NGHIÊN CỨU NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG SẢN PHẨM KHÍ KHI KHÍ HÓA LÕI NGÔ Ở NHIỆT ĐỘ THẤP BẰNG PHƯƠNG PHÁP DÙNG XÚC TÁC NICKEL/CHAR VÀ HƠI NƯỚC

RESEARCH ON IMPROVING THE QUALITY OF GAS PRODUCTS FROM LOW-TEMPERATURE CORN COB GASIFICATION USING NICKEL/CHAR CATALYST AND STEAM

Trần Văn Bẩy[1,*]

DOI: https://doi.org/10.57001/huih5804.2026.061

TÓM TẮT

Ngô là một trong những loại ngũ cốc quan trọng. Trong nhiều năm liên tiếp ngô là loại ngũ cốc có sản lượng cao nhất trên thế giới. Ngô không những cung cấp hạt để làm lương thực thực phẩm (luộc, rang, xôi, bột), thức ăn chăn nuôi, nguyên liệu công nghiệp sản xuất dầu ăn, tinh bột, lõi ngô còn được dùng làm thức ăn gia súc, làm phân bón, cải tạo đất, hoặc đốt trực tiếp để sử dụng năng lượng. Tuy nhiên, việc sử dụng năng lượng từ việc đốt trực tiếp lõi ngô có rất nhiều hạn chế như chỉ dùng được quy mô nhỏ, gây ô nhiễm môi trường và chất lượng của nguồn năng lượng thấp. Hiện nay, việc sản xuất năng lượng không qua đốt trực tiếp sinh khối mà thông qua công nghệ khí hóa đã tạo ra nguồn năng lượng sạch, bền vững, ổn định và không ô nhiễm môi trường. Công nghệ khí hóa sinh khối để tạo ra sản phẩm khí tổng hợp (syngas) đã được nghiên cứu nhiều trên thế giới với nhiều công nghệ khác nhau. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã nghiên cứu nâng cao chất lượng sản phẩm khí khi khí hóa lõi ngô ở điều kiện nhiệt độ thấp với sự tham gia của xúc tác nickel/char và hơi nước. Kết quả nghiên cứu cho thấy mức độ chuyển hóa sang các khí có ích khi sử dụng chất xúc tác tăng lên rõ rệt so với không sử dụng chất xúc tác. Đặc biệt là hàm lượng H_2 tăng gấp 15 lần, CO tăng gấp hơn 6 lần. Điều đó cho thấy tiềm năng của quá trình khí hóa lõi ngô nói riêng và sinh khối nói chung khi có chất xúc tác nickel/char và hơi nước. Phân tích hấp phụ/giải hấp phụ N_2 về chất thải rắn cho thấy bề mặt than có độ xốp tương đối lớn (diện tích bề mặt là 542 - 575$m^2.g^{-1}$). Vì vậy, chất này có thể được ứng dụng như carbon hoạt tính dùng trong lọc nước/khí, hấp phụ độc tố. Nghiên cứu này sẽ góp phần thúc đẩy sự phát triển bền vững của công nghệ khí hóa sinh khối, sử dụng năng lượng tái tạo cũng như sự phát triển của ngành nông nghiệp.

Từ khóa: *Khí hóa, lõi ngô, than nâu, nickel/char, xúc tác.*

ABSTRACT

Corn is one of the most important cereals. For many consecutive years, corn has been the world's highest-producing cereal. Corn not only provides grain for food (boiled, roasted, steamed, flour), animal feed, and industrial raw materials for cooking oil and starch production, but the cob is also used as animal feed, fertilizer, soil conditioner, or directly burned for energy. However, using energy from directly burning corn cobs has many limitations, such as being only suitable for small-scale use, causing environmental pollution, and resulting in low energy quality. Currently, energy production without direct biomass combustion, through gasification technology, has created a clean, sustainable, stable, and environmentally friendly energy source. Biomass gasification technology to produce syngas has been extensively researched worldwide with various technologies. In this paper, the authors investigated how to improve the quality of gas produced by gasifying corn cobs at low temperatures using nickel/char catalyst and steam. The research results showed a significant increase in the conversion to useful gases when using the catalyst compared to the absence of a catalyst. Specifically, the H_2 content increased 15 times, and CO_2 increased more than 6 times. This demonstrates the potential of corn cob gasification in particular, and biomass in general, when using nickel/char catalyst and steam. N_2 adsorption/desorption analysis of solid waste revealed that the charcoal surface has relatively high porosity (surface area is 542 - 575$m^2.g^{-1}$). Therefore, this material can be applied as activated carbon in water/gas filtration and toxin adsorption. This research will contribute to the sustainable development of biomass gasification technology, the use of renewable energy, and the development of the agricultural sector.

Keywords**:** *Gasification, corn cob, nickel/char, catalyst.*

[1]Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông vận tải

[*]Email: tvbaydhgt@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/01/2026
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/3/2026
Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

1. GIỚI THIỆU

Ngô được gieo trồng trên nhiều quốc gia và vùng lãnh thổ. Năng suất ngô trên thế giới năm 2024 - 2025 khoảng 1,22 tỷ tấn [1]. Tại Việt Nam, ngô được trồng rộng rãi từ Bắc vào Nam. Sản lượng ngô năm 2023 là 4.437,2 ngàn tấn [2]. Trung du và miền núi phía Bắc là vùng có sản lượng trồng ngô lớn nhất cả nước tiếp đến là Bắc Trung Bộ và duyên hải miền Trung và một số địa phương khác với năng suất lần lượt là 1.657,6 ngàn tấn; 880,8 ngàn tấn [2].

