

EVALUATION OF THE APPLICABILITY OF GAMMA IRRADIATION IN PRESERVING 3D-PRINTED LETTUCE INK

Le Thi Thu Thuy¹, Tran Thi Ngoc Mai¹, Vu Ngoc Bich Dao¹, Pham Ho Thuat Khoa¹,
Nguyen Thi Huynh Nga², Nguyen Minh Hiep^{1*}

¹Center of Radiation Technology and Biotechnology - Dalat Nuclear Research Institute

²Dalat University

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	11/10/2024	The study aimed to evaluate the potential of gamma irradiation to extend the shelf life of 3D-printed vegetable ink, specifically lettuce ink. In this research, 3D-printed lettuce ink combined with hydrocolloid was irradiated and assessed for chemical, biological, printing, and mechanical properties. The results showed that irradiation at a dose of 7 kGy significantly reduced the total number of aerobic microorganisms in the sample and extended the shelf life of the ink to 14 days without affecting the soluble solids content, water content, printing ability, or mechanical stability of the 3D-printed ink. Additionally, the results demonstrated that irradiation did not significantly affect the chlorophyll, β -carotene content, or color of the 3D-printed lettuce ink compared to the control sample (non-irradiated). This indicates that irradiation has great potential for preserving 3D-printed vegetable ink, particularly lettuce ink, and advancing the field of 3D food printing.
Revised:	13/11/2024	
Published:	13/11/2024	
KEYWORDS		
3D Printing Ink		
Hydrocolloid		
Irradiation		
Lettuce		
Preservation		

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CỦA CHIẾU XẠ GAMMA TRONG BẢO QUẢN MỰC IN 3D RAU XÀ LÁCH

Lê Thị Thu Thủy¹, Trần Thị Ngọc Mai¹, Vũ Ngọc Bích Đào¹, Phạm Hồ Thuật Khoa¹,
Nguyễn Thị Huỳnh Nga², Nguyễn Minh Hiệp^{1*}

¹Trung tâm Công nghệ bức xạ và Công nghệ sinh học - Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt

²Trường Đại học Đà Lạt

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 11/10/2024	Nghiên cứu được thực hiện nhằm mục tiêu đánh giá khả năng ứng dụng phương pháp chiếu xạ gamma trong việc kéo dài thời gian bảo quản đối với mực in 3D rau củ quả nói chung và rau xà lách nói riêng. Trong nghiên cứu này, mẫu mực in 3D từ rau xà lách kết hợp với hydrocolloid được chiếu xạ và được đánh giá về các chỉ tiêu hóa, sinh, khả năng in và độ bền cơ học của mực thực phẩm. Kết quả nghiên cứu cho thấy chiếu xạ ở liều 7 kGy làm giảm đáng kể tổng số vi sinh vật hiếu khí có trong mẫu và kéo dài thời gian sử dụng của mẫu mực in đến 14 ngày nhưng không làm ảnh hưởng đến hàm lượng chất rắn hòa tan, hàm lượng nước có trong mẫu, cũng như không làm ảnh hưởng đến khả năng in và độ ổn định về mặt cơ học của mẫu mực in 3D. Bên cạnh đó, kết quả cũng đã chứng minh việc chiếu xạ không gây ảnh hưởng nhiều đến hàm lượng chlorophyll, β -carotene và màu sắc của mẫu mực in 3D rau xà lách so với mẫu đối chứng (mẫu không được chiếu xạ). Từ đó cho thấy, phương pháp chiếu xạ có tiềm năng ứng dụng trong việc bảo quản mực in 3D rau củ quả nói chung và rau xà lách nói riêng, giúp phát triển lĩnh vực in 3D thực phẩm.
Ngày hoàn thiện: 13/11/2024	
Ngày đăng: 13/11/2024	
TỪ KHÓA	
Mực in 3D	
Hydrocolloid	
Chiếu xạ	
Rau xà lách	
Bảo quản	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11284>

