

NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT KHẢ NĂNG SỬ DỤNG NANOCELLULOSE TỪ BÃ MÍA LÀM CHẤT TRỢ NHUỘM CHO VẢI BÔNG

● TÔ PHƯƠNG THẢO¹ - KIỀU THỊ HUYỀN PHƯƠNG¹
- NGUYỄN THỊ THÙY LINH¹ - PHẠM NHẬT HUY¹ - NGUYỄN THỊ THU HẰNG^{1,2}
- PHAN HUY HOÀNG³ - NGUYỄN NGỌC THẮNG^{1*}

¹ Trường Vật liệu, Đại học Bách khoa Hà Nội

² Khoa Công nghệ may - Thời trang, Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh

³ Trường Hóa và Khoa học sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội

* Email: thang.nguyenngoc@hust.edu.vn

TÓM TẮT:

Nghiên cứu này đề xuất giải pháp nhuộm bằng cách sử dụng nanocellulose (NCSB) chiết xuất từ bã mía như một chất trợ nhuộm cho vải bông. Nghiên cứu đã so sánh màu sắc và tính chất của vải bông nhuộm bằng thuốc nhuộm trực tiếp Sirius Orange 3GDL (C.I. Direct Orange 57) (SO) theo đơn công nghệ nhuộm truyền thống chứa muối điện ly là natri sunfat với đơn công nghệ cải tiến thay thế hoàn toàn muối bằng NCSB. Để đánh giá hiệu quả nhuộm màu vải bông, nghiên cứu sử dụng các phân tích đo màu quang phổ, ảnh hiển vi quang học (OM), ảnh hiển vi điện tử quét (SEM), quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR), độ mao dẫn và độ bền màu với giặt. Kết quả cho thấy, vải bông nhuộm màu có sử dụng chất trợ NCSB cho cường độ màu tương đương và độ bền màu với giặt cao hơn một cấp so với đơn nhuộm truyền thống. Nghiên cứu bước đầu mở ra khả năng sử dụng NCSB như một chất trợ xanh cho quá trình nhuộm vải bông theo xu hướng bền vững.

Từ khóa: vải bông, nanocellulose, bã mía, nhuộm, chất trợ xanh.

1. Đặt vấn đề

Bông là một loại xơ dệt tự nhiên, được sử dụng nhiều nhất trong ngành dệt may nhờ có nhiều đặc tính ưu việt (Khatrı và cộng sự, 2015). Khi nhuộm vật liệu bông, các muối vô cơ như Na_2SO_4 hoặc NaCl sẽ được sử dụng để giảm lực đẩy tĩnh điện giữa ion phân tử thuốc nhuộm và với bề mặt xơ bông mang điện tích âm trong môi trường nước, từ đó tăng khả năng hấp phụ thuốc nhuộm, tăng độ tặn trích và nhuộm đều màu (Burkinshaw và Salihu, 2019). Tuy nhiên, muối điện ly bị loại bỏ sau nhuộm, dẫn đến nước thải

nhuộm có độ mặn cao, gây khó khăn trong xử lý và tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm môi trường (Khatrı và cộng sự, 2015; Solayman và cộng sự, 2023). Do đó, việc phát triển các chất trợ nhuộm mới, thân thiện môi trường để thay thế muối điện ly là cần thiết.

Nanocellulose (NC) là một vật liệu nano có nguồn gốc tự nhiên, có nhiều đặc tính nổi bật như hoạt tính bề mặt cao, tính tương thích sinh học và khả năng phân hủy sinh học nên được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như dệt may, y sinh, thực phẩm và xử lý môi trường (Sathasivam và cộng sự, 2024; Chung và

Dien, 2023). Trong lĩnh vực dệt may, NC đang được nghiên cứu và bước đầu cho thấy có triển vọng cho xử lý bề mặt vải, cải thiện hiệu suất nhuộm, in hoa và giảm tiêu thụ nước cũng như hóa chất (Sathasivam và cộng sự, 2024).

Bã mía, một phụ phẩm lignocellulose của ngành công nghiệp mía đường, chứa 40-50% cellulose, là nguồn nguyên liệu tiềm năng để sản xuất NC với chi phí thấp (Chung và Dien, 2023). Trong nghiên cứu này, chúng tôi chế tạo nanocellulose từ bã mía (NCSB) và sử dụng chúng như một chất trợ nhuộm, thay thế muối điện ly trong đơn công nghệ nhuộm tận trích vải bông bằng thuốc nhuộm trực tiếp Sirius Orange 3GDL (SO). Ảnh hưởng của NCSB đến khả năng bắt màu, cường độ màu và các tính chất của vải bông nhuộm màu được đánh giá thông qua các phân tích đo màu quang phổ, ảnh hiển vi quang học (OM), ảnh hiển vi điện tử quét (SEM), quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR), độ mao dẫn và độ bền màu với giặt.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Vải bông (đã nấu và tẩy trắng, dệt thoi vân chéo 3/3, mật độ sợi 60 sợi dọc/cm, 30 sợi ngang/cm, khối lượng 130 g/m²) được cung cấp bởi Công ty cổ phần nhuộm Hà Nội. Nanocellulose được chế tạo từ bã mía theo phương pháp đã trình bày trong một nghiên cứu đã công bố (Chung và Dien, 2023). Các hóa chất sử dụng bao gồm thuốc nhuộm trực tiếp Sirius Orange 3GDL (C.I. Direct Orange 57) (DyStar Vietnam); Na₂CO₃, CH₃COOH, Al₂(SO₄)₃.18H₂O (Công ty hóa chất Xilong, Trung Quốc); TPwet soft (Công ty Cổ phần Hóa chất Trường Phát, Việt Nam) và nước cất. Các thí nghiệm và phân tích được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Vật liệu và Công nghệ Hóa dệt, Trường Vật liệu, Đại học Bách khoa Hà Nội; Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

2.2. Các phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Quy trình nhuộm màu vải bông dệt thoi bằng thuốc nhuộm trực tiếp

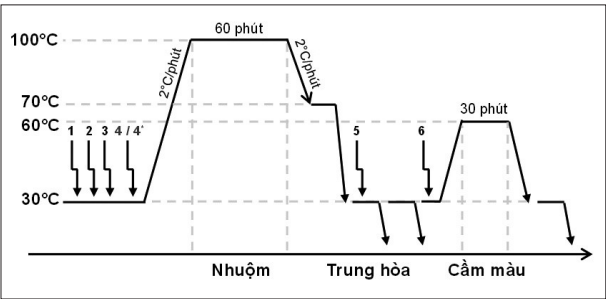
Các mẫu vải bông dệt thoi đã tiền xử lý (CoP) với kích thước 30 × 30 cm được nhuộm theo các đơn công nghệ nhuộm truyền thống chứa muối điện ly (Na₂SO₄) và đơn công nghệ mới sử dụng NCSB thay thế hoàn

toàn muối điện ly, được trình bày trong Bảng 1. Quy trình công nghệ nhuộm trình bày trong Hình 1.

Bảng 1. Các đơn công nghệ nhuộm vải bông

Dung tỉ		1 : 10	
Vải bông CoP		x	g
1	TPwet - soft	2	g/L
2	Na ₂ CO ₃	10	%m _{vải}
3	Sirius orange 3GDL	1	%m _{vải}
4	NCSB	3	%m _{vải}
4*	Na ₂ SO ₄	5	%m _{vải}
5	CH ₃ COOH	1	mL/L
6	Al ₂ (SO ₄) ₃	2	g/L

Hình 1: Quy trình công nghệ nhuộm vải bông



Quá trình nhuộm được thực hiện trên máy nhuộm hồng ngoại Ti-Color IR dyeing machine, Prato, Italy. Dung dịch nhuộm và vải trong cốc được gia nhiệt từ nhiệt độ phòng lên 100°C với tốc độ tăng nhiệt 2°C/phút. Đạt nhiệt độ nhuộm, dung dịch nhuộm được ổn nhiệt trong 60 phút để thuốc nhuộm Sirius Orange 3GDL (SO) liên kết với vải bông. Sau đó, dung dịch nhuộm được làm mát với tốc độ 2°C/phút xuống 70°C thì được xả dịch, tiếp đến được giặt trung hòa bằng dung dịch CH₃COOH trong 10 phút và giặt bằng nước đến sạch. Vải nhuộm tiếp tục được xử lý cầm màu bằng dung dịch aluminum sulfate ở 60°C trong 30 phút. Cuối cùng, vải nhuộm được giặt với nước sạch để loại muối aluminum sulfate dư, vắt và sấy ở 70°C đến khô.

2.2.1. Các phương pháp phân tích

Màu sắc của các mẫu vải bông trước và sau khi nhuộm theo các đơn công nghệ nhuộm khác nhau được đánh giá thông qua phương pháp đo màu quang

phổ trên thiết bị Ci4200 Spectrophotometer của hãng X-rite với nguồn sáng D65, góc quan sát 10° theo tiêu chuẩn TCVN 5236:2002. Kết quả đo màu được thể hiện theo hệ không gian màu CIE Lab với các thông số màu L*, a*, b*, C*, h* và cường độ màu K/S. Sự khác biệt màu sắc (ΔE^*) giữa các mẫu được tính theo công thức:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5}$$

Phân tích ảnh chụp bằng kính hiển vi quang học OM (DM500, Leica, Trung Quốc) và kính hiển vi điện tử quét SEM (SM-6510LV Jeol, Japan) để quan sát sự thay đổi hình thái cấu trúc vải bông trước và sau khi nhuộm.

Phân tích quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) trên máy Thermo Nicolet 6700 FTIR spectrometer, USA để xác định liên kết giữa xơ bông với thuốc nhuộm SO và NCSB.

Các tính chất của vải bông trước và sau nhuộm được phân tích theo các tiêu chuẩn quốc tế bao gồm độ mao dẫn (AATCC 198-2011) và độ bền màu với giặt (ISO 105-C10:2006).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả nhuộm màu vải bông với sự trợ giúp của muối điện ly và NCSB

Để đánh giá khả năng nhuộm màu của vải bông dệt thoi (CoP) nhuộm theo phương pháp tận trích truyền thống có muối điện ly (ký hiệu vải nhuộm là CoS) và có NCSB thay thế hoàn toàn muối điện ly (ký hiệu vải nhuộm là CoSN), nghiên cứu đã tiến hành phân tích màu sắc vải. Kết quả đo màu quang phổ của các mẫu vải trước và sau nhuộm trong

Bảng 2. Kết quả cho thấy, các mẫu vải nhuộm theo 2 đơn công nghệ có các thông số màu khá tương đồng nhau. Tuy nhiên, sự khác biệt màu sắc (ΔE^*) và cường độ màu (K/S) của mẫu vải nhuộm CoSN đều có giá trị cao hơn so với mẫu CoS. Kết quả này cho thấy, NCSB có hiệu quả tốt hơn muối điện ly Na₂SO₄ trong quá trình tận trích thuốc nhuộm SO lên vải bông. Cần lưu ý lượng dùng muối điện ly Na₂SO₄ gấp 3 lần lượng dùng NCSB trong đơn công nghệ nhuộm vải bông.

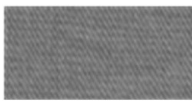
3.2. Kết quả phân tích cấu trúc vải

Để quan sát cấu trúc của các mẫu vải bông dệt thoi, phân tích OM và SEM được thực hiện và kết quả ảnh chụp mẫu được trình bày trong Hình 2. Kết quả cho thấy, ảnh chụp ở độ phân giải thấp (ảnh OM) thể hiện cấu trúc vải dệt thoi vân chéo 3/3. Ảnh SEM của NCSB ở độ phóng đại 20K lần cho thấy, các vi sợi nanocellulose có đường kính xơ khoảng vài chục nanometer. Ảnh SEM của vải trước khi nhuộm (CoP) cho thấy, các xơ bông có dạng xoắn vò đổ với bề mặt tương đối nhẵn phẳng. Trong khi ảnh SEM của mẫu vải bông nhuộm bằng thuốc nhuộm SO và sử dụng NCSB làm chất trợ có bề mặt nhám hơn với các lớp mảng bám trên bề mặt xơ cho thấy khả năng còn tồn tại lớp NCSB trên vải sau nhuộm vì chúng cùng bản chất hóa học với xơ bông.

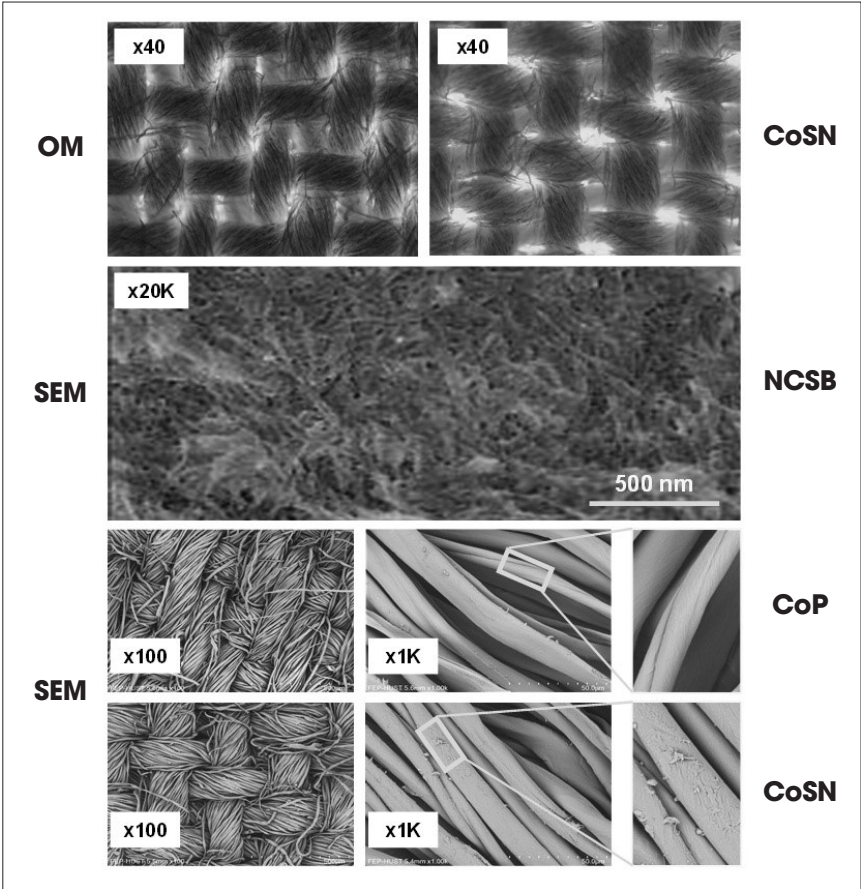
3.3. Độ mao dẫn và độ bền màu với giặt của vải

Độ mao dẫn cho biết khả năng thấm hút nước của vải trước và sau nhuộm. Kết quả phân tích trình bày trong Hình 3 cho thấy, độ mao dẫn của mẫu vải

Bảng 2. Các thông số màu (L*, a*, b* C*, h*, ΔE^* và K/S) của vải bông trước và sau khi nhuộm màu

Mẫu	L*	a*	b*	C*	h*	ΔE^*	K/S	Ảnh chụp mẫu
CoP	96.25	-0.42	1.71	1.76	103.74	-	-	
CoS	68.79	36.17	64.53	73.97	95.37	97.68	5.11	
CoSN	68.65	35.92	64.80	74.09	95.41	97.82	5.23	

Hình 2. Ảnh OM và SEM chụp các mẫu vải trước (CoP) và sau khi nhuộm theo đơn công nghệ mới (CoSN), và mẫu NCSB ở các độ phóng đại x40, x100, x1K và x20K lần



nhuộm có muối điện ly CoS giảm 17,3% và của mẫu vải nhuộm có sử dụng nanocellulose CoSN tăng 9,3% so với mẫu vải ban đầu CoP. Sự tăng giá trị độ mao dẫn của mẫu vải CoSN có thể giải thích bởi sự có mặt của NCSB bám trên xơ bông sau nhuộm làm tăng khả năng mao dẫn cho vải vì ở trạng thái nano, NCSB chứa nhiều nhóm OH tự do hơn, nên thấm hút nước tốt hơn.

Để đánh giá khả năng sử dụng của vải nhuộm màu, vải nhuộm thường được kiểm tra độ bền màu với giặt theo tiêu chuẩn ISO 105-C10:2006. Kết quả được biểu diễn thông qua độ phai màu (màu vải nhuộm nhạt đi) và độ dây màu (thuốc nhuộm bắt màu sang vải trắng thử kèm). Bảng 3 trình bày kết quả kiểm tra độ bền màu với giặt của 2 mẫu vải nhuộm CoS và CoSN, cho thấy mẫu vải nhuộm màu có sự trợ giúp của NCSB cho kết quả cao hơn khi so

với mẫu vải nhuộm truyền thống có sử dụng muối điện ly. Điều này một lần nữa khẳng định khả năng thay thế chất trợ nhuộm truyền thống là muối điện ly bằng chất trợ thân thiện môi trường hơn là nanocellulose.

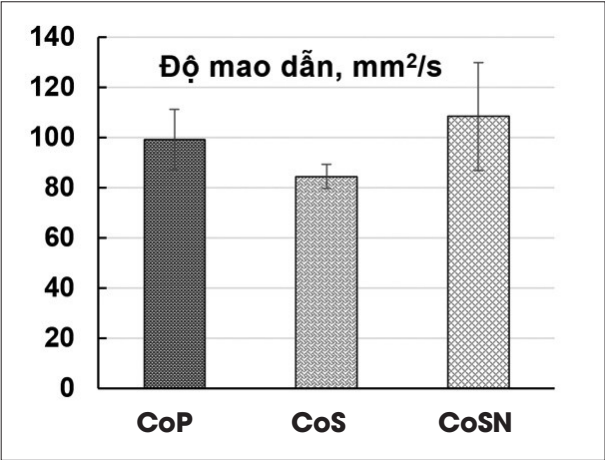
3.4. Phân tích phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR)

Phổ FTIR của các mẫu vải bông (CoP, CoS và CoSN), mẫu NCSB và thuốc nhuộm SO sẽ cung cấp minh chứng về sự tương tác giữa xơ bông với nanocellulose và phân tử thuốc nhuộm, Hình 4. Peak hấp thụ đặc trưng cho nhóm OH với số sóng khoảng 3332-3442 cm^{-1} trở nên rộng và mạnh hơn ở mẫu CoSN phản ánh liên kết hydro được tăng cường nhờ các nhóm hydroxyl tự do của NCSB bám trên vải nhuộm. Các peak đặc trưng cho nhóm chức C-O (1315 cm^{-1}) và C-O-C (1026 cm^{-1}) cũng rõ ràng hơn ở mẫu vải nhuộm có NCSB, xác nhận NCSB đã liên kết với bề mặt vải. Các peak đặc trưng cho thuốc nhuộm SO bao gồm 1182 và 1122 cm^{-1} cũng xuất hiện trên phổ CoS và CoSN, tuy nhiên có sự dịch chuyển nhẹ theo hướng tăng số sóng trên phổ CoSN chứng tỏ có sự tương tác mạnh giữa xơ bông với thuốc nhuộm SO và NCSB. Như vậy, NCSB đóng vai trò làm cầu nối trung gian để tăng cường gắn màu mà không làm thay đổi cấu trúc cellulose trong xơ bông.

4. Kết luận

Trong bài báo này, nanocellulose chế tạo từ bã mía được sử dụng để làm chất trợ nhuộm thay thế cho muối điện ly trong quá trình nhuộm vải bông dệt thoi bằng thuốc nhuộm trực tiếp Sirius Orange 3GDL. Kết quả cho thấy, mẫu vải nhuộm sử dụng

Hình 3: Độ mao dẫn của các mẫu vải trước (CoP) và sau khi nhuộm (CoS và CoSN)

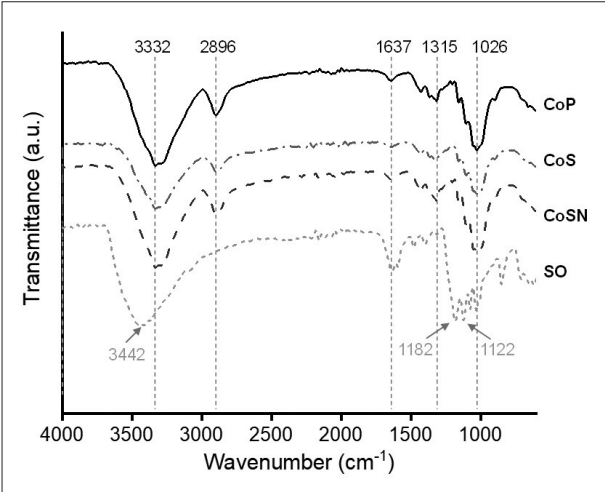


Bảng 3. Độ bền màu với giặt của vải nhuộm

Mẫu vải bông	Độ bền màu	
	Độ phai màu	Độ dây màu
CoS	3 - 4	2 - 3
CoSN	4	4

NCSB đạt cường độ màu (K/S) và độ sai lệch màu (ΔE^*) cao hơn so với mẫu dùng Na_2SO_4 . Ảnh OM và SEM xác nhận sự hiện diện của thuốc nhuộm và

Hình 4: Phổ FTIR của các mẫu vải (CoP, CoS và CoSN) và thuốc nhuộm SO



NCSB trên bề mặt xơ cotton. Vải nhuộm sử dụng NCSB có độ bền màu với giặt và độ mao dẫn tăng chứng tỏ sự tồn tại của nanocellulose chứa nhiều nhóm hydroxyl tự do trên vải sau nhuộm. Phân tích FTIR xác định tương tác giữa xơ bông, thuốc nhuộm và NCSB là liên kết vật lý. Kết quả nghiên cứu này bước đầu cho thấy khả năng sử dụng NC làm chất trợ xanh trong quá trình nhuộm, góp phần vào sự phát triển ngành dệt nhuộm theo hướng xanh và bền vững ■

Lời cảm ơn:

Các tác giả trân trọng cảm ơn Trường Vật liệu, Đại học Bách khoa Hà Nội đã hỗ trợ tài chính với đề tài có mã số T2024-PC-104.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

A. Khatri et al., (2015). A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution. *Journal of Cleaner Production*, 87, 50-57.

H. M. Solayman et al., (2023). Performance evaluation of dye wastewater treatment technologies: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 109610.

N. H. Chung and L.Q. Dien, (2023). Nanocellulose Preparation from Sugarcane Bagasse and Its Application for Paper Sizing. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 42(1), 27-37.

S. M. Burkinshaw and G. Salihu, (2019). The role of auxiliaries in the immersion dyeing of textile fibres: Part 4 theoretical model to describe the role of liquor ratio in dyeing cellulosic fibres with direct dyes in the absence and presence of inorganic electrolyte. *Dyes and Pigments*, 161, 565-580.

T. Sathasivam et al., (2024). Transforming textile waste into nanocellulose for a circular future. *Nanoscale*, 16, 14168-14194.

Ngày nhận bài: 10/3/2026
Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 25/3/2026
Ngày chấp nhận đăng bài: 15/4/2026

EXPLORING THE POTENTIAL
OF SUGARCANE BAGASSE-DERIVED NANOCELLULOSE
AS A DYEING AUXILIARY FOR COTTON FABRICS

- TO PHUONG THAO¹
- KIEU THI HUYEN PHUONG¹
- NGUYEN THI THUY LINH¹
- PHAM NHAT HUY¹
- NGUYEN THI THU HANG^{1,2}
- PHAN HUY HOANG³
- NGUYEN NGOC THANG^{1,*}

¹ School of Materials Science and Engineering,
Hanoi University of Science and Technology
² Faculty of Garment Technology and Fashion Design,
Industrial University of Ho Chi Minh City
³ School of Chemistry and Life Sciences,
Hanoi University of Science and Technology

ABSTRACT:

This study proposes a sustainable dyeing approach that employs nanocellulose (NCSB) extracted from sugarcane bagasse as a green dyeing auxiliary for cotton fabrics. It compares the color characteristics and properties of fabrics dyed with Sirius Orange 3GDL (C.I. Direct Orange 57) under a conventional process using sodium sulfate electrolyte and an alternative process in which the salt is entirely replaced by NCSB. Dyeing performance was evaluated using spectrophotometric colorimetry, optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), horizontal wicking, and wash fastness testing. The results demonstrate that fabrics dyed with NCSB exhibit comparable color strength and superior wash fastness relative to those produced by traditional methods. These findings highlight the potential of NCSB as an environmentally friendly dyeing auxiliary, contributing to the advancement of more sustainable cotton dyeing technologies.

Keywords: cotton fabric, nanocellulose, sugarcane bagasse, sustainable dyeing, green auxiliaries.