

NGHIÊN CỨU TIỀN XỬ LÝ BÃ MÍA BẰNG DUNG MÔI EUTECTIC SÂU ĐỂ TĂNG CƯỜNG QUÁ TRÌNH THỦY PHÂN CELLULOSE

NGUYỄN ĐÌNH PHÚC^{1*} - ĐOÀN MINH HIẾU¹

¹Khoa Khoa học Ứng dụng và Công nghệ, Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh
Faculty of Applied Science and Technology, Nguyen Tat Thanh Univesity, Ho Chi Minh City

*Tác giả liên hệ - Email: ndphuc@ntt.edu.vn

Ngày nhận bài: 21/7/2026

Ngày sửa bài: 12/8/2026

Ngày duyệt đăng bài: 23/8/2026

Tóm tắt:

Nghiên cứu này đánh giá khả năng sử dụng dung môi eutectic sâu tự nhiên (NADES) để tiền xử lý bã mía, qua đó cải thiện quá trình thủy phân chuyển hóa cellulose thành glucose. Choline chloride (ChCl) được lựa chọn kết hợp với axit oxalic, axit lactic và glycerol để tổng hợp hệ xúc tác NADES. Ảnh hưởng của tỷ lệ mol ChCl, tỷ lệ bã mía, thời gian và nhiệt độ tiền xử lý được khảo sát. Trong 3 hệ dung môi, ChCl và axit oxalic cho khả năng cải thiện thủy phân tốt nhất. Điều kiện tối ưu khảo sát gồm tỷ lệ mol ChCl acid 1:5, tỷ lệ bã mía 1:10 (g/g), thời gian tiền xử lý 90 phút và nhiệt độ 90°C, tương ứng nồng độ glucose đạt 5,427 mg/mL. Kết quả cho thấy, tiền xử lý bằng NADES làm biến đổi cấu trúc bề mặt bã mía, góp phần tăng khả năng tiếp cận cellulose và nâng cao hiệu quả thủy phân.

Từ khóa: bã mía, lignocellulose, dung môi eutectic sâu, tiền xử lý, glucose

Pretreatment of sugarcane bagasse using deep eutectic solvents to enhance cellulose hydrolysis

Abstract:

Sugarcane bagasse is a promising lignocellulosic biomass for glucose production and other value-added products. However, the close association of cellulose, hemicellulose, and lignin limits enzyme accessibility and reduces hydrolysis efficiency. This study evaluates natural deep eutectic solvents (NADES) for pretreating sugarcane bagasse to improve the conversion of cellulose into glucose. Choline chloride (ChCl) was combined with oxalic acid, lactic acid, and glycerol to prepare three NADES systems. The effects of the ChCl molar ratio, bagasse-to-solvent ratio, pretreatment time, and temperature were investigated. Among the three systems, ChCl-oxalic acid produced the greatest improvement in hydrolysis. The selected conditions were a ChCl-to-oxalic acid molar ratio of 1:5, a bagasse-to-solvent ratio of 1:10 (g/g), a pretreatment time of 90 min, and a temperature of 90°C, yielding a glucose concentration of 5.427 mg/mL. NADES pretreatment altered the bagasse surface structure, improving cellulose accessibility and hydrolysis efficiency.

Keywords: sugarcane bagasse, lignocellulose, deep eutectic solvents, pretreatment, glucose

1. Đặt vấn đề

Bã mía là phụ phẩm lignocellulose được tạo ra với khối lượng lớn trong ngành công nghiệp đường. Thành phần cellulose đáng kể trong bã mía tạo ra tiềm năng sử dụng nguồn sinh khối này làm nguyên liệu cho sản xuất glucose và các sản phẩm có giá trị gia tăng. Tuy nhiên, việc chuyển hóa cellulose thành glucose vẫn gặp nhiều hạn chế do cellulose được bao bọc và liên kết chặt chẽ với hemicellulose và lignin trong mạng lưới lignocellulose. Cấu trúc này làm giảm khả năng tiếp cận của enzyme đến các vùng cellulose, từ đó hạn chế hiệu quả thủy phân và đường hóa.

Tiền xử lý là bước quan trọng nhằm phá vỡ hoặc làm thay đổi cấu trúc lignocellulose, qua đó tăng khả năng tiếp xúc của cellulose với enzyme thủy phân. Các phương pháp tiền xử lý truyền thống như kiềm, acid hoặc nhiệt thường đòi hỏi điều kiện xử lý tương đối khắc nghiệt và có thể phát sinh các hợp chất ức chế quá trình thủy phân và lên men. Do đó, việc phát triển các tác nhân tiền xử lý có hiệu quả cao, điều kiện vận hành phù hợp và hạn chế sự hình thành sản phẩm phụ là một trong những hướng nghiên cứu cần được quan tâm.

Trong những năm gần đây, dung môi eutectic sâu tự nhiên (Natural Deep Eutectic Solvents - NADES) được nghiên cứu như một giải pháp tiềm năng cho tiền xử lý sinh khối lignocellulose. NADES được hình thành thông qua tương tác giữa chất nhận liên kết hydro (HBA) và chất cho liên kết hydro (HBD), trong đó thành phần và tỷ lệ mol có ảnh hưởng đáng kể đến tính chất hóa lý cũng như khả năng tương tác với cấu trúc lignocellulose. Sự tương tác giữa NADES và các thành phần của sinh khối có thể làm suy yếu mạng lưới liên kết giữa lignin, hemicellulose và cellulose, góp phần làm tăng khả năng tiếp cận cellulose của enzyme.

Hiệu quả tiền xử lý bằng NADES phụ thuộc vào bản chất của HBD/HBA và các thông số vận hành như tỷ lệ mol, tỷ lệ dung môi với sinh khối, nhiệt độ và thời gian xử lý. Trong nghiên cứu này, choline chloride (ChCl) được lựa chọn làm HBA và kết hợp với oxalic acid, lactic acid và glycerol làm HBD để tạo các hệ NADES khác nhau. Nghiên cứu tập trung đánh giá ảnh hưởng của thành phần NADES và các điều kiện tiền xử lý đến khả năng phá vỡ cấu trúc lignocellulose của bã mía và hiệu quả thủy phân cellulose thành glucose. Kết quả thu được nhằm xác định hệ dung môi và điều kiện tiền xử lý phù hợp, làm cơ sở cho việc nâng cao hiệu quả khai thác cellulose từ bã mía.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên liệu

Bã mía được thu mua từ cơ sở sản xuất mía đường ở Quận 12, sau đó được vận chuyển đến phòng thí nghiệm phòng L.413 trường Đại học Nguyễn Tất Thành. Tại đây, những bã mía sẽ được rửa sạch 2 lần với nước để loại bỏ các bụi bẩn đất cát bám lại, khi đã sạch bã mía sẽ được đưa vào tủ sấy hồng ngoại ở nhiệt độ 80°C trong vòng 5 tiếng đến khi độ ẩm đạt mức nhỏ hơn 5%, sau cùng nguyên liệu được mang đi xay thành bột mịn và được bảo quản ở túi zip kín miệng và bảo quản tại nhiệt độ thường.

Các hóa chất sử dụng để tổng hợp dung môi eutectic sâu tự nhiên (NADES) gồm choline chloride (ChCl) đóng vai trò là chất nhận liên kết hydro (hydrogen bond acceptor, HBA) và axit oxalic, axit lactic và glycerol

Hình 1. Nguyên liệu bã mía



được sử dụng làm các chất cho liên kết hydro (hydrogen bond donor, HBD). Choline chloride và các hợp chất HBD được sử dụng ở các tỷ lệ mol khác nhau nhằm khảo sát ảnh hưởng của thành phần NADES đến hiệu quả tiền xử lý bã mía. Các hóa chất được sử dụng ở độ tinh khiết phù hợp cho nghiên cứu và được sử dụng trực tiếp mà không qua quá trình tinh chế bổ sung (Del Mar Contreras-Gómez et al., 2023).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

+ Quy trình công nghệ:

Quá trình tiền xử lý

Bã mía sau khi được thu mua từ các vựa mía ở Quận 12 về được chọn lựa, cắt nhỏ bã mía và rửa sạch lại với nước ít nhất là 2 lần, để loại bỏ bụi bẩn và đường còn sót lại, bã mía mang đi sấy ở 80°C để loại bỏ nước hoàn toàn và dễ bảo quản hơn. Sau khi đã đạt độ ẩm dưới 5%, đem xay nhỏ nhằm tăng diện tích tiếp xúc. NADES được chuẩn bị bằng cách cân trộn các thành phần theo tỷ lệ phù hợp nhất, khuấy và gia nhiệt ở 80°C đến khi hỗn hợp trong suốt, sau đó làm nguội về nhiệt độ phòng. Bột bã mía được trộn cùng với NADES và ngâm trong 2 giờ để tăng khả năng tiếp xúc và thấm vào cấu trúc lignocellulose. Hỗn hợp sau đó được gia nhiệt ở 60-100°C trong 60-150 phút để thúc đẩy quá trình phá vỡ cấu trúc lignocellulose. Quá trình tiền xử lý kết thúc, hỗn hợp được làm nguội nhanh, sau đó tách pha bằng acetone:nước thu phần rắn giàu cellulose và phần lỏng chứa lignin, hemicellulose và NADES (Suthar et al., 2023).

