



DOI:10.22144/ctujos.2025.226

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ SẤY VÀ LOẠI BAO BÌ ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT HÓA LÝ CỦA BỘT CHUỐI GIÀ HƯƠNG (*Musa sapientum* L.)

Trần Bạch Long, Lê Như Bình, Nguyễn Văn Mười và Trần Thanh Trúc*

Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): tttruc@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 24/07/2025

Sửa bài (Revised): 09/08/2025

Duyệt đăng (Accepted): 15/11/2025

Title: Effects of drying temperature and packaging type on selected physicochemical properties of Gia Huong banana (*Musa sapientum* L.) powder

Author: Tran Bach Long, Le Nhu Binh, Nguyen Van Muoi and Tran Thanh Truc*

Affiliation(s): Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University, Vietnam

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy, độ ẩm và loại bao bì đến một số tính chất hóa lý của bột chuối già hương (*Musa sapientum* L.). Nghiên cứu được bố trí với bốn mức nhiệt độ sấy (45 °C, 50°C, 55°C và 60°C) để xác định giá trị phù hợp, sau đó sản phẩm được sấy đến các mức độ ẩm mục tiêu là 6%, 8%, 10% và 12% để đánh giá chất lượng. Ba loại bao bì (PE, PA và PA/Al) được sử dụng để đánh giá khả năng bảo quản bột chuối trong thời gian 4 tuần. Kết quả cho thấy nhiệt độ sấy ở 55°C giúp sản phẩm đạt độ sáng cao, độ hòa tan tốt và giá trị độ hoạt động nước (a_w) thấp. Khi chuối được sấy đến độ ẩm 8%, bột thu được có màu sắc ổn định, với giá trị L^* đạt 72,38; giá trị b^* đạt 14,04; độ hòa tan đạt 3,847% và độ hoạt động của nước là 0,537, giá trị đủ thấp có thể hạn chế sự phát triển của vi sinh vật. Trong đó, bao bì PA/Al cho hiệu quả bảo quản tốt hơn so với PA và PE, giúp duy trì độ ẩm và màu sắc ổn định.

Từ khóa: Bao bì, bảo quản, chuối già hương, *Musa sapientum*, nhiệt độ sấy

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of drying temperature, moisture content, and packaging type on certain physicochemical properties of Gia Huong banana (*Musa sapientum* L.) powder. The experiment was conducted at four drying temperatures (45°C, 50°C, 55°C, and 60°C) to determine the appropriate value, then the products were dried to the target moisture levels of 6%, 8%, 10%, and 12% for quality evaluation. Three types of packaging materials (PE, PA, and PA/Al) were used to assess the storage stability of banana powder over a four-week period. The results indicate that drying at 55 °C produced powders with high lightness (L^*), good solubility, and low water activity (a_w). When dried to 8% moisture content, the banana powder exhibited stable color (L^* value of 72.38 and b^* value of 14.04), a solubility of 3.847%, and a water activity of 0.537, low enough to inhibit microbial growth. Among the tested packaging types, PA/Al demonstrated superior storage performance compared to PA and PE, effectively maintaining moisture content and color stability.

Keywords: Drying temperatures, Gia Huong banana, *Musa sapientum*, packaging, physicochemical, storage

1. GIỚI THIỆU

Chuối (*Musa spp.*) là một trong những loại cây ăn quả nhiệt đới quan trọng, đóng vai trò thiết yếu trong văn hóa và sinh kế của người dân tại nhiều quốc gia đang phát triển (van der Waal, 2010). Chuối là nguồn cung cấp năng lượng dồi dào nhờ hàm lượng carbohydrate cao và giàu các khoáng chất thiết yếu như kali, magiê và vitamin B6 (Mota et al., 2000). Tại Việt Nam, chuối được trồng phổ biến nhờ khả năng thích nghi tốt với điều kiện sinh thái và cho năng suất cao (Duong et al., 2022). Tuy nhiên, sau thu hoạch, nếu không được xử lý kịp thời và đúng cách, chuối rất dễ hư hỏng, dẫn đến tỷ lệ hao hụt lớn, gây tổn thất kinh tế và tạo áp lực lên môi trường do lượng phế phẩm không được xử lý phù hợp (Zhang et al., 2005).

Việc chế biến chuối xanh thành bột là một hướng đi tiềm năng nhằm giảm thiểu tổn thất sau thu hoạch, đồng thời tạo ra sản phẩm có giá trị gia tăng cao, làm nguyên liệu cho ngành thực phẩm và thực phẩm chức năng (Juarez-Garcia et al., 2006). Bột chuối xanh chứa hàm lượng tinh bột cao (61,3 – 76,5 g/100 g chất khô) và chất xơ (6,3 – 15,5 g/100 g chất khô) (Mota et al., 2000; Juarez-Garcia et al., 2006), trong đó chủ yếu là tinh bột kháng, một thành phần có lợi cho sức khỏe đường ruột và chuyển hóa năng lượng (George et al., 2023).

Trong quy trình sản xuất bột chuối, công đoạn sấy ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng cảm quan, giá trị dinh dưỡng cũng như tính ổn định của sản phẩm. Nhiệt độ sấy không chỉ tác động đến cấu trúc nguyên liệu và hàm lượng nước còn lại, mà còn ảnh hưởng đến độ hòa tan, hiệu suất thu hồi và đặc tính màu sắc của bột (Khoozani et al., 2019). Jethva and Chauhan (2016) cho rằng việc lựa chọn nhiệt độ sấy không phù hợp (quá cao hoặc quá thấp) có thể làm giảm hiệu suất thu hồi và làm mất đi một phần dưỡng chất quan trọng. Ngoài ra, nhiệt độ sấy quá cao có thể gây hiện tượng cháy cạnh, oxy hóa mạnh, làm suy giảm chất lượng sản phẩm (Dhake et al., 2023). Song song đó, bao bì bảo quản là yếu tố không thể thiếu nhằm duy trì chất lượng sản phẩm sau chế biến. Việc lựa chọn loại bao bì phù hợp giúp hạn chế hiện tượng hút ẩm, mất màu, từ đó kéo dài thời gian sử dụng của sản phẩm (Jaya et al., 2005; Ramos et al., 2005). Kết quả ở các nghiên cứu gần đây cho thấy bao bì có khả năng ngăn ánh sáng, khí oxy và hơi ẩm có thể làm chậm quá trình biến đổi chất lượng và ngăn ngừa sự phát triển của vi sinh vật (Barooah et al., 2018; Mengozzi et al., 2025). Từ những cơ sở trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm làm rõ ảnh hưởng của nhiệt độ sấy, độ ẩm cuối

và loại bao bì đến một số tính chất hóa lý của bột chuối xanh từ giống chuối già hương trong quá trình bảo quản.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nguyên liệu chuối già hương (*Musa sapientum* L.) được thu hoạch từ nhà vườn tại ấp Phước Hòa, xã Đông Phước A, thành phố Cần Thơ. Chuối được thu hoạch vào giai đoạn 110 – 115 ngày sau khi đậu trái. Khi quả đạt độ chín sinh lý phù hợp cho chế biến, có hình dạng và kích thước đồng đều (chiều dài trung bình 18 – 22 cm, đường kính 3,5 – 4,0 cm và khối lượng 110 – 130 g/quả), vỏ ngoài tươi sáng, không sần sùi hoặc bị hư hỏng. Sau thu hoạch, chuối được xếp trong các sọt nhựa có lót xốp để hạn chế xây xát cơ học, sau đó bảo quản ở nhiệt độ phòng ($28 \pm 2^\circ\text{C}$) trong khu vực thông thoáng, tránh ánh nắng trực tiếp. Quá trình vận chuyển đến phòng thí nghiệm được thực hiện trong vòng 1 giờ nhằm đảm bảo độ tươi và chất lượng nguyên liệu.

Quy trình tiền xử lý bao gồm rửa sơ bộ để loại bỏ tạp chất bám trên bề mặt, sau đó gọt vỏ và cắt quả thành các lát có độ dày khoảng 4 mm. Các lát chuối được chần ở nhiệt độ 90°C trong 90 giây nhằm ức chế hoạt tính enzyme gây oxy hóa và giữ màu sắc tự nhiên cho sản phẩm (Long et al., 2024).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp phân tích

Các chỉ tiêu phân tích được xác định trong nghiên cứu là:

– Sự thay đổi màu sắc được xác định hệ màu L^* , a^* , b^* bằng máy Colorimeter NH300 (ShenZhen Technology Co., Trung Quốc) với hệ số màu CIE bằng đèn D65.

