

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG ĐIỀU KIỆN BÔNG HÓA BẰNG ENZYME TỚI HÌNH THÁI VÀ MÀU SẮC CỦA XƠ DỨA

STUDY THE EFFECTS OF COTTONIZATION CONDITIONS BY ENZYME ON THE MORPHOLOGY AND COLOR OF PINEAPPLE LEAF FIBERS

Chu Diệu Hương^{1,*}, Bùi Thị Phương Thanh¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huinh5804.2026.172>

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung đánh giá tác động của enzyme pectinase lên hình thái và màu sắc của xơ dứa (Pineapple Leaf Fiber - PALF) nhằm tìm ra giải pháp xử lý sinh học thân thiện với môi trường và hiệu quả. Xơ dứa thô được xử lý bằng pectinase trong các điều kiện thay đổi về thời gian, nồng độ và nhiệt độ. Kết quả cho thấy enzyme pectinase có khả năng phân hủy pectin, loại bỏ tạp chất và cải thiện đáng kể độ sạch, độ mịn, cũng như sự tách bó của xơ. Các yếu tố xử lý ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng xơ: (i) thời gian xử lý dài giúp màu sắc ổn định hơn, (ii) nồng độ 3 - 4% được đánh giá là tối ưu để vừa đảm bảo hiệu quả làm sạch vừa duy trì cấu trúc cơ học, (iii) nhiệt độ 30 - 40°C phù hợp nhất cho hoạt tính enzyme, tạo ra xơ đồng đều và ổn định màu sắc. So với mẫu chưa xử lý, xơ dứa sau xử lý bằng pectinase có độ sáng cao hơn, ít tạp chất hơn và tiềm năng ứng dụng lớn trong dệt may và vật liệu sinh học. Nghiên cứu khẳng định enzyme pectinase có thể coi là một giải pháp sinh học khả thi, hiệu quả và bền vững cho xử lý xơ dứa.

Từ khóa: Xơ dứa, pectinase, bông hóa, hình thái xơ, màu sắc xơ.

ABSTRACT

This study investigated the effects of pectinase enzyme on the morphology and color of pineapple leaf fibers (PALF), aiming to develop an environmentally friendly and efficient bioprocessing method. Raw fibers were treated with pectinase under varying conditions of time, concentration, and temperature. Results demonstrated that pectinase effectively hydrolyzed pectin, removed impurities, and significantly improved fiber cleanliness, smoothness, and bundle separation. Processing parameters strongly influenced fiber quality: (i) longer treatment times promoted greater color stability, (ii) enzyme concentrations of 3 - 4% were found to be optimal for achieving effective cleaning while preserving fiber integrity, and (iii) temperatures of 30 - 40°C were most suitable for enzyme activity, producing uniform fibers with stable coloration. Compared with untreated fibers, pectinase-treated PALF exhibited higher brightness, fewer impurities, and enhanced potential for applications in textiles and bio-based materials. The findings confirm that pectinase offers a viable, efficient, and sustainable approach for pineapple fiber processing.

Keyword: Pineapple leaf fibers, pectinase, cottonization, fibre morphology, fibre color.

¹Trường Vật liệu, Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: huong.chudieu@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 17/3/2026

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 09/5/2026

Ngày chấp nhận đăng: 29/6/2026

1. GIỚI THIỆU

Cùng với bối cảnh phát triển bền vững và nhu cầu sử dụng vật liệu thân thiện với môi trường ngày càng gia tăng, các loại xơ tự nhiên có nguồn gốc từ phụ phẩm nông nghiệp đang thu hút sự quan tâm đáng kể. Đặc biệt là ngành dệt may được coi tạo nhiều mối nguy hại đến hệ

sinh thái và sinh vật, do đó nguyên liệu xanh là xu thế đang được quan tâm. Các sản phẩm thời trang xanh được sản xuất từ các chất liệu có nguồn gốc thiên nhiên như tơ tằm, cây gai dầu, lyocell, xơ dứa, xơ dừa,... hay một số nguyên liệu tổng hợp xanh như các loại hạt nano bạc, hạt nano vàng,...[1, 2] đang ngày càng chiếm ưu thế. Hơn

nữ nguyên liệu từ thiên nhiên có nguồn gốc từ thực vật có hàm lượng cellulose cao (dao động từ 70 - 90%) [3, 4], hàm lượng hemicellulose, pectin, sáp,... do đó chúng được nhận định có độ bền tốt, giảm độ dài giãn nở, phục hồi hình dạng tốt và hút ẩm tốt [5].

Trong số đó, xơ dừa thu được từ lá cây dừa là một vật liệu tiềm năng nhờ vào hàm lượng cellulose cao, khả năng phân hủy sinh học và độ bền cơ học tốt. Hơn hết, cây dừa là một loại cây phổ biến ở Đông Nam Á và các vùng nhiệt đới, cận nhiệt đới đồng thời lá dừa là nguồn phế thải dồi dào. Zawari Daud và cộng sự [6] đã phân tích thành phần hóa học của lá dừa bằng các phương pháp khác nhau và nghiên cứu các đặc tính hình thái sợi của sợi lá dừa. Các phân tích cho thấy thành phần của xơ dừa gồm: 66,2% Cellulose (được phân tích bằng phương pháp Kurscher - Hoffner), 85,7% Holocellulose (được phân tích phương pháp Clo hóa), 19,5% Hemicellulose (phương pháp Clo hóa) và 4,2% hàm lượng lignin (theo phương pháp T22-om-98). Hemicellulose là polysaccharides trong thành tế bào thực vật có xương sống liên kết [5], vai trò sinh học quan trọng nhất của hemicellulose là sự góp phần vào việc tăng cường thành tế bào thông qua tương tác với cellulose và, ở một số thành, với lignin. Do đó nếu hàm lượng cellulose cao hay hàm lượng lignin cao dẫn đến độ bền xơ cũng tăng lên và khả năng kháng thủy phân tăng lên. Xơ dừa (PALF) có chứa lượng nguyên tố C tương đối cao: 73,13%; ngoài ra còn có các nguyên tố O (24,17%); N (2,7%); Ca; P; Fe; K; Mg; Cu;... Do đó, xơ dừa có nhiều thành phần hóa học như: α -cellulose (70 - 85%); pentosans; lignin; chất béo và sáp (3,3 và 4,2%); pectin (1,1 - 1,2%); chất nitơ; hàm lượng tro; mức độ polyme hóa; độ kết tinh của α -cellulose và chất chống oxy hóa [7]. Như vậy, xơ dừa có khả năng hấp thụ nước tốt do các nhóm hydroxyl từ các thành phần cellulose và hemicellulose. Do đó vật liệu chứa xơ PALF có tỷ lệ hấp thụ nước tăng, có thể lên đến 30% [8].

Nghiên cứu của Henrik Vibe Scheller và cộng sự [7], Nurhafizah Abu Talip Yusof và cộng sự [9] đều cho thấy hình thái cấu trúc xơ của lá dừa qua kính hiển vi điện tử quét (SEM), chứng minh được đường kính của các xơ cellulose ảnh hưởng đến tính chất cơ học của xơ. Các xơ có đường kính nhỏ hơn sở hữu các tính chất cơ học tốt hơn. Đường kính xơ càng nhỏ thì độ bền và modun càng cao vì các xơ càng mịn hơn thể hiện được tính năng vượt trội do mức độ sắp xếp chuỗi phân tử cao hơn và độ kết tinh tăng lên. Nurhafizah và cộng sự [9], cũng cho thấy sự sắp xếp lỏng lẻo giữa các xơ do các lỗ trống khí lớn đã làm giảm hàm lượng xơ trong lá dừa, và cũng làm tăng đường kính xơ.

Xơ dừa có thể được sản xuất dưới dạng sợi ngắn hoặc dài. Việc xơ dài có một số lợi thế so với xơ ngắn [10]. Xơ dài thích hợp để tạo ra vật liệu tổng hợp, cấu trúc một chiều và đồ thủ công. Xơ dài cũng dễ cắt thành các đoạn ngắn hơn khi cần. Các xơ này cũng giúp kéo sợi, thường tạo ra sợi chất lượng cao với độ bền, độ đều và độ mịn tốt hơn so với các loại sợi khác. Tính chất xơ dừa có thể thay đổi tùy theo tuổi cây, giống, phương pháp chiết xuất hoặc vị trí trên lá (phần dưới, giữa và trên của lá). Mengkaji và cộng sự chỉ ra rằng [11], các hình thái, kích thước và tính chất cơ học của các bó xơ được chiết xuất từ các bộ phận khác nhau thì khác nhau. Xơ dừa có các xơ cơ bản kích thước micron mét, các xơ ấy có kích thước và hình dạng tương tự nhau. Kích thước và tính chất của bó xơ thay đổi từ đầu dưới của lá lên đầu trên của lá. Xơ vi mô lá dừa được phát hiện có đường kính nhỏ hơn các sợi tự nhiên khác. Chúng rất dày và cấu trúc thay đổi tùy theo vị trí dọc lá dừa. Ở đầu dưới cùng của xơ có thể quan sát thấy một lỗ trung tâm hoặc lỗ rỗng lớn. Ở đầu trên cùng của xơ lỗ rỗng gần như không được phát hiện.

Những đặc điểm này rất quan trọng không chỉ để lựa chọn các phương pháp xử lý phù hợp mà còn để hiểu rõ hơn về tiềm năng ứng dụng của chúng trong vật liệu composite [12]. Việc xử lý xơ dừa thông thường bao gồm hai bước: xử lý thô cơ học và khử keo hóa học, dẫn đến các vấn đề bất lợi như mất sợi, chất lượng sợi kém và ô nhiễm môi trường. Trong phương pháp hóa học, người ta đã tìm ra cách xử lý keo hiệu quả bằng kiềm hoặc enzyme. Việc xử lý vật liệu composite PALF/PE bằng NaOH và KOH có hiệu quả trong thay đổi bề mặt xơ. Sau khi sợi được ngâm trong dung dịch kiềm (NaOH hoặc KOH), các thành phần của xơ như hemicellulose, lignin, pectin và tạp chất bề mặt... sẽ bị loại bỏ khỏi bề mặt xơ, giúp liên kết cơ học tốt hơn với các polyme trong thành phần composite, đồng thời độ trắng của xơ PALF cũng tăng nhẹ. Độ bền nén của vật liệu được cải thiện 38,5% và 50% khi hàm lượng xơ dừa tăng từ 25wt% đến 45wt%. Độ bền nén cao nhất được ghi nhận với mẫu chứa 45 wt% xơ dừa [12].

Một quy trình xử lý xơ dừa đơn giản và hiệu quả, sử dụng các enzym thô từ quá trình lên men *B. subtilis* XW-18 [13]. Trong nghiên cứu này một quy trình chế biến PALF đơn giản và hiệu quả, không cần xử lý trước và tẩy trắng sau đó, đã đạt được thành công thông qua việc tiêm tại chỗ *Bacillus Subtilis* XW-18 vào lá dừa tươi. Kết quả của nghiên cứu này chứng minh rằng 70% lá thích hợp để khử xơ. Năng suất xơ cao nhất thu được từ lá ở tầng giữa và tầng trên của cây, với giá trị lần lượt là 8,98 và 12,4g. Thời gian xử lý bằng phương pháp cơ học ngắn hơn, hiệu quả

hơn phương pháp thủ công 22 lần. Nhờ sự kết hợp lý tưởng của các enzyme, cấu trúc sợi được phân tán rõ ràng và đạt đến vẻ ngoài màu trắng [13].

Ngoài ra, một phương pháp xử lý phổ biến và sinh thái hơn là sử dụng enzyme như pectinase [14, 15]. Enzyme pectinase là một nhóm enzyme thủy phân pectin, sản phẩm của quá trình này là acid galacturonic, galactose, arabinose, methanol... đây là một nhóm enzyme được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp chỉ đứng sau amylase và protease. Enzyme pectinase làm thủy phân axit galacturonic từ pectin có trong PALF, phân hủy các polysaccharides như pectin, hemicellulose, và cellulose trong thành tế bào thực vật. Việc xử lý các xơ tự nhiên có liên quan đến bản chất ưa nước của chúng. Các nghiên cứu này đã đánh giá tính một số tính chất cơ lý của xơ dừa sau khi xử lý bằng kiềm và enzyme, tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào đề cập đến ngoại quan và đặc biệt là sự thay đổi màu sắc của xơ dừa sau xử lý, mặc dầu đây cũng là yếu tố quan trọng liên quan đến hiệu quả xử lý bông hóa xơ cũng như khả năng sử dụng xơ trong công nghiệp dệt may.

Từ những vấn đề nêu trên, có thể thấy rằng việc tìm kiếm một phương pháp xử lý xơ dừa hiệu quả, thân thiện với môi trường và có tính ứng dụng cao là rất cần thiết. Việc sử dụng enzyme pectinase để loại bỏ pectin trong xơ dừa không chỉ giúp cải thiện chất lượng xơ mà còn giảm thiểu tác động tiêu cực của các phương pháp hóa học truyền thống. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá tác động của enzyme pectinase lên hình thái và màu sắc của xơ dừa khi thay đổi điều kiện xử lý như nhiệt độ, thời gian và nồng độ enzyme, từ đó đề xuất một giải pháp sinh học khả thi để ứng dụng trong công nghiệp dệt, sản xuất vật liệu và các lĩnh vực liên quan. Kết quả của nghiên cứu sẽ góp phần mở rộng hiểu biết về ứng dụng enzyme trong công nghệ chế biến sợi thực vật và hướng đến các quy trình sản xuất bền vững hơn.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Xơ dừa được cung cấp bởi công ty Ecofa, Việt Nam, dưới dạng các bó xơ thô. Chuẩn bị các mẫu xơ dừa có khối lượng 2g, chiều dài 20cm. Enzyme pectinase được cung cấp bởi TNT Co.Ltd. (Việt Nam) và sử dụng nước cốt chanh để điều chỉnh độ pH.

2.2. Nội dung nghiên cứu

- Xơ dừa thô và xơ sau xử lý được phân tích hình ảnh cấu trúc và đánh giá màu sắc.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian (2h, 4h, 6h, 8h) tới hình thái cấu trúc và màu sắc của xơ dừa khi xử lý bằng

enzyme pectinase với nồng độ 3%, pH = 5 ở nhiệt độ 30°C.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ enzyme (2%, 3%, 4%, 5%) tới hình thái cấu trúc và màu sắc của xơ dừa xử lý trong thời gian 4h, pH = 5 và nhiệt độ 30°C.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ (20°C, 30°C, 40°C, 50°C) tới hình thái cấu trúc và màu sắc của xơ dừa xử lý enzyme pectinase 3%, pH = 5, trong thời gian 4h.

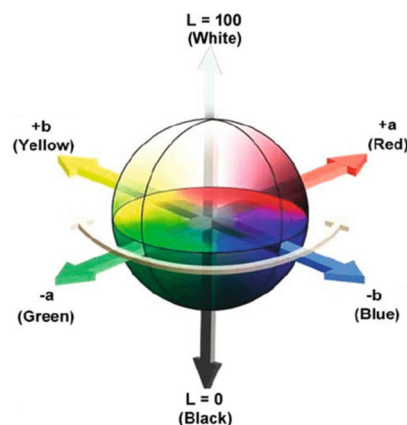
2.3 Phương pháp đánh giá

2.3.1. Phân tích hình thái

Xơ trước và sau khi xử lý sẽ được đánh giá hình thái học, bề mặt xơ, đo đường kính của xơ, dưới các độ phóng đại 100x, 400x bằng kính hiển vi quang học Kruss (CHLB Đức) tại Trung tâm thí nghiệm vật liệu dệt may, Đại học Bách khoa Hà Nội.

2.3.2. Màu sắc

Mẫu được đánh giá dựa vào không gian màu CIELAB (hay CIE $L^* a^* b^*$) cho phép đo lường và so sánh màu chính xác, với trục L^* (vuông góc với mặt phẳng trục $a^* b^*$) đánh giá độ sáng: $L^* = 100$ thể hiện vật hoàn toàn trắng, $L^* = 0$ là vật hoàn toàn đen. Trục a^* thể hiện ánh đỏ-xanh lá và trục b^* đo ánh vàng - xanh dương (hình 1). Các mẫu xơ được đánh giá màu bằng máy đo màu quang phổ X-Rite Ci4200 (Trung tâm thí nghiệm vật liệu dệt may, Đại học Bách khoa Hà Nội).



Hình 1. Không gian màu CIELAB

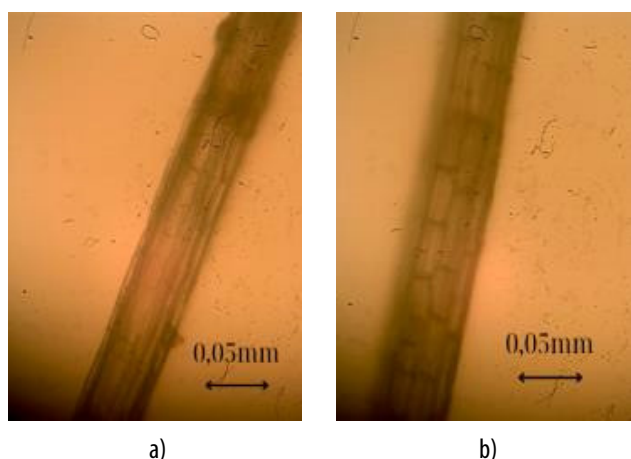
3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ BÀN LUẬN

3.1. Xác định hình thái và màu sắc của xơ dừa chưa xử lý

3.1.1. Hình thái

Với độ phóng đại 400x (hình 2a và 2b), có thể thấy rõ một xơ dừa kỹ thuật có hình dạng ống dài, thành xơ dày và bề mặt xuất hiện các đường vân dọc rõ nét (hình 2a), là dấu hiệu của các lớp xơ cellulose được xếp chồng lên

nhau. Hình ảnh còn cho thấy các đoạn cấu trúc dạng ô chữ nhật nhỏ có thể là các lõi rỗng của các xơ cơ bản (hình 2b). Kích thước ngang của xơ kỹ thuật khoảng 0,05mm. Kích thước ngang của các lõi rỗng khoảng 0,01mm (hình 2b). Bề mặt xơ không hoàn toàn trơn nhẵn mà có các rãnh nhỏ chạy dọc theo chiều dài, đặc trưng của xơ tự nhiên. Một số vùng có thể thấy sự không đồng đều nhẹ về bề dày của thành sợi, có thể do sự phân bố không hoàn hảo của lignin. Cấu trúc thành sợi dày và các lớp mô sắp xếp chặt chẽ giúp sợi có độ bền kéo cao, lý tưởng để làm vật liệu chịu lực như dây thừng. Đường kính bó xơ dao động khá nhiều từ 0,5mm đến độ cao nhất là 2,7mm.

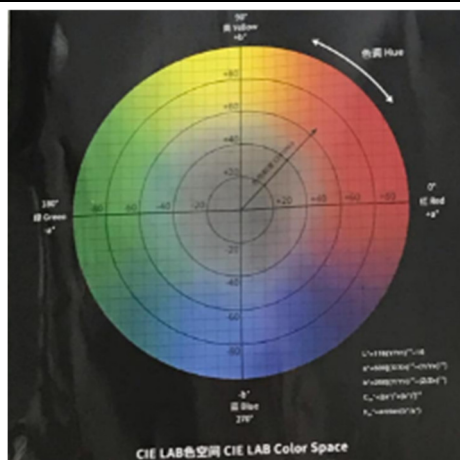


Hình 2. Hình ảnh cấu trúc của xơ dừa chưa được xử lý được chụp ở độ phóng đại 400x

3.1.2. Màu sắc

Bảng 1. Kết quả độ sáng L, giá trị a, b và độ trắng, độ vàng của mẫu xơ chưa xử lý

Mẫu	L	a	b	White	Yellow
Xơ dừa chưa xử lý	66,16	-0,77	21,02	-92,67	46,37



Hình 3. Vòng tròn màu CIELAB

Mẫu chưa qua xử lý có độ sáng L tương đối thấp 66,16, giá trị a và b cho thấy màu sắc của mẫu nằm ở vị trí góc

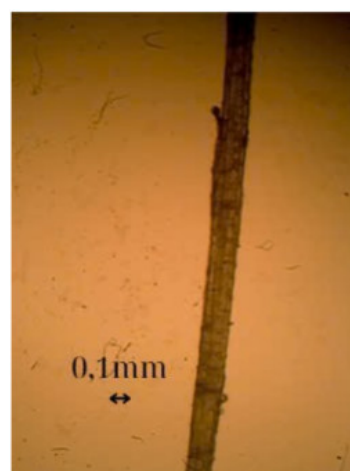
phần tư thứ II (hình 3), độ trắng rất thấp -92,67 và độ vàng tương đối cao 46,37 (bảng 1). Như vậy, xơ dừa chưa qua xử lý có màu sắc tương đối kém sáng và ngả về màu xanh nhiều do chưa xử lý được hết chất diệp lục trên xơ và xơ còn bám tương đối nhiều tạp chất, phù hợp quan sát trên ảnh chụp xơ (hình 4).



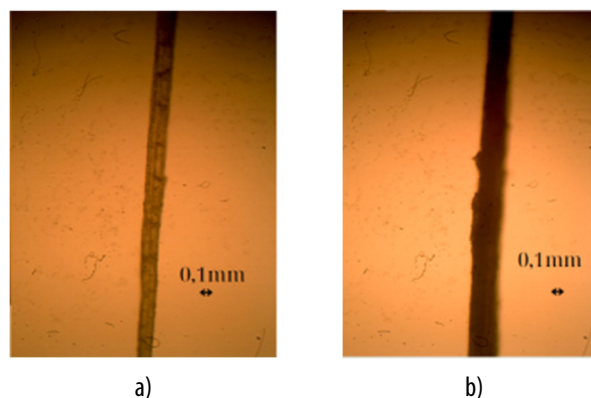
Hình 4. Xơ dừa thô chưa xử lý

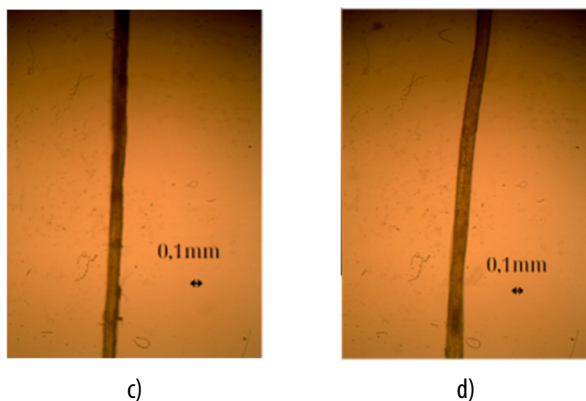
3.2. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến hình thái và màu sắc của xơ dừa

3.2.1. Hình thái



Hình 5. Cấu trúc xơ dừa chưa xử lý ở độ phóng đại 100x





Hình 6. Hình ảnh cấu trúc xơ dừa ở độ phóng đại 100x sau khi xử lý bằng enzyme pectinase thay đổi thời gian: a) 2h, b) 4h, c) 6h, d) 8h

Trong quá trình xử lý xơ dừa với enzyme pectinase 3%, pH = 5, ở nhiệt độ 30°C và thời gian tăng dần từ 2 đến 8 giờ, có thể quan sát thấy sự biến đổi rõ rệt về cấu trúc, độ sạch và sự tách bó xơ.

Enzyme pectinase chủ yếu tác động lên thành phần pectin liên kết giữa các tế bào xơ, giúp phá vỡ lớp keo và hỗ trợ tách rời bó xơ. Xơ dừa sau xử lý bằng enzyme pectinase vẫn giữ hình dạng ống dài, tuy nhiên thành xơ mỏng hơn so với mẫu chưa xử lý. Các đường vân dọc trên bề mặt xơ trở nên rõ ràng hơn, cho thấy sự bóc tách giữa các lớp cellulose. Các lõi rỗng dạng ô chữ nhật nhỏ giữa các xơ cơ bản xuất hiện rõ nét hơn khi thời gian xử lý lâu hơn và có xu hướng rộng ra, do sự phân hủy chất nền pectin liên kết giữa các bó xơ, trong khi kích thước ngang của xơ giảm đi, có thể do lớp keo bị bào mòn đi.

3.2.2. Màu sắc

Bảng 2. Bảng kết quả đo độ trắng, độ vàng và kết quả tính toán delta E của mẫu thử theo thời gian

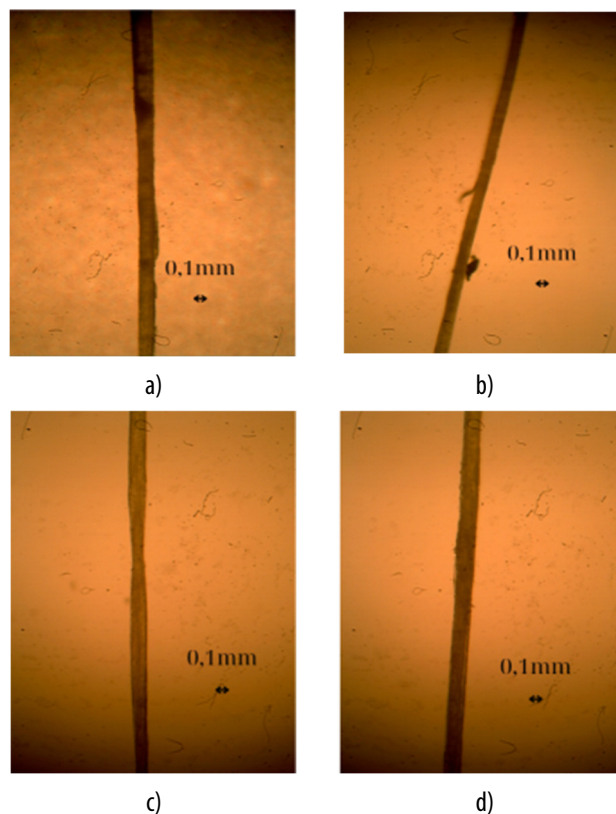
Thời gian	L	White	Yellow	Delta E
2h	76,38	-52,33	40,95	10,75
4h	74,69	-65,62	44,09	8,84
6h	74,98	-53,69	39,34	9,28
8h	73,43	-59,38	41,22	7,88

