

NGHIÊN CỨU MỘT SỐ YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN SỰ LẮNG ĐỘNG CỦA TẢO XOẮN KHÔ TRONG NƯỚC

STUDY ON SOME FACTORS AFFECTING THE SEDIMENTATION OF DRIED SPIRULINA IN WATER

Nguyễn Trọng Bách*, Nguyễn Thị Thu Lam,
Nguyễn Trần Lê Uyên, Đỗ Hoàng Sung, Võ Song Hương

Khoa Công nghệ thực phẩm, Trường Đại học Nha Trang

Tác giả liên hệ: Nguyễn Trọng Bách, Email: ntbachnt@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/02/2025; Ngày phản biện thông qua: 10/03/2025; Ngày duyệt đăng: 20/03/2025

TÓM TẮT

Spirulina platensis có giá trị dinh dưỡng cao và được ứng dụng nhiều lĩnh vực, đặc biệt trong lĩnh vực thực phẩm. Tuy nhiên sự phân tán trong nước của tảo khô không ổn định, chúng dễ bị lắng đọng trong thời gian ngắn. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến quá trình lắng của tảo, ở nghiên cứu này, tỉ lệ tảo trong nước, pH, sucrose và kappa carrageenan (κ -car) có ảnh hưởng đáng kể đến sự lắng đọng của tảo khô trong nước. Tảo lắng với tốc độ nhanh ở 20 phút đầu, sau đó tốc độ giảm đáng kể sau 50 phút lắng. Khi bổ sung sucrose hay κ -car với tỉ lệ lần lượt từ 15% hay 0,05% trở lên thì tính ổn định của tảo trong dung dịch tốt hơn, tỉ lệ khoảng lắng đọng giảm xuống còn dưới 18% sau 90 phút chờ lắng. Ở môi trường pH 8,5, tảo lắng sớm nhất và chậm nhất là ở pH 4,6. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, tảo xoắn có khả năng phân tán tốt hơn và ổn định hơn trong môi trường axit hay trung tính dưới sự có mặt của sucrose hay κ -car với tỉ lệ sử dụng đủ lớn.

Từ khóa: *Spirulina platensis*, sucrose, kappa carrageenan, pH, tảo xoắn

Abstract

Spirulina platensis has a high nutritional value and is applied in many fields, especially in the food industry. However, the dispersion of dried spirulina in water is unstable, they are prone to sedimentation in a short time. There are many factors affecting the sedimentation process of spirulina. In this study, the ratio of spirulina, pH, sucrose and kappa carrageenan (κ -car) significantly affected the sedimentation of dried spirulina in water. Spirulina settled rapidly in the first 20 minutes, then the rate decreased significantly after 50 minutes of sedimentation. When sucrose or κ -car was added at a ratio of 15% or 0.05% or more, the stability of spirulina in solution was better, the sedimentation rate decreased to below 18% after 90 minutes of sedimentation. In an environment of pH 8.5, spirulina settled earliest and slowest at pH 4.6. The research results showed that spirulina has better dispersion ability and is more stable in acidic or neutral environment in the presence of sucrose or κ -car at a sufficiently large usage rate.

Keywords: *Spirulina platensis*, sucrose, kappa carrageenan, pH

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tảo xoắn (*Spirulina platensis*) là một loại vi tảo dạng sợi xoắn màu xanh lục có thành phần dinh dưỡng đa dạng và chiếm tỉ trọng lớn [1]. Một trong các thành phần có giá trị dinh dưỡng cao trong tảo xoắn là protein, có thể đạt tới 75% theo khối lượng khô của tảo, và chúng bao gồm tất cả các axit amin thiết yếu [2, 3]. Đồng thời *Spirulina platensis* chứa nhiều loại khoáng chất như sắt, kali, canxi, mangan, photpho, đồng, magiê và kẽm; các vitamin như A, E, K, C, B [4]. Cũng như các sắc tố của nó bao gồm carotenoids, chlorophyll và phycocyanin

có khả năng chống oxy hóa và chống viêm được sử dụng trong ngành công nghiệp mỹ phẩm, y dược và thực phẩm chức năng [3, 5-7].

Các hợp chất trong tảo tươi rất nhạy cảm với nhiệt độ [8, 9], ánh sáng [10], hoạt động của enzyme nội tại [11], vi sinh vật,... làm cho chất lượng của tảo tươi giảm theo thời gian do các quá trình thủy phân, oxy hóa các thành phần có trong tảo. Do vậy, sinh khối tảo tươi sau thu hoạch thường được ép tách bớt nước trước khi sấy, đặc biệt là sấy thăng hoa, để loại bỏ nước ra khỏi sinh khối tảo để duy trì chất lượng của tảo nhằm kéo dài thời gian bảo quản.

Tuy nhiên, mặc dù phương pháp làm khô có thể là hoàn hảo nhất nhưng tảo vẫn có những biến đổi nhất định khi làm khô. Do đó tảo khô khi được hòa tan trong môi trường nước gặp trở ngại về độ hòa tan phân tán đều trong nước.

Với những giá trị sử dụng của tảo xoắn trong nhiều lĩnh vực của đời sống xã hội đã được công nhận, việc sử dụng tảo như là nguyên liệu chính hay phụ liệu trong sản xuất thực phẩm dạng rắn/sệt thì rất dễ dàng [12]. Nhưng với những ứng dụng mà sản phẩm ở dạng lỏng thì quá trình lắng đọng của tảo là một thách thức lớn. Dung dịch chứa tảo có xu hướng lắng nhanh, dẫn đến hiện tượng phân tầng, làm giảm độ đồng nhất và chất lượng cảm quan của sản phẩm cuối cùng. Điều này làm ảnh hưởng đến giá trị cảm quan của sản phẩm trong quá trình bảo quản, vận chuyển và sử dụng sản phẩm.

Với sự biến tính của tảo trong quá trình làm khô, cũng như đặc tính nguyên bản tảo xoắn có kích thước đáng kể mà ngay cả tảo tươi cũng có thể lắng đọng khi để trong môi trường lỏng để yên tĩnh. Sự biến đổi chất lượng gây ra sự lắng đọng của tảo, một trong các thành phần đáng quan tâm là protein và hàm lượng phycocyanin. Điều này phụ thuộc vào nhiều yếu tố như ảnh hưởng của pH [13-20], nhiệt độ [9, 21], phụ gia [13], polyme sinh học [13, 15, 16, 18, 19]. Các nghiên cứu ảnh hưởng này mới chỉ tập trung vào ảnh hưởng của các yếu tố đến điều kiện nuôi [10], ảnh hưởng của pH đến điều kiện hòa tan tách protein ra khỏi tảo [14, 17, 20, 22] hay ảnh hưởng của pH đến sự lắng đọng của tảo dưới sự có mặt của polyme khác

là chitosan [18]. Aysun Yüce tepe và cộng sự (2020) [18] đã dùng kết hợp bổ sung chitosan kết hợp với điều chỉnh pH từ 2-10, kết quả cho thấy có sự ảnh hưởng lớn đến độ hòa tan, sự kết tụ tảo xảy ra ở pH gần pH trung tính, chúng có tính tan đồng nhất ở pH thấp (≤ 4) hoặc cao (≥ 7).

Ở nghiên cứu này, để giải quyết vấn đề làm sao để hạn chế sự lắng đọng nhằm định hướng cho những ứng dụng sử dụng tảo xoắn khô trong sản xuất sản phẩm dạng lỏng, chúng tôi tập trung khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ tảo xoắn, pH của môi trường, tỉ lệ sucrose hay kappa carrageenan bổ sung đến sự lắng đọng của tảo theo thời gian. Kỹ thuật xác định mức độ lắng đọng của tảo được sử dụng là những quan sát căn bản cũng như kỹ thuật đo độ hấp thụ sóng UV của tảo trong dung dịch theo thời gian, từ đó tính toán được tốc độ lắng đọng, tỉ lệ lắng đọng của tảo khô trong dung dịch.

II. NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Nguyên liệu

1.1. Nguyên liệu chính

Tảo xoắn (*Spirulina platensis*) tươi từ Trại nuôi tảo xoắn ở xã Ninh Thọ, thị xã Ninh Hòa, Khánh Hòa được rửa qua nước sạch 3 lần và ép ráo đến độ ẩm $92,07 \pm 0,45\%$. Tảo tươi được dàn đều 1 cm trên khay sấy inox và được sấy thăng hoa ở nhiệt độ -30°C trong 24 giờ trong tủ sấy thăng hoa Telstar (LyoBeta 35, Tây Ban Nha). Tảo xoắn khô có độ ẩm $4,93 \pm 0,21\%$ được đựng trong túi PA hút chân không và bảo quản ở nhiệt độ phòng để phục vụ nghiên cứu.



Hình 1: Tảo xoắn khô chưa xay nhỏ (trái) và đã xay nhỏ (phải)

1.2. Nguyên liệu phụ, hóa chất

Kappa carrageenan (κ -car): là sản phẩm của hãng Sigma-Aldrich (CAS: 11114-20-8)

Sucrose: Đạt chuẩn hóa chất phân tích của hãng Xilong (CAS: 57-50-1)

HCl, NaOH: Đạt chuẩn hóa chất phân tích của hãng Xilong (CAS: 7647-01-0, CAS: 1310-73-2)

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Bố trí thí nghiệm

Ở nghiên cứu này tập trung khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ tảo, pH, sucrose, và κ -carrageenan đến sự lắng đọng của tảo khô trong nước.

Khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ tảo trong nước:

Tảo xoắn khô được hòa tan phân tán vào nước ở các tỉ lệ 0,07%, 0,1%, 0,12%, 0,25%, 0,5% và 1%. Hỗn hợp được khuấy liên tục trong 15 phút ở 40 °C trước khi tiến hành quan sát, phân tích mức độ lắng đọng của tảo trong dung dịch.

Khảo sát ảnh hưởng của pH: 100 mg bột tảo (theo chất khô) được hòa tan phân tán trong 100 mL nước được điều chỉnh pH = 4,6; 7,0 và 8,5 bằng HCl 1M hoặc NaOH 1M. Hỗn hợp được khuấy liên tục trong 15 phút ở 40 °C trước khi tiến hành quan sát, phân tích mức độ lắng đọng của tảo trong dung dịch.

Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng sucrose bổ sung: 100 mg bột tảo (theo chất khô) được hòa tan phân tán trong 100 mL dung dịch chứa 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% sucrose ở nhiệt độ 40 °C. Hỗn hợp được khuấy liên tục trong 15 phút trước khi tiến hành quan sát, phân tích mức độ lắng đọng của tảo trong dung dịch.

Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng kappa carrageenan (κ -car) bổ sung: 100 mg bột tảo (theo chất khô) được hòa tan phân tán trong 100 mL dung dịch chứa 0%; 0,01%; 0,05%; 0,1% và 0,2% κ -car ở nhiệt độ 40 °C, được khuấy liên tục trong 15 phút. Sau đó tiến hành quan sát, phân tích mức độ lắng đọng của tảo trong dung dịch.

2.2. Phương pháp đánh giá

2.2.1. Phương pháp quan sát

Để theo dõi mức độ lắng đọng của tảo được tiến hành bằng cách rót dịch tảo vừa hòa tan đồng nhất vào lọ thủy tinh có đường kính 1,5 cm để đứng yên ở điều kiện nhiệt độ phòng (25±2°C) và theo dõi sự lắng đọng của tảo theo thời gian bằng cách chụp lại hình ảnh lọ mẫu ở các mốc thời gian. Thí nghiệm được chụp trong phòng điều hòa nhiệt độ (DxRxC=7x3x3,5 m) được

trang bị 8 bóng đèn led 1,2 m gắn trên trần. Mẫu được chụp từ khoảng cách 30 cm tính từ camera đến mẫu.

2.2.2. Phương pháp xác định độ hấp thụ bước sóng UV

Dịch tảo hòa tan được rót vào cuvet thạch anh (dày 1 cm) và đo độ hấp thụ tại bước sóng 440 nm bằng thiết bị đo UV-VIS UVS-2800 (Labomed, Mỹ). Độ hấp thụ bước sóng UV được quét liên tục sau mỗi 5 giây và được lưu lại để sử dụng phân tích sự lắng đọng của tảo theo thời gian.

2.2.3. Phương pháp xác định tốc độ lắng

Từ kết quả quan sát lọ mẫu lắng ở trạng thái tự nhiên được đo chiều cao lớp lắng (H, mm) tại thời điểm (t, phút). Công thức tính tốc độ lắng (v, mm/phút) như sau:

$$v = \frac{H}{t}$$

2.2.4. Phương pháp xác định tỉ lệ khoảng lắng

Tỉ lệ khoảng lắng là tỉ lệ % giữa chiều cao lớp lắng (H, mm) so với tổng chiều cao dung dịch (h, mm). Công thức tính tỉ lệ khoảng lắng (%) như sau:

$$\text{Tỉ lệ khoảng lắng (\%)} = \frac{H}{h}$$

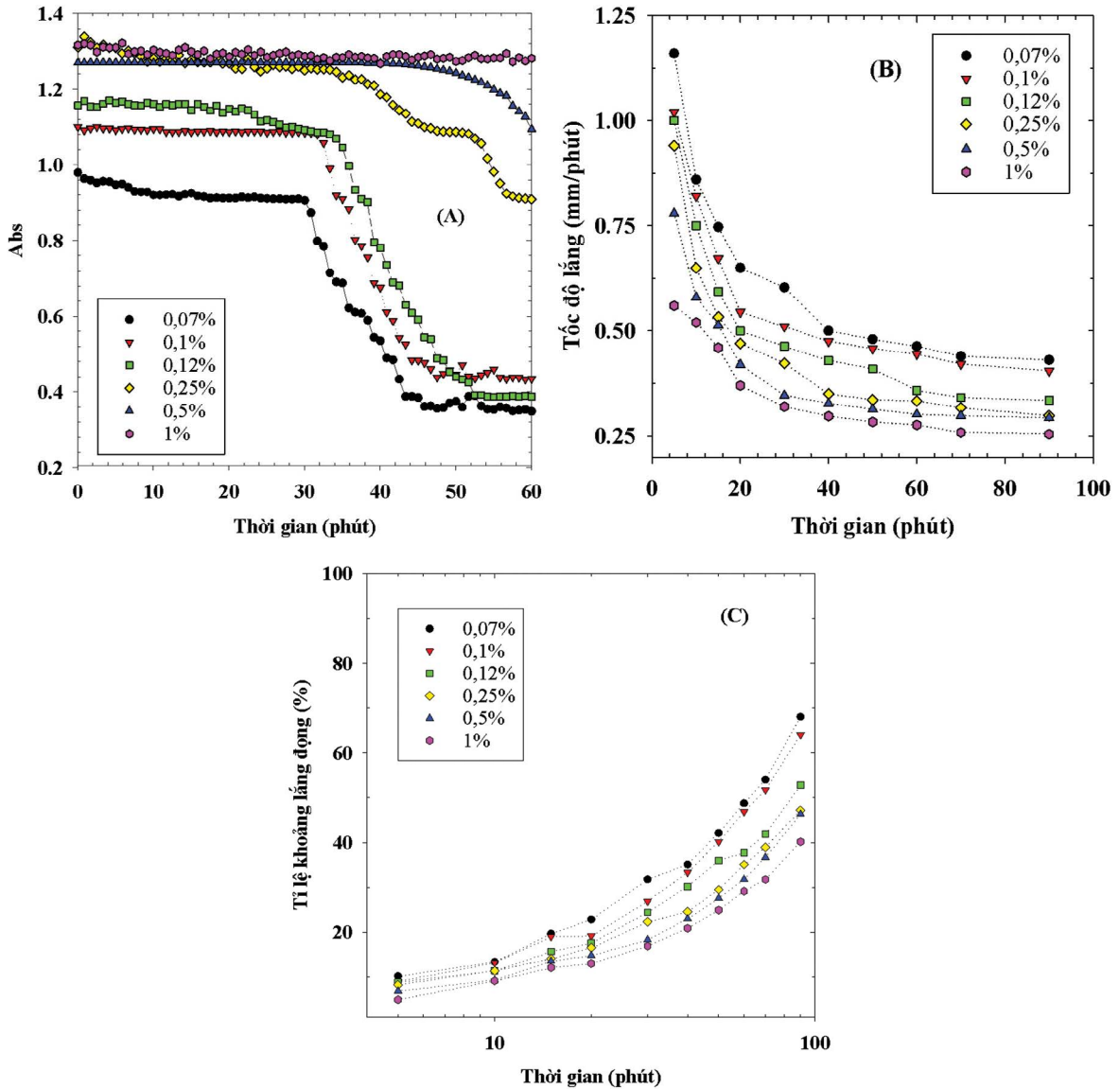
III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Ảnh hưởng của tỉ lệ tảo trong nước đến sự lắng đọng của tảo

Kết quả Hình 2 cho thấy sự lắng đọng của tảo là khác nhau khi tỉ lệ tảo trong nước khác nhau, độ hấp thụ sóng UV (Abs) tại bước sóng 440 nm tăng tỉ lệ thuận với tỉ lệ tảo trong nước (hình 2A). Abs giảm theo thời gian, đặc biệt mẫu tảo có tỉ lệ dưới 0,25% giá trị Abs giảm mạnh sau 30 phút, và dần ổn định sau 50 phút. Kể đến là mẫu có tỉ lệ 0,25 và 0,5% giá trị Abs giảm đáng kể, và giá trị Abs giảm không đáng kể là mẫu tỉ lệ 1%. Sự thay đổi kết quả này tương ứng khi quan sát trực tiếp quá trình lắng của tảo trong dung dịch (kết quả không trình bày trong bài này), tảo lắng tạo dung dịch trong dần và thể hiện rõ ràng nhất ở mẫu có tỉ lệ dưới 0,25% sau 50 phút. Tốc độ lắng của tảo giảm mạnh thời gian dưới 40 phút đầu, sau đó tốc độ lắng giảm nhẹ ở thời gian tiếp theo (Hình 2B). Mẫu có tỉ lệ tảo cao tốc độ lắng thấp hơn mẫu có

ti lệ tảo thấp. Đây là lý do tại sao thời gian đầu tốc độ lắng cao, sau đó giảm dần chính là do thời gian đầu mật độ tảo thấp nên tốc độ lắng cao, sau đó khi tảo càng lắng nhiều làm cho mật độ tảo tăng lên gây cản trở quá trình lắng. Ở một thông số khác, sau 5 phút đã có sự xuất hiện sự lắng

động nhưng với tỉ lệ thấp (<10%) sau đó tỉ lệ này tăng theo thời gian (Hình 2C). Tỉ lệ khoảng lắng động tăng tỉ lệ nghịch với tỉ lệ tảo. Sau 90 phút, tỉ lệ khoảng lắng động có thể đạt 40% ở tỉ lệ tảo 1% nhưng tăng lên khoảng 64% khi tỉ lệ tảo giảm đi 10 lần.



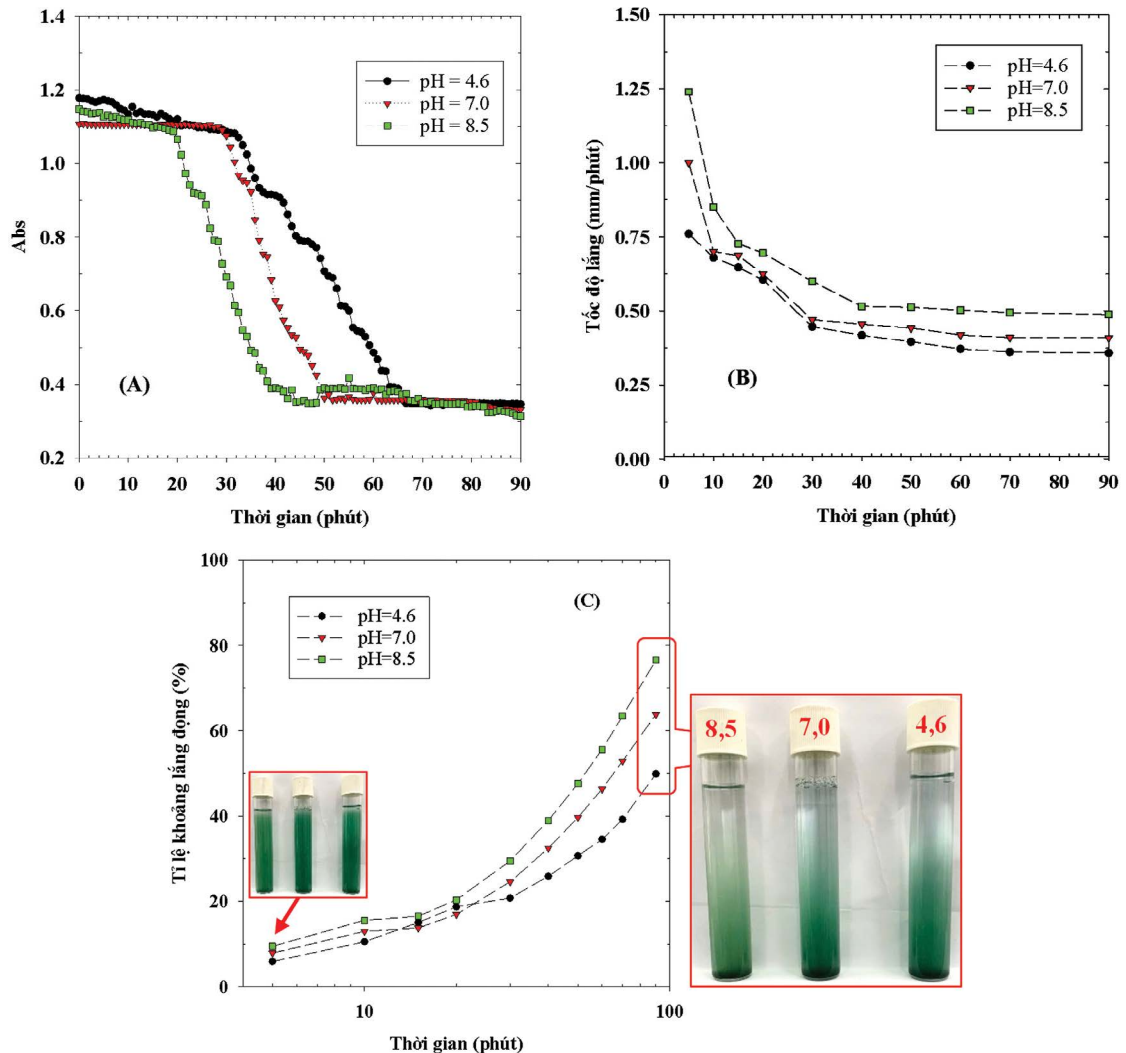
Hình 2: Độ hấp thụ tại bước sóng 440 nm (A), Tốc độ lắng (B) và Tỉ lệ khoảng lắng động (C) của tảo ở các tỉ lệ khác nhau theo thời gian.

2. Ảnh hưởng của pH đến sự lắng động của tảo
 pH cũng là một yếu tố công nghệ cần quan tâm, tùy loại thực phẩm mà pH có thể là axit, trung tính hay bazơ. Sự lắng động của tảo bắt đầu xuất hiện sau 10 phút nhưng bằng mắt thường khó thấy sự

khác biệt giữa các mẫu có pH khác nhau (kết quả không trình bày trong bài này). Nhưng khi xác định độ hấp thụ sóng UV (Abs) tại bước sóng 440 nm cho thấy mẫu ở pH 8,5 lắng sớm nhất, mẫu tảo ở pH 4,6 lắng chậm nhất và giá trị Abs giảm mạnh

trong giai đoạn 20-40 phút (đối với mẫu pH=8,5), từ 30-50 phút (mẫu pH=7) và từ 35-65 phút (mẫu pH=4,6); sau đó ổn định và giảm không đáng kể (Hình 3A). Sau giai đoạn lắng mạnh thì mật độ tảo tăng lên làm cho tốc độ lắng giảm không đáng kể (Hình 3B). Sau thời gian 5 phút, tỉ lệ khoảng lắng động khoảng 5,8-9,4%, nhưng theo thời gian tỉ lệ này tăng lên đáng kể, mẫu ở pH=8,5 cao nhất và thấp nhất là ở pH=4,6. Tỉ lệ lắng động tăng lên 49,8% sau 90 phút đối với mẫu ở pH=4,6 nhưng

lên đến 76,6% đối với mẫu ở pH=8,5 (Hình 3C). Ở pH=7 và pH=8,5 protein của tảo xoắn có thể zeta khoảng -45 mV nên khả năng hòa tan protein trong tảo cao hơn đối với ở pH=4,6 gần điểm đẳng điện pI ~ 3,5 [23]. Mặt khác, ở pH=8,5 độ hòa tan protein của tảo cao hơn ở pH=7 [14]. Do vậy mức độ bị phá hủy, hòa tan của protein sẽ giảm dần khi pH giảm, đây là lý do khi quan sát thấy mẫu tảo ở pH=8,5 lắng sớm nhất, sau đó đến lần lượt ở pH=7 và pH=4.



Hình 3: Độ hấp thụ tại bước sóng 440 nm (A), Tốc độ lắng (B) và Tỉ lệ khoảng lắng động (C) của tảo ở các pH khác nhau theo thời gian.

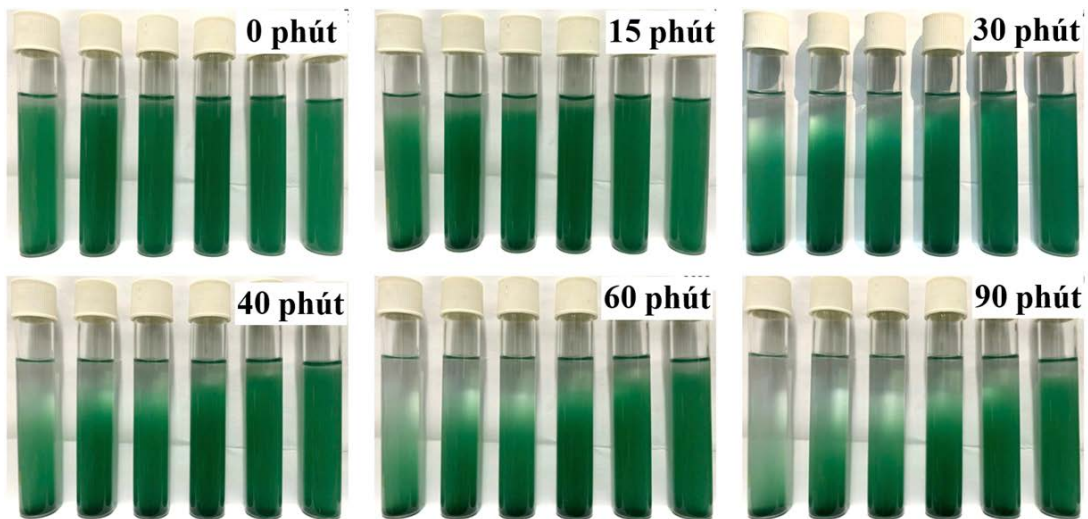
3. Ảnh hưởng của sucrose

Trong sản phẩm thực phẩm, sucrose được thêm vào để ổn định màu và bảo vệ các chất có hoạt chất sinh học, chúng cũng cũng là một thành phần tạo vị cho sản phẩm [19, 24]. Ảnh

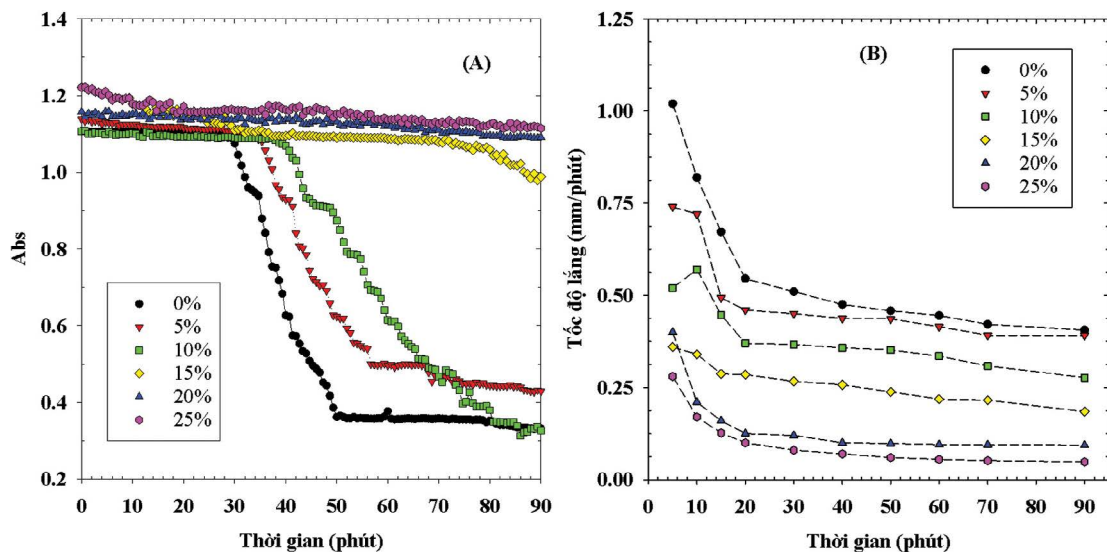
hưởng của sucrose đến quá trình lắng của tảo là khá đáng kể (Hình 4). Khi dung dịch có bổ sung 5-10% sucrose cũng tạo ra sự cải thiện về quá trình lắng so với mẫu không dùng sucrose, tuy nhiên sự ảnh hưởng rõ rệt nhất đến sự lắng

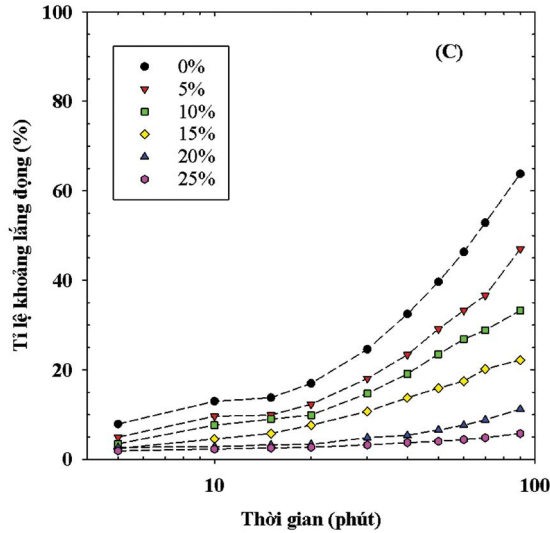
động của tảo qua xác định độ hấp thụ sóng UV tại bước sóng 440 nm đối với các mẫu bổ sung từ 15% sucrose trở lên (Hình 5A). Dung dịch có chứa tỉ lệ sucrose càng tăng thì nó càng làm chậm quá trình lắng của tảo. Điều này có thể giải thích bởi phương trình của định luật Stocks khi độ nhớt của pha liên tục tăng thì pha phân tán có tốc độ lắng giảm. Đây cũng là lý do giải thích tại sao ở mẫu có tỉ lệ sucrose cao thì tốc độ lắng thấp hơn (Hình 5B). Cũng tương tự giải thích trên thì khi mật độ tảo lắng phía đáy càng tăng thì tốc độ lắng càng giảm sau một thời gian chờ lắng. Tuy nhiên khi mật độ tảo lắng phía dưới dung dịch tăng chỉ làm giảm tốc

độ lắng chứ không làm kết thúc quá trình lắng, đó là lý do tỉ lệ khoảng lắng động của tảo tăng khi tăng thời gian lắng. Dưới sự có mặt của sucrose tỉ lệ khoảng lắng động giảm đáng kể, tỉ lệ này giảm đi 1,34 lần nếu dung dịch có bổ sung 5% sucrose và giảm đi 11,22 lần nếu dung dịch chứa 25% sucrose khi cùng so sánh ở 90 phút để lắng (Hình 5C). M. Faieta và cộng sự (2020) hay Yan Huo và cộng sự (2022) cũng sử dụng sucrose và Trehalose/ hay glucose để làm ổn định tính bền nhiệt của phycocyanin được chiết tách từ tảo xoắn, kết quả cho thấy tính bền nhiệt tăng lên khi tăng nồng độ đường [15, 19].



Hình 4: Hình ảnh theo dõi quá trình lắng của tảo 0,1% ở các tỉ lệ sucrose khác nhau theo thời gian (trái qua phải: 0, 5, 10, 15, 20 và 25%)



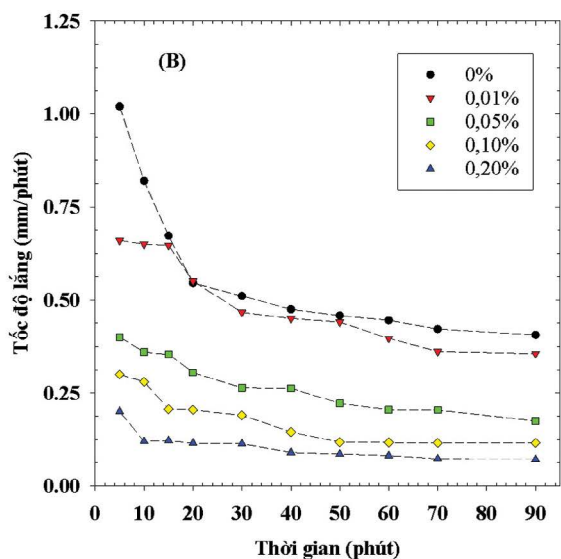
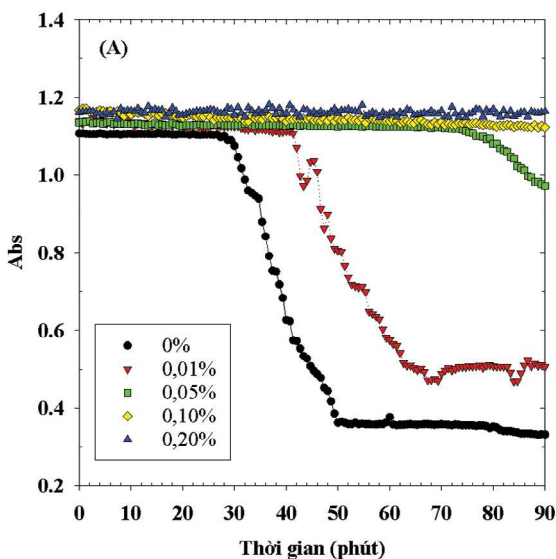


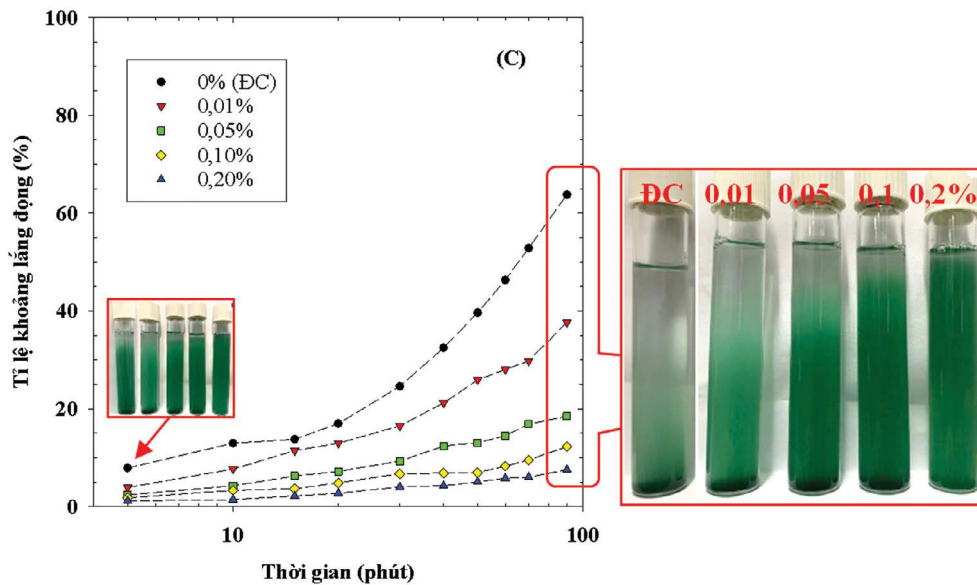
Hình 5: Độ hấp thụ tại bước sóng 440 nm (A), Tốc độ lắng (B) và Tỷ lệ khoảng lắng động (C) của tảo ở các tỉ lệ sucrose khác nhau theo thời gian.

4. Ảnh hưởng của κ -car

Cũng tương tự như với sự có mặt của sucrose tạo ra dung dịch có độ nhớt, carrageenan (được sử dụng như là một chất làm đặc trong thực phẩm) khi hòa tan trong nước cũng tạo thành một dung dịch nhớt ngay cả ở một tỉ lệ sử dụng rất thấp, đó là lý do làm cho tảo lắng chậm trong dung dịch. Tảo lắng chậm khi tỉ lệ κ -car trong dung dịch tăng, sau 15 phút đã xuất hiện tảo lắng ở dung dịch có tỉ lệ κ -car dưới 0,05%, chúng lắng mạnh sau 30 phút khi quan sát sự thay đổi độ hấp thụ sóng UV tại bước sóng 440 nm (Hình 6A). Với sự có mặt chỉ 0,05% κ -car, có tác dụng làm chậm rõ rệt quá trình

lắng của tảo, tốc độ lắng có thể giảm khoảng 2,3 lần và tốc độ lắng giảm khi tăng tỉ lệ κ -car trong dung dịch (Hình 6B). Tỉ lệ khoảng lắng động của tảo tăng khi giảm tỉ lệ κ -car trong dung dịch và thời gian để lắng tăng. Sau 90 phút để lắng tự nhiên ở nhiệt độ phòng, tỉ lệ khoảng lắng động của tảo giảm 1,6 lần khi dung dịch được bổ sung 0,01% κ -car, và giảm 8,42 lần nếu có mặt 0,2% κ -car (Hình 6C). Anisa Nada Farhah và cộng sự (2020) dùng kết hợp 0,18% natri alginat và 0,02% κ -car để làm ổn định sản phẩm kem tảo *spirulina platensis*, với sự có mặt của hai polysaccharide này, cấu trúc của kem được cải thiện đáng kể [16].





Hình 6: Độ hấp thụ tại bước sóng 440 nm (A), Tốc độ lắng (B) và Tỉ lệ khoảng lắng đọng (C) của tảo ở các tỉ lệ κ -car khác nhau theo thời gian.

IV. KẾT LUẬN

Ở nghiên cứu này, tỉ lệ tảo trong nước, pH, lượng sucrose và κ -car bổ sung có ảnh hưởng đáng kể đến sự lắng đọng của tảo khô trong dung dịch. Tảo lắng với tốc độ nhanh ở 20 phút đầu, sau đó tốc độ giảm đáng kể sau 50 phút lắng do mật độ tảo lắng lớp đáy tăng lên. Mức độ lắng giảm khi tỉ lệ tảo, tỉ lệ sucrose hay κ -car bổ sung tăng lên. Khi bổ sung sucrose hay κ -car với tỉ lệ lần lượt từ 15% hay 0,05%

trở lên thì tính ổn định của tảo trong dung dịch tốt hơn, tỉ lệ khoảng lắng đọng giảm xuống còn dưới 18% sau 90 phút chờ lắng. Tảo lắng nhanh nhất ở môi trường pH 8,5 và chậm nhất là ở pH 4,6. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, tảo xoắn có khả năng phân tán tốt hơn và ổn định hơn trong môi trường axit hay trung tính dưới sự có mặt của sucrose hay κ -car với tỉ lệ sử dụng đủ lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Sahil, S., S. Bodh, and P. Verma, *Spirulina platensis: A comprehensive review of its nutritional value, antioxidant activity and functional food potential*. Journal of Cellular Biotechnology, 2024. **10**(2): p. 159-172.
2. Yuan B., Li Z., Shan H., Dashnyam B., Xu X., McClements D.J., Zhang B., Tan M., Wang Z., Cao C., *A review of recent strategies to improve the physical stability of phycocyanin*. Curr Res Food Sci, 2022. **5**: p. 2329-2337.
3. Jung, F., et al., *Spirulina platensis, a super food?*. Journal of Cellular Biotechnology, 2019. **5**(1): p. 43-54.
4. Shahid B., Mian K.S., Masood S.B., Muhammad S., *Functional Properties and Amino acid Profile of Spirulina platensis Protein Isolates*. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences, 2016. **59**(1): p. 12-19.
5. Chia S.R., Chew K.W., Show P.L., Xia A., Ho S.H., Lim J.W., *Spirulina platensis based biorefinery for the production of value-added products for food and pharmaceutical applications*. Bioresour Technol, 2019. **289**: p. 121727.
6. Lafarga, T., et al., *Effect of microalgae incorporation on the physicochemical, nutritional, and sensorial properties of an innovative broccoli soup*. Lwt, 2019. **111**: p. 167-174.

7. Adjali A., Clarot I., Chen Z., Marchioni E., Boudier A., *Physicochemical degradation of phycocyanin and means to improve its stability: A short review*. J Pharm Anal, 2022. **12**(3): p. 406-414.
8. Costa, B.R., et al., *Physicochemical characteristics of the Spirulina sp. dried in heat pump and conventional tray dryers*. International Journal of Food Science & Technology, 2015. **50**(12): p. 2614-2620.
9. Demarco M., Oliveira de Moraes J., Ferrari M.C., Fábio de Farias Neves, Laurindo J.B., Tribuzi G., *Production of Spirulina (Arthrospira platensis) powder by innovative and traditional drying techniques*. Journal of Food Process Engineering, 2021. **45**(1).
10. Nhu, N.T.H and Hiep, N.H., *The effect of pH, dark - light cycle and light colour on the chlorophyll and carotenoid production of Spirulina sp.* KKU Res. J. , 2014. **19**(Supplement Issue): p. 190-197.
11. Demir, B.S. and S.S. Tükel, *Purification and characterization of lipase from Spirulina platensis*. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 2010. **64**(3-4): p. 123-128.
12. Marcinkowska-Lesiak, M., et al., *The effect of different level of Spirulina powder on the chosen quality parameters of shortbread biscuits*. Journal of Food Processing and Preservation, 2018. **42**(3).
13. Chaiklahan, R., N. Chirasuwan, and B. Bunnag, *Stability of phycocyanin extracted from Spirulina sp.: Influence of temperature, pH and preservatives*. Process Biochemistry, 2012. **47**(4): p. 659-664.
14. Benelhadj, S., et al., *Effect of pH on the functional properties of Arthrospira (Spirulina) platensis protein isolate*. Food Chem, 2016. **194**: p. 1056-63.
15. Faieta, M., et al., *Role of saccharides on thermal stability of phycocyanin in aqueous solutions*. Food Res Int, 2020. **132**: p. 109093.
16. Isnansetyo, A., et al., *Combination of Sodium Alginate and Kappa-Carrageenan Increases Texture Stability of Spirulina platensis Ice Cream*. E3S Web of Conferences, 2020. **147**.
17. Babu, M., Ashok, K., Senthil, J. and Kalaiyarasu, T., *Effect of pH on arthrospira platensis production*. Alochana Chakra Journal, 2020. **IX**(V): p. 2297-2305.
18. Yucetepe, A., et al., *The impact of pH and biopolymer ratio on the complex coacervation of Spirulina platensis protein concentrate with chitosan*. J Food Sci Technol, 2021. **58**(4): p. 1274-1285.
19. Huo, Y., et al., *Improving the Thermal and Oxidative Stability of Food-Grade Phycocyanin from Arthrospira platensis by Addition of Saccharides and Sugar Alcohols*. Foods, 2022. **11**(12).
20. Ladjal-Ettoumi, Y., et al., *Physicochemical and Functional Properties of Spirulina and Chlorella Proteins Obtained by Iso-Electric Precipitation*. Food Biophysics, 2024. **19**(2): p. 439-452.
21. Amita Mahajan, Neetu and A.S. Ahluwalia, *Effect of processing on functional properties of Spirulina protein preparations*. African Journal of Microbiology Research 2010. **4**(1): p. 055-060.
22. Vilg, J.V. and I. Undeland, *pH-driven solubilization and isoelectric precipitation of proteins from the brown seaweed Saccharina latissima-effects of osmotic shock, water volume and temperature*. J Appl Phycol, 2017. **29**(1): p. 585-593.
23. Barka, A., et al., *Physicochemical characterization of colored soluble protein fractions extracted from Spirulina (Spirulina platensis)*. Food Sci Technol Int, 2018. **24**(8): p. 651-663.
24. Pez Jaeschke, D., et al., *Phycocyanin from Spirulina: A review of extraction methods and stability*. Food Res Int, 2021. **143**: p. 110314.