– Chất khô hoà tan (TSS, đơn vị $^\circ\text{Brix}$) được xác định bằng khúc xạ kế (thang đo 0 – 32% Brix, model N-1, Atago, Nhật Bản). Chuối già hương mô tả ở mục 2.1, tiến hành gọt vỏ, lấy phần thịt, cắt nhỏ và nghiền nhuyễn. Mẫu nghiên cứu được lọc qua vải lọc mịn để thu dịch chuối trong, sau đó nhỏ vài giọt dịch lên lăng kính của khúc xạ kế và đọc trực tiếp giá trị $^\circ\text{Brix}$ hiển thị trên thang đo.

– Độ hòa tan (WSI, %): 10 g bột được cân bổ sung thêm 100 mL nước cất và ủ trong 60 phút trong bể điều nhiệt 37°C và ly tâm ở 5.000 rpm trong 30 phút. Phần bã được cân và sấy ở 105°C trong 24 giờ. Giá trị WSI được tính toán dựa theo công thức của Sarawong et al. (2014).

$$\text{WSI} = \frac{\text{Khối lượng của bột sau khi sấy} \times 100\%}{\text{Khối lượng của bột ban đầu}}$$

– Độ hoạt động của nước (a_w) được xác định bằng thiết bị đo chuyên dụng AQUALAB TDL 2 (METER Group Inc., USA). Mẫu được cân với khối lượng 5 g và cho vào cốc chứa mẫu, đảm bảo mẫu phủ đều đáy cốc mà không tiếp xúc thành trên. Mẫu được thực hiện ở nhiệt độ phòng ổn định ($25\pm 0,5^\circ\text{C}$), thời gian đo dao động 10 đến 15 phút tùy vào mức ổn định. Thiết bị tự động ghi nhận giá trị độ hoạt động của nước khi tín hiệu đạt trạng thái ổn định.

– Độ ẩm (%): Hàm lượng ẩm của mẫu được xác định bằng phương pháp sấy ở nhiệt độ 105°C đến khối lượng không đổi (AOAC 934.06).

2.2.2. Phương pháp thu nhận và xử lý số liệu

Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với ba lần lặp lại cho mỗi nghiệm thức. Dữ liệu thu được được xử lý thống kê bằng phân tích phương sai một nhân tố (ANOVA) sử dụng phần mềm Statgraphics Centurion 16.1 (Statgraphics Technologies, Inc., Mỹ) nhằm đánh giá sự khác biệt có ý nghĩa giữa các nghiệm thức. So sánh trung bình được thực hiện bằng phép thử LSD ở mức ý nghĩa $p \leq 0,05$. Kết quả được trình bày dưới dạng giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn và biểu diễn bằng đồ thị sử dụng phần mềm Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corporation, Mỹ).

2.2.3. Bố trí thí nghiệm

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến một số tính chất hóa lý của bột chuối già hương

Thí nghiệm được thực hiện nhằm xác định nhiệt độ sấy thích hợp giúp cải thiện các tính chất hóa lý của sản phẩm bột chuối. Quy trình xử lý nguyên liệu chuối được tiến hành theo mô tả trong mục 2.1. Sau khi sơ chế nguyên liệu được sấy bằng tủ sấy đối lưu (Shellab-CE3F-2, Mỹ; sai số $\pm 2^\circ\text{C}$) ở các mức nhiệt độ lần lượt là 50°C , 55°C , 60°C và 65°C cho đến khi mẫu đạt độ ẩm mục tiêu là 10% (Chung et al., 2022). Sau khi sấy, mẫu được để ổn định ở điều kiện nhiệt độ phòng. Tiếp theo, mẫu được nghiền mịn và sàng qua rây có kích thước lỗ 0,25 mm để thu được bột chuối đồng nhất. Các tính chất hóa lý được đánh giá bao gồm độ ẩm, độ hòa tan, độ hoạt độ của nước (a_w) và màu sắc (L^* , a^* , b^*).

Ảnh hưởng của độ ẩm cuối sau sấy đến các tính chất hóa lý của bột chuối già hương

Nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định độ ẩm sau sấy phù hợp giúp ổn định các tính chất hóa lý của bột chuối. Quá trình xử lý nguyên liệu được tiến hành theo mô tả tại mục 2.1. Sau khi sơ chế, chuối được sấy bằng thiết bị ở nhiệt độ được lựa chọn tại mục 2.2.3.1 đến khi đạt các mức độ ẩm lần lượt là

6%, 8%, 10% và 12% (Truc et al., 2021). Sau quá trình sấy, mẫu tiếp tục được xử lý tương tự như trong mục 2.2.3.1.

Ảnh hưởng của bao bì đến sự biến đổi tính chất hóa lý của bột chuối già hương trong thời gian bảo quản

Mục tiêu nhằm xác định loại bao bì phù hợp giúp bảo quản ổn định tính chất hóa lý của bột chuối. Chuối được xử lý theo quy trình đã mô tả tại mục 2.1, sau đó được sấy đến nhiệt độ và độ ẩm thích hợp đã xác định. Bột chuối sau khi sấy được nghiền mịn và sàng qua rây có kích thước lỗ 0,25 mm để thu được bột chuối đồng nhất. Tiếp theo, bột chuối được đóng gói trong ba loại bao bì bao gồm PE, PA và PA/Al (Tang et al., 2024) để theo dõi sự thay đổi chất lượng trong quá trình bảo quản ở điều kiện nhiệt độ phòng ($28\pm 2^\circ\text{C}$, độ ẩm tương đối 60 – 65% RH). Trong suốt 4 tuần bảo quản, mẫu được lấy định kỳ hàng tuần để phân tích các chỉ tiêu chất lượng gồm màu sắc (L^* , a^* , b^*), độ ẩm, độ hòa tan và độ hoạt động của nước (a_w).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thành phần cơ bản của nguyên liệu chuối già hương

Các thành phần cơ bản của nguyên liệu như độ ẩm, màu sắc, độ hoạt động của nước (a_w) là những yếu tố sẽ ảnh hưởng lớn đến tính chất hóa lý bột chuối già hương. Vì vậy, việc xác định thành phần của nguyên liệu ban đầu là việc cần thực hiện đầu tiên trước khi tiến hành nghiên cứu tiếp theo. Kết quả phân tích nguyên liệu ban đầu được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa lý của của chuối Già Hương

Thành phần	Giá trị (*)
Độ ẩm (%)	73,85 \pm 0,08
Độ màu L^*	73,46 \pm 0,75
Độ màu a^*	2,51 \pm 0,15
Độ màu b^*	18,42 \pm 0,17
Hàm lượng TSS ($^\circ\text{Brix}$)	7,04 \pm 0,08

(*) Giá trị trung bình 3 lần đo

Kết quả trình bày tại Bảng 1 cho thấy độ ẩm của nguyên liệu chuối già hương tương đối cao, ở mức 73,85%, cho thấy đây là loại thực phẩm khó bảo quản do hàm lượng nước lớn. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Obiageli et al. (2016), khi tác giả ghi nhận độ ẩm của chuối già vào khoảng 71,37%. Tương tự, Abano and Livingstone (2011) cũng báo cáo rằng độ ẩm của chuối chín tươi dao động trong khoảng 75 – 77% (tính theo căn bản ướt). Điều này

cho thấy độ ẩm nguyên liệu chuối sử dụng trong nghiên cứu là phù hợp và có thể chấp nhận được trong điều kiện thực tế. Màu sắc là một trong những chỉ tiêu cảm quan quan trọng nhất của nguyên liệu thực phẩm, có ảnh hưởng trực tiếp đến sự đánh giá ban đầu và mức độ chấp nhận của người tiêu dùng (Pathare et al., 2013). Trong nghiên cứu này, chuối già hương tươi ở độ chín tương ứng với độ Brix 7,04 và có các giá trị màu ban đầu gồm $L^* = 73,46$ (độ sáng), $a^* = 2,51$ (mức độ thiên đỏ) và $b^* = 18,42$ (mức độ vàng). Theo nghiên cứu của Wall (2006), màu sắc có thể gián tiếp phản ánh mức độ biến đổi hóa học xảy ra trong quá trình sấy và bảo quản.