Các phụ phẩm nông nghiệp được tạo ra từ cây ngô có thể gây ô nhiễm tới môi trường và ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Một số những giải pháp tận dụng phụ phẩm nông nghiệp lõi ngô như: làm thức ăn cho gia súc, được đốt để lấy nhiệt, được sử dụng làm chất hấp phụ [3], hoặc nguyên liệu để sản xuất nhiên liệu sinh học [4] hay làm nguyên liệu trong các nhà máy điện sinh khối. Nhưng những cách này chưa tận dụng triệt để được nguồn nguyên liệu dồi dào trên thế giới. Do vậy, việc nghiên cứu khí hóa lõi ngô là vô cùng cần thiết đối với ngành công nghiệp năng lượng tái tạo và đời sống của mỗi con người.

Khí hóa là một quá trình chuyển đổi nhiệt hóa học các nguyên vật liệu có nguồn gốc carbon thành các khí dễ cháy hoặc khí tổng hợp như H_2, CO, CO_2, CH_4. Khí hóa liên quan đến phản ứng của carbon trong môi trường khí hóa như oxy, hơi nước, CO_2 hoặc là hỗn hợp của các môi trường ở nhiệt độ cao 600-900 °C hoặc lớn hơn nữa để sinh ra các sản phẩm khí. Sản phẩm của quá trình chủ yếu là CO, H_2, CH_4, CO_2, H_2O, N_2, một số vật chất hạt như char, tro và tar [5]. Quá trình khí hóa gồm các giai đoạn: sấy khô, nhiệt phân, oxy hóa/cracking các chất bốc và khí hóa than. Sinh khối được gia nhiệt trước sau đó chịu sự phân rã do nhiệt phân. Sản phẩm thu được (như khí, chất rắn và chất lỏng) phản ứng với nhau và với cả tác nhân khí hóa để hình thành sản phẩm cuối cùng của quá trình khí hóa [6].

Đã có một số các nghiên cứu về lõi ngô ở nước ngoài cho thấy nó thích hợp trong việc khí hóa ghi cố định với nhiên liệu được trồng ở vùng Corabastos (Colombia) [7]. Nghiên cứu được thực hiện trong lò đốt tầng cố định 18kW, ở điều kiện nhiệt độ 900°C với các tốc độ gia nhiệt khác nhau là 5, 20 và 50°C/phút và lưu lượng N_2 cấp vào là 130ml/phút. Kết quả của nghiên cứu cho thấy ảnh hưởng của hàm lượng vật liệu mịn đến quá trình khí hóa. Khí hóa lõi ngô với 15% vật liệu mịn (kích thước hạt dưới 10 mm) cho phép sản xuất khí tổng hợp chất lượng tốt hơn (về hàm lượng hydro và carbon monoxide cao hơn): H_2: 17%, CO: 16,7%, CO_2: 6,2% và CH_4: 3,1%, dẫn đến giá trị nhiệt lượng tăng. Nhóm nghiên cứu S. Ning, S. Jia, H. Ying, Y. Sun, W. Xu và H. Yin [8] đã nghiên cứu khí tổng hợp giàu hydro bằng khí hóa hơi char lõi ngô với tác nhân khí hóa là hơi nước và chất xúc tác bằng sử dụng bộ khí hóa ghi cố định. Thí nghiệm được thực hiện ở nhiệt độ 900°C, tốc độ dòng hơi nước 0,4 g/phút. Bốn loại muối kiềm khác nhau (KOH, K_2CO_3, NaOH và Na_2CO_3) đã được chọn làm chất xúc tác, char từ thân cây ngô được sử dụng để làm chất mang của xúc tác. Kết quả cho thấy KOH và NaOH có hoạt tính xúc tác cao hơn K_2CO_3 và Na_2CO_3. Khi nồng độ của KOH trong khoảng từ 2 - 9%, lượng CO tăng 19,7% lên 32,6% trong khi nồng độ H_2 giảm từ 63,8 % xuống 58,3 %. Lưu lượng hơi nước cũng ảnh hưởng đến sản lượng hydro. Khi lưu lượng hơi nước thay đổi từ 0,2 g/phút đến 0,4 g/phút, sản lượng hydro tăng 84%. Tuy nhiên, khi tăng lưu lượng hơi nước lên 0,8 g/phút, sản lượng hydro chỉ tăng thêm 5,26%. Ở trong nước, nhóm nghiên cứu Nhu Thuyen và cộng sự đã nghiên cứu nhiệt phân lõi ngô để sản xuất than sinh học [9]. Trong nghiên cứu này, nhóm sử dụng lõi bắp của một số giống ngô CC260-45, CC290-30, CC290-45, CC320-15, CC320-30 và CC320-45 và nhiệt phân ở điều kiện tối ưu để sản xuất than sinh học là nhiệt độ 320°C trong 45 phút. Với điều kiện như vậy, kết quả đạt được là than sinh học có nhiệt trị cao nhất lên đến 24,29MJ.kg^{-1} và độ xốp lớn nhất là 74,94%. Như vậy, cả trong và ngoài nước đều có nhiều nghiên cứu về khí hóa sinh khối tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào nghiên cứu khí hóa lõi ngô ở nhiệt độ thấp, dùng chất xúc tác kết hợp với tác nhân khí hóa là hơi nước để tạo ra sản phẩm khí giàu H_2, vừa sử dụng được chất thải rắn để có thể làm than sinh học (biochar) dùng vào nhiều mục đích khác nhau.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Nhiên liệu sinh khối

Lõi ngô lai CP 311 được trồng ở Ninh Bình được chọn làm mẫu thí nghiệm. Bắp ngô sau khi thu hoạch được tách hạt, phần lõi được phơi khô. Sau đó lõi được cho vào máy băm đến kích thước 2 - 3mm rồi được sấy khô trong môi trường nitrogen ở nhiệt độ 60°C trong vòng 24 giờ.

