



NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH MỘT SỐ THÔNG SỐ CỦA VIÊN NÉN NĂNG LƯỢNG SẢN XUẤT TỪ CÂY LỤC BÌNH

Võ Công Anh*, Phạm Việt Hùng, Đỗ Thanh Tiến, Trần Đức Hạnh, Khuong Anh Sơn,
Nguyễn Văn Phi

Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

Tóm tắt. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu xác định một số thông số cơ bản của viên nén năng lượng sản xuất từ cây lục bình như: Mật độ khối, độ bền cơ học, độ ẩm toàn phần, hàm lượng tro, hàm lượng chất bốc, hàm lượng carbon cố định và nhiệt trị cao. Phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng (TGA) được sử dụng để phân tích đặc tính cháy và phương pháp kính hiển vi điện tử quét (SEM) được dùng để quan sát ảnh hình thái cấu trúc của viên nén năng lượng từ cây lục bình. Ảnh hưởng của hai thông số là áp suất nén và kích cỡ nguyên liệu đến mật độ khối của viên nén năng lượng cũng được đánh giá. Kết quả chỉ ra rằng hầu hết các chỉ tiêu của viên nén năng lượng sản xuất từ lục bình đáp ứng được TCVN 13534:2022 về viên nén nhiên liệu. Áp suất nén khoảng 150 MPa và kích cỡ nguyên liệu nhỏ hơn 2 mm là phù hợp cho quá trình nén ép tạo viên nén năng lượng. Giảm đồ phân tích nhiệt trọng trường (TG) và phân tích nhiệt trọng trường đạo hàm (DTG) cho thấy viên nén năng lượng từ cây lục bình có tiềm năng làm nhiên liệu sinh học hiệu quả nhờ khả năng phân hủy nhiệt nhanh. Các kết quả từ nghiên cứu này cho thấy rằng việc sử dụng cây lục bình làm nguyên liệu để sản xuất viên nén năng lượng là khả thi và có cơ sở.

Từ khóa: cây lục bình, viên nén năng lượng, tính chất viên nén, giá trị nhiệt, lò đốt

Determination of some parameters of biomass fuel pellets from water hyacinth

Vo Cong Anh*, Pham Viet Hung, Do Thanh Tien, Tran Duc Hanh, Khuong Anh Son,
Nguyen Van Phi

University of Agriculture and Forestry, Hue University, Hue, Vietnam

Abstract. This study presents the results of an investigation into the basic parameters of water hyacinth pellets, including bulk density, mechanical strength, total moisture content, ash content, volatile matter content, fixed carbon content, and calorific value. Thermogravimetric Analysis (TGA) was employed to examine the combustion characteristics, while Scanning Electron Microscopy (SEM) was used to analyze the morphological structure of the water hyacinth pellets. The influence of two important parameters-compression pressure and raw material particle size-on the bulk density of water hyacinth pellets was also evaluated. The

* Liên hệ: voconganh@hueuni.edu.vn

results indicated that most of the parameters of water hyacinth pellets meet the requirements of the TCVN 13534:2022 standard for fuel pellets. An optimal compression pressure of approximately 150 MPa and raw material size smaller than 2 mm were found to be suitable for the pelletizing process. The TG and DTG analysis revealed that water hyacinth pellets have promising potential as an efficient biofuel with rapid thermal decomposition characteristics. These results provided a strong basis for the viability of using water hyacinth as a raw material for energy pellet production.

Keywords: water hyacinth, biomass pellet, incinerator

1 Giới thiệu

Cây lục bình (tên khoa học là *Eichhornia crassipes*), hay còn gọi là bèo tây, sinh trưởng và lan tràn nhanh đang gây ra nhiều vấn đề nghiêm trọng tại Việt Nam cũng như nhiều quốc gia có khí hậu nhiệt đới. Cây lục bình phát triển dày đặc tại các sông, kênh, rạch làm gây cản trở giao thông, tắc nghẽn kênh mương, ô nhiễm nguồn nước và gây mất mỹ quan đô thị. Do đó, nhiều biện pháp để loại bỏ cây lục bình đã được đề xuất như trực vớt bằng tay, dùng các máy chuyên dụng, xử lý bằng phương pháp sinh học,... Tuy nhiên, các biện pháp này đều đòi hỏi công sức và kinh phí lớn để xử lý cây lục bình. Bên cạnh đó, cây lục bình còn được tận dụng để sản xuất sản phẩm thủ công mỹ nghệ và ủ phân vi sinh,... Tuy nhiên, để làm sản phẩm thủ công thì chỉ sử dụng các thân cây lục bình có kích thước từ 60 – 90 cm, còn rễ và lá vẫn phải thải loại nên gây khó khăn cho việc xử lý phần còn lại này. Đồng thời, việc ủ phân vi sinh từ lục bình đòi hỏi thời gian ủ lâu và tốn nhiều diện tích nên khó có thể xử lý được lượng lớn cây lục bình [1].

Trong thời gian gần đây, cây lục bình cũng đã được ứng dụng ở một số nơi để làm nguyên liệu sản xuất khí biogas. Ở một số tỉnh như Tây Ninh, Hậu Giang, Long An,... cây lục bình được dùng làm nguyên liệu 100% hoặc phối trộn chất thải từ chăn nuôi cho công nghệ ủ hầm biogas nhằm tạo ra sản phẩm khí để sử dụng trong sinh hoạt. Một số nghiên cứu đã được tiến hành để đánh giá ảnh hưởng của các phương pháp tiền xử lý [2] và tỷ lệ phối trộn rơm và cây lục bình [3] lên khả năng sinh khí biogas. Tuy nhiên, khí biogas tạo ra chỉ sử dụng được trong sinh hoạt tại các gia đình xây hầm biogas và không thể vận chuyển đi xa. Hơn nữa, tính không ổn định của khí biogas cũng ảnh hưởng đến quá trình sử dụng. Đây là một hạn chế trong việc sử dụng khí biogas tạo ra từ ủ cây lục bình.

Bên cạnh đó, gần đây cây lục bình được chú ý như một nguồn sinh khối thay thế để sản xuất năng lượng do hàm lượng carbon cao (33,1–46,5%), hàm lượng hydro (4,4–6,6%) và giá trị nhiệt lượng cao (13,1–18,4 MJ/kg) [4]. Một số nghiên cứu tập trung vào việc ứng dụng cây lục bình để sản xuất khí sinh học và cồn sinh học thông qua quá trình phân hủy kỵ khí. Tuy nhiên, kết quả chỉ ra rằng chi phí khí sinh học được tạo ra từ cây lục bình cao hơn 1,9 lần so với chi phí từ than [5, 6]. Đồng thời, nghiên cứu sử dụng cây lục bình để làm nguyên liệu sản xuất nhiên liệu dạng rắn để cung cấp cho các lò đốt công nghiệp hoặc cung cấp nguồn chất đốt tại chỗ cũng đang được quan tâm nghiên cứu [7, 8].

Hiện nay, công nghệ chuyển đổi nhiệt hóa, bao gồm nhiệt phân và khí hóa, đang được quan tâm trong việc chuyển đổi sinh khối gỗ, bùn thải và phân động vật thành sản phẩm khí cháy để cung cấp cho các hệ thống phát điện sử dụng động cơ đốt trong. Các hệ thống khí hóa này thường sử dụng nguyên liệu với kích thước nhỏ như viên nén năng lượng để dễ tự động hóa quá trình cấp nguyên liệu. Do hàm lượng chất gỗ của cây lục bình thấp nên sẽ tạo ra ít giấm gỗ trong quá trình khí hóa nên được xem là một nguồn sinh khối tiềm năng để sản xuất viên nén năng lượng [9]. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng cây lục bình có thể là cơ hội để thúc đẩy nền kinh tế địa phương [10, 11]. Vì vậy, việc ứng dụng viên nén năng lượng cho các lò khí hóa loại nhỏ sử dụng trong sinh hoạt hằng ngày sẽ thuận tiện và chủ động hơn. Đồng thời, viên nén năng lượng cũng là nguồn cung cấp chất đốt tiềm năng cho các cơ sở sản xuất và chế biến nhỏ tại các địa phương.

Việc ứng dụng cây lục bình để sản xuất nhiên liệu rắn đã bắt đầu được chú ý trên thế giới. Tuy nhiên, theo khảo sát của nhóm nghiên cứu thì đến nay ở Việt Nam vẫn chưa có nghiên cứu nào về sản xuất viên nén năng lượng từ cây lục bình được thực hiện. Bài báo này trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm về viên nén năng lượng từ cây lục bình.

2 Vật liệu và phương pháp

2.1 Vật liệu

Đối tượng nghiên cứu là cây lục bình gồm cả rễ, thân và lá được thu hoạch tại sông Ngự Hà, Thành phố Huế. Cây lục bình tươi sau khi vớt được loại bỏ rác, đóng bao, vận chuyển về phòng thí nghiệm và băm nhỏ thành các đoạn có chiều dài từ 3 – 5 cm. Lục bình băm nhỏ được phơi nắng từ 2 đến 3 ngày để giảm độ ẩm ban đầu 90% xuống còn khoảng 30%. Sau đó, lục bình được sấy bằng thiết bị sấy ở nhiệt độ 80°C đến khi đạt độ ẩm $12 \pm 2\%$ và được nghiền mịn để đạt kích thước hạt phù hợp là nhỏ hơn 5 mm. Bột cây lục bình sau khi nghiền mịn được chuyển qua công đoạn nén tạo viên bằng máy ép thủy lực có đồng hồ đo lực ép và khuôn ép (Hình 1). Trong quá trình này không sử dụng thêm phụ gia kết dính mà do dưới tác dụng của lực ép sẽ làm nhiệt độ và áp suất tăng cao giúp thành phần lignin có trong cây lục bình bị nóng chảy ra tạo sự kết dính. Viên nén năng lượng từ cây lục bình sau khi ép viên được đựng trong các túi nilon dán miệng kín khí để bảo quản và dùng để tiến hành các phân tích.

Quá trình tạo viên nén năng lượng từ cây lục bình trong nghiên cứu này được thực hiện theo các công đoạn chính như sau:

Cây lục bình tươi → Băm nhỏ (3-5 cm) → Phơi khô tự nhiên (2-3 ngày) → Sấy (80°C, 1 giờ) → Nghiền mịn (< 5mm) → Ép tạo viên → Đóng bao bảo quản.

Để phân loại kích thước của nguyên liệu, 120g lục bình sau khi nghiền mịn được đặt vào một bộ sàng xếp theo thứ tự kích thước giảm dần. Các kích cỡ sàng được sử dụng trong nghiên

cứu này là 2,0 mm, 1,0 mm và 0,5mm với thời gian sàng là 10 phút. Lọc bình nghiền mịn sau khi sàng phân loại kích thước được thể hiện ở Hình 2. Hình dạng viên nén năng lượng từ cây lục bình sau quá trình nén ép được thể hiện trong Hình 3.



a) Máy ép thủy lực



b) Khuôn ép tạo viên nén

Hình 1. Máy ép thủy lực và khuôn ép tạo viên nén**Hình 2.** Lọc bình nghiền mịn được phân loại với kích thước 0,5 mm, 1,0 mm và 2,0 mm**Hình 3.** Viên nén năng lượng từ cây lục bình

2.2 Phương pháp xác định các thông số

Xác định độ ẩm toàn phần

Nguyên lý của phương pháp: Dùng nhiệt để làm bay hơi nước có trong mẫu. Từ chênh lệch khối lượng mẫu trước và sau khi sấy, tính được độ ẩm của mẫu.