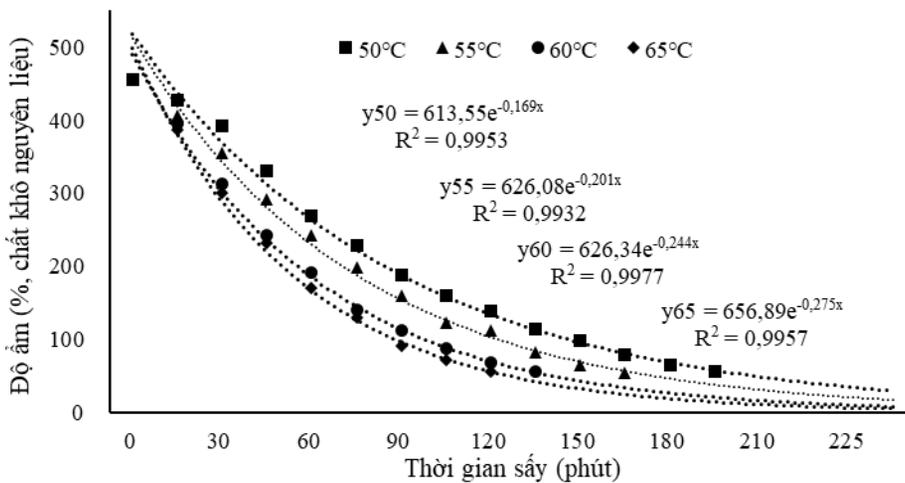
Do vậy, việc nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ sấy, độ ẩm cuối cùng và loại bao bì bảo quản đến tính chất hóa lý (bao gồm màu sắc, độ ẩm, độ hoạt

động của nước và độ hòa tan) của bột chuối là điều cần thiết.

3.2. Tác động của nhiệt độ sấy đến tính chất hóa lý của bột chuối già hương

3.2.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến sự giảm ẩm của bột chuối

Chuối nguyên liệu được rửa sạch sau đó gọt sạch vỏ và cắt thành các lát có độ dày 4 mm. Chuối sau khi cắt sau đó chần ở 90°C trong 90 giây (Long et al., 2024). Chuối sau khi chần được sấy ở các nhiệt độ 50°C, 55°C, 60°C và 65°C đến khi độ ẩm đạt 10%. Kết quả được thể hiện ở Hình 1 cho thấy xu hướng giảm của độ ẩm theo thời gian sấy ở các mức nhiệt độ khác nhau. Có thể thấy rằng, khi nhiệt độ sấy tăng, tốc độ bay hơi nước càng cao, dẫn đến độ ẩm giảm nhanh hơn.



Hình 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến thời gian sấy bột chuối

Kết quả Hình 1 cho thấy quá trình giảm ẩm (tính theo phần trăm chất khô nguyên liệu) của bột chuối trong quá trình sấy ở 4 mức nhiệt độ khác nhau (50°C, 55°C, 60°C và 65°C). Độ ẩm của mẫu giảm nhanh theo thời gian sấy và phù hợp tốt với mô hình hàm mũ, với hệ số xác định (R^2) cao, dao động từ 0,9932 đến 0,9957. Điều này cho thấy các mô hình hồi quy mô tả chính xác mối quan hệ giữa thời gian và độ ẩm trong suốt quá trình sấy. Tốc độ thoát ẩm tăng theo nhiệt độ sấy, được thể hiện qua hệ số trong phương trình mô hình. Cụ thể, hằng số tăng từ 0,169 (ở 50°C) lên 0,275 (ở 65°C), cho thấy sự gia tăng quá trình truyền ẩm do chênh lệch nhiệt độ và áp suất hơi nước giữa bề mặt nguyên liệu và môi trường sấy (Pangavhane et al., 2002). Phương trình sấy cho thấy chuối sấy ở 65°C có tốc độ thoát ẩm nhanh nhất với phương trình $y = 656,89e^{-0,275x}$, kế đến là 60°C, 55°C và thấp nhất là 50°C. Những kết quả này phù

hợp với nghiên cứu của Amer et al. (2023), trong đó tốc độ sấy tăng đáng kể khi nhiệt độ tăng từ 50°C đến 70°C, đặc biệt với các lát mỏng. Chigbo et al. (2024) cũng xác nhận hiệu quả sấy tối ưu khi kết hợp lát mỏng với nhiệt độ cao, thông qua mô hình hóa động học sấy chuối. Tuy nhiên, việc nâng cao nhiệt độ sấy cần được cân nhắc do sấy ở nhiệt độ quá cao có thể dẫn đến hiện tượng nứt bề mặt do chênh lệch co rút ẩm giữa lớp ngoài và bên trong, làm giảm giá trị cảm quan, đồng thời có thể làm thay đổi tính chất hóa lý của sản phẩm (Doymaz, 2017). Do đó, việc lựa chọn nhiệt độ sấy thích hợp không chỉ dựa trên hiệu quả thoát ẩm mà cần đánh giá đồng thời đến một số tính chất hóa lý của sản phẩm sau sấy.

3.2.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến màu sắc của bột chuối

Màu sắc của bột chuối già hương được xác định thông qua các giá trị L^* (độ sáng), a^* (mức độ

chuyên đỏ/lục) và b* (mức độ chuyên vàng/xanh dương), phản ánh sự thay đổi cảm quan quan trọng của sản phẩm dưới tác động của nhiệt độ sấy. Kết quả thể hiện trong Bảng 2 cho thấy sự biến động đáng kể về màu sắc khi thay đổi nhiệt độ sấy.

Bảng 2. Sự thay đổi màu sắc của bột chuối khi sấy ở các nhiệt độ sấy

Nhiệt độ (°C)	L*	a*	b*
50	72,87±0,17 ^c	0,83±0,0058 ^a	12,16±0,04 ^a
55	72,72±0,14 ^c	0,85±0,0084 ^a	12,38±0,07 ^b
60	72,37±0,12 ^b	1,48±0,0058 ^b	13,70±0,03 ^c
65	70,02±0,12 ^a	1,81±0,0252 ^c	14,31±0,09 ^d

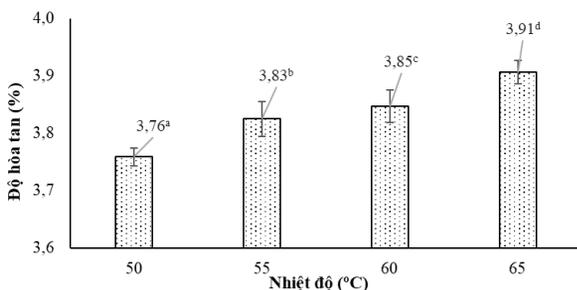
Các giá trị trung bình có cùng chữ cái đi kèm trong cùng một cột thì không khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Kết quả cho thấy sự biến đổi màu sắc thông qua các giá trị L*, a* và b*. Khi nhiệt độ sấy tăng, giá trị L* giảm dần từ 72,87 xuống còn 70,02, trong khi giá trị a* và b* tăng lần lượt từ 0,83 lên 1,81 và từ 12,16 lên 14,31. Sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê ở mức 5%, cho thấy nhiệt độ sấy là yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến màu sắc của sản phẩm. Giá trị L* giảm cho thấy độ sáng của bột chuối giảm, bột chuối trở nên sẫm màu hơn khi sấy ở nhiệt độ cao. Nguyên nhân có thể do phản ứng Maillard và caramel hóa diễn ra mạnh hơn ở nhiệt độ cao, dẫn

đến hình thành các hợp chất màu nâu không do enzyme, làm tối màu sản phẩm (Krokida & Maroulis, 2007). Chỉ số a* tăng dần từ 0,83 lên 1,81 phản ánh xu hướng chuyển màu đỏ rõ rệt hơn. Đây có thể là kết quả của sự biến tính sắc tố do nhiệt, có thể là do sự phân hủy anthocyanin hoặc các hợp chất chống oxy hóa tự nhiên (Maskan, 2001). Tương tự, chỉ số b* tăng từ 12,16 lên 14,31 biểu hiện xu hướng vàng hóa rõ hơn, có thể là hệ quả của quá trình cô đặc chất rắn hòa tan và các phản ứng hóa nâu phi enzyme. Các kết quả trên phù hợp với nghiên cứu của Dhake et al. (2023), trong đó vỏ chuối xanh sấy ở 65°C có màu nâu đậm hơn so với mẫu sấy ở nhiệt độ thấp hơn. Meng et al. (2022) cũng ghi nhận khi sấy lát chuối ở nhiệt độ cao, màu sắc sản phẩm trở nên nâu hơn, với giá trị L* giảm, trong khi a* và b* tăng. Nhìn chung, sự thay đổi các chỉ số màu sắc L*, a* và b* cho thấy nhiệt độ sấy có ảnh hưởng trực tiếp đến màu sắc của bột chuối. Việc lựa chọn mức nhiệt sấy phù hợp giúp kiểm soát màu sắc trong đó khoảng nhiệt độ 50 – 55°C được đề xuất nhằm duy trì màu sắc sáng tự nhiên và hạn chế các phản ứng hóa nâu không mong muốn.

