than sinh học cũng chứa các nguyên tố dinh dưỡng đa trung lượng phù hợp ứng dụng sản xuất các loại phân bón nông nghiệp. Cấu trúc than sinh học có tiềm năng ứng dụng chế tạo vật liệu than hoạt tính xử lý nước, vật liệu điện cực lưu trữ năng lượng và các vật liệu nano carbon tiên tiến.

Nhìn chung, sơ đồ tận dụng vỏ trấu để cung cấp năng lượng và tái chế tro trấu thành các sản phẩm có giá trị thực tiễn đã được trình bày và phân tích. Quy trình tái chế tro trấu có thể sản xuất ra nhiều sản phẩm đa dạng (potassium silicate, gel nanosilica, bột nanosilica và bột than sinh học). Các sản phẩm nanosilica và than sinh học có thành phần cấu trúc đặc trưng và chất lượng tốt cho nhiều ứng dụng trong khoa học, nông nghiệp và công nghiệp. Việc đầu tư phát triển quy trình sản xuất sạch tái chế tro trấu trên quy mô lớn có thể mang đến nhiều lợi ích kinh tế và môi trường trong xu hướng phát triển bền vững hiện nay.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Phòng thí nghiệm cơ ở Khoa học Vật liệu, Khoa Khoa học và Công nghệ Vật liệu, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh đã hỗ trợ quá trình thực hiện nghiên cứu và phát triển. Nhóm dự án gửi lời cảm ơn đến công ty Năng Lượng Nhiệt Star Tech đã cung cấp tro trấu từ lò hơi công nghiệp. Nhóm nghiên cứu cảm ơn công ty T&N và Bruker Nano Analytics đã hỗ trợ phân tích micro XRF trên thiết bị Bruker M4 Tornado Plus.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

GS: gel nanosilica

NS: bột nanosilica

XRF (X-ray fluorescence spectroscopy): phổ huỳnh quang tia X

Micro XRF (microscopic X-ray fluorescence spectroscopy): kính hiển vi huỳnh quang tia X

LOI (loss on ignition): độ mất khối lượng khi nung

FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy): phổ hồng ngoại biến đổi Fourier

XRD (X-ray diffraction): phổ nhiễu xạ tia X

UV-Vis (ultraviolet-visible absorption spectroscopy): phổ hấp thụ ánh sáng khả kiến – cực tím

SEM (scanning electron microscopy): kính hiển vi điện tử quét

FE-SEM (field-emission scanning electron microscopy): kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường

EDS (energy dispersive X-ray spectroscopy): phổ tán sắc năng lượng tia X

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Quy trình sản xuất sạch tái chế tro trấu thành nanosilica và than sinh học đã được các tác giả và Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh đăng ký bảo hộ sở hữu trí tuệ (số công bố VN 1-2021-07971 và VN 1-2021-07972).

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Lê Hồn Nhiên: Kế hoạch nghiên cứu, thực hiện thí nghiệm, phân tích kết quả, biên soạn bài báo