Sấy mẫu ở 105°C đến khối lượng không đổi, khi đó lượng nước tự do có trong mẫu sẽ bốc hơi hết mà không làm mất các chất dễ bay hơi khác có thể có trong mẫu. Trong nghiên cứu này, thời gian sấy mẫu khoảng 2 giờ.

Công thức tính độ ẩm của mẫu viên nén năng lượng (W):

$$W = ((M_1 - M_2)/M_1) \times 100 \quad (1)$$

Trong đó: M_1 là khối lượng mẫu trước khi sấy (g); M_2 là khối lượng mẫu sau khi sấy (g); W là độ ẩm của mẫu viên nén năng lượng (%).

Máy sấy và cân định lượng sử dụng để xác định độ ẩm của vật liệu trong nghiên cứu này được thể hiện ở Hình 4.



a) Tủ sấy



b) Cân định lượng với độ chính xác 0,001g

Hình 4. Thiết bị dùng để xác định độ ẩm của vật liệu

Xác định mật độ khối (khối lượng riêng)

Thí nghiệm mật độ khối là một phương pháp xác định khối lượng của viên nén năng lượng trong một đơn vị thể tích nhất định.

Mật độ khối của mẫu viên nén năng lượng được xác định theo công thức sau:

$$\text{Rho} = m/V \quad (2)$$

trong đó: m là khối lượng của mẫu (g); V là thể tích của mẫu (cm^3); Rho là khối lượng riêng của mẫu viên nén năng lượng (g/cm^3).

Xác định hàm lượng tro

Nguyên lý của phương pháp: Tro là phần còn lại của mẫu viên nén năng lượng sau khi đã đốt cháy hoàn toàn phần hữu cơ có trong thành phần của mẫu. Mẫu được đốt trong lò nung không khí ở nhiệt độ $815 \pm 15^\circ\text{C}$ và duy trì ở nhiệt độ này cho đến khi khối lượng không thay đổi. Thời gian nung mẫu kéo dài khoảng 3 giờ. Hình ảnh của lò nung được mô tả ở Hình 5.

**Hình 5.** Lò nung mẫu

Phần trăm của tro được tính dựa trên khối lượng còn lại sau khi đốt mẫu theo công thức:
Phần trăm của tro được tính dựa trên khối lượng còn lại sau khi đốt mẫu, theo công thức sau

$$A = ((G_2 - G) \times 100) / (G_1 - G) \quad (3)$$

trong đó: G: khối lượng chén (g); G₁: khối lượng chén và mẫu trước khi nung (g); G₂: khối lượng chén và mẫu sau khi nung (g).

Xác định hàm lượng chất bốc

Chất bốc là thành phần hữu cơ dễ bay hơi trong nguyên liệu. Khi nung nóng nguyên liệu trong điều kiện yếm khí ở nhiệt độ cao các thành phần không bền vững này sẽ bị phân hủy thoát ra ngoài dưới dạng khí hoặc hơi.

Nguyên lý của phương pháp: Đốt mẫu thử trong chén nung bằng sứ hay thạch anh đậy nắp kín, ở nhiệt độ 850 °C trong 7 phút và xác định lượng mất của mẫu thử do phần bay hơi bao gồm các chất bốc và nước, từ đó tính ra phần trăm chất bốc quy ước gọi là hàm lượng chất bốc theo công thức:

$$V^a = (G_1 * 100) / G - W \quad (4)$$

trong đó: G – khối lượng mẫu (g); G₁ – phần giảm khối lượng của mẫu sau khi nung (g); W – độ ẩm của mẫu (%).

Xác định hàm lượng carbon cố định

Hàm lượng cacbon cố định trong mẫu thử tính theo % bằng công thức:

$$C = 100 - (W + A + V^a) \quad (5)$$

trong đó: W – độ ẩm của mẫu (%); A – độ tro của mẫu (%); V^a – hàm lượng chất bốc của mẫu (%).

Xác định nhiệt trị

Nhiệt trị là thông số quan trọng nhất của viên nén năng lượng, dựa vào vào kết quả phân tích nhiệt trị ta sẽ tính toán được giá trị nhiệt trị cao (HHV) và giá trị nhiệt trị thấp (LHV) của mẫu viên nén năng lượng tạo ra từ cây lục bình, phối hợp với hàm ẩm của nhiên liệu ta sẽ xác định được lượng nhiệt cần thiết thực tế để chuyển nguyên liệu từ dạng khô sang dạng ướt và lượng nhiệt thực sự hữu ích của nhiên liệu (điều kiện làm việc của vật liệu đốt). Nhiệt trị được đo bằng thiết bị chuyên dụng tại các phòng thí nghiệm về vật liệu. Trong nghiên cứu này, chỉ tiêu nhiệt trị cao được đo bằng thiết bị PARR 6400 series tại Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 - 49 Pasteur, phường Sài Gòn, TP. Hồ Chí Minh.

