

THAN SINH HỌC CHẾ TẠO TỪ NHỰA THẢI VÀ VỎ TRẤU CHO CÔ LẬP CARBON

BIOCHAR FABRICATED FROM PLASTIC WASTE AND RICE-HUSK FOR CARBON SEQUESTRATION

**Trương Thành Phúc¹, Nguyễn Huy Hoàng¹, Mai Ngọc Linh^{2,*}, Phạm Thị Huệ¹, Nguyễn Danh Ngón¹, Nguyễn Thị Thủy³,
Bùi Xuân Khuyển^{2,4}, Hồ Trường Giang^{2,4}**

¹Trường THPT chuyên Huỳnh Mẫn Đạt, ²Học Viện Khoa học và Công nghệ, ³Trường Đại học Điện Lực, ⁴Viện Khoa học vật liệu

Ngày nhận bài: 23/11/2024, Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2024, Phản biện: TS. Mai Đức Thuận

Tóm tắt:

Trong nghiên cứu này, than sinh học (biochar) được chế tạo từ nhựa thải và vỏ trấu. Các nguyên liệu ban đầu gồm nhựa thải (PP và PE) và vỏ trấu được nghiền nhỏ và sau đó ép thành các viên nén gồm 100% trấu (T), 100% nhựa (N) và 70% nhựa + 30% trấu (NT) để nhiệt phân trong môi trường khí trơ (N₂) ở các nhiệt độ 350°C và 450°C cho tạo ra các mẫu biochar. Hình thái cấu trúc và các liên kết đặc trưng của biochar được phân tích lần lượt bằng hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ FTIR. Các thành phần phồng định gồm hàm lượng chất hữu cơ bay hơi (%VOC), hàm lượng carbon cố định (%FC) và hàm lượng tro-xỉ (%Ash) của mẫu biochar được phân tích. Hàm lượng các nguyên tố trong thành phần hữu cơ (C, H, N, S, O) của các mẫu biochar và hiệu suất chuyển hóa nhiên liệu thành biochar được phân tích cho đánh giá khả năng cô lập carbon.

Từ khóa:

Nhiệt phân, nhựa thải, vỏ trấu, than sinh học.

Abstract:

In this work, biochar samples were fabricated from plastics waste (PE and PP) and rice-husk. Raw materials including plastics waste and rice-husk were crushed, and then pressed into pellets according to 100% rice-husk (T), 100% plastic (N) and 70% plastic + 30% rice husk (NT). These pellets were conducted by pyrolysis at conditions of inert gas environment (N₂) and temperatures of 350°C and 450°C to obtain the biochar samples. Structural morphologies and characteristics of functional groups of these biochar samples were analyzed by scanning electron microscopy (SEM) and FTIR spectroscopy, respectively. The biochar samples were determined with proximate analysis of volatile organic content (%VOC), fixed carbon content (%FC) and ash content (%Ash). Ultimate analysis of (C, H, N, S, O) elements and yields of the fabricated biochar samples were also examined for carbon sequestration potential.

Keywords:

Pyrolysis, plastics waste, rice-husk, biochar.

1. GIỚI THIỆU

Theo thống kê từ International Finance Corporation (IFC, 2024), mỗi năm tại Việt Nam có khoảng 3,9 triệu tấn nhựa thải, trong đó có khoảng 1,8 triệu tấn bị thải ra môi trường (0,23 - 0,78 triệu tấn thải ra biển). Nhựa thải gây ra nhiều hệ lụy nghiêm trọng về môi trường: nhựa trong môi trường đất rất khó phân hủy từ đó làm cho đất mất tính tơi xốp gây tình trạng đất bị bạc màu, mất dưỡng chất, tạo môi trường hiêm khí tạo thuận lợi cho quá trình phân rã chất hữu cơ, từ đó tăng phát thải khí nhà kính [1][2]. Xử lý nhựa thải có thể sử dụng các phương pháp như đốt, chôn lấp, phân hủy nhiệt tạo ra than, dầu và khí,... [2][3]. Tuy vậy, việc xử lý rác thải nhựa nói chung vẫn gặp những thách thức lớn liên quan đến các chất thải độc hại, sự phức tạp từ quá trình xử lý và gây ra những ô nhiễm môi trường.