2.2. Than nâu làm chất xúc tác

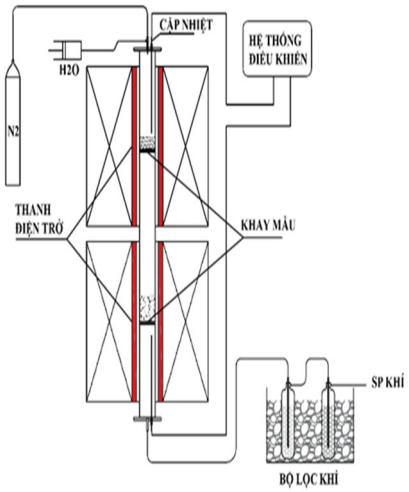
Than nâu được nhập khẩu từ Indonesia, được sàng để lấy kích thước hạt từ 1 - 2mm bằng sàng (rây), sau đó được sấy khô ở nhiệt độ 105°C trong vòng 24h.

2.3. Phân tích đặc tính của mẫu (Proximate and Ultimate analysis)

Để xác định các đặc tính của sinh khối, sử dụng các phân tích kỹ thuật và phân tích nguyên tố (proximate and ultimate analysis) để xác định hàm lượng chất bốc V (tiêu chuẩn TCVN 174), hàm lượng tro A (tiêu chuẩn TCVN 172), nhiệt trị (TCVN 200) và hàm lượng carbon cố định FC (FCdb = 100 - V - A). Xác định hàm lượng các nguyên tố carbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N), và Oxy (O) của mẫu trên cơ sở tiêu chuẩn TCVN 8621: 2015.

2.4. Thiết bị khí hóa sinh khối DBH21

Nghiên cứu này được thực hiện bằng thiết bị khí hóa sinh khối DBH21 được đặt tại phòng thực nghiệm khoa Năng lượng Nhiệt, Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội.



Hình 1. Thiết bị khí hóa DBH21

Hình 1 là hình ảnh và sơ đồ nguyên lý của thiết bị khí hóa sinh khối DBH21. Thiết bị bao gồm một ống thạch anh (hoặc gốm chịu nhiệt), thanh điện trở. Phía trong ống gồm 2 khay, một khay để mẫu khí hóa và một khay để chất xúc tác. Khí N_2 và hơi nước được cấp vào từ phía trên. Sản phẩm khí (syngas) được lấy ra ở phía bên dưới vào túi chứa khí thí nghiệm chuyên dụng sau khi đi qua thiết bị lọc khí (2 bình thủy tinh có các hạt thủy tinh).

Sinh khối (lõi ngô) khối lượng 5 gram được đặt ở khay mẫu phía trên, chất xúc tác nickel/char (5 gram) đặt ở khay mẫu phía dưới. Kết nối các đường ống dẫn khí N_2, nước và đường ống lấy khí vào túi khí vào hệ thống thiết bị. Sau khi kết nối xong phải đảm bảo hệ thống được kín hoàn toàn. Thí nghiệm được bắt đầu thực hiện với việc mở van khí N_2 để đẩy hết không khí khỏi hệ thống. Sau đó chỉnh van lưu lượng N_2 về giá trị 3 lít/h. Tiếp theo, bật nguồn điện để cấp nhiệt cho vùng đặt xúc tác (khoang phía dưới của lò) đến nhiệt độ thí nghiệm là 600°C với tốc độ gia nhiệt là 10°C/ phút. Sau đó, tiếp tục cấp nhiệt cho vùng đặt mẫu khí hóa cũng với tốc độ gia nhiệt 10°C/ phút cho đến khi đạt nhiệt độ thí nghiệm (550, 600, 650°C). Khi nhiệt độ vùng đặt mẫu đạt 150°C thì mở van nước để cấp nước với lưu lượng 3 ml/h, đạt đến 200°C thì bắt đầu thu khí vào túi đựng khí thí nghiệm chuyên dụng. Thời gian lấy khí tổng hợp là 60 phút. Sau khi lấy đủ khí thì ngắt van nước, ngắt nguồn điện, vặn van của túi lấy mẫu khí thí nghiệm và mang đi phân tích bởi thiết bị sắc ký khí GC. Chất thải rắn còn lại được lấy ra khi lò đã nguội hoàn toàn và mang đi phân tích.

2.5. Thiết bị nhiệt phân Nabertherm

Đây là một lò nhiệt kín, có đường cấp khí N_2, nhiệt độ có thể đến 3000°C, cấp nhiệt theo chương trình cài đặt, được sản xuất tại Đức và đặt tại phòng thí nghiệm Năng lượng, Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội.

2.6. Thiết bị phân tích khí GC

Máy phân tích thành phần khí tổng hợp (sắc ký khí) có model là 990 Micro GC được đặt tại phòng thí nghiệm Năng lượng, trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội (USTH) được sử dụng để đo thành phần khí tổng hợp sau khi khí hóa. Kết quả phân tích khí cho biết thành phần khí có trong sản phẩm khí tổng hợp như: O_2, H_2, CO_2, CH_4, C_2H_6, CO, N_2.