Đặng Thị Minh Thư: Thí nghiệm chế tạo nanosilica và màng polymer nanocomposite

Lê Thị Tiến: Thí nghiệm chế tạo nanosilica

Đào Thị Băng Tâm: Hỗ trợ thí nghiệm và phân tích kết quả

Nguyễn Trung Độ: Hỗ trợ đo lường và phân tích kết quả

Hà Thúc Chí Nhân: Giám sát và tư vấn công trình dự án

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Sản lượng gạo Việt Nam ra sao trong những năm El Nino?. VnExpress. 2023;Available from: <https://vnexpress.net/san-luong-gao-viet-nam-ra-sao-trong-nhung-nam-el-nino-4639846.html>.
- Phụ phẩm nông nghiệp: Nguồn tài nguyên đang bị lãng phí. Báo Điện Tử Chính Phủ. 2021;Available from: <https://baohinhphu.vn/phu-pham-nong-nghiep-nguon-tai-nguyen-dang-bi-lang-phi-102300165.htm>.
- Nguyen VS, Thai VH, Tran DT, Nguyen VH, Dinh VT, Nguyen CT, Nguyen TMP, Phan AT, Tran BU. Development of rice husk power plants based on clean development mechanism: A case study in Mekong River Delta, Vietnam. Sustainability. 2021;13:6950;Available from: <https://doi.org/10.3390/su13126950>.
- Moayed H, Aghel B, Abdullahi MM, Nguyen H, Rashid ASA. Applications of rice husk ash as green and sustainable biomass. J Clean Prod. 2019;237:117851;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117851>.
- Nguyen TT, Trinh XA, Ho NTT, Le VN, Nguyen HMP, Pham TBT, Nguyen TKC, Nguyen TT. Tổng hợp hạt nano SiO₂ từ tro vỏ trấu bằng phương pháp kết tủa. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ. 2014;32:120–124;Available from: <https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/1888>.
- Nguyen VH, Nguyen NB, Nguyen HN, Tran HB, Đặng TTL. Điều chế vật liệu nano SiO₂ cấu trúc xốp từ tro trấu để hấp phụ xanh metylen trong nước. Tạp chí Hóa học. 2015;53(4):491–496;Available from: <https://doi.org/10.15625/0866-7144.2015-00168>.
- Nguyen TH, Lai TTT, Yudy PMG, Nguyen NT, Nguyen TTM, Nguyen KN. Nghiên cứu tổng hợp và xác định đặc trưng vật liệu nano silica định hướng ứng dụng y sinh. Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption. 2021;10(2):114–118;Available from: <https://doi.org/10.51316/jca.2021.039>.
- Dao TBT, Nguyen TD, Luu KQ, Hà Thúc CN. Chế biến silica từ vỏ trấu – ứng dụng tạo vật liệu xử lý kim loại nặng trong nước thải công nghiệp. Sci Tech Dev J - Nat Sci. 2020;4(4):789–798;Available from: <https://doi.org/10.32508/stdjns.v4i4.915>.
- Nguyen DVQ, Tran NT, Dinh QK, Ho VMH, Dang XT, Bui THD, Le VTS, Nguyen TKD, Le TN, Bui TT, Ho TTD. Separation of spherical nanosilica from agricultural wastes in vietnam via ultrasonic-assisted precipitation and application for effective removal of methylene blue from aqueous solution. J Nanotechnol. 2023;8884113:1-16;Available from: <https://doi.org/10.1155/2023/8884113>.
- Tran HB, Le VB, Phan VTA. Mechanical properties of high strength concrete containing nano SiO₂ made from rice husk ash in southern Vietnam. Crystals. 2021;11:932;Available from: <https://doi.org/10.3390/cryst11080932>.
- Shiva M, Golmohammadi M, Nouroozi F. Extraction of silica from rice husk for rubber-cord adhesion systems of tire industry. Biomass Conv Biore. 2023;Available from: <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03893-8>.
- Nguyen NT, Nguyen DH, Pham DD, Dang VP, Nguyen QH, Hoang DQ. New oligochitosan-nanosilica hybrid materials: preparation and application on chili plants for resistance to anthracnose disease and growth enhancement. Polym J. 2017;49:861–869;Available from: <https://doi.org/10.1038/pj.2017.58>.
- Hossain SKS, Mathur L, Roy PK. Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review. J Asian Ceram Soc. 2018;6(4):299–313;Available from: <https://doi.org/10.1080/21870764.2018.1539210>.
- Kasaai MR. Nanosized particles of silica and its derivatives for applications in various branches of food and nutrition sectors. J Nanotechnol. 2015;2015:1–6;Available from: <https://doi.org/10.1155/2015/852394>.
- Athinarayanan J, Periasamy VS, Alhazmi M, Alatiyah KA, Al-shatwi AA. Synthesis of biogenic silica nanoparticles from rice husks for biomedical applications. Ceram Int. 2015;41:275–281;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.08.069>.
- Hyde EDER, Seyfaee A, Neville F, Moreno-Atanasio R. Colloidal silica particle synthesis and future industrial manufacturing pathways: A review. Ind Eng Chem Res. 2016;55(33):8891–8913;Available from: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b01839>.
- Soltani N, Bahrami A, Pech-Canul MI, González LA. Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. Chem Eng J. 2015;264:899–935;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.11.056>.
- Mor S, Manchanda CK, Kansal SK, Ravindra K. Nanosilica extraction from processed agricultural residue using green technology. J Clean Prod. 2017;143: 1284–1290;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.142>.
- Razak NAA, Othman NH, Shayuti MSM, Jumahat A, Sapiai N, Lau WJ. Agricultural and industrial waste-derived mesoporous silica nanoparticles: A review on chemical synthesis route. J Environ Chem Eng. 2022;10:107322;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107322>.
- Liu Y, Guo Y, Zhu Y, An D, Gao W, Wang Z, Ma Y, Wang Z. A sustainable route for the preparation of activated carbon and silica from rice husk ash. J Hazard Mater. 2011;186(2-3):1314–1319;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.007>.
- Liu Y, Guo Y, Gao W, Wang Z, Ma Y, Wang Z. Simultaneous preparation of silica and activated carbon from rice husk ash. J Clean Prod. 2012;32:204–209;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.021>.
- Alvarez J, Lopez G, Amutio M, Bilbao J, Olazar M. Upgrading the rice husk char obtained by flash pyrolysis for the production of amorphous silica and high quality activated carbon. Bioresour Technol. 2014;170:132–137;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.073>.
- Liu D, Zhang W, Lin H, Li Y, Lu H, Wang Y. A green technology for the preparation of high capacitance rice husk-based activated carbon. J Clean Prod. 2016;112:1190–1198;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.005>.
- Vu TP, Nguyen TBN, Phung GT, Huynh TKT, Tran VM, Le MLP. Preparation of silica/carbon composite from rice husk and its electrochemical properties as anode material in Li-ion batteries. Sci Tech Dev J - Nat Sci. 2020;4(4):767–775;Available from: <https://doi.org/10.32508/stdjns.v4i4.921>.
- Vu TP, Nguyen HAK, Truong TTT, Le MLP, Tran VM. Electrochemical properties of C/SiO₂ prepared from rice husks with LiPF₆ and LiClO₄ salts as electrolytes. Sci Tech Dev J - Nat Sci. 2022;6(1):1933–1942;Available from: <https://doi.org/10.32508/stdjns.v6i1.1088>.
- Muramatsu H, Kim YA, Yang KS, Cruz-Silva R, Toda I, Yamada T, Terrones M, Endo M, Hayashi T, Saitoh H. Rice husk-derived graphene with nano-sized domains and clean edges. Small. 2014;10:2766–2770;Available from: <https://doi.org/10.1002/smll.201400017>.
- Wang Z, Yu J, Zhang X, Li N, Liu B, Li Y, Wang Y, Wang W, Li Y, Zhang L, Dissanayake S, Suib SL, Sun L. Large scale and controllable synthesis of graphene quantum dots from rice