Nông nghiệp cũng có đóng góp vào ô nhiễm môi trường do các phụ phẩm – phế phẩm (vỏ trấu, rơm bã mía,...) trong quá trình tự phân hủy gây phát thải các khí nhà kính (CO_2 , HC, NO_x , NH_3 , H_2S ,...) vào môi trường. Việt Nam thải ra hàng năm khoảng 8,7 triệu tấn vỏ trấu [4]. Vỏ trấu có thể được sử dụng để làm nhiên liệu đốt, than sinh học, phân bón,... Gần đây, Việt Nam đã phê duyệt Đề án “Nâng cao sức khỏe đất và quản lý dinh dưỡng cây trồng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050”, trong đó tập trung vào việc ổn định và nâng cao sức khỏe đất trồng trọt, hạn chế suy thoái đất, phát triển nông nghiệp xanh, bền vững, phát thải carbon thấp và thích ứng với biến đổi khí

hậu [5]. Vì thế, nếu tận dụng phế phẩm nông nghiệp như vỏ trấu không những đem lại ích về kinh tế tuần hoàn và còn hạn chế được chất phát thải gây ô nhiễm môi trường. Theo ước tính, nếu tất cả phụ phẩm - phế phẩm nông nghiệp trên toàn thế giới được sử dụng để chế tạo than sinh học thì có thể giảm khoảng 3,7 tỉ tấn CO_2 thải ra mỗi năm [6].

Một xu hướng nghiên cứu nhận được sự quan tâm hiện nay trên thế giới đó là nhiệt phân đồng thời rác thải nhựa với vật liệu sinh khối để tạo thành than sinh học (biochar), nhằm đạt cả hai mục đích tạo ra sản phẩm ứng dụng được và giảm ô nhiễm môi trường. Sản phẩm biochar có thể áp dụng cho cải tạo đất, hấp phụ chất ô nhiễm trong môi trường nước, làm nhiên liệu đốt và đặc biệt cô lập carbon (giảm phát thải khí nhà kính) [7]. Khi kết hợp vật liệu sinh khối (như vỏ trấu) và nhựa thải vào quy trình nhiệt phân có thể tạo ra hiệu quả lớn (tăng hiệu suất chuyển hóa biochar, tăng độ xốp của biochar, và biochar có liên kết đặc thù cho những ứng dụng liên quan đến hấp phụ,...). Điển hình, Hongthong và các đồng nghiệp đã thực hiện đồng nhiệt phân nhựa PP với mùn cưa để tạo ra than sinh học thân thiện môi trường [8]. Martin Lara và các đồng nghiệp [9] đã thực hiện nghiên cứu nhiệt phân hỗn hợp nhựa thải (gồm PP, PS và PE) thành than sinh học cho thử nghiệm hấp phụ kim loại nặng chì (Pb) và đạt kết quả tốt trong thử nghiệm, từ nồng độ kim loại Pb ban đầu 40 mg/L đã giảm xuống còn 26 mg/L sau quá trình hấp phụ. Li và các đồng nghiệp [10] đã có nghiên cứu tổng quan cho thấy tiềm năng lớn của than sinh học được chế tạo từ vỏ trấu

cho làm xử lý chất gây ô nhiễm môi trường nước và đất. Adeniyi và các đồng nghiệp [7] đưa ra đánh giá khả năng cô lập carbon trong biochar được chế tạo từ nhựa thải và vật liệu sinh khối. Trong đó, các tác giả chọn nhiệt phân trong vùng nhiệt độ 350 - 450°C cho rác thải nhựa và vỏ trấu để tối ưu hóa hiệu suất chuyển hóa biochar và giúp tạo ra sản phẩm biochar có chất lượng cao. Tripathi và các đồng nghiệp [11] đã thực hiện quá trình nhiệt phân chậm để cô lập được nhiều carbon và tạo ra biochar có cấu trúc xốp, diện tích bề mặt lớn và cho khả năng hấp phụ tốt. Theo Hasan và các đồng nghiệp [12], quá trình phân hủy nhiệt rác thải và vật liệu sinh khối cho tạo biochar sẽ giảm lượng khí thải CO và CO₂ ra môi trường hơn nhiều so với phương pháp đốt xử lý ở nhiệt độ cao hoặc kỹ thuật chôn lấp.

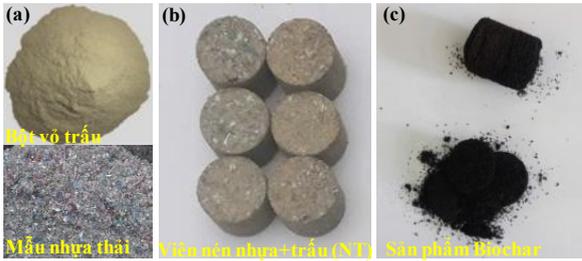
Việc nghiên cứu và phát triển các công nghệ cho ứng dụng về biochar, đặc biệt là có nguồn gốc từ rác thải là một hướng đi quan trọng góp phần giải quyết các vấn đề môi trường và phát triển kinh tế carbon tuần hoàn. Vì thế, trong nghiên cứu này, quá trình nhiệt phân nhựa thải và vỏ trấu trong môi trường khí trơ (N₂) được thực hiện để tạo ra biochar có tính ổn định cao cho mục đích cô lập carbon. Giải pháp này hướng đến có khả năng xử lý lượng lớn chất thải từ nhựa và sinh khối.