2.7. Máy phân tích Micrometrics ASAP 2060

Máy phân tích Micrometris ASAP 2060 được sử dụng để đo sự hấp/nhả N_2 của chất thải rắn sau khí hóa ở nhiệt độ -196°C. Mẫu ban đầu được thoát khí trong chân không ở 300°C trong 6 giờ. Dữ liệu được ghi lại trong khoảng áp

suất 0 < p/po < 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. Thiết bị này đặt tại đặt tại phòng thí nghiệm Năng lượng, trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội (USTH).

2.8. Phương pháp ICP-MS

ICP-MS là một kỹ thuật phân tích được sử dụng để xác định nguyên tố. ICP-MS là một kỹ thuật phân tích được sử dụng để xác định nguyên tố. Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng phương pháp này để xác định thành phần nickel có trong chất xúc tác nickel/char. Thiết bị này có model là ELAN® 9000 ICP-MS của hãng Perkin Elmer đặt tại Viện Kỹ thuật Nhiệt đới thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc tính của mẫu lõi ngô

Kết quả phân tích Proximate and Ultimate analysis được cho trong bảng 1.

Bảng 1. Đặc tính kỹ thuật của lõi ngô CP311

Ký hiệu mẫu/ chỉ tiêu	Q^k_c ($MJ.kg^{-1}$)	A^k (% wt)	V^k (% wt)	C (% wt)	H (% wt)	N (% wt)	S (% wt)	O (% wt)
CP311	18,85	5,47	71,37	50,91	6,77	0,78	0,09	35,98

Q^k_c: Nhiệt trị cao của nhiên liệu ở mẫu khô, A^k: hàm lượng tro ở mẫu khô, V^k: chất bốc ở mẫu khô, C: Carbon, H: hydrogen, N: Nitrogen, S: lưu huỳnh, O: Oxy.

Từ bảng 1 ta thấy, nhiệt trị của lõi ngô giống CP311 là 18,85$MJ.kg^{-1}$. Giá trị này khá cao so với một số loại sinh khối. Nhiệt trị cao của vỏ hạt cà phê thấp hơn, đạt 16,73$MJ.kg^{-1}$ [10], của bã mía là 16 ± 0,4$MJ.kg^{-1}$ [11], của trấu là 15,03$MJ.kg^{-1}$ [12] và tương đương với một số sinh khối khác. Sinh khối của lõi ngô CP311 có hàm lượng chất bốc, hàm lượng các bon cố định cao và hàm lượng tro khá thấp cho thấy phù hợp cho việc khí hóa đặc biệt với quy mô khí hóa lớn.

3.2. Đặc tính của chất xúc tác Nickel/char

Nickel/char được tổng hợp bằng phương pháp trao đổi ion giữa than nâu và hợp chất $NiCO_3.2Ni(OH)_2.4H_2O$, $(NH_4)_2CO_3$ trong môi trường kiềm. Sau quá trình trao đổi trong vòng 24h, các ion nickel sẽ thế vào chỗ các ion H trong nhóm OH của cấu trúc hạt than nâu tạo ra chất xúc tác nickel/char. Với mỗi nồng độ hợp chất $NiCO_3.2Ni(OH)_2.4H_2O$, $(NH_4)_2CO_3$ khác nhau thì nồng độ nickel có trong nickel/char sẽ khác nhau. Phương pháp ICP-MS được sử dụng để xác định thành phần nickel có trong chất xúc tác nickel/char trên 3 mẫu. Quá trình xác định hàm lượng nickel được thực hiện tại Viện Kỹ thuật Nhiệt đới thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Kết quả được thể hiện trên bảng 2.

Bảng 2. Kết quả phân tích ICP-MS

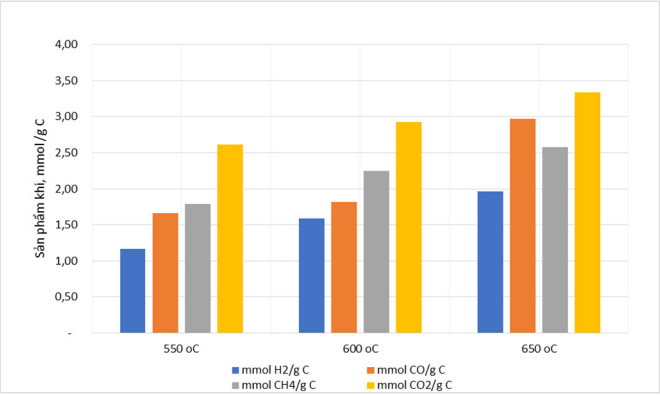
TT	Tên mẫu	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả
1	Mẫu nickel/char số 1	Phân tích hàm lượng Nickel trong mẫu	wt %	EPA305&EPA 6020B	2,8
2	Mẫu nickel/char số 2			EPA305&EPA 6020B	7,1
3	Mẫu nickel/char số 3			EPA305&EPA 6020B	3,65

Từ kết quả cho thấy mỗi mẫu khác nhau thì hàm lượng nickel khác nhau. Điều này là kết quả của quá trình tổng hợp nickel/char với các nồng độ hợp chất $NiCO_3.2Ni(OH)_2.4H_2O$, $(NH_4)_2CO_3$ khác nhau. Với mẫu số 2, hàm lượng nickel là 7,1%. Hàm lượng này là khá hiệu quả để dùng làm chất xúc tác khi khí hóa sinh khối [13, 14, 15]. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả chỉ sử dụng mẫu nickel/char số 2 có thành phần nickel là 7,1% làm chất xúc tác khi khí hóa lõi ngô.