Nguyên lý của phương pháp: Cân một lượng mẫu và đốt cháy với oxi trong bom nhiệt lượng ở 30atm. Trị số tỏa nhiệt toàn phần được tính do sự tăng nhiệt độ của nước trong bình đo

hiệu chỉnh nhiệt hóa và mất mát nhiệt từ nhiệt lượng kể vào bầu nước xung quanh. Giá trị thu được là nhiệt trị bom – đây là nhiệt trị cao (HHV).

Phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng (TGA) và phương pháp kính hiển vi điện tử quét (SEM)

Phân tích nhiệt trọng lượng được sử dụng để phân tích đặc tính cháy của viên nén năng lượng từ cây lục bình và được thực hiện trên máy Linseis TGA PT1600 (Đức) trong môi trường khí N_2 , từ nhiệt độ phòng đến $1000\text{ }^\circ\text{C}$ với tốc độ gia nhiệt $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{phút}$, khối lượng mẫu khoảng 25 mg .

Kính hiển vi điện tử quét (SEM) được sử dụng để quan sát hình thái và cấu trúc của viên nén năng lượng từ cây lục bình và được thực hiện trên thiết bị JEOL JEM-1400 (JEOL, Nhật Bản) với điện áp gia tốc 15 kV . Mẫu viên nén năng lượng sử dụng để phân tích TGA và chụp ảnh SEM được nén ép tạo viên với áp suất nén khoảng 150 MPa và kích cỡ nguyên liệu nhỏ hơn 2 mm .

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Một số thông số của viên nén năng lượng từ cây lục bình

Một số thông số của viên nén năng lượng sử dụng cây lục bình như: đường kính, chiều dài, mật độ khối, độ bền cơ học, độ ẩm toàn phần, hàm lượng tro, hàm lượng chất bốc, hàm lượng carbon cố định, nhiệt trị cao được trình bày ở Bảng 1.

Nhiệt trị cao là một thông số quan trọng phản ánh hiệu quả sử dụng năng lượng của viên nén. Kết quả phân tích mẫu viên nén năng lượng sản xuất từ cây lục bình ở Bảng 1 cho thấy rằng giá trị nhiệt trị cao gần như tương đương với một số loại viên nén năng lượng sản xuất từ phế phụ phẩm nông nghiệp. Giá trị nhiệt trị cao của viên nén năng lượng từ một số phế phụ phẩm nông nghiệp đã được nghiên cứu trước đó như sau: viên nén từ vỏ trấu: $12,6 - 14,6\text{ MJ/kg}$; viên nén từ rơm: $13,8 - 15,9\text{ MJ/kg}$; viên nén từ thân cây ngô: $14,6 - 16,8\text{ MJ/kg}$; viên nén từ bã mía: $12,6 - 15,9\text{ MJ/kg}$ [12]. Kết quả giá trị nhiệt lượng của viên nén năng lượng từ cây lục bình trong nghiên cứu này cũng có giá trị tương đương với công bố của T. Hudakorn and N. Sritrakul [13]. Bên cạnh đó, kết quả cho thấy rằng viên nén năng lượng có hàm lượng chất bốc khá cao, đạt khoảng 59% và hàm lượng cacbon cố định là tương đối thấp $13,7\%$. Hàm lượng chất bốc có ảnh hưởng rất lớn đến quá trình nhiệt phân, khí hóa và đốt sinh khối.

Kết quả ở Bảng 1 cho thấy rằng hầu hết các chỉ tiêu phân tích của viên nén năng lượng sản xuất từ cây lục bình đều đáp ứng các tiêu chuẩn TCVN 13534:2022 về viên nén nhiên liệu, ngoại trừ chỉ tiêu độ tro (ash) là cao hơn. Hàm lượng tro cao hơn mức thông thường, điều này có thể xuất phát từ lý do thành phần nguyên liệu như cây lục bình chứa nhiều tạp chất khoáng hoặc xơ cứng và nguyên liệu chưa được làm sạch kỹ lưỡng trước khi nén, dẫn đến sự hiện diện các tạp

chất khác. Kết quả hàm lượng tro của viên nén năng lượng sản xuất từ cây lục bình trong nghiên cứu này cũng tương đương với giá trị hàm lượng tro trong công bố của K. Munjeri và cộng sự [14]. Hàm lượng tro cao yêu cầu phải thường xuyên vệ sinh và bảo trì lò để tránh tắc nghẽn đối với các hệ thống lò đốt lớn. Tuy nhiên, viên nén sản xuất từ cây lục bình được nghiên cứu phù hợp với các cơ sở sản xuất vừa và nhỏ tại địa phương với các lò đốt cỡ nhỏ. Các lò này được thiết kế với hệ thống thoát tro hiệu quả và vệ sinh thường xuyên nên có thể sử dụng các viên nén năng lượng có hàm lượng tro tương đối cao.

Bảng 1. Một số kết quả phân tích viên nén năng lượng sử dụng cây lục bình

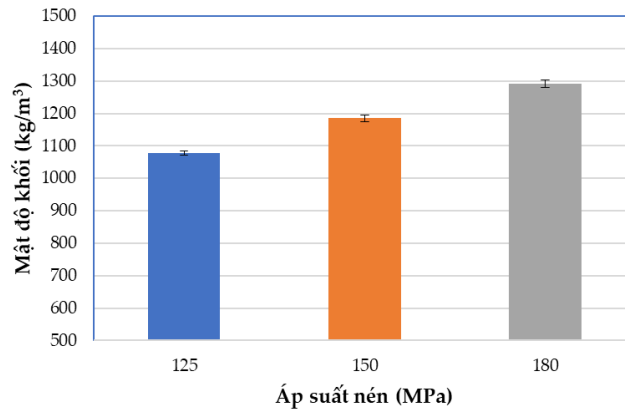
| STT | Tên chỉ tiêu | Đơn vị tính | Kết quả thử nghiệm | TCVN 13534:2022 về viên nén nhiên liệu |
|-----|--------------------------|-------------------|--------------------|--|
| 1 | Đường kính | mm | 10±0,34 | 10±1,0 |
| 2 | Chiều dài | mm | 30±1,2 | 3,15 < L ≤ 40 |
| 3 | Mật độ khối | kg/m ³ | 1186±10,1 | > 800 kg/m ³ |
| 4 | Độ bền cơ học | % | 96±0,53 | ≥ 95,0 % |
| 5 | Độ ẩm toàn phần | % | 13,3±0,28 | ≤ 15% |
| 6 | Hàm lượng tro | % | 14,0±0,84 | ≤ 10,0% |
| 7 | Hàm lượng chất bốc | % | 59,0±1,62 | - |
| 8 | Hàm lượng carbon cố định | % | 13,7±0,37 | - |
| 9 | Nhiệt lượng tổng | MJ/kg | 13,9±0,20 | - |
| 10 | Hàm lượng cacbon (C) | % | 33,5±0,86 | - |
| 11 | Hàm lượng hydro (H) | % | 4,64±0,27 | - |
| 12 | Hàm lượng nitơ (N) | % | 1,04±0,15 | - |

Ghi chú: Kết quả thử nghiệm là giá trị trung bình của 3 mẫu đo

3.2 Ảnh hưởng của áp suất nén đến mật độ khối của viên nén năng lượng

Mật độ khối của viên nén năng lượng là một chỉ số quan trọng để đánh giá tính chất vật lý của viên nén, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất vận chuyển, lưu trữ và đốt cháy của sản phẩm. Mật độ khối là đại lượng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: loại nguyên liệu, độ ẩm của nguyên liệu, áp suất nén và kích thước của nguyên liệu. Trong đó hai thông số của quá trình sản xuất là áp suất nén và kích thước của nguyên liệu có ảnh hưởng đáng kể đến mật độ khối của viên nén

[15]. Hình 6 trình bày kết quả ảnh hưởng của áp suất ép viên đến mật độ khối của viên nén năng lượng từ cây lục bình.



Hình 6. Ảnh hưởng của áp suất ép viên đến mật độ khối của viên nén năng lượng

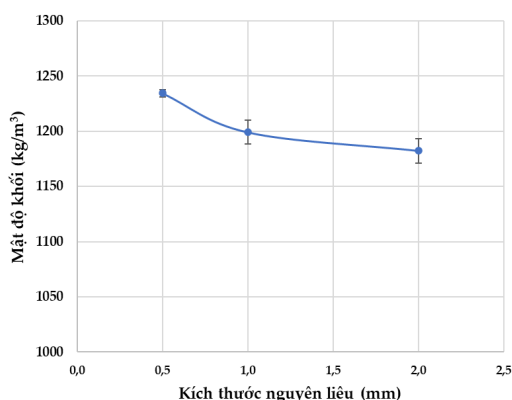
Kết quả chỉ ra rằng mật độ khối tăng tỷ lệ thuận với áp suất nén tạo viên. Khi áp suất nén tăng lên thì các hạt nguyên liệu được nén chặt hơn, làm giảm khoảng trống giữa các hạt và tăng mật độ vật liệu. Điều này giúp viên nén có độ bền cơ học cao hơn và cải thiện hiệu suất vận chuyển. Giá trị mật độ khối của viên nén năng lượng từ cây lục bình tăng từ $1078 \pm 6,3 \text{ kg/m}^3$ lên $1291 \pm 10,2 \text{ kg/m}^3$, tương ứng với áp suất nén tăng từ 125 MPa lên 180 MPa. Các giá trị mật độ khối này đều cao hơn so với tiêu chuẩn quốc gia TCVN 13534:2022 về viên nén nhiên liệu và yêu cầu về chất lượng nhiên liệu sinh học theo tiêu chuẩn ISO 17828. Viên nén có mật độ khối cao sẽ cháy hiệu quả hơn, đốt ổn định và thuận tiện cho việc bảo quản, vận chuyển nhờ giảm thể tích chiếm chỗ..

Mặc dù viên nén năng lượng đạt mật độ khối $1078 \pm 6,3 \text{ kg/m}^3$ với áp suất nén là 125 MPa đáp ứng tiêu chuẩn nhưng độ bền cơ học nhỏ hơn 95% nên dễ vỡ trong quá trình vận chuyển hoặc sử dụng. Điều này có thể dẫn đến tổn thất vật liệu và ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm khi sử dụng thực tế. Với áp suất nén 180 MPa thì mật độ khối của viên nén đạt được là $1291 \pm 10,2 \text{ kg/m}^3$, đảm bảo độ nén chắc và độ bền cơ học cao. Tuy nhiên, áp suất nén cao hơn sẽ tăng chi phí năng lượng trong sản xuất. Viên nén đạt mật độ khối $1186 \pm 10,1 \text{ kg/m}^3$ với áp suất nén là 150 MPa, đủ chắc chắn để đảm bảo chất lượng vận chuyển và sử dụng thực tế và độ bền cơ học cũng cao hơn 95%, đáp ứng được tiêu chuẩn quốc gia TCVN 13534:2022 về viên nén nhiên liệu. Đồng thời, áp suất nén này tiêu tốn năng lượng ở mức vừa phải, giúp tối ưu hóa chi phí sản xuất.

3.3 Ảnh hưởng của kích thước nguyên liệu đến mật độ khối của viên nén năng lượng

Kích thước nguyên liệu là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến quá trình nén và chất lượng của viên nén năng lượng, trong đó có mật độ khối [16]. Hình 7 trình bày ảnh hưởng của kích thước nguyên liệu đến mật độ khối của viên nén năng lượng

Kết quả từ Hình 7 cho thấy rằng mật độ khối của viên nén năng lượng sản xuất từ cây lục bình tăng từ $1186 \pm 10,1 \text{ kg/m}^3$ lên $1199 \pm 10,6 \text{ kg/m}^3$ và $1235 \pm 5,4 \text{ kg/m}^3$, tương ứng với kích thước nguyên liệu giảm từ 2 mm xuống 1 mm và 0,5 mm. Mức tăng này là tương đối nhỏ, tương ứng với 1,4% và 2,9%. Mật độ khối tăng khi kích thước nguyên liệu giảm, do nguyên liệu nhỏ và đồng đều, tạo ra bề mặt tiếp xúc lớn hơn giữa các hạt và ít lỗ hổng hơn, giúp chúng liên kết chặt chẽ khi nén. Mặc dù, mật độ khối của viên nén tăng lên sẽ giúp cải thiện độ bền cơ học của viên nén và hiệu suất đốt cháy cao hơn, cháy đều và ổn định. Tuy nhiên, để có được nguyên liệu kích thước nhỏ thì cần phải tiêu tốn thêm năng lượng cho quá trình nghiền nên tăng chi phí sản xuất. Kết quả nghiên cứu đạt được đã cho thấy rằng ảnh hưởng của kích cỡ nguyên liệu đến mật độ khối là khá nhỏ. Mặt khác, khi kích thước nguyên liệu lớn sẽ làm giảm khả năng liên kết giữa các hạt, dẫn đến viên nén có mật độ khối thấp hơn và độ bền cơ học kém hơn. Trong nghiên cứu này, khi tiến hành thử nghiệm ép viên nén với kích thước nguyên liệu lớn hơn 2 mm thì sản phẩm viên nén tạo thành không đủ độ bền cơ học, dễ bị gãy và vỡ vụn. Do đó, kích thước nguyên liệu phù hợp cho quá trình sản xuất viên nén từ cây lục bình là nhỏ hơn hoặc bằng 2 mm.

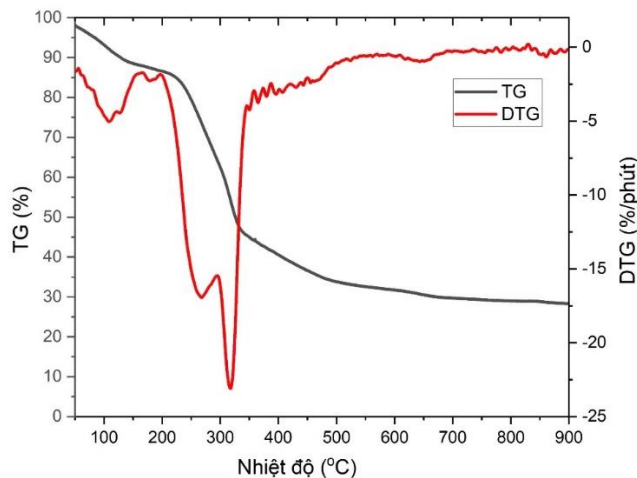


Hình 7. Ảnh hưởng của kích thước nguyên liệu đến mật độ khối của viên nén năng lượng

3.4 Kết quả phân tích nhiệt trọng lượng (TGA)

Đường cong TG (Thermogravimetric) và DTG (Derivative Thermogravimetric) đặc trưng cho quá trình đốt cháy viên nén năng lượng từ cây lục bình được thể hiện trong Hình 8. Kết quả từ đồ thị TG và DTG cho thấy sự phân hủy đặc trưng của các hợp chất hữu cơ trong viên nén năng lượng từ cây lục bình, với các giai đoạn phân hủy chính xảy ra trong phạm vi nhiệt độ từ 100°C đến 600°C. Giai đoạn bay hơi ẩm xảy ra ở nhiệt độ dưới 200°C. Trong giai đoạn đầu, sự giảm trọng lượng nhẹ phản ánh sự bay hơi của nước tự do có trong cấu trúc tế bào của cây lục bình. Giai đoạn này cho thấy sự hiện diện của một lượng nước đáng kể trong viên nén năng lượng. Giai đoạn kế tiếp là giai đoạn phân hủy sinh học chính xảy ra trong khoảng nhiệt độ từ 200°C đến 400°C. Sự giảm trọng lượng nhanh chóng xảy ra trong khoảng này, chủ yếu do sự phân hủy của cellulose và hemicellulose. Đồ thị DTG thể hiện đỉnh phân hủy nhiệt mạnh mẽ tại nhiệt độ khoảng 320°C, tương ứng với tốc độ phân hủy nhanh nhất của các hợp chất hữu cơ trong

mẫu. Đây là giai đoạn tạo ra năng lượng chính trong quá trình đốt cháy viên nén. Giai đoạn phân hủy lignin ở vùng nhiệt độ trong khoảng từ 400°C đến 600°C. Sau khi cellulose và hemicellulose đã phân hủy gần hết, lignin bắt đầu phân hủy chậm hơn, thể hiện qua sự giảm tốc độ phân hủy trong đồ thị DTG. Mặc dù giai đoạn này có sự phân hủy của lignin, nhưng quá trình phân hủy diễn ra chậm hơn so với giai đoạn trước. Cuối cùng là giai đoạn ổn định ở vùng nhiệt độ 700 ÷ 900°C. Trọng lượng của mẫu ổn định sau 700°C, khi phần lớn các hợp chất hữu cơ đã bị phân hủy, chỉ còn lại các khoáng chất vô cơ (tro). Kết quả phân tích TGA của viên nén năng lượng từ cây lục bình có đặc điểm phân hủy nhiệt khá tương tự với các nghiên cứu về viên nén năng lượng từ các nguồn nguyên liệu sinh học khác, như rơm, vỏ trấu, cỏ lau và mùn cưa. Sự phân hủy của cellulose và hemicellulose diễn ra mạnh mẽ trong khoảng 200°C - 400°C, với một đỉnh phân hủy rõ ràng tại nhiệt độ trong khoảng 300 ÷ 320°C [17, 18]. Tuy nhiên, viên nén từ cây lục bình có tỷ lệ phân hủy nhanh hơn ở giai đoạn đầu, điều này có thể do cấu trúc hóa học đặc biệt của các hợp chất hữu cơ trong cây lục bình.

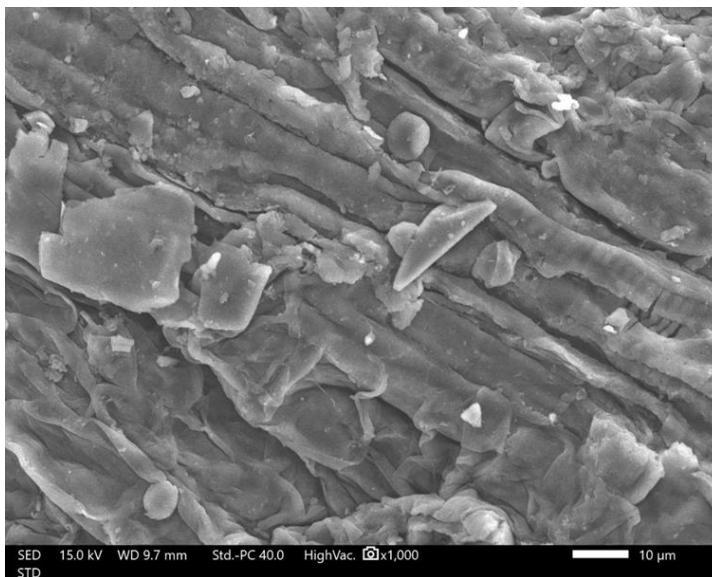


Hình 8. Kết quả phân tích TGA của mẫu viên nén năng lượng từ cây lục bình.

3.5 Phân tích ảnh SEM của mẫu viên nén năng lượng

Kết quả chụp kính hiển vi điện tử quét (SEM) của mẫu viên nén năng lượng từ cây lục bình được thể hiện ở Hình 9. Hình ảnh SEM cho thấy xuất hiện nổi bật trong ảnh là các bó sợi dạng dài, mảnh, xếp tương đối song song, tạo thành cấu trúc nền vững chắc và được liên kết khá chặt chẽ. Điều này chứng tỏ quá trình nén dưới áp suất cao đã tạo ra mức độ kết dính nhất định giữa các phân tử lignin và cellulose, giúp tăng độ bền cơ học của viên nén. Đồng thời, hình ảnh SEM thể hiện bề mặt viên nén năng lượng có tính gồ ghề, xuất hiện các vết nứt vi mô và các mảnh nhỏ tách rời. Đây là kết quả của quá trình nén ép dưới áp suất cao và sự mất nước trong quá trình tạo viên. Tuy nhiên, những đặc điểm này cũng giúp tăng diện tích bề mặt tiếp xúc, có thể hỗ trợ quá trình đốt cháy. Một số hạt dạng tinh thể nhỏ xuất hiện rải rác trên bề mặt, có thể là khoáng chất hoặc tạp chất còn sót lại sau quá trình chuẩn bị nguyên liệu. Điều này phù hợp với đặc điểm sinh

học của cây lục bình, một loài có khả năng hấp thụ khoáng chất từ nước ao hồ. Những thành phần này sẽ ảnh hưởng đến quá trình đốt cháy (tạo tro) và có thể làm thay đổi nhiệt trị của viên nén. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu viên nén năng lượng từ các loại nguyên liệu sinh học khác như rơm, vỏ trấu [19, 20].



Hình 9. Hình ảnh chụp SEM của mẫu viên nén năng lượng từ cây lục bình

4 Kết luận

Nghiên cứu đã xác định được một số thông số cơ bản của viên nén năng lượng sản xuất từ cây lục bình như mật độ khối: $1186 \pm 10,1 \text{ kg/m}^3$, độ bền cơ học: $96 \pm 0,53\%$, độ ẩm toàn phần: $13,3 \pm 0,28\%$, hàm lượng tro: $14,0 \pm 0,84\%$, hàm lượng chất bốc: $59,0 \pm 1,62\%$, hàm lượng carbon cố định: $13,7 \pm 0,37\%$. Các kết quả này hầu hết đáp ứng được TCVN 13534:2022 về viên nén nhiên liệu, ngoại trừ thành phần tro. Giá trị nhiệt trị cao của viên nén năng lượng sản xuất từ cây lục bình trong nghiên cứu này là $13,9 \pm 0,20 \text{ MJ/kg}$, tương đương với viên nén năng lượng sản xuất từ một số phế phụ phẩm nông nghiệp. Bên cạnh đó, kết quả cũng cho thấy rằng áp suất nén khoảng 150 MPa và kích cỡ nguyên liệu nhỏ hơn 2mm là phù hợp cho quá trình nén ép tạo viên nén năng lượng. Kết quả phân tích TGA và phân tích ảnh SEM đã cho thấy rằng viên nén năng lượng từ cây lục bình có tiềm năng ứng dụng làm nhiên liệu sinh học với hiệu quả đốt cháy tốt. Các kết quả này là cơ sở để tiến hành nghiên cứu sản xuất thử nghiệm viên nén năng lượng từ cây lục bình ở quy mô nhỏ.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Đại học Huế; Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế đã tài trợ và hỗ trợ trong quá trình thực hiện đề tài cấp Đại học Huế với mã số DHH2023-02-170.

