



TẠP CHÍ KHOA HỌC ĐẠI HỌC ĐỒNG THÁP
Dong Thap University Journal of Science

Chuyên san Khoa học Tự nhiên

ISSN 0866-7675 | e-ISSN 2815-567X



DOI: <https://doi.org/10.52714/dthu.14.8.2025.1549>

ẢNH HƯỞNG CỦA BAO BÌ VÀ NHIỆT ĐỘ BẢO QUẢN ĐẾN CHẤT LƯỢNG NẤM BÀO NGƯ SẤY KHÔ

Nguyễn Thị Ngọc Giang^{1*}, Lê Thị Thúy Diễm¹, Nguyễn Duy Tân², Hồ Thị Ngân Hà²,
Đào Văn Thanh², Diệp Kim Quyên² và Trần Văn Khải³

¹Khu Thí nghiệm – Thực hành, Trường Đại học An Giang,
Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Bộ môn Công nghệ thực phẩm, Trường Đại học An Giang,
Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Bộ môn Khoa học Cây trồng, Trường Đại học An Giang,
Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ, Email: ntngiang@agu.edu.vn

Lịch sử bài báo

Ngày nhận: 02/12/2024; Ngày nhận chỉnh sửa: 04/02/2025; Ngày duyệt đăng: 11/02/2025

Tóm tắt

Pleurotus sajor-caju là nấm ăn có giá trị dinh dưỡng và dược liệu cao. Tuy nhiên, nấm tươi dễ bị hư hỏng sau khi thu hoạch. Các phương pháp sấy khô có thể được áp dụng để duy trì chất lượng nấm, giảm tổn thất và kéo dài thời gian bảo quản sau thu hoạch. Mục tiêu của nghiên cứu này là: đánh giá ảnh hưởng của loại bao bì Polyamide (PA) (độ chân không 95%), Polyethylene terephthalate (PET) và Polyethylene (PE); và nhiệt độ tồn trữ cho quá trình khảo sát là (28-30°C và 3-5°C) (với độ ẩm không khí tương ứng là 60-62% và 76-78%) đối với chất lượng nấm bào ngư sấy khô bằng năng lượng mặt trời trong quá trình bảo quản. Trong suốt thời gian bảo quản, hàm lượng đường tổng số và protein của tất cả các mẫu đều giảm. Ngoài ra, màu sắc (thông qua giá trị chênh lệch độ sáng (ΔL^*)) và độ cứng của nấm bào ngư sấy khô cũng giảm, dẫn đến nấm bị sẫm màu và mềm hơn. Sau 6 tháng, khi tồn trữ ở nhiệt độ 3-5°C, mẫu đóng gói trong bao bì PA (độ chân không 95%) có mức độ hao hụt protein, đường tổng số và lipid tổng số thấp nhất và hoạt độ nước $a_w < 0,7$. Nhiệt độ thấp và bao bì PA là điều kiện tối ưu để bảo quản nấm bào ngư sấy khô.

Từ khóa: Bao bì PA, chất lượng, độ hoạt động nước (a_w), nhiệt độ tồn trữ, nấm bào ngư sấy khô.

Trích dẫn: Nguyễn, T. N. G., Lê, T. T. D., Nguyễn, D. T., Hồ, T. N. H., Đào, V. T., Diệp, K. Q., & Trần, V. K. (2025). Ảnh hưởng của bao bì và nhiệt độ bảo quản đến chất lượng nấm bào ngư sấy khô. *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 14(5), 27-38. <https://doi.org/10.52714/dthu.14.8.2025.1549>

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a CC BY-NC 4.0 License.

THE IMPACT OF PACKAGING AND TEMPERATURE ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF DRIED OYSTER MUSHROOMS (*Pleurotus sajor-caju*) DURING STORAGE

Nguyen Thi Ngoc Giang^{1*}, Le Thi Thuy Diem¹, Nguyen Duy Tan², Ho Thi Ngan Ha²,
Dao Van Thanh², Diep Kim Quyen², and Tran Van Khai³

¹Experimental-practical Area, An Giang University,
Vietnam National University Ho Chi Minh city, Vietnam

²Food Technology Department, Agriculture and Natural Resource Faculty,
An Giang University, Vietnam National University Ho Chi Minh city, Vietnam

³Crop Science Department, Agriculture and Natural Resource Faculty,
An Giang University, Vietnam National University Ho Chi Minh city, Vietnam

*Corresponding author, Email: ntngiang@agu.edu.vn

Article history

Received: 02/12/2024; Received in revised form: 04/02/2025; Accepted: 11/02/2025

Abstract

Pleurotus sajor-caju is an edible mushroom with high nutritional and medicinal value. However, fresh mushrooms are easily damaged after harvest for various reasons. Drying methods can be applied to maintain mushroom quality, reduce losses, and extend postharvest storage time. This study is to evaluate the impact of different packaging materials: Polyamide (PA) (95% vacuum), Polyethylene Terephthalate (PET), and Polyethylene (PE), as well as storage temperatures (28–30°C and 3–5°C) with corresponding relative humidity levels (60–62% and 76–78%) on the quality of solar-dried oyster mushrooms during storage. Throughout the storage period, the total sugar and protein content in all samples decreased. Additionally, the color (as indicated by the brightness difference (ΔL^*) value) and firmness of the dried oyster mushrooms also declined, causing the mushrooms to darken and soften. After 6 months, when stored at 3–5°C, the samples packaged in vacuum-sealed PA had the lowest loss of protein, total sugar, and total lipid, with a water activity level (a_w) of less than 0.7. Low temperature and PA (polyamide) packaging are optimal conditions for preserving dried oyster mushrooms.

Keywords: Dried oyster mushroom, PA packaging, quality, storage temperature, water activity level (a_w).

1. Giới thiệu

Nấm bào ngư (*Pleurotus sajor-caju*) được biết đến với các đặc tính dinh dưỡng và dược liệu độc đáo, cùng với hương thơm và vị đặc trưng (Dunkwal & Singh, 2007). Nấm chủ yếu bao gồm carbohydrate và protein, chiếm từ 70 đến 90% khối lượng khô, và được coi là các polyme có giá trị dinh dưỡng cao và các hợp chất hoạt tính sinh học hỗ trợ sức khỏe đường ruột (Jayachandran & cs., 2017). Tuy nhiên, do hàm lượng nước cao (khoảng 90%), nấm bào ngư dễ bị hư hỏng do vi sinh vật gây ra bởi các phản ứng phụ thuộc vào nước. Kết quả là nấm bào ngư tươi khó có thể bảo quản hơn 24 giờ ở nhiệt độ phòng. Sau khi thu hoạch, nấm thường mất trọng lượng, chuyển sang màu nâu, héo úa và hư hỏng, chủ yếu do các quá trình hô hấp và thoát hơi nước (Giang & cs., 2022). Để giảm thiểu tổn thất sau thu hoạch và kéo dài thời gian bảo quản, việc sấy khô nấm là một phương pháp hiệu quả (Nguyễn & Nguyễn, 2016). Phơi khô bằng năng lượng mặt trời, đặc biệt, đã được chứng minh là cho ra sản phẩm nấm khô chất lượng cao (Giang & cs., 2020). Phương pháp này tiết kiệm chi phí, tiêu thụ ít năng lượng và thân thiện với môi trường, đặc biệt là ở các khu vực như tỉnh An Giang, Việt Nam, nơi có tổng thời gian chiếu sáng trong ngày kéo dài từ 12 đến 13 giờ và tổng số giờ nắng trung bình trong một tháng là 252,63 giờ (mùa khô, từ tháng 1 đến tháng 4/2022) và 165,21 giờ (mùa mưa, từ tháng 8 đến tháng 12/2022) (Cục Thống kê tỉnh An Giang, 2023). Điều này thích hợp cho việc sấy sản phẩm nông sản tận dụng nguồn năng lượng mặt trời, giúp giảm thiểu tổn thất sau thu hoạch và tăng tính khả dụng của sản phẩm.

Bao bì đã trở thành một trong những phương pháp quan trọng để kéo dài thời gian bảo quản sau thu hoạch của trái cây và rau củ (Nguyễn & Nguyễn, 2016). Trong công nghệ đóng gói, bầu không khí bên trong bao bì đóng vai trò then chốt trong công nghệ đóng gói khí quyển biến đổi (MAP) (Ares & cs., 2007). Một loại bao bì cụ thể, được đặc trưng bởi tính thấm khí độc đáo của nó, tạo ra một môi trường duy trì sự ổn định của thành phần không khí và giảm thiểu quá trình hô hấp của trái cây và rau củ, do đó kéo dài thời gian bảo quản của chúng (Suryawanshi, 2008). Các vật liệu bao bì nhựa thường được sử dụng trong MAP do có những ưu điểm như nhẹ, độ trong suốt tốt và khả năng thấm khí tuyệt vời. Trong số đó, bao bì PA nổi bật với các đặc điểm như khả năng chống thấm khí vượt trội, độ bền cơ học cao, tính ổn định nhiệt tốt, độ thấm khí (CO_2 , O_2) của màng được điều chỉnh phù hợp, khả năng kháng hoá chất hiệu quả và tính thẩm mỹ cao nhờ độ trong suốt và bề mặt bóng đẹp (Sandhya, 2010). Ngoài bao bì, nhiệt độ cũng là một nhân tố cực kì quan trọng trong quá trình tồn trữ để giữ nguyên các thành phần dinh dưỡng và kéo dài đáng kể thời gian bảo quản của nấm. Thông qua việc lược khảo các nghiên cứu trước đây, đa phần tập trung vào tìm hiểu các tác động riêng lẻ của các nhân tố trong bảo quản nông sản và hiện tại vẫn chưa có nghiên cứu nào tại Việt Nam áp dụng công nghệ sấy năng lượng mặt trời cho nấm bào ngư kết hợp tối ưu hóa bao bì và nhiệt độ bảo quản. Từ đó, mở ra hướng nghiên cứu mới cho các sản phẩm nông sản sau thu hoạch tại Việt Nam và đó cũng chính là mục tiêu trọng tâm của nghiên cứu này.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

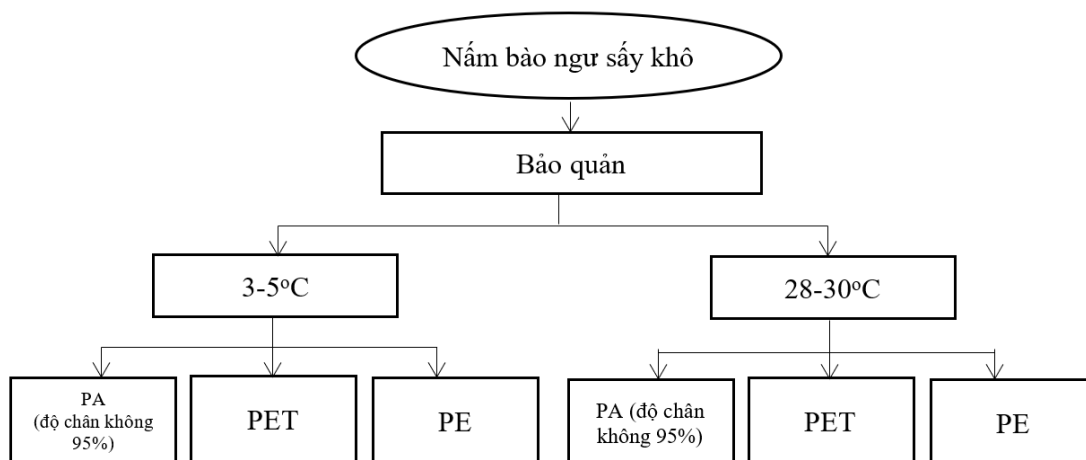
Nấm bào ngư (*Pleurotus sajor-caju*) được thu hoạch tại Khu thực nghiệm của Đại học An Giang, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, kích thước dài x rộng khoảng 11,00 x 8,3 cm, khối lượng $10,48 \pm 4,32$ g; không bị tổn thương hoặc có côn trùng (Nguyễn & cs., 2021). Nấm bào ngư được rửa bằng nước sạch và sấy khô bằng năng lượng mặt trời đến khi đạt được độ ẩm cân bằng ($11,82 \pm 0,05\%$ và hoạt độ nước $0,532 \pm 0,002$) (Giang & cs., 2022).

Bao bì Polyamide (PA) ($28,0 \times 21,0 \text{ cm}^2$, độ dày $118,67 \text{ }\mu\text{m}$, độ chân không 95%), Polyethylene (PE) ($28,0 \times 20,0 \text{ cm}^2$, độ dày $91,72 \text{ }\mu\text{m}$) và Polyethylene terephthalate (PET)

(20,0 x 10,5 cm², độ dày 280,33 μm) được mua từ Công ty Trách nhiệm hữu hạn Sản xuất Bao bì Phạm Gia, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam.

2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm Công nghệ thực phẩm, Khu thực nghiệm, trường Đại học An Giang, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (Việt Nam). Thí nghiệm với 2 nhân tố (bao bì và nhiệt độ tồn trữ) được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 lần lặp lại (Hình 1). Cụ thể là, 100 g nấm bào ngư sấy khô bằng nhà sấy năng lượng mặt trời ở độ ẩm 11,82±0,05% và hoạt độ nước 0,532±0,002 được đóng gói vào trong các bao bì PA (được hút chân không với độ chân không 95%), PET và PE ở dạng nguyên tại nấm. Các mẫu sau khi đóng gói được đưa vào bảo quản ở hai điều kiện nhiệt độ: Nhiệt độ lạnh (3-5°C) (L) và nhiệt độ phòng (28-30°C) (T) với độ ẩm không khí tương ứng là 60-62% và 76-78%. Trong trường hợp độ ẩm tương đối biến đổi cao hơn, độ ẩm tương đối được điều chỉnh tăng thông gió hoặc sử dụng vật liệu hút ẩm. Nếu độ ẩm tương đối biến đổi thấp hơn sẽ giảm thông gió cùng hoặc sử dụng máy tạo ẩm để điều chỉnh độ ẩm tương đối của không khí trong quá trình bảo quản. Sau mỗi tháng tiến hành lấy các mẫu trong các bao bì và nhiệt độ bảo quản khác nhau (3 bao gói/bao bì/nhiệt độ) và phân tích các chỉ tiêu.



Hình 1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Chỉ tiêu theo dõi: màu sắc nấm bào ngư sấy khô (thông qua các giá trị chênh lệch độ sáng ΔL^*), độ cứng thân nấm (g lực); hoạt độ nước a_w ; hàm lượng protein tổng số (g/100 g chất khô), đường tổng số (g/100 g chất khô) và lipid tổng số (g/100 g chất khô) sinh ra trong quá trình tồn trữ.

2.3. Phương pháp phân tích, theo dõi

Phương pháp phân tích các chỉ tiêu của nấm bào ngư được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu của nấm bào ngư

TT	Chỉ tiêu theo dõi	Phương pháp phân tích, theo dõi
1	Hàm lượng protein tổng số (g/100 g chất khô)	Phương pháp Lowry (Lê & cs., 2005)
2	Hàm lượng lipid tổng số (g/100 g chất khô)	Phương pháp gián tiếp (Nielsen, 2010)
3	Hàm lượng đường tổng số (g/100 g chất khô)	Phương pháp so màu DNS (3,5-dinitrosalicylic) (Lê & cs., 2005)

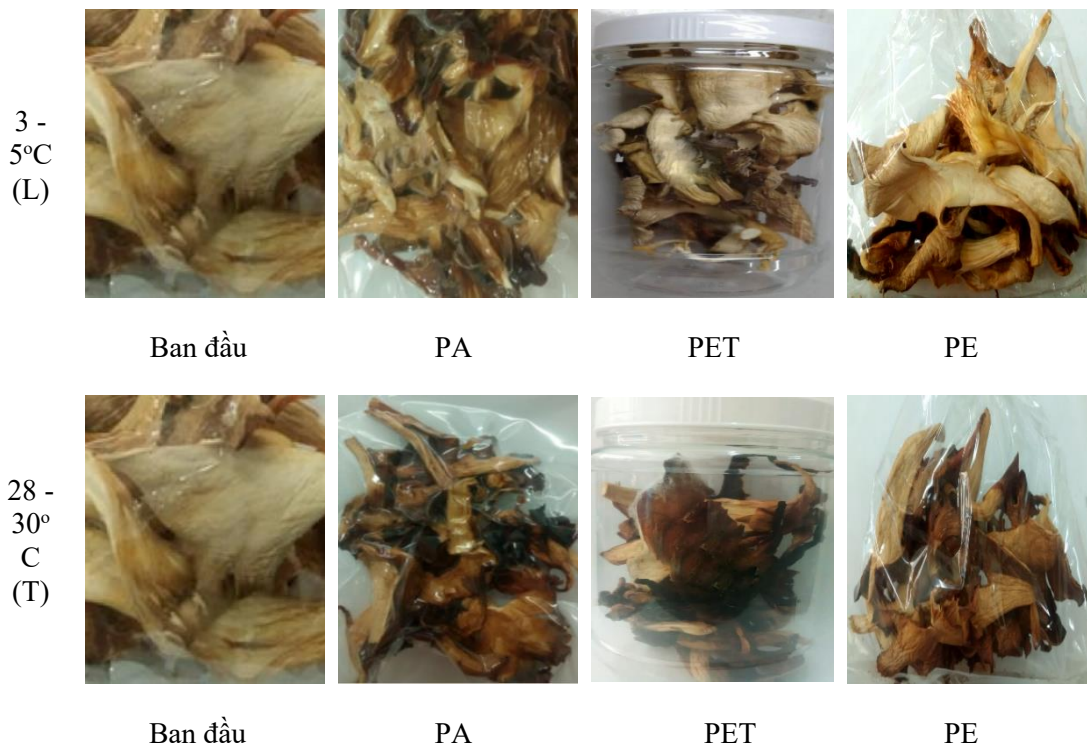
TT	Chỉ tiêu theo dõi	Phương pháp phân tích, theo dõi
4	Đo màu thân nấm L*	Sự thay đổi màu sắc qua thời gian bảo quản thể hiện rõ trên thân nấm vì thân nấm có màu trắng. Theo thời gian bảo quản, thân nấm sẽ chuyển sang tối dần. Xác định sự thay đổi màu sắc thân nấm bằng máy đo màu cầm tay CR-400 (Nhật Bản) và được tính theo công thức: $\Delta L^* = L^* - L_{ref}$ với ΔL^* (+): sáng hơn; ΔL^* (-): tối hơn
5	Độ cứng thân nấm (g lực)	Xác định bằng máy đo cấu trúc (CT3, Brookfield, USA) với dao cắt TA-SBA (Thang Trigger load: 500 g; tốc độ trượt: 10 mm/giây)
6	Hoạt độ nước (a_w)	Xác định bằng máy đo độ hoạt động nước tự do Aqualab (4TEV, USA)

2.4. Phân tích số liệu

Các dữ liệu thu nhận được tính toán và biểu thị bằng đồ thị sử dụng chương trình Microsoft Excel. Phân tích thống kê ở mức ý nghĩa 5% bằng phần mềm Statgraphic Centurion 16.1.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Nấm bào ngư sấy khô khi kết thúc quá trình tồn trữ được thể hiện ở Hình 2.

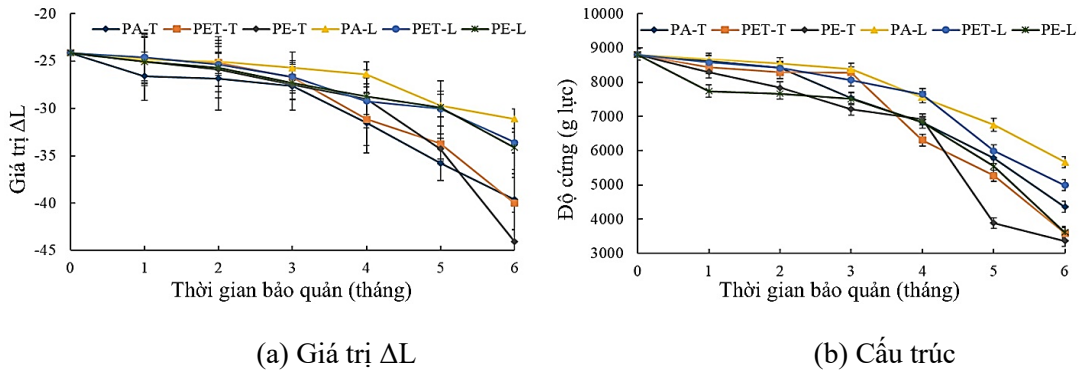


Hình 2. Nấm bào ngư sấy khô sau 6 tháng tồn trữ ở các bao bì và nhiệt độ khác nhau

3.1. Ảnh hưởng của bao bì và nhiệt độ đến màu sắc của nấm bào ngư sấy khô theo thời gian bảo quản

Ảnh hưởng của bao bì và nhiệt độ đến sự thay đổi màu sắc (thông qua giá trị chênh lệch

độ sáng ΔL^*) và độ cứng của nấm bào ngư sấy khô được thể hiện ở Hình 3.



Hình 3. Ảnh hưởng của bao bì và nhiệt độ đến màu sắc của nấm bào ngư sấy khô (thông qua giá trị ΔL^*) và cấu trúc theo thời gian bảo quản ở 28-30°C (T) và 3-5°C (L)

Ảnh hưởng của bao bì và điều kiện tồn trữ đến màu sắc của nấm bào ngư sấy khô sau 6 tháng được thể hiện ở Hình 3a. Kết quả cho thấy giá trị ΔL đều giảm ở tất cả các mẫu bao gói và tồn trữ ở các nhiệt độ khác nhau theo thời gian. Bao bì và nhiệt độ tồn trữ cũng ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến màu sắc của nấm bào ngư sấy khô ($p < 0,05$).

Sự thay đổi màu sắc của nấm bào ngư được quan sát thấy ở các nghiệm thức với tốc độ khác nhau. Cụ thể, giá trị ΔL của thân nấm giảm, có nghĩa là nấm bị tối màu theo thời gian tồn trữ. Ở nhiệt độ tồn trữ 3-5°C, giá trị ΔL cao hơn so với nấm bào ngư được bảo quản ở điều kiện nhiệt độ 28-30°C. ΔL của thân nấm từ -24,14 giảm xuống -31,10 và -39,64 trong bao bì PA (hút chân không); 33,61 và -40,03 trong bao bì PET; -34,16 và -44,07 trong bao bì PE khi bảo quản lần lượt ở nhiệt độ 3-5°C và 28-30°C. Từ đó, mẫu nấm bào ngư sấy khô bao gói trong bao bì PA tồn trữ ở nhiệt độ lạnh ít bị sạm màu so với các mẫu bảo quản khác.

Màu sắc của nấm là nhân tố quan trọng và là nhân tố chất lượng đầu tiên để người tiêu dùng đánh giá và chấp nhận (González-Fandos & cs., 2000; Ambatkar, 2012). Sự phát triển màu nâu là dấu hiệu đầu tiên của sự hư hỏng và là yếu tố góp phần giảm chất lượng. Sự giảm độ sáng trong quá trình bảo quản có thể là do một loạt các thay đổi lý hóa như tốc độ hô hấp và nhiệt độ sự tấn công của vi khuẩn vào quả thể hay do quá trình oxy hóa và phân hủy enzyme (Rahman & cs., 2021). Ngoài ra, trong quá trình bảo quản, phản ứng hóa nâu Maillard được kích hoạt ngay cả khi tồn trữ ở 0°C và khi tăng nhiệt độ bảo quản lên mỗi 10°C, tốc độ phản ứng tăng 2-3 lần (Verma & cs., 2019). Nấm bào ngư có chứa đường và acid amin và do đó, hóa nâu là không thể tránh khỏi khi nấm bào ngư được tồn trữ ở nhiệt độ >5°C (Rai & Arumuganathan, 2003). Bên cạnh đó, trong cùng điều kiện nhiệt độ và thời gian tồn trữ, sự giảm màu sắc trong các mẫu nấm trong quá trình tồn trữ trong các mẫu bao gói do khả năng truyền ánh sáng của các loại bao bì. Sự thay đổi màu trong quá trình tồn trữ còn do tác động của ánh sáng khí quyển lên sản phẩm và nồng độ oxy bên trong bao gói. Tốc độ thoát hơi nước ở nhiệt độ 28-30°C cao hơn ở 3-5°C (Ben-Yehoshua & Rodov, 2003), do đó, nấm bị sạm màu nhiều hơn so với các mẫu bảo quản ở 3-5°C. Ngoài ra, trong quá trình bảo quản nhiệt độ thấp có thể trì hoãn những thay đổi có hại trong màu sắc của nấm vì nhiệt thấp ức chế hoạt động của enzyme hóa nâu (Mahwash & cs., 2013). Giảm nhiệt độ của nấm làm giảm hô hấp, thoát hơi nước, trì hoãn lão hóa và giảm sự hóa nâu (Kader, 2002). Kết quả này tương tự như trong nghiên cứu của Rahman & cs. (2021).

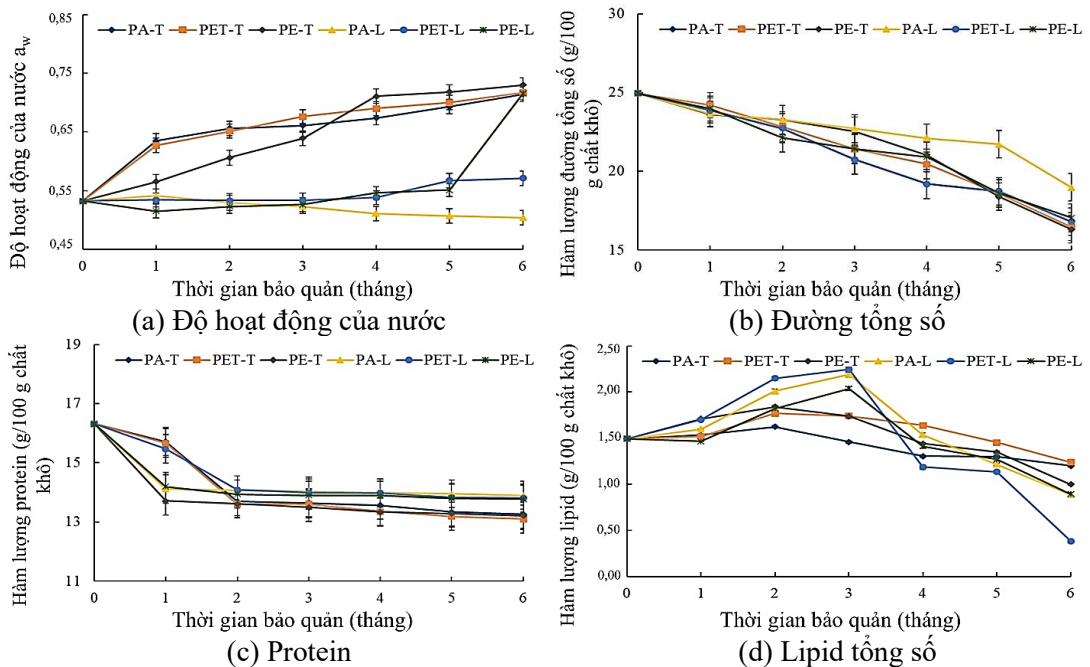
Kết quả ở Hình 3b cũng cho thấy có sự khác biệt có ý nghĩa về độ cứng của nấm bào ngư giữa các bao bì và nhiệt độ tồn trữ ($p < 0,05$). Nhìn chung, độ cứng của nấm bào ngư sấy

khô giảm khi kết thúc quá trình tồn trữ. Độ cứng ban đầu của nấm bào ngư sấy khô là 8806,4 g lực và mẫu bao gói và hút chân không trong bao bì PA vẫn giữ được độ cứng của thân nấm cao nhất sau 6 tháng bảo quản ở cả hai điều kiện tồn trữ 3-5°C và 28-30°C (lần lượt là 5668,13 và 5359,63 g lực). Mẫu nấm được bao gói trong bao bì PET chỉ duy trì độ cứng khi tồn trữ ở 3-5°C (4995,88 g lực); khi ở 28-30°C, chỉ duy trì độ cứng khoảng 3 tháng. Mẫu nấm bào ngư bao gói trong bao bì PE duy trì được độ cứng sau 4 tháng tồn trữ, tuy nhiên từ 4,5 tháng trở đi, độ cứng của thân nấm giảm nhanh ở cả hai điều kiện nhiệt độ tồn trữ (lần lượt là 3620,88 và 3363,25 g lực).

Độ cứng của sản phẩm là thông số chất lượng quan trọng liên quan đến việc chấp nhận của người tiêu dùng và được xác định bởi tính toàn vẹn của thành tế bào (Oliveira & cs., 2012). Sự thay đổi của cấu trúc nấm có thể là do độ xốp của nấm trong thời gian tồn trữ, là trạng thái tự nhiên khi tiếp xúc với môi trường bên ngoài (Ambatkar, 2012). Bên cạnh đó, lão hóa sau thu hoạch đi kèm với sự thay đổi của thành tế bào dẫn đến sự mất chức năng trương phòng của hàng rào bảo vệ và yếu đi, cuối cùng dẫn đến sự mất độ cứng của nấm (Mohapatra & cs., 2010). Sự mất độ cứng chắc của nấm bào ngư khi tồn trữ còn liên quan đến sự giảm của protein và polysaccharide của thành tế bào (Zivanovic & cs., 2000). Ngoài ra, sự mềm của nấm bào ngư có thể do sự tấn công của vi sinh vật và cũng cho thấy thời gian sử dụng của nấm (Ambatkar, 2012; Sílvia & cs., 2014; Giang & cs., 2022). Hơn nữa, độ cứng của nấm chịu ảnh hưởng toàn diện bởi tốc độ làm mát, điều kiện bao gói hay sự tương tác của chúng (Salamat & cs., 2020). Điều này cũng đã được chứng minh trong nghiên cứu của Ambatkar (2012) và Rahman & cs., (2021).

3.2. Ảnh hưởng của bao bì và nhiệt độ đến các chỉ tiêu hóa học của nấm bào ngư sấy khô theo thời gian tồn trữ

Ảnh hưởng của bao bì và nhiệt độ bảo quản đến độ hoạt động của nước và các thành phần hóa học của nấm bào ngư sấy khô được biểu diễn ở Hình 4.



Hình 4. Ảnh hưởng của bao bì và nhiệt độ đến độ hoạt động của nước (a), đường tổng số (b), protein (c) và lipid tổng số (d) của nấm bào ngư sấy khô theo thời gian bảo quản ở 28-30°C (T) và 3-5°C (L)

Kết quả cho thấy a_w của mẫu nấm bào ngư sấy khô bao gói và được hút chân không trong bao bì PA có xu hướng giảm trong suốt 6 tháng tồn trữ ở nhiệt độ lạnh (3-5°C) (Hình 4a). Hoạt độ nước ban đầu của nấm bào ngư sấy khô là 0,532, sau 6 tháng tồn trữ ở 3-5°C trong bao bì PA, a_w là 0,504. Độ hoạt động của nước a_w của các mẫu bao gói còn lại đều tăng khi tăng thời gian bảo quản ở cả hai điều kiện nhiệt độ tồn trữ. Cụ thể, sau 6 tháng tồn trữ, a_w của mẫu nấm bào ngư sấy khô trong bao bì PET lần lượt là 0,571 và 0,717; trong bao bì PE lần lượt là 0,715 và 0,730 khi bảo quản ở 3-5°C và 28-30°C. Kết quả cũng cho thấy bao gói nấm trong bao bì PE và PET thì a_w biến đổi chậm trong điều kiện tồn trữ nhiệt độ lạnh đến khoảng 4,5 tháng (lần lượt là 0,538 và 0,546); tuy nhiên, tiếp tục tăng thời gian tồn trữ, a_w của mẫu trong bao bì PE tăng đột biến. Điều này được giải thích là do sự chênh lệch giữa hàm ẩm tương đối ở môi trường bên ngoài (điều kiện tồn trữ) và giá trị a_w của sản phẩm (Trần & cs., 2009) và cũng do đặc tính chống thấm khí của các loại bao bì (Đông, 2008). Bao bì PA có độ chống thấm khí tốt hơn hai loại PE và PET nên sự thay đổi diễn ra chậm hơn.

Ngoài ra, sau 6 tháng bảo quản, a_w của các mẫu được bảo quản ở nhiệt độ 3-5°C vẫn thấp hơn 0,7 và $a_w > 0,7$ ở các mẫu được tồn trữ ở điều kiện nhiệt độ 28-30°C (Hình 4a). Độ hoạt động của nước a_w được xem là thông số tới hạn cho việc điều khiển kỹ thuật bảo quản thực phẩm. Mỗi loại vi sinh vật có khoảng tới hạn a_w cho sự phát triển khác nhau và phần lớn các loại nấm mốc dừng phát triển khi giá trị $a_w < 0,7$ (Fellows, 2017). Điều này chứng tỏ điều kiện tồn trữ ảnh hưởng đến khả năng bảo quản sản phẩm và bao bì PA có tính ổn định hơn các loại bao bì còn lại. Kết quả tương tự được chứng minh trong nghiên cứu của một số tác giả (Trần & cs., 2009; Đặng & cs., 2021).

Kết quả còn cho thấy bao bì và nhiệt độ bảo quản ảnh hưởng khác biệt đến thành phần hóa học của nấm bào ngư sấy khô. Hàm lượng protein, đường tổng số đều giảm khi tăng thời gian tồn trữ. Nhìn chung, các mẫu được tồn trữ ở nhiệt độ 28-30°C tổn thất nhiều hơn so với các mẫu được tồn trữ ở 3-5°C. Cụ thể, hàm lượng đường tổng số của các mẫu được bảo quản ở nhiệt độ phòng tổn thất nhiều hơn so với các mẫu được tồn trữ ở nhiệt độ 3-5°C (33,92÷45,49% và 23,93÷36,44%, lần lượt) (Hình 4b). Các mẫu được tồn trữ trong bao bì PA và PET tổn thất đường tổng số tương tự nhau và ít hơn bao bì PE (23,93÷37,86; 24,91÷36,56 và 31,67÷45,41, lần lượt) (khác biệt thống kê ở mức ý nghĩa 5%). Hàm lượng đường tổng số ban đầu là 24,94 (g/100 g chất khô); giảm đều và khác biệt có ý nghĩa thống kê khi tăng thời gian tồn trữ. Sau 3 tháng bảo quản, hàm lượng đường tổng số có xu hướng giảm chậm lại. Thành phần carbohydrate của nấm bào ngư bao gồm nhiều loại đường khác nhau như monosaccharide và dẫn xuất của chúng, oligosaccharide (thường gọi là đường), polysaccharide xây dựng (glycan). Trong quá trình bảo quản, mannitol và α -trehalose là thành phần chính của oligosaccharide giảm và do đó, hàm lượng đường trong nấm cũng giảm (Kalac, 2012). Ngoài ra, khi so sánh sự thay đổi hàm lượng đường tổng số và độ cứng của nấm bào ngư trong quá trình bảo quản, độ cứng bị ảnh hưởng bởi hàm lượng đường tổng số (Zivanovic & cs., 2000). Enzyme thủy phân polysaccharide của nấm bào ngư trong quá trình bảo quản dẫn đến giảm hàm lượng đường tổng số (Ambatkar, 2012).

Kết quả tương tự đối với sự thay đổi hàm lượng protein tổng số trong quá trình bảo quản nấm bào ngư sấy khô. Hàm lượng protein tổng số có xu hướng giảm nhiều sau 1 tháng tồn trữ nhưng lại giảm chậm ở các tháng tiếp theo (Hình 4c). Cụ thể, hàm lượng protein của các mẫu được đóng gói trong bao bì PA và PET giảm tương tự nhau và nhiều nhất ở bao bì PE (lần lượt là 12,78-19,63%; 12,81-19,09% và 15,59-27,98%). Ở nhiệt độ 3-5°C, hàm lượng protein giảm chậm sau 6 tháng đối với các mẫu được đóng gói trong bao bì PA và PET, ngược lại, hàm lượng protein của mẫu nấm được bao gói trong bao bì PE giảm nhanh sau 1 tháng và giảm chậm trong những tháng tiếp theo. Protein trong nấm *Pleurotus sajor-caju* chứa acid amin rất dễ bị oxy hóa như cysteine, lysine, histidine, methionine và tryptophane (Kayode & cs.,

2015). Phản ứng oxi hóa có thể dẫn đến sự thoái hóa và mất chức năng của protein (Xiong & Guo, 2021). Bên cạnh đó, quá trình oxi hóa protein vẫn diễn ra trong quá trình bảo quản lạnh (Hambly & Gross, 2009). Hơn nữa, mẫu được bảo quản trong bao bì PA (có hút chân không) sẽ giúp hạn chế sự tiếp xúc với oxi trong không khí nên hạn chế quá trình oxi hóa (Trần & cs., 2009). Thêm vào đó, sự giảm hàm lượng protein tổng số còn liên quan đến hóa nâu không enzyme (phản ứng Maillard) giữa acid amin với đường khử làm cho nấm bị sậm theo thời gian bảo quản (Hình 1). Nghiên cứu của Rahman & cs. (2021) cũng cho thấy hàm lượng protein giảm dần theo thời gian bảo quản, đặc biệt là bao bì và nhiệt độ bảo quản tác động đáng kể đến hàm lượng protein của nấm bào ngư.

Kết quả thể hiện ở Hình 4d lại cho thấy hàm lượng lipid tổng số của mẫu nấm khô tăng theo thời gian bảo quản đến tháng thứ 3 nhưng giảm nhanh ở những tháng bảo quản tiếp theo. Cụ thể, hàm lượng lipid tổng số của mẫu nấm bào ngư sấy khô bao gói trong bao bì PA có tồn thất ít nhất so với PET và PE (17,12÷40,67%; 19,73÷42,21% và 33,11÷47,69%, lần lượt) và tồn trữ ở 28-30°C tồn thất lipid tổng số cao hơn tồn trữ ở 3-5°C (lần lượt là 40,20÷52,91 và 17,12÷48,63%). Trong quá trình tồn trữ nấm bào ngư, các protein bị thủy phân thành các acid amin tự do và các acid amin này tiếp tục bị oxi hóa và chuyển thành acetyl coenzyme được tiếp tục để tổng hợp các acid béo và sau đó là chất béo (Rai & Arumuganathan, 2008). Nghiên cứu của Ambatkar (2012) cũng phát hiện có sự gia tăng hàm lượng chất béo trong các mẫu được bao gói với các loại bao bì và bảo quản ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau. Nhiệt độ thấp hơn làm giảm cường độ của quá trình oxy hóa nhưng chúng không dừng lại vì các gốc tự do hình thành trong quá trình oxi hóa ổn định ở nhiệt độ thấp (Liu & cs., 2019). Nhiệt độ lạnh kết hợp với bao gói trong bao bì PA đã có hiệu quả tích cực trong việc hạn chế quá trình oxi hóa lipid trong bảo quản nấm khô.