3.3. Đặc tính của khí sản phẩm

3.3.1. Khi không sử dụng chất xúc tác

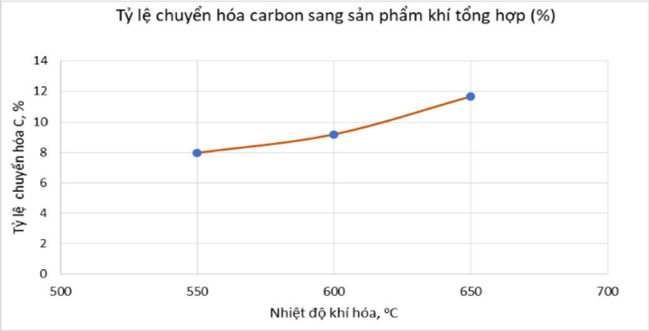
Khối lượng mẫu là 5 gram lõi ngô đặt vào khay mẫu phía trên của thiết bị khí hóa. Tại khay phía dưới, do không sử dụng chất xúc tác nên được thay bằng cát, khí N_2 được cấp vào với lưu lượng 3 lít/h. Tác nhân khí hóa là nước với lưu lượng 3 ml/h. Nhiệt độ tại khay phía dưới (cát) là 600°C, nhiệt độ khay phía trên được nhóm tác giả thực hiện ở các giá trị 550, 600 và 650°C. Khí sản phẩm được phân tích trên thiết bị phân tích khí 990 Micro GC, kết quả phân tích được trình bày hình 2.



Hình 2. Lượng sản phẩm khí thành phần

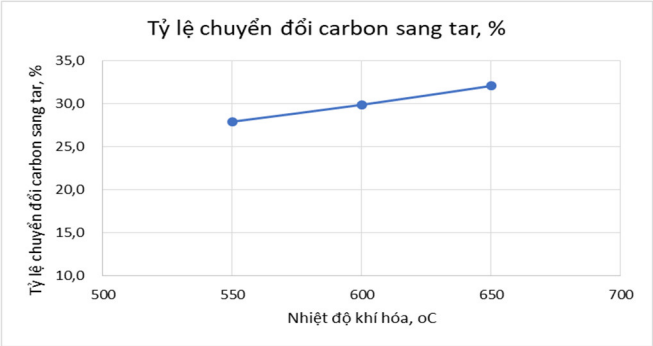
Kết quả hình 2 cho thấy, lượng CO_2 sinh ra trong thành thành phần khí là lớn nhất so với các khí khác (H_2, CO, CH_4) khi khí hóa sinh khối ở các nhiệt độ khác nhau. Và thành

phần H_2 là nhỏ nhất. Kết quả này cũng phù hợp với các nghiên cứu trước đó của các nhóm tác giả Muthu Dineshkumar và cộng sự [16], của nhóm tác giả N. Tippayawong, C. Chaichana, A. Promwangkwa và P. Rerkkriangkrai [17] khi khí hóa sinh khối. Tuy nhiên sự chuyển đổi carbon thành các sản phẩm khí lại khá thấp.



Hình 3. Tỷ lệ carbon chuyển hóa sang sản phẩm khí

Hình 3 là tỷ lệ carbon chuyển hóa thành khí sản phẩm. Theo đó, ở 550°C, tỷ lệ chuyển hóa carbon sang sản phẩm khí là 7,9%, ở 650°C thì giá trị này là 11,6%. Trong khi đó carbon có trong tar ở nhiệt độ khí hóa 650°C là 32, 1% (hình 4). Lượng carbon còn lại là ở trong char (char là thành phần rắn còn lại sau khí hóa mà chưa chuyển hóa).



Hình 4. Tỷ lệ chuyển đổi carbon sang tar

Từ kết quả trên cho thấy rằng, lượng carbon chuyển hóa thành tar là rất lớn, chiếm khoảng 32% tổng lượng carbon. Tar trong hệ thống khí hóa gây tắc đường ống, có thể hình thành cốc, làm giảm năng suất và chất lượng khí sản phẩm. Vì tar là các hydrocarbon nên thành phần của chúng chủ yếu là carbon và hydro. Vì vậy hoàn toàn có thể chuyển hóa tar thành các khí thành phần như H_2, CH_4, CO, để làm tăng chất lượng sản phẩm khí

3.3.2. Sử dụng xúc tác nickel/char

Trong thí nghiệm này, khay đặt mẫu lõi ngô ở phía trên có khối lượng mẫu là 5 gram, được gia nhiệt đến 600°C. Giá trị nhiệt độ này được giữ cho tất cả các thí nghiệm. Khay phía dưới để xúc tác khối lượng 5 gram, nhiệt độ khay đặt xúc tác lần lượt thay đổi là 500°C, 550°C, 600°C, và 650°C. Khí sản phẩm được phân tích trên thiết bị phân tích khí 990 Micro GC, kết quả phân tích được trình bày hình 5.