- husk biomass: A comprehensive utilization strategy. ACS Appl Mater Interfaces. 2016;8(2):1434-1439;Available from: <https://doi.org/10.1021/acsami.5b10660>.
28. Muramatsu H, Kim YA, Hayashi T. Synthesis and characterization of graphene from rice husks. Carbon. 2017;114:750;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.11.044>.
29. Nguyen VCN, Nguyen TT, Nguyen LP. The potential of electricity generation from the major agricultural wastes in the Mekong Delta of Vietnam. J Viet Env. 2018;10(1):33-40;Available from: <https://doi.org/10.13141/jve.vol10.no1.pp33-40>.
30. Steven S, Restiawaty E, Bindar Y. Routes for energy and bio-silica production from rice husk: A comprehensive review and emerging prospect. Renew Sustain Energy Rev. 2021;149:111329;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111329>.
31. Dang TTN, Tran H, Nguyen TTA, Phan TD, Tran H, Dang PV, Nguyen HQ. Synthesis of silica nanoparticles from rice husk ash. Sci Tech Dev J - Eng Tech. 2017;20(K7):50-54;Available from: <https://doi.org/10.32508/stdj.v20iK7.1211>.
32. Costa JAS, Paranhos CM. Systematic evaluation of amorphous silica production from rice husk ashes. J Clean Prod. 2018;192:688-697;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.028>.
33. Jyoti A, Singh RK, Kumar N, Aman AK, Kar M. Synthesis and properties of amorphous nanosilica from rice husk and its composites. Mater Sci Eng B. 2021;263:114871;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2020.114871>.
34. Jafarzadeh M, Rahman IA, Sipaut CS. Optical properties of amorphous organo-modified silica nanoparticles produced via co-condensation method. Ceram Int. 2010;36(1):333-338;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2009.09.010>.
35. Nandanwar R, Singh P, Haque FZ. Synthesis and characterization of SiO₂ nanoparticles by sol-gel process and its degradation of methylene blue. Am Chem Sci J. 2015;5(1):1-10;Available from: <https://doi.org/10.9734/ACSJ/2015/10875>.
36. Wang C, Wei J, Xia B, Chen X, He B. Effect of nano-silica on the mechanical, thermal, and crystalline properties of poly(vinyl alcohol)/nano-silica films. J Appl Polym Sci. 2013;128(3):1652-1658;Available from: <https://doi.org/10.1002/app.38277>.
37. Lee J, Lee KJ, Jang J. Effect of silica nanofillers on isothermal crystallization of poly(vinyl alcohol): In-situ ATR-FTIR study. Polym Test. 2008;27(3):360-367;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2007.12.005>.
38. Ramos I, Pataco IM, Mourinho MP, Lidon F, Reboredo F, Pessoa MF, Carvalho ML, Santos JP, Guerra M. Elemental mapping of biofortified wheat grains using micro X-ray fluorescence. Spectrochim Acta B. 2016;120:30-36;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sab.2016.03.014>.
39. Fittschen UEA, Kunz HH, Höhner R, Tyssebotn IMB, Fittschen A. A new micro X-ray fluorescence spectrometer for in vivo elemental analysis in plants. X-Ray Spectrom. 2017;46:374-381;Available from: <https://doi.org/10.1002/xrs.2783>.

