DOI: https://doi.org/10.62985/j.huit_ojs.vol26.no4.672

NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM SỬ DỤNG DỊCH CHIẾT TỪ PHỤ PHẨM CÂY ĐAY (*Corchorus capsularis* L.) LÀM CHẤT TRỢ KEO TỤ XỬ LÝ NƯỚC THẢI DỆT NHUỘM

Nguyễn Tấn Phong[1], Nguyễn Văn Hoàng[1], Phạm Thị Thanh Hòa[2], Nguyễn Đức Đạt Đức[1*]

[1]Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

[2]Trường Đại học Văn Hiến

*Email: *ducndd@huit.edu.vn*

Ngày nhận bài: 12/5/2025; Ngày nhận bài sửa: 23/5/2025; Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

TÓM TẮT

Nước thải công nghiệp dệt nhuộm đặc trưng bởi hàm lượng cao các hợp chất màu tổng hợp, chất hữu cơ bền vững sinh học và ion kim loại nặng, tiềm ẩn nguy cơ gây rối loạn hệ sinh thái thủy sinh và ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng khi xử lý không triệt để. Trong đó, công nghệ keo tụ - tạo bông sử dụng polyacrylamide (PAA) tổng hợp, mặc dù đạt hiệu suất xử lý cao, song làm phát sinh lượng bùn thải chứa monomer acrylamide độc hại – tác nhân gây suy thoái đất và tích lũy sinh học qua chuỗi dinh dưỡng. Nghiên cứu này đề xuất giải pháp thay thế bằng nguồn polyme sinh học từ phụ phẩm nông nghiệp. Cây đay (*Corchorus capsularis* L.), một loài bản địa phân bố rộng tại Việt Nam, chứa hàm lượng đáng kể polyme trong thân và lá. Dịch chiết polysaccharide thu nhận thông qua quy trình cơ lý bao gồm nghiền mẫu, thủy phân nhiệt (80 °C, 60 phút), lọc sợi 0,4 mm và ly tâm phân tách (3000 rpm, 5 phút). Thí nghiệm Jartest đánh giá hiệu quả phối hợp giữa phèn nhôm ($Al_2(SO_4)_3$) và dịch chiết đay cho thấy: Ở điều kiện pH 7,0, liều lượng 75 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ và 15 mg/L dịch chiết cây đay, quá trình xử lý đạt hiệu suất loại bỏ 89,0% độ màu, 89,3% độ đục và 62,0% COD sau 15 phút lắng. Kết quả khẳng định tính khả thi của việc ứng dụng dịch chiết từ phụ phẩm cây đay như chất trợ keo tụ sinh học, mở ra hướng tiếp cận bền vững trong quản lý nước thải dệt nhuộm thông qua tận dụng phế liệu nông nghiệp và giảm phụ thuộc vào hóa chất tổng hợp.

Từ khóa: Cây đay, *Corchorus capsularis* L., polysaccharide, keo tụ - tạo bông, nước thải dệt nhuộm.

1. GIỚI THIỆU

Ngành công nghiệp dệt nhuộm hiện đại đang đối mặt với những thách thức nghiêm trọng trong xử lý nước thải, do đặc điểm ô nhiễm phức tạp, lưu lượng lớn và sự hiện diện của các hợp chất màu tổng hợp khó phân hủy [1]. Các loại thuốc nhuộm hiện nay có độ bền màu cao, chống chịu với ánh sáng và hóa chất, khiến quá trình xử lý sinh học thông thường trở nên kém hiệu quả [2]. Trong các công nghệ xử lý nước thải hiện có, phương pháp keo tụ – tạo bông đóng vai trò quan trọng trong loại bỏ các chất rắn lơ lửng, chất hữu cơ và màu. Tuy nhiên, việc sử dụng các polyme tổng hợp như polyacrylamide trong quá trình này đã làm phát sinh lượng lớn bùn thải độc hại, khó phân hủy, ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người và chất lượng đất [3].

Trước thực trạng đó, việc tìm kiếm và phát triển các loại polyme sinh học có nguồn gốc tự nhiên, thân thiện với môi trường và có khả năng phân hủy sinh học đang là xu hướng nghiên cứu nhận được sự quan tâm lớn. Trong xu thế phát triển công nghệ sinh học xanh và kinh tế tuần hoàn, việc thay thế các chất keo tụ hóa học bằng nguồn vật liệu sinh học thân thiện với môi trường là hướng đi tiềm năng nhưng còn nhiều khoảng trống nghiên cứu. Một trong những vật liệu đáng chú ý là polyme thực vật – một dạng polysaccharide có khả năng tạo liên kết hydrogen và hấp phụ bề mặt hiệu quả nhờ cấu trúc giàu nhóm –OH và –COOH [4]. Các nghiên cứu trước đây đã chứng minh hiệu quả của polyme từ đậu bắp, xương rồng [5], nha đam, chùm ngây trong vai trò chất trợ keo tụ, tuy nhiên, việc khai thác phụ phẩm từ các loại thực vật bản địa vẫn còn chưa được quan tâm đầy đủ [6].

Cây đay là một loại cây trồng phổ biến tại Việt Nam, chủ yếu được sử dụng làm thực phẩm, lấy sợi [7], trong khi phần phụ phẩm như lá già và thân (khoảng 30–50% sinh khối) thường bị bỏ đi, gây lãng phí và tạo áp lực môi trường. Đáng chú ý, lá và thân cây đay có thành phần polysaccharide lớn, có cấu trúc tương đồng với các chất trợ keo tụ sinh học đã được nghiên cứu [8]. Tuy nhiên, đến nay chưa thấy các công bố về việc tách chiết polysaccharide từ cây đay để ứng dụng làm chất trợ keo tụ để xử lý nước thải dệt nhuộm.

Xuất phát từ thực tiễn nêu trên, nghiên cứu này được tiến hành nhằm bước đầu khai thác tiềm năng của polyme chiết xuất từ cây đay như một chất trợ keo tụ sinh học, hướng đến thay thế polyme tổng hợp trong xử lý nước thải dệt nhuộm. Nghiên cứu này là bước đầu cho việc nghiên cứu quy trình tách chiết polyme từ cây đay và sử dụng làm chất trợ keo tụ xử lý nước thải dệt nhuộm, với mong muốn tận dụng nguồn phế thải nông nghiệp để giải quyết vấn đề môi trường, và nâng cao giá trị kinh tế cho ngành trồng đay. Đồng thời, hướng tiếp cận này mở ra giải pháp thay thế bền vững cho các polyme tổng hợp, giảm thiểu phát sinh bùn thải độc hại và thúc đẩy ứng dụng vật liệu sinh học thân thiện trong xử lý nước thải công nghiệp.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu

2.1.1. Nước thải dệt nhuộm

Nguồn nước thải được thu thập từ bể điều hòa thuộc hệ thống xử lý nước thải của một công ty dệt nhuộm tại Thành phố Hồ Chí Minh. Nước thải được lấy mẫu vào buổi chiều, bảo quản ở nhiệt độ 4–5 °C và sử dụng cho thí nghiệm trong vòng 24 giờ nhằm đảm bảo tính đại diện và hạn chế biến đổi thành phần. Kết quả phân tích sơ bộ cho thấy nước thải có độ màu cao (2324 ± 128 Pt–Co), độ đục lớn (3274 ± 242 NTU) và hàm lượng các chất hữu cơ ở mức cao, với COD dao động khoảng 586 ± 68 mg/L, BOD_5 khoảng 472 ± 36 mg/L, phản ánh mức độ ô nhiễm hữu cơ cao. Ngoài ra, nước thải còn chứa nhiều ion vô cơ như SO_4^{2-} và Cl^-, làm tăng độ dẫn điện và độ muối của môi trường, từ đó ảnh hưởng đến hiệu quả xử lý. Kết quả phân tích nước cho thấy hầu hết các chỉ tiêu đều vượt QCVN 40:2021/BTNMT, đặc biệt độ màu của nước thải là rất cao.

2.1.2. Dịch chiết từ phụ phẩm cây đay (COE)

Nguồn nguyên liệu đay (thân, lá già) được thu thập tại chợ đầu mối Hóc Môn. Nguyên liệu được xử lý sơ bộ (loại bỏ phần hư hỏng, rửa sạch đất cát), để ráo nước tự nhiên. Độ ẩm của phụ phẩm từ 82% đến 98%. Dịch chiết được điều chế từ lá và thân cây đay già thông qua quy trình gồm các bước: xay nhuyễn đay, gia nhiệt với nước cất, lọc cặn, ly tâm. Dịch chiết thu nhận được lưu trữ ở nhiệt độ 5 ºC và sử dụng trong 24 giờ. Dịch chiết được phân tích độ ẩm và nồng độ chất rắn.



(a) Nước thải dệt nhuộm



(b) Phụ phẩm cây đay



(c) Dịch chiết cây đay

Hình 1. Vật liệu nghiên cứu

2.2. Phương pháp

Quy trình tạo dịch chiết được thực hiện như sau: nguyên liệu được hòa trộn với nước theo tỷ lệ 1–8 (w/w) và xay nhuyễn bằng máy Philips HR3573/90 ở tốc độ 2000 vòng/phút trong 10 phút. Sau đó dung dịch thu nhận được gia nhiệt ở nhiệt độ 80 ^{o}C trong 60 phút bằng bể điều nhiệt Memmert WNB 22. Tiếp theo, hỗn hợp được lọc sơ bộ qua vải lọc 0,4 mm và ly tâm trên máy Hermle Z206A với tốc độ 3000 vòng/phút trong 5 phút. Dung dịch thu nhận được lưu trữ ở nhiệt độ 5 ^{o}C và được sử dụng trong 24 giờ. Dịch chiết được phân tích tổng chất rắn bằng phương pháp khối lượng theo APHA 2540 B [9], từ đây độ ẩm của dịch chiết cũng được xác định bằng tỷ lệ nước bay hơi/tổng khối lượng mẫu.

Thí nghiệm keo tụ - tạo bông được thực hiện theo phép thử Jartest [10]. Đây là phương pháp phổ biến để xác định pH và lượng phèn phù hợp đồng thời đánh giá được hiệu quả xử lý nước. Trong nghiên cứu này, phép thử Jartest được sử dụng nhằm đánh giá hiệu quả xử lý nước thải dệt nhuộm khi kết hợp giữa phèn nhôm và dịch chiết từ cây đay. Phép thử được thực hiện 3 bước: bước 1 khảo sát pH, bước 2 khảo sát lượng phèn, bước 3 khảo sát lượng dịch chiết. Chi tiết kế hoạch thực nghiệm được trình bày trong Bảng 1. Ngoài ra, một thí nghiệm mở rộng được thực hiện để so sánh hiệu quả xử lý của COE và PAA.

Bảng 1. Kế hoạch thí nghiệm

Thí nghiệm	pH	Phèn nhôm, mg/L	COE, mg/L
Khảo sát pH	5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0	45	10
Khảo sát nồng độ phèn	7,0	15; 30; 45; 60; 75; 90	10
Khảo sát nồng độ dịch chiết	7,0	75	0; 5; 10; 15; 20; 25
So sánh COE và PAA	7,0	75	15

Mẫu nước thải được chia đều vào 6 cốc của thiết bị Jartest. Sau đó, phèn nhôm được thêm vào mỗi cốc và pH được điều chỉnh phù hợp với từng nghiệm thức. Khởi động mô hình Jartest, khuấy nhanh ở tốc độ 100 – 150 vòng/phút trong 2 phút để đảm bảo phân tán đều. Tiếp theo, dịch chiết cây đay được bổ sung vào hệ thống và khuấy chậm ở tốc độ 20 – 30 vòng/phút trong 3 phút nhằm tạo điều kiện hình thành bông cặn. Sau khi khuấy, mẫu được để lắng tĩnh trong 15 phút, phần nước trong phía trên được thu để phân tích các chỉ tiêu độ đục (APHA 2130B), độ màu (APHA 2120) trên máy quang phổ PhotoLab 7600 và COD (APHA 5220 C) trên máy PrimeLab 2.0 [9]. Thí nghiệm được lặp lại ba lần để đảm bảo độ tin cậy. Trong điều kiện xử lý tốt nhất, COE được so sánh với PAA. Thiết kế thí nghiệm cho phép đánh giá rõ ràng tác động của dịch chiết cây đay trong vai trò chất trợ keo tụ sinh học, đồng thời xác định được điều kiện xử lý thích hợp.

Số liệu thực nghiệm thu được được xử lý và tính toán các giá trị như trung bình và độ lệch chuẩn của 3 lần thí nghiệm [11], hiệu quả xử lý [12], xác định phương trình đường chuẩn bằng phương pháp bình phương cực tiểu [13] và vẽ đồ thị tương quan bằng phần mềm Microsoft Office 365.

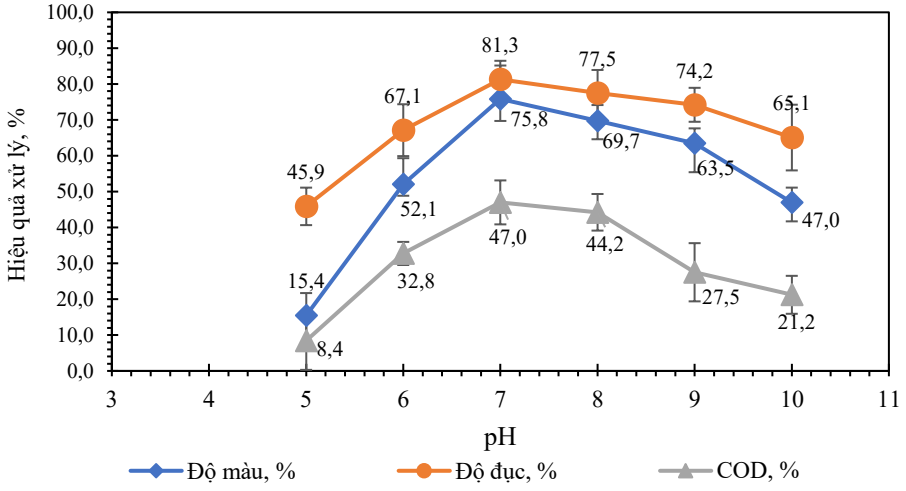
3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Khảo sát ảnh hưởng của pH

Trong kỹ thuật xử lý nước thải bằng phương pháp keo tụ - tạo bông, pH là một trong những thông số có ảnh hưởng quyết định đến cơ chế hình thành và ổn định bông keo. Điều này đặc biệt quan trọng khi sử dụng đồng thời cả muối kim loại như phèn nhôm và chất trợ keo tụ sinh học, trong trường hợp này là dịch chiết từ cây đay. Kết quả thí nghiệm (Hình 2) cho thấy hiệu quả xử lý cao nhất đạt được tại pH 7,0, với hiệu quả xử lý độ màu là 75,8%, độ đục là 81,3%, và COD đạt 47,0%. Khi pH tăng hoặc giảm khỏi mức trung tính, hiệu quả xử lý giảm đáng kể. Đặc biệt ở pH 5,0, hiệu quả xử lý độ màu và COD lần lượt chỉ còn 15,4% và 8,4% – đây là mức rất thấp, cho thấy môi trường axit làm giảm mạnh khả năng keo tụ. Ngược lại, pH 10,0 cũng cho thấy hiệu quả giảm còn 47,0% (độ màu), 65,1% (độ đục) và 21,2% (COD).

Giải thích cho hiện tượng này cần xét đến hai cơ chế keo tụ chính đang đồng thời diễn ra trong hệ: (1) keo tụ do phèn nhôm và (2) keo tụ hỗ trợ nhờ chất trợ keo tụ sinh học. Đối với phèn nhôm, khi được đưa vào nước, $Al_2(SO_4)_3$ sẽ thủy phân thành các dạng ion nhôm khác nhau tùy theo pH. Ở pH trung tính đến hơi axit (khoảng 6,0 – 7,0), phần lớn ion nhôm tồn tại dưới dạng $Al(OH)_3$ keo dương, có khả năng trung hòa các hạt keo âm phổ biến trong nước thải (các chất hữu cơ, colloid, đất sét, chất màu, vi khuẩn v.v.). Khi điện tích bề mặt bị trung hòa, các hạt keo sẽ mất ổn định và kết dính với nhau tạo

thành bông cặn dễ lắng [14]. Tuy nhiên, trong môi trường pH thấp (pH < 5,5), nhôm tồn tại chủ yếu dưới dạng Al^{3+} và $Al(OH)^{2+}$, không thuận lợi cho quá trình keo tụ vì các dạng này quá bền vững, không tạo kết tủa, dẫn đến quá trình trung hòa và bắt dính keo âm kém hiệu quả. Ngược lại, ở pH cao (pH > 8,5), Al^{3+} chuyển hóa thành dạng $Al(OH)_4^-$ và $Al(OH)_3$ có xu hướng tạo thành gel nhớt, phân tán chậm, làm giảm khả năng keo tụ và khiến bông keo không ổn định [14]. Trong khi đó, dịch chiết từ cây đay được biết đến là nguồn giàu polysaccharide có khả năng tạo chất nhầy với các nhóm chức hydroxyl (–OH) và carboxyl (–COOH) [8]. Với đặc điểm cấu trúc mạch dài và mang điện âm, dịch chiết từ cây đay không trực tiếp trung hòa các hạt keo âm, mà chủ yếu đóng vai trò hấp phụ và bắt dính các bông keo dương đã hình thành từ phèn nhôm. Cơ chế này được gọi là tạo cầu nối do các phân tử polyme sinh học liên kết với nhiều bông keo dương thông qua lực hút tĩnh điện và tương tác hydro, giúp hình thành các bông lớn hơn, dễ lắng hơn [5]. Điều này giải thích tại sao ở pH trung tính, hiệu quả keo tụ đạt cao nhất: phèn nhôm tạo ra các keo dương $Al(OH)_3$ ổn định, đồng thời dịch chiết từ cây đay có trạng thái ion hóa phù hợp để tương tác với các bông keo dương này.



Hình 2. Ảnh hưởng của pH đến quá trình keo tụ với nồng độ phèn 45 mg/L và nồng độ COE 10 mg/L

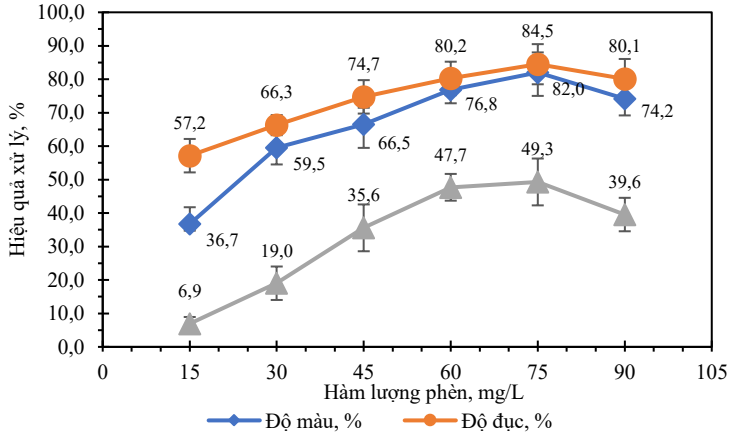
Kết quả của nghiên cứu này hoàn toàn phù hợp với xu hướng chung được ghi nhận trong nhiều công trình khoa học quốc tế về hiệu quả trợ keo tụ của các polyme sinh học có nguồn gốc tự nhiên. Theo tổng quan của Nath và cộng sự [15], các hợp chất có bản chất polysaccharide như chitosan, galactomannan và tannin thường cho hiệu quả trợ keo tụ cao nhất trong vùng pH trung tính đến hơi kiềm. Trong khoảng pH này, các chuỗi polyme đạt trạng thái ion hóa tối ưu, tạo điều kiện thuận lợi cho việc hình thành các liên kết điện tích hoặc liên kết hydro với các bông keo dương sinh ra từ muối nhôm hoặc sắt. Nghiên cứu của Souza và cộng sự về dịch chiết từ cây xương rồng (*Opuntia ficus indica)* cũng cho thấy hiệu suất loại bỏ độ đục lên tới 90% tại pH 6,0 khi kết hợp với $FeCl_3$. Các tác giả cho rằng galacturonic acid – thành phần chính trong dịch nhầy của xương rồng – đóng vai trò then chốt trong cơ chế tạo cầu nối giữa các hạt keo [16]. Tương tự, Madrona và cộng sự khi nghiên cứu về chiết xuất từ hạt cây chùm ngây (*Moringa oleifera)* đã chỉ ra rằng pH tối ưu trong khoảng 6,0–7,0 mang lại hiệu quả xử lý cao nhất, nhờ hoạt động mạnh mẽ của polysaccharide có khả năng hấp phụ lên bề mặt bông keo và thúc đẩy quá trình trợ keo tụ [17]. Ngoài ra, một số nghiên cứu cũng nhấn mạnh rằng pH tối ưu có thể thay đổi tùy thuộc vào bản chất hóa học và thành phần nhóm chức của từng loại polyme thực vật nếu sử dụng đơn lẻ. Tuy nhiên, khi được phối hợp với muối kim loại như phèn nhôm, vùng pH trung tính thường mang lại hiệu quả ổn định và cao nhất. Điều này được lý giải bởi sự đồng thời xảy ra của hai quá trình: sự hình thành keo dương ổn định từ Al^{3+} và trạng thái ion hóa thuận lợi của các nhóm chức âm trong polyme sinh học, từ đó gia tăng hiệu quả hấp phụ và kết bông. Cơ chế này được củng cố rõ ràng trong nghiên cứu của Chi và Cheng [18], khi sử dụng chitosan để xử lý nước thải chế biến sữa và ghi nhận pH 6,8 là điều kiện đạt hiệu suất loại bỏ COD cao nhất.

Từ tất cả các phân tích trên, có thể kết luận rằng pH 7,0 là điều kiện xử lý phù hợp cho quá trình keo tụ - tạo bông bằng phèn nhôm có trợ giúp dịch chiết cây đay. Việc chọn lựa pH này không chỉ mang lại hiệu quả xử lý vượt trội mà còn giúp duy trì ổn định vận hành, giảm yêu cầu về hóa chất

điều chỉnh pH, phù hợp với hướng phát triển công nghệ keo tụ xanh, thân thiện với môi trường và dễ ứng dụng thực tiễn.

3.2. Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng phèn nhôm

Quá trình khảo sát ảnh hưởng của liều lượng phèn nhôm trong khoảng 15 – 90 mg/L đã cho thấy mối quan hệ rõ ràng giữa liều lượng phèn và hiệu quả xử lý nước thải khi kết hợp với dịch chiết từ cây đay (Hình 3). Kết quả thí nghiệm cho thấy hiệu suất xử lý tăng dần theo liều lượng phèn và đạt cực đại ở mức 75 mg/L, với hiệu quả xử lý độ màu là 82,0%, độ đục là 84,5%, và COD là 49,3%. Tuy nhiên, khi tăng liều lượng lên 90 mg/L, hiệu quả xử lý màu và độ đục có xu hướng giảm, lần lượt còn 74,2% và 80,1%, trong khi hiệu quả xử lý COD giảm còn 39,6%. Điều này phản ánh hiện tượng quá liều phèn, thường xảy ra khi lượng cation Al^{3+} vượt ngưỡng cần thiết, gây ra hiện tượng tái phân tán keo hoặc đảo ngược điện tích bề mặt, khiến các hạt ổn định trở lại và hạn chế tạo bông keo [14].



Hình 3. Ảnh hưởng của liều lượng phèn nhôm đến quá trình xử lý với nồng độ COE 10 mg/L, pH 7,0

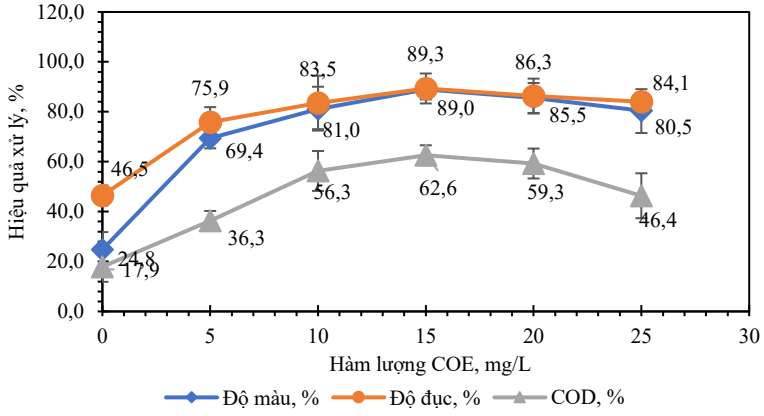
Về mặt cơ chế, phèn nhôm khi cho vào nước sẽ thủy phân tạo thành các cation như Al^{3+}, $Al(OH)^{2+}$ và các polyme nhôm dạng keo dương như $Al(OH)_3.nH_2O$. Các hạt này có khả năng trung hòa điện tích bề mặt của các hạt keo âm (chất hữu cơ, cặn lơ lửng, chất màu) trong nước thải, làm suy yếu lực đẩy tĩnh điện, tạo điều kiện để chúng va chạm, dính kết và hình thành bông cặn lắng được. Khi phối hợp với chất trợ keo tụ sinh học như dịch chiết cây đay, cơ chế hỗ trợ được thực hiện thông qua liên kết hydro, tạo cầu nối và hấp phụ bề mặt. Dịch chiết đóng vai trò bắt dính các bông keo dương do nhôm tạo ra, tăng độ lớn và trọng lượng bông, từ đó tăng tốc độ lắng và hiệu quả tách pha [15].

Các kết quả thu được tương đồng với các tài liệu công bố trước đây về liều lượng phối hợp giữa chất trợ keo tụ sinh học và phèn truyền thống. Cụ thể, Chi và Cheng cho thấy khi sử dụng chitosan kết hợp với phèn nhôm để xử lý nước thải ngành sữa, hiệu suất xử lý đạt cực đại ở nồng độ phèn từ 60–80 mg/L, và bắt đầu giảm khi tăng vượt mức 100 mg/L [18]. Trong nghiên cứu của Madrona và cộng sự, khi dùng hạt chùm ngây phối hợp với phèn, liều lượng tối ưu của phèn được ghi nhận là 50–75 mg/L để đạt hiệu quả xử lý màu và độ đục cao mà không sinh quá nhiều bùn [17]. Một nghiên cứu khác sử dụng dịch chiết cây dâm bụt (*Hibiscus rosa-sinensis*) kết hợp với phèn $FeCl_3$ cho thấy hiệu suất xử lý màu giảm đáng kể khi liều lượng phèn vượt quá 4.000 mg/L [19]. Trong khi đó, nghiên cứu tổng quan của Nath và cộng sự đã khuyến nghị phạm vi liều lượng phèn tối ưu là 30 – 80 mg/L khi phối hợp cùng các polyme sinh học có nguồn gốc tự nhiên như đậu phộng, chùm ngây hoặc chitosan [15].

Như vậy, kết quả trong nghiên cứu này tương đồng với các nghiên cứu trước đây. Nồng độ phèn 75 mg/L được xem là liều lượng thích hợp của phèn nhôm cho hiệu quả xử lý tổng hợp cao nhất khi phối hợp cùng dịch chiết cây đay. Việc sử dụng đúng liều lượng không chỉ nâng cao hiệu quả xử lý mà còn giúp giảm thiểu lượng bùn sinh ra, hạn chế chi phí hóa chất và duy trì độ ổn định của bể lắng. Điều này đặc biệt quan trọng trong ứng dụng thực tế, khi sự cân bằng giữa hiệu suất xử lý và chi phí vận hành luôn là yếu tố then chốt.

3.3. Khảo sát hàm lượng COE

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nồng độ dịch chiết cây đay trong dải 0 – 25,0 mg/L cho thấy hiệu suất xử lý nước thải tăng dần theo liều lượng dịch chiết, đạt cực đại tại nồng độ 15,0 mg/L, với hiệu suất loại bỏ độ màu, độ đục và COD lần lượt là 89,0%, 89,3% và 62,5%. Khi tăng nồng độ lên 20,0 và 25,0 mg/L, hiệu suất có xu hướng giảm nhẹ, đặc biệt với COD (còn 59,3% và 46,4%), cho thấy hiện tượng quá liều chất hữu cơ, gây ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình keo tụ - tạo bông. Đặc tính nước thải sau xử lý với nồng độ COE 15 mg/L là 248 Pt–Co, 286 NTU và 226 mg/L.



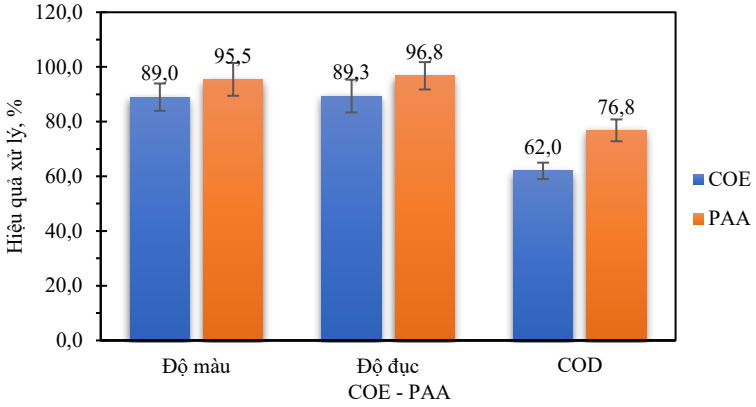
Hình 4. Ảnh hưởng của hàm lượng COE đến quá trình xử lý với nồng độ phèn 75 mg/L, pH 7,0

Về cơ chế, dịch chiết từ cây đay mang điện tích âm chứa các polysaccharide có nhóm chức anion như –COOH và –OH. Dịch chiết sẽ hoạt động như chất tạo cầu nối, gắn kết các bông keo dương này thông qua liên kết hydro và lực hút tĩnh điện âm giúp tăng kích thước và trọng lượng bông cặn [15]. Tuy nhiên, ở nồng độ quá cao, lượng polysaccharide dư thừa sẽ tồn tại dưới dạng keo ổn định âm hoặc đại phân tử tự hấp phụ lên bề mặt keo, gây ra hiện tượng bão hòa bề mặt hoặc phân tán lại, dẫn đến giảm hiệu quả xử lý [15].

So sánh với các nghiên cứu về chất trợ keo tụ nguồn gốc thực vật khác cho thấy có sự khác biệt khá rộng. Điều này có thể là do nồng độ chất ô nhiễm trong các nghiên cứu là khác nhau và thành phần polysaccharide trong các loại thực vật khác nhau. Trong nghiên cứu của Souza và cộng sự về dịch chiết từ cây xương rồng, nồng độ tối ưu cho hiệu quả loại bỏ COD cao nhất là 2,6 mg/L; khi vượt qua ngưỡng này, phần dư thừa polysaccharide gây gia tăng COD đầu ra do hòa tan trong nước thải [16]. Nghiên cứu sử dụng dịch chiết từ cây atiso đỏ cũng ghi nhận hiệu suất xử lý cao nhất ở nồng độ 190 mg/L [20]. Tương tự, khi ứng dụng dịch chiết cây chùm ngây, Madrona và cộng sự cho thấy liều lượng vượt 50 mg/L làm giảm hiệu quả xử lý do ô nhiễm ngược từ protein dư thừa không được hấp phụ [17]. Với chitosan, Chi và Cheng ghi nhận hiệu suất xử lý tăng đến liều 10 mg/L nhưng giảm rõ rệt ở mức 20 mg/L do hiện tượng quá bão hòa bề mặt [18].

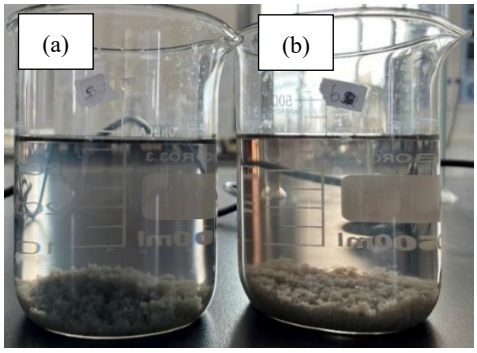
3.4. So sánh hiệu quả trợ keo tụ giữa COE và PAA

Trong thí nghiệm này, hiệu quả trợ keo tụ của COE được so sánh với polyme thương mại thường dùng trong xử lý nước là PAA. Kết quả cảm quan cho thấy quá trình trợ keo tụ với COE cho hiệu quả lắng tốt, bùn lắng nhanh, bông bùn to, chắc. Tuy nhiên, độ màu của nước sẫm hơn so với PAA. Kết quả phân tích cho thấy hiệu suất xử lý độ màu và độ đục tương đương nhau, trong khi hiệu suất xử lý COD của PAA cao hơn 14,8% so với COE. Sự khác biệt về hiệu quả xử lý có thể được giải thích từ đặc tính hóa học và độ tinh khiết của hai loại chất trợ keo tụ. PAA là polyme tổng hợp có trọng lượng phân tử cao và tính đồng nhất cao, có khả năng kéo dài và che phủ bề mặt các hạt ô nhiễm hữu cơ, từ đó làm tăng hiệu suất loại bỏ chất hữu cơ hòa tan. Ngược lại theo các nghiên cứu trước đây, dịch chiết từ cây đay là vật liệu tự nhiên, có thành phần phức tạp và chứa nhiều tạp chất không hoạt tính (cellulose, lignin, protein không phân ly v.v.) [8], do đó hiệu quả loại bỏ COD thấp hơn có thể là kết quả của việc tái hòa tan một phần chất hữu cơ trong dung dịch chiết khi sử dụng ở nồng độ cao [21].



Hình 5. So sánh hiệu quả xử lý của COE và polyme thương mại PAA

Một số kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy hiệu quả xử lý của polyme thực vật tương tự như PAA. Nghiên cứu của Madrona và cộng sự với hạt chùm ngây chỉ ra rằng mặc dù hiệu suất loại bỏ độ đục và màu tương đương với PAA, hiệu quả xử lý COD của chùm ngây thường thấp hơn 10–15% do hàm lượng protein và các hợp chất hòa tan làm gia tăng giá trị COD trong nước [17]. Tương tự, khi sử dụng dịch chiết từ cây xương rồng, mặc dù hiệu quả trợ keo tụ đạt trên 90% về độ đục, khả năng loại bỏ COD bị giới hạn do thành phần nhầy trong dịch chiết góp phần vào tổng lượng chất hữu cơ [16]. Nghiên cứu của Yong và Ismail với cây atisô đỏ cũng ghi nhận hiện tượng tương tự, khi COD sau xử lý tăng nhẹ ở liều lượng cao do dư thừa polyme thực vật [20].



Hình 6. Mẫu thí nghiệm keo tụ - tạo bông giữa COE (a) và PAA(b)

Tóm lại, kết quả so sánh này cho thấy COE có thể được xem là chất trợ keo tụ sinh học hiệu quả, đạt hiệu suất xử lý độ màu và độ đục cao tương đương PAA (giá trị $p_{t\text{-}test}$ lần lượt là 0,2229 và 0,1716 > 0,05). Dù hiệu quả xử lý COD của COE thấp hơn PAA (giá trị $p_{t\text{-}test}$ = 0,0069 < 0,05), COE vẫn là lựa chọn khả thi và thân thiện với môi trường, đặc biệt khi yêu cầu xử lý tập trung vào chất rắn lơ lửng và độ màu. Việc sử dụng COE cũng giúp giảm lượng hóa chất tổng hợp cần thiết và phù hợp với định hướng phát triển bền vững trong xử lý nước. Bên cạnh đó, COE có thể chiết xuất từ nguyên liệu rẻ tiền, có sẵn tại Việt Nam và dễ phân hủy sinh học, cho thấy tiềm năng thay thế PAA trong xử lý nước thải.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Nghiên cứu này đã khảo sát hiệu quả của dịch chiết từ cây đay trong vai trò chất trợ keo tụ kết hợp với phèn nhôm ($Al_2(SO_4)_3$) xử lý nước thải dệt nhuộm. Kết quả cho thấy dịch chiết cây đay có khả năng trợ keo tụ tốt. Điều kiện xử lý thích hợp cho quá trình keo tụ - tạo bông được xác định là pH 7,0, nồng độ phèn nhôm 75,0 mg/L, nồng độ dịch chiết 15,0 mg/L. Trong điều kiện này, hiệu quả xử lý độ màu, độ đục và COD lần lượt là 88,9%, 89,3% và 62,0% tương ứng với giá trị sau xử lý là 248 Pt–Co, 286 NTU, và 226 mg/L. Hiệu quả xử lý độ màu và độ đục tương đương với polyme thương mại PAA.

4.2. Kiến nghị

Do đây chỉ mới là bước đầu thăm dò khả năng trợ keo tụ của polyme từ cây đay. Từ kết quả đạt được, nghiên cứu đề xuất một số hướng phát triển như nghiên cứu hoàn thiện quy trình tách chiết và khảo sát đặc tính của polyme để có cái nhìn rõ ràng hơn về cơ chế keo tụ - tạo bông. Bên cạnh đó, cần có các nghiên cứu về khả năng phân hủy sinh học của polyme này, nhằm đánh giá rủi ro lâu dài khi áp dụng trong thực tế. Cuối cùng là mở rộng nghiên cứu đến các loại nước thải phức tạp hơn như nước thải giấy, nước thải xi mạ v.v., nhằm đánh giá tính linh hoạt và phổ ứng dụng của polyme này.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này do Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh bảo trợ và cấp kinh phí theo Hợp đồng số 129/HĐ-DCT ngày 15 tháng 7 năm 2024.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] P. Kumar, R. Agnihotri, K. L. Wasewar, H. Uslu, & C. K. Yoo, "Status of adsorptive removal of dye from textile industry effluent," *Desalination and Water Treatment*, vol. 50, nos. 1–3, pp. 226–244, 2012, doi: https://doi.org/10.1080/19443994.2012.719472

[2] J. Bell, J. J. Plumb, C. A. Buckley, & D. C. Stuckey, "Treatment and Decolorization of Dyes in an Anaerobic Baffled Reactor," *Journal of Environmental Engineering*, vol. 126, no. 11, pp. 1026–1032, 2000, doi: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2000)126:11(1026)

[3] S. Gautam & G. Saini, "Use of natural coagulants for industrial wastewater treatment," *Global Journal of Environmental Science and Management*, vol. 6, no. 4, pp. 553–578, 2020, doi: https://doi.org/10.22034/gjesm.2020.04.10

[4] A. Koocheki, A. R. Taherian, S. M. A. Razavi, & A. Bostan, "Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from Lepidium perfoliatum seeds," *Food Hydrocoll*, vol. 23, no. 8, pp. 2369–2379, 2009, doi: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.06.014

[5] C. S. Lee, M. F. Chong, J. Robinson, & E. Binner, "A review on development and application of plant-based bioflocculants and grafted bioflocculants," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 53, no. 48, pp. 18357–18369, 2014, doi: https://doi.org/10.1021/ie5034045

[6] A. Patchaiyappan & S. P. Devipriya, "Application of plant-based natural coagulants in water treatment. Cost Effective Technologies for Solid Waste and Wastewater Treatment," *Elsevier*, pp. 51–58, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822933-0.00012-7

[7] M. Sfiligoj, S. Hribernik, K. Stana, & T. Kree, "Advances in Agrophysical Research", *InTech*, 2013, doi: http://dx.doi.org/10.5772/52372

[8] S. Akter, M. A. Satter, K. S. Ahmed, S. Biswas, & M. A. Bari, "Nutritional composition, bioactive compounds, and pharmacological activities of tossa jute sprout (*Corchorus olitorius* L.): A potential functional food," *Food Bioscience*, vol. 60, pp. 104324–104338, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104324

[9] W. E. Federation, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," *American Public Health Association*, 2005, doi: https://www.standardmethods.org/doi/book/10.2105/SMWW.2882

[10] M. Pivokonský, K. Novotná, L. Čermáková, & R. Petříček, "Jar Tests for Water Treatment Optimisation," *IWA Publishing*, 2022, doi: https://doi.org/10.2166/9781789062694

[11] A. B. Yeh, "Fundamentals of Probability and Statistics for Engineers," *Technometrics*, vol. 47, no. 2, pp. 239–248, 2005, doi: https://doi.org/10.1198/tech.2005.s266

[12] F. R. Spellman, "Mathematics Manual for Water and Wastewater Treatment Plant Operators: Wastewater Treatment Operations: Math Concepts and Calculations," *CRC Press*, 2023, doi: https://doi.org/10.1201/9781003354314

[13] J. Wolberg, "Data analysis using the method of least squares: Extracting the most information from experiments," *Springer Science & Business Media*, 2006, doi: https://doi.org/10.1007/3-540-31720-1

[14] D. Hendricks, "Fundamentals of Water Treatment Unit Processes: Physical, Chemical, and Biological," *CRC Press*, 2016, doi: https://doi.org/10.1201/9781439895092

[15] A. Nath, A. Mishra, & P. P. Pande, "A review of natural polymeric coagulants in wastewater treatment," *Materials Today,* vol. 46, pp. 6113–6117, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.551

[16] M. T. F. De Souza, E. Ambrosio, C. A. De Almeida, F. De Souza, & L. B. Santos, "The use of a natural coagulant (Opuntia ficus-indica) in the removal for organic materials of textile effluents," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 186, no. 8, pp. 5261–5271, 2014, doi: https://doi.org/10.1007/s10661-014-3775-9

[17] G. S. Madrona, G. B. Serpelloni, A. M. Salcedo, L. Nishi, K. C. Cardoso, & R. Bergamasco, "Study of the effect of Saline solution on the extraction of the Moringa oleifera seed's active component for water treatment," *Water Air Soil Pollution*, vol. 211, nos. 1–4, pp. 409–415, 2010, doi: https://doi.org/10.1007/s11270-009-0309-0

[18] F. Chi & W. Cheng, "Use of chitosan as coagulant to treat wastewater from milk processing plant," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 14, no. 4, pp. 411–417, 2006, doi: https://doi.org/10.1007/s10924-006-0027-2

[19] N. A. Awang & H. A. Aziz, "Hibiscus rosa-sinensis leaf extract as coagulant aid in leachate treatment," *Applied Water Science*, vol. 2, no. 4, pp. 293–298, 2012, doi: https://doi.org/10.1007/s13201-012-0049-y

[20] H. N. J. Hoong & N. Ismail, "Removal of Dye in Wastewater by Adsorption-Coagulation Combined System with Hibiscus sabdariffa as the Coagulant," *MATEC Web of Conferences EDP Sciences*, pp. 1–14, 2018, doi: https://doi.org/10.1051/matecconf/201815201008

[21] J. Saravanan, D. Priyadharshini, & A. Soundammal, "Wastewater Treatment using Natural Coagulants," *International Journal of Civil Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 40–42, 2017, doi: https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V4I3P109

ABSTRACT

STUDY ON USING EXTRACTS FROM JUTE BY-PRODUCTS (*Corchorus capsularis* L.) AS A COAGULATION AID FOR TEXTILE WASTEWATER TREATMENT

Nguyen Tan Phong[1], Nguyen Van Hoang[1], Pham Thi Thanh Hoa[2], Nguyen Duc Dat Duc[1*]

[1]*Ho Chi Minh City University of Industry and Trade*

[2]*Van Hien University*

*Email: *ducndd@huit.edu.vn*

Textile wastewater is characterized by high levels of synthetic dyes, persistent organic compounds, and heavy metals that can considerably harm ecosystems and human health if inadequately treated. Traditional coagulation-flocculation techniques frequently employ synthetic polymers like polyacrylamide, which are effective but produce significant amounts of hazardous sludge, potentially harming soil quality and raising long-term toxicity concerns. On the other hand, jute (*Corchorus capsularis* L.), a plant commonly grown in Vietnam, is often underutilized, particularly its post-harvest biomass. The leaves and stems of jute are rich in mucilaginous polysaccharides that exhibit promising qualities as flocculant aids. The extract is produced through mechanical grinding, heating, filtration, and centrifugation, and can be used directly as a coagulant aid. The coagulation process was conducted using a Jartest apparatus, with $Al_2(SO_4)_3$ serving as the main coagulant and the jute extract acting as a coagulant aid. Experimental findings indicated that under optimal conditions (pH 7.0, $Al_2(SO_4)_3$ 75.0 mg/L, jute extract 15.0 mg/L), removal efficiencies reached 89.0% for color, 89.3% for turbidity, and 62.0% for COD. This study highlights the potential of jute-derived extract as an economical, eco-friendly biopolymer coagulant aid for textile wastewater treatment, aligning with circular economy principles and sustainable water management.

Keywords: Jute, *Corchorus capsularis* L., polysaccharide coagulation, textile wastewater.