

ỨNG DỤNG CỦA CÔNG NGHỆ MÀNG THẨM THẤU THUẬN TRONG CÔ ĐẶC DỊCH ÉP DƯA HẦU

Đến tòa soạn: 05-08-2025

Nguyễn Thị Hoài Thu, Hoàng Thị Thoa, Trịnh Tuấn Hưng, Nguyễn Ngọc Tùng¹, Bùi Quang Minh, Hoàng Minh Tạo*

Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển công nghệ cao, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

* Email: htm1205@gmail.com

SUMMARY

APPLICATION OF FORWARD OSMOSIS TECHNOLOGY IN THE CONCENTRATION OF WATERMELON JUICE

This research studied the potential application of forward osmosis technology in the concentration of watermelon juice using different inorganic draw solutions, pursuing the express goal of achieving the final juice concentration of 60 °Brix. Particularly, the influences of various operational conditions-which included: type of draw solutes, draw solution concentration, and watermelon juice concentration-on the concentration efficiency of the investigated forward osmosis system were evaluated through the changes in water flux and reverse draw solute flux. Experimental results suggested that water flux would increase with the rise of draw solution concentration, leading to the respective shortening of operational duration, while specific draw solute loss remained relatively stable. Therefore, it would be optimum to use saturated draw solutions in the forward osmosis concentration of watermelon juice, so that any potential losses of useful phytochemicals could be minimized. Overall, this study provided empirical evidence on the capability of forward osmosis technology in the concentrating watermelon juice, presenting an alternative approach that does not involve the utilization of elevated temperature conditions and consequently better in preserving useful but thermal-sensitive phytochemicals present in watermelon juice.

Keywords: forward osmosis, juice concentration, nonthermal processes, water flux, draw solution

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bước sang thế kỷ 21, nước ép trái cây đang ngày càng trở thành một bộ phận quan trọng trong chế độ dinh dưỡng của con người, tại Việt Nam nói riêng và trên toàn thế giới nói chung, bởi chúng giàu các hợp chất có lợi cho sức khỏe như vitamin, hoạt chất sinh học với khả năng chống gốc tự do, khoáng chất... [1] Trong đó, dưa hấu là một loại trái cây cận nhiệt đới và nhiệt đới sở hữu giá trị dinh dưỡng cao, được tiêu thụ rất nhiều tại Việt Nam bằng cách ăn trực tiếp hoặc chế biến thành các loại đồ uống đa dạng, nhất là vào mùa hè. Cụ thể, một số thành phần dinh dưỡng nổi bật được xác định có

trong nước ép dưa hấu bao gồm vitamin C, các hợp chất carotenoid (đặc biệt là lycopene), các hợp chất phenolic (như dẫn xuất của axit hydroxycinnamic) ... [2]

Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng các hợp chất với hoạt tính chống oxy hoá cao như hợp chất phenolic hay hợp chất carotenoid cũng thường khó bảo quản, dễ bị phân huỷ tại điều kiện nhiệt độ cao hoặc tiếp xúc trực tiếp với ánh sáng, gây suy giảm đáng kể những tác dụng tích cực của chúng đối với sức khỏe con người [3-5]. Nhằm mục đích bảo vệ tối đa giá trị dinh dưỡng của nước ép dưa hấu trong quá trình chế biến và sản xuất, một số công nghệ mới “không dùng nhiệt”

(non-thermal processes) đã được nghiên cứu và phát triển, chẳng hạn như công nghệ khử trùng xung điện trường PEF, công nghệ khử trùng bằng sóng siêu âm, công nghệ khử trùng bằng tia cực tím, các công nghệ màng cô đặc như công nghệ siêu lọc (UF), công nghệ lọc màng kích thước micro (MF)... [6-8]

Công nghệ màng thẩm thấu thuận (forward osmosis, FO) là một hướng tiếp cận “không dùng nhiệt” mới trong cô đặc dịch ép trái cây, bởi động lực chính của quá trình này là mức chênh lệch về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa hai phía của màng bán thấm. Sử dụng loại dung dịch lõi cuộn phù hợp, công nghệ màng thẩm thấu thuận cho phép cô đặc dịch ép trái cây đến các ngưỡng nồng độ cao ngay tại điều kiện nhiệt độ phòng, đồng thời bảo toàn một cách tối đa giá trị dinh dưỡng của các sản phẩm sau cô đặc, nâng cao giá trị tích cực của chúng đối với sức khỏe con người [9-11]. Tuy nhiên, cho đến nay, nghiên cứu liên quan đến tiềm năng ứng dụng của công nghệ màng thẩm thấu thuận trong lĩnh vực này tại Việt Nam vẫn còn tương đối hạn chế.

Nghiên cứu này sẽ tập trung vào đánh giá sơ bộ tiềm năng ứng dụng của công nghệ màng thẩm thấu thuận trong cô đặc nước ép dưa hấu, thông qua khảo sát hiệu quả cô đặc sử dụng một số loại dung dịch lõi cuộn khác nhau. Kết quả của nghiên cứu này sẽ góp phần đặt nền móng cho việc ứng dụng công nghệ màng thẩm thấu thuận tại Việt Nam, với định hướng cụ thể là nhằm nâng cao giá trị dinh dưỡng của các sản phẩm nước trái cây trên thị trường, giúp đem lại hiệu quả tích cực cho sức khỏe người tiêu dùng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Quả dưa hấu ruột đỏ chín được mua trong khoảng thời gian từ tháng 05/2024 đến

tháng 07/2024 tại một số cơ sở kinh doanh trên địa bàn thành phố Hà Nội.

Muối NaCl và muối KCl dùng cho thực phẩm được mua từ hãng Macco Organiques (Canada). Nước khử ion được sản xuất tại phòng thí nghiệm trên hệ thiết bị Purelab Flex-3 (ELGA, Anh).

Màng bán thấm với khả năng loại muối cao (HSR-TFC) được mua từ hãng Aquaporin Asia (Singapore). Màng được cung cấp với kích thước 300 × 300 mm, khi sử dụng được cắt thành từng tấm nhỏ với diện tích lọc hiệu quả 42 cm² phù hợp cho hệ thống thử nghiệm màng thẩm thấu thuận CF042D-FO (Sterlitech, Hoa Kỳ).

2.2. Quy trình thí nghiệm

Đầu tiên, quả dưa hấu được kiểm tra và xử lý nhằm thu được phần ruột đạt chất lượng phù hợp. Sau đó, ruột quả dưa hấu được đưa vào thiết bị ép chậm RSJ-120W (Rapido, Đức) vận hành tại tốc độ 60 vòng/phút nhằm hạn chế tối đa hao hụt giá trị dinh dưỡng của nước ép dưa hấu. Tiếp theo, nước ép dưa hấu được ly tâm (tốc độ 10.000 vòng/phút, thời gian 10 phút) trên thiết bị ly tâm Z366K (Hermle, Đức), phần nước trong bên trên được gạn qua giấy lọc định lượng 11μm (Whatman, Anh) nhằm thu được nước ép dưa hấu không chứa các thành phần chất rắn khó hoà tan hoặc không hoà tan [8].

Các thí nghiệm cô đặc được thực hiện trên hệ thống thử nghiệm màng thẩm thấu thuận CF042D-FO (Sterlitech), với dung dịch lõi cuộn là dung dịch NaCl hoặc dung dịch KCl tại các ngưỡng nồng độ khác nhau. Dung dịch cần xử lý là dịch ép dưa hấu. Các thí nghiệm được tiến hành cho đến khi hàm lượng chất rắn hoà tan (TDS) của nước ép dưa hấu đạt giá trị ổn định, hoặc đạt giá trị 60 °Brix.

Các thí nghiệm được thực hiện dưới những điều kiện cụ thể như sau: nhiệt độ

= 25 °C, hướng dòng vào tương đối = ngược chiều, chênh lệch áp suất phía dung dịch cần xử lý = 3 psi, lưu lượng dòng vào phía dung dịch cần xử lý = 200 mL/phút [12]. Thể tích ban đầu của dịch ép dưa hầu là 400 mL, trong khi thể tích ban đầu của dung dịch lồi cuốn là 10.000 mL. Sau khi thể tích dung dịch lồi cuốn tăng thêm khoảng 100 mL, toàn bộ dung dịch lồi cuốn sẽ được thay mới bằng 10.000 mL dung dịch lồi cuốn với nồng độ tương ứng nhằm đảm bảo tính ổn định cho thí nghiệm. Nồng độ bão hoà được lựa chọn đối với dung dịch NaCl là 360 g/L, và đối với dung dịch KCl là 340 g/L.

Mỗi thí nghiệm được thực hiện lặp lại tối thiểu năm lần nhằm đảm bảo độ tin cậy $\geq 95\%$, với kết quả được thể hiện dưới dạng giá trị trung bình của các thí nghiệm lặp lại \pm khoảng sai số tại độ tin cậy tương ứng.

2.3. Phương pháp phân tích

Hiệu quả vận hành của hệ thống cô đặc ứng dụng công nghệ màng thẩm thấu thuận được đánh giá dựa trên các thông số chính sau: thông lượng nước thẩm thấu qua màng (J_w) xác định thông qua theo dõi sự thay đổi về mặt thể tích và khối lượng của các dung dịch [12], thông lượng chất lồi cuốn thẩm thấu ngược qua màng (J_s) xác định thông qua theo dõi sự thay đổi về mặt hàm lượng các ion tương ứng trong nước ép dưa hầu cô đặc (phương pháp quang phổ phát xạ ngọn lửa) [13], và hệ số tổn hao chất lồi cuốn do thẩm thấu ngược qua màng (R_{ds}) xác định thông qua tính toán tỷ lệ J_s/J_w [12]. Đơn vị của thông lượng J_w được trình bày là LMH (tương đương $L/m^2.h$), trong khi đơn vị của thông lượng J_s được trình bày là GMH (tương đương $g/m^2.h$)

Hàm lượng chất rắn hoà tan (TDS) của dịch ép dưa hầu được đo trực tiếp bằng

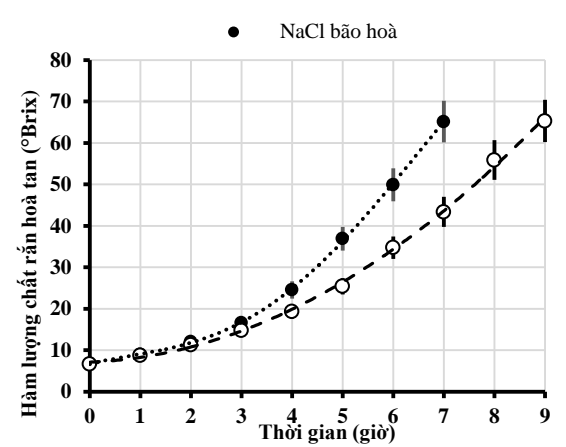
khúc xạ kế cầm tay MyBrix (Mettler Toledo, Thụy Sĩ).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc trưng quá trình cô đặc nước ép dưa hầu của các loại dung dịch lồi cuốn bão hoà

Dựa trên kết quả khảo sát (Hình 1), có thể thấy rằng cả dung dịch NaCl bão hoà và dung dịch KCl bão hoà đều có khả năng lồi cuốn tốt, cho phép cô đặc nước ép dưa hầu đến giá trị TDS vượt qua ngưỡng kỳ vọng là 60 °Brix.

Cụ thể, đối với dung dịch NaCl bão hoà, giá trị TDS của nước ép dưa hầu đã đạt tới $65,16 \pm 5,01$ °Brix sau khoảng thời gian vận hành 12 giờ, trong khi đối với dung dịch KCl bão hoà thì các giá trị này lần lượt là $65,32 \pm 5,12$ °Brix và 16 giờ. Nói cách khác, khi nồng độ cuối cùng của nước ép dưa hầu cần xử lý là tương đương nhau, thì dung dịch lồi cuốn NaCl bão hoà cho tốc độ cô đặc cao hơn khoảng 33% so với dung dịch lồi cuốn KCl bão hoà.



Hình 1. Sự thay đổi hàm lượng chất rắn hoà tan của nước ép dưa hầu theo thời gian khi cô đặc nước ép dưa hầu bằng dung dịch NaCl bão hoà và dung dịch KCl bão hoà

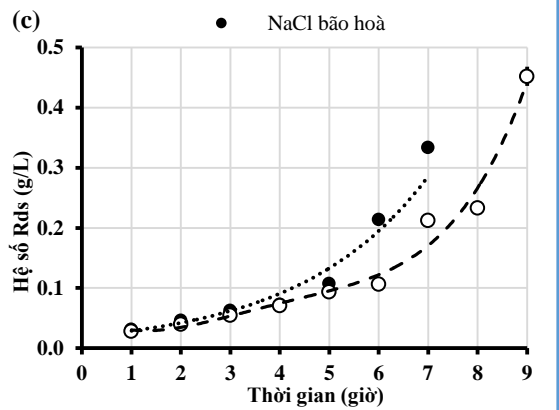
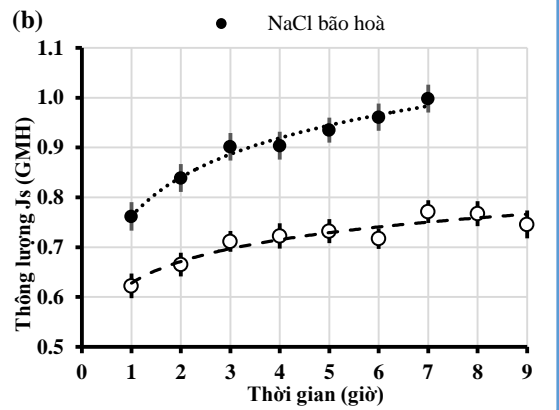
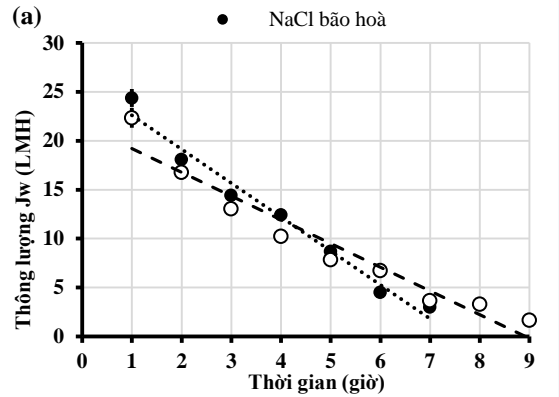
Hiện tượng trên xảy ra là do dung dịch NaCl bão hoà có nồng độ mol và áp suất thẩm thấu tự nhiên Π_0 cao hơn đáng kể so với dung dịch KCl bão hoà (phương trình

van't Hoff) [14], bởi vậy tạo thành động lực thẩm thấu thuận lớn hơn so với dung dịch KCl bão hoà. Đây chính là nguyên nhân chủ yếu dẫn tới những chênh lệch rõ ràng về mặt thông lượng J_w và tốc độ cô đặc nước ép dưa hấu giữa hai loại dung dịch lồi cuốn [12]. Đặc biệt, tại giai đoạn sau của các thí nghiệm, sự khác biệt trên càng trở nên rõ ràng hơn khi giá trị TDS (và tương ứng, giá trị áp suất Π_0) của nước ép dưa hấu tiếp tục xu hướng tăng (**Hình 2a**).

Ngược lại, hiện tượng thông lượng J_w giảm mạnh theo thời gian có thể là do giá trị TDS của nước ép dưa hấu đã tăng đáng kể (từ 6,69 °Brix lên tới khoảng 65 °Brix, gấp gần 10 lần giá trị ban đầu), làm giảm động lực của quá trình thẩm thấu thuận [12]. Tại ngưỡng giá trị TDS của nước ép dưa hấu đạt khoảng 65 °Brix, thông lượng J_w đã giảm tới $2,99 \pm 0,14$ LMH đối với dung dịch NaCl bão hoà và $1,65 \pm 0,06$ LMH đối với dung dịch KCl bão hoà, cho thấy giá trị này đã rất gần với ngưỡng nồng độ cô đặc cao nhất của các dung dịch lồi cuốn (**Hình 2a**).

Đáng chú ý, trong cả hai trường hợp, thông lượng J_s đều xuất hiện xu hướng tăng tương đối rõ ràng, từ $0,7618 \pm 0,0283$ GMH lên tới $0,9983 \pm 0,0281$ GMH đối với dung dịch NaCl và từ $0,6224 \pm 0,0246$ GMH lên tới $0,7458 \pm 0,0282$ GMH đối với dung dịch KCl (**Hình 2b**).

Hiện tượng này xảy ra có thể là do khi dòng chuyển khối của nước từ phía nước ép dưa hấu sang phía dung dịch lồi cuốn giảm dần, thì trở lực đối với dòng khuếch tán của chất lồi cuốn theo chiều ngược lại cũng giảm dần, tạo điều kiện cho quá trình chuyển khối (quá trình thẩm thấu ngược) của chất lồi cuốn qua màng diễn ra thuận lợi hơn [15].



Hình 2. Sự thay đổi đặc trưng lồi cuốn theo thời gian khi cô đặc nước ép dưa hấu bằng các loại dung dịch lồi cuốn

Đặc biệt, trong cả hai trường hợp, hệ số Rds đều xuất hiện xu hướng tăng mạnh theo thời gian, từ $0,0313 \pm 0,0010$ g/L lên tới $0,3339 \pm 0,0062$ g/L (tăng gấp hơn 10 lần) đối với dung dịch NaCl bão hoà và từ $0,0279 \pm 0,0008$ g/L lên tới $0,4520 \pm 0,0161$ g/L (tăng gấp hơn 16 lần) đối với dung dịch KCl bão hoà (**Hình 2c**). Điều

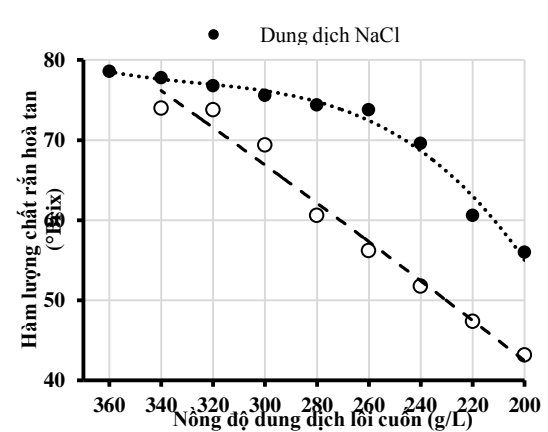
này đặt ra mối quan ngại liên quan tới việc thôi nhiễm chất lồi cuốn (cụ thể, muối NaCl và muối KCl) sang phía nước ép dưa hấu cần cô đặc, tiềm ẩn nguy cơ đối với sức khoẻ của người tiêu dùng cũng như gây ảnh hưởng tiêu cực đến giá trị cảm quan của sản phẩm [16]. Đặc biệt, khi giá trị TDS của nước ép dưa hấu tăng vượt ngưỡng 40 °Brix, chênh lệch về mặt áp suất Π_0 giữa nước ép dưa hấu cô đặc và dung dịch lồi cuốn giảm xuống rất thấp khiến cho thông lượng J_w giảm mạnh trong khi thông lượng J_s vẫn duy trì xu hướng tăng đều, dẫn tới sự tăng mạnh của hệ số Rds.

Tuy nhiên, ngay tại ngưỡng giá trị hệ số tổn hao cao nhất ($0,3339 \pm 0,0062$ g/L đối với dung dịch NaCl và $0,4520 \pm 0,0161$ g/L đối với dung dịch KCl) thì lượng chất lồi cuốn khuếch tán sang mỗi đơn vị thể tích nước ép dưa hấu vẫn thấp hơn đáng kể so với mức khuyến nghị tiêu thụ hằng ngày tối đa mà không gây tác dụng phụ (NOAEL) đối với con người là 2.300 mg/ngày đối với NaCl và 3.000 mg/ngày đối với KCl [17,18].

3.2. Đặc trưng quá trình cô đặc nước ép dưa hấu tại những nồng độ dung dịch lồi cuốn khác nhau

Kết quả khảo sát cho thấy, khi chất lồi cuốn được sử dụng là KCl thì giá trị TDS tối đa của nước ép dưa hấu cô đặc thể hiện mối quan hệ tương đối tuyến tính với nồng độ dung dịch lồi cuốn. Hiện tượng trên xảy ra có thể là do trong các khoảng nồng độ được khảo sát của cả dung dịch lồi cuốn và nước ép dưa hấu cô đặc, giữa áp suất thẩm thấu của dung dịch và nồng độ chất tan đều duy trì mối quan hệ tuyến tính (phương trình van't Hoff) [14]. Bởi vậy, trên đồ thị với hai trục tương ứng là nồng độ dung dịch lồi cuốn và giá trị TDS của nước ép dưa hấu, thì các điểm đại

diện cho trạng thái cân bằng về mặt áp suất thẩm thấu giữa dung dịch lồi cuốn và nước ép dưa hấu cũng sẽ nằm trên một đường gần như tuyến tính (Hình 3).



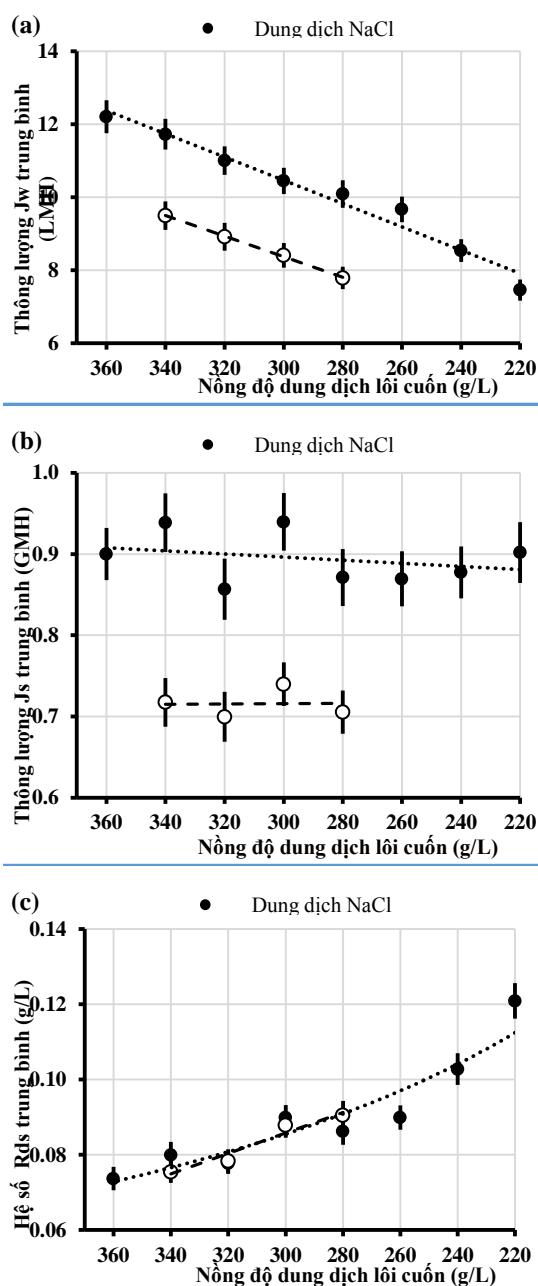
Hình 3. Sự thay đổi hàm lượng chất rắn hoà tan cao nhất của nước ép dưa hấu cô đặc khi cô đặc bằng dung dịch NaCl và dung dịch KCl với nồng độ khác nhau

Ngược lại, trên đồ thị của dung dịch NaCl, có thể thấy rõ đường biểu diễn giá trị TDS tối đa của nước ép dưa hấu cô đặc được chia làm hai bộ phận tương đối rõ ràng: khoảng giá trị TDS tối đa của nước ép dưa hấu cô đặc tăng nhanh khi nồng độ NaCl ≤ 260 g/L, và khoảng giá trị TDS tối đa của nước ép dưa hấu cô đặc tăng chậm khi nồng độ NaCl ≥ 260 g/L. Hiện tượng trên xảy ra có thể là do khi giá trị TDS của nước ép dưa hấu cô đặc tăng quá cao thì độ nhớt của nước ép dưa hấu cô đặc cũng tăng mạnh, ảnh hưởng tiêu cực đến khả năng khuếch tán của các chất tan và dẫn tới tình trạng phân cực nồng độ cục bộ tại khu vực bên trong và gần bề mặt màng bán thấm. Khi đó, nồng độ của các chất tan tại khu vực gần bề mặt màng bán thấm trở nên cao hơn so với nồng độ thực tế của các chất tan trong nước ép dưa hấu cô đặc, khiến cho thông lượng J_w giảm thấp hơn so với giá trị kỳ vọng theo lý thuyết [12]. Đặc biệt, khi áp suất thẩm thấu của nước ép dưa hấu cô đặc tại khu vực gần bề mặt màng bán thấm đã đạt cân bằng với áp suất

thẩm thấu của dung dịch NaCl, thì quá trình chuyển khối của nước sẽ không thể tiếp tục diễn ra, mặc dù áp suất thẩm thấu của nước ép dưa hầu cô đặc bên trong toàn bộ hệ thống vẫn thấp hơn so với áp suất thẩm thấu của dung dịch NaCl.

Đáng chú ý, khoảng “chững” này cũng xuất hiện khi nồng độ KCl tăng từ 320 g/L đến 340 g/L, với giá trị TDS tối đa của nước ép dưa hầu cô đặc chỉ tăng từ 73,8 °Brix lên 74,0 °Brix (Hình 3). Điều này cho thấy khi ứng dụng công nghệ màng thẩm thấu thuận, việc cô đặc nước ép đến những ngưỡng giá trị TDS quá cao có thể gây ảnh hưởng tiêu cực đến hiệu quả chung của toàn bộ quá trình cô đặc. Tuy nhiên, trong ngành công nghiệp chế biến đồ uống, phần lớn các loại nước ép trái cây cũng thường chỉ được cô đặc đến ngưỡng giá trị TDS tối đa khoảng dưới 65 °Brix nhằm giúp kiểm soát tốt nhất tình trạng suy giảm giá trị dinh dưỡng và giá trị cảm quan của sản phẩm nước ép sau cô đặc [19].

Kết quả khảo sát đặc trưng lõi cuộn của dung dịch NaCl và dung dịch KCl tại những ngưỡng nồng độ khác nhau khi cô đặc nước ép dưa hầu đến giá trị TDS khoảng 60 °Brix cho thấy, việc sử dụng các dung dịch lõi cuộn có nồng độ bão hòa cho hiệu quả cô đặc tốt nhất, thể hiện qua giá trị thông lượng J_w trung bình cao nhất và giá trị hệ số R_d trung bình thấp nhất ($12,21 \pm 0,45$ LMH và $0,0737 \pm 0,0031$ g/L đối với dung dịch NaCl, $9,50 \pm 0,39$ LMH và $0,0755 \pm 0,0030$ g/L đối với dung dịch KCl). Điều này cho phép hạn chế ảnh hưởng của hiện tượng chất lõi cuộn thẩm thấu ngược qua màng lên các tính chất quan trọng của nước ép dưa hầu sau cô đặc, đồng thời giúp rút ngắn thời gian cô đặc và kiểm soát tối đa hiện tượng suy giảm giá trị dinh dưỡng của nước ép dưa hầu sau cô đặc (Hình 4).



Hình 4. Sự thay đổi đặc trưng lõi cuộn theo thời gian khi cô đặc nước ép dưa hầu đến giá trị TDS = 60 °Brix bằng các loại dung dịch lõi cuộn

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã chứng minh được tiềm năng ứng dụng của công nghệ màng thẩm thấu thuận trong cô đặc nước ép dưa hầu nói riêng, và các sản phẩm nước ép trái cây khác nói chung. Cụ thể, KCl và NaCl đã được xác nhận là những chất lõi cuộn

tiềm năng, cho phép cô đặc nước ép dưa hấu đến giá trị TDS = 60 °Brix (ngưỡng giá trị nồng độ phổ biến của nhiều loại nước ép trái cây cô đặc được dùng trong ngành công nghiệp chế biến đồ uống). Tuy nhiên, để đạt được hiệu quả này, nồng độ của dung dịch lõi cuộn cần duy trì trên 220 g/L đối với dung dịch NaCl và trên 280 g/L đối với dung dịch KCl trong suốt quá trình cô đặc.

Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng xác định rằng các dung dịch lõi cuộn với nồng độ chất lõi cuộn bão hòa có thể mang đến hiệu quả cô đặc tốt hơn đáng kể so với các dung dịch lõi cuộn chưa bão hòa tương ứng, thể hiện qua giá trị thông lượng J_w trung bình cao nhất ($12,21 \pm 0,45$ LMH đối với dung dịch NaCl và $9,50 \pm 0,39$ LMH đối với dung dịch KCl) và giá trị hệ số Rds trung bình thấp nhất ($0,0737 \pm 0,0031$ g/L đối với dung dịch NaCl và $0,0755 \pm 0,0030$ g/L đối với dung dịch KCl). Nhìn chung, lượng chất lõi cuộn trung bình khuếch tán sang mỗi đơn vị thể tích nước ép dưa hấu được xác định là thấp hơn đáng kể so với mức khuyến nghị NOAEL đối với con người (2.300 mg/ngày đối với NaCl và 3.000 mg/ngày đối với KCl), cho thấy đây là những lựa chọn chất lõi cuộn tương đối an toàn.

Việc sử dụng các dung dịch lõi cuộn nồng độ bão hòa cho phép rút ngắn thời gian cô đặc, đồng thời cũng hạn chế hiện tượng chất lõi cuộn thẩm thấu ngược gây ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng của sản phẩm nước ép sau cô đặc. Tuy nhiên, để chứng minh cho nhận định này, cần thiết phải thực hiện thêm nhiều khảo sát bổ sung nhằm đánh giá chính xác ảnh hưởng của quá trình cô đặc ứng dụng công nghệ màng thẩm thấu thuận lên các thành phần dinh dưỡng quan trọng của nước ép, cũng như tiến hành so sánh những kết quả này với một số phương pháp cô đặc truyền thống khác như phương pháp cô đặc bằng nhiệt.

Ngoài ra, nghiên cứu cũng xác định rằng hiệu quả chung của quá trình cô đặc nước ép ứng dụng công nghệ màng thẩm thấu thuận thường xuất hiện xu hướng suy giảm tại những ngưỡng giá trị TDS của nước ép dưa hấu quá cao (trên 70 °Brix), tạo thành rào cản nhất định cho việc mở rộng ứng dụng công nghệ màng thẩm thấu thuận vào cô đặc một số loại sản phẩm nguồn gốc tự nhiên khác, ví dụ như chế tạo cao dược phẩm từ dịch chiết thực vật.

Lời cảm ơn. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ của Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam để thực hiện nghiên cứu này thông qua đề tài mã số: KHCBHH.02/23-25.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Beckett EL, Fayet-Moore F, Cassettari T, Starck C, Wright J, Blumfield M, (2025). Health effects of drinking 100% juice: an umbrella review of systematic reviews with meta-analyses. *Nutrition Reviews*, **83**(2), 722.
- [2] Ozcelik B, Yavuz M, (2016). Watermelon juice. *Handbook of Functional Beverages and Human Health, 1st edition*, 1. CRC Press, London.
- [3] Wang Y, Guo X, Ma Y, Zhao X, Zhang C, (2018). Effect of ultrahigh temperature treatment on qualities of watermelon juice. *Food Science & Nutrition*, **6**(3), 594.
- [4] Salin NSM, Saad WM, Razak HRA, Salim F., (2022) Effect of storage temperatures on physico-chemicals, phytochemicals and antioxidant properties of watermelon juice (*Citrullus lanatus*). *Metabolites*, **12**, 75.
- [5] Tremlova B, Mikulaskova HK, Pencak T, Tesikova K, Dordevic S, Dordevic D, (2021). Determination of thermostability degree of lycopene in watermelon (*Citrullus lanatus*). *Separations*, **8**(11), 220.

- [6] Yıkımsı S, (2020). Sensory, physicochemical, microbiological and bioactive properties of red watermelon juice and yellow watermelon juice after ultrasound treatment. *Food Measure*, **14**, 1417.
- [7] Bhattacharjee C, Saxena VK, Dutta S, (2019). Novel thermal and non-thermal processing of watermelon juice. *Trends in Food Science & Technology*, **93**, 234.
- [8] Pham VT, Truong NM, Cao XT, Tien TN, Lam TD, Nguyen NT, Trinh TH, Nguyen TD, Hoang LTA, Bui QM, Nguyen NT, Hoang MT, (2025). Preservation of antioxidant phytochemicals in mango-passion fruit ice cream: A novel approach employing ultrasonic technologies. *Journal of Food Processing and Preservation*, 7713384.
- [9] Trishitman D, Negi PS, Rastogi NK, (2023). Concentration of pomegranate juice by forward osmosis or thermal evaporation and its shelf-life kinetic studies. *Food Chemistry*, **399**, 133972.
- [10] Tavares HM, Tessaro IC, Cardozo NSM, (2022). Concentration of grape juice: combined forward osmosis/evaporation versus conventional evaporation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **75**, 102905.
- [11] Zhang K, An X, Bai Y, Shen C, Jiang Y, Hu Y, (2021). Exploration of food preservatives as draw solutes in the forward osmosis process for juice concentration. *Journal of Membrane Science*, **635**, 119495.
- [12] Hoang MT, Nguyen QT, Nguyen NT, Bui QM, Trinh TH, Nguyen THT, Hoang TT, (2024). Influence of operational parameters on the efficiency of forward osmosis desalination systems using Polyvinylpyrrolidone K17. *Vietnam Journal of Analytical Sciences*, **30**(4), 77.
- [13] Denney RC, Thomas MJK, Barnes DJ, Mendham J, (2009). *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis*. Pearson, London.
- [14] Ndiaye I, Chaoui I, Vaudreuil S, Bounahmidi T, (2021). Study of the prediction model of water flux through a forward osmosis membrane. *Desalination and Water Treatment*, **240**, 225.
- [15] Phillip WA, Yong JS, Elimelech M, (2010). Reverse draw solute permeation in forward osmosis: modeling and experiments. *Environmental Science & Technology*, **44**(13), 5170.
- [16] Katica C, Vugrinec S, Cvetković T, Ranilović F, (2017). Potassium chlorid based salt substitutes: a critical review with a focus on the patent literature. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **16**(5), 881.
- [17] The Organisation for Economic Co-operation and Development, (2001). SIDS Initial Assessment Report for 13th SIAM (Bern, 6-9 November 2001): Potassium chloride. UNEP Publications, Nairobi.
- [18] World Health Organization, (2012). Guideline: Sodium intake for adults and children. World Health Organization, Geneva.
- [19] Adnan A, Mushtaq M, Islam T, (2018). Fruit juice concentrates. *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis*, 217. Academic Press, London.