Investigating nanosilica and biocarbon extracted from rice husk ash generated by industrial steam generators

Le Hon Nhlen^{1,2,*}, Dang Thi Minh Thu^{1,2}, Le Thi Tien^{1,2}, Dao Thi Bang Tam^{1,2}, Nguyen Trung Do^{1,2},
Ha Thuc Chi Nhan^{1,2}

ABSTRACT

Rice husk from vast paddy fields is an abundant biomass fuel for industrial boilers in the trend for development of renewable biomass energy in Vietnam. After biomass combustion supplying heat for boiling water and generating steam, the steam generators discharge significant amounts of rice husk ash (20–25 wt% of initial rice husk). Rice husk ash is an inexpensive source of silica and carbon. Environmentally friendly processes of recycling rice husk ash can produce nanosilica and biocarbon materials for various industries, including polymer nanocomposites, paints and coatings, water purification, agricultural chemicals, cosmetics, and biomedical materials. In this paper, raw material of rice husk ash and products of nanosilica and biocarbon are investigated using X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), elemental mapping with microscopic X-ray fluorescence analysis (micro XRF), X-ray diffraction analysis (XRD), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), ultraviolet-visible absorption spectroscopy (UV-Vis), electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). Analytical results of nanosilica materials exhibited amorphous silica structure, nanoparticle size (< 50 nm) and high silica purity ($\text{SiO}_2 > 95\%$). Nanosilica gel and nanosilica powder were mixed with polyvinyl alcohol (PVA) to synthesize PVA/nanosilica thin films using the solution casting method. Mechanical tensile testing of PVA/nanosilica films showed that nanosilica reinforcement significantly improved tensile strength, elastic modulus, elongation at break, and energy to break. Characterization of biocarbon revealed crystalline silica, graphite structure, and elemental composition of carbon, oxygen, silicon, potassium, magnesium, and phosphorus. Biocarbon containing silica and graphite would be applicable as a good reinforcing material for polymer composites. Elemental contents of potassium, phosphorus, silicon, and magnesium in biocarbon are essential nutrients for planting in agriculture. In general, the products of nanosilica and biocarbon would be good qualities for many scientific, agricultural and industrial applications.

Key words: rice husk ash, nanosilica, biocarbon, polymer nanocomposite, environmentally friendly

¹Faculty of Materials Science and Technology, University of Science, VNU-HCM, 227 Nguyen Van Cu Street, Ward 4, District 5, Ho Chi Minh City, Viet Nam

²Vietnam National University, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Viet Nam

Correspondence

Le Hon Nhlen, Faculty of Materials Science and Technology, University of Science, VNU-HCM, 227 Nguyen Van Cu Street, Ward 4, District 5, Ho Chi Minh City, Viet Nam

Vietnam National University, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Viet Nam

Email: lhnien@hcmus.edu.vn

History

- Received: 16-11-2023
- Revised: 20-5-2024
- Accepted: 9-10-2024
- Published Online: 31-12-2024

DOI :10.32508/stdjns.v7iS1.1327



Cite this article : Nhlen L H, Thu D T M, Tien L T, Tam D T B, Do N T, Nhan H T C. Investigating nanosilica and biocarbon extracted from rice husk ash generated by industrial steam generators. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.* 2024; 7(S1):1-16.