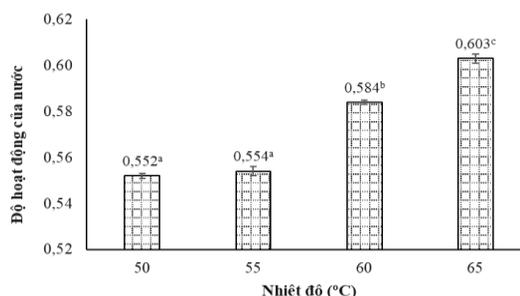
3.2.3. Tác động của nhiệt độ sấy đến chỉ số khả năng hòa tan và độ hoạt động của nước

Sự thay đổi nhiệt độ sấy cũng dẫn đến sự thay đổi về chỉ số hòa tan và độ hoạt động của nước trong sản phẩm bột chuối già hương được thể hiện ở Hình 2 và Hình 3.



Hình 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến độ hòa tan của bột chuối

Kết quả thể hiện trong Hình 2 cho thấy nhiệt độ sấy có ảnh hưởng rõ rệt đến độ hòa tan của bột chuối già hương. Độ hòa tan có xu hướng tăng dần theo sự gia tăng của nhiệt độ sấy. Cụ thể, khi tăng nhiệt độ sấy từ 50°C lên 65°C, độ hòa tan tăng từ 3,76% lên 3,91%. Điều này cho thấy rằng nhiệt độ sấy càng cao thì khả năng hòa tan của bột chuối càng được cải thiện trong khoảng nhiệt độ khảo sát. Sự gia tăng độ hòa tan có thể được giải thích do tác động của nhiệt làm phá vỡ cấu trúc tinh bột và protein, từ đó làm



Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến độ hoạt động của nước

giảm liên kết giữa các phân tử, giúp chúng dễ dàng phân tán trong nước hơn. Ngoài ra, quá trình sấy ở nhiệt độ cao có thể thúc đẩy hiện tượng gelatin hóa một phần và phân cắt chuỗi tinh bột, góp phần làm tăng độ hòa tan của sản phẩm (Asif-Ul-Alam et al., 2014). Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Savlak et al. (2016), khi các tác giả ghi nhận rằng nhiệt độ sấy cao giúp cải thiện độ hòa tan và khả năng tái hydrat hóa của bột do ảnh hưởng đến cấu trúc vật liệu. Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu của

Dhake et al. (2023) cho thấy ở nhiệt độ sấy cao, cấu trúc tế bào của nguyên liệu bị phá vỡ mạnh hơn, làm giải phóng các thành phần tan được như đường, pectin và một số polysaccharide hòa tan, từ đó góp phần làm tăng độ hòa tan của sản phẩm. Ngoài ra, việc sấy ở nhiệt độ cao còn giúp giảm nhanh độ ẩm tự do, hạn chế hiện tượng caramen hóa và phản ứng Maillard không mong muốn gây cứng bề mặt, từ đó giúp bột dễ thấm nước hơn khi hoàn nguyên. Tuy nhiên, việc lựa chọn nhiệt độ sấy tối ưu cần được cân nhắc kỹ lưỡng giữa mục tiêu nâng cao độ hòa tan và việc bảo toàn các chỉ tiêu cảm quan, chất lượng dinh dưỡng cũng như hiệu quả năng lượng. Dù nhiệt độ 65°C cho độ hòa tan cao nhất, nhưng nếu không kiểm soát tốt, nhiệt độ cao cũng có thể gây ảnh hưởng tiêu cực đến màu sắc, hoạt tính sinh học và các đặc tính cảm quan của bột chuối.

Kết quả trình bày trong Hình 3 cho thấy rằng nhiệt độ sấy có ảnh hưởng đáng kể đến độ hoạt động của nước (a_w) của bột chuối già hương. Kết quả cho thấy khi sấy ở mức nhiệt thấp (50°C và 55°C), a_w dao động trong khoảng 0,552 – 0,554 và không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$). Tuy nhiên, khi nhiệt độ sấy tăng lên 60°C và 65°C, giá trị a_w tăng lần lượt lên 0,584 và 0,603, với sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với các mức nhiệt còn lại ($p < 0,05$). Xu hướng tăng a_w theo nhiệt độ sấy có thể liên quan đến hiện tượng tái hấp thụ ẩm sau sấy, đặc biệt khi sấy ở nhiệt độ cao dẫn đến cấu trúc bề mặt xốp, tạo điều kiện cho hơi ẩm xâm nhập trở lại trong giai đoạn ổn định. Hiện tượng này phù hợp với nghiên cứu của Kabeer et al. (2022), khi sấy nguyên liệu giàu tinh bột ở nhiệt độ cao có thể làm thay đổi cấu trúc bề mặt sản phẩm, điều này làm tăng khả năng giữ nước hoặc hấp phụ nước trở lại sau sấy. Tương tự, Xie et al. (2023) cũng cho rằng ở nhiệt độ sấy cao, sự hình thành lớp vỏ khô bên ngoài có thể cản trở thoát ẩm bên trong, dẫn đến tích tụ ẩm nội tại và làm tăng a_w cuối cùng. Ngoài ra, nếu tốc độ khuếch tán hơi ẩm ra ngoài không được kiểm soát hiệu quả, sự giữ ẩm bên trong có thể tăng lên, làm suy giảm chất lượng bảo quản của bột. Xét về mức an toàn thực phẩm và bảo quản, mức a_w dưới 0,6 được xem là giới hạn an toàn cho phần lớn vi sinh vật gây hư hỏng thực phẩm (Fontana et al., 2000). Trong nghiên cứu này, chỉ có các mẫu được sấy ở 50°C và 55°C có giá trị a_w nằm trong khoảng an toàn. Ngược lại, mẫu được sấy ở 65°C đạt $a_w = 0,603$, vượt ngưỡng an toàn này, điều này cho thấy rằng việc sử dụng nhiệt độ sấy quá cao không những không mang lại lợi ích rõ rệt mà còn có thể làm giảm tính ổn định trong bảo quản của bột chuối.

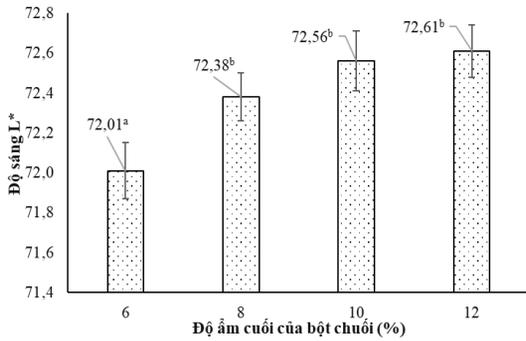
Qua kết quả được phân tích của sự ảnh hưởng đến sự thoát ẩm, màu sắc, độ hòa tan của bột chuối, có thể nhận định rằng nhiệt độ sấy thích hợp cho chuối già hương là 55°C giúp giữ được màu sắc tự nhiên, độ hoạt động nước thấp ($a_w < 0,6$) mà không làm suy giảm chất lượng hóa lý của sản phẩm.