Tài liệu tham khảo

1. T. V. Trang, N. T. Q. Hưng, and N. M. Kỳ, "Nghiên cứu ảnh hưởng của cây lục bình (*eichhornia crassipes*) đến môi trường nước mặt kênh Trần Văn Đồng và đề xuất thu gom sản xuất phân hữu cơ vi sinh," Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, no. 61, 2018.
2. T. S. Nam, K. Ingvorsen, L. H. Việt, N. H. Chiêm, N. V. C. Ngân, and N. P. Chi, "Ảnh hưởng của các phương pháp tiên xử lý sinh học lục bình (*eichhornia crassipes*) lên khả năng sinh biogas trong ủ yếm khí theo mẻ có phối trộn phân heo," Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu, pp. 102-110, 12/17 2015. [Online]. Available: <https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/2383>.
3. T. S. Nam et al., "Khả năng sinh khí biogas của rom và lục bình theo phương pháp ủ yếm khí theo mẻ với hàm lượng chất rắn khác nhau," Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, no. Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu, pp. 93-99, 10/26 2017.
4. Z. Hu, X. Ma, and L. Li, "Optimal conditions for the catalytic and non-catalytic pyrolysis of water hyacinth," *Energy Conversion and Management*, vol. 94, pp. 337-344, 2015.
5. W. Feng et al., "Analysis of utilization technologies for *Eichhornia crassipes* biomass harvested after restoration of wastewater," *Bioresource Technology*, vol. 223, pp. 287-295, 2017.
6. U. F. C. Sayago, "Design of a sustainable development process between phytoremediation and production of bioethanol with *Eichhornia crassipes*," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 191, no. 4, p. 221, 2019.
7. M. G. Kristanti and H. Susanto, "Utilization of water hyacinth as biomass fuel pellet: Small and medium enterprise approach," *AIP Conference Proceedings*, vol. 3073, no. 1, 2024.
8. Y. Hu et al., "Comprehensive Combustion Performances of Water Hyacinth and *Pistia stratiotes* Pellet Fuels," *CLEAN – Soil, Air, Water*, vol. 51, no. 4, pp. 2100230, 2023.
9. M. A. Bote, V. R. Naik, and K. B. Jagadeeshgouda, "Review on water hyacinth weed as a potential bio fuel crop to meet collective energy needs," *Materials Science for Energy Technologies*, vol. 3, pp. 397-406, 2020.
10. D. T. Nega, A. V. Ramayya, F. Manenti, and A. F. Amaral, "Turning curse into cure: Potential of water hyacinth for bio-refining - A contextual investigation of Lake Tana," *Environmental Challenges*, vol. 5, p. 100387, 2021.
11. P. Mathur and S. Mathur, "Water hyacinth: a useful plant to improve rural economy," in *Energy and Environment: Springer*, pp. 31-38, 2018.
12. Y. V. Maksimuk, V. Kursevich, A. Korsakova, M. Antonava, and V. Krouk, "Heating value of agricultural biomass: the basic value and intervals for certain types," *OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS*, vol. 59, no. 1, pp. 78-88, 2023.

13. T. Hudakorn and N. Sritrakul, "Biogas and biomass pellet production from water hyacinth," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 532-538, 2020.
14. K. Munjeri, S. Ziuku, H. Maganga, B. Siachingoma, and S. Ndlovu, "On the potential of water hyacinth as a biomass briquette for heating applications," *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 37-43, 2016.
15. A. Zafari and M. H. Kianmehr, "Factors affecting mechanical properties of biomass pellet from compost," *Environmental Technology*, vol. 35, no. 4, pp. 478-486, 2014.
16. S. Mani, L. G. Tabil, and S. Sokhansanj, "Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses," *Biomass and Bioenergy*, vol. 30, no. 7, pp. 648-654, 2006.
17. A. Mohammadi, A. I. Anukam, M. Ojemaye, P. Nyamukamba, and T. Yamada, "Energy Production Features of Miscanthus Pellets Blended with Pine Sawdust," *BioEnergy Research*, vol. 17, no. 1, pp. 491-504, 2024.
18. A. Sahoo, S. Kumar, J. Kumar, and T. Bhaskar, "A detailed assessment of pyrolysis kinetics of invasive lignocellulosic biomasses (*Prosopis juliflora* and *Lantana camara*) by thermogravimetric analysis," *Bioresource Technology*, vol. 319, p. 124060, 2021.
19. T. Wang, D. Meng, J. Zhu, and X. Chen, "Effects of pelletizing conditions on the structure of rice straw-pellet pyrolysis char," *Fuel*, vol. 264, pp. 116909, 2020.
20. X. Jin, W. Guo, T. Shi, J. Yang, F. Hu, and Z. Wang, "Research on characterization of pellet characteristics of straw and potato residue mixture based on deep learning," *Biomass and Bioenergy*, vol. 193, pp. 107551, 2025.