Từ kết quả trên trên hình 5 cho thấy rằng, khi có xúc tác nicken/char, lượng sản phẩm khí tăng lên rõ rệt đặc biệt với H_2 (gấp hơn 15 lần) và CO (gấp hơn 6 lần), cụ thể khi không có xúc tác, sản lượng của H_2 và CO lần lượt là 1,7 và 1,99mmol/g C. Còn khi sử dụng chất xúc tác ở nhiệt độ 650°C, sản lượng này lần lượt là 26,67 và 12,81mmol/g C. Sự gia tăng này là do tar và sản phẩm khí đi qua vùng có xúc tác nickel/char. Tại đây đã xảy ra các phản ứng cracking tar, phản ứng dịch chuyển nước-khí [18, 19], để tạo ra CO và H_2. Đặc biệt với sự xuất hiện tác nhân khí hóa là nước đã xuất hiện các phản ứng reforming hơi nước đã tạo ra nhiều khí H_2 [19, 20].

- Các phản ứng sau xuất hiện với sự có mặt của xúc tác gốc nickel:

+ Phản ứng khí hóa tar:

$$\text{tar} + H_2O \xrightarrow{\text{xúc tác niken}} \text{hydrocarbon} + CO + CO_2 + CH_4 + C \quad (1)$$

+ Phản ứng dịch chuyển nước, khí:

$$CO + H_2O \xrightarrow{Ni} H_2 + CO_2 \quad (2)$$

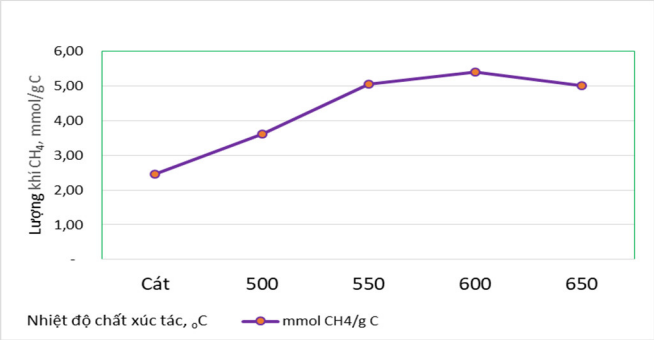
+ Phản ứng metan hóa:

$$CO + H_2 \xrightarrow{\text{xúc tác}} CH_4 + CO_2 \quad (3)$$

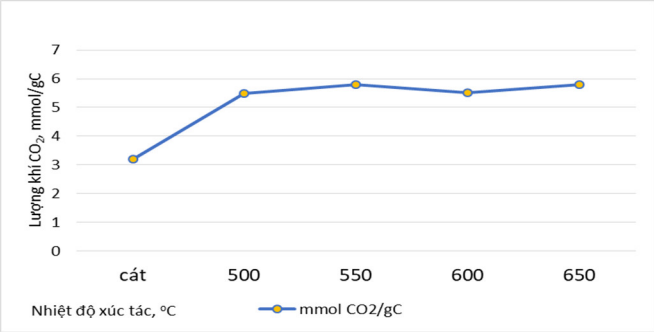
- Phản ứng reforming hơi nước

$$CH_4 + H_2O = CO + 3H_2 \quad (4)$$

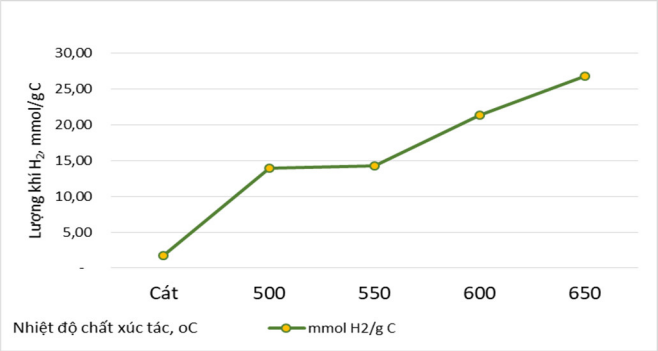
$$C_nH_m + nH2O = nCO + n + (m/2)H_2 \quad (5)$$



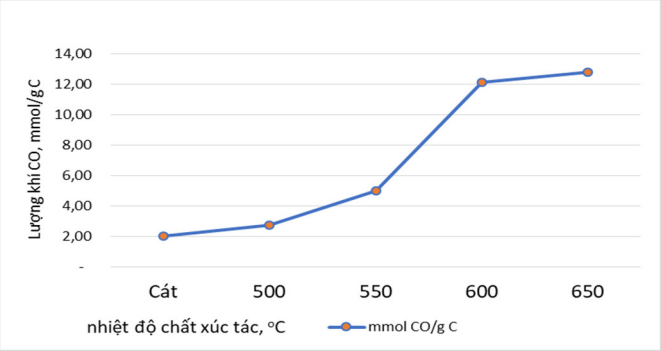
a) Lượng khí CH_4



b) Lượng khí CO_2



c) Lượng khí H_2

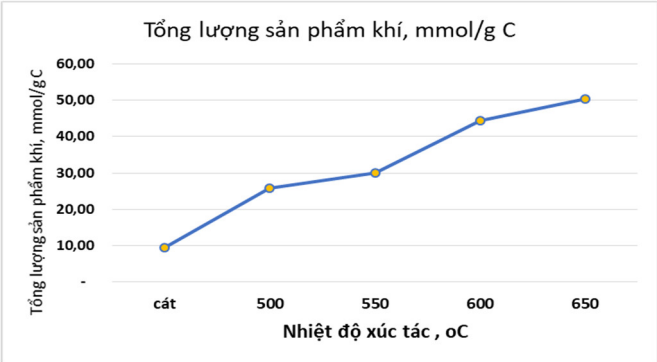


d) Lượng khí CO

Hình 5. Lượng khí sản phẩm khí hóa có xúc tác ở các nhiệt độ khác nhau

Với sự xuất hiện của các phản ứng (1), (2), (3), (4), (5), lượng CO, CH_4, H_2 được hình thành tăng vọt, lượng tar giảm đáng kể.

Hình 6. Bình lọc syngas khi có và không có xúc tác



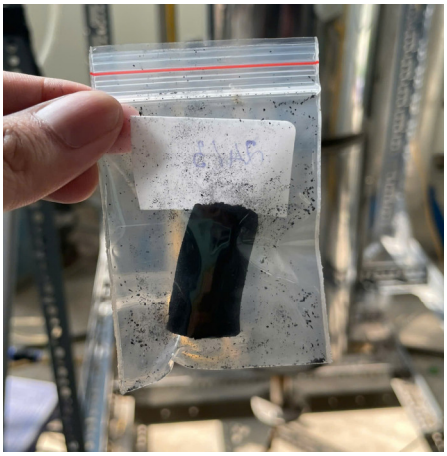
Hình 7. Tổng sản lượng khí sản phẩm ở các nhiệt độ khác nhau

Hình 6 là hình ảnh của 2 bộ lọc khí syngas. Bình phía trái là bình lọc syngas khi khí hóa lõi ngô mà có xúc tác nickel/char, còn bình phía phải là có xúc tác nickel/char. Từ hình ảnh trên có thể thấy rằng, lượng tar trong syngas khi dùng xúc tác nickel/char là rất ít.

Hình 7 thể hiện kết quả tổng sản lượng khí sản phẩm khi khí hóa ở điều kiện nhiệt độ khác nhau. Khi không có xúc tác, sản lượng của syngas chỉ là 9,39mmol/gC, trong khi có xúc tác ở nhiệt độ 650°C, tổng sản lượng syngas là 50,39mmol/g C . Như vậy tổng lượng khí sản phẩm khi khí hóa có xúc tác nickel/char gấp hơn 5 lần so với không dùng xúc tác.

3.4. Đặc tính của char

Sau khi khí hóa, chất rắn còn lại ở khay phía trên (phần còn lại của sinh khối sau khí hóa) được gọi là than hoặc char hoặc than hoạt tính (hình 8). Thành phần chủ yếu còn lại trong char là carbon (> 90%). Ngoài ra còn có 1 số kim loại khác, thành phần của nó phụ thuộc vào loại sinh khối.



Hình 8. Than hoạt tính (char) của lõi ngô

Ba mẫu char sau khí hóa ở nhiệt độ 600 °C được dùng để xác định diện tích bề mặt và thể tích lỗ rỗng. Phép đo được thực hiện trên máy phân tích Micrometris ASAP 2060. Kết quả đo được cho trong bảng 3.

Bảng 3. Diện tích bề mặt và thể tích lỗ rỗng của mẫu than hoạt tính của lõi ngô

Tên mẫu	Tổng diện tích bề mặt, ($m^2.g^{-1}$)	Thể tích lỗ rỗng, $m^3.g^{-1}$
Mẫu 1	561	0,28
Mẫu 2	542	0,3
Mẫu 3	575	0,32

Bảng 3 cho thấy, diện tích bề mặt và thể tích lỗ rỗng của char sau khí hóa là khá ổn định. Giá trị diện tích bề mặt là 542 - 575$m^2.g^{-1}$. Để có thể làm được than hoạt tính

hay không phải thực hiện nhiều phép đo như: khả năng hấp phụ CO_2, xác định kích thước của các lỗ rỗng… Tuy nhiên với diện tích bề mặt là > 500m^2.g^{-1}, tổng thể tích của các lỗ rỗng khá lớn thì đủ điều kiện để được sử dụng làm than hoạt tính dùng trong công nghiệp [21].

4. KẾT LUẬN

Bài báo này nghiên cứu nâng cao chất lượng sản phẩm khí khi khí hóa lõi ngô ở nhiệt độ thấp bằng phương pháp dùng xúc tác nickel/char và hơi nước, trong môi trường khí trơ nitrogen. Kết quả thu được như sau:

- So với không dùng xúc tác, lượng H_2 tăng 15 lần và CO tăng 6 lần, giảm đáng kể lượng tar có trong khí syngas. Cụ thể, khi không có xúc tác, lượng của H_2 và CO lần lượt là 1,7 và 1,99mmol/g C. Còn khi sử dụng chất xúc tác ở nhiệt độ 650°C, giá trị này lần lượt là 26,67 và 12,81mmol/g C.

- Tổng sản lượng syngas tăng gấp hơn 5 lần so với không dùng xúc tác. Cụ thể, khi không có xúc tác, tổng sản lượng của syngas chỉ là 9,39mmol/gC. Khi có xúc tác, giá trị này đạt 50,39mmol/g.

- Chất rắn còn lại (char) có diện tích bề mặt và độ rỗng xốp khá lớn 542-575m^2.g^{-1}. Hoàn toàn có thể được sử dụng để làm than hoạt tính.

Các kết luận trên làm cơ sở cho những nghiên cứu tiếp theo để lựa chọn tăng lượng khí H_2, có thể chuyển hóa hoàn toàn tar sang sản phẩm khí cũng như xây dựng công nghệ hoàn chỉnh khí hóa cho lõi ngô và một số loại sinh khối khác.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải (ĐH GTVT) trong đề tài mã số T2026-CK-007

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. https://www.fas.usda.gov/data/production?commodity=cotton&commodity=corn.