3.3. Ảnh hưởng của độ ẩm cuối của bột chuối sau khi sấy đến màu sắc, hoạt độ nước và chỉ số hòa tan của sản phẩm

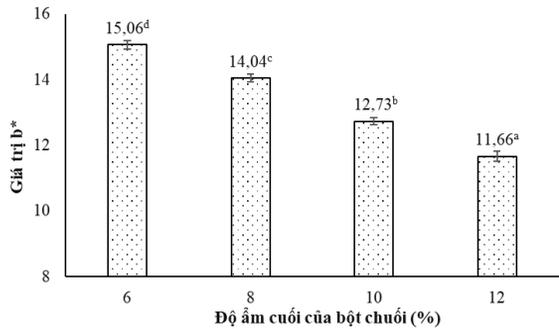
3.3.1. Ảnh hưởng của độ ẩm cuối đến màu sắc của bột chuối

Màu sắc là một trong những chỉ tiêu cảm quan có thể ảnh hưởng đến mức độ chấp nhận của người tiêu dùng đối với sản phẩm bột. Sự thay đổi về độ sáng (L^*) và giá trị b^* (liên quan đến sắc vàng) phản ánh ảnh hưởng của độ ẩm cuối sau sấy cảm quan của bột chuối, được thể hiện trong Hình 4 và Hình 5. Kết quả cho thấy độ ẩm cuối của bột chuối sau sấy ảnh hưởng đến độ sáng (L^*) và giá trị b^* (vàng). Khi độ ẩm tăng từ 6% lên 12%, giá trị L^* tăng từ 72,01 lên 72,61, cho thấy sự cải thiện độ sáng của sản phẩm. Điều này có thể do ở độ ẩm cao hơn, sự thoát ẩm chậm hơn giúp hạn chế tổn thất cấu trúc tế bào, đồng thời giảm tốc độ xảy ra các phản ứng hóa nâu không enzyme và quá trình oxy hóa các hợp chất phenolic, hai cơ chế chính làm sẫm màu sản phẩm trong quá trình sấy (Karam et al., 2016). Hơn nữa, kết quả nghiên cứu của Sarpong et al. (2018) cũng cho rằng kiểm soát độ ẩm trong quá trình sấy lát chuối có thể giúp điều chỉnh cường độ các phản ứng tạo màu. Ở độ ẩm thấp (6%), sản phẩm có giá trị L^* thấp nhất, cho thấy màu tối hơn, có thể bắt nguồn từ hiện tượng mất nước quá mức và kéo dài thời gian sấy, làm gia tăng sự hình thành melanoidin và sự phân hủy mạnh mẽ của chlorophyll, carotenoid và các sắc tố tự nhiên khác (Cardoso & Pena, 2014).

Ngược lại, giá trị b^* có xu hướng giảm dần khi độ ẩm cuối tăng từ 6% (15,06) đến 12% (11,66). Giá trị b^* cao hơn tại độ ẩm thấp cho thấy sự gia tăng màu vàng đậm, có thể do các sản phẩm trung gian như furfural và hydroxymethylfurfural (HMF), đặc trưng trong phản ứng Maillard ở giai đoạn đầu và giữa (Nicolini et al., 1999). Bên cạnh đó, sự giảm giá trị b^* cũng có thể liên quan đến việc giữ lại tốt hơn các sắc tố tự nhiên như lutein và beta-carotene trong điều kiện sấy nhẹ nhàng hơn (Hosry et al., 2025). Nhìn chung, việc kiểm soát độ ẩm cuối phù hợp không chỉ giúp cải thiện và duy trì màu sắc mong muốn mà còn có thể ổn định chất lượng cảm quan và giá trị thị giác của bột chuối trong quá trình bảo quản, từ đó nâng cao giá trị cảm quan và khả năng chấp nhận của người tiêu dùng.



Hình 4. Độ sáng L* của bột chuối ở các độ ẩm sau sấy

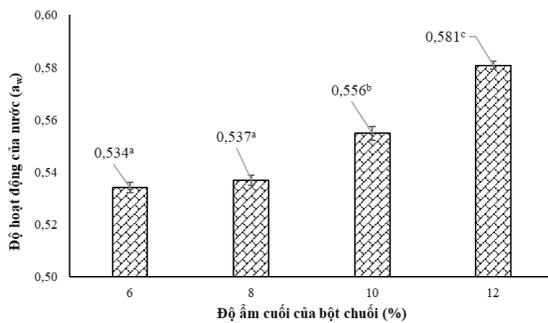


Hình 5. Giá trị b* của bột chuối ở các độ ẩm sau sấy

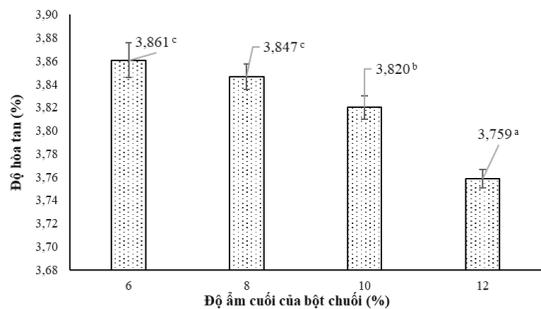
3.3.2. Ảnh hưởng của độ ẩm cuối đến chỉ số hòa tan và độ hoạt động của nước

Độ ẩm cuối của sản phẩm sau sấy có ảnh hưởng đến độ hoạt động của nước (a_w) và chỉ số hòa tan, hai thông số có thể phản ánh khả năng bảo quản và

chất lượng sử dụng của bột chuối. Trong đó, a_w là chỉ tiêu liên quan trực tiếp đến mức độ an toàn vi sinh, còn chỉ số hòa tan phản ánh mức độ hoàn nguyên và ứng dụng của sản phẩm trong thực phẩm chế biến. Kết quả được thể hiện ở Hình 6 và Hình 7.



Hình 6. Ảnh hưởng của độ ẩm đến độ hoạt động của nước (a_w) của bột chuối



Hình 7. Ảnh hưởng của độ ẩm đến độ hòa tan (WSI) của bột chuối

Kết quả cho thấy, khi độ ẩm cuối của bột chuối tăng từ 6% lên 12% thì độ hoạt động của nước (a_w) có xu hướng tăng đáng kể từ 0,521 lên 0,575 (Hình 6). Sự biến động này có thể được giải thích dựa trên cơ sở lý thuyết về trạng thái nước và mối liên hệ giữa nước với các chất rắn trong hệ thực phẩm. Khi độ ẩm sản phẩm ở mức thấp (6 – 8%), phần lớn nước tồn tại dưới dạng nước liên kết mạnh với các thành phần như tinh bột, protein và pectin trong chuối. Khi độ ẩm tăng lên (10 – 12%) lượng nước tự do gia tăng, dẫn đến áp suất hơi nước cao hơn, làm tăng a_w trong sản phẩm (Fellows, 2009). Mặt khác, độ ẩm ảnh hưởng đến chỉ số hòa tan của bột, kết quả ở Hình 7 cho thấy độ ẩm cuối của bột chuối sau sấy có ảnh hưởng và có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) đến chỉ số hòa tan. Ở mức 6% và 8% độ ẩm, chỉ số hòa tan đạt giá trị cao hơn (3,861% và 3,847%) và không khác biệt ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$), điều này cho thấy rằng có thể cấu trúc bột ở trạng thái khô xốp, tinh

bột đã gelatin hóa nhẹ trong quá trình sấy, dễ dàng phân tán khi hoàn nguyên trong nước. Khi độ ẩm tăng lên 10% và 12%, chỉ số hòa tan giảm lần lượt xuống 3,820% và 3,759%, trong đó ở độ ẩm 10% và 12% thấp và khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) với độ ẩm 6% và 8%. Xu hướng giảm này phù hợp với cơ chế ở độ ẩm cao hơn, bột có xu hướng kết tụ và vón cục, làm giảm diện tích tiếp xúc với nước, đồng thời có thể xảy ra một số biến đổi bề mặt do oxy hóa nhẹ, từ đó hạn chế khả năng hòa tan (Onwulata et al., 2006). Điều này cho thấy việc duy trì độ ẩm ở mức thấp (khoảng 6 – 8%) là cần thiết giúp khả năng hòa tan của bột chuối tốt.

