



Original Article

Application of Dragon Fruit Peel's Mucilage in Coagulation – Flocculation Process to Remove Turbidity from Water

Le Thi Hoang Oanh*, Pham Vu Hoang, Doan Thi Van, Nguyen Huu Huan

VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

Received 05 August 2020

Revised 22 February 2021; Accepted 18 June 2021

Abstract: The study determined flocculation activity of mucilage extracted from dragon fruit peel (*Hylocereus undatus*) and its ability in reducing synthetic coagulant polyaluminium chloride (PAC) used in coagulation – flocculation process to remove turbidity of different types of water. Investigated waters were turbid waters made from kaolin suspension (KS), suspension of river water with hill soil (FW), and To Lich river water (TL). Turbidity removal was assessed in a sequent coagulation and flocculation model using PAC and mucilage extracted from dragon fruit peel in Jar-tests. Optimal coagulation conditions of PAC with PAC dosage of 20-50 mg/L and pH range of 6-8 regardless of water types and resulted in maximum turbidity removal of about 98%. In order to obtain a comparable turbidity removal, 50%-68% of the required PAC was reduced if mucilage was used. The presence of mucilage enhanced turbidity removal of PAC by 13-22% total efficiency. Mucilage extracted from dragon fruit peel has shown its flocculation ability and its potential as a green material in water treatment.

Keywords: Mucilage, dragon fruit peel, water treatment, coagulation, flocculation.

* Corresponding author.

E-mail address: hoangoanh.le@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4659>

Bước đầu sử dụng chất nhầy tách chiết từ vỏ quả thanh long trong quá trình keo tụ - tạo bông xử lý độ đục của nước

Lê Thị Hoàng Oanh*, Phạm Vũ Hoàng, Đoàn Thị Vân, Nguyễn Hữu Huân

*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 05 tháng 8 năm 2020

Chỉnh sửa ngày 22 tháng 02 năm 2021; Chấp nhận đăng ngày 18 tháng 6 năm 2021

Tóm tắt: Nghiên cứu xác định hiệu quả trợ keo tụ của chất nhầy tách chiết từ vỏ quả thanh long (*Hylocereus undatus*) và khả năng giảm lượng chất keo tụ hóa học poly aluminum clorua (PAC) sử dụng trong quá trình keo tụ tạo bông để xử lý độ đục của các loại nước khác nhau. Các mẫu nước nghiên cứu gồm nước đục nhân tạo từ huyền phù cao lanh (KS), huyền phù từ nước sông và đất đồi (FW) và nước sông Tô Lịch (TL). Hiệu quả loại bỏ độ đục được nghiên cứu trên hệ keo tụ - tạo bông sử dụng PAC và chất nhầy từ vỏ quả thanh long theo mô hình Jar-test. Kết quả cho thấy điều kiện keo tụ tối ưu của PAC đạt được ở liều PAC là 20-50 mg/L và pH trong khoảng 6-8 (không phụ thuộc vào loại nước), với hiệu quả làm giảm độ đục cao nhất khoảng 98% đối với các mẫu nước đục. Khi sử dụng chất nhầy kết hợp với PAC thì lượng PAC sử dụng được giảm đi 50-68% để đạt được cùng hiệu quả làm giảm độ đục so với trường hợp chỉ sử dụng riêng PAC. Khi có mặt của chất nhầy, hiệu quả làm giảm độ đục của PAC được tăng cường 13-22%. Chất nhầy tách chiết từ vỏ quả thanh long đã thể hiện khả năng trợ keo tụ và có tiềm năng là một vật liệu xanh trong xử lý nước.

Từ khóa: Chất nhầy, vỏ quả thanh long, xử lý nước, keo tụ, tạo bông.

1. Mở đầu

Keo tụ - tạo bông là một biện pháp được sử dụng rộng rãi như một khâu xử lý sơ cấp đối với nước và nước thải [1]. Quá trình này gồm 2 giai đoạn khác nhau là: i) Giai đoạn khuấy trộn nhanh chất keo tụ vào nước; và ii) Kết tụ các hạt nhỏ thành bông lớn hơn nhờ hòa tan một cách nhẹ nhàng chất trợ keo tụ vào nước [1, 2].

Chất hoá học thông thường được sử dụng làm chất keo tụ và trợ keo tụ là muối của sắt và nhôm và các polymer tổng hợp như poly aluminum clorua (PAC), polyacrylamide (PAM), polyacrylic axit (PAA),... Tuy được áp dụng phổ biến nhưng chúng có rất nhiều hạn chế

như chi phí khá cao, gây tác hại cho sức khỏe con người, tạo ra lượng bùn lớn và thường ảnh hưởng đến pH của nước sau xử lý [1, 3, 4]. Tồn dư nhôm trong nước cấp được cho là gây bệnh Alzheimer ở người [3]; trong khi tồn dư của các monomer và dẫn xuất của polymer tổng hợp gây độc thần kinh hoặc ung thư [4]. Thêm vào đó, chi phí nhập khẩu các loại hoá chất này rất lớn ở các nước đang phát triển [5]. Vì vậy, cần sử dụng các chất keo tụ - tạo bông thân thiện với môi trường để thay thế hoặc giảm bớt các chất hóa học phổ dụng này.

Chất keo tụ - tạo bông có nguồn gốc sinh học, bao gồm cả chất keo tụ - tạo bông có nguồn

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: hoangoanh.le@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4659>

gốc thực vật, có nhiều triển vọng thay thế hoặc giảm bớt các chất hóa học dùng trong keo tụ - tạo bông [1, 2, 5, 6]. Các chất này rất dễ phân hủy, không độc, không gây ăn mòn, không làm thay đổi pH của nước đầu ra, dễ tìm kiếm từ các nguồn tài nguyên nông nghiệp tái tạo và không tạo ra chất ô nhiễm thứ cấp [1, 2, 5-7]. Thêm vào đó, lượng bùn thải tạo ra dễ dàng bị phân hủy sinh học [1, 5, 7]. Sử dụng chất chế tạo từ các nguồn nguyên liệu địa phương cũng sẽ kinh tế hơn so với phải nhập khẩu các hóa chất [8]. Hiệu quả làm giảm độ đục của các chất keo tụ - tạo bông có nguồn gốc thực vật nghiên cứu dao động từ 60% đến 99% trong các nghiên cứu trong và ngoài nước [2, 5, 7-11].

Tuy vậy, các nghiên cứu tập trung vào sản phẩm từ các bộ phận thực vật có giá trị như hạt chùm ngây (*Moringa oleifera*), hạt dầu mè (*Jatropha curcas* L.) và hạt một số cây họ đậu (*Phaseolus vulgaris*, *Glycin max* L. Merr.),... [2, 5, 7-11]. Trên thế giới, một số công ty sản xuất và thương mại hóa các sản phẩm chất keo tụ - tạo bông thực vật như: Servyeco (Tây Ba Nha) với loại sản phẩm ECOTAN, và Abachem Specialty Chemicals Private Limited (Ấn Độ) với loạt sản phẩm Flox@natural. Riêng tại Việt Nam, các chất keo tụ - tạo bông có nguồn gốc sinh học nói chung và từ thực vật nói riêng chưa được quan tâm của nhiều nhà khoa học, cũng như chưa được thương mại hóa một cách phổ biến trên thị trường [9-11].

Cây thanh long là loài cây nông nghiệp được trồng phổ biến tại Việt Nam. Vỏ quả thanh long là phần còn lại từ tiêu thụ tươi hoặc chế biến trái cây và là một loại chất thải rắn nông nghiệp. Vỏ quả thanh long khá dày, chiếm khoảng 22-30% khối lượng quả [12, 13]. Nó chứa một lượng đáng kể chất nhầy cấu tạo bởi các polysaccharide, đặc biệt là pectin [13, 14]. Vỏ thanh long có hàm lượng pectin cao ở mức 10,79% - 20,14% [12-16]. Pectin bao gồm chủ yếu hetero-polysaccharide có tính axit, giàu axit galacturonic (GalA) có cấu trúc như một xương sống với 3 loại pectin gồm homogalacturonan (HG), rhamnogalacturonan-I (RG-I) và rhamnogalacturonan-II (RG-II) [14]. Chất nhầy từ vỏ quả thanh long có hiệu quả trong xử lý

nước rỉ rác bằng quá trình keo tụ [13] và nước thải nhuộm [17, 18] nhưng chưa được nghiên cứu ứng dụng trên các loại nước khác.

Nghiên cứu này có mục đích đánh giá khả năng làm giảm độ đục của nước của chất nhầy tách chiết từ vỏ quả thanh long khi kết hợp với PAC trong hệ keo tụ - tạo bông nhằm hướng tới ứng dụng trong xử lý chất thải rắn và xử lý nước.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp tách chiết chất nhầy từ vỏ quả thanh long

Chất nhầy từ vỏ thanh long ruột trắng (*Hylocerus undatus*) được tách chiết dựa trên phương pháp của Ismail (2018) [13]. Vỏ thanh long được thu gom, rửa sạch, rồi cắt nhỏ đến kích cỡ 5 mm, đem đi sấy khô ở nhiệt độ 50 °C cho đến khối lượng không đổi. Quy trình tách chiết bắt đầu bằng việc đun cách thủy hỗn hợp vỏ thanh long và nước theo tỉ lệ 1:8 (v/m) ở nhiệt độ 60 °C trong vòng 1 giờ và sau đó để nguội đến nhiệt độ phòng. Hỗn hợp rắn lỏng thu được đem đi lọc qua 8 lớp vải muslin (cỡ lỗ 0,7 mm) để thu dịch lọc chứa chất nhầy. Dịch này được trộn với axeton theo tỉ lệ 1:3 để kết tủa chất nhầy. Kết tủa thu được rửa 3 lần với cồn 96% để loại bỏ các chất bám dính trên bề mặt của nó và đem sấy ở nhiệt độ 40 °C đến khi khối lượng không đổi. Sau khi được sấy khô, chất nhầy được nghiền nhỏ, cho vào túi zip đặt trong bình hút ẩm để bảo quản đến khi sử dụng. Đặc điểm các nhóm chức bề mặt và thế zeta của chất nhầy thành phẩm được mô tả tại [17].

2.2. Phương pháp xác định hiệu quả làm giảm độ đục của nước của chất nhầy tách chiết từ vỏ quả thanh long nhờ quá trình keo tụ - tạo bông

2.2.1. Phương pháp chuẩn bị nước đục

Ngoài mẫu nước sông Tô Lịch (TL), nghiên cứu sử dụng 2 mẫu nước đục nhân tạo là nước cao lanh (KS) và nước lứt giả định (FW).

Nước sông Tô Lịch (TL) có độ đục khoảng 63 NTU, thu được sau khi để lắng nước lấy ở điểm sông Tô Lịch gần với trường trung học cơ

sở Quang Trung, Đông Đa, Hà Nội trong 1 giờ. Mẫu nước được thu ở lớp nước bề mặt (0-20 cm) tại toạ độ 21°00'25,6"N 105°48'54,9"E vào ngày 31/03/2019.

Nước cao lanh là lớp nước thu được sau khi lắng dung dịch huyền phù chứa cao lanh phân tán trong nước máy (12,5 g/L) trong vòng 1 giờ và pha loãng đến độ đục khoảng 200 NTU. Cao lanh sử dụng là cao lanh làm gốm sứ Bát Tràng có thành phần chính kaolinite và dickite.

Nước lụt giả định có độ đục 369 NTU, thu được sau khi lắng hỗn hợp đất đồi và nước sông Hồng (2 g/L) trong 1 giờ. Nước sông Hồng được lấy ở lớp bề mặt (0-20 cm) tại toạ độ 21°00'37,5"N 105°52'06,0"E vào 20/08/2019. Đất đồi được thu thập tại Phú Hộ, Phú Thọ (21°26'N 105°15'E) với thành phần gồm 21% cát, 40% limon và 39% sét; Thành phần nguyên tố Si, Al, Fe và C hữu cơ chiếm khoảng 18, 13, 7, và 2%; Khoáng vật sét chủ yếu ở đây là kaolinite.

2.2.2. Phương pháp xác định điều kiện keo tụ tối ưu của chất keo tụ PAC

Quá trình keo tụ được thử nghiệm trên mô hình Jar-test như phương pháp của Anastasakis (2009) [19]. Quy trình thí nghiệm chung để xác định hiệu quả xử lý độ đục của hệ keo tụ - tạo bông gồm các bước tuần tự: nước thải đầu vào được điều chỉnh pH bằng NaOH hoặc HCl trước khi cho vào bình thí nghiệm; PAC (Poly Aluminium Chloride $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$) 30%, hóa chất công nghiệp Đức Giang) được cho vào nước thải với liều lượng thiết kế, tiến hành khuấy nhanh (200 vòng/phút) trong vòng 1 phút, khuấy chậm (30 - 40 vòng/phút) trong vòng 10 phút và để lắng. Hiệu quả làm giảm độ đục được đánh giá bằng cách đo lại độ đục của nước sau quá trình xử lý ở độ sâu 3 cm. Hiệu quả làm giảm độ đục được tính bằng % độ đục bị giảm đi do tác động của hệ xử lý. Độ đục của nước được đo bằng máy đo độ đục cầm tay Hach 2100Q theo đơn vị NTU - Nephelometric Turbidity Unit. Các điều kiện keo tụ được khảo sát gồm thời gian lắng (10, 20, 30, 40, 50 và 60 phút), pH của nước ban đầu (4, 5, 6, 7, 8, 9) và liều PAC sử dụng (0-300 mg/L với bước nhảy 2, 5 và 10 mg/L).

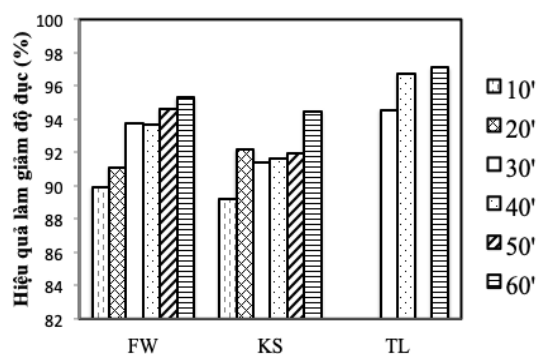
2.2.3. Phương pháp xác định hiệu quả làm giảm độ đục của chất nhày khi kết hợp với PAC trong hệ keo tụ - tạo bông

Chất nhày được kết hợp với PAC với vai trò chất trợ keo tụ để tăng kích thước và khả năng lắng của các bông keo, đồng thời giảm lượng PAC sử dụng. Thí nghiệm được tiến hành tương tự như trên, sử dụng pH và thời gian lắng tối ưu và PAC với liều lượng nhỏ hơn liều lượng tối ưu. Chất nhày được cho vào ở giai đoạn khuấy chậm với liều lượng nằm trong khoảng 0 - 60 mg/L.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Điều kiện keo tụ tối ưu của chất keo tụ PAC đối với các mẫu nước nghiên cứu

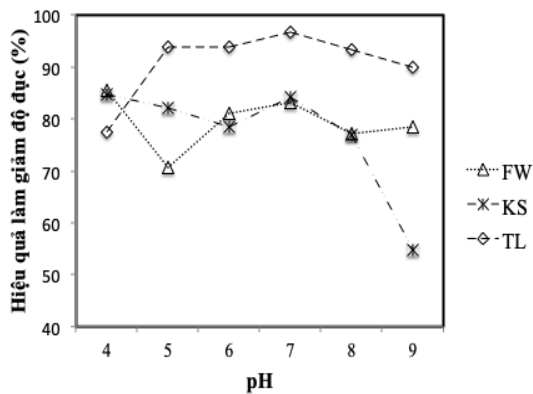
3.1.1. Thời gian lắng và pH tối ưu



Hình 1. Ảnh hưởng của thời gian lắng đến hiệu quả làm giảm độ đục của quá trình keo tụ dùng PAC.

Thời gian lắng tối ưu được xác định trên các mẫu nước nghiên cứu có giá trị tương tự (Hình 1). Mẫu nước sông Tô Lịch (TL) là mẫu đầu tiên được nghiên cứu với thiết kế 3 thời điểm lắng; trong khi các mẫu còn lại được nghiên cứu sau với 6 thời điểm lắng nhằm minh họa rõ hơn tác động của thời gian lắng đến hiệu quả xử lý độ đục của hệ keo tụ - tạo bông. Hiệu quả làm giảm độ đục có xu hướng tăng khi thời gian lắng tăng từ 10 đến 30 phút; Khi tiếp tục tăng thời gian lắng đến 60 phút thì mức độ tăng hiệu quả làm giảm độ đục đạt được rất thấp (0-3%). Điều này cho thấy thời gian lắng từ 30 phút là phù hợp để

đạt được hiệu quả làm giảm độ đục ổn định và cao nhất đối với các mẫu nước nghiên cứu. Thời gian lắng phụ thuộc vào loại chất keo tụ được sử dụng và kích cỡ của hạt chất rắn được hình thành nhờ kết tụ các hạt keo đã bị mất ổn định do tác dụng của chất keo tụ sử dụng. Thời gian lắng 30-60 phút cũng là thời gian lắng phù hợp với các quá trình keo tụ - tạo bông sử dụng các chất keo tụ sinh học được tổng kết bởi Lee và cộng sự (2014) [7].



Hình 2. Ảnh hưởng của pH đến hiệu quả làm giảm độ đục của quá trình keo tụ dùng PAC.

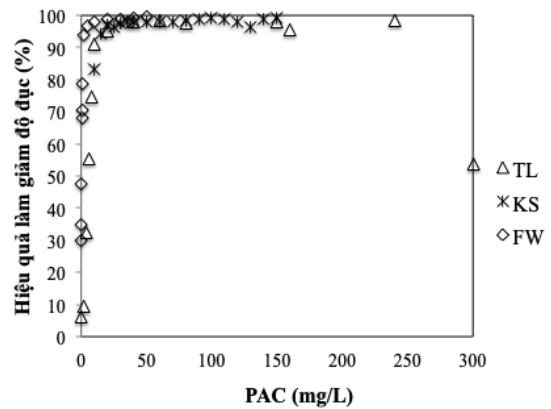
Khả năng làm giảm độ đục của PAC ổn định trong khoảng pH từ 5-8, 6-9 và 5-8 đối với mẫu nước TL, KS và FW (Hình 2). Ở pH kiềm (8-9), hiệu quả làm giảm độ đục thấp hơn so với khoảng pH trung tính đối với cả 3 mẫu nước. Trong khi đó, pH của 3 loại nước kể trên lần lượt có giá trị 7,0-7,8; 7,0-7,5 và 8,0-8,4 hoàn toàn phù hợp với điều kiện pH hoạt động hiệu quả của PAC. Điều này có ý nghĩa rất tích cực do không phải điều chỉnh pH của nước nghiên cứu và tiết kiệm được chi phí hoá chất trong quá trình xử lý.

Tác động của pH ban đầu đến hiệu quả làm giảm độ đục liên quan đến các dạng thủy phân của nhôm [20]. Các dạng thủy phân điện tích dương của nhôm (gồm cả dạng polymer hoá) tồn tại trong khoảng pH 5-8 có chức năng đặc biệt quan trọng trong trung hòa điện tích của các hạt keo, khiến chúng bất ổn định và gắn kết với nhau thành hạt cỡ lớn hơn. PAC có khả năng hoạt động hiệu quả trong xử lý độ đục của nước trong

khoảng pH 5-8 nhờ sự ổn định cấu trúc của Al_{30} trong nước [19, 21].

3.1.1. Liều lượng PAC tối ưu

Theo kết quả thể hiện ở Hình 3, ở pH ban đầu và thời gian lắng phù hợp (30 phút), sự có mặt của PAC với liều lượng 5-240 mg/L làm tăng hiệu quả làm giảm độ đục của tất cả các mẫu nước nghiên cứu; Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng PAC thì hiệu quả này bị giảm đi. Liều lượng PAC được cho là tối ưu đối với quá trình keo tụ để làm giảm độ đục của các mẫu nước nghiên cứu có giá trị trong khoảng 20-50 mg/L. Hiệu quả làm giảm độ đục khi này đạt gần ngưỡng tối đa với giá trị khoảng 98%. Trong khoảng liều lượng phù hợp, chất keo tụ có nguồn gốc muối vô cơ có xu hướng làm mất ổn định các hạt keo nhờ tác động làm giảm lớp điện kép của ion trái dấu; Nhưng khi vượt qua liều lượng tối ưu, sự ổn định không gian của các hạt keo lại diễn ra nên dư lượng các chất keo tụ làm tăng độ đục của nước [1, 19].



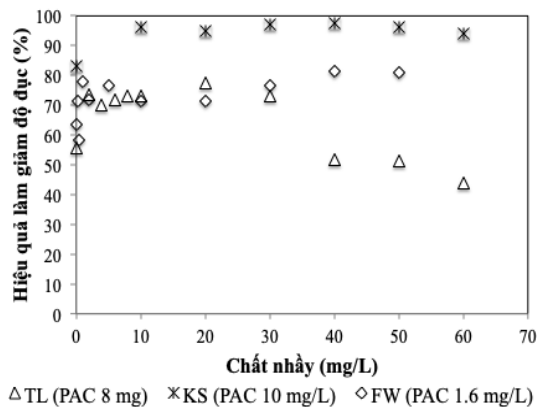
Hình 3. Ảnh hưởng của liều lượng PAC đến hiệu quả làm giảm độ đục của quá trình keo tụ.

Liều lượng PAC tối ưu được lựa chọn dựa trên nhiều tiêu chí khác nhau như khả năng làm giảm độ đục và giá trị kinh tế của việc sử dụng nó. Tuy vậy, trong nghiên cứu này, chất nhày vô thanh long được sử dụng làm chất trợ keo tụ để tăng cường hiệu quả hoạt động của PAC nên liều lượng PAC sử dụng không cần có hiệu quả xử lý độ đục cao nhất mà cần có hiệu quả xử lý phù

hợp để khi kết hợp với chất nhầy mang lại hiệu quả xử lý tốt.

3.2. Hiệu quả làm giảm độ đục của chất nhầy khi kết hợp với PAC trong hệ keo tụ - tạo bông để xử lý các mẫu nước nghiên cứu

Quá trình keo tụ - tạo bông được hoàn thiện nhờ sử dụng PAC làm chất keo tụ và chất nhầy làm chất trợ keo tụ. Hiệu quả làm giảm độ đục của các mẫu nước nghiên cứu được thể hiện tại Hình 4. Đối với mỗi loại nước, sự tăng liều lượng chất nhầy sử dụng trong khoảng 2-30 mg/L mang đến sự tăng hiệu quả làm giảm độ đục. Liều lượng chất nhầy trên 30 mg/L có thể tiếp tục tăng không đáng kể hoặc gây giảm hiệu quả làm giảm độ đục của nước. Liều lượng chất nhầy tối ưu chính là 10 mg/L khi lượng chất nhầy đã sử dụng ít nhất và hiệu quả làm giảm độ đục tiệm cận với mức tối đa. Hiệu quả làm giảm độ đục cao nhất đạt được với nước TL, KS và FW lần lượt là 77,35; 97,40; và 81,34%. Hiệu quả này có thể được nâng cao khi tiếp tục thay đổi công thức phối hợp của PAC và chất nhầy.



Hình 4. Hiệu quả làm giảm độ đục của nước khi kết hợp chất nhầy vô quả thanh long và PAC trong hệ keo tụ - tạo bông.

Có thể thấy rõ rằng, sự có mặt của chất nhầy sau khi keo tụ bằng PAC ở các liều lượng lựa chọn đã làm tăng hiệu quả làm giảm độ đục của nước từ 13-22%. Điều này cho thấy khả năng hoạt động như một chất trợ keo tụ của chất nhầy tách chiết từ vỏ quả thanh long. Thêm vào đó,

việc so sánh lượng PAC khi sử dụng đơn lẻ và khi sử dụng kết hợp với chất nhầy có hiệu quả làm giảm độ đục tương đương cho thấy lượng PAC tiết kiệm được nhờ tác dụng của chất nhầy lần lượt là 50, 50 và 68% đối với 3 mẫu nước TL, KS và FW. Khả năng tiết kiệm này là đáng kể và có ý nghĩa quan trọng đối với bảo vệ hệ sinh thái và sức khỏe con người [1, 3, 4].

Chất keo tụ - tạo bông sinh học có thể làm mất ổn định các phân tử keo trong nước bằng cách tăng cường các ion và làm giảm thế điện động dẫn đến giảm độ dày của lớp điện tích kép; Hoặc chúng có thể hấp thụ các ion đối nghịch để trung hòa các phân tử mang điện do chúng có cấu trúc phân tử lớn và nhiều nhóm chức (như nhóm hydroxyl, cacboxyl) có thể phản ứng với chất ô nhiễm [7]. Hiệu quả trợ keo tụ của chất nhầy vô quả thanh long được giải thích do bản chất polymer chứa axit galacturonic với điểm chức năng hấp phụ quan trọng [22, 23].

Khả năng tăng cường hiệu quả làm giảm độ đục của chất nhầy tách chiết từ vỏ quả thanh long tương đương với chất nhầy từ cây dâm bụt và côi xay [19]. Tác dụng của các loại chất nhầy thực vật lại thể hiện tương đương hoặc tốt hơn so với các sản phẩm thương mại [7, 19]. Hiệu quả làm giảm độ đục cao nhất đạt được nhờ tổ hợp PAC và chất nhầy từ 2 loại chất nhầy kể trên cũng đạt cao nhất 97% đối với nước đục nhân tạo và 74% đối với nước thải sau quá trình xử lý sinh học [19].

5. Kết luận

Nghiên cứu đã cho thấy chất nhầy tách chiết từ vỏ quả thanh long hoạt động hiệu quả như một chất trợ keo tụ trong hệ keo tụ - tạo bông sử dụng PAC làm chất keo tụ đối với 3 loại nước đục (TL, KS, FW) và mang lại hiệu quả làm giảm độ đục lần lượt là 77,35; 97,40; và 81,34%. Hiệu quả trợ keo tụ (tăng 13-22% hiệu quả làm giảm độ đục của nước khi kết hợp với PAC) tương đương với hiệu quả đạt được của chất nhầy từ một số loài thực vật và chất trợ keo tụ hóa học thương mại. Ngoài ra, việc sử dụng chất này còn tiết kiệm được lượng lớn PAC sử dụng (50-68%), phản ánh khả năng góp phần vào bảo vệ hệ sinh thái

thủy sinh và sức khỏe con người. Hơn nữa, nghiên cứu đã đưa ra một giải pháp đa lợi ích trong xử lý chất thải hữu cơ và ứng dụng của các sản phẩm có nguồn gốc sinh học trong xử lý môi trường.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Hà Nội trong đề tài mã số QG.18.12.

Tài liệu tham khảo

- [1] Y. C. Teh, M. P. Budiman, P. Y. K. Shak, Y. T. Wu, Recent Advancement of Coagulation-flocculation and its Application in Wastewater Treatment, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 55, No. 16, 2016, pp. 4363-4389, <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04703>.
- [2] S. Choy, M. Prasad, Y. Wu, N. Raman, A Review on Common Vegetables and Legumes as Promising Plant-based Natural Coagulants in Water Clarification, *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, Vol. 12, 2015, pp. 367-390, <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0446-2>.
- [3] S. Polizzi, E. Pira, M. Ferrara, M. Bugiani, A. Papaleo, R. Albera, S. Palmi, Neurotoxic Effects of Aluminium Among Foundry Workers and Alzheimer's Disease, *Neurotoxicology*, Vol. 23, 2002, pp. 761-774, [http://doi.org/10.1016/S0161-813X\(02\)00097-9](http://doi.org/10.1016/S0161-813X(02)00097-9).
- [4] C. Rudén, Acrylamide and Cancer Risk – Expert Risk Assessments and the Public Debate, *J. Food Chem. Toxicol.*, Vol. 42, 2004, pp. 335-349, <https://doi.org/10.1016/J.Fct.2003.10.017>.
- [5] G. Vijayaraghavan, T. Sivakumar, A. Kumar, Application of Plant Based Coagulants for Wastewater Treatment, *Int. J. Adv. Eng. Res. Stud.*, Vol. 1, No. 1, 2011, pp. 88-92.
- [6] M. Sciban, M. Klajn, M. Antov, B. Škrbić, Removal of Water Turbidity by Natural Coagulants Obtained from Chestnut and Acorn, *Bioresour. Technol.*, Vol. 100, 2009, pp. 6639-6643, <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>.
- [7] C. Lee, J. Robinson, C. Fong, A Review on Application of Flocculants in Wastewater Treatment, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 92, No. 6, 2014, pp. 489-508, <https://doi.org/10.1016/J.Psep.2014.04.010>.
- [8] R. Sanghi, B. Bhattacharya, A. Dixit, V. Singh, *Ipomoea dasysperma* Seed Gum: an Effective Natural Coagulant for the Decolorization of Textile Dye Solutions, *J. Environ. Manage.*, Vol. 81, 2006, pp. 36-41, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.015>.
- [9] D. M. Trung, B. T. T. Hương, N. V. C. Ngan, Application of Bioflocculant in Improving the Quality of Sea Food Processing Wastewater, *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, Vol. 6, No. 84, 2016, pp. 134-146 (in Vietnamese).
- [10] P. T. P. Trinh, N. T. H. Tham, N. T. Quang, N. T. T. Trang, D. M. Trung, Application of Bioflocculant in Treatment of Sea Food Processing Wastewater, *Thu Dau Mot University Journal of Science*, Vol. 2, No. 27, 2016, pp. 9-17 (in Vietnamese).
- [11] V. H. Thi, H. Hung, L. M. Khanh, Study on the Use of Moringa's Seed (*Moringa oleifera*) to Clarify Water in Vietnam, *Hue University Journal of Science*, Vol. 75a, No. 6, 2012, pp. 153-164 (in Vietnamese).
- [12] B. Jamilah, C. Shu, M. Kharidah, M. Dzulkifly, A. Noranizan, Physico-chemical Characteristics of Red Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) Peel, *International Food Research Journal*, Vol. 18, 2011, pp. 279-286.
- [13] S. Ismail, N. Mahiddin, S. Praveena, The Used of Dragon Fruit Peels as Eco-Friendly Wastewater Coagulants, *Asian J Agri & Biol*, Vol. 6, Special Issue, 2018, pp. 112-117.
- [14] W. Willats, P. Knox, J. Mikkelsen, Pectin: New Insights Into an Old Polymer Are Starting to Gel. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 17, 2006, pp. 97-104, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.008>.
- [15] P. Tang, C. Wong, K. Woo, Optimization of Pectin Extraction From Peel of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*), *Asian Journal of Biological Sciences*, Vol. 4, No. 2011, pp. 189-195, <http://doi.org/10.3923/ajbs.2011.189.195>.
- [16] F. D. Mello, C. Bernardo, C. Dias, L. Bosmuler, J. Meira, E. Amante, L. C. Bileski, Evaluation of the Chemical Characteristics and Rheological Behavior of Pitaya (*Hylocereus undatus*) Peel, *Fruits*, Vol. 69, 2014, pp. 381-390, <https://doi.org/10.1051/fruits/2014028>.
- [17] L. T. H. Oanh, L. T. Nhat, D. T. Van, P. V. Quang, N. V. Anh, N. H. Huan, Mucilage Extracted from Dragon Fruit Peel (*Hylocereus Undatus*) as Flocculant for Treatment of Dye Wastewater By Coagulation and Flocculation Process, *International Journal of Polymer Science* 2020,

- No. 7468343, 2020,
<http://doi.org/10.1155/2020/7468343>.
- [18] T. N. Le, D. T. Van, P. V. Quang, N. V. Anh, N. H. Huan, L. T. H. Oanh, Removal of Pollutants from Disperse Black Dye Wastewater by Mucilage from Dragon Fruit Peel, Vietnam Journal of Science and Technology, Vol. 58, No. 5, 2020, pp. 613-622, <http://doi.org/10.15625/2525-2518/58/5/15169>.
- [19] K. Anastakis, D. Kalderis, E. Diamadopoulos, Flocculation Behavior of Mallow and Okra Mucilage in Treating Wastewater, Desalination, Vol. 249, 2009, pp. 786-791, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.09.013>.
- [20] Z. Yang, B. Gao, Q. Yue, Y. Wang, Effect of pH on the Coagulation Performance of Al-based Coagulant and Residual Aluminum Speciation During the Treatment of Humic Acid-kaolin Synthetic Water, Journal of Hazardous Material, Vol. 178, 2010, pp. 596-603, <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.127>.
- [21] Z. Chen, B. Fan, X. Peng, Z. Zhang, J. Fan, Z. Luan, Evaluation of Al₃₀ Polynuclear Species in Polyaluminum Solutions as Coagulant for Water Treatment, Chemosphere, Vol. 64, 2006, pp. 912-918, <http://doi.org/10.1016/J.Chemosphere.2006.01.038>.
- [22] M. Miller, J. Fugate, O. Craver, A. Smith, B. Zimmerman, Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia Spp.* as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment, Environ. Sci. Technol, Vol. 42, 2008, pp. 4274-4279, <https://doi.org/10.1021/Es7025054>.
- [23] G. Cruz, J. Ramírez, L. Lagunas, L. Torres, Rheological and Physical Properties of Spray Dried Mucilage Obtained from *Hylocereus Undatus* Cladodes, Carbohydrate Polymers, Vol. 91, No. 1, 2013, pp. 394-402, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.08.048>.