* Corresponding author. Email: jackminhhiep@yahoo.com

1. Giới thiệu

Công nghệ in 3D ra đời vào những năm 1980 và được áp dụng trong sản xuất thực phẩm từ năm 2007, mở ra khả năng tạo các hình dạng phức tạp hơn so với phương pháp truyền thống [1], [2]. Từ đó, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện, tập trung vào việc kết hợp in 3D với kiểm soát dinh dưỡng và cá nhân hóa sản phẩm [3]. Các nhà khoa học đã nghiên cứu việc sử dụng hydrocolloid kết hợp với các thành phần thực phẩm, tạo ra các nguyên liệu có thể in được với kết cấu và hương vị đa dạng [4]. Công nghệ này cũng được ứng dụng để sản xuất thực phẩm mềm cho người lớn tuổi gặp vấn đề về nuốt, đồ ăn nhẹ cho trẻ em đáp ứng nhu cầu dinh dưỡng cụ thể và chocolate với hình dạng phức tạp và thẩm mỹ cao,... [3]. Nguyên liệu được sử dụng trong in 3D thực phẩm được gọi là mực in, có thể được làm từ nhiều nguồn nguyên liệu khác nhau như ngũ cốc, chocolate, sữa, thịt, cá và rau củ quả. Trong đó, rau được đánh giá là một trong những vật liệu khó in do độ nhớt thấp [5]. Tuy nhiên, việc kết hợp rau với các loại hydrocolloid có thể giúp cải thiện tính ổn định và đặc tính lưu biến của sản phẩm [6].

Rau xà lách (*Lactuca sativa* L.) là một loại cây thân thảo thuộc họ Asteraceae, có hàm lượng nước cao (~95%), cung cấp nhiều chất xơ, khoáng chất, nhiều loại vitamin (B9, C) và hợp chất sinh học khác [7], [8]. Mặc dù rau là sản phẩm thiết yếu nhưng một số người tiêu dùng ít hoặc không sử dụng nhiều vì cảm thấy nhạt nhẽo, không ngon miệng. Vì vậy, việc ứng dụng công nghệ in 3D và sử dụng rau làm nguồn nguyên liệu là một biện pháp giúp thay đổi kết cấu của rau nhưng vẫn giữ nguyên hàm lượng chất dinh dưỡng (chất xơ và vitamin tan trong nước) có trong từng loại rau. Tuy nhiên, các loại rau xà lách thường được sử dụng tươi sống, có khả năng mang nhiều mầm bệnh nguy hiểm như vi khuẩn (*Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Salmonella typhi*, *Listeria monocytogenes*,...) và vi nấm (nấm men và nấm mốc) [9], [10]. Để đưa mực in 3D từ rau xà lách vào ứng dụng thực tế, một trong những thách thức lớn nhất là tìm ra giải pháp bảo quản hiệu quả.

Bảo quản thực phẩm là yếu tố quan trọng để đảm bảo an toàn và chất lượng dinh dưỡng. Hiện nay, có nhiều phương pháp bảo quản thực phẩm như hóa học, sinh học và vật lý. Phương pháp hóa học sử dụng các chất bảo quản như acid acetic, acid sorbic, acid benzoic, natri benzoat, natri propionate,... tuy có hiệu quả cao nhưng các lo ngại về sức khỏe như buồn nôn, tiêu chảy, đau đầu, phát ban, nhiều trường hợp có khả năng gây ung thư và tổn thương não ảnh hưởng đến việc chọn sản phẩm của người tiêu dùng [11] – [13]. Đối với phương pháp sinh học, thường sử dụng các chất kháng khuẩn từ vi sinh vật như Pediocin PA-1 và Nisin, tuy an toàn hơn cho sức khỏe nhưng việc sử dụng còn phụ thuộc vào yếu tố môi trường, thành phần hóa học và thành phần chất dinh dưỡng của thực phẩm nói chung và của rau nói riêng [14]. Phương pháp vật lý được sử dụng trong bảo quản rau thường là sấy khô, sấy thăng hoa, đông lạnh,... Tuy nhiên, dưới tác động của nhiệt độ cao làm một số chất bị phân hủy dẫn đến thay đổi màu sắc, mùi vị và giảm dinh dưỡng gây giảm chất lượng và mất cảm quan sản phẩm nên ít được sử dụng [11], [12]. Do đó, việc lựa chọn phương pháp bảo quản phù hợp là rất quan trọng để đảm bảo an toàn và chất lượng thực phẩm.