2. NỘI DUNG

2.1. Thục nghiệm

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng các mẫu viên nén nhựa, trấu và nhựa + trấu đã được chế tạo và thể hiện chi tiết trong công bố trước

[13] cho chế tạo biochar. Ở đó, vỏ trấu được nghiền nhỏ để thu bột trấu với kích thước hạt < 0,5 mm. Mẫu nhựa thải gồm polypropylene - PP và polyethylen - PE được nghiền nhỏ để thu bột nhựa kích thước hạt 1,0 mm. Bột nhựa và bột trấu được trộn theo tỉ phần khối lượng là 70% nhựa + 30% trấu để tạo hỗn hợp nhựa + trấu. Các nguyên liệu bột nhựa, bột vỏ trấu và hỗn hợp bột nhựa + trấu sau đó lần lượt được ép thành các mẫu viên nén hình trụ có đường kính 16 mm. Các mẫu viên nén đã được tạo ra là 100% nhựa (được ký hiệu là N), 100% trấu (được ký hiệu là T) và 70% nhựa + 30% trấu (được ký hiệu là NT). Các mẫu N, T và NT được phân hủy nhiệt trong môi trường khí N₂ tại hai nhiệt độ 350°C và 450°C để tạo ra các mẫu biochar tương ứng. Quá trình phân hủy nhiệt các mẫu N, T và NT được thực hiện trong hệ thống lò (tự chế tạo tại phòng thí nghiệm) có buồng nung hình trụ với thông số là đường kính 20 cm và chiều cao 40 cm. Buồng nung có nắp đậy và được đảm bảo môi trường khí trơ trong suốt quá trình phân hủy nhiệt bằng cách bơm liên tục dòng khí N₂ với lưu lượng 2 lít/ phút. Quá trình nhiệt phân được điều khiển như sau buồng lò được nâng nhiệt đều với tốc độ 1°C/ 30 giây cho thực hiện quá trình nhiệt phân chậm, khi đạt nhiệt độ mong muốn thì giữ ở nhiệt độ này trong một 1 giờ, sau đó để nguội buồng lò về nhiệt độ phòng để thu được mẫu biochar. Hình 1 là ảnh chụp minh họa điển hình mẫu nhựa thải, mẫu viên nén NT từ nhựa + trấu và sản phẩm điển hình biochar đã chế tạo.



Hình 1. Ảnh chụp minh họa mẫu nguyên liệu đầu vào nhựa thải và vỏ trấu (a), viên nén NT (b) và sản phẩm biochar (c)

Khối lượng viên nén nhiên liệu sử dụng ban đầu của quá trình nhiệt phân và khối lượng biochar tạo ra được dùng để đánh giá hiệu suất chuyển hóa theo công thức:

$$Y = \frac{m_p}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

Ở đó, Y là hiệu suất chuyển hóa thành biochar, m_0 là khối lượng viên nén nhiên liệu sử dụng ban đầu, m_p là khối lượng biochar tạo ra. Các mẫu biochar được chế tạo ở nhiệt độ 350°C và 450°C do vậy có thể bỏ hàm lượng ẩm. Vì thế, các thành phần phỏng định của các mẫu biochar gồm hàm lượng các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (%VOC), hàm lượng carbon cố định (%FC) và hàm lượng tro-xỉ (%Ash) được xác định theo các quy trình cho phân tích mẫu sinh khối tương ứng là ISO 18134-3:2015, ISO 1171:2010 và BS 1016-104.4:1998. Lò nung (Advantec FUW210PA) để thiết lập các quy trình điều khiển nhiệt độ tương ứng cho các chuẩn trên.

Các mẫu biochar được phân tích hàm lượng các nguyên tố trong thành phần hữu cơ (gồm C, H, N, S, O) bằng thiết bị FlashSmart™ Elemental Analyzer (Thermo Scientific) và hình thái cấu trúc bằng hiển vi điện tử quét (SEM, Hitachi S-4800).

2.2. Kết quả và thảo luận

Trong công bố trước của chúng tôi [13], các nguyên tố (C, H, N, S, O) trong thành phần hữu cơ của các nguyên liệu ban đầu nhựa và vỏ trấu có các giá trị tương ứng như sau hàm lượng carbon (C) tương ứng là 67,37 wt.% và 49,18 wt.%; hàm lượng hydrogen (H) tương ứng là 8,59 wt.% và 6,15 wt.%; hàm lượng nitrogen (N) tương ứng là 1,24 wt.% và 0,77 wt.% và hàm lượng oxygen (O) tương ứng là 22,8 wt.% và 43,9 wt.%. Như vậy, nguyên tố carbon là nguyên tố chiếm tỉ phần chính trong thành phần hữu cơ của các nguyên liệu nhựa và vỏ trấu, đặc tính này được cho là nguồn nguyên liệu phù hợp cho chế tạo ra biochar. Bảng 1 thể hiện hiệu suất chuyển hóa thành biochar và các thành phần phỏng định của các mẫu biochar đã chế tạo từ mẫu viên nén nhựa (N), viên nén trấu (T) và viên nén nhựa + trấu (NT) tại hai nhiệt độ khảo sát là 350°C và 450°C. Tại nhiệt độ thấp 350°C, kết quả cho thấy khi kết hợp nhựa trấu cho hiệu suất chuyển hóa lớn đáng kể với giá trị là 67,28% so với mẫu chỉ có nhựa là 61,2% và mẫu chỉ có trấu là 51,7%. Tại nhiệt độ cao 450°C, hiệu suất chuyển hóa biochar của mẫu N và mẫu NT giảm mạnh xuống với các giá trị tương ứng là 20,59% và 27,38%, trong khi mẫu T là 41,23%. Đặc tính này cho thấy mẫu T

