NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ ĐẶC TRƯNG TÍNH CHẤT CỦA MÀNG CHITOSAN/TEMPO-CELLULOSE NANOCOMPOSITE

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CHITOSAN/TEMPO-CELLULOSE NANOCOMPOSITE FILMS

Nguyễn Đức Hải[2], Đào Ngọc Thùy[2], Ngô Trịnh Tùng[1], Trịnh Đức Công[1], Trần Thị Nữ[3], Trần Thị Thanh Hợp[1], Đặng Thị Mai[1], Nguyễn Thị Thức[1], Trần Thị Ý Nhi[1,*]

DOI: https://doi.org/10.57001/huih5804.2026.067

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo màng biopolymer nanocomposite trên cơ sở chitosan (CTS) và nanocellulose được chế tạo bằng phương pháp oxi hóa TEMPO (ONC). Màng polymer sinh học được chế tạo bằng phương pháp đổ khuôn dung dịch. Phân tích hình thái học bề mặt (SEM), phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) và giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) xác nhận sự tương tác giữa các thành phần và cấu trúc màng biopolymer nanocomposite sinh học ổn định, dẫn đến tính chất cơ lý của màng cải thiện rõ rệt so với màng CTS và ONC ban đầu, độ bền kéo đạt 69,6 ± 2,6MPa, độ giãn dài khi đứt 44,6 ± 1,1% và mô đun đàn hồi 1800 ± 50MPa.

Từ khóa: *Chitosan, TEMPO-Oxidized nanocellulose, biopolymer nanocomposite.*

ABSTRACT

This study focuses on the fabrication of biopolymer nanocomposite films derived from chitosan (CTS) and nanocellulose prepared by TEMPO-oxidized method (ONC). The biopolymer film was prepared by solution casting method... The structure and properties of the biopolymer nanocomposites were characterized by scanning electron microscopy (SEM), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and X-ray diffraction (XRD) analyses. The results confirmed the interaction between components and the formation of a stable nanocomposite structure. The obtained biopolymer nannocomposite possesses the tensile strength of 69,6 ± 2,6MPa, the E-module of 1800 ± 50MPa, and the elongation at break of 44,6 ±1,1%.

Keywords: *Chitosan, TEMPO-Oxidized nanocellulose, biopolymer nanocomposite.*

[1]Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
[2]Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội
[3]Trường Đại học Y Dược Thái Bình
[*]Email: ynhivh@gmail.com
Ngày nhận bài: 05/11/2025
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/01/2026
Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh ô nhiễm môi trường do rác thải nhựa ngày càng gia tăng, việc nghiên cứu và phát triển các vật liệu bao bì có khả năng phân hủy sinh học, thân thiện với môi trường, đang là xu hướng tất yếu trong ngành công nghiệp thực phẩm. Một hướng tiếp cận tiềm năng là sử dụng các polysaccharide tự nhiên để chế tạo màng sinh học ứng dụng trong y sinh, thực phẩm và bao bì… Chitosan và cellulose, nhờ sở hữu những đặc tính ưu việt, là hai polysaccharide được quan tâm và nghiên cứu nhiều nhất [1, 2].

Về mặt cấu trúc hóa học, chitin/chitosan và cellulose đều là polysacharide mạch thẳng, chỉ khác nhau ở nhóm chức gắn với C_2: Chitosan gắn với nhóm NH_2 (Chitin là $-NHCOCH_3$), cellulose là nhóm hydroxyl -OH. Cấu trúc mạch phân tử của chitin gồm các mắt xích N-acetyl-D-

glucosamine nối với nhau bằng liên kết β(1→4) glycosit hay 2-axetamido-2 -deoxy- β-D-glucose. Chitosan là sản phẩm hoá của chitin có tên gọi là 2-amido-2-deoxy - β-D-glucose. Chitin $(C_8H_{13}O_5N)_n$ có ở nhiều loài khác nhau, từ các loại nấm cho đến các động vật bậc thấp [3, 4, 5]. Cellulose là polymer phong phú nhất trên trái đất, có thể được tìm thấy trong các nguồn khác nhau như gỗ, sợi tự nhiên (sinh khối nông nghiệp), động vật biển (vỏ), tảo và nấm... Về cấu trúc hóa học, cellulose là một homo polysaccharide mạch thẳng bao gồm D-anhydroglucopyranose (AGU) liên kết với nhau bằng các liên kết β-1,4-glycosidic. Mỗi AGU quay 180° với AGU bên cạnh và hai AGU cạnh nhau tạo thành một đơn vị cellobios là đơn vị nhỏ nhất của polyme [6, 7]. Chittin/Chitosan có khả năng kháng khuẩn, kháng nấm, có hoạt tính sinh học cao, khả năng tạo màng tốt, nhưng là vật liệu có tính chất cơ lý kém. Cellulose là vật liệu có tính năng cơ học vượt trội, tiềm năng ứng dụng làm chất gia cường trong sản xuất vật liệu composite. Tuy nhiên do độ kết tinh cao và khả năng tạo màng kém làm hạn chế ứng dụng của cellulose trong một số lĩnh vực [3, 4, 6, 8].

Nanocellulose là cellulose có ít nhất một chiều kích thước < 100nm. So với cellulose, nanocellulose được quan tâm nghiên cứu mạnh không chỉ bắt nguồn từ kích thước nano với diện tích bề mặt riêng lớn mà còn có khả năng biến tính hóa học bề mặt cao, tính chất cơ lý vượt trội hơn so với vật liệu khác mà vẫn duy trì được khối lượng riêng thấp. Nanocellulose được chia thành 3 loại: nanocellulose từ vi khuẩn, nanocellulose dạng tinh thể và dạng sợi [6]. Xúc tác 2,2,6,6-tetramethylpiperidine 1-oxyl (TEMPO) được biết đến là xúc tác cho phép các sợi cellulose gỗ có thể được tách thành các vi sợi hoặc sợi nanocellulose riêng lẻ khi phân tán chúng trong nước [9]. Sử dụng hệ oxi hóa TEMPO/NaClO/$NaClO_2$, chúng tôi đã tổng hợp thành công nanocellulose. Đặc tính polyanion hình thành từ điện tích (-) của nhóm – COOH cỉa thiện đáng kể khả năng phân tán của vật vật liệu trong nước [10, 11]. ONC là vật liệu nano sinh học có diện tích bề mặt lớn, khả năng hình thành liên kết hydrogen mạnh và tính chất cơ học vượt trội, được xem là tác nhân gia cường tiềm năng cho nền polyme sinh học. Vật liệu CTS/ONC nanocomposite có thể được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau, từ bao gói thực phẩm sinh học, màng bảo quản nông sản, dẫn truyền hoạt chất, dược phẩm… [12-14].

Trong nghiên cứu này, màng biopolymer nanocomposite CTS/ONC được chế tạo từ chitosan và TEMPO-oxidized nanocellulose (ONC), kết hợp với chất hóa dẻo glycerol. Quá trình nghiên cứu tập trung khảo sát toàn diện tính chất cơ học (độ bền kéo, độ giãn dài), hình thái bề mặt (SEM), cấu trúc hóa học (FTIR), tính chất kết tinh (XRD), nhằm đánh giá sự tương tác giữa các thành phần đến cấu trúc và tính năng của vật liệu kết hợp khảo sát các đặc tính cơ học, hình thái và cấu trúc hóa học của màng thu được. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần làm rõ tiềm năng của vật liệu biopolymer compostite này, mà còn mở ra ứng dụng thực tiễn trong lĩnh vực bao gói thực phẩm - một lĩnh vực đang rất cần giải pháp bền vững và thân thiện với môi trường.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

Chitosan khối lượng phân tử trung bình của hãng Sigma Aldrich, TEMPO-oxidized nanocellulose (ONC) được tổng hợp theo quy trình thực nghiệm [10], NaOH, HCl, CH_3COOH của Trung Quốc. Các hóa chất tinh khiết phân tích sử dụng ngay không qua tinh chế.

2.2. Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Chế tạo màng Chitosan/TEMPO-cellulose nanocomposite

Hòa tan chitosan 2% trong dung dịch acetic acid 1%, dung dịch huyền phù TEMPO-ONC 2% được phân tán trong nước cất bằng rung siêu âm trong 30 phút. Thêm từ từ huyền phù nanocellulose TEMPO-ONC vào dung dịch chitosan với tỷ lệ CTS/ONC là 1:0, 1:3, 1:1, 3:1, 0:1, sau đó bổ sung 1% glycerol vào hỗn hợp và duy trì khuấy trên máy khuấy từ trong 60 phút, pH 5,5, nhiệt độ phòng (tổng thể tích 30ml). Hỗn hợp thu được được khử khí bằng máy hút chân không rồi đổ đều lên đĩa petri và sấy khô ở nhiệt độ 40°C đến khi dung môi bay hơi gần hoàn toàn. Màng khô được ngâm trong dung dịch NaOH loãng (0,2M) trong 5 phút, rửa màng bằng nước cất đến trung tính, sấy lại mẫu ở 40°C thu được màng biopolymer nanocomposite TEMPO-ONC/Chitosan.

2.2.2. Các phương pháp nghiên cứu

Kính hiển vi điện tử quét (SEM) nhãn hiệu JSM 6610 LA - Jeol, Nhật Bản tại Viện Khoa học vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Phổ hồng ngoại trên máy phổ hồng ngoại GXPerkinElmer- USA trong vùng từ 450 ÷ 4000cm^{-1}, tại Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

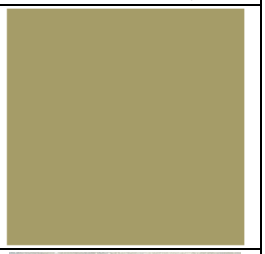
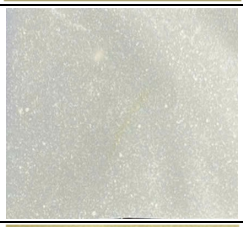
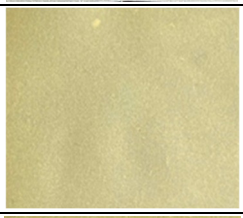
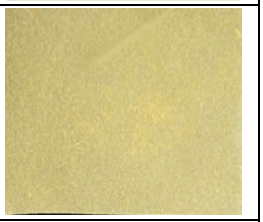
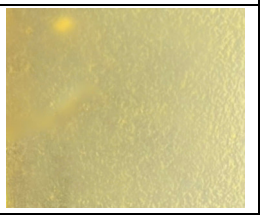
Nghiên cứu cấu trúc tinh thể bằng phổ nhiễu xạ tia X được thực hiện trên máy nhiễu xạ tia X (D8 Advance) tại Phòng Hóa phân tích, Viện Hóa học sử dụng bước sóng tia X: λ = 1,54060Å, hiệu điện thế 40kV, cường độ dòng điện 30mA, tốc độ quét 0,03°/s, góc nhiễu xạ từ 10° đến 70°.

Các phép đo tính chất cơ lý được thực hiện trên thiết bị đo tính chất cơ lý Gotech Testing Machine của hãng Taiwan, Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam với tốc độ kéo 10mm/phút, ở 25°C. Mỗi loại mẫu được đo 3 lần để lấy giá trị trung bình.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ CTS/ONC đến ngoại quan và hình thái bề mặt của màng

Bảng 1. Đặc điểm ngoại quan của CTS/ONC nanocomposite ở các tỷ lệ khác nhau

Mẫu	Đặc điểm ngoại quan	Hình ảnh bề mặt
CTS/ONC 1:0	Màu hơi ngả vàng bề mặt mịn, bóng, có độ mềm dẻo cao	
CTS/ONC 0:1	Màu trắng đục, bề mặt nhám, giòn	
CTS/ONC 1:3	Màu vàng nhạt, độ bóng giảm nhẹ, bề mặt nhám nhẹ, mềm dẻo	
CTS/ONC 1:1	Màu hơi vàng đục, tương đối mềm dẻo, bề mặt nhám nhẹ	
CTS/ONC 3:1	Màu vàng hơi đục, bề mặt nhám nhẹ	

Quan sát đặc điểm ngoại quan cho thấy màng CTS (CTS/ONC 1:0) có màu hơi ngà vàng, có độ trong suốt cao, bóng, phản ánh cấu trúc đồng nhất cùng bề mặt mịn, ít khuyết tật. Với màng ONC (CTS/ONC 0:1), có màu trắng đục, nhám, độ giòn cao. Khi phối trộn với ONC, nhóm -COOH của ONC hình thành liên kết hydrogen mạng với nhón -NH_2 và OH của chitosan tạo ra mạng lưới polymer bền chắc hơn. Ở hàm lượng ONC thấp (tỷ lệ CTS/ONC 3:1) các sợi nanocellulose phân tán đồng đều trên nền chitosan, đóng vai trò pha gia cường mà không phá vỡ đáng kể tính đồng nhất của màng, giúp cải thiện tính chất cơ lý và độ mềm dẻo. Khi tỷ lệ ONC tăng (tỷ lệ , mật độ liên kết hydro và vùng tương tác bề mặt giữa CTS/ONC tăng theo, nhưng đồng thời xuất hiện xu hướng tập hợp của các sợi ONC do tương tác giữa chính chúng, làm gián đoạn pha nền chitosan, giảm tính linh hoạt và độ trong suốt, đồng thời khiến bề mặt trở nên nhám và vật liệu trở nên giòn hơn. Như vậy, sự thay đổi tỷ lệ CTS/ONC sẽ tác động đồng thời đến tương tác liên phân tử, sự phân tán của pha gia cường và cấu trúc vi mô, từ đó chi phối cả đặc tính cơ học lẫn hình thái bề mặt của màng.

3.2. Tính chất cơ lý của màng

Bảng 2 trình bày kết quả về tính chất cơ học của màng CTS/ONC ở các tỷ lệ phối trộn khác nhau. Kết quả cho thấy sự thay đổi rõ rệt của độ bền kéo (TS), độ giãn dài khi đứt (EAB) và mô đun đàn hồi (EM) khi thay đổi tỷ lệ thành phần. Ở mẫu CTS (1:0), TS đạt 52,5 ± 1,8MPa và EAB là 36,4 ± 1,3%, EM đạt 1450 ± 42MPa. Ở tỷ lệ CTS/ONC 3:1, cả TS và EAB đều tăng mạnh, lần lượt đạt 69,6 ± 2,6MPa và 44,6 ± 1,1%. Đồng thời, EM cũng tăng lên 1800 ± 50MPa, cao nhất trong tất cả các mẫu. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy, với vai trò là chất hóa dẻo, glycerol tạo sự cân bằng giữa độ bền (TS, EM) và độ dẻo (EAB). Điều này được giải thích do glycerol hình thành liên kết hydro cạnh tranh với các nhóm -OH, NH_2 trong mạng CTS và ONC, từ đó làm giảm liên kết nội phân tử chặt chẽ vốn có của mạng polymer.

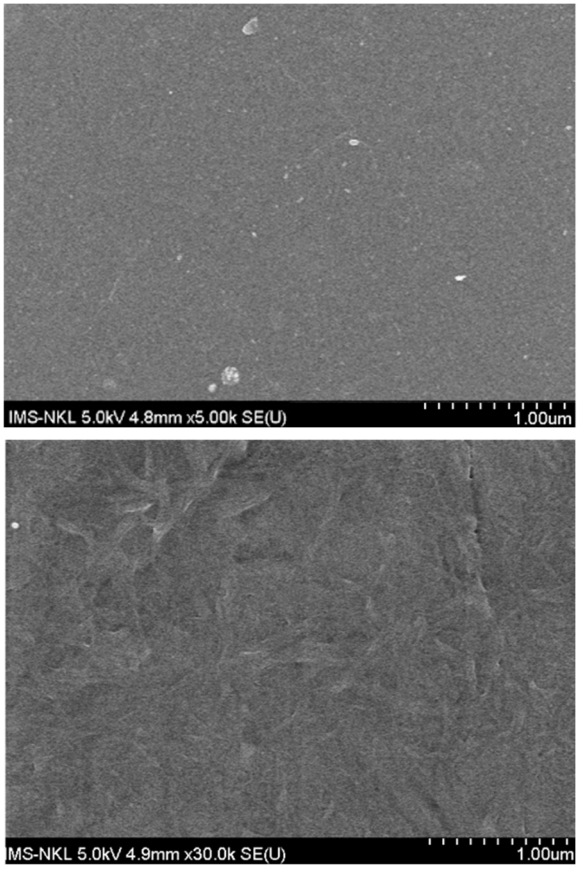
Ở tỷ lệ CTS/ONC 1:1, các giá trị cơ học có xu hướng giảm nhẹ (TS đạt 55,2 ± 1,7MPa; EAB đạt 40,5 ± 1,9%; EM đạt 1560 ± 40MPa), cho thấy sự tương tác giữa CTS và ONC vẫn có tác dụng gia cường. Tuy nhiên, khi hàm lượng ONC tiếp tục tăng (CTS/ONC 1:3), cả TS, EAB và EM đều giảm rõ rệt (48,5 ± 1,5MPa; 32,4 ± 1,6%; 1350 ± 40MPa). Màng ONC cho kết quả thấp nhất: TS (35,5 ± 1,4MPa), EAB (28,6 ± 1,5%), EM (1250 ± 38) phản ánh bản chất giòn và kém đồng nhất của vật liệu nanocellulose khi thiếu nền polymer dẻo để truyền tải ứng suất.

Như vậy, ONC đóng vai trò gia cường hiệu quả cho chitosan khi được bổ sung ở tỷ lệ CTS/ONC 3:1. Hàm lượng ONC cao dẫn đến sự kết tụ sợi nano và làm suy giảm tính đồng nhất của hệ, từ đó làm giảm cơ tính của màng. Xu hướng này phù hợp với các nghiên cứu trước đây về nanocomposite chitosan-cellulose, trong đó hiệu ứng cộng hưởng giữa pha nền dẻo và pha gia cường chỉ đạt tối ưu khi nồng độ nano-cellulose ở mức trung bình [13].

Bảng 2. Tính chất cơ học của các màng CTS/ONC

Mẫu	TS (MPa)	EAB (%)	EM (MPa)
CTS/ONC 1:0	52,5 ± 1,8	36,4 ± 1,3	1450 ± 42
CTS/ONC 3:1	69,6 ± 2,6	44,6 ± 1,1	1800 ± 50
CTS/ONC 1:1	55,2 ± 1,7	40,5 ± 1,9	1560 ± 40
CTS/ONC 1:3	48,5 ± 1,5	32,4 ± 1,6	1350 ± 40
CTS/ONC 0:1	35,5 ± 1,4	28,6 ± 1,5	1250 ± 38

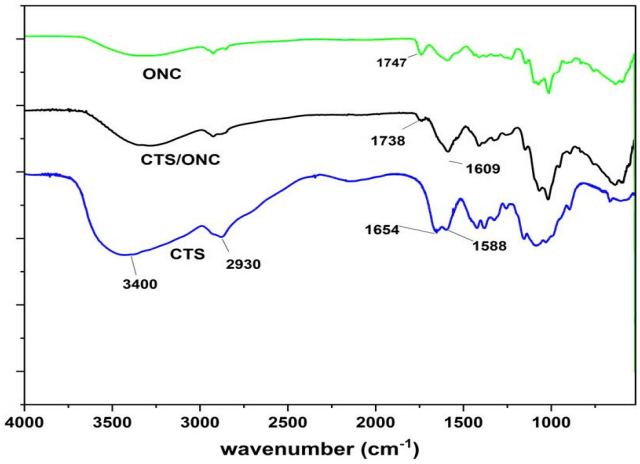
3.3. Hình thái học bề mặt SEM



Hình 1. Ảnh hiển vị điện tử quét SEM của màng nanocomposite ở tỷ lệ CTS/ONC 1:0 (trái) CTS/ONC 3:1 (phải)

Ảnh SEM (hình 1) cho thấy, bề mặt màng CTS/ONC 1:0 mịn và liên tục, hầu như không xuất hiện gờ, rãnh. Sự có mặt của glycerol hoạt động như một chất hóa dẻo, làm giảm tương tác nội phân tử và giúp các chuỗi chitosan dàn trải đồng đều hơn trong quá trình tạo màng, góp phần tạo ra cấu trúc bề mặt ổn định và ít khuyết tật. Mẫu CTS/ONC 3:1 có bề mặt màng có cấu tương đối đồng nhất và mịn với mạng lưới ONC có đường kính khoảng 30 ÷ 40nm, một số bó sợi lớn hơn, khoảng 50 ÷ 60nm, chiều dài vài micromet đan xen liên tục trên nền chitosan, không xuất hiện các khuyết tật lớn hay sự tách pha rõ rệt. Các sợi ONC được phân tán đồng đều trong nền chitosan, hình thành mạng lưới liên tục có khả năng truyền ứng suất hiệu quả, giải thích cho sự cải thiện đáng kể về tính chất cơ học của màng.

3.4. Phổ hồng ngoại



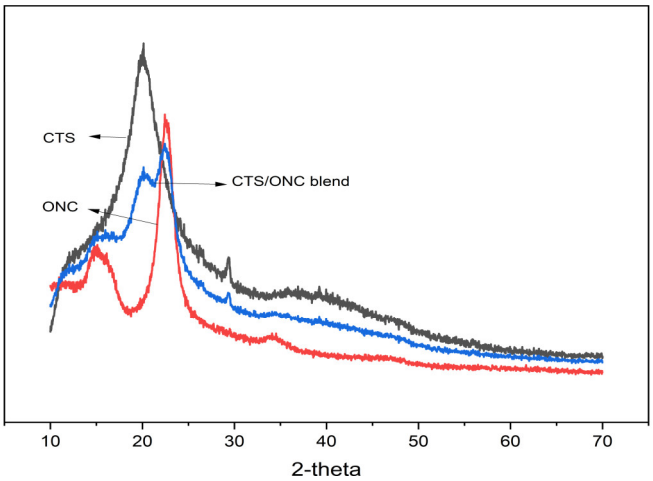
Hình 2. Phổ hồng ngoại của CTS, ONC và CTS/ONC nanocomposite tỷ lệ 3:1

Phổ hồng ngoại (hình 2) cho thấy sự tương tác giữa các thành phần trong hệ nanocomposite. Sự giảm cường độ và dịch chuyển nhẹ của dải hấp thụ 3400cm^{-1}, đặc trưng cho dao động kéo giãn của nhóm -OH/NH_2, cho thấy sự hình thành liên kết hydrogen giữa CTS và ONC. Đỉnh tại 1738cm^{-1} trong phổ CTS/ONC, dịch chuyển từ đỉnh 1747cm^{-1} của ONC, cùng với dải 1609cm^{-1} cho thấy sự hình thành liên kết ion hoặc tương tác giữa nhóm carboxylate (COO^-) và nhóm ammonium (NH_3^+). Ngoài ra, sự tăng cường độ trong vùng 1050 - 1150cm^{-1} có thể liên quan đến dao động của C-O của glycerol, xác nhận sự có mặt của chất hóa dẻo trong hệ. Như vậy ONC, CTS và glycerol đã tham gia vào mạng lưới liên kết hydrogen và tương tác tĩnh điện làm vật liệu có cấu trúc ổn định và cải thiện chính chất của vật liệu nanocomposite

3.5. Giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD)

Hình 3 trình bày phổ nhiễu xạ tia X của chitosan (CTS), TEMPO-oxidized nanocellulose (ONC), và màng nanocomposite CTS/ONC (tỷ lệ 3:1). Phổ XRD của chitosan xuất hiện đỉnh nhiễu xạ 2θ ≈ 20° và 10°, đặc trưng cho cấu trúc bán tinh thể cùng các vùng vô định hình xen kẽ. Trên phổ XRD của ONC xuất hiện đỉnh nhiễu xạ 2θ ≈ 22,7° và 16,5° tương ứng với các mặt tinh thể (200) và (110) của tinh thể cellulose. Đỉnh này cho thấy ONC duy trì được cấu trúc tinh thể cellulose ban đầu sau quá trình oxy hóa. Khi phối trộn, trên phổ CTS/ONC, sự suy giảm và mở rộng đỉnh nhiễu xạ ≈ 22,5° so với ONC ban đầu, đồng thời vẫn duy trì đỉnh nhiễu xạ 2θ ≈ 10°, cho thấy sự kết hợp cấu trúc của hai thành phần. Sự suy giảm độ kết tinh được quy cho tương tác giữa nhóm -NH_2 của chitosan và COO^- của ONC. Kết quả này phù hợp với kết

quả FTIR về tương tác giữa các thành phần và ảnh SEM cho thấy sự phân tán đồng đều của ONC trong nền CTS, góp phần cải thiện tính chất cơ học và độ ổn định của màng nanocomposite.



Hình 3. Phổ nhiễu xạ tia X của chitosan (CTS), TEMPO-oxidized nanocellulose (ONC) và màng nanocomposite Chitosan/ONC

4. KẾT LUẬN

Đã chế tạo thành công màng CTS/ONC nanocomposite bằng phương pháp đúc dung dịch với sự tham gia của glycerol làm chất hóa dẻo. Phân tích FTIR và XRD xác nhận sự hình thành của liên kết hydrogen và tương tác ion giữa nhóm -NH_2 của chitosan và -COOH của ONC, SEM cho thấy sự phân tán đồng đều của ONC trong nền CTS. Màng nanocomposite, đặc biệt ở tỷ lệ CTS/ONC 3:1 thể hiện tính chất cơ lý vượt trội với độ bền kéo đạt 69,6 ± 2,6MPa, độ giãn dài khi đứt 44,6 ± 1,1% và mô đun đàn hồi 1800 ± 50 MPa, cao hơn đáng kể so với màng CTS thuần. Kết quả này chứng minh vai trò gia cường hiệu quả của ONC và khẳng định tiềm năng ứng dụng của màng CTS/ONC trong nhiều lĩnh vực.

LỜI CẢM ƠN

Công trình nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí của Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam thông qua nhiệm vụ QTBY01.02/25-26.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. R. Tang, Z. Yu, S. Renneckar, Y. Zhang, "Coupling chitosan and TEMPO-oxidized nanofibrilliated cellulose by electrostatic attraction and chemical reaction," *Carbohydr. Polym.*, 202, 84-90, 2018. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.08.097.

[2]. B. Soni, E. B. Hassan, M. W. Schilling, B. Mahmoud, "Transparent bionanocomposite films based on chitosan and TEMPO-oxidized cellulose nanofibers with enhanced mechanical and barrier properties," *Carbohydr. Polym.*, 151, 779-789, 2016. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.06.022.

[3]. C. K. S. Pillai, W. Paul, C. P. Sharma, "Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation," *Prog. Polym. Sci.*, 34, 7, 641-678, 2009. doi: 10.1016/j.progpolymsci.2009.04.001.

[4]. M. Naveed, et al., "Chitosan oligosaccharide (COS): An overview," *Int. J. Biol. Macromol.*, 129, 827-843, 2019. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.01.192.

[5]. A. Domard, "A perspective on 30 years research on chitin and chitosan," *Carbohydr. Polym.*, 84, 2, 696-703, 2011. doi: 10.1016/j.carbpol.2010.04.083.

[6]. A. Sharma, M. Thakur, M. Bhattacharya, T. Mandal, S. Goswami, "Commercial application of cellulose nano-composites - A review," *Biotechnol. Reports*, 21, 2018, e00316, 2019. doi: 10.1016/j.btre.2019.e00316.

[7]. E. C. Queirós, et al., "Hemostatic Dressings Made of Oxidized Bacterial Nanocellulose Membranes," *Polysaccharides*, 2, 1, 80-99, 2021. doi: 10.3390/polysaccharides2010006.

[8]. S. Parveen, S. Rana, R. Fangueiro, M. C. Paiva, "A Review on the Advancement of Nanocellulose As Reinforcement of Polymer Matrix," *Irf2016 5th Int. Conf. Integrity-Reliability-Failure*, 299–300, 2016.

[9]. A. Isogai, T. Saito, H. Fukuzumi, "TEMPO-oxidized cellulose nanofibers," *Nanoscale*, 3, 1, 71-85, 2011. doi: 10.1039/c0nr00583e.

[10]. Trần Thị Ý Nhi, Nguyễn Đức Hải, Trịnh Đức Công, Nguyễn Thị Thức, Đặng Thị Mai, Trần Thị Thanh Hợp, "Nghiên cứu tổng hợp và đặc trưng tính chất của nancellulose từ bột gỗ sử dụng hệ oxi hóa TEMPO/NaClO/$NaClO_2$," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Công nghiệp Hà Nội*, 61, 1, 171-175, 2025. doi: http://doi.org/10.57001/huih5804.2025.027.

[11]. J. Praskalo, M. Kostic, A. Potthast, G. Popov, B. Pejic, P. Skundric, "Sorption properties of TEMPO-oxidized natural and man-made cellulose fibers," *Carbohydr. Polym.*, 77, 4, 791-798, 2009. doi: 10.1016/j.carbpol.2009.02.028.

[12]. Strnad S., Zemljiˇc L. F., "Cellulose - Chitosan Functional Biocomposites," *Polymers (Basel).*, 15, 425, 2023.

[13]. S. C. M. Fernandes, et al., "Transparent chitosan films reinforced with a high content of nanofibrillated cellulose," *Carbohydr. Polym.*, 81, 2, 394-401, 2010. doi: 10.1016/j.carbpol.2010.02.037.

[14]. T. G. Ambaye, M. Vaccari, S. Prasad, E. D. van Hullebusch, S. Rtimi, "Preparation and applications of chitosan and cellulose composite materials," *J. Environ. Manage.*, 301, 113850, 2022. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113850.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Duc Hai[2], Dao Ngoc Thuy[2], Ngo Trinh Tung[1], Trinh Duc Cong[1], Tran Thi Nu[3], Tran Thi Thanh Hop[1], Dang Thi Mai[1], Nguyen Thi Thuc[1], Tran Thi Y Nhi[1]

[1]Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

[2]Hanoi University of Industry, Vietnam

[3]Thai Binh University of Medicine and Pharmacy, Vietnam