Hiện nay, công nghệ chiếu xạ bảo quản thực phẩm đã được đề xuất như một giải pháp bảo quản trong ngành công nghiệp thực phẩm. Theo Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên Hợp Quốc, Tổ chức Y tế Thế giới và Cơ quan Năng lượng Nguyên tử Quốc tế, việc sử dụng chiếu xạ để khử nhiễm thực phẩm ở liều thấp hơn 10 kGy là an toàn, thực phẩm chiếu xạ không có mối nguy độc hại và chỉ ảnh hưởng nhỏ đến dinh dưỡng [15]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra việc sử dụng chiếu xạ giúp cải thiện thời hạn sử dụng của rau bằng cách ức chế và vô hiệu hóa các sinh vật gây hư hỏng, từ đó cải thiện tính an toàn của thực phẩm [16]. Vì vậy, việc ứng dụng phương pháp chiếu xạ vào bảo quản mực in 3D rau củ quả là một hướng đi đầy tiềm năng, nhằm tạo ra sản phẩm thực phẩm mới, an toàn và giàu dinh dưỡng, đồng thời góp phần phát triển công nghệ in 3D trong lĩnh vực thực phẩm. Tuy nhiên, hiện nay vẫn chưa có nhiều nghiên cứu đề cập đến hướng ứng dụng này.

Do đó, nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu đánh giá khả năng ứng dụng phương pháp chiếu xạ trong bảo quản mực in 3D rau xà lách. Cụ thể, mực in 3D rau xà lách được điều

chế bằng phương pháp phối trộn với hydrocolloid. Sau đó, mực in 3D được chiếu xạ bảo quản bằng tia gamma với liều chiếu 7 kGy. Các chỉ tiêu như hàm lượng nước, tổng chất rắn hòa tan, hàm lượng chlorophyll, β -carotene, độ biến đổi màu sắc và tổng số vi sinh vật hiếu khí được phân tích. Cuối cùng, khả năng in và độ ổn định cơ học của mực in 3D rau xà lách cũng được đánh giá.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Chế tạo mực in 3D rau xà lách

Công thức mực in được chuẩn bị dựa theo phương pháp được trình bày trong nghiên cứu của Pant có chỉnh sửa [17]. Rau xà lách được thu hoạch tại vườn, sau đó rửa sạch, để ráo, cắt khúc nhỏ và xay nhuyễn. Lọc hỗn hợp qua rây để tách phần nước. Xác định hàm lượng nước có trong mẫu rau xay. Sau đó, hiệu chỉnh để hàm lượng nước đạt 95% trong mẫu. Sau khi hiệu chỉnh, hydrocolloid được thêm vào mẫu rau xay theo tỉ lệ rau:nước:hydrocolloid = 90:5:5 (w/w/w). Hydrocolloid được sử dụng bao gồm gelatin và xanthan gum được thêm vào theo tỉ lệ gelatin:xanthan gum = 1:1 (w/w).

2.2. Chiếu xạ mực in 3D

Cân 10 g mẫu mực in 3D cho vào túi zip. Sau đó, chiếu xạ gamma được thực hiện bằng nguồn chiếu xạ Co-60 (BRIT, Ấn Độ) ở liều chiếu 7 kGy. Mẫu đối chứng là mẫu không được chiếu xạ. Các mẫu sau chiếu xạ sẽ được trữ ở 4 °C cho các thí nghiệm tiếp theo.

