

ỨNG DỤNG SÓNG SIÊU ÂM ĐỂ NÂNG CAO HIỆU SUẤT QUÁ TRÌNH THỦY PHÂN CƠ CHẤT TRONG SẢN XUẤT ETHANOL TỪ GẠO

Đinh Hữu Đông¹*, Huỳnh Thái Nguyên¹

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, sóng siêu âm đã được quan tâm và ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như công nghệ sinh học, hóa học và công nghệ thực phẩm. Trong nghiên cứu này, sóng siêu âm được sử dụng để xử lý huyền phù bột gạo trong quá trình lên men để sản xuất ethanol từ gạo. Hỗn hợp huyền phù bột gạo được xử lý siêu âm trong khoảng thời gian từ 30 -150 giây với ba mức công suất khác nhau gồm 150 w, 225 w, 300 w. Hiệu quả của quá trình thủy phân cơ chất được đánh giá thông qua hai hàm mục tiêu là hiệu suất thủy phân tinh bột gạo và hàm lượng nitơ amin tự do (FAN) có trong dịch thủy phân tinh bột. Xử lý siêu âm trong thời gian 120 giây với công suất 300 w trước khi hồ hóa, dịch hóa làm tăng hiệu suất thủy phân tinh bột gạo đến 16% và 10,2% hàm lượng FAN so với mẫu đối chứng (không xử lý siêu âm). Như vậy, kết hợp xử lý siêu âm làm tăng đáng kể hiệu quả cho quá trình dịch hóa, từ đó có thể cải thiện hiệu suất lên men và giảm chi phí sản xuất.

Từ khóa: Đường hóa, ethanol, gạo, siêu âm, thủy phân.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ethanol là một trong những sản phẩm truyền thống và lâu đời nhất của ngành công nghệ lên men. Ngoài việc được sử dụng như là một loại thực phẩm để bổ sung vào các loại sản phẩm thực phẩm đồ uống có cồn dưới dạng pha chế, ethanol còn được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp khác như hóa mỹ phẩm, dược phẩm. Đặc biệt, hiện nay ethanol được xem như nguồn năng lượng xanh, sạch, bền vững có thể thay thế cho các nguồn năng lượng hóa thạch khai thác từ thiên nhiên. Có nhiều phương pháp để sản xuất ethanol, tuy nhiên phương pháp chủ yếu là sử dụng vi sinh vật để lên men từ các nguồn nguyên liệu giàu carbohydrate. Khoảng 80% sản lượng bioethanol được sản xuất ở Mỹ và Brazil.

Trong công nghệ sản xuất ethanol từ các nguồn nguyên liệu giàu tinh bột, nguyên liệu được hồ hóa, dịch hóa và đường hóa trước khi sử dụng vi sinh vật để chuyển hóa thành ethanol thông qua quá trình lên men. Tuy nhiên với phương pháp sản xuất này, cơ chất tinh bột thường không được thủy phân triệt để, cũng như sử dụng nhiều chế phẩm enzyme thủy phân, dẫn đến lãng phí nguồn nguyên liệu, năng lượng, từ đó làm tăng chi phí cho quá trình sản xuất. Do đó, để khắc phục được những nhược điểm trên,

có nhiều phương pháp khác nhau đã được các nhà khoa học công bố trong những năm gần đây như sử dụng sóng siêu âm, chiếu xạ, vi sóng để xử lý nguyên liệu nhằm hỗ trợ cho các công đoạn hồ hóa, dịch hóa và đường hóa. Các phương pháp xử lý nêu trên có ưu điểm là tăng hiệu suất thủy phân tinh bột, tiết kiệm năng lượng và chi phí sản xuất.

Có nhiều nghiên cứu ứng dụng xử lý siêu âm trong công nghệ sản xuất ethanol. Các nghiên cứu cho thấy rằng sóng siêu âm có khả năng phân cắt mạch tinh bột [1], phân cắt mạch cellulose [2], làm giảm kích thước hạt tinh bột [3], giải phóng tinh bột tự do khỏi tế bào nguyên liệu [4], tăng hoạt tính của enzyme [5], từ đó làm tăng hiệu quả quá trình thủy phân cơ chất.