Bên cạnh đó, do sự thay đổi các chỉ tiêu hóa học trong quá trình bảo quản của nấm bào ngư khô không theo quy luật tuyến tính. Do đó, phương trình hồi quy được sử dụng để thể hiện rõ sự thay đổi của các chỉ tiêu này. Tuy nhiên, các phương trình hồi quy này muốn sử dụng được phải có hệ số tương quan $R^2 \geq 0,8$ và đáng tin cậy (Nguyễn, 2012). Trong nghiên cứu này, các phương trình hồi quy được xây dựng từ các dữ liệu cơ sở nhằm dự đoán sự thay đổi độ hoạt động của nước a_w và thành phần hóa học của nấm bào ngư sấy khô theo thời gian bảo quản ở các điều kiện bao gói và nhiệt độ tồn trữ khác nhau được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Các phương trình hồi quy phi tuyến tính để dự đoán sự thay đổi độ hoạt động của nước và thành phần hóa học trong các mẫu nấm bào ngư sấy khô được bao gói và điều kiện tồn trữ khác nhau sau 6 tháng bảo quản

Chỉ tiêu	Bao bì	Nhiệt độ tồn trữ			
		3-5°C (L)		28-30°C (T)	
		Phương trình	R ²	Phương trình	R ²
a_w	PA	$y = -0,001x^2 + 0,004x + 0,537$	0,890	$y = -0,005x^2 + 0,053x + 0,555$	0,888
	PET	$y = 0,002x^2 - 0,005x + 0,534$	0,902	$y = -0,006x^2 + 0,061x + 0,548$	0,952
	PE	$y = 0,011x^2 - 0,043x + 0,544$	0,843	$y = -0,002x^2 + 0,050x + 0,524$	0,972
Đường tổng số	PA	$y = -0,122x^2 - 0,137x + 24,416$	0,897	$y = -0,007x^2 - 1,339x + 25,079$	0,989
	PET	$y = -0,132x^2 - 0,163x + 24,805$	0,988	$y = -0,128x^2 - 0,686x + 24,901$	0,974
	PE	$y = -0,229x^2 - 0,067x + 24,544$	0,979	$y = -0,076x^2 - 0,819x + 24,769$	0,982
Protein	PA	$y = 0,121x^2 - 1,077x + 15,642$	0,860	$y = 0,114x^2 - 0,948x + 15,748$	0,847
	PET	$y = 0,117x^2 - 1,085x + 16,256$	0,965	$y = 0,018x^2 - 0,657x + 15,408$	0,834
	PE	$y = 0,121x^2 - 1,020x + 15,791$	0,803	$y = 0,138x^2 - 1,183x + 15,672$	0,894
Lipid tổng số	PA	$y = -0,046x^2 + 0,232x + 1,449$	0,950	$y = -0,087x^2 + 0,400x + 1,466$	0,852
	PET	$y = -0,010x^2 + 0,002x + 1,533$	0,807	$y = -0,019x^2 - 0,001x + 1,582$	0,909
	PE	$y = -0,026x^2 + 0,046x + 1,544$	0,944	$y = -0,092x^2 + 0,402x + 1,378$	0,887

Ghi chú: y: hàm mục tiêu; x: thời gian bảo quản (tháng)

Ngoài ra, mô hình hồi quy còn được sử dụng để ước tính thời hạn bảo quản còn lại cho các mẫu khảo sát. Trong đó, mô hình hồi quy có hệ số ảnh hưởng của giá trị bậc 2 (X^2) mang giá trị dương, nghĩa là khi giá trị biến đó tăng sẽ làm giảm giá trị của hàm mục tiêu đến một giá trị, sau đó nếu tiếp tục tăng giá trị của biến đó, giá trị hàm mục tiêu sẽ tăng trở lại; ngược lại, nếu hệ số ảnh hưởng của giá trị bậc 2 mang giá trị âm thì khi giá trị biến đó tăng sẽ làm giá trị hàm mục tiêu tăng đến một giá trị và sau đó giảm khi tiếp tục tăng giá trị của biến. Cụ thể, hàm lượng protein và phenolic của nấm bào ngư sấy khô giảm trong suốt quá trình tồn trữ khi hệ số ảnh hưởng của giá trị bậc 2 của các phương trình dự đoán sự thay đổi của protein theo thời gian bảo quản là dương. Trong khi hệ số ảnh hưởng của giá trị bậc 2 trong các phương trình dự đoán sự thay đổi độ hoạt động của nước, đường tổng số, lipid tổng số là âm nên có khuynh hướng tăng theo thời gian tồn trữ đến 1 giá trị sau đó giảm dần khi tiếp tục tăng thời gian tồn trữ. Việc tiến hành phân tích hàm lượng dinh dưỡng và thay thế vào phương trình hồi quy giúp xác định ngày bảo quản; so sánh ngày bảo quản với hạn sử dụng suy ra hạn bảo quản còn lại.

4. Kết luận

Bao bì và nhiệt độ bảo quản có ý nghĩa quan trọng trong việc kéo dài thời hạn bảo quản của nấm bào ngư khi được sấy ở nhà sấy năng lượng mặt trời đến độ ẩm cân bằng ở $11,82 \pm 0,05\%$ và độ hoạt động của nước a_w là $0,532 \pm 0,002$. Ở điều kiện tồn trữ trong bao bì PA (có hút chân không) và bảo quản ở điều kiện nhiệt độ $3-5^\circ\text{C}$ duy trì được hàm lượng các chất dinh dưỡng sau 6 tháng bảo quản.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ đề tài mã số C2024-16-11.

Tài liệu tham khảo

- Ambatkar, A. R. (2012). Packaging and storage of oyster mushroom (*Pleurotus* spp.). *Technology of processing and food engineering [thesis]*. Bangalore: Agricultural Sciences University.
- Ares, L., Lareo, C., & Lema, P. (2007). Modified atmosphere packaging for post-harvest storage of mushrooms. A Review. *Fresh Produce*, 1(1), 32-40.
- Ben-Yehoshua, S., & Rodov, V. (2003). Transpiration and water stress. In Jerry, A. B., and Jeffrey, K. B. (Eds), *Postharvest Physiology & Pathology of Vegetables*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Cục Thống kê tỉnh An Giang, 2023. *Niên giám thống kê*. An Giang.
- Dunkwal, V. J. S., & Singh, S. (2007). Physico-chemical properties and sensory evaluation of *Pleurotus sajor-caju* powder as influenced by pre-treatments and drying methods. *British Food Journal*, 109(9), 749-759. <https://doi.org/10.1108/00070700710780715>
- Đông, T. A. Đ. (2008). *Kỹ thuật bao bì thực phẩm* (Tái bản lần 2). TPHCM: Nhà xuất bản Đại học Quốc gia.
- Đặng, T. T. H., Nguyễn, T. M. L., & Nguyễn, T. H. P. (2021). Ảnh hưởng của sorbitol, ethanol, và vitamin c đến chất lượng cảm quan, hàm lượng ẩm, chỉ số peroxide và vi sinh vật của sản phẩm cá rô phi phi lê một nắng. *Tap chí Khoa học – Công nghệ Thủy sản, Trường Đại học Nha Trang*, 3, 2-12. <https://doi.org/10.53818/jfst.03.2021.114>
- Fellows, P. (2017). *Food processing technology: Principles and Practicle (4th ed.)*. India: CRC Press, Woodhead Publishing.
- Giang, N. T. N., & Thuy, N. M. (2020). Effects of drying method on the characteristics of *Pleurotus sajor-caju* mushroom. *Malaysian Applied Biology*, 49(3), 31-36. <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v49i3.1538>