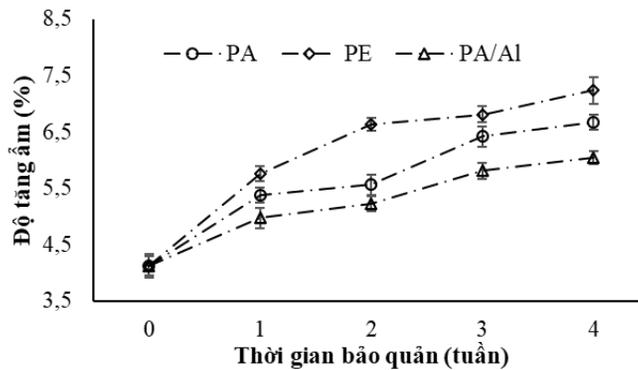
Kết quả nghiên cứu cho thấy độ ẩm cuối của bột chuối sau sấy ảnh hưởng đến màu sắc, độ hoạt động của nước và chỉ số hòa tan của sản phẩm. Ở mức 8%, bột chuối duy trì được màu sáng hài hòa, hạn chế hiện tượng hóa nâu, có thể giữ a_w ở mức an toàn vi sinh ($\approx 0,55$) và đảm bảo cấu trúc xốp, dễ hòa tan

khi hoàn nguyên. Độ ẩm thấp hơn (6%) làm bột sẫm màu, trong khi độ ẩm cao hơn (10 – 12%) làm tăng a_w , gây kết tụ và giảm khả năng hòa tan. Do đó, độ ẩm cuối thích hợp của bột chuối nên duy trì khoảng 8% để cân bằng cảm quan và độ ổn định tính chất hóa lý trong bao quản.

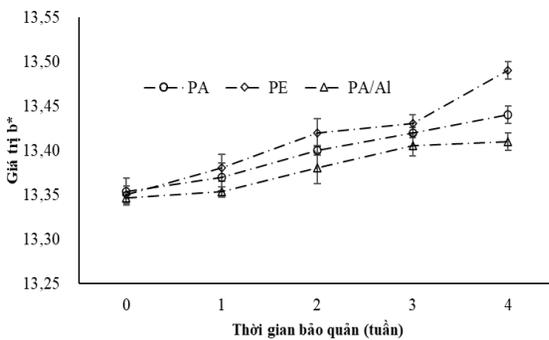
3.4. Ảnh hưởng của các loại bao bì đến tính chất hóa lý của bột chuối trong thời gian bảo quản

3.4.1. Tác động của loại bao bì đến màu sắc của bột chuối

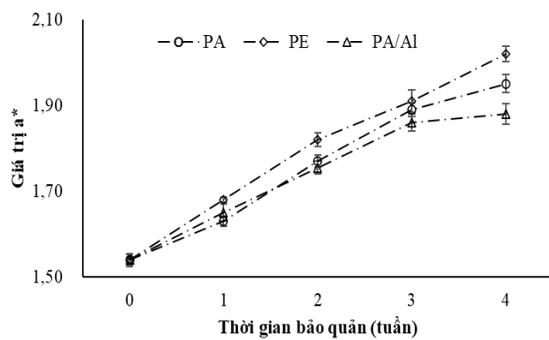
Màu sắc là chỉ tiêu hóa lý có thể phản ánh chất lượng cảm quan và mức độ biến đổi hóa học trong quá trình bảo quản bột chuối. Bao bì ảnh hưởng đến việc kiểm soát mức độ tiếp xúc của bột chuối với oxy, độ ẩm và ánh sáng có thể gây biến đổi màu đối với sản phẩm. Trong nghiên cứu này, bột chuối được đóng gói trong 3 loại bao bì (PE, PA và PA/AL) và theo dõi sự thay đổi giá trị màu sắc (L^* , a^* , b^*) theo thời gian bảo quản trong 4 tuần để đánh giá tác động của từng loại bao bì.



Hình 8. Ảnh hưởng của loại bao bì đến độ sáng L^*



Hình 9. Sự thay đổi của giá trị b^* khi bột chuối được bao gói ở ba loại bao bì



Hình 10. Tác động của loại bao bì đến giá trị a^* trong 4 tuần bảo quản

Kết quả ở Hình 8 cho thấy độ sáng L^* của bột chuối giảm dần theo thời gian bảo quản trong cả 3 loại bao bì, cho thấy độ sáng của bột bị giảm dần đến tối màu. Sự thay đổi độ sáng L^* lớn được ghi nhận khi bột chuối sử dụng bao bì PE trong 4 tuần bảo quản (từ 70,49 xuống 69,33), điều này cho thấy sự biến đổi sắc tố xảy ra trong điều kiện bảo quản (Maskan, 2001). Ngược lại, bột chuối được bảo quản bằng bao bì PA/Al duy trì độ sáng tốt nhất (từ 70,49 xuống 69,92), nhờ lớp màng nhôm có khả năng chống ẩm, cản sáng và oxy hóa hiệu quả, giúp làm chậm các phản ứng gây biến đổi màu như phản

ứng Maillard và enzyme hóa màu (Robert et al., 2010). Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đó về sản phẩm bột trái cây hoặc bột giàu tinh bột bảo quản trong điều kiện độ ẩm môi trường cao, nơi L^* thường được sử dụng như một chỉ thị cho hiện tượng nâu hóa (Zoric et al., 2016).

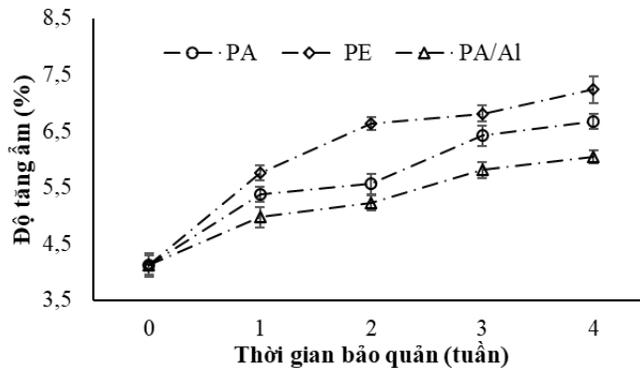
Đối với chỉ số b^* , giá trị tăng nhẹ trong suốt quá trình bảo quản ở cả ba loại bao bì, phản ánh xu hướng gia tăng màu vàng của bột chuối. Trong 4 tuần, mẫu sử dụng bao PE có mức tăng cao (từ 13,35 lên 13,49), so với PA (13,35 lên 13,44) và PA/Al (13,35 lên 13,41). Điều này có thể thấy rằng khả

năng cản khí và cản ẩm kém của bao bì PE dẫn đến bột chuối tiếp xúc với oxy nhiều hơn, từ đó thúc đẩy các phản ứng oxy hóa hoặc phản ứng Maillard nhẹ (Maskan, 2001). Trong khi đó, bao PA/Al giúp duy trì sự ổn định độ sáng tốt nhờ tính chất ngăn cản sự tiếp xúc với yếu tố môi trường. Giá trị độ màu b^* cũng có xu hướng tăng lên (Hình 9), kết quả này cũng được nghiên cứu của Korese et al. (2022) ghi nhận về bột trái cây sấy khi bảo quản trong điều kiện không kiểm soát độ ẩm và oxy. Giá trị a^* (Hình 10) cũng cho thấy xu hướng tăng dần theo thời gian bảo quản 4 tuần. Sự thay đổi và tăng nhanh khi bột sử dụng bao bì PE (1,54 → 2,02), tiếp theo là bao bì PA (1,54 → 1,95) và thấp ở bao bì PA/Al (1,54 → 1,88). Kết quả này cho thấy rằng bao bì có khả năng ngăn cản ánh sáng và không khí tốt (như PA/Al) sẽ giúp hạn chế đáng kể biến đổi màu sắc trong suốt quá trình bảo quản (Korese et al., 2022). Nhìn chung, sự biến đổi màu sắc theo thời gian bảo quản

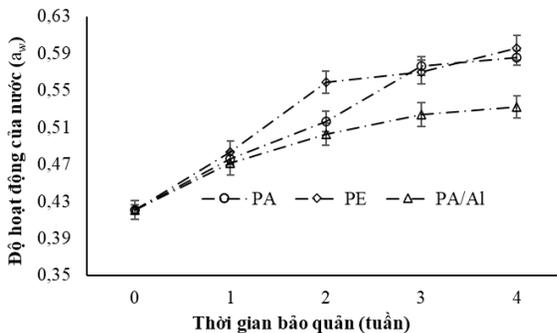
phản ánh tính chất dễ bị oxy hóa của bột chuối. Việc sử dụng bao bì có khả năng cản sáng và khí tốt như PA/Al là giải pháp hiệu quả nhằm duy trì màu sắc của sản phẩm trong thời gian bảo quản 4 tuần.