Mục đích của nghiên cứu này là khảo sát tác động của sóng siêu âm đến hiệu quả quá trình thủy phân cơ chất với mục tiêu là nâng cao hiệu suất thủy phân tinh bột và hàm lượng nitơ amin tự do (FAN: Free Amino Nitrogen) có trong dịch thủy phân, trước khi thực hiện quá trình lên men.

2. NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Gạo: Nghiên cứu này, sử dụng gạo (tên khoa học: *Oryza sativa*) Jasmine được sản xuất và cung cấp bởi Công ty Cổ phần Xuất nhập khẩu An Giang (Angimex), thành phố Long Xuyên, tỉnh An Giang.

¹ Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm thành phố Hồ Chí Minh

* Email: dongdh@hufi.edu.vn

Bột gạo được nghiền từ gạo bằng phương pháp khô với kích thước trung bình 0,5 - 1 mm. Mẫu bột gạo được lưu trong tủ lạnh ở nhiệt độ 6°C trong suốt quá trình nghiên cứu.

Enzyme

Chế phẩm α -amylase (E.C 3.2.1.1) với tên thương mại là Termamyl 120L có nguồn gốc từ *Bacillus licheniformis*, với hoạt độ được tính theo đơn vị của Novo Nordisk là 120 KNU/g. 1 KNU (Kilo Novo alpha-amylase đơn vị) là số lượng enzyme cần thiết để thủy phân hoàn toàn 5,26 g tinh bột trong một giờ trong điều kiện pH 5,6 và nhiệt độ 37°C. Vì α -amylase thủy phân liên kết 1,4- α -glycoside nên sản phẩm thủy phân tinh bột là dextrin và oligosaccharide tan trong nước.

Chế phẩm công nghiệp glucoamylase có tên thương mại là AMG từ *Aspergillus niger* (E.C 3.2.1.3) với hoạt độ được tính theo đơn vị của Novo Nordisk là 300 AGU/g. 1AGU (Novo amyloglucosidase đơn vị) là lượng enzyme cần thiết để thủy phân tinh bột tạo thành 1 μ mol maltose trong một phút với điều kiện pH 4,3 và nhiệt độ 25°C.

Chế phẩm enzyme Neutrase 0,5 L (hoạt độ 0,5 A U/g) được thu nhận từ chủng vi sinh vật *Bacillus subtilis*, do Novozymes cung cấp. 1AU (Anson Units) là lượng enzyme xúc tác cần thiết để tạo thành 1 μ mol tyrosine từ casein với điều kiện pH 7,5, nhiệt độ 37°C. Đây là một loại protease có khả năng thủy phân protein tạo thành peptid và nitơ amin tự do.

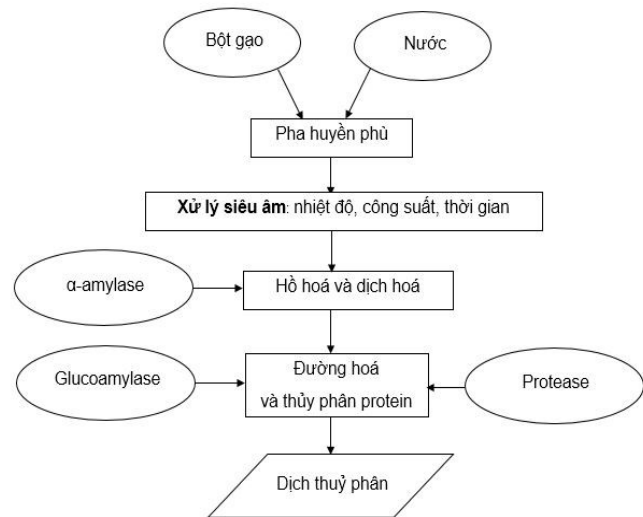
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trộn 30 gam bột gạo với 90 gam nước để xử lý siêu âm, chỉnh pH dung dịch 6,0, sau đó bổ sung thêm 0,1% (v/w) chế phẩm Termamyl 120 L vào dung dịch huyền phù. Quá trình hồ hóa và dịch hóa được thực hiện ở 90 - 95°C trong 1 giờ.

Sau khi kết thúc quá trình dịch hóa, hạ nhiệt độ dịch cháo xuống 60 - 65°C, chỉnh pH dịch cháo 5,0 và thêm vào 0,3% (v/w) chế phẩm AMG và 0,05% (v/w) chế phẩm enzyme protease Neutrase 0,5 L. Quá trình đường hóa được thực hiện ở 60 - 65°C trong 6 giờ.

Phương pháp bố trí thí nghiệm và quy trình thủy phân được mô tả như sơ đồ khối (Hình 1). Để khảo sát hiệu quả xử lý siêu âm, hỗn hợp dung dịch huyền phù nguyên liệu (lê 30 gam gạo và 90 gam nước) được xử lý siêu âm tương ứng với sự thay đổi của các yếu tố: nhiệt độ (30 -100°C), công suất (150, 225, 300 w) và thời gian (0 -120 giây). Thí nghiệm xử lý siêu

âm được bố trí theo kiểu luân phiên tuần biến theo thứ tự lần lượt là nhiệt độ, công suất và thời gian.



Hình 1. Phương pháp bố trí thí nghiệm và quy trình thủy phân

2.3. Phương pháp phân tích

Xác định hàm lượng đường khử: Phương pháp này dựa trên phản ứng tạo màu giữa đường khử với thuốc thử 3,5-dinitrosalicylic acid (thuốc thử DNS). Hợp chất tạo thành có độ hấp thụ mạnh nhất trong khoảng bước sóng 540 - 600 nm (Miler, 1959).

Xác định hàm lượng nitơ amin tự do: Khi pH lớn hơn 4, các gốc nitơ amin tự do sẽ phản ứng với ninhydrin, tạo phức có màu xanh tím. Đo cường độ phức màu tạo thành trên máy quang phổ ở bước sóng 570 nm.

Xác định hình dạng, cấu trúc hạt tinh bột: Hình dạng, cấu trúc hạt tinh bột được xác định thông qua hình ảnh từ phương pháp hiển vi điện tử quét (SEM).

Xác định hiệu suất thủy phân tinh bột: Hiệu suất phản ứng thủy phân tinh bột được tính theo công thức:

$$\eta = \frac{C_1 \times 0,9}{C_2} \times 100 \quad (\%)$$

Trong đó: C1: hàm lượng đường khử có trong dịch thủy phân, %; C2: hàm lượng tinh bột có trong hỗn hợp huyền phù bột gạo, %; 0,9: hệ số chuyển hóa từ đường glucose thành tinh bột.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Mẫu thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Số liệu được phân tích phương sai (ANOVA) để so sánh sự khác biệt giữa các nghiệm thức thông qua kiểm định TukeyHSD (p-value <0,05). Phần mềm SPSS 22 được

sử dụng để xử lý số liệu thực nghiệm trong nghiên cứu này.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

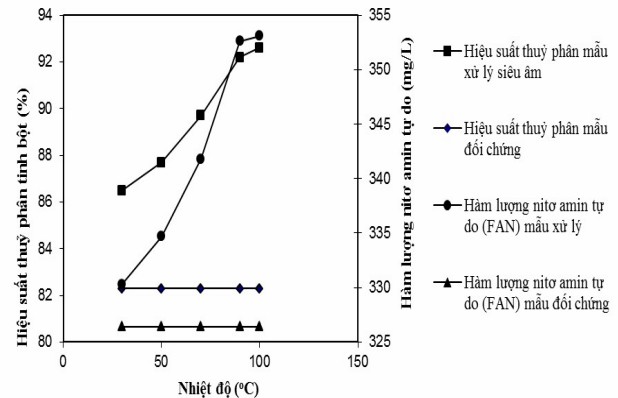
3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu quả xử lý siêu âm huyền phù bột gạo

Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu suất thủy phân tinh bột gạo và hàm lượng FAN khi xử lý siêu âm được trình bày ở hình 2. Kết quả cho thấy rằng ở nhiệt độ xử lý 30°C, hiệu suất thủy phân tăng từ 82,3% (mẫu không xử lý) đến 86,5%, độ tăng là 4,2%. Còn khi tăng nhiệt độ xử lý siêu âm từ 30°C đến 70°C, hiệu suất thủy phân tinh bột tiếp tục tăng lên đến 89,7%. Nếu tiếp tục tăng nhiệt độ xử lý lên cao hơn nữa (90°C) thì hiệu suất thủy phân đạt giá trị cao nhất (92,2%), độ tăng hiệu suất thủy phân so với mẫu đối chứng là 9,9%. Khi nhiệt độ xử lý siêu âm tăng đến 100°C thì hiệu suất tăng lên không đáng kể và không có sự khác biệt có nghĩa ($p\text{-value} > 0,05$).

Sự thay đổi áp suất cục bộ trong hỗn hợp huyền phù bột gạo khi xử lý siêu âm tạo nên hiện tượng nổ bong bóng, kết quả là hình thành nên lực cắt và gốc tự do $\text{OH}\cdot$ phá vỡ cấu trúc polymer tinh bột. Bên cạnh đó xử lý siêu âm còn làm tăng khả năng hồ hóa do protein, chất xơ và lipid tách khỏi bề mặt hạt tinh bột. Khi tăng nhiệt độ xử lý siêu âm sẽ làm tăng số lượng bong bóng cũng như làm giảm độ nhớt của huyền phù, giúp cho quá trình nổ bong bóng xảy ra mãnh liệt hơn [3, 6]. Khi tăng nhiệt độ xử lý siêu âm sẽ làm tăng số lượng bong bóng cũng như làm giảm độ nhớt của huyền phù, giúp cho quá trình nổ bong bóng xảy ra mãnh liệt hơn. Mặt khác, khi nhiệt độ tăng đến 70°C làm cho tinh bột hồ hoá nên sóng siêu âm tác động phân cắt mạch phân tử tinh bột sẽ hiệu quả hơn. Khi nhiệt độ tăng cao hơn nữa (90°C), khả năng phân cắt mạch polymer của sóng siêu âm tăng cao, hiệu suất thủy phân tinh bột đạt cực đại. Bởi vì tại nhiệt độ này, tinh bột đã bắt đầu dịch hóa và giải phóng ra các phân tử ở dạng tự do, tinh bột cũng được giải phóng khỏi protein, chất xơ và lipid, tạo điều kiện dễ dàng cho sự tiếp xúc của enzyme trong giai đoạn xử lý tiếp theo bởi enzyme α -amylase [7, 8]. Đây là nguyên nhân làm tăng hiệu suất thủy phân ở nhiệt độ cao.

Như đã biết, nitơ amin tự do là sản phẩm của quá trình thủy phân các thành phần có bản chất protein trong nguyên liệu gạo dưới tác dụng của enzyme Neutrase thêm vào trong quá trình xử lý dịch cháo. Trong hạt tinh bột, protein thường liên kết với các

hợp chất polysaccharide [4], và chất béo nên hạn chế sự di chuyển và tiếp xúc của enzyme protease với cơ chất [9]. Siêu âm có tính chất phân cắt không chọn lọc, phá vỡ tế bào và những liên kết trên để giải phóng protein cũng như làm thay đổi cấu trúc đại phân tử, tạo điều kiện dễ dàng cho enzyme protease xúc tác phản ứng thủy phân cơ chất. Vì vậy, hàm lượng nitơ amin tự do tăng khi xử lý siêu âm huyền phù bột gạo.