2.3. Đánh giá các chỉ tiêu hóa, sinh của mẫu mực in 3D rau xà lách

2.3.1. Đánh giá hàm lượng nước

Cân 10 g mẫu mực in 3D (có và không có chiếu xạ) sấy đến khối lượng không đổi. Hàm lượng nước có trong mẫu được tính theo công thức (1):

$$WC (\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó: WC (%) là hàm lượng nước; m_0 là khối lượng mẫu sau khi sấy; m_1 là khối lượng mẫu trước khi sấy.

2.3.2. Xác định tổng chất rắn hòa tan

Tổng chất rắn hòa tan được xác định theo TCVN 7771:2007. Cân 10 g mẫu mực in 3D (có và không có chiếu xạ) và thêm 40 mL nước cất vào cốc. Khuấy nhẹ và đun sôi trong 3 phút, để nguội trong 20 phút. Sau đó, lọc hỗn hợp lấy dịch lọc và xác định chất rắn hòa tan bằng máy khúc xạ kế cầm tay. Máy được hiệu chuẩn bằng nước cất, sau đó nhỏ 1–2 giọt dịch lọc lên bề mặt sạch của khúc xạ. Tổng chất rắn hòa tan được biểu thị bằng phần trăm trên thang đo °Brix.

2.3.3. Hàm lượng chlorophyll

Hàm lượng chlorophyll của mẫu mực in 3D được thực hiện theo phương pháp của Pérez-Patricio [18]. Cân 0,5 g mẫu cho vào cối sứ, thêm vào 6 mL hỗn hợp dung dịch acetone-ethanol (2:1, v/v), nghiền mẫu trong điều kiện hạn chế ánh sáng. Sau khi ủ mẫu trong 30 phút ở 4 °C, thêm 5 mL dung môi chiết và vortex trong 1 phút. Lọc lấy dịch trong để đo độ hấp thụ ở bước sóng 663 nm và 645 nm bằng thiết bị đo quang phổ UVmini-1240 (Shimadzu, Nhật Bản). Hàm lượng chlorophyll tổng được đo theo công thức (2):

$$\text{Chlorophyll tổng} = (8,2 \times A_{663}) + (20,2 \times A_{645}) \quad (2)$$

Trong đó: A_{663} và A_{645} lần lượt là giá trị hấp thụ đo được ở bước sóng 663 nm và 645 nm.

2.3.4. Biến đổi màu sắc

Cân 0,5 g mẫu mực in 3D (có và không có chiếu xạ) lên lam kính, đặt lam lên. Sự biến đổi màu sắc của mẫu mực in 3D sẽ được đo bằng máy sắc kế CR-400 (Konica Minolta, Nhật Bản).

2.3.5. Đo hàm lượng β -carotene

Hàm lượng β -carotene của mẫu mực in 3D được thực hiện theo phương pháp của Hagos có chỉnh sửa [19]. Ngâm 0,5 g mẫu trong 10 mL acetone ở nhiệt độ phòng trong điều kiện hạn chế ánh sáng. Hỗn hợp được khuấy trong 30 phút. Sau đó ly tâm tách lấy dịch, lặp lại thao tác cho đến khi mẫu mất hết màu xanh. Định mức dịch chiết đến 30 mL bằng dung môi chiết. Hàm lượng β -carotene được xác định bằng cách đo độ hấp thụ ở bước sóng 453 nm bằng thiết bị đo quang phổ UVmini-1240 (Shimadzu, Nhật Bản).

2.3.6. Xác định tổng vi sinh vật hiếu khí

Tổng vi sinh vật hiếu khí trong mẫu mực in 3D (có và không có chiếu xạ) được xác định sau các mốc thời gian bảo quản 0 ngày, 7 ngày và 14 ngày theo TCVN 4884-1:2005. Cụ thể, 1 g mẫu mực in 3D được trộn với 9 mL nước cất. Sau đó, 0,5 mL mẫu ở các nồng độ pha loãng khác nhau (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5}) được trải trên đĩa môi trường potato dextrose agar (PDA), mỗi nồng độ 2 đĩa. Các đĩa PDA được ủ ở 30 °C để theo dõi. Số lượng vi sinh vật hiếu khí được biểu thị bằng log CFU/g. Thí nghiệm được tiến hành 3 lần độc lập. Tổng số vi sinh vật hiếu khí được đo theo công thức (3):

$$N = \frac{\sum C}{V \times (n_1 + 0,1 \times n_2) \times d} \quad (3)$$

Trong đó: $\sum C$ là tổng số khuẩn lạc đếm được từ hai nồng độ pha loãng liên tiếp; V là thể tích dịch cấy trên mỗi đĩa, tính bằng mL; d là hệ số pha loãng ứng với độ pha loãng thứ nhất; n_1 số đĩa ở nồng độ pha loãng thứ nhất; n_2 số đĩa ở nồng độ pha loãng thứ hai.

2.4. Đánh giá khả năng in và độ bền cơ học của mực thực phẩm

Mẫu được in 3D bằng thiết bị in A YL-CUBE 3D (YOLILO, Hàn Quốc). Cụ thể, 12 mL mẫu (có và không có chiếu xạ) được nạp vào ống tiêm và in dựa theo thông số máy và hình in có sẵn. Các sản phẩm in 3D có độ cao 1,5 cm được đặt trên các đĩa petri. Độ bền cơ học của mẫu mực in 3D được đánh giá dựa vào góc nghiêng của mẫu in sau thời gian lưu 2 giờ.

2.5. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu được tính toán bằng phần mềm Microsoft Excel. Các kết quả về số liệu được trình bày dưới dạng giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn. Đánh giá độ tin cậy thông qua phân tích thống kê bằng phần mềm IBM SPSS Statistics 27, kiểm định sự khác biệt trung bình hai đối tượng (Kiểm định Independent sample T-Test), $p < 0,05$ thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của chiếu xạ đến tính chất hóa, sinh của mẫu mực in 3D rau xà lách

Mực in 3D rau xà lách được trộn với hydrocolloid đã được chuẩn bị trước khi chiếu xạ (Hình 1). Mẫu sau chiếu xạ được đánh giá về các chỉ tiêu như hàm lượng chlorophyll, β -carotene, hàm lượng nước, tổng chất rắn hòa tan, độ biến đổi màu sắc và tổng số vi sinh vật hiếu khí.

Chlorophyll là một hợp chất có hoạt tính sinh học được đánh giá cao trong thực phẩm, có giá trị dinh dưỡng và các đặc tính hoạt tính sinh học [20]. Kết quả ở bảng 1 cho thấy, hàm lượng chlorophyll trong mẫu mực in 3D rau xà lách sau khi xử lý chiếu xạ 7 kGy chỉ giảm 5,53% (còn 94,47%) so với kết quả của mẫu không xử lý chiếu xạ. Trong cấu trúc của chlorophyll có một vòng tetrapyrrole được tạo thành từ bốn vòng pyrrole được nối với nhau bằng cầu methine, các nguyên tử nitơ trong mạch liên kết với nguyên tử kim loại trung tâm, các gốc oxy hóa tạo ra trong quá trình chiếu xạ tác động làm mở vòng chlorophyll gây phân hủy diệp lục [21].

Bên cạnh đó, β -carotene là một tiền chất carotenoid quan trọng của vitamin A trong cơ thể con người và là một chất chống oxy hóa có trong nhiều nguồn thực phẩm. Trong nghiên cứu này, sau khi xử lý với liều 7 kGy, lượng β -carotene có trong mẫu giảm còn 87,09%. Điều này là do khi chiếu xạ, β -carotene có thể bắt các gốc tự do sinh ra trong quá trình chiếu xạ, đồng thời, cấu trúc của β -carotene cũng bị phá hủy nên dẫn đến giảm hàm lượng của chúng [22].

Mặt khác, kết quả từ bảng 1 cũng chỉ ra rằng, hàm lượng nước của mẫu mực in 3D không xử lý với chiếu xạ và được xử lý chiếu xạ 7 kGy đều nằm trong khoảng 91%, hàm lượng chất rắn hòa tan đều nằm trong khoảng 2,5% và không có sự khác biệt ở mức ý nghĩa thống kê. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả nghiên cứu trước đây của Khalili và cộng sự khi hàm lượng chất rắn hòa tan của mẫu chiếu xạ không có sự khác biệt so với mẫu đối chứng [23].