Quá trình thủy phân

Cân 5g bột giàu cellulose và hòa tan với 25ml nước cất trong bình erlen theo tỷ lệ cố định, hỗn hợp được mang đi đo máy pH và thêm 7ml dung dịch đệm acetic để điều chỉnh hỗn hợp ở ngưỡng pH=4.7 phù hợp với điều kiện enzyme hoạt động tốt nhất. sau khi pH được điều chỉnh, enzyme được thêm vào sau cùng, enzyme cellulase tham gia trực tiếp thúc đẩy phản ứng thủy phân cellulose trong bã mía và giải phóng các phân tử glucose tự do. Erlen chứa hỗn hợp được mang đi đánh siêu âm, tần số siêu âm được cài đặt ở 50KHz và gia nhiệt trong thời gian 1 tiếng ở 50°C. Sóng siêu âm làm tăng khả năng phá vỡ cấu tạo thành tế bào cellulose, làm bề mặt cấu trúc trở nên yếu dần và tăng khả năng tiếp cận của enzyme. Quá trình siêu âm kết thúc erlen được chuyển qua bể điều nhiệt và ủ trong 5 tiếng ở 50°C. Tiếp theo, khi hết thời gian thủy phân, hỗn hợp được mang đi ly tâm ở 7000 vòng/phút trong 10 phút để tách cặn bã mía. Dịch chiết được hút và mang đi phân tích hàm lượng glucose bằng phương pháp DNS. Dịch chiết được pha loãng cho thuốc thử vào lắc đều bằng máy vortex để hỗn hợp đồng nhất khi đo độ hấp thụ ở bước sóng 540nm bằng máy UV-vis. Nồng độ glucose sẽ được xác định bằng đường chuẩn (Liu et al., 2021)

+ Bố trí thí nghiệm:

Khảo sát ảnh hưởng của các loại dung môi

Để khảo sát ảnh hưởng của các loại NADES, nguyên tắc quan trọng là chỉ thay đổi các thành phần của HBD, và giữ cố định lại các điều kiện khác như: cố định tỷ lệ mol giữa HBA:HBD với thông số phù hợp với khảo sát đã thực hiện, cố định điều kiện tổng hợp NADES ở nhiệt độ 80°C, tỷ lệ bã mía và NADES là 1:10, và nhiệt độ phản ứng của hệ là 100°C. Các loại dung môi được khảo sát bao gồm: Oxalic acid, Lactic acid, Glycerol

Khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ mol ChCl:Oxalic acid

Thí nghiệm sẽ được thực hiện dựa nguyên tắc quan trọng là chỉ thay đổi tỷ lệ mol của HBA:HBD, và thực hiện các thông số cố định như: nhiệt độ phản ứng của hệ là 100°C và thời gian phản ứng của hệ là 2h, tỷ lệ bã mía và NADES 1:10, thời gian ngâm của hệ là 2h, Các giá trị tỷ lệ ChCl:Oxalic acid được khảo sát bao gồm tỷ lệ: 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 (mol/mol)

Khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ bã mía và NADES

Để khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ các nồng độ đến quá trình xử lý tiền sinh khối, được nghiên cứu thực hiện cố định thông số bao gồm: cố định loại NADES phù hợp đã khảo sát, tỷ lệ mol HBA:HBD phù hợp đã khảo sát, thời gian ngâm trộn 2h, nhiệt độ xử lý sinh khối 100°C. Tỷ lệ bã mía: NADES được khảo sát là: 1:1, 1:2, 1:5, 1:10, 1:15(g/g)

Khảo sát ảnh hưởng nhiệt độ tiền xử lý

Để khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ đến quá trình xử lý sinh khối, quá trình nghiên cứu thực hiện cố định các thông số bao gồm: loại NADES phù hợp đã khảo sát, tỷ lệ mol HBA:HBD phù hợp đã khảo sát, thời gian ngâm trộn là 2h. Nhiệt độ được khảo sát bao gồm là 100°C, 90°C, 80°C, 70°C, 60°C.

Khảo sát ảnh hưởng thời gian tiền xử lý

Để khảo sát ảnh hưởng của thời gian đến quá trình xử lý sinh khối, quá trình nghiên cứu thực hiện cố định các thông số bao gồm: loại NADES phù hợp đã khảo sát, tỷ lệ mol HBA:HBD phù hợp đã khảo sát, nhiệt độ xử lý sinh khối phù hợp đã khảo sát. Thời gian xử lý sinh khối được khảo sát từ 60 phút, 90 phút, 120 phút và 150 phút

*+ Các chỉ tiêu phân tích**Phân tích hàm lượng glucose sau quá trình thủy phân*

Việc xác định hàm lượng glucose thông qua phương pháp DNS dựa trên phản ứng của đường khử với thuốc thử 3,5-dinitrosalicylic acid. Các tác nhân được sử dụng để định lượng đường nhờ các đặc tính khử của đường 3,5- Dinitrosalicylic acid (DNS) có màu vàng trong dung dịch kiềm sẽ bị khử thành acid 3-amino-5-nitrosalicylic có màu đỏ cam.

Lấy 3ml dung dịch mẫu sau thủy phân chứa glucose vào ống thủy tinh. Kế tiếp thêm 1 ml DNS, bịt kín đầu ống nghiệm. Hỗn hợp được mang đi vortex để dung dịch đồng nhất. Độ hấp thụ OD được xác định ở bước sóng 540nm bằng máy quang phổ UV-Vis. Mẫu blank dùng 1 ml DNS vào 3 ml nước cất.