[2]. https://www.nso.gov.vn/px-web-2/?pxid=V0627&theme=N%C3%B4ng%2C%20l%C3%A2m%20nghi%E1%BB%87p%20v%C3%A0%20th%E1%BB%A7y%20s%E1%BA%A3n.

[3]. W. E. Oliveira, A. S. Franca, L. S. Oliveira, S. D. Rocha, "Untreated coffee husks as biosorbents for the removal of heavy metals from aqueous solutions," *J. Hazard. Mater.*, 152, 3, 2008. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.07.085.

[4]. L. Wilson, G. R. John, C. F. Mhilu, W. Yang, W. Blasiak, "Coffee husks gasification using high temperature air/steam agent," *Fuel Process. Technol.*, 91, 10, 2010. doi: 10.1016/j.fuproc.2010.05.003.

[5]. V. S. Sikarwar, M. Zhao, P. S. Fennell, N. Shah, E. J. Anthony, "Progress in biofuel production from gasification," *Prog. Energy Combust. Sci.*, 61, 2017. doi: 10.1016/j.pecs.2017.04.001.

[6]. N. Couto, A. Rouboa, V. Silva, E. Monteiro, K. Bouziane, "Influence of the Biomass Gasification Processes on the Final Composition of Syngas," *Energy Procedia*, 36, 2013. doi: 10.1016/j.egypro.2013.07.068.

[7]. L. V. Martínez, J. E. Rubiano, M. Figueredo, M. F. Gómez, "Experimental study on the performance of gasification of corncobs in a downdraft fixed bed gasifier at various conditions," *Renew. Energy*, 148, 1216-1226, 2020. doi: 10.1016/j.renene.2019.10.034.

[8]. S. Ning, S. Jia, H. Ying, Y. Sun, W. Xu, H. Yin, "Hydrogen-rich syngas produced by catalytic steam gasification of corncob char," *Biomass and Bioenergy*, 117, 131-136, 2018. doi: 10.1016/j.biombioe.2018.07.003.

[9]. N. T. H. Nguyen, N. L. T. T. Ngo, "Investigational analysis of torrefied corncob and its application in the production of coal-like fuel," *Sci. Technol. Dev. J. - Eng. Technol.*, 2023. doi: 10.32508/stdjet.v6iSI6.1101.

[10]. J. L. de Oliveira, J. N. da Silva, M. A. Martins, E. G. Pereira, M. da Conceição Trindade Bezerra e Oliveira, "Gasification of waste from coffee and eucalyptus production as an alternative source of bioenergy in Brazil," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, 27, 159-166, 2018. doi: 10.1016/j.seta.2018.04.005.

[11]. A. Raheem, M. Zhao, W. Dastyar, A. Q. Channa, G. Ji, Y. Zhang, "Parametric gasification process of sugarcane bagasse for syngas production," *Int. J. Hydrogen Energy*, 44, 31, 16234-16247, 2019. doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.04.127.

[12]. N. Van Hung, et al., "Rice Straw Overview: Availability, Properties, and Management Practices," in *Sustainable Rice Straw Management*, Cham: Springer International Publishing, 1-13, 2019.

[13]. L. Duc, K. Morishita, T. Takar, "Catalytic Decomposition of Biomass Tars at Low-Temperature," in *Biomass Now - Sustainable Growth and Use*, InTech, 2013.

[14]. Y. Chai, N. Gao, M. Wang, C. Wu, "H2 production from co-pyrolysis/gasification of waste plastics and biomass under novel catalyst Ni-CaO-C," *Chem. Eng. J.*, 382, 122947, 2020. doi: 10.1016/j.cej.2019.122947.

[15]. A. Tomita, Y. Ohtsuka, Y. Tamai, "Low temperature gasification of brown coals catalysed by nickel," *Fuel*, 62, 2, 150-154, 1983. doi: 10.1016/0016-2361(83)90187-4.

[16]. R. Muthu Dineshkumar, K. M. Meera Sheriffa Begum, A. Ramanathan, "Comprehensive characterization of cashew nutshell for biomass gasification," *Mater. Today Proc.*, 46, 9837-9843, 2021. doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.932.

[17]. N. Tippayawong, C. Chaichana, A. Promwangkwa, P. Rerkkriangkrai, "Gasification of cashew nut shells for thermal application in local food processing factory," *Energy Sustain. Dev.*, 15, 1, 2011. doi: 10.1016/j.esd.2010.10.001.

[18]. X. Xiao, et al., "Catalytic steam gasification of biomass in fluidized bed at low temperature: Conversion from livestock manure compost to hydrogen-rich syngas," *Biomass and Bioenergy*, 34, 10, 1505-1512, 2010. doi: 10.1016/j.biombioe.2010.05.001.

[19]. C. Phuhiran, T. Takarada, S. Chaiklangmuang, "Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of eucalyptus using nickel-loaded Thai brown

coal char catalyst," *Int. J. Hydrogen Energy*, 39, 8, 3649-3656, 2014. doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.12.155.

[20]. J. A. Ruiz, M. C. Juárez, M. P. Morales, P. Muñoz, M. A. Mendívil, "Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 18, 174-183, 2013. doi: 10.1016/j.rser.2012.10.021.

[21]. J. Saleem, U. Bin Shahid, M. Hijab, H. Mackey, G. McKay, "Production and applications of activated carbons as adsorbents from olive stones," *Biomass Convers. Biorefinery*, 9, 4, 775-802, 2019. doi: 10.1007/s13399-019-00473-7.

AUTHOR INFORMATION

Tran Van Bay

Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications, Vietnam