3.4.2. Sự thay đổi độ ẩm, độ hoạt động của nước, độ hòa tan của bột chuối trong thời gian bảo quản

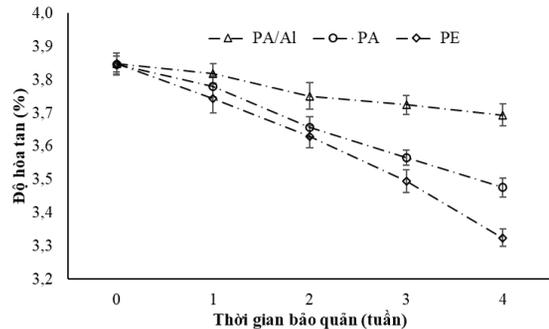
Độ ẩm có thể ảnh hưởng lớn đến cả giá trị và thời hạn sử dụng của sản phẩm, do đó ảnh hưởng đến tính an toàn của sản phẩm. Độ ẩm xâm nhập vào bao bì và khả năng hấp thụ nước của sản phẩm mất nước có thể dẫn đến sự mất tính ổn định lý hóa như độ hòa tan của phẩm, cuối cùng dẫn đến sự giảm chất lượng sản phẩm (Jaime et al., 2022). Tác động của từng loại bao bì đến sự tăng ẩm và độ hoạt động của nước làm thay đổi độ hòa tan của bột chuối được thể hiện ở Hình 11, Hình 12 và Hình 13.



Hình 11. Ảnh hưởng của loại bao bì đến sự độ tăng độ ẩm của bột chuối



Hình 11. Sự thay đổi của độ hoạt động của nước khi bảo quản ở 3 loại bao bì khác nhau



Hình 12. Tác động của loại bao bì đến độ hòa tan của bột chuối trong 4 tuần bảo quản

Kết quả ở Hình 11 cho thấy rằng độ tăng ẩm của bột chuối có xu hướng tăng dần, tuy nhiên mức độ tăng khác nhau đáng kể giữa các loại bao bì. Sau 4 tuần, bao bì PE cho thấy mức tăng ẩm cao (7,23%), tiếp theo là PA (6,67%) và thấp là PA/Al (6,04%). Sự khác biệt này được giải thích là do đặc tính ngăn cản ẩm của từng loại vật liệu bao bì (Shashikumar et

al., 2023). Điều này là do lớp nhôm có đặc tính chống thấm hơi nước và chống khí cao, giúp hạn chế sự trao đổi ẩm với môi trường. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Korese et al. (2022) cho thấy vật liệu nhiều lớp có chứa lá nhôm giúp duy trì độ ổn định độ ẩm và hoạt độ nước trong thực phẩm khô, đặc biệt là dạng bột. Sau 4 tuần, bột được bảo quản

trong bao bì PE có độ hoạt động của nước là 0,596; tăng hơn so với hai loại bao bì còn lại, tương ứng là PA (0,585) và PA/Al (0,532) (Hình 11). Sự gia tăng độ hoạt động của nước có mối tương quan thuận với độ tăng ẩm của mẫu. Sự gia tăng độ hoạt động của nước còn có thể ảnh hưởng đến các chỉ tiêu hóa lý khác như độ hòa tan. Bột có độ hoạt động của nước cao dễ bị vón cục, giảm độ toai, tạo điều kiện thuận lợi cho nấm mốc phát triển, từ đó rút ngắn thời hạn sử dụng và làm giảm giá trị thương mại của sản phẩm (Shashikumar et al., 2023). Bên cạnh đó Hình 12 cho thấy bột chuối sau 4 tuần bảo quản, độ hòa tan giảm từ 3,847 xuống còn 3,693 đối với mẫu PA/Al, từ 3,846 xuống 3,475 đối với mẫu PA, và từ 3,848 xuống chỉ còn 3,324 ở mẫu PE. Điều này cho thấy bao bì PE có hiệu quả kém nhất trong việc duy trì tính chất hòa tan, trong khi bao bì PA/Al giữ được độ hòa tan cao. Sự suy giảm độ hòa tan có thể do quá trình hút ẩm của sản phẩm trong điều kiện bảo quản. Khi độ ẩm và a_w tăng, các phản ứng hóa học không mong muốn như oxy hóa, phản ứng Maillard hoặc tương tác giữa polysaccharide và protein có thể

diễn ra, dẫn đến hiện tượng vón cục, tái kết tinh hoặc biến tính cấu trúc hạt bột (Tonon et al., 2011). Điều này ảnh hưởng tiêu cực đến khả năng phân tán của bột khi hòa trong nước, làm giảm độ hòa tan.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy nhiệt độ sấy và độ ẩm cuối có ảnh hưởng đến chất lượng hóa lý của bột chuối già hương, trong đó sấy ở 55°C và đạt độ ẩm 8% là điều kiện thích hợp hơn, giúp sản phẩm đạt độ sáng cao, màu sắc ổn định ($L^* = 72,38$ và $b^* = 14,04$), độ hòa tan tốt (3,847%) và độ hoạt động của nước thấp ($a_w = 0,537$). Đặc biệt, loại bao bì bảo quản là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến tính chất hóa lý của sản phẩm. Trong các loại bao bì được khảo sát, bao bì PA/Al cho thấy khả năng bảo quản vượt trội, giúp duy trì độ ẩm và các chỉ tiêu màu sắc tốt hơn so với PA và PE. Từ đó cho thấy bao bì PA/Al góp phần giảm thiểu biến đổi tính chất hóa lý trong 4 tuần bảo quản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Abano, E. E., & Livingstone, E. (2011). Effects of different pretreatments on drying characteristics of banana slices. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(3), 121–129.
- Amer, B. M., Azam, M. M., & Saad, A. (2023). Monitoring temperature profile and drying kinetics of thin-layer banana slices under controlled forced convection conditions. *Processes*, 11(6), 1771. <https://doi.org/10.3390/pr11061771>.
- Asif-Ul-Alam, S. M., Islam, M. Z., Hoque, M. M., & Monalisa, K. (2014). Effects of drying on the physicochemical and functional properties of green banana (*Musa sapientum*) flour and development of baked product. *American Journal of Food Science and Technology*, 2(4), 128–133. <https://doi.org/10.12691/ajfst-2-4-4>.
- Barooah, N., Das, P., Saikia Barooah, M., Seth, D. K., & Dutta, P. (2018). Storage studies on spray dried ripe banana powder produced by response surface methodology. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(6), 1922–1933. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.228>.
- Buzera, A., Gikundi, E., Orina, I., & Sila, D. (2022). Effect of pretreatments and drying methods on physical and microstructural properties of potato flour. *Foods*, 11(4), 507. <https://doi.org/10.3390/foods11040507>.
- Cardoso, J. M., & Pena, R. S. (2014). Hygroscopic behavior of banana (*Musa ssp. AAA*) flour in different ripening stages. *Food and Bioprocess Processing*, 92(1), 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.08.004>.
- Chigb, K. S., Adindu, L.-C., Moufunanya, U. F., Adindu-Linus, C. O., Adepoju, F. O., Eke, A. B., & Okechukwu, Q. N. (2024). Mathematical modeling of the effects of thickness and temperature on thin-layer drying kinetics of oven-dried cooking bananas (*Musa spp.*, sub. grp. ABB) slices. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6, 51. <https://doi.org/10.1186/s43014-024-00233-9>.
- Chung, N. D., Minh, V. T., Vuong, H. S., Hai, N. N., & Hue, N. V. (2022). Study on the processing of Turkey Tail mushroom (*Trametes versicolor*) tea bags. *Journal of Agricultural Science and Technology (HUAUF-JAST)*, 6(3), 3274–3284 (In Vietnamese). <https://doi.org/10.46826/huaf-jasat.v6n3y2022.911>.
- Dhake, A. B., Patil, R. P., Shinde, A. D., More, R. M., & Kadam, D. M. (2023). Effect of pretreatment and temperature on drying characteristics and quality of green banana peel. *AgriEngineering*, 5(4), 1271–1283. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040127>.
- Doymaz, İ. (2005). Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 275–279. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.019>.
- Duong, D. T. T., Luu, C. T., Tham, D. T., Huong, T. T. B., & Hung, V. V. (2022). Effect of planting distance on the growth, development, and yield of tissue-cultured banana (*Musa acuminata* L.) in Trang Bom District, Dong Nai Province. *Journal*