Hình 2. Ảnh hưởng nhiệt độ đến hiệu quả xử lý siêu âm (công suất siêu âm 30% amplitude, 225 w; thời gian 2 phút, Termamyl 0,1%v/w; AMG 0,3%v/w; Neutrase 0,05%v/w)

3.2. Ảnh hưởng của công suất siêu âm đến hiệu quả xử lý huyền phù bột gạo

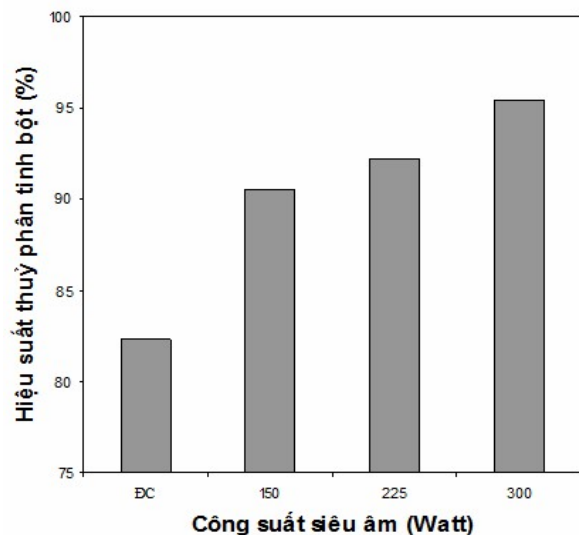
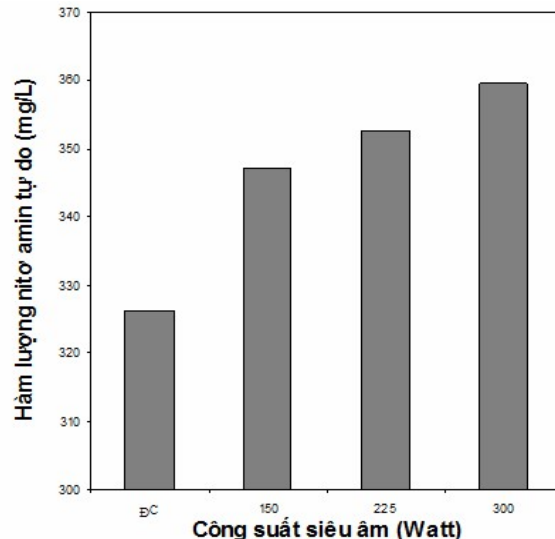
Tiến hành xử lý mẫu ở nhiệt độ 90°C với thời gian 2 phút. Công suất siêu âm được thay đổi theo 3 mức: 150 w, 225 w và 300 w. Kết quả đánh giá hiệu quả xử lý siêu âm sẽ được dựa trên hai thông số khảo sát là hiệu suất thủy phân tinh bột và hàm lượng nitơ amin tự do (Hình 3).

Như đã trình bày, sóng siêu âm tác dụng lên hạt tinh bột theo cơ chế cơ, lý, nhiệt và hoá học. Khi tăng công suất cũng đồng nghĩa với cường độ xử lý siêu âm tăng. Do đó, cường độ lực phân cắt và phá bung cấu trúc hạt tinh bột cũng hiệu quả hơn [6]. Có lẽ đây chính là nguyên nhân làm cho hiệu suất thủy phân tăng khi tăng năng lượng xử lý siêu âm. Kết quả nghiên cứu của Samir Kumar Khanal và cs (2007) [6] cho thấy hàm lượng đường khử có trong dịch thủy phân mẫu tinh bột bắp được xử lý siêu âm ở công suất 475 W cao hơn nhiều so với khi xử lý siêu âm ở công suất 274 W.