Bảng 1. Ảnh hưởng của liều chiếu đến tính chất lý hóa của mẫu mực in 3D rau xà lách (n=3)

Chiếu xạ (kGy)	Chlorophyll (%)	β -carotene (%)	Hàm lượng nước (%)	Hàm lượng chất rắn hòa tan (%)	Màu sắc		
					L*	a*	b*
0	100	100	91,63 $\pm$ 0,21	2,5 $\pm$ 0,1	67,71 $\pm$ 3,43	-7,15 $\pm$ 0,58	30,40 $\pm$ 3,83
7	94,47 $\pm$ 2,08	87,09 $\pm$ 2,94	91,52 $\pm$ 0,27	2,5 $\pm$ 0,1	69,73 $\pm$ 4,27	-6,37 $\pm$ 0,74	26,13 $\pm$ 4,78
p	0,01	0,002	0,313	1,00	0,791	0,688	0,673

Giá trị L* biểu hiện cho độ sáng với độ dao động từ 0 (đen) đến 100 (trắng). Giá trị a* và b* lần lượt biểu hiện tương ứng cho độ dao động từ -a (màu xanh lá cây) đến +a (màu đỏ) và từ -b (màu xanh dương) đến +b (màu vàng).

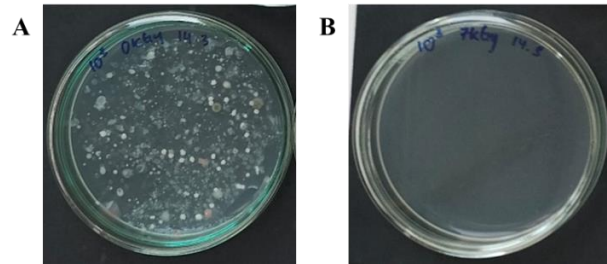
Kiểm định sự khác biệt trung bình hai đối tượng (Kiểm định Independent sample T-Test), $p < 0,05$ thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê.

Ngoài ra, màu sắc của mẫu mực in 3D có sự thay đổi sau khi được chiếu xạ. Về độ sáng (L*), thông số đi từ 0 đến 100 trong đó 0 là đen và 100 là trắng. Kết quả đối với mẫu không xử lý chiếu xạ có giá trị L* là 67,71 thấp hơn so với mẫu chiếu xạ 7 kGy là 69,73 (bảng 1) chứng tỏ chiếu xạ làm tăng độ sáng của mẫu mực in 3D. Về giá trị a*, có độ dao động từ -a là màu xanh lục đến +a là màu đỏ, và giá trị b*, có độ dao động từ -b màu xanh dương đến +b màu vàng. Như thể hiện ở bảng 1, giá trị a* của mẫu sau khi chiếu xạ 7 kGy giảm 0,78 (từ -7,15 xuống còn -6,37) so với mẫu không xử lý chiếu xạ, biểu thị sự giảm nhẹ màu xanh lá cây; đồng thời, giá trị b* của mẫu được xử lý chiếu xạ thấp hơn 4,27 (từ 30,40 xuống còn 26,13) so với mẫu không xử lý, tương ứng với việc mẫu giảm nhẹ màu vàng. Những kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu trước đây khi đã đề cập đến việc chiếu xạ làm thay đổi màu sắc của thực vật và sự thay đổi này nhiều hay ít là tùy thuộc vào liều chiếu [24]. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, chiếu xạ gamma mẫu mực in 3D rau xà lách ở liều chiếu 7 kGy có làm thay đổi nhẹ màu sắc nhưng không ảnh hưởng nhiều đến cảm quan khi mẫu mực in 3D sau chiếu xạ vẫn giữ được màu xanh đặc trưng của rau so với mẫu đối chứng (không xử lý chiếu xạ).

Kết quả tổng lượng vi sinh vật hiếu khí của các mẫu mực in 3D rau xà lách đã chiếu xạ và không chiếu xạ được trình bày trong Hình 2 và Bảng 2. Cụ thể, tổng số vi khuẩn hiếu khí trong các mẫu mực in 3D rau xà lách trước chiếu xạ ban đầu là $9,53 \pm 1,25$ log CFU/g (tương ứng với số vi sinh vật ở mẫu đối chứng không chiếu xạ trong bảng 2). Sau khi xử lý với liều chiếu 7 kGy, tổng số vi sinh vật giảm xuống chỉ còn $2,01 \pm 0,26$ log CFU/g.



Hình 1. Mực in 3D rau xà lách



Hình 2. Sự thay đổi của mật độ vi khuẩn trên đĩa thạch PDA: (A) 0 kGy. (B) 7 kGy

Bảng 2. Tổng số vi sinh vật hiếu khí của mực in 3D rau xà lách trong thời gian bảo (n=3)

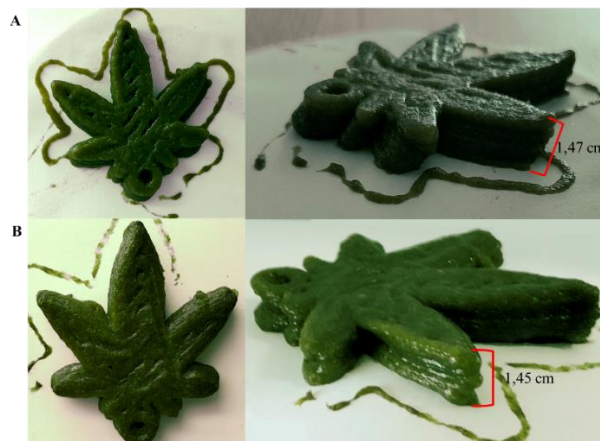
Ngày	Tổng số vi sinh vật hiếu khí (log CFU/g)		p
	0 kGy	7 kGy	
0	9,53 ± 1,25	2,01 ± 0,26	0,070
7	10,22 ± 0,76	2,34 ± 0,16	0,002
14	11,41 ± 0,13	2,68 ± 0,18	0,001

Kiểm định sự khác biệt trung bình hai đối tượng (Kiểm định Independent sample T-Test), $p < 0,05$ thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê.

So với giới hạn chấp nhận được của vi sinh vật tại Singapore đặt ra trong các loại thực phẩm ăn liền không quá 5,0 log CFU/g, mẫu mực in 3D rau xà lách ban đầu đã vượt mức an toàn so với giới hạn cho phép [25]. Trong quá trình bảo quản, sau 14 ngày lượng vi sinh vật hiếu khí trong mẫu không chiếu xạ tăng nhanh lên $11,41 \pm 0,13$ log CFU/g. Trong khi đó, lượng vi sinh trong mẫu được xử lý với liều 7 kGy sau 14 ngày bảo quản chỉ tăng lên $2,68 \pm 0,18$ log CFU/g và vẫn nằm trong phạm vi cho phép. Điều này là do chiếu xạ gamma gây ra sự phá vỡ thành tế bào và cản trở sự hình thành bào tử ở vi khuẩn và nấm gây hư hỏng thực phẩm, từ đó giúp cải thiện thời gian bảo quản [26].

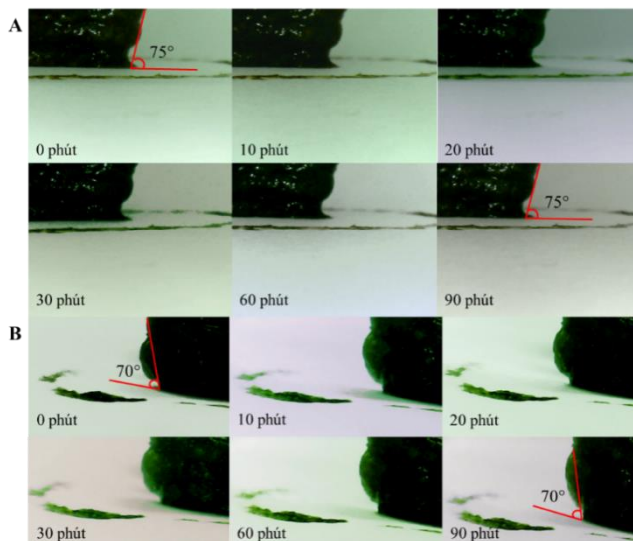
3.2. Đánh giá khả năng in của mực in 3D thực phẩm

Ép đùn là phương pháp phù hợp để in các vật liệu thực phẩm có độ nhớt cao và độ bền cơ học cao, do đó có thể sử dụng để chế tạo các cấu trúc 3D phức tạp với độ phân giải cao so với phương pháp tạo hình thực phẩm truyền thống [27]. Mô hình được in từ mực in 3D rau xà lách bằng phương pháp ép đùn được thể hiện trong Hình 3. Quan sát thấy cả 2 mô hình được in từ mực in 3D không được chiếu xạ và mực in 3D được xử lý chiếu xạ 7 kGy đều có độ nét rõ ràng. Điều này cho thấy việc xử lý với chiếu xạ không ảnh hưởng đến khả năng in của mực in khi vẫn đảm bảo độ chảy và độ linh động của mẫu.



Hình 3. Mô hình được in từ mực in 3D rau xà lách: (A) 0 kGy (không được xử lý với bức xạ), (B) 7 kGy

Bên cạnh đó, kết quả ở Hình 3 và Hình 4 cũng đã cho thấy việc chiếu xạ không làm giảm độ bền cơ học của mực in 3D rau xà lách. Cụ thể, mô hình được in bằng mực in 3D chiếu xạ không thấy hiện tượng bị vỡ, xẹp, nứt bề mặt trong quá trình in nhiều lớp (7 lớp) và đạt được hình dạng thiết kế ban đầu (Hình 3B). Bên cạnh đó, chiều cao của mô hình in ra từ 2 mẫu mực in có và không có xử lý chiếu xạ cũng gần như tương đương nhau (1,47 cm so với 1,45 cm).



Hình 4. Ảnh hưởng của chiếu xạ đến độ ổn định của mẫu mực in theo thời gian: (A) 0 kGy, (B) 7 kGy

Hơn nữa, 2 giờ sau khi in, mô hình được in từ mực in 3D rau xà lách không được xử lý chiếu xạ và được xử lý với liều 7 kGy đều giữ được độ ổn định, không bị nghiêng hay xẹp, với mẫu không chiếu xạ thì độ nghiêng ban đầu và sau 2 giờ đều ở 75°, còn đối với mẫu được xử lý chiếu xạ thì độ nghiêng ban đầu và sau 2 giờ đều ở 70° (Hình 4). Các kết quả trên cho thấy, chiếu xạ không ảnh hưởng đến khả năng in và không làm giảm độ ổn định cơ học của mẫu mực in 3D rau xà lách.

4. Kết luận

Việc xử lý chiếu xạ gamma ở liều 7 kGy đối với mẫu mực in 3D rau xà lách giúp kiểm soát được tổng số vi sinh vật hiếu khí và kéo dài thời gian bảo quản nhưng không ảnh hưởng nhiều đến các tính chất hóa, sinh của mẫu mực in 3D. Đồng thời, độ bền cơ học và độ ổn định của mẫu vẫn được đảm bảo. Vì vậy, việc sử dụng phương pháp chiếu xạ là điều cần thiết và có nhiều ưu điểm trong việc đảm bảo an toàn và duy trì hàm lượng dinh dưỡng của thực phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] S. C. Ligon, R. Liska, J. Stampfl, M. Gurr, and R. Mülhaupt, "Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing," *Chemical Reviews*, vol. 117, no. 15, pp. 10212-10290, 2017.
- [2] D. Periard, N. Schaal, M. Schaal, E. