



APPLICATION OF INSTANT CONTROLLED PRESSURE DROP TECHNOLOGY IN FOOD POWDER PRODUCTION

Duc Quang Nguyen*

School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology, 01 Dai Co Viet Street, Hai Ba Trung Province, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Scientific communication

Received: 02/08/2022

Revised: 18/10/2022

Accepted: 14/12/2022

Published online: 15/12/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.9.6>

* *Corresponding author*

Email: quang.nguyendu1@hust.edu.vn

Abstract. Food powder processing systematically aims at meeting the needs of consumers who are looking for total high quality and perfect food safety. The conventional methods for producing the food powder exhibit some limitations in terms of powder quality and high production costs. The instant controlled pressure drop technology uses high saturated steam pressure and short duration to provide a new way to expand biological matrices and is considered a solution to the drying shrinkage/collapse issues, in order to obtain a better quality of the dried plants in terms of texture, color, aroma. This paper aims to introduce a new production process and systematize some research results that have been achieved. By inserting a restructuring stage by instant controlled pressure drop in the classic process of grinding, many physical properties of the powder have been improved, the microbial contamination is significantly reduced, the vitamin content in the product is higher, the drying time can be greatly reduced, and this implies a significant reduction in energy consumption.

Keywords: Food powder, powder quality, DIC treatment, instant controlled pressure drop.



ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ GIẢM ÁP SUẤT TỨC THÌ TRONG SẢN XUẤT BỘT THỰC PHẨM

Nguyễn Đức Quang*

Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội, 01 Đại Cồ Việt, Quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Thông tin khoa học

Ngày nhận bài: 02/08/2022

Ngày nhận bài sửa: 18/10/2022

Ngày chấp nhận đăng: 14/12/2022

Ngày xuất bản Online: 15/12/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.9.6>

* Tác giả liên hệ

Email: quang.nguyenduc1@hust.edu.vn

Tóm tắt. Quy trình sản xuất bột thực phẩm luôn hướng tới việc đáp ứng được nhu cầu của người tiêu dùng về sản phẩm bột có chất lượng cao và an toàn. Các quy trình sản xuất bột thông thường hiện nay cho thấy một số hạn chế về mặt chất lượng và chi phí sản xuất cao. Công nghệ giảm áp suất tức thì sử dụng hơi nước ở áp suất cao và thời gian xử lý ngắn đã mang lại cho nguyên vật liệu một cấu trúc sinh học mới có nhiều lỗ rỗng và được xem là một giải pháp để khắc phục hiện tượng co rút sản phẩm sau quá trình sấy. Bài báo này nhằm giới thiệu một quy trình sản xuất mới và hệ thống lại một số kết quả nghiên cứu đã đạt được. Bằng cách chèn thêm một giai đoạn xử lý bằng công nghệ giảm áp suất tức thì vào quy trình sản xuất bột thông thường, nhiều tính chất vật lý của bột đã được cải thiện, khả năng nhiễm vi sinh vật giảm đáng kể, hàm lượng vitamin trong sản phẩm giữ được cao hơn và thời gian sấy giảm mạnh giúp giảm được tiêu hao năng lượng trong sản xuất.

Từ khóa: Bột thực phẩm, chất lượng của bột, xử lý DIC, giảm áp suất tức thì.

© 2022 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bột thực phẩm có mặt trong phần lớn các sản phẩm của ngành công nghiệp thực phẩm, từ các nguyên liệu thành phần như bột mì, bột gia vị cho tới các sản phẩm chế biến như bột cà phê hòa tan, sữa bột. Lý do chính của việc sản xuất thực phẩm ở dạng bột là nhằm kéo dài thời gian bảo quản bằng cách giảm hàm lượng nước trong sản phẩm, nếu không sản phẩm rất dễ bị biến chất và phân hủy trong môi trường tự nhiên. Lý do quan trọng khác là để tiện lợi

trong quá trình sử dụng, dễ vận chuyển, giảm chi phí vận chuyển do giảm kích thước và trọng lượng.

Ở dạng bột, hầu hết các tính chất chức năng đều liên quan tới các thông số về cấu trúc của sản phẩm (như là độ rỗng, tổng thể tích lỗ rỗng, bán kính lỗ rỗng trung bình, kích cỡ hạt, phân phối cỡ hạt và sự có mặt của các hạt mịn) [1]. Các tính chất chức năng này phụ thuộc rất lớn vào diện tích bề mặt riêng của bột. Diện tích bề mặt riêng là một thông số rất quan trọng đối với tất cả các ứng dụng mà quy trình bị phụ thuộc vào diện tích bề mặt. Ví dụ như các ứng dụng về truyền nhiệt, truyền chất, dòng chảy xuyên qua lớp chặt hay lớp tầng sôi. Trong kỹ thuật chế biến thực phẩm, quá trình truyền nhiệt và truyền chất rất quan trọng trong việc kiểm soát chất lượng của nhiều loại nguyên vật liệu mà độ ẩm phải được giảm đến mức thấp nhất có thể, tuy nhiên việc sử dụng nhiệt quá cao để loại bỏ nước ra khỏi sản phẩm có thể làm biến đổi màu sắc và mùi vị của sản phẩm. Rất nhiều nguyên vật liệu thực phẩm cần phải được giảm kích cỡ để cải thiện quá trình truyền chất với một lượng nhiệt tối thiểu được sử dụng [2].

Quy trình sản xuất bột thực phẩm luôn có mối quan hệ chặt chẽ với chất lượng sản phẩm bột. Trong các quy trình sản xuất bột thực phẩm thì giai đoạn sấy đóng một vai trò rất quan trọng, nó ảnh hưởng tới các tính chất của bột và cũng là giai đoạn tiêu thụ nhiều năng lượng nhất. Phương pháp truyền thống để sản xuất bột thực phẩm là sấy khô các nguyên vật liệu dạng lỏng. Ba kỹ thuật sấy thường được sử dụng bao gồm: sấy kiểu tang trống, sấy thăng hoa và sấy phun. Ngoài ra, bột thực phẩm cũng có thể đạt được bằng cách nghiền nguyên vật liệu rắn sau quá trình sấy đối lưu thông thường. Trong các kỹ thuật sấy này, sấy kiểu tang trống có ứng dụng rất hạn chế đối với thực phẩm và đang dần bị thay thế bởi sấy phun do chất lượng sản phẩm không đảm bảo. Sản phẩm rất dễ bị biến chất do tiếp xúc với nhiệt độ cao trong thời gian dài và rất khó thực hiện đối với sản phẩm có chứa nhiều đường. Sấy thăng hoa tuy mang lại sản phẩm có chất lượng tốt nhưng chi phí sản xuất lại quá cao do tốc độ sấy chậm và phải sử dụng độ chân không cao, thực phẩm phải được đóng băng trước, sau đó cấp nhiệt để thực hiện quá trình thăng hoa.

Hiện nay, sấy phun được xem là phương pháp chính để sản xuất bột chất lượng cao trên thị trường. Ưu điểm chính của phương pháp sấy phun là có khả năng biến đổi trực tiếp nguyên vật liệu dạng lỏng thành sản phẩm bột khô, có thể áp dụng cho cả sản phẩm nhạy nhiệt và chịu nhiệt, đặc biệt là các sản phẩm có khả năng gây cháy nổ hoặc độc hại mà không gây ra ô nhiễm môi trường, có khả năng tự động hóa cao và thời gian sấy rất ngắn. Tuy nhiên trong một số trường hợp, sấy phun trở nên kém hấp dẫn do chi phí đầu tư ban đầu và chi phí sản xuất quá cao [3, 4]. Điều này làm cho sản phẩm bột có giá cao và kém cạnh tranh trên thị trường. Hơn nữa, việc cần thiết phải sản xuất được loại bột có diện tích bề mặt riêng lớn để đạt được độ hoạt hóa bề mặt cao đã kéo theo nhu cầu sản xuất các loại bột có cỡ hạt rất mịn. Điều này dẫn tới rất nhiều vấn đề phức tạp liên quan tới khâu vận chuyển, vệ sinh, thu hồi bột, rủi ro cháy nổ và sản phẩm bị biến chất do nhiệt [2, 5].

Trước nhu cầu ngày càng tăng cao của người tiêu dùng đối với chất lượng sản phẩm bột và để khắc phục được những nhược điểm của các phương pháp sản xuất bột truyền thống kể trên, công nghệ giảm áp tức thì đã được nghiên cứu và áp dụng vào quy trình sản xuất bột thực phẩm.

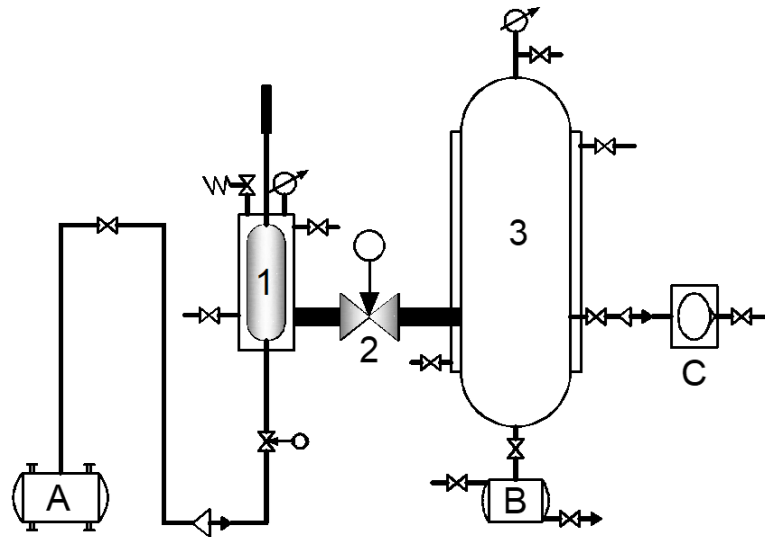
Công nghệ giảm áp tức thì có kiểm soát (viết tắt là DIC trong tiếng pháp - Détente Instantanée Contrôlée) được xem như là một giải pháp để khắc phục vấn đề co rút của sản phẩm trong quá trình sấy, nhờ đó mà thu được sản phẩm có chất lượng cao hơn về mặt cấu trúc, màu sắc, mùi vị...[6]. Công nghệ giảm áp tức thì DIC là một quy trình xử lý ở nhiệt

độ/áp suất cao trong thời gian rất ngắn và sau đó giảm áp suất đột ngột về phía chân không (khoảng 5 kPa với tốc độ giảm áp suất lớn hơn 500 kPa/s) [7]. Quy trình xử lý này đã kích hoạt quá trình bay hơi nước tự động và làm nguội nhanh chóng các sản phẩm sinh học, sản phẩm phồng lên và tạo ra nhiều lỗ rỗng bên trong [6]. Vậy nên, quy trình xử lý DIC có khả năng làm thay đổi cấu trúc đặc chắc của hạt, nâng cao diện tích bề mặt riêng và vì thế cải thiện được nhiều tính chất khác nhau của sản phẩm bột.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Công nghệ giảm áp tức thì có kiểm soát DIC

Sơ đồ cấu tạo của hệ thống xử lý DIC [7, 8] bao gồm bốn phần chính (Hình 1):



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo của hệ thống xử lý DIC: (1) buồng xử lý; (2) van giảm áp tức thì; (3) bình chân không; (A) thiết bị sinh hơi; (B) bình ngưng; (C) bơm chân không.

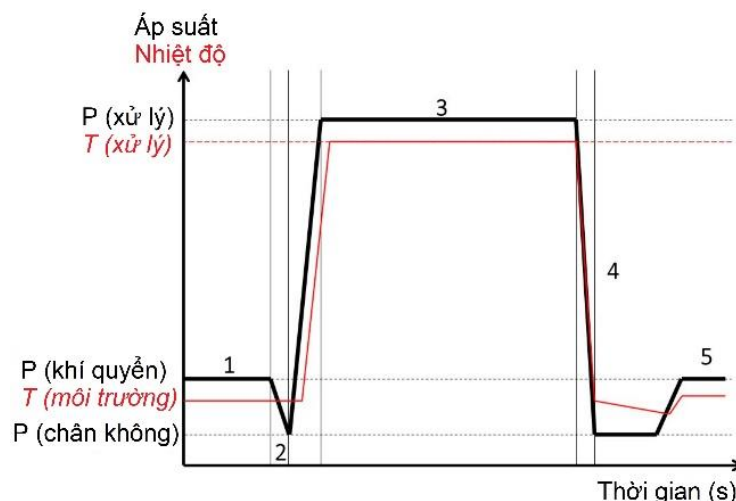
+ Một buồng xử lý nơi đặt các nguyên vật liệu chịu tác động bởi nhiệt độ/áp suất cao của hơi nước (lên tới 10 bar).

+ Một hệ thống chân không: bao gồm một máy bơm chân không có khả năng thiết lập mức chân không khoảng 4 kPa trong một bình có thể tích lớn (gấp khoảng 130 lần so với buồng xử lý). Bình chân không là loại bình hai vỏ có môi chất làm mát giúp tạo ra mức độ chân không cần thiết trong bình. Mức độ chân không tối thiểu có thể đạt được là 2,5 kPa.

+ Một hệ thống kết nối giữa buồng xử lý và bình chân không cho phép mở rất nhanh để giảm áp suất tức thì. Đó là một van cầu điều khiển điện-khí nén cho phép áp suất giảm xuống chân không trong thời gian dưới 100 ms.

+ Một hệ thống cảm biến, thu nhận, lưu trữ, xử lý kết quả và điều khiển tự động: cho phép thu thập và lưu trữ dữ liệu trên máy tính. Hoạt động và cài đặt thông số được quản lý bởi bộ điều khiển logic có thể lập trình được.

Một quy trình DIC bao gồm năm bước xử lý cơ-nhiệt như được mô tả trên hình 2.



Hình 2. Sự thay đổi áp suất/nhiệt độ theo thời gian của một quy trình xử lý DIC.

Bước (1) là giai đoạn ban đầu khi đưa nguyên vật liệu vào trong buồng xử lý ở áp suất khí quyển; bước (2) là giai đoạn thiết lập mức độ chân không ban đầu trong buồng xử lý (khoảng 5 đến 10 kPa) để đảm bảo điều kiện tiếp xúc tốt nhất giữa hơi nước và bề mặt sản phẩm trong gian đoạn sau; bước (3) là giai đoạn xử lý, hơi nước bão hòa được phun vào bên trong buồng xử lý cho đến khi đạt áp suất yêu cầu và được duy trì trong khoảng thời gian xử lý đã định trước (khoảng vài giây hoặc vài chục giây); bước (4) là giai đoạn giảm áp suất đột ngột về phía chân không (khoảng 5 đến 10 kPa); bước (5) là giai đoạn thiết lập trở lại áp suất khí quyển trong buồng xử lý.

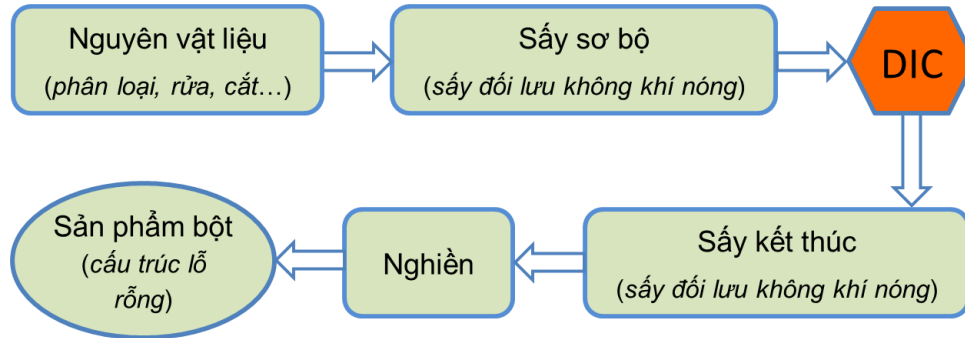
Việc giảm đột ngột áp suất về phía chân không tạo ra ứng suất cơ học trong các lỗ rỗng siêu nhỏ của các vật liệu sinh học chủ yếu do hơi nước sinh ra. Lượng nhiệt bị mất đi trong quá trình chuyển từ mức nhiệt độ xử lý tới mức nhiệt độ cân bằng (được quyết định bởi mức độ chân không) liên quan tới hiện tượng được gọi là "bay hơi tự động". Ở bước 4, tính tức thời là cần thiết để đạt được sự giảm áp suất ngay lập tức với tốc độ ít nhất là 500 kPa/s. Ngoài ra, quá trình làm mát sản phẩm sẽ tốt hơn ở một mức chân không cao hơn và bảo vệ được các vật liệu sinh học khỏi các tác động không mong muốn do nhiệt. Nhìn chung, áp suất cao nhất trong bình chân không là trong khoảng từ 5 đến 10 kPa [9].

2.2. Quy trình sản xuất bột thực phẩm sử dụng công nghệ DIC

Bột thực phẩm sản xuất bằng phương pháp nghiền truyền thống cho sản phẩm đạt chất lượng không cao do cấu trúc hạt bột đặc chắc. Quy trình sản xuất mới được đề xuất bằng cách chèn thêm một giai đoạn tái cấu trúc nguyên vật liệu nhờ công nghệ DIC vào trong quy trình sản xuất bột truyền thống được thể hiện trên hình vẽ số 3.

Nguyên vật liệu thô sau khi được phân loại, làm sạch và cắt nhỏ sẽ được sấy sơ bộ bằng phương pháp sấy đối lưu không khí nóng thông thường tới một độ ẩm cần thiết tùy thuộc loại nguyên vật liệu để phù hợp nhất với quy trình xử lý DIC. Sau giai đoạn sấy sơ bộ, nguyên liệu được đưa vào buồng xử lý DIC với các thông số nhiệt độ/áp suất và thời gian xử lý đã được định trước. Trong buồng xử lý DIC, dưới tác động của quá trình giảm áp suất đột ngột về phía chân không, quá trình bay hơi tự động của nước bên trong vật liệu được kích hoạt dẫn tới sự giãn nở của hơi bên trong sản phẩm và cũng có thể phá vỡ thành tế bào. Vật liệu trở lên rỗng xốp hơn với cấu trúc có nhiều lỗ rỗng và hang hốc. Nguyên vật liệu sau khi xử lý DIC tiếp tục được đưa vào buồng sấy thực hiện quá trình sấy đối lưu không khí nóng để đạt tới độ ẩm cuối

cùng phù hợp cho bảo quản và sử dụng tùy thuộc loại nguyên vật liệu. Cuối cùng, nguyên liệu sấy khô sẽ được nghiền thành sản phẩm bột có cấu trúc hạt rỗng xốp hơn so với khi không xử lý DIC.



Hình 3. Quy trình sản xuất bột ứng dụng công nghệ giảm áp tức thì DIC.

Ngoài ra công nghệ DIC còn được nghiên cứu áp dụng vào quy trình sấy phun. Bột sau quá trình sấy phun tiếp tục được đưa vào buồng xử lý DIC nhằm cải thiện một số tính chất của sản phẩm bột [5, 10, 11].

Các thông số vận hành có ảnh hưởng rất lớn tới chất lượng của sản phẩm bột cuối cùng. Để đạt được chất lượng sản phẩm tốt nhất, đối với mỗi loại nguyên vật liệu khác nhau cần phải tiến hành các thí nghiệm sơ bộ để xác định được các thông số vận hành quan trọng trong từng khâu của quy trình.

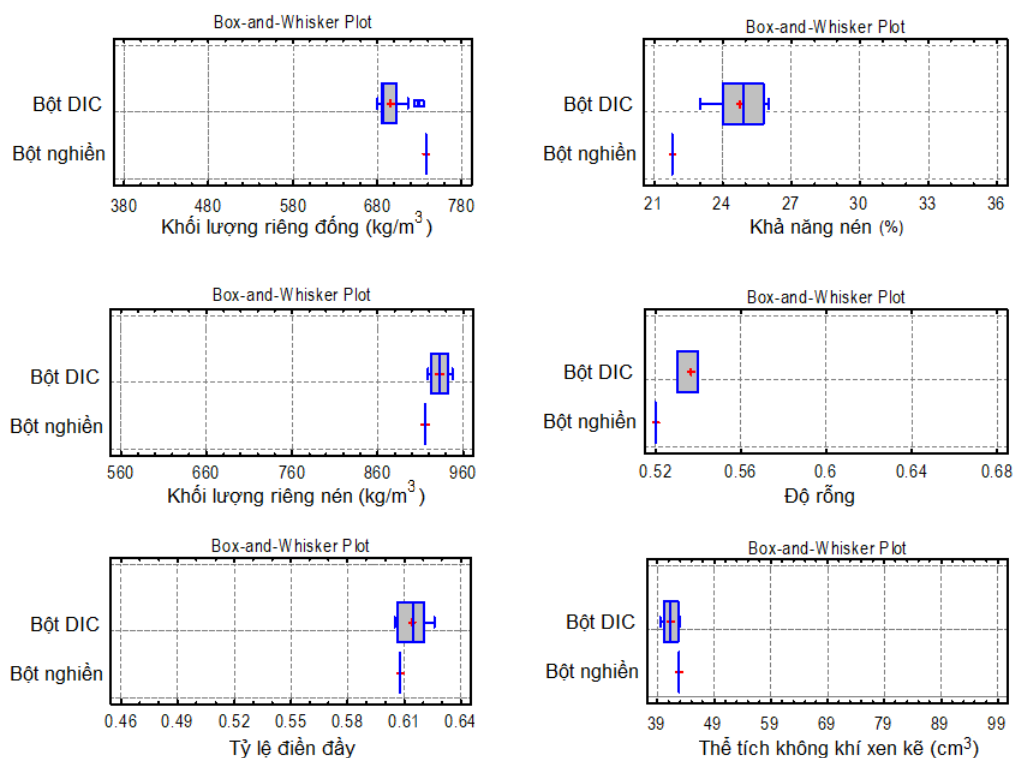
3. MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU ĐÃ ĐẠT ĐƯỢC

3.1. Cải thiện và kiểm soát tính chất vật lý của sản phẩm bột

Bột thực phẩm thường được đặc trưng bởi hàm lượng chất khô của chúng. Tuy nhiên, các đặc tính khác của bột cũng cần phải được tính tới, ví dụ như các tính chất sinh hóa, tính chất vật lý và vi sinh (khối lượng riêng của bột, thể tích không khí xen kẽ, cỡ hạt, độ hòa tan, độ thấm ướt, độ phân tán, khả năng chảy, khả năng giữ nước...). Các đặc tính này phụ thuộc chặt chẽ vào quy trình sản xuất bột, và chúng sẽ quyết định các điều kiện bảo quản và sử dụng bột thực phẩm, hay nói chung hơn là chất lượng của bột. Nhìn chung, các tính chất mà quyết định chất lượng cuối cùng của sản phẩm bột là cấu trúc của bột, độ hòa tan, độ ẩm, khả năng chảy, biến đổi do ôxi hóa, hương vị, màu sắc và sự ô nhiễm vi sinh vật.

Ngày nay, việc kiểm soát chất lượng của bột dựa trên các yếu tố này là một lợi thế cạnh tranh chính. Công nghệ giảm áp suất tức thì DIC áp dụng vào quy trình sản xuất bột có khả năng làm thay đổi cấu trúc của bột, tạo ra một số lượng lớn các lỗ rỗng bên trong hạt và vì thế có thể kiểm soát được nhiều tính chất của bột.

Trong một nghiên cứu trên sản phẩm bột gồm Arabic [10] cho thấy: xử lý DIC (với áp suất hơi nước $P = 0,2 \div 0,7$ MPa, thời gian xử lý $t = 20 \div 120$ s) có thể làm tăng có kiểm soát một số tính chất của bột như khối lượng riêng nén tăng 4%, tỷ lệ điền đầy tăng 3%, khả năng nén tăng 19%, độ rỗng tăng 4%; đồng thời làm giảm khối lượng riêng đóng khoảng 8% và thể tích không khí xen kẽ khoảng 3,4%. So sánh các tính chất vật lý của bột gồm Arabic trước và sau khi xử lý DIC được thể hiện trên hình 4.



Hình 4. So sánh tính chất vật lý của bột gôm Arabic xử lý DIC với bột nghiền thông thường [10].

Trong một nghiên cứu khác được tiến hành với bột đậu nành [12] cũng cho thấy khả năng cải thiện một số tính chất chức năng của sản phẩm bột. Cụ thể, xử lý DIC có thể làm tăng khả năng giữ nước (WHC) của bột đậu nành lên 51% và khả năng giữ dầu (OHC) lên 57%. Ngoài ra, khả năng thấm ướt của bột cũng tăng đáng kể, bột đậu nành xử lý DIC chỉ mất 51 s trong khi bột thông thường cần đến 10 phút để bị thấm ướt hoàn toàn. Đối với sản phẩm bột sắn [13], khả năng giữ nước cũng tăng mạnh từ 1,2 g nước/g bột (khi không xử lý DIC) lên đến 2 ÷ 8 g nước/g bột (sau khi xử lý DIC), khả năng giữ dầu của bột sắn cũng tăng từ 0,4 g dầu/g bột (khi không xử lý DIC) lên đến 0,8 ÷ 2,0 g dầu/g bột sau xử lý DIC ở áp suất hơi nước $P = 0,26 \div 0,54$ MPa và thời gian xử lý $t = 12 \div 48$ s.

Diện tích bề mặt riêng cũng là một thông số rất quan trọng của sản phẩm bột. Diện tích bề mặt riêng lớn giúp sản phẩm bột có độ hoạt hóa bề mặt cao. Việc chèn thêm một giai đoạn tái cấu trúc nguyên vật liệu nhờ xử lý DIC (ở áp suất hơi $P = 0,2 \div 0,6$ MPa, thời gian xử lý $t = 5 \div 55$ s) vào quy trình sản xuất bột táo tây đã làm tăng gấp đôi diện tích bề mặt riêng của sản phẩm bột táo (250 ÷ 300 m²/kg so với 100 ÷ 150 m²/kg khi không xử lý) [14].

3.2. Khả năng khử nhiễm vi sinh vật và giữ vitamin của sản phẩm bột

Vấn đề nhiễm vi sinh vật trong quá trình sản xuất bột có ảnh hưởng lớn tới chất lượng của sản phẩm cuối cùng. Việc áp dụng công nghệ giảm áp tức thì DIC vào sản xuất bột thực phẩm cũng cho thấy giai đoạn xử lý này có khả năng khử nhiễm vi sinh vật rất tốt. Hàm lượng vi sinh vật trong sản phẩm bột hành tây đã giảm mạnh từ mức 875000 vi khuẩn/g (bột không xử lý DIC) xuống chỉ còn 100 vi khuẩn/g (xử lý DIC ở áp suất hơi 0,35 MPa và thời gian 15 s) [14]. Trong một nghiên cứu khác với sản phẩm bột sắn [13] cũng cho thấy hàm lượng vi khuẩn trong bột sắn giảm từ 204500 CFU/ml xuống còn 86500 CFU/ml khi xử lý DIC ở áp suất hơi 0,4 MPa và trong thời gian 12,3 s.

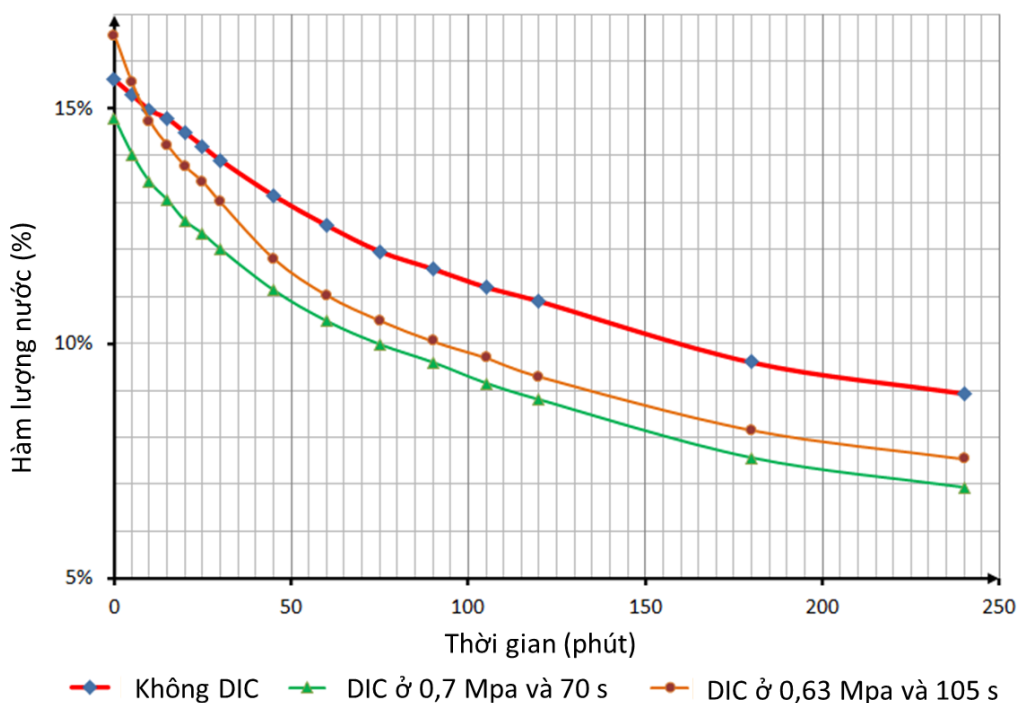
Về mặt giá trị dinh dưỡng, bột táo tây được sản xuất bằng công nghệ DIC cũng cho thấy vấn đề biến chất do nhiệt độ cao xảy ra rất yếu và hàm lượng vitamin được giữ lại cao hơn nhiều so với bột táo thông thường (Bảng 1).

Bảng 1. Hàm lượng vitamin trong bột táo tây [14].

Vitamin	Táo tươi	Không xử lý DIC	Có xử lý DIC
Vitamin C (mg/100 g dm)	290	17	64
Vitamin A (μ g/100 g dm)	50	0,94	7,9

3.3. Giảm thời gian sấy và tiêu hao năng lượng

Giai đoạn tái cấu trúc nguyên vật liệu bởi xử lý DIC có tác động đáng kể đến động học của quá trình sấy. Sự phồng lên và hình thành nhiều lỗ rỗng trong nguyên vật liệu với cấu trúc như tổ ong giúp tăng cường trao đổi nhiệt và trao đổi chất với tác nhân sấy. Việc vận chuyển nước từ bên trong ra phía bên ngoài diễn ra nhanh hơn so với cấu trúc đặc chắc của vật liệu không xử lý DIC. Gôm Arabic không xử lý DIC phải cần tới 4 giờ sấy để đạt độ ẩm 9%, trong khi đó bột được xử lý DIC (ở áp suất hơi $P = 0,7$ MPa và thời gian $t = 70$ s) chỉ mất 90 phút để đạt độ ẩm 9,5% và mất 120 phút để đạt 9% [10] (Hình 5).



Hình 5. Động học quá trình sấy gôm Arabic trước và sau khi xử lý DIC [10].

Đối với sản phẩm bột táo tây, thời gian sấy để đạt độ ẩm 4% cũng giảm mạnh từ 6 giờ (bột không xử lý DIC) xuống còn 1 giờ khi xử lý DIC ở áp suất hơi $P = 0,45$ MPa và $t = 12$ s [14]. Trong quy trình sản xuất bột thì giai đoạn sấy là giai đoạn tiêu hao nhiều năng lượng nhất. Việc giảm mạnh thời gian sấy của giai đoạn sấy kết thúc (sau xử lý DIC) giúp giảm đáng kể tiêu hao năng lượng.

4. KẾT LUẬN

Công nghệ giảm áp suất tức thì DIC cho thấy có tiềm năng lớn khi áp dụng vào các quy trình chế biến thực phẩm và chiết xuất nhờ khả năng tạo ra một cấu trúc mới với nhiều lỗ rỗng cho các nguyên vật liệu sinh học. Khi ứng dụng vào quy trình sản xuất bột thực phẩm, các nghiên cứu đã chỉ ra những ưu điểm vượt trội của phương pháp xử lý DIC so với phương pháp sản xuất truyền thống. Bột thực phẩm được sản xuất bằng công nghệ DIC có nhiều tính chất được cải thiện đáng kể giúp nâng cao chất lượng bột. Công nghệ DIC có khả năng khử nhiễm vi sinh vật và giữ được hàm lượng vitamin cao hơn so với bột thông thường. Ngoài ra, thời gian sấy giảm đáng kể sau quá trình xử lý DIC cũng giúp giảm tiêu hao năng lượng và từ đó giảm được giá thành của sản phẩm. Cuối cùng, các nghiên cứu sâu và rộng hơn cần phải được thực hiện để có thể áp dụng tốt hơn công nghệ này ở cấp độ công nghiệp.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.99-2019.305.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. E. Walton, C.J. Mumford, The Morphology of Spray-Dried Particles: The Effect of Process Variables upon the Morphology of Spray-Dried Particles, *Chemical Engineering Research and Design*, 77 (1999) 442-460, <https://doi.org/10.1205/026387699526296>
- [2] G. V. Barbosa-Cánovas, E. Ortega-Rivas, P. Juliano, H. Yan, *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2005.
- [3] K. Masters, *Spray drying handbook*. Longman Scientific & Technical, England, 1991.
- [4] A. S. Mujumdar, *Handbook of Industrial Drying*, Third Edition, Taylor & Francis Group, New York, 2006.
- [5] S. Mounir, K. Allaf, Three-Stage Spray Drying: New Process Involving Instant Controlled Pressure Drop, *Drying Technology*, 26 (2008) 452-463, <https://doi.org/10.1080/07373930801929334>
- [6] N. Louka, K. Allaf, New process for texturizing partially dehydrated biological products using controlled sudden decompression to the vacuum: application on potatoes, *Journal of Food Science*, 67 (2002) 3033-3038, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08855.x>
- [7] K. Allaf, P. Vidal, Feasibility study of a new process of swell-drying by instant decompression toward vacuum of in pieces vegetables in view of a rapid re-hydration, *Gradient Activity Plotting University of Technology of Compiègne UTC N° CR/89/103*, France, 1988.
- [8] K. Allaf, N. Louka, F. Parent, J. M. Bouvier, M. Forget, Method for processing phyto-genic materials to change their texture, apparatus therefor, and resulting materials, Patent WO6504466(A1), 1995.
- [9] N. Louka, K. Allaf, Expansion ratio and color improvement of dried vegetables texturized by a new process “controlled sudden decompression to the vacuum”: application to potatoes, carrots and onions, *Journal of Food Engineering*, 65 (2004) 233-243, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.01.020>
- [10] N. D. Quang, S. Mounir, K. Allaf, Comparative study of methods for producing gum arabic powder and the impact of DIC treatment (instant controlled pressure drop) on the properties of the product, *Drying Technology*, 37 (2019) 1068-1080, <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1483402>

- [11] S. Mounir, P. Schuck, K. Allaf, Structure and attribute modifications of spray-dried skim milk powder treated by DIC (instant controlled pressure drop) technology, Dairy Science & Technology, 90 (2010) 301-320, <http://doi.org/10.1051/dst/2010008>
- [12] N. D. Quang, S. Mounir, K. Allaf, Functional Properties of Water Holding Capacity, Oil Holding Capacity, Wettability, and Sedimentation of Swell-Dried Soybean Powder, Scholars Journal of Engineering and Technology, 3 (2015) 402-412, <http://doi.org/10.36347/sjet>
- [13] P. Setyoprato, A. Fatmawati, K. Allaf, Texturing by Instant Controlled Pressure Drop DIC in the Production of Cassava Flour: Impact on Dehydration Kinetics, Product Physical Properties and Microbial Decontamination, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, 2009, San Francisco, USA, 112-117.
- [14] S. Mounir, C. Besombes, N. Al-Bitar, K. Allaf, Study of instant controlled pressure drop DIC treatment in manufacturing snack and expanded granule powder of apple and onion, Drying Technology, 29 (2011) 331-341, <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.491585>