Hàm lượng nitơ amin tự do tăng khi tăng công suất xử lý siêu âm (Hình 3). Xử lý mẫu ở mức công suất cao nhất (300 w) làm tăng hàm lượng nitơ amin

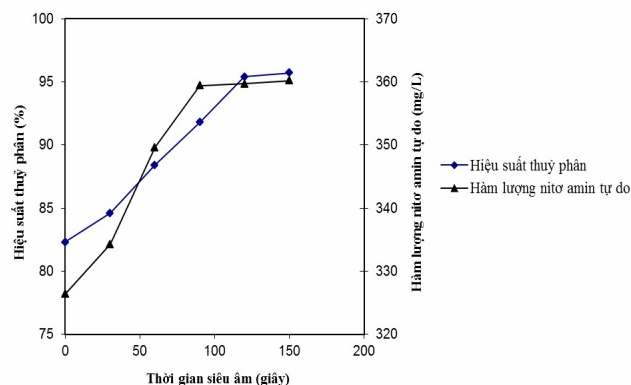
tự do thêm 10,2% so với mẫu không xử lý. Điều này có thể lý giải bởi bề mặt tiếp xúc giữa phân tử protein

có trong bột gạo với enzyme Neutrase thủy phân tăng lên do ảnh hưởng của quá trình xử lý siêu âm.



Hình 3. Ảnh hưởng của công suất đến hiệu quả xử lý siêu âm (nhiệt độ xử lý siêu âm 90°C; thời gian 2 phút, Termamyl 0,1%v/w; AMG 0,3%v/w; Neutrase, 0,05%v/w)

3.3. Ảnh hưởng của thời gian siêu âm đến hiệu quả xử lý huyền phù bột gạo



Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu quả xử lý siêu âm (nhiệt độ xử lý siêu âm 90°C; công suất 300 w, Termamyl 0,1%v/w; AMG 0,3%v/w; Neutrase, 0,05%v/w)

Ảnh hưởng của thời gian đến quá trình xử lý huyền phù bột gạo được trình bày ở hình 4. Kết quả cho thấy 120 giây (2 phút) là thời gian cần thiết để cho quá trình xử lý hỗn hợp huyền phù bột gạo đạt hiệu suất thủy phân tinh bột lớn nhất (tăng từ 82,3% lên đến 95,4%). Khi tiếp tục tăng thời gian xử lý hơn nữa, hiệu suất thay đổi không đáng kể và không có nghĩa theo phân tích ANOVA. Kết quả này chứng tỏ rằng xử lý siêu âm huyền phù bột gạo có tác dụng tích cực đến quá trình hồ hóa và đường hóa tinh bột. Như vậy, cần phải có một khoảng thời gian cần thiết đủ để sóng siêu âm tác động đến cơ chất, phá bung

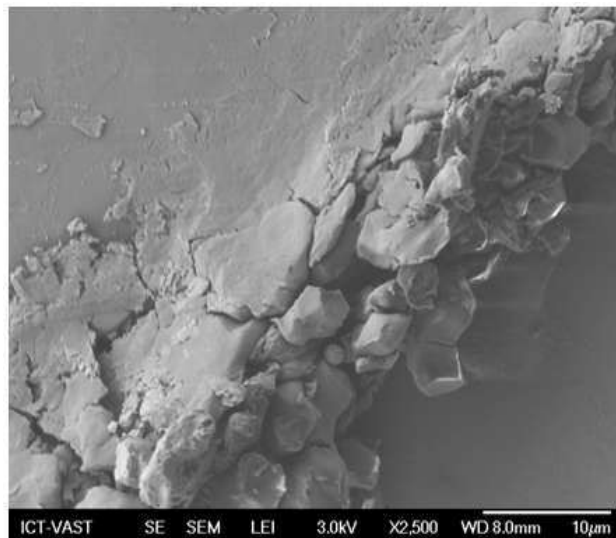
hạt tinh bột, giải phóng và làm giảm kích thước hạt tinh bột, phá vỡ liên kết giữa tinh bột với protein và chất béo, giúp lộ ra những vị trí tiếp xúc giữa enzyme và cơ chất. Từ đó tạo điều kiện cho phản ứng thủy phân tinh bột tiếp theo diễn ra nhanh và triệt để hơn.

Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng nitơ amin tự do đạt giá trị cực đại (359,5 mg/L) chỉ sau 90 giây xử lý, có nghĩa là tăng thêm 10,1% so với mẫu không xử lý (326,4 mg/L). Trong khi đó, nếu thời gian xử lý kéo dài hơn 90 giây, hàm lượng nitơ amin tự do thay đổi không có ý nghĩa về mặt xử lý thống kê. Như vậy chỉ cần khoảng thời gian 90 giây là có thể giải phóng protein liên kết với các hợp chất khác trong gạo (tinh bột và chất béo), cũng như phân cắt và làm thay đổi cấu trúc đại phân tử của protein.

3.4. Ảnh hưởng của xử lý siêu âm đến cấu trúc hiển vi hỗn hợp huyền phù bột gạo

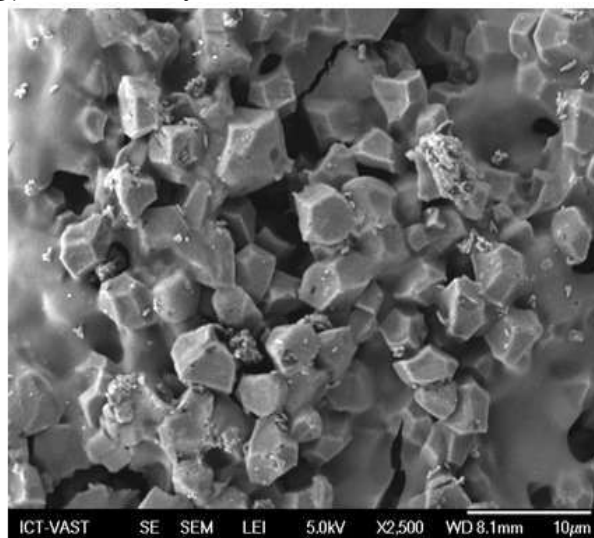
Tiến hành chụp hiển vi điện tử quét (SEM: Scanning Electron Micrograph) hỗn hợp huyền phù bột gạo (Hình 5). Đối với mẫu đối chứng (mẫu không xử lý siêu âm) (Hình 5A), cho thấy các tế bào bột gạo hầu như hoàn toàn không bị ảnh hưởng, các hạt tinh bột vẫn còn nằm trong màng tế bào. Với mẫu huyền phù bột gạo được xử lý siêu âm 120 giây (Hình 5B), cho thấy phần lớn hạt tinh bột thoát ra khỏi tế bào. Hạt tinh bột bị bể gãy và vỡ thành những mảnh có kích thước nhỏ hơn. Ở hình 5 cũng cho thấy các hợp chất đại phân tử bị tách ra khỏi tế bào hạt gạo. Như vậy, dưới tác dụng của sóng siêu âm, cấu trúc tế bào

bột gạo bị phá vỡ, giải phóng hạt tinh bột ra khỏi màng tế bào cũng như các hợp chất khác (chất xơ, protein), làm giảm kích thước hạt tinh bột. Kết quả là tạo điều kiện thuận lợi cho phản ứng thủy phân cơ chất (tinh bột và protein) có trong nguyên liệu gạo.



(A)

Một số kết quả chụp hiển vi của các tác giả khác cũng chứng minh rằng sóng siêu âm làm biến đổi cấu trúc tế bào và bề mặt hạt tinh bột. Kích thước hạt tinh bột giảm rõ rệt, cấu trúc tế bào bột bị phá vỡ [7], các hạt tinh bột thoát ra khỏi tế bào [3], protein thoát khỏi bề mặt các hạt tinh bột gạo sau khi xử lý siêu âm [8].



(B)

Hình 5. Hình ảnh điện tử quét hiển vi bột gạo và cấu trúc hạt tinh bột: (A) mẫu không xử lý; (B) mẫu xử lý siêu âm (120 giây, 300 w), Neutrase, 0,05%v/w)

4. KẾT LUẬN

Ứng dụng xử lý siêu âm bột gạo trong thời gian 120 giây với công suất 300 w ở nhiệt độ 90°C trước khi thực hiện quá trình hồ hoá, dịch hoá dưới sự xúc tác enzyme làm tăng rõ rệt hiệu suất thủy phân tinh bột gạo và hàm lượng nitơ amin tự do (16% và 10,2%, tương ứng). Như vậy, kết hợp xử lý siêu âm làm tăng đáng kể hiệu quả cho quá trình dịch hóa, từ đó có thể cải thiện hiệu suất lên men và giảm đáng kể chi phí sản xuất so với phương pháp truyền thống. Ứng dụng siêu âm để hỗ trợ cho quá trình thủy phân các hợp chất cao phân tử trong quá trình sản xuất thực phẩm hứa hẹn nhiều triển vọng trong tương lai. Tuy nhiên nghiên cứu cần được khảo sát với thiết bị siêu âm hiện đại với công suất lớn hơn để có cơ sở áp dụng vào trong thực tế sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Czechowska-Biskup, R., Rokita, B., Lotfy, S., Ulanski, P., & Rosiak, J. M. (2005). Degradation of chitosan and starch by 360-kHz ultrasound. *Carbohydrate Polymers*, 60(2), 175-184.

2. M. Aliyu, M. J. Hephher, Effects of ultrasound energy on degradation of cellulose material, *Ultrasonics Sonochemistry*, 7, 265-268.

3. Saoharit Nitayavardhana, Sudip Kumar Rakshit, David Grewell, J. (Hans) van Leeuwen, Samir Kumar Khanal (2008). *Ultrasound Pretreatment of Cassava Chip Slurry to Enhance Sugar Release for Subsequent Ethanol Production*, *Biotechnology and Bioengineering*, 101.

4. Linfeng Wang, Ya-Jane Wang (2004). Rice starch isolation by neutral protease and high-intensity ultrasound, *Journal of Cereal Science*, 39, 2004, 291-296.

5. Stephen Barton, Clive Bullock, and Deborah Weir (1996). The effects of ultrasound on the activities of some glycosidase enzymes of industrial importance, *Enzyme Microb. Technol.*, 18.

6. Samir Kumar Khanal, Melissa Montalbo, J. (Hans) van Leeuwen, Gowrishankar Srinivasan, David Grewell (2007). *Ultrasound Enhanced Glucose Release From Corn in Ethanol Plants*, *Biotechnology and Bioengineering*, 98, No. 5.

7. Michael T. Kinley, Jonathan, Bradley Krohn (2005). Biomass conversion to alcohol using ultrasonic energy, United States Patents.

8. Michael T. Kinley, Jonathan, Bradley Krohn (2009). Method for increasing starch level using sonication, United States Patents.

9. Satish D. Shewale, Aniruddha B. Pandit (2009). Enzymatic production of glucose from different qualities of grain sorghum and application of ultrasound to enhance the yield, Carbohydrate Research, 344, 52–60.

APPLICATION OF SONICATION TO IMPROVE THE HYDROLYSIS OF SUBSTRATES IN ETHANOL PRODUCTION

Dinh Huu Dong¹*, Huynh Thai Nguyen¹

¹Ho Chi Minh city University of Food Industry

** Email: dongdh@hufi.edu.vn*

Summary

In recent years, the application of ultrasound technology in various areas as biotechnology, chemistry as well as food process has widely attracted attentions from more and more researchers. In this study, ultrasonic was applied to treat the suspension of rice flour in ethanol production. The rice flour slurry was treated from 30 to 150 seconds at the three different powers (150 w, 225 w and 300 w). The yield of substrate hydrolysis was controlled by the starch hydrolysis yield and free amino nitrogen (FAN) concentration. The results indicated that optimal conditions were the time of 120 seconds and the power of 300 w before liquefaction and saccharification. In comparison with traditional treatment (nonsonication), ultrasonic treatment increased hydrolysis yield 16% and FAN concentration 10.2%. The integration of ultrasound into a rice-based ethanol plant may significantly improve the overall ethanol yield and reduce the cost of ethanol production.

Keywords: *Ethanol, hydrolysis, rice, saccharification, sonication, ultrasound.*

Người phản biện: TS. Trần Thị Mai

Ngày nhận bài: 26/8/2022

Ngày thông qua phản biện: 26/9/2022

Ngày duyệt đăng: 25/10/2022