- Giang, N.T.N., Khai, T.V., & Thuy, N. M. (2022). Effect of thickness of polyethylene packaging and temperature on quality of solar-dried oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*). *Plant Science Today*, 9(3), 722–727. <https://doi.org/10.14719/pst.1694>
- González – Fandos, E., Gimenez, M., Olarte, C., Sanz, S., & Simon, A. (2000). Effect of packaging condition on the growth of microorganisms and the quality characteristics of fresh mushrooms (*A. bisporus*) stored at inadequate temperature. *Journal of Applied Microbiology*, 89(4), 624–632. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.01159.x>
- Hambly, D. M., & Gross, M. L. (2009). Cold chemical oxidation of protein. *Journal of Analytical Chemistry*, 81(17), 7235–42. <https://doi.org/10.1021/ac900855f>
- Jayachandran, M., Xiao, J., & Xu, B. (2017). A critical review on health promoting benefits of edible mushrooms through gut microbiota. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(9), 1934. <https://doi.org/10.3390/ijms18091934>
- John, W., & Sons, I. (2001). Colorimetric quantification of carbohydrates. *Current protocols in Food analytical chemistry*, 00(1), E1.1.1–E1.1.8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.fae0101s00>
- Kader, A. A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops*. California: University of California Agriculture and natural resources.
- Kalac, P. (2012). Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms. In Andres, S., & Baumann (Editors), *Mushrooms: types, properties and nutrition* (130–151). New York: Nova Science Publishers.
- Kayode, R. M. O., Olakulehin, T. F., Adedeji, B. S., Aliyu, T. H., & Badmos, A. H. A. (2015). Evaluation of amino acid and fatty acid profiles of commercially cultivated oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) grown on gmelina wood waste. *Nigerian Food Journal*, 33(1), 18–21. <https://doi.org/10.1016/j.nifoj.2015.04.001>
- Lê, T. M., Nguyễn, T. H., Phạm, T. T., Nguyễn, T. H., Lê, T. L. C. (2005). *Các phương pháp phân tích ngành công nghệ lên men*. Hà Nội: Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
- Liu, K., Liu, Y., & Chen, F. (2019). Effect of storage temperature on lipid oxidation & changes in nutrient contents in peanuts. *Food Science and Nutrition*, 7(7), 2280–2290. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1069>
- Mahwash, J., Alok, J., Durga, S. B., & Ram, C. R. (2013). Quality retention of oyster mushrooms (*Pleurotus florida*) by a combination of chemical treatments and modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 112–118. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.10.002>
- Mohapatra, D., Mishra, S., & Sutar, N. (2010). Banana Post Harvest Practices: Current Status and Future Prospects-A Review. *Agricultural Reviews*, 31(1), 56–62.
- Nielsen, S. S. (2010). *Food analysis laboratory manual*. USA: Purdue University, West Lafayette, IN.
- Nguyễn, M. T., & Nguyễn, T. M. T. (2016). *Kỹ thuật sau thu hoạch (bảo quản và chế biến) một số nông sản ở đồng bằng sông Cửu Long*. Cần Thơ: Nhà xuất bản Đại học Cần Thơ.
- Nguyễn, T. N. G., Trần, V. K., & Nguyễn, M. T. (2021). Thay đổi năng suất và chất lượng của nấm bào ngư (*Pleurotus sajor-caju*) theo mùa vụ, thời điểm thu hoạch và trong quá trình thuần thực. *Tap chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, 422(1), 39–47.
- Nguyễn, V. T. (2012). *Phân tích tương quan*. Australia: Đại học New South Wales.
- Oliveira, F., Sousa-Gallagher, M. J., Mahajan, P. V., & Teixeira, J. A. (2012). Evaluation of MAP engineering design parameters on quality of fresh-sliced mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 108, 507–14. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.025>
- Rahman, M. D. S., Hassan, M. D. K., Talukder, F. U., Rahman, M. D. S., Akther, M. S. T. M. (2021). Combined effect of low temperature and thickness of polypropylene package on shelf life and quality of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 4(2), 127–40. <http://doi.org/10.22077/>

- JHPR.2020.3376.1144Rai, R. D., & Arumuganathan, T. (2008). *Postharvest technology of mushrooms*. India: National Research Centre for Mushroom (ICAR).
- Salamat, R., Ghassemzadeh, H. R., Ranjbar, F., Jalali, A., Mahajan, P., Herppich, W. B., & Mellmann, J. (2020). The effect of additional packaging barrier, air moment and cooling rate on quality parameters of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Packaging and Shelf Life*, 23, 100448. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100448>
- Sandhya, S. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs. *Food Science Technology*, 43(3), 381-392. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.018>
- Sílvia, A., Cunha, L. M., & Fonseca, S. C. (2014). Modelling the influence of time and temperature on the respiration rate of fresh oyster mushrooms. *Food of Science and Technology International*, 21(8), 1-11. <https://doi.org/10.1177/1082013214555925>
- Suryawanshi, M. V. (2008). *Minimal processing and packaging studies in potato*. University of Agricultural Sciences Dharwad, India.
- Trần, T. T., Đỗ, T. Đ. K., & Nguyễn, V. M. (2009). Ảnh hưởng của việc bổ sung sorbitol và ethanol đến sự thay đổi độ hoạt động của nước và chất lượng khô cá sặc rằn. *Tap chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, (11), 317-26.
- Xiong, Y.L. & Guo, A. (2021). Animal and plant protein oxidation: Chemical & functional property significance. *Foods*, 10(1), 40-61. <https://doi.org/10.3390/foods10010040>
- Verma, V., Singh, Z., & Yadav, N. (2019). Maillard reaction and effect of various factor on the formation of Maillard products: and its impact on processed food products. In Sharma, P. (Editor), *Research trends in food Technology and Nutrition* (63-90). New Delhi: AkiNik Publisher.
- Zivanovic, S., Busher, R. W. & Kim, K. S. (2000). Textural changes in mushrooms (*Agaricus bisporus*) associated with tissue ultrastructure & composition. *Journal of Food Science*, 65(8), 1404-1408. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10621.x>