Phân tích bề mặt cấu trúc SEM bề mặt trước và sau quá trình tiền xử lý

Hiện vi điện tử quét (SEM) là kỹ thuật phân tích hiện đại sử dụng chùm electron quét liên tục trên bề mặt mẫu vật để thu nhận tín hiệu. Phương pháp này có công dụng trong việc quan sát cấu trúc vi mô, SEM giúp đánh giá chính xác sự thay đổi bề mặt sau các quá trình xử lý

+ Phân tích dữ liệu:

Mỗi thí nghiệm được thực hiện với 3 lần lặp độc lập. Kết quả được biểu diễn dưới dạng giá trị trung bình. Dữ liệu được xử lý bằng phần mềm IBM SPSS Statistics để tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các nghiệm thức. Các kết quả nồng độ được sử dụng để đánh giá và so sánh ảnh hưởng của các điều kiện tiền xử lý đến nồng độ glucose thu được sau quá trình thủy phân

3. Kết quả và thảo luận kết quả nghiên cứu**3.1. Kết quả khảo sát các loại dung môi NADES****3.1.1. Kết quả khảo sát các loại dung môi NADES**

Dựa vào đồ thị khảo sát các loại dung môi cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của các loại dung môi, kết quả cho thấy, dung môi Oxalic acid ghi nhận nồng độ glucose cao nhất 3.574 mg/mL. Kế đến là Lactic acid 2.490 mg/mL và nồng độ thấp nhất là glycerol 2.142mg/mL. Việc tiền xử lý bằng Oxalic acid đang vượt trội nhất và giải phóng được nhiều glucose nhất. Acid Oxalic có tới 2 nhóm -COOH, còn Lactic acid thì có chứa một nhóm -COOH và 1 nhóm -OH, còn Glycerol lại là một nhóm poly cấu trúc phân tử có 3 nhóm hydroxyl (-OH). Một điểm mạnh của Oxalic acid là có chứa 2 nhóm -COOH thì sẽ tạo được ra nhiều vị trí tương tác acid và hydrogen Bond trên 1 phân tử của sinh khối, môi trường acid đủ mạnh được tạo ra từ $\text{CHCl}:\text{Oxalic}$ có nhiều H^+ làm xúc tác phá vỡ cấu trúc liên kết sinh khối mạnh mẽ, vốn đã được ổn định và bền chặt ngay từ đầu của cấu trúc lignocellulose.

Đồng thời các nhóm chức oxygen của của Oxalic và ion Cl^- hình thành tương tác hydrogen với nhóm hydroxyl của Lignocellulose, môi trường acid thúc đẩy sự phân đoạn các liên kết nhạy acid, từ đó tạo điều kiện thuận lợi cho enzyme tiếp cận cellulose dễ dàng hơn. Lactic acid cũng chứa một nhóm -COOH và một nhóm -OH, thế nhưng mật độ nhóm carboxyl ít hơn so với Oxalic, điều này cũng làm cho liên kết sinh khối không đứt gãy hoàn toàn, các cấu trúc cellulose không lộ ra ngoài quá nhiều, gây cản trở cho enzyme thực hiện quá trình thủy phân. Glycerol lại tạo ra hydrogen bond tốt nhất nhưng điểm hạn chế thì không có nhóm carboxyl nên thiếu đi cơ chế acid hỗ trợ phá vỡ liên kết lignocellulose, các cấu trúc

cellulose rất khó để được thoát ra khỏi vỏ bọc bền vững của sinh khối lignocellulose, so với 2 loại dung môi ở trên, kết quả khảo sát thu được nồng độ glucose chỉ được 2.142 mg/mL thấp hơn nhiều. Các nghiên cứu gần đây cũng đã ra đưa các dẫn chứng, các loại dung môi NADES có chất cho liên kết là acid đều phá hủy liên kết sinh khối tốt hơn là các chất cho liên kết là trung tính hoặc kiềm. Do đó ChCl:Oxalic acid được lựa chọn làm dung môi tiền xử lý phù hợp nhất cho quá trình tiền xử lý bã mía bằng NADES(Raj & Singh, 2024).

3.1.2. Kết quả khảo sát tỷ lệ mol ChCl:Oxalic

Khảo sát các tỷ lệ của dung môi ChCl:Oxalic acid cho thấy, hàm lượng glucose tăng từ 2.052 mg/mL ở tỷ lệ 1:1(mol/mol) đến 5.159 mg/mL ở tỷ lệ 1:5 (mol/mol), vì khi hàm lượng Oxalic thay đổi thì tính acid cũng thay đổi, khả năng tương tác hydrogen Bond lên sinh khối cũng sẽ thay đổi theo. Lúc này liên kết Lignin-Carbohydrate sẽ bị phá vỡ, khi không còn mối liên hệ giữa Lignin và Hemicellulose. Tạo điều kiện thuận lợi cho enzyme tiếp cận với cellulose được nhiều hơn. Tuy nhiên khi tăng lên tỷ lệ 1:6 (mol/mol) ta thấy hàm lượng glucose giảm xuống 4.001mg/mL, lý do cho việc này là do tỷ lệ phối trộn dung môi đã vượt quá tỷ lệ phù hợp và tối ưu nhất, khả năng tương tác sinh khối không còn hiệu quả nữa. Khi lượng Oxalic dư thừa không tạo thêm được mức độ giải phóng glucose nhưng lại vô tình tạo ra một môi trường acid mạnh hơn lại làm mất đi một phần glucose đã giải phóng trước đó do việc bị phân hủy bởi môi trường. Làm giảm đi lượng glucose thu hồi, như vậy trong phạm vi khảo sát lựa chọn tỷ lệ ChCl:Oxalic acid được xác định tỷ lệ phù hợp nhất là 1:5 (mol/mol), cho giá trị nồng độ glucose tốt nhất, tỷ lệ này được lựa chọn làm điều kiện thích hợp nhất cho quá trình tiền xử lý (Suthar et al., 2023).

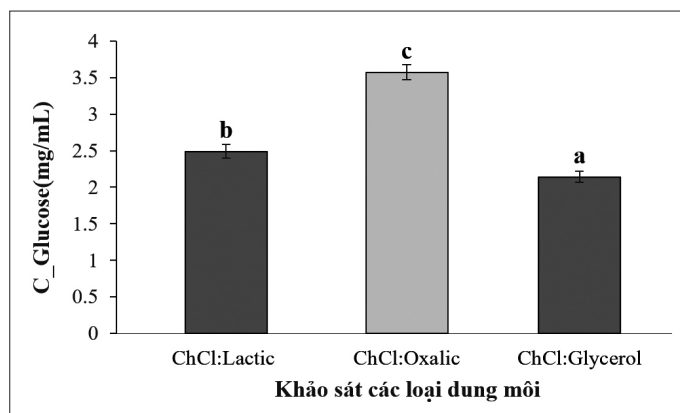
3.1.3. Kết quả khảo sát tỷ lệ bã mía và NADES

Kết quả khảo sát cho thấy, tỷ lệ bã mía và NADES có ảnh hưởng đến hàm lượng glucose khi tăng tỷ lệ từ 1:1 lên 1:2, 1:5 và 1:10 (g/g) hàm lượng cũng đã tăng lần lượt từ 2.548 mg/mL đến 3.340 mg/mL và đạt đỉnh ở mức 5.159 mg/mL. Vì khi tăng lượng NADES lên trên cùng một lượng bã mía, làm tăng khả năng tiếp xúc giữa dung môi với cấu trúc lignocellulose được nhiều hơn. Tạo điều kiện cho quá trình tương tác và phá vỡ cấu trúc của sinh khối. Từ đó làm giảm đi khả năng bao bọc của lignin và hemicellulose đối với cellulose việc tăng lượng NADES không chỉ làm thay đổi mức độ tiếp xúc mà còn ảnh hưởng đến khả năng khuếch tán và tương tác lên sinh khối. Tuy nhiên khi tiếp tục tăng lên tỷ lệ 1:15 (g/g), hàm lượng glucose giảm xuống còn 3.694 mg/mL. Điều này ảnh hưởng do việc tăng quá mức lượng NADES vượt quá mức phù hợp nhất, lượng NADES dư có liên quan đến sự thay đổi độ nhớt và khả năng truyền khối của hệ, từ đó hạn chế sự khuếch tán và khả năng thấm của dung môi vào mao quản của sinh khối. Độ nhớt cao cũng ảnh hưởng tới liên kết kết hydro và tương tác giữa ChCl:Oxalic acid, khó tiếp xúc với dung môi và cơ chất từ đó gây khó cho việc loại bỏ hoàn toàn sau tiền xử lý, khi này sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến enzyme trong giai đoạn thủy phân. Như vậy, quá trình khảo sát tỷ lệ bã mía và NADES được xác định tỷ lệ phù hợp nhất là 1:10 (g/g)(Negi et al., 2024).

3.1.4. Kết quả khảo sát thời gian tiền xử lý

Kết quả khảo sát cho thấy, thời gian tiền xử lý có ảnh hưởng tới hàm lượng glucose thu được sau quá trình thủy phân. Khi thời gian xử lý tăng từ 60 phút lên 90 phút, hàm lượng glucose cũng đã tăng mạnh từ 2.838 lên 5.159 mg/mL, việc kéo dài thời gian tiếp xúc giữa dung môi và bã mía đã tạo điều kiện thuận lợi hơn cho quá trình tương tác và thâm nhập vào mao quản sinh khối. Khi thời gian dài

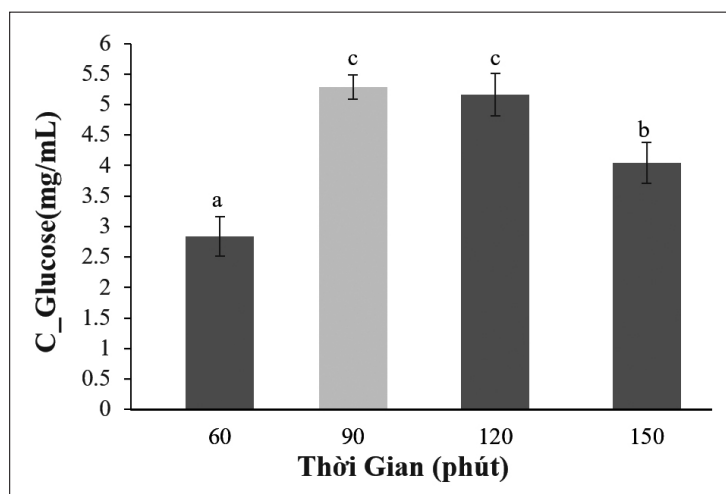
Hình 2. Kết quả khảo sát các loại dung môi



hơn lại thúc đẩy quá trình phá vỡ và làm suy giảm cấu trúc lignin-hemicellulose. Từ đó làm tăng khả năng tiếp cận của enzyme đối với cellulose để nâng cao hiệu quả thủy phân tạo glucose. Khi tiếp tục tăng thời gian từ 90 phút lên 120 phút, hàm lượng glucose đạt 5.052 mg/mL chỉ giảm nhẹ so với 90 phút và gần như không có sự khác biệt về mặt thống kê, điều này cho thấy hiệu quả tiền xử lý đã đạt mức phù hợp nhất. Khi này cấu trúc sinh khối lignocellulose đã được phá vỡ làm đứt gãy liên kết ở thời gian phù hợp nhất định. Mức độ xử lý quá dài cũng sẽ tạo ra các phản ứng phụ

không mong muốn đối với carbohydrate và tạo ra một số hợp chất ảnh hưởng đến quá trình thủy phân. Tiếp tục tăng thời gian xử lý lên 150 phút, hàm lượng glucose giảm xuống rõ rệt, lúc này thời gian đã vượt quá khoảng thích hợp để khảo sát ảnh hưởng đến hiệu quả thu hồi glucose. Quá trình tiền xử lý quá dài sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến việc phân hủy carbohydrate hình thành các hợp chất phenolic, acid hữu cơ và dẫn xuất furan... hình thành các ức chế hoạt động của enzyme trong giai đoạn thủy phân. Nhìn chung hàm lượng glucose cao nhất tại thời gian xử lý 90 phút là 5.159 mg/mL, và gần như không khác biệt có ý nghĩa với 120 phút. Việc lựa chọn thời gian 90 phút là điều kiện phù hợp nhất còn giúp hạn chế thời gian tiền xử lý và mức tiêu hao năng lượng so với 120 phút, trong khi vẫn đạt hiệu quả tiền xử lý cao (Abolore et al., 2024).

Hình 3. Kết quả khảo sát thời gian tiền xử lý



3.1.5. Kết quả khảo sát nhiệt độ tiền xử lý

Dựa vào đồ thị khảo sát nhiệt độ tiền xử lý có ảnh hưởng đến hàm lượng glucose thu được sau quá trình thủy phân. Nhiệt độ tăng từ 60°C lên 90°C, nồng độ glucose cũng tăng liên tục, lần lượt là 2.456, 2.901, 3.747, và 5.427 mg/mL. Khoảng nhiệt độ tăng mạnh nhất từ 70°C đến 90°C, việc tăng nhiệt độ đã thúc đẩy mạnh mẽ quá trình tương tác giữa NADES và cấu trúc lignocellulose, ở nhiệt độ cao độ nhớt cũng giảm, độ linh động và khả năng khuếch tán của các phân tử trong hệ NADES thâm nhập vào cấu trúc. Khi tiếp tục tăng nhiệt độ từ 90°C đến 100°C, hàm lượng glucose có xu hướng giảm nhẹ từ 5.427 xuống 5.159 mg/mL. Sự thay đổi này rất nhỏ. Kết quả cho thấy, khi nhiệt độ đạt khoảng 90°C, hiệu quả tiền xử lý đã đạt tới mức tối ưu nhất, việc tiếp tục gia tăng nhiệt độ cũng không cải thiện đáng kể khả năng giải phóng cellulose cho quá trình thủy phân. Ngược lại việc tăng nhiệt độ quá mức lại ảnh hưởng rất lớn đến việc bị biến đổi thành các sản phẩm phụ hoặc phân hủy các hàm lượng glucose đã được giải phóng trước đó (Rajapakse et al., 2025).

3.2. Kết quả phân tích trạng thái bề mặt bã mía trước và sau quá trình tiền xử lý.

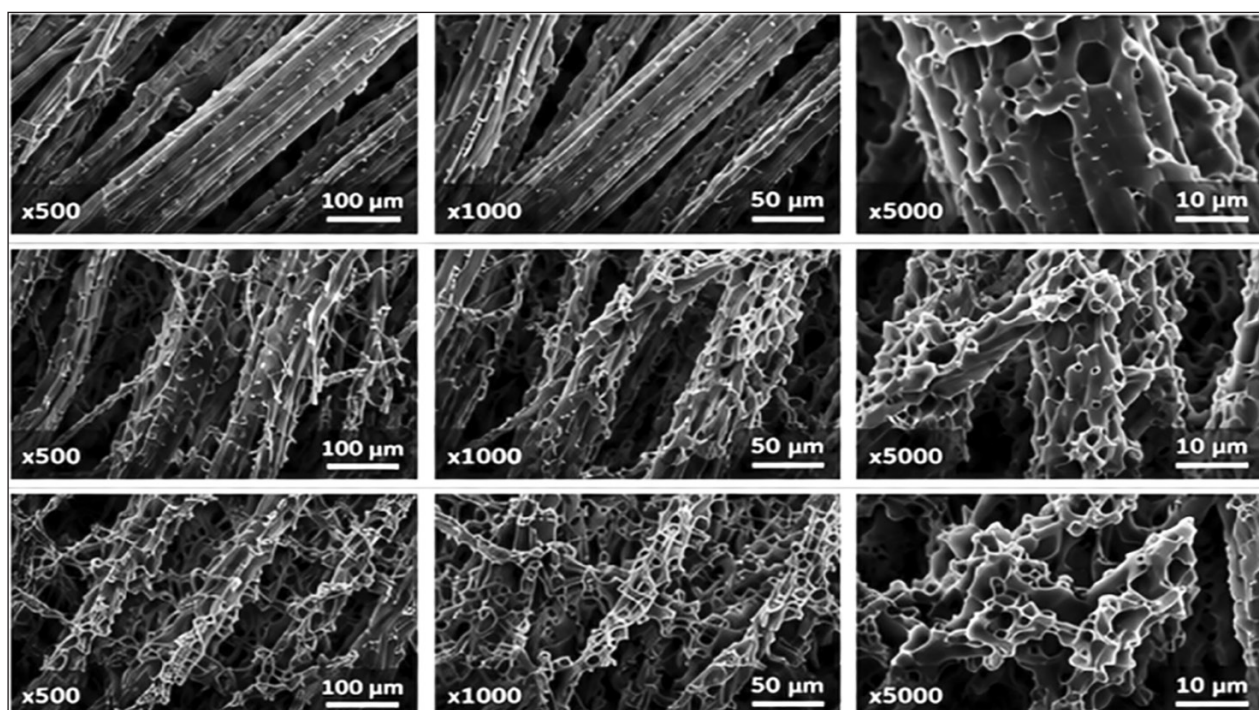
Kết quả cho thấy, mẫu bã mía chưa tiền xử lý có cấu trúc dạng bó sợi chặt chẽ lộ rõ và bề mặt tương đối nhẵn, các sợi tế bào còn gần như nguyên vẹn. Các cấu trúc bền chặt này làm hạn chế khả năng tiếp cận cellulose của enzyme trong quá trình thủy phân tiếp theo (Wang et al., 2026).

Sau quá trình tiền xử lý bằng ChCl - Oxalic acid với các điều kiện phù hợp được xác định, tỷ lệ mol ChCl:Oxalic acid là 1:5, tỷ lệ bã mía và NADES là 1:10(g/g), nhiệt độ là 90°C và thời gian xử lý là 90 phút. Mẫu SB-OA có sự thay đổi mạnh về cấu trúc hình thái bề mặt so với mẫu SB-UT. Nhìn vào ta thấy bề mặt vật liệu trở nên gồ ghề, không những thế còn xuất hiện rất nhiều vết nứt và lỗ rỗng. Các bó sợi có xu hướng tách rời, làm lộ ra nhiều vị trí của cellulose trên bề mặt vật liệu. Những thay đổi này cho thấy quá trình tiền xử lý đã làm biến đổi cấu trúc mạnh mẽ, các liên kết lignin-hemicellulose bị đứt

gây hạn chế bao quanh cellulose. Từ đó tạo điều kiện thuận lợi cho enzyme tăng mức độ tiếp xúc trong quá trình thủy phân. Đối với mẫu sau thủy phân (SB-EH), hình thái bề mặt có sự biến đổi so với mẫu SB-OA, cấu trúc sợi trở nên không đồng nhất hơn, kết quả này phản ánh các cơ chất tiền xử lý đã có sự thay đổi về cấu trúc, từ đó tạo cơ hội cho enzyme tấn công mạnh vào cấu trúc cellulose trong quá trình thủy phân (Abel et al., 2025).

Kết quả SEM cho thấy, quá trình xử lý bằng ChCl-Oxalic acid đã làm thay đổi toàn bộ cấu trúc bề mặt so với mẫu chưa xử lý, bằng cách cho xuất hiện vết nứt, gia tăng sự gồ ghề và tách rời của các bó sợi. Những biến đổi này làm cấu trúc bã mía trở nên thông thoáng hơn làm tăng diện tích bề mặt tiếp xúc cho enzyme.

Hình 4. Kết quả đo SEM của bã mía trước và sau quá trình tiền xử lý



4. Kết luận

Nghiên cứu đã đánh giá khả năng ứng dụng dung môi eutectic sâu tự nhiên (NADES) trong tiền xử lý bã mía nhằm nâng cao hiệu quả thủy phân cellulose thành glucose. Choline chloride (ChCl) được kết hợp với axit oxalic, axit lactic và glycerol để tạo các hệ NADES, qua đó khảo sát ảnh hưởng của thành phần dung môi và điều kiện tiền xử lý đến khả năng chuyển hóa cellulose. Trong 3 hệ NADES được khảo sát, hệ ChCl-axit oxalic cho hiệu quả thủy phân tốt nhất. Khi thay đổi tỷ lệ mol ChCl oxalic từ 1:1 đến 1:6, hiệu quả thủy phân tăng và đạt giá trị cao nhất tại tỷ lệ 1:5. Kết quả cho thấy, tỷ lệ giữa chất nhận và chất cho liên kết hydro có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả của quá trình tiền xử lý. Tỷ lệ bã mía cũng ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng thủy phân. Tỷ lệ bã mía 1:10 (g/g) được xác định là phù hợp, cho phép đạt hiệu quả tiền xử lý cao trong điều kiện nghiên cứu. Đối với thời gian xử lý, hàm lượng glucose tăng khi thời gian tăng từ 60 đến 90 phút và đạt giá trị cao nhất tại 90 phút. Khi kéo dài thời gian lên 120 và 150 phút, hàm lượng glucose có xu hướng giảm. Tương tự, khi nhiệt độ tăng từ 60 đến 90°C, hiệu quả thủy phân được cải thiện rõ rệt và đạt cao nhất tại 90°C. Ở 100°C, hàm lượng glucose giảm nhẹ. Vì vậy, thời gian 90 phút và nhiệt độ 90°C được lựa chọn là điều kiện phù hợp.

Vậy điều kiện thích hợp gồm tỷ lệ mol CHCl_3 oxalic 1:5, tỷ lệ bã mía 1:10 (g/g), thời gian 90 phút và nhiệt độ 9°C , nồng độ glucose đạt 5,427 mg/mL. Giá trị này cao hơn mẫu bã mía không qua tiền xử lý, cho thấy NADES có khả năng cải thiện khả năng tiếp cận của enzyme đối với cellulose. Kết quả SEM cũng ghi nhận sự thay đổi rõ rệt về hình thái bề mặt bã mía sau tiền xử lý, phù hợp với sự biến đổi cấu trúc lignocellulose và sự gia tăng khả năng thủy phân. Kết quả khẳng định tiềm năng của NADES trong tiền xử lý bã mía và tạo cơ sở cho việc phát triển các quy trình chuyển hóa nguồn sinh khối này thành glucose và các sản phẩm có giá trị gia tăng (Miller, 1959) ■

Lời cảm ơn:

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ cho nghiên cứu này

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Abel, G., Bhagwat, P., Amobonye, A., Singh, N. K., Permaul, K., & Pillai, S. (2025). Microwave-assisted deep eutectic solvent pretreatment of macadamia nut shells and pinewood shavings for effective saccharification and bioethanol production. *Industrial Crops and Products*, 237, 122263. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.122263>
- Abolore, R. S., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2024). Green and sustainable pretreatment methods for cellulose extraction from lignocellulosic biomass and its applications: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 7, 100396. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100396>
- Del Mar Contreras-Gómez, M., Galán-Martín, Á., Seixas, N., Da Costa Lopes, A. M., Silvestre, A., & Castro, E. (2023). Deep eutectic solvents for improved biomass pretreatment: Current status and future prospective towards sustainable processes. *Bioresource Technology*, 369, 128396. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128396>
- Liu, Y., Deak, N., Wang, Z., Yu, H., Hameleers, L., Jurak, E., Deuss, P. J., & Barta, K. (2021). Tunable and functional deep eutectic solvents for lignocellulose valorization. *Nature Communications*, 12(1), 5424. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25117-1>
- Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Negi, T., Kumar, A., Sharma, S. K., Rawat, N., Saini, D., Sirohi, R., Prakash, O., Dubey, A., Dutta, A., & Shahi, N. C. (2024). Deep eutectic solvents: Preparation, properties, and food applications. *Heliyon*, 10(7), e28784. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28784>
- Raj, T., & Singh, V. (2024). Natural deep eutectic solvents (NADES) assisted deconstruction of oilcane bagasse for high lipid and sugar recovery. *Industrial Crops and Products*, 210, 118127. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118127>
- Rajapakse, H., Raviadaran, R., & Chandran, D. (2025). Deep eutectic solvents for pretreatment of lignocellulosic biomass: Towards circular bioeconomy. *Results in Engineering*, 26, 105188. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105188>
- Suthar, P., Kaushal, M., Vaidya, D., Thakur, M., Chauhan, P., Angmo, D., Kashyap, S., & Negi, N. (2023). Deep eutectic solvents (DES): An update on the applications in food sectors. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100678. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100678>
- Wang, Q., Chen, J., Jiang, X., Huang, C., Hayashi, J., Meng, X., & Zhou, Y. (2026). Process intensification technology-assisted deep eutectic solvent pretreatment for fractionation of lignocellulosic biomass: A review. *Green Chemistry*, 28(26), 10807-10833. <https://doi.org/10.1039/D6GC01236A>