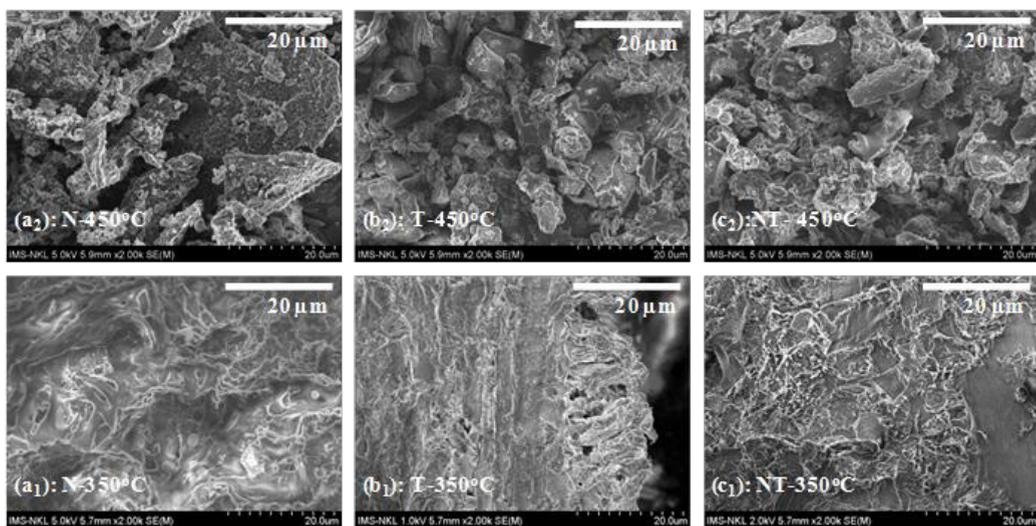
có hiệu suất chuyển hóa khá cao là do vỏ trấu thường có hàm lượng vô cơ lớn (hàm lượng silic >10%), vì thành phần vô cơ lưu trữ trong khối lượng tổng của mẫu biochar. Chúng tôi nhận thấy hiệu suất chuyển hóa than của mẫu NT trong nghiên cứu này là khá tương đồng so với các công bố trước đây với sử dụng nguyên liệu đầu vào cùng loại [7], [14].

Bảng 1. Hiệu suất chuyển hóa và thành phần phòng định trong mẫu các biochar

Mẫu nhiên liệu	Nhiệt độ phân hủy	Hiệu suất chuyển hóa biochar (%)	Thành phần phòng định trong biochar		
			FC (%)	VOC (%)	Ash (%)
Nhựa (N)		61,42	17,84	73,22	7,94
Trấu (T)	350°C	51,70	47,94	29,43	22,63
Nhựa-Trấu (NT)		67,28	24,06	67,46	8,49

Nhựa (N)		20,59	56,24	23,95	19,80
Trấu (T)	450°C	41,23	54,00	20,52	25,47
Nhựa-Trấu (NT)		27,38	59,14	20,77	20,08

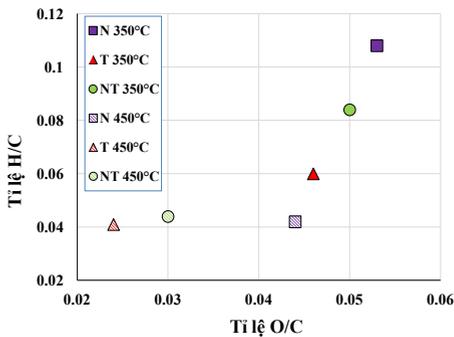
Wantaneeeyakul và các cộng sự [14] đã chế tạo than sinh học từ kết hợp giữa nhựa HDPE với vỏ trấu ở các tỉ phần (100% trấu, 90% trấu + 10% HDPE, 80% trấu + 20% HDPE, 70% trấu + 30% HDPE, 60% trấu + 40% HDPE, 50% trấu + 50% HDPE) tại các nhiệt độ phân hủy là 400°C, 500°C và 600°C cho hiệu suất trong vùng từ 22% đến 55% và có xu hướng giảm dần theo nhiệt độ. Phân tích các thành phần phòng định trong mẫu biochar (như thể hiện ở Bảng 1) cho thấy có xu hướng là hàm lượng %VOC đạt giá trị lớn hơn khi than sinh học được tạo ra ở nhiệt độ thấp 350°C. Trong khi đó, một xu hướng theo chiều ngược lại đó là hàm lượng carbon cố định (%FC) tăng mạnh (nằm trong vùng 54,0 – 59,14%) khi than biochar được tạo ra ở nhiệt độ cao 450°C. Hàm



Hình 3. Ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) của các mẫu biochar chế tạo từ các mẫu viên nén N (a1-a2); T (b1-b2) và NT (c1-c2) tương ứng tại hai nhiệt độ là 350°C và 450°C

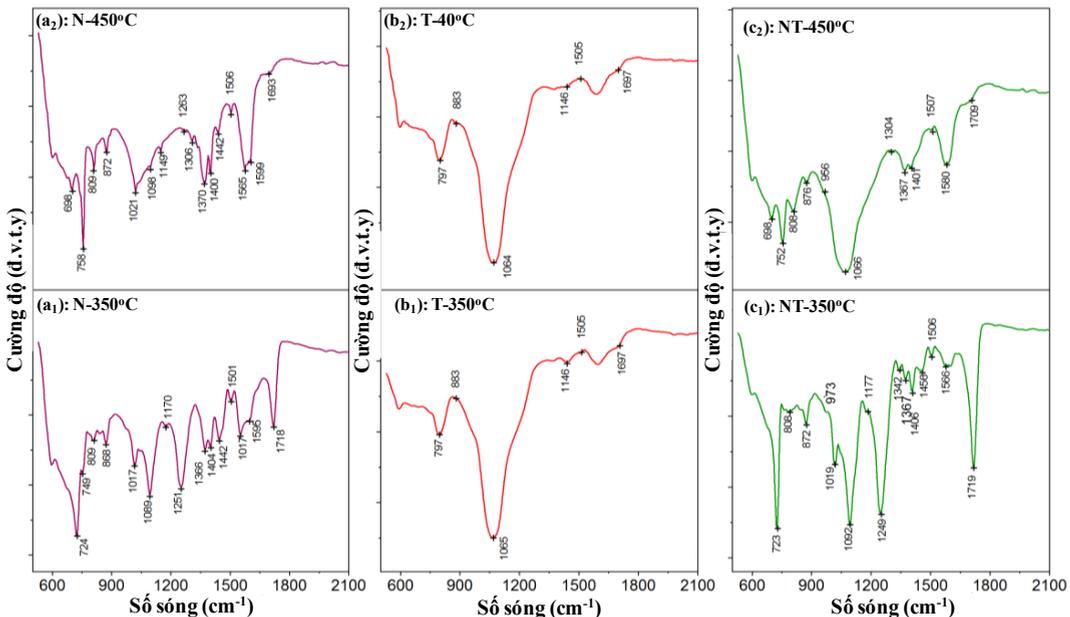
lượng %FC đạt giá trị lớn minh chứng biochar được tạo ra ở trạng thái ổn định.

Hình 3 thể hiện ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) của các mẫu biochar chế tạo từ các mẫu viên nén nhiên liệu N, T và NT từ quá trình phân hủy nhiệt tại nhiệt độ 350°C và 450°C. Như vậy, kết quả thể hiện khá rõ ràng sự khác biệt về cấu trúc hình thái của mẫu ở nhiệt độ thấp (350°C) và mẫu ở nhiệt độ cao (450°C).



Hình 4. Biểu đồ van Krevelen - tỷ lệ H/C và O/C của các mẫu biochar

Mẫu biochar tạo ở nhiệt độ thấp có sự kết đám với kích thước lớn, chèn phủ hay hòa vào lẫn nhau trong khi đó mẫu than được tạo từ nhiệt độ cao đã thấy có sự tách và phân mảnh thành những hạt có kích thước nhỏ hơn. Tuy vậy, hình thái cấu trúc giữa các mẫu biochar chế tạo ở nhiệt cao không thể hiện có sự khác biệt quá nhiều. Kết quả hình thái của các mẫu biochar này là khá tương đồng với kết quả được công bố trong các tài liệu [7,14,15]. Từ các kết quả này, mẫu biochar được tạo ra nhiệt độ cao có thể phù hợp hơn cho làm chất cải tạo đất (do thể hiện tính xốp hơn) trong khi đó than sinh học biochar được tạo ra nhiệt độ thấp sẽ phù hợp hơn cho cô lập carbon (do có hiệu suất chuyển hóa lớn). Hàm lượng các nguyên tố gồm C, H, N, S và O thuộc thành phần hữu cơ (không bao gồm khối lượng tro xỉ) trong mẫu biochar được phân tích cho thấy các mẫu



Hình 5. Phổ FTIR của các mẫu biochar chế tạo tại nhiệt độ 350°C và 450°C

biochar đều có thành phần carbon chiếm tỉ phần lớn nằm trong khoảng 85,5 – 92,8%, thành phần nguyên tố H trong khoảng 3,79 – 9,22%, thành phần nguyên tố O trong khoảng 2,78 – 4,49% và thành phần nguyên tố N trong khoảng 0,78 – 1,3%. Các mẫu biochar đều không phát hiện thấy sự có mặt của nguyên tố S. Giá trị hàm lượng các nguyên tố C, H, N, S và O được thể hiện chi tiết trong Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần các nguyên tố (C, H, N, S, O), và tỉ lệ H/C và O/C của các mẫu biochar

Mẫu biochar	Nhiệt độ phân hủy	Hàm lượng nguyên tố (%)					Tỉ lệ	
		C	H	N	S	O	H/C	O/C
N		85,51	9,22	0,78	-	4,49	0,108	0,053
T	350°C	89,23	5,36	1,30	-	4,11	0,060	0,046
NT		87,76	7,35	0,49	-	4,41	0,084	0,050
N		91,34	3,81	0,78	-	4,06	0,042	0,044
T	450°C	92,80	3,79	1,22	-	2,19	0,041	0,024
NT		92,13	4,05	1,03	-	2,78	0,044	0,030

Từ số liệu trên này, các tỷ lệ nguyên tố H/C và O/C của mẫu biochar được tính toán và thể hiện trên Hình 4. Các tỉ lệ H/C và O/C có giá trị nhỏ dưới 0,1 (chỉ trừ cho trường hợp của mẫu N tại 350°C có chỉ số H/C là 0,108). Độ lớn của tỉ lệ H/C và O/C quyết định đến sự ổn định của biochar, nếu các tỉ lệ này lớn hơn 1 hợp chất (biochar) ở trạng thái không ổn định, dễ bị biến đổi hoặc dễ phân hủy, trong khi đó nếu các tỉ lệ này dưới 1 thì biochar được cho là ở trạng thái ổn định [7,8,14,16]. Như vậy,

kết quả của các mẫu biochar chế tạo từ các mẫu nhiên liệu N, T và NT trong nghiên cứu này đều ở trạng thái ổn định. Để làm rõ thêm, các liên kết hóa học đặc trưng của mẫu biochar được đánh giá bằng phân tích phổ hấp thụ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) và được thể hiện trên Hình 5. Ở đó, vị trí các đỉnh hấp thụ đại diện cho các liên kết hóa học đặc trưng tương ứng với giá trị của số sóng (cm^{-1}) được chỉ ra chi tiết trên hình. Tổng quát, các mẫu biochar chế tạo đều xuất hiện nhiều liên kết khá phức tạp được thể hiện thông qua số lượng các đỉnh quan sát được.

Các mẫu biochar chế tạo từ nhựa (N) và nhựa + trấu (NT) có số lượng các đỉnh nhiều vượt trội so với mẫu biochar chế tạo từ trấu (T). Điểm chú ý là so nhiệt độ thấp khi tăng nhiệt độ nhiệt phân các mẫu biochar chế tạo từ N và NT đều thấy số lượng các đỉnh đặc trưng giảm và mở rộng ra. Đặc trưng này có thể là do mẫu biochar khi được tạo ra ở nhiệt độ cao đã loại đi được một số các liên kết hóa học nhưng cũng đồng thời tạo các liên kết mở (các dạng liên kết yếu ở bề mặt). Bảng 3 liệt kê một số đỉnh được quy cho các liên kết đặc trưng của các nguyên tố trong thành phần hữu của mẫu biochar [9,14,17]. Ở đó, các liên kết C=C có số sóng đặc trưng thuộc các vùng 868 – 876 cm^{-1} và 1557 – 1589 cm^{-1} ; các nhóm liên kết C-O, O-H, C-N và CO- có số sóng đặc trưng thuộc vùng 1017 – 1098 cm^{-1} ; các nhóm liên kết C-H và C=O có số sóng đặc trưng thuộc vùng 1401 – 1042 cm^{-1} và nhóm COOH có số sóng đặc trưng thuộc vùng 1693 – 1719 cm^{-1} .

Bảng 3. Tổng hợp các số sóng tương ứng với các liên kết hóa học của các mẫu biochar

Mẫu biochar	Nhiệt độ	Số sóng (cm ⁻¹) tương ứng với các liên kết trong biochar			
		C=C	C-O, O-H, C-N, CO-	C-H, C=O	COOH
N	350°C	868 1557	1017 1089	1442 1506	1718
T		883 1591	1065	1505	1697
NT		872 1566	1019 1092	1458 1506	1719
N	450°C	872 1565	1021 1098	1442 1501	1693
T		883 1589	1064	1504	1697
NT		876 1580	1066	1401 1507	1709

3. KẾT LUẬN

Các mẫu biochar đã được chế tạo từ nguồn nhiên liệu nhựa thải (gồm nhựa PP và PE)

và trấu để bằng kỹ thuật nhiệt phân chậm tại nhiệt độ 350°C và 450°C. Hiệu suất chuyển hóa nhiên liệu thành biochar nằm trong vùng 27,38 – 67,28 %, trong đó giá trị đạt cực đại là 67,28% đối với mẫu nhựa + trấu (NT) tại 350°C. Các mẫu than biochar có hàm lượng carbon chiếm tỉ lệ lớn trong thành phần hữu cơ nằm vùng 85,5 – 92,8%. Hàm lượng carbon cố định (%FC) của than biochar đạt giá trị lớn, đặc biệt đối với các mẫu chế tạo ở 450°C, minh chứng cho sự ổn định trong liên kết hóa học của chúng. Tính ổn định cao của các mẫu biochar còn được thể hiện qua chỉ số về tỉ lệ H/C và O/C khi đạt các giá trị nhỏ hơn khá nhiều 0,1. Nghiên cứu này đã thực hiện chế biochar từ rác thải nhựa và trấu với hiệu suất cao ở nhiệt độ thấp (350°C) và cho thấy khả năng cô lập carbon từ nguồn nguyên liệu rác thải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sarah-Jeanne Royer, Sara Ferron, Samuel T. Wilson, David M. Karl, "Production of methane and ethylene from plastic in the environment", Plos one, 2018, 1-13, 2018.
- [2]. Akshay Verma, Gaurav Sharma, Amit Kumar, Pooja Dhiman, Florian J. Stadler, "Recent Advancements in Biochar and its Composite for the Remediation of Hazardous Pollutants", Current Analytical Chemistry, 21, 15-56, 2024.
- [3]. Izabela S. Pieta, William S. Epling, Alicja Kazmierczuk, Pawel Lisowski, Robert Nowakowski, Ewa M. Serwicka, "Waste into Fuel — Catalyst and Process Development for MSW Valorisation", Catalysts, 8, 113, 2018.
- [4]. "Technology Trend Analysis Report: The Role of Biochar Production and Effective Application of Biochar", Department of Science and Technology Ho Chi Minh City (DOST - HCM), <https://thongke.cesti.gov.vn/>, 2014.
- [5]. "Nâng cao sức khỏe đất và quản lý dinh dưỡng cây trồng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050", Bộ Nông Nghiệp và Phát triển Nông Thôn, 3458/QĐ-BNN-BVTV, 2024.

- [6]. Shivesh Kishore Karan, Dominic Woolf, Elias Sebastian Azzi, Cecilia Sundberg, Stephen A. Wood, "Potential for biochar carbon sequestration from crop residues: A global spatially explicit assessment", *GCB Bioenergy*, 15, 1424-1436, 2023.
- [7]. Adewale George Adeniyi, Kingsley O. Iwuozor, Ebuka Chizitere Emenike, Oluwaseun J. Ajala, Samuel Ogunniyi, Kabir B. Muritala, "Thermochemical co-conversion of biomass-plastic waste to biochar: a review", *Green Chemical Engineering*, 5, 31–49, 2024.
- [8]. Sukanya Hongthong, Worachate Sangsida, Surachai Wongcharee, Aitsara Chanthakhot, Poramed Aungthitipan, Kowit Suwannahong, Torpong Kreetachat, Javier Rioyo, "Enhanced Biochar Production via Co-Pyrolysis of Biomass Residual with Plastic Waste after Recycling Process", *International Journal of Chemical Engineering*, 2024, 1176275, 2024.
- [9]. M. A. Martin-Lara, A. Pinar, A. Ligeró, G. Blázquez, M. Calero, "Characterization and Use of Char Produced from Pyrolysis of Post-Consumer Mixed Plastic Waste", *Water*, 13, 1188, 2021.
- [10]. Zheyong Li, Zhiwei Zheng, Hongcheng Li, Dong Xu, Xing Li, Luoqing Xiang, Shuxin Tu, "Review on Rice Husk Biochar as an Adsorbent for Soil and Water Remediation", *Plants*, 12, 1524, 2023.
- [11]. Manoj Tripathi, J.N. Sahu, P. Ganesan, "Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467–481, 2016.
- [12]. M.M. Hasan, M.G. Rasul, M.M.K. Khan, N. Ashwath, M.I. Jahirul, "Energy recovery from municipal solid waste using pyrolysis technology: A review on current status and developments", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111073, 2021.
- [13]. Nguyen Huy Hoang, Hưà Van Hai, Nguyen Danh Ngon, Ho Trung Giang, "Kinetic Determination of Pyrolysis of Plastic-Straw Derived Pellets by TG-DTG", *TNU Journal of Science and Technology*, 229, 206-213, 2024.
- [14]. Nichakorn Wantaneeyakul, Ketwalee Kositkanawuth, Scott Q. Turn, Jinxia Fu, "Investigation of Biochar Production from Copyrolysis of Rice Husk and Plastic", *ACS Omega*, 6, 28890–28902, 2021.
- [15]. Trần Sỹ Nam, Hồ Vũ Khanh, Hồ Minh Nhật, Nguyễn Hữu Chiếm, "Bổ sung than sinh học trấu và tre làm giảm phát thải khí CH₄ của đất ngập nước trong điều kiện phòng thí nghiệm", *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 57, 32-40, 2021.
- [16]. Farah Amalina, Abdul Syukor Abd Razak, Santhana Krishnan, Haspina Sulaiman, A.W. Zularisam, Mohd Nasrullah, "Biochar production techniques utilizing biomass waste-derived materials and environmental applications – A review", *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7, 100134, 2022.
- [17]. Yanyan Chen, Caineng Zou, Maria Mastalerz, Suyun Hu, Carley Gasaway, Xiaowan Tao, "Applications of Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) in the Geological Sciences - A Review", *International Journal of Molecular Sciences*, 16, 30223-30250, 2015.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả **Trương Thành Phúc**, hiện đang là học sinh lớp 12 chuyên Lý, Trường THPT chuyên Huỳnh Mẫn Đạt, Kiên Giang. Hiện tại, tác giả đang thực hiện dự án học sinh tham gia nghiên cứu khoa học kỹ thuật.

Lĩnh vực nghiên cứu: Vật liệu composite, vật liệu sinh khối, than sinh học biochar



Tác giả **Nguyễn Huy Hoàng**, hiện đang là học sinh lớp 10 chuyên Tin, Trường THPT chuyên Huỳnh Mẫn Đạt Kiên Giang. Hiện tại, tác giả đang thực hiện dự án học sinh tham gia nghiên cứu khoa học kỹ thuật.

Lĩnh vực nghiên cứu: Vật liệu composite, vật liệu sinh khối, than sinh học biochar.



Tác giả **Nguyễn Danh Ngôn** tốt nghiệp Trường Đại học Cần Thơ năm 2001; nhận bằng Thạc sĩ năm 2019 chuyên ngành lý luận và phương pháp giảng dạy Toán học, tại Trường Đại học Đồng Tháp. Hiện nay tác giả là giáo viên giảng dạy bộ môn Toán và tham gia hướng dẫn học sinh thực hiện các dự án nghiên cứu khoa học và khởi nghiệp đổi mới sáng tạo tại trường THPT chuyên Huỳnh Mẫn Đạt, Kiên Giang.

Lĩnh vực nghiên cứu: Vật liệu composite, vật liệu sinh khối, than sinh học biochar.



Tác giả **Mai Ngọc Linh** tốt nghiệp Trường Đại học Sư phạm II Hà Nội năm 2002; nhận bằng Thạc sĩ năm 2011 chuyên ngành Vật lý chất rắn, tại Trường Đại học Sư phạm II Hà Nội; và đang là NCS chuyên ngành Công nghệ Vật liệu điện tử, tại Học Viện Khoa Học và Công Nghệ Việt Nam thuộc Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Hiện nay, tác giả là giáo viên Trường THPT Chuyên Hùng Vương, Gia Lai.

Lĩnh vực nghiên cứu: Vật liệu nano, than sinh học, vật liệu sinh khối.



Tác giả **Hồ Trường Giang** tốt nghiệp Đại học Khoa học tự nhiên năm 2001 chuyên ngành Khoa học vật liệu; nhận bằng Thạc sĩ năm 2003 chuyên ngành Khoa học vật liệu, tại Trường Đại học Bách khoa Hà nội; và bằng Tiến sĩ năm 2013 tại Viện Khoa học vật liệu (Viện HLKHCN Việt Nam). Hiện, tác giả đang là nghiên cứu viên chính tại Viện Khoa học vật liệu.

Lĩnh vực nghiên cứu: Vật liệu nano, vật liệu cảm biến, than sinh học, vật liệu sinh khối.



Tác giả **Nguyễn Thị Thủy** tốt nghiệp Trường Đại học Sư phạm I Hà Nội năm 1998; nhận bằng Thạc sĩ năm 2003 chuyên ngành Công nghệ Vật liệu điện tử, tại Trường Đại học Bách khoa Hà nội; và bằng Tiến sĩ năm 2014 chuyên ngành Công nghệ Vật liệu điện tử, tại Trường Đại học Bách khoa Hà nội. Hiện nay tác giả là giảng viên chính khoa Điện tử Viễn thông, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: Vật liệu điện tử, Mạch điện tử, Cảm biến, Cảm biến sinh học, Điện tử y sinh.