- of *Forestry Science and Technology*, 3, 012–022 (in Vietnamese).
<https://journal.vnuf.edu.vn/vi/article/view/331>.
- Fellows, P. (2009). *Food processing technology: Principles and practice* (3rd ed.). Woodhead Publishing.
- Fontana, A. J. (2000). Water activity's role in food safety and quality. In D. Schmidt (Ed.), *Water activity in foods: Fundamentals and applications* (pp. 11–44). Blackwell Publishing and Institute of Food Technologists.
- George, S., Thomas, A., Kumar, M. V. P., Kamdod, A. S., Rajput, A., & Abdullah, S. (2023). Impact of processing parameters on the quality attributes of spray-dried powders: A review. *European Food Research and Technology*, 249(2), 241–257. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04170-0>.
- Hosry, L., Elias, V., Chamoun, V., Halawi, M., Cayot, P., Nehme, A., & Bou-Maroun, E. (2025). Maillard reaction: Mechanism, influencing parameters, advantages, disadvantages, and food industrial applications: A review. *Foods*, 14(11), 1881. <https://doi.org/10.3390/foods14111881>.
- Jaime, S. B., Alves, R. M., & Bócoli, P. F. (2022). Moisture and oxygen barrier properties of glass, PET and HDPE bottles for pharmaceutical products. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 71, 103330. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103330>.
- Jaya, S., & Das, H. (2005). Accelerated storage, shelf life and color of mango powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 29(1), 45–62. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2005.00012.x>.
- Jethva, K. R., & Chauhan, N. (2016). Drying characteristics of banana powder. *Indian Journal of Science*, 23(77), 75–88.
- Juarez-Garcia, E., Agama-Acevedo, E., Sáyago-Ayerdi, S. G., Rodríguez-Ambríz, S. L., & Bello-Pérez, L. A. (2006). Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, 61(3), 131–137. <https://doi.org/10.1007/s11130-006-0020-x>.
- Kabeer, S., Govindarajan, N., Preetha, R., Ambrose, K., Essa, M. M., & Qoronfleh, M. W. (2023). Effect of different drying techniques on the nutrient and physicochemical properties of *Musa paradisiaca* (ripe Nendran banana) powder. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 1107–1116. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05498-x>.
- Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E. B., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32–49. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001>.
- Khoozani, A. A., Bekhit, A. E. A., & Birch, J. (2019). Effects of different drying conditions on the starch content, thermal properties and some of the physicochemical parameters of whole green banana flour. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, 938–946. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.010>.
- Korese, J. K., Achaglinkame, M. A., & Adzitey, F. (2022). Effect of different packaging materials on storage stability of *Gardenia erubescens* Stapf. & Hutch. dried fruits and powder. *Applied Food Research*, 2(2), 100143. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100143>.
- Krokida, M. K., & Maroulis, Z. B. (1997). Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*, 15(10), 2441–2458. <https://doi.org/10.1080/07373939708917369>.
- Kumar, V., Vinayak, A. K., Venkatachalam, S., & Muruganandam, L. (2022). Moisture barrier behavior of polymer films on food packaging plastic materials. *International Journal for Technological Research in Engineering*, 9(5), 6–12.
- Long, T. B., Truc, T. T., & Muoi, N. V. (2024). Effect of pretreatment on polyphenol oxidase activity, water activity and color of (*Musa sapientum* L.) powder. *Journal of Agriculture and Rural Development (Special issue)*, 102–112 (in Vietnamese).
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwi fruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177–182. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2).
- Maskan, M. (2001). Kinetics of color change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169–175. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00154-0).
- Meng, Z., Cui, X., Liu, Y., Hu, R., Du, C., Wang, S., & Zhang, F. (2022). Drying characteristics of banana slices under heat pump-electrohydrodynamic (EHD) combined drying. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54, 102907. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102907>.
- Mengozzi, A., Carullo, D., Bot, F., Farris, S., & Chiavaro, E. (2025). Functional properties of food packaging solutions alternative to conventional multilayer systems. *Journal of Food Science and Technology*, 62, 483–491. <https://doi.org/10.1007/s13197-024-06038-5>.
- Mota, R. V., Lajolo, F. M., Cordenunsi, B. R., & Ciacco, C. (2000). Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Starch-Stärke*, 52(2-3), 63–68. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-379X\(200004\)52:2/3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(200004)52:2/3).
- Nicoli, M. C., Anese, M., & Parpinel, M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in*

- Food Science & Technology*, 10(3), 94–100.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00023-0](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00023-0).
- Obiageli, O. A., Ohia, G. U., Pauline, I. A., & Helen, O. N. (2016). Glycoside, moisture and dry matter compositions of fruits of three *Musa* species at three stages of development. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS)*, 11(3), 60–67. <https://doi.org/10.9790/3008-1103046067>.
- Onwulata, C. I., Smith, P. W., & Konstance, R. P. (2006). Incorporation of whey products in extruded corn, oat, rice and potato blends. *Food Research International*, 39(5), 500–509.
- Pangavhane, D. R., Sawhney, R. L., & Sarsavadia, P. N. (2002). Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. *Energy*, 27(6), 579–590.
[https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00005-1).
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60.
<https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>.
- Ramos, A. M., & Stringheta, P. C. (2005). Effect of carriers on microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 420–428.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>.
- Robert, P., Gorena, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J., & Saenz, C. (2010). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(7), 1386–1394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02270.x>.
- Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., & Ng, P. K. W. (2014). Effect of extrusion cooking variables and storage on physicochemical properties of green banana flour. *Food Chemistry*, 143, 33–39.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.081>
- Sarpong, F., Yu, X., Zhou, C., Oteng-Darko, P., Amenorfe, L. P., Wu, B., Bai, J., & Ma, H. (2018). Drying characteristic, enzyme inactivation and browning pigmentation kinetics of controlled humidity-convective drying of banana slices. *Heat and Mass Transfer*, 54, 3117–3130.
<https://doi.org/10.1007/s00231-018-2354-y>.
- Savlak, N., Tümkän, M., & Yeşilkanat, N. (2016). Effects of drying methods on physicochemical properties of banana flours for potential use in gluten-free foods. *Journal of Food Science and Technology*, 53(12), 3897–3905.
<https://doi.org/10.1007/s13197-016-2396-9>.
- Savlak, N., Türker, B., & Yeşilkanat, N. (2016). Effects of particle size distribution on some physical, chemical and functional properties of unripe banana flour. *Food Chemistry*, 213, 180–186.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.064>
- Tang, N. V., Ho, Linh, H. M., Vien, D. T. C., & Do, T. C. V. (2024). Influence of packaging materials on physicochemical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of medicinal plant *Xao tam phan (Paramignya trimer)*. *Can Tho University Journal of Science*, 60(1b), 97–112 (in Vietnamese).
<https://doi.org/10.22144/ctujs.2024.244>.
- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2011). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 44(1), 557–564.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.020>.
- Truc, T. T., Thai, M. T., Trinh, M. D., & Tuan, N. T. (2021). Research on herbal tea bag processing technology for pomelo peel of Nam Roi cultivar (*Citrus grandis* (L.) Osbeck). *Can Tho University Journal of Science*, 13(SI), Article 002 (in Vietnamese).
<https://doi.org/10.22144/ctu.jsci.2021.002..>
- van der Waal, J. W. H. (2010). Exporting bananas for improved livelihoods and social development: Experiences and challenges from Latin America and Africa. *Acta Horticulturae*, 879(879), 57–66.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.879.4>
- Wall, M. M. (2006). Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(5), 434–445.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.002>.
- Xie, M., Chen, Y., Sun, Y., Gao, Y., Wu, Z., Wu, R., Li, R., Hong, S., Wang, M., Zou, Y., Zhang, H., & Xiong, Y. (2023). Effect of Drying Kinetics, Volatile Components, Flavor Changes and Final Quality Attributes of *Moslae herba* during the Hot Air Thin-Layer Drying Process. *Molecules*, 28(9), 3898.
<https://doi.org/10.3390/molecules28093898>.
- Zhang, P., Whistler, R. L., BeMiller, J. N., & Hamaker, B. R. (2005). Banana starch: Production, physicochemical properties, and digestibility—a review. *Carbohydrate Polymers*, 59(4), 443–458.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.10.014>.
- Zorić, Z., Pedisić, S., Bursać Kovačević, D., Dobričić, V., & Dragović-Uzelac, V. (2016). Impact of packaging material and storage conditions on polyphenol stability, colour and sensory characteristics of freeze-dried sour cherry (*Prunus cerasus* var. Marasca). *Journal of Food Science and Technology*, 53(2), 1247–1258.
<https://doi.org/10.1007/s13197-015-2097-4>.