Quá trình xử lý bằng pectinase tác động đến cấu trúc xơ, làm thay đổi khả năng phản xạ ánh sáng dẫn đến biến động về độ trắng và độ vàng - mẫu xơ dừa trở nên tối màu hơn khi xử lý lâu hơn. Ban đầu, độ trắng thấp và độ vàng cao. Khi thời gian tăng lên, đặc biệt ở mốc 4 giờ, độ trắng giảm mạnh nhất trong khi độ vàng tăng. Tuy nhiên, sau đó, độ trắng có xu hướng tăng trở lại ở mốc 6 giờ rồi lại giảm nhẹ ở 8 giờ. Độ vàng lại có xu hướng giảm rồi tăng trở lại. Tuy nhiên, so với mẫu chưa xử lý chúng đều có độ chênh lệch đáng kể và delta E đều lớn hơn 1. Do đó chúng dễ dàng

nhận biết được bằng mắt thường giữa mẫu chưa qua xử lý và đã qua xử lý. Điều này cho thấy, mặc dù độ trắng và độ vàng có những biến động riêng, nhưng tổng thể màu sắc của xơ dừa có xu hướng tiến gần hơn đến một trạng thái màu sáng ổn định hơn sau thời gian xử lý dài hơn.

3.3. Ảnh hưởng của nồng độ xử lý đến hình thái và màu sắc của xơ dừa

3.3.1. Hình thái



Hình 7. Hình ảnh cấu trúc xơ dừa ở độ phóng đại 100x sau khi xử lý bằng enzyme pectinase thay đổi nồng độ (a) 2%, b) 3%, c) 4%, d) 5%

Cấu trúc của xơ dừa trên hình 7 cho thấy rằng nhìn chung xơ dừa đã qua xử lý đều có bề mặt xơ mịn hơn rõ rệt, ít tạp chất hơn, thể hiện sự sạch sẽ và đồng nhất hơn khi tăng nồng độ enzyme. Khi tăng nồng độ enzyme (từ 2% → 5%), xơ dừa có xu hướng: xơ tách rõ rệt hơn, cấu trúc trở nên đều và thẳng hơn, lượng tạp chất bám trên bề mặt giảm dần, chứng tỏ enzyme đã loại bỏ các thành phần không mong muốn (như pectin, hemicellulose), độ đồng đều của xơ cải thiện rõ rệt, giúp dễ dàng quan sát xơ riêng lẻ. Như vậy enzyme pectinase có khả năng phân hủy pectin và một phần hemicellulose - đây là chất gắn kết giữa các vi sợi cellulose và tạp chất. Ở nồng độ thấp (2%): hiệu quả loại bỏ tạp chất chưa cao, bề mặt xơ còn lẫn nhiều thành phần không mong muốn. Ở nồng độ trung bình (3%): bề mặt xơ đã sạch hơn đáng kể, các sợi cellulose hiện rõ, tạo độ mịn và đồng đều. Ở nồng độ cao

hơn (4% - 5%): hiệu quả làm sạch và tách sợi càng mạnh, giúp cấu trúc sợi rõ ràng và phù hợp hơn cho ứng dụng trong dệt may.

Đồng thời có thể thấy kích thước xơ gần như không thay đổi so với xơ dừa trước khi xử lý. Tuy nhiên, cũng có thể thấy sự khác biệt giữa các xơ được xử lý ở nhiều nồng độ khác nhau. Có thể kết luận rằng, việc tăng nồng độ enzyme giúp tăng hiệu quả làm sạch và tách sợi, song cần cân nhắc để tránh lãng phí hóa chất hoặc làm ảnh hưởng đến tính chất cơ học của xơ nếu xử lý quá mạnh.

3.3.2. Màu sắc

Bảng 3. Bảng kết quả đo độ trắng, độ vàng và kết quả tính toán delta E của mẫu thử phụ thuộc vào nồng độ (2% - 5%)

Nồng độ	L	White	Yellow	Delta E
2%	74,73	-54,29	40,34	9,21
3%	74,62	-27,80	30,76	11,40
4%	75,41	-47,03	37,18	9,98
5%	76,65	-56,76	41,43	10,66

Từ bảng 3 cho thấy, khi nồng độ tăng từ 2% đến 5% thì bề mặt xơ sáng hơn và xơ có xu hướng vàng hơn. Như vậy enzyme pectinase phá vỡ pectin và tạp chất bám trên xơ, làm bề mặt xơ sáng hơn (thể hiện ở L tăng dần). Ở nồng độ 3%, có thể xảy ra hiện tượng tẩy rửa mạnh hơn đối với một số thành phần màu, làm giảm độ vàng rõ rệt (Yellow thấp nhất). Tuy nhiên, đồng thời làm biến đổi lớn về màu sắc nên Delta E cao nhất. Ở nồng độ 4%, hệ màu của mẫu tương đối ổn định: độ trắng và vàng cân bằng hơn, Delta E nhỏ nhất, màu sắc ít khác biệt và ổn định hơn. Ở 5%, mặc dù xơ sáng nhất (L cao nhất), nhưng độ vàng cũng tăng lên, dẫn đến Delta E tăng trở lại.

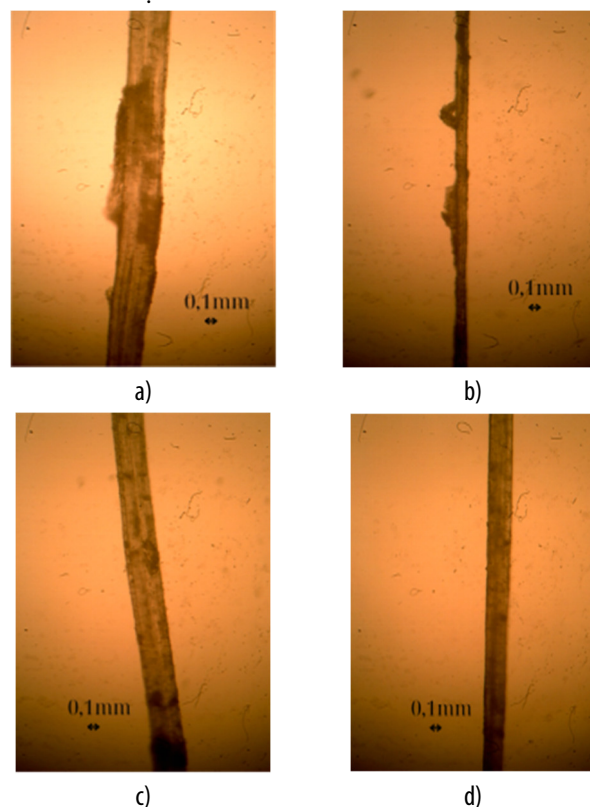
Tuy nhiên, so với mẫu chưa xử lý chúng đều có độ chênh lệch đáng kể độ sáng L tăng 10,4 đơn vị, độ sáng tăng 64,87 đơn vị, độ vàng giảm 15,61 đơn vị và delta E đều lớn hơn 1. Do đó chúng dễ dàng nhận biết được bằng mắt thường giữa mẫu chưa qua xử lý và đã qua xử lý. Như vậy có thể kết luận rằng nồng độ 3% là nồng độ lý tưởng để xử lý.

3.4 Ảnh hưởng của nhiệt độ tới hình thái và màu sắc của xơ dừa

3.4.1. Hình thái

Hình 8 cho thấy, cấu trúc của xơ dừa khi thay đổi nhiệt độ từ 20 lên 50°C có sự thay đổi rõ rệt của cấu trúc xơ, cụ thể: Từ 20°C đến 40°C, sự thay đổi hình thái cho thấy hiệu quả xử lý ngày càng tăng: tạp chất giảm dần, xơ được tách rời và đồng đều hơn. Ở 50°C, có thể đã đạt đến giới hạn nhiệt độ tối ưu nhưng để lại tổn thương bề mặt xơ (các vùng gợn nhẹ hoặc xù lông). Nhiệt độ khoảng 30 - 40°C

có vẻ là phù hợp nhất để đạt được cấu trúc xơ đồng đều, sạch và ít hư hại.



Hình 8. Hình ảnh cấu trúc xơ dừa ở độ phóng đại 100x sau khi xử lý bằng enzyme pectinase thay đổi nhiệt độ (a) 20°C, b) 30°C, c) 40°C, d) 50°C

Hơn nữa, có thể thấy, kích thước xơ sau xử lý cũng không có thay đổi so với trước xử lý. Xơ dừa sau xử lý vẫn giữ hình dạng ống dài, thành xơ có xu hướng mỏng hơn so với mẫu chưa xử lý. Các đường vân dọc trên bề mặt xơ hiện rõ, cho thấy sự phân rã và bóc tách giữa các lớp cellulose mạnh hơn. Các lõi rỗng dạng ô chữ nhật nhỏ trở nên rõ nét và phân bố đều hơn, cho thấy hiệu quả phá vỡ các liên kết pectin giữa các xơ cơ bản.

3.4.2. Màu sắc

Bảng 4. Bảng kết quả độ trắng, vàng và delta E của xơ dừa ở các mức xử lý nhiệt độ khác nhau

Nhiệt độ	L	White	Yellow	Delta E
20°C	73,18	-64,28	42,29	7,37
30°C	74,74	-55,32	39,94	9,02
40°C	73,75	-59,32	41,75	8,18
50°C	76,36	-52,45	40,44	10,61

Kết quả ở bảng cho thấy nhiệt độ xử lý có ảnh hưởng rõ rệt đến màu sắc của xơ dừa sau khi xử lý bằng enzyme pectinase. Ở 20°C, enzyme hoạt động yếu nên xơ có độ sáng thấp (L = 73,18), độ trắng cao nhưng hiệu quả làm sạch chưa rõ rệt, tuy nhiên màu sắc khá ổn định (Delta E = 7,37). Khi tăng nhiệt độ lên 30 - 40°C, hoạt tính enzyme

được phát huy tốt hơn, giúp loại bỏ tạp chất, làm xơ sạch và sáng hơn, đồng thời các chỉ số màu ở mức cân bằng với Delta E trung bình (8 - 9). Ở 50°C, độ sáng đạt giá trị cao nhất (L = 76,36) nhưng độ trắng giảm, Delta E tăng mạnh (10,61) cho thấy màu sắc kém ổn định do enzyme bị giảm hoạt tính và cấu trúc xơ bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ cao.

Với độ vàng thấp nhất 39,94 ở 30°C và cũng ở nhiệt độ này độ trắng, delta E và độ sáng L cũng ổn định ở vị trí thứ 2, là lựa chọn thích hợp để xử lý vừa đảm bảo hiệu quả làm sạch vừa duy trì trạng thái màu ổn định mà đồng thời cũng không làm tổn thương xơ.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chứng minh được hiệu quả của enzyme pectinase trong việc xử lý xơ dứa, góp phần cải thiện đáng kể hình thái và màu sắc của xơ. Trong giới hạn của nghiên cứu này, kết quả cho thấy:

- Enzyme pectinase có khả năng phân hủy pectin, loại bỏ tạp chất bám trên bề mặt xơ, giúp xơ sạch hơn, mịn hơn và tách bó rõ rệt hơn.

- Các yếu tố xử lý như thời gian, nồng độ và nhiệt độ đều ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng xơ:

- Thời gian xử lý dài giúp màu sắc tiến dần đến trạng thái ổn định.

- Nồng độ 3 - 4% được đánh giá là tối ưu, vừa đảm bảo hiệu quả làm sạch, vừa duy trì cấu trúc cơ học của xơ.

- Nhiệt độ 30 - 40°C phù hợp nhất để enzyme hoạt động hiệu quả, giúp xơ đạt được trạng thái đồng đều và ổn định màu sắc.

- So với mẫu chưa xử lý, xơ dứa sau xử lý bằng pectinase có độ sáng cao hơn, ít tạp chất, màu sắc ổn định hơn và tiềm năng ứng dụng trong dệt may cũng như các lĩnh vực vật liệu sinh học là rất lớn.

Như vậy, enzyme pectinase là một giải pháp sinh học thân thiện môi trường, hiệu quả và bền vững trong xử lý xơ dứa, mở ra hướng ứng dụng tiềm năng trong công nghiệp dệt và sản xuất vật liệu xanh tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Selin H. E., "Greening of the Textile and Clothing Industry," *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 95(6):22-27, 2012.
- [2]. Sapana J., Anurakshree V., Rizwan A., "Chapter 22 - Green synthesis of nanomaterials for textile applications," *Green Chemistry for Sustainable Textiles, Modern Design and Approaches, The Textile Institute Book Series*, 313-324, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85204-3.00016>
- [3]. Clark M., "Handbook of Textile and Industrial Dyeing," *Woodhead Publishing Series in Textiles, Chapter Dyeing of cellulosic fibers*, 2, 307-316, 2011.

- [4]. Deepjyoti D., Dhruvajyoti K., Raja S., Bikramjit D., "Shear strength improvement of sanday soil using coconut fibre," *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET)*, 7 (3), 297-305, 2016.

- [5]. Leila D., Abdalla H. K., Majid S., Wahab O. A., Carey J. S., Lee D. W., "Flax Biomass Conversion via Controlled Oxidation:Facile Tuning of Physicochemical Properties," *Bioengineering*, 7 (38), 2020. <https://doi.org/10.3390/bioengineering7020038>

- [6]. Zawari D., Mohd Z. M. H., Angzaz S. M. K., Ashuvila M. A., "Analysis of the Chemical Compositions and Fiber Morphology of Pineapple (Ananas comosus) Leaves in Malaysia," *Journal of Applied Sciences*, 14 (12), 2014. DOI: 10.3923/jas.2014.1355.1358

- [7]. Henrik V. S., Peter U., "Hemicelluloses," *Annual Review of Plant Biology*, 61(1), 263-289, 2010. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112315>

- [8]. Mohau J. P., Mfiso M., Julia P. M., Zikhona T.N., "Chemical, thermal and morphological properties of polybutylene succinate-waste pineapple leaf fibres composites," *Heliyon*, 9 (11), 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21238>

- [9]. Nurhafizah A. T. Y., Norazwina Z., Nor H. A., Mohamad S. A. K., "Effect of Fiber Morphology and Elemental Composition of Ananas comosus Leaf on Cellulose Content and Permittivity," *Current Applied Science and Technology*, 23 (6), 2023. DOI: <https://doi.org/10.55003/cast.2023.06.23.002>

- [10]. Asim M., Khalina A., M. Jawaid, M. Nasir, Zahra D., M. R. I., M. Enamul H., "A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites," *International Journal of Polymer Science*, 6, 2015. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/950567>

- [11]. Mengkaji S. M., Mikrostruktur S. S. S., Daun N. M. P., "Revisiting the Morphology Microstructure, and Properties of Cellulose Fibre from Pineapple Leaf so as to Expand Its Utilization," *Sains Malaysiana*, 48 (1), 145-154, 2019. <http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2019-4801-17>.

- [12]. Senthilkumar K., Saba N., Chandrasekar M., Jawaid M., Rajini N., Suchart S., Nadir A., Faruq Mohammad, Hamad A. Al-Lohedan., "Compressive, dynamic and thermo-mechanical properties of cellulosic pineapple leaf fibre/polyester composites: Influence of alkali treatment on adhesion," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 106, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102823>

- [13]. Jieying P. L. H., Minghui T., Jianhao F., Kuntai L., "A simplified and efficient preparation process of pineapple leaf fibers via in-situ-retting and degumming by *Bacillus subtilis* XW-18," *Industrial Crops and Products*, 206, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117739>.

- [14]. Lestari W., Noerati, "Effect of Enzymatic Treatment on the Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fibre," in *Proceeding Indonesian Textile Conference*, 1, 2019

- [15]. Ece K., Arzu Y., Ozan A., Melek G., "The effects of pectinase enzyme treatment on the hydrophilicity properties of pineapple fabrics," in *International Conference on Advances in Science and Arts*, Istanbul, Turkey, 2017.

AUTHORS INFORMATION

Chu Dieu Huong, Bui Thi Phuong Thanh

School of Materials Science and Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam