

HẤP PHỤ KHÍ CO₂ TỪ THAN SINH HỌC VỎ HẠT MẮC-CA

CO₂ CAPTURE BY BIOCHAR FROM MACADAMIA NUT SHELL

Nguyễn Văn Đông¹, Vũ Ngọc Linh¹,
Trần Văn Bảy², Nguyễn Hồng Nam^{3*}

TÓM TẮT

Sản lượng và diện tích trồng cây mắc-ca ngày càng tăng nhanh kéo theo lượng phụ phẩm nông nghiệp vỏ hạt mắc-ca tăng theo, gây nên những lo ngại về môi trường. Một trong những phương pháp để giảm thiểu những tác động xấu đến môi trường là chuyển đổi thành than sinh học bằng phương pháp nhiệt phân nhằm hấp phụ khí CO₂. Giải pháp này vừa giúp giảm thiểu lượng phụ phẩm nông nghiệp thừa vừa giúp giảm ô nhiễm môi trường không khí. Nhiệt phân vỏ hạt mắc-ca được thực hiện trong lò nung Nabartherm ở điều kiện 600°C trong môi trường khí N₂. Kết quả phân tích SEM-EDS và hấp phụ N₂ cho thấy hình thái học bề mặt than sinh học có độ xốp không đồng nhất, diện tích bề mặt của than sinh học là 127,44m²/g. Kết quả phân tích FTIR cho thấy có rất ít nhóm chức xuất hiện trên bề mặt than, chứng tỏ sự hấp phụ khí CO₂ chủ yếu là hấp phụ bằng cơ chế thu giữ vật lý. Ứng dụng của than sinh học trong hấp phụ khí CO₂ được thực hiện ở quy mô phòng thí nghiệm điều kiện nhiệt độ phòng và áp suất khí quyển, tốc độ dòng CO₂ 5 lít/phút, đạt giá trị cao nhất và ổn định 1,1mmol/g. Kết quả này chứng minh than vỏ hạt mắc-ca có thể được sử dụng làm chất hấp phụ khí CO₂ rẻ và thân thiện với môi trường.

Từ khóa: Than sinh học, vỏ mắc-ca, nhiệt phân, hấp phụ khí CO₂, nông nghiệp bền vững.

ABSTRACT

The rapid development in the plantation area of macadamia trees has led to an increase in the number of agricultural by-products, most importantly macadamia nut shells, and may cause environmental concerns if not treated properly. One of the methods to reduce the negative impact on the environment is to convert it into biochar by pyrolysis for CO₂ adsorption. Pyrolysis of macadamia nut shells was carried out by Nabartherm at 600°C in an atmosphere containing pure N₂. The results of SEM-EDS analysis and N₂ adsorption/desorption isotherms showed that the biochar structure was highly porous, and the surface area of biochar was 127.44m²/g. The FTIR analysis results showed that very few functional groups existed on the surface, suggesting that the CO₂ adsorption onto this biochar would rather follow a physical capturing mechanism. The application of biochar for CO₂ adsorption was carried out in laboratory conditions of room temperature and atmospheric pressure, CO₂ flow rate of 5 liters /min, and achieved a high and stable CO₂ adsorption value at 1.1mmol/g. This result showed that macadamia nut shells could be used for the production of cheap and environmentally friendly absorbent.

Keywords: Biochar, macadamia nut shell, pyrolysis, CO₂ adsorption, sustainable agriculture.

¹Trường Đại học công nghệ, Đại học quốc gia Hà Nội

²Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

³Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email: nguyen-hong.nam@usth.edu.vn

Ngày nhận bài: 22/6/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/7/2022

Ngày chấp nhận đăng: 29/8/2022

1. GIỚI THIỆU

Mắc-ca là một loại cây có nguồn gốc từ các khu rừng cận nhiệt đới phía đông Australia, tạo ra nhân màu trắng, kem, và có giá trị cao [1]. Tổng sản lượng mắc-ca toàn cầu năm 2020 là 63000 tấn, tăng 2,3 lần trong vòng 10 năm. Úc và Nam Phi là những nước sản xuất mắc-ca hàng đầu, chiếm 50% tổng sản lượng toàn cầu. Trong khi đó Việt Nam chiếm 3% sản lượng quả mắc-ca toàn cầu [2] với khoảng 1800 tấn. Cây mắc-ca ở Việt Nam được du nhập vào Việt Nam từ năm 1994 và trồng nhiều nhất ở các tỉnh Tây Nguyên, Tây Bắc, chủ yếu phục vụ nông nghiệp, và mục đích nghiên cứu lâm nghiệp [3]. Vai trò hiện tại của Việt Nam trên thị trường mắc-ca toàn cầu là một trong những quốc gia chế biến hạt mắc-ca, chiếm hơn 8% tổng nhập khẩu hạt mắc-ca của thế giới trong năm 2017 [2].

Vỏ hạt mắc-ca được coi là một phụ phẩm trong chế biến quả mắc-ca, việc tăng diện tích trồng được cho là làm tăng lượng phụ phẩm vỏ hạt mắc-ca. Lượng phụ phẩm lớn có khả năng làm tăng nguy cơ ô nhiễm môi trường nếu không có biện pháp xử lý. Một số phương pháp để tận dụng nguồn phụ phẩm từ vỏ hạt mắc-ca như làm phân bón [4], sản xuất điện bằng cách chuyển đổi chúng thành khí tổng hợp (syngas) [5]. Một phương pháp tiềm năng để sử dụng nguồn vỏ hạt mắc-ca có hiệu quả giảm nguy cơ ô nhiễm môi trường là chuyển đổi vỏ hạt mắc-ca thành than sinh học bằng quá trình nhiệt phân. Nhiệt phân là một quá trình phân hủy các chất hữu cơ trong môi trường kỵ khí, sản phẩm của quá trình là than sinh học, dầu nhiệt phân và khí tổng hợp.

Việc phát thải các khí nhà kính như carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) và nito oxit (NO₂) vào bầu khí quyển là một vấn đề nghiêm trọng vì chúng có thể gây ra biến đổi khí hậu. CO₂ là khí được quan tâm nhất trong số các khí nhà kính vì là khí gây nên hiện tượng nóng lên toàn cầu [6]. Điều này sẽ dẫn đến những tác động to lớn đến môi trường trên cạn, gây ra hạn hán nặng nề, thay đổi mô hình mưa, sóng nhiệt khắc nghiệt, băng hà tan chảy và mực nước biển dâng cao [7]. Các nhà máy nhiệt điện là nguồn phát thải CO₂

chính trong công nghiệp vì chúng đốt một lượng lớn nhiên liệu hóa thạch để tạo ra năng lượng cho các hoạt động và mục đích sử dụng của con người.

Để giảm sự phát thải CO₂ vào bầu khí quyển, nhiều nghiên cứu hướng tới mục đích tìm ra các phương pháp mới và hiện đại để thu hồi CO₂ một cách hiệu quả. Trong công nghiệp khí CO₂ được hấp phụ trong dung dịch có gốc amin như monoetanolamin (MEA), dietanolamin (DEA) hoặc metyl dietanolamin (MDEA) [8]. Tuy nhiên phương pháp này còn tồn tại những nhược điểm như nguy cơ ăn mòn thiết bị cao, cần thêm năng lượng để tái tạo chất hấp phụ, và phát sinh thêm bùn thải từ quá trình này. Phương pháp hấp phụ bằng vật liệu rắn dễ dàng xử lý hơn và không bị ăn mòn. Một số nghiên cứu gần đây về than sinh học hấp phụ khí CO₂ [9, 10] cho thấy rằng than sinh học từ các phụ phẩm nông nghiệp có khả năng hấp phụ khí CO₂ và có thể mở rộng ở quy mô lớn. Vì vậy mục tiêu của nghiên cứu này là sản xuất than sinh học từ phụ phẩm nông nghiệp bằng phương pháp nhiệt phân vỏ hạt mắc-ca để ứng dụng hấp phụ khí CO₂.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Nguyên liệu sinh khối

Vỏ mềm quả mắc-ca được lấy mẫu từ tỉnh Đắk-Lắk của Việt Nam. Để xác định các đặc điểm của sinh khối, một loạt các phân tích kỹ thuật (Proximate analysis) đã được thực hiện. Với phân tích kỹ thuật, chất bốc V (tiêu chuẩn ASTM D-3175), hàm lượng tro A (tiêu chuẩn ASTM D-3174) và hàm lượng các-bon cố định FC (FC = 100 - V - A) đã được xác định.

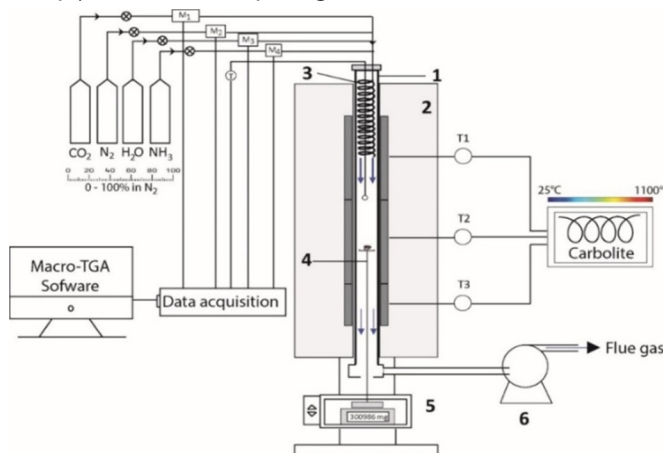
2.2. Quá trình nhiệt phân

Than sinh học được chế tạo bằng lò nung Nabertherm trong phòng thí nghiệm. Sau khi được thu gom, vỏ hạt mắc-ca được rửa sạch và phơi nắng trong 48 giờ. Với mỗi mẻ khoảng 200g vỏ hạt mắc-ca được cho vào một hộp kín và nung ở nhiệt độ 600°C trong 1 giờ trong N₂ (3 lít/phút). Phương pháp này cho phép tạo ra một lượng lớn than sinh học với giá thành phải chăng và thân thiện môi trường. Sau khi quá trình nhiệt phân kết thúc, than sinh học được để nguội và lấy ra đem đi phân tích đặc tính hình thái bề mặt, độ rỗng xốp và khả năng hấp phụ CO₂.

2.3. Quá trình hấp phụ CO₂

Thí nghiệm hấp phụ khí CO₂ được thực hiện ở quy mô phòng thí nghiệm thực bởi hệ thống Macro thermo-gravimetric analyzer (Macro-TGA) đặt tại Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội (USTH), được thiết kế bởi USTH và hãng CIRAD. Hệ thống này bao gồm một lò phản ứng được làm bằng ống gốm có kích thước 110 x 7,5cm (chiều dài x đường kính) (1) được đặt bên trong thiết bị gia nhiệt (2). Lò phản ứng được giữ nhiệt độ đồng nhất bởi ba vùng gia nhiệt độc lập T1, T2, T3. Mỗi loại khí được chỉ định bởi một đồng hồ đo lưu lượng riêng biệt. Mẫu than sinh học được đặt trong khay chứa gắn liền thang nâng hạ, khối lượng mẫu được đo liên tục bằng cân (5) và được ghi lại bằng máy tính mỗi 5 giây một lần. Tốc độ dòng chảy của

dòng khí CO₂ là 5 (lít/phút), lượng than sinh học được sử dụng để làm thí nghiệm là 0,3 gam. Khí N₂ được sử dụng vào quá trình giải hấp, và có tốc độ dòng bằng với dòng khí CO₂. Quá trình hấp phụ khí CO₂ được thử nghiệm ở áp suất khí quyển và nhiệt độ phòng 25°C.



Hình 1. Hệ thống khí hóa Macro thermo-gravimetric analyzer

2.4. Quét kính hiển vi điện tử

Sau khi kết thúc quá trình nhiệt phân, than sinh học được đưa vào Kính hiển vi điện tử (SEM) TM4000plus Hitachi. SEM cung cấp hình ảnh trực quan về hình thái của bề mặt than và độ rỗng xốp của nó. Phổ tán xạ năng lượng tia X (EDS): Phổ EDS được đo trên thiết bị micsF + của Oxford Instrument cung cấp thông tin về các thành phần hóa học trên bề mặt than.

2.5. Phân tích hấp/ nhả N₂

Thiết bị đo BET của hãng Micromeritic được sử dụng để đo sự hấp/nhả N₂ của than sinh học sau nhiệt phân ở nhiệt độ - 196°C. Mẫu ban đầu được sấy trong dòng khí N₂ ở 300°C trong 6 giờ. Dữ liệu được ghi lại trong khoảng áp suất 0 < p/p₀ < 0,99. Với dữ liệu thu được, phương pháp Brunauer - Emmett - Teller (BET) đã được sử dụng để xác định tổng diện tích bề mặt riêng của mẫu và tổng thể tích lỗ rỗng. Ngoài ra, phương pháp t-plot đã được sử dụng để ước tính diện tích và thể tích của các vi mao quản. Về kích thước, các mao quản được chia thành: vi mao quản có đường kính nhỏ hơn 2nm; mao quản trung bình có đường kính từ 2nm đến 50nm; và mao quản lớn có đường kính lớn hơn 50nm.

2.6. Phân tích phổ hồng ngoại

Sự hiện diện của các nhóm chức trên bề mặt than sinh học từ hạt mắc-ca được phát hiện thông qua phương pháp phân tích quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR), sử dụng phổ kế UATR-FTIR (PerkinElmer) với dải MIR 450 - 4000cm⁻¹ và độ phân giải 4cm⁻¹.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tính chất hóa lý của sinh khối và than

Đặc tính của vỏ hạt mắc-ca được thể hiện trong bảng 1. Có thể thấy độ ẩm của vỏ mềm là 15,72% khối lượng, như vậy độ ẩm của vỏ mềm là cao. Độ ẩm cao khiến quá trình

chuyển hóa nhiệt trở nên bất lợi hơn, độ ẩm của sinh khối được khuyến nghị cho quá trình chuyển hóa nhiệt-hóa là dưới 10% khối lượng [11]. Hàm lượng tro trong vỏ hạt mắc-ca là 3,42% tương đối thấp so với 2 loại sinh khối, là vỏ hạt điều 5% và vỏ hạt cà phê 11,2% [12]. Hàm lượng tro thấp sẽ giảm lo ngại về sự tắc nghẽn và ăn mòn thiết bị trong hệ thống phù hợp sản xuất than sinh học ở quy mô lớn. Hàm lượng chất bốc của vỏ mềm là 70,48%, tương đối cao ngang bằng với sinh khối vỏ hạt cà phê 72,8% và vỏ hạt điều 76,8% [12] hàm lượng chất bốc cao giúp cho quá trình chuyển hóa nhiệt hóa tiết kiệm năng lượng hơn. Nhiệt trị cao của vỏ hạt mắc-ca được ghi lại là 17,47MJ kg⁻¹ bằng với vỏ hạt cà phê 17,6% [12]. Các đặc tính lý hóa của vỏ hạt mắc-ca cho thấy sự phù hợp để sản xuất than sinh học ở quy mô lớn.

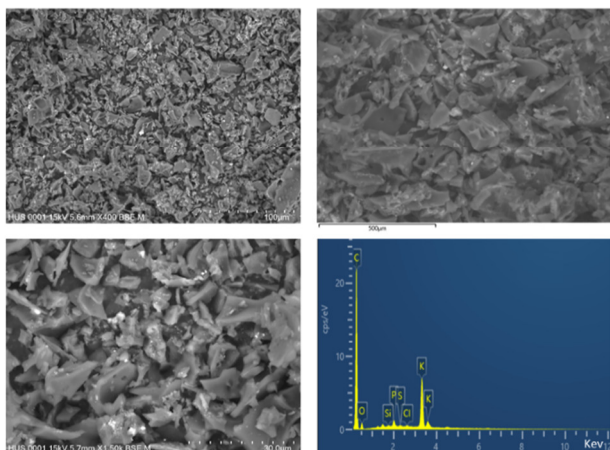
Bảng 1. Đặc tính lý hóa của vỏ hạt mắc-ca

M* (%)	A** (%)	V** (%)	FC** (%)	HHV* (MJ kg ⁻¹)
15,72	3,42	70,48	26,10	17,47

M: độ ẩm, A: Hàm lượng tro, V Hàm lượng chất bốc, FC Hàm lượng các-bon cố định, HHV: nhiệt trị cao. * Kết quả tính trên mẫu ướt, ** Kết quả tính trên mẫu khô

3.2. Đặc tính và hình thái của than sinh học

Hình thái bề mặt của than mắc-ca nhiệt phân tại nhiệt độ 600°C trong dòng N₂ được thể hiện trong hình 2 bằng ảnh SEM. Hình ảnh SEM cho phép hình dung trực tiếp hình thái bề mặt và độ xốp vĩ mô của than. Ảnh SEM than mắc ca thể hiện hình thái không đồng nhất với bề mặt gồ ghề đan xen giữa các hạt to nhỏ. Một số hạt được phản xạ sáng hơn được thể hiện trên bề mặt, có thể là các hạt vô cơ có trong than. Một số cấu trúc rỗng xốp được quan sát tuy không nhiều. Kết quả EDS cho thấy nguyên tố chiếm ưu thế trên bề mặt than sinh học mắc-ca là các-bon, chiếm tới 70%, tiếp đến là Kali, 17%. Một số nguyên tố khác cũng được tìm thấy trên bề mặt than như Si, Cl, P và S.



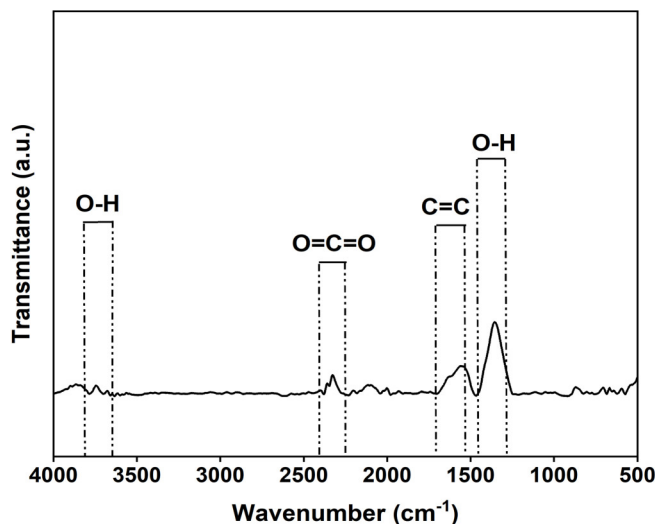
Hình 2. Hình ảnh SEM- phổ EDS của than sinh học vỏ hạt mắc-ca

3.3. Đặc tính hấp phụ của than sinh học

3.3.1. Phân tích phổ hồng ngoại

Hình 3 thể hiện kết quả phân tích FTIR được sử dụng để khảo sát các nhóm chức hóa học bề mặt của than sinh học.

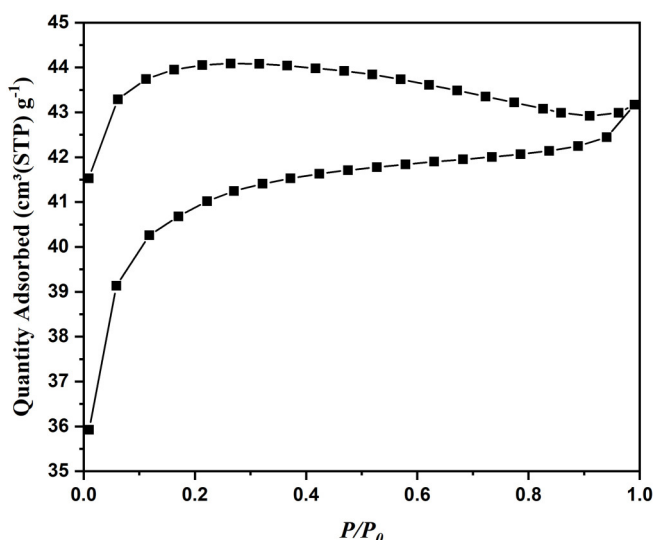
Nhìn chung, rất ít nhóm chức được phát hiện trên bề mặt của than sinh học vỏ mắc-ca. Các đỉnh ở khoảng 3584 - 3700cm⁻¹ có thể được gán cho các nhóm chức O-H, và các đỉnh ở 2000 - 2400cm⁻¹ có thể được gán cho các nhóm O=C=O. Các đỉnh ở khoảng 1670 - 1600cm⁻¹ có thể được đặc trưng bởi các nhóm (C=C). Các đỉnh ở khoảng 1400 - 1000cm⁻¹ có thể được đặc trưng bởi các nhóm O-H. Những nhóm chức này không trực tiếp liên quan đến khả năng hấp phụ CO₂ của vật liệu, tuy nhiên kết quả này có thể dự đoán được do dưới tác dụng của nhiệt, phần lớn nhóm chức bề mặt sẽ bị phá hủy.



Hình 3. Kết quả FTIR của than sinh học từ hạt mắc-ca

3.3.2. Độ rỗng xốp

Đường hấp/nhả N₂ của than sinh học sau khi nhiệt phân vỏ hạt mắc-ca được thể hiện trong hình 4. Diện tích bề mặt BET của than sinh học mắc-ca được tóm tắt trong bảng 2.



Hình 4. Đường hấp phụ/giải hấp N₂ của than sinh học từ vỏ hạt mắc-ca

Đường đẳng nhiệt của than mắc-ca có thể được xếp vào nhóm IV trong khung xếp loại các vật liệu rỗng xốp IUPAC, chứng tỏ than mắc-ca có nhiều vi mao quản và độ rỗng xốp lớn. Ngoài ra, hiện tượng trễ ở áp suất thấp cũng được

quan sát thấy trên đường đẳng nhiệt, với đường nhả tách khá xa đường hấp. Hiện tượng này thường gắn với các vi mao quản có hình thái cổ chai, rất phù hợp cho các vật liệu trở thành chất hấp phụ tốt khi các phân tử được thu giữ vào trong mao quản khó thoát ra ngoài hơn.

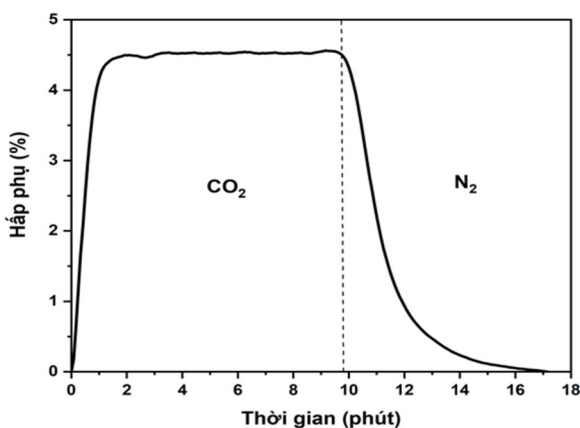
Bảng 2. Diện tích bề mặt và thể tích mao quản của than sinh học

S_{total} (m ² /g)	V_{total} (cm ³ /g)	V_{micro} (cm ³ /g)	V_{meso} (cm ³ /g)
127,44	0,06	0,05	0

Tổng diện tích bề mặt riêng của vỏ than sinh học mắc-ca là 127,44m²/g và tổng thể tích lỗ rỗng bằng 0,06cm³/g, khá cao khi so sánh với các loại than sinh học khác được làm với các phương pháp tương tự. Thêm vào đó, thể tích các vi mao quản chiếm phần lớn thể tích các lỗ rỗng, khẳng định sự phù hợp khi sử dụng than vỏ mắc-ca làm chất hấp phụ khí CO₂.

3.4. Hấp phụ khí CO₂

Hình 5 thể hiện kết quả hấp phụ khí CO₂ khi sử dụng than sinh học làm từ vỏ hạt mắc-ca. Kết quả cho thấy vật liệu tăng khối lượng thêm 4,5% so với khối lượng ban đầu sau một thời gian rất ngắn (dưới 1 phút). Sự tăng khối lượng này tương đương với khả năng hấp phụ 1,1mmol khí CO₂ cho mỗi gram vật liệu. Giá trị này đạt ổn định trong dòng khí CO₂ với tốc độ dòng chảy 5 lít/phút. Thêm vào đó, khi chuyển qua dòng khí N₂ để tái sinh mẫu, thời gian vật liệu nhả CO₂ cũng rất nhanh (dưới 6 phút để nhả hoàn toàn 100% CO₂). Đây là một lợi thế lớn trong công nghệ hấp phụ CO₂ khi có thể tách rời khí CO₂ khỏi dòng khí thải và lưu trữ chúng vào một nơi khác một cách rất nhanh chóng. Kết quả đo hấp phụ khí CO₂ cũng phù hợp và thống nhất với kết quả đo diện tích bề mặt BET ở bảng 2. Các phân tử khí CO₂ dễ dàng hấp phụ vào bề mặt của than sinh học nhờ vào độ rỗng xốp của bề mặt than sinh học bằng cơ chế vật lý.



Hình 5. Kết quả hấp phụ khí CO₂ của than sinh học từ vỏ hạt mắc-ca

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Than sinh học từ vỏ hạt mắc-ca nhiệt phân ở nhiệt độ 600°C có độ rỗng xốp tương đối lớn với chủ yếu các vi mao quản. Thí nghiệm hấp phụ khí CO₂ cho thấy vật liệu có khả năng hấp phụ khí CO₂ lên đến 1,1mmol/g. Sự hấp phụ khí CO₂ chủ yếu từ cơ chế thu giữ vật lý các phân tử khí. Ngoài ra, than có khả năng hấp phụ và giải hấp rất nhanh khí CO₂,

mang lại lợi thế lớn khi ứng dụng ở quy mô công nghiệp. Nghiên cứu cho thấy than sinh học từ vỏ hạt mắc-ca có tiềm năng lớn để trở thành một vật liệu hấp phụ khí CO₂ rẻ và thân thiện với môi trường.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Nhiệm vụ hợp tác quốc tế về khoa học và công nghệ cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Mã số nhiệm vụ: QTJP01.02/22-24.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. A. Nagao, H. H. Hirae, R. A. Stephenson, 1992. *Macadamia: Cultivation and physiology*. Critical Reviews in Plant Sciences, vol. 10, no. 5, pp. 441–470, doi: 10.1080/07352689209382321.
- [2]. *Nuts and dried fruits statistical yearbook 2019/2020*. INC international Nut & Dried Fruits.
- [3]. N. La, et al., 2016. *Agroforestry guide for sloping land in Northwest Viet Nam*. Tri Thuc Publishing House.
- [4]. D. Maselesele, J. B. O. Ogola, R. N. Murovhi, 2021. *Macadamia Husk Compost Improved Physical and Chemical Properties of a Sandy Loam Soil*. Sustainability, vol. 13, no. 13, p. 6997, doi: 10.3390/su13136997.
- [5]. V. N. Linh, N. Van Dong, N. H. Nam, 2021. *Investigation on gasification of agricultural wastes: the case of macadamia husk*. Vietnam Journal of Chemistry, vol. 59, no. 5, pp. 599–605, doi: 10.1002/vjch.202100011.
- [6]. A. Marescaux, V. Thieu, J. Garnier, 2018. *Carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions from the human-impacted Seine watershed in France*. Sci Total Environ, vol. 643, pp. 247–259, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.151.
- [7]. B. Dutcher, M. Fan, A. G. Russell, 2015. *Amine-Based CO₂ Capture Technology Development from the Beginning of 2013 – Review*. ACS Appl. Mater. Interfaces, vol. 7, no. 4, pp. 2137–2148, doi: 10.1021/am507465f.
- [8]. F. Vega, M. Cano, S. Camino, B. Navarrete, J. A. Camino, 2018. *Evaluation of the absorption performance of amine-based solvents for CO₂ capture based on partial oxy-combustion approach*. International Journal of Greenhouse Gas Control, vol. 73, pp. 95–103, doi: 10.1016/j.ijggc.2018.04.005.
- [9]. H. Madzaki, W. A. W. A. B. KarimGhani, Nur Zalikha Rebitanim, Azil Bahari Alias, 2016. *Carbon Dioxide Adsorption on Sawdust Biochar*. Procedia Engineering, vol. 148, pp. 718–725, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.591.
- [10]. A. Promraksa, N. Rakmak, 2020. *Biochar production from palm oil mill residues and application of the biochar to adsorb carbon dioxide*. Heliyon, vol. 6, no. 5, p. e04019, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04019.
- [11]. A. K. Varma, P. Mondal, 2016. *Physicochemical characterization and kinetic study of pine needle for pyrolysis process*. J Therm Anal Calorim, vol. 124, no. 1, pp. 487–497, doi: 10.1007/s10973-015-5126-7.
- [12]. Tran Van Bay, Cao Anh Ngoc, Nguyen Hong Nam, 2021. *Combination of energy and biochar production from agricultural residues*. Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry, 57(5), 100-105.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Van Dong¹, Vu Ngoc Linh¹, Tran Van Bay², Nguyen Hong Nam³

¹VNU University of Engineering and Technology

²Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications

³University of Science and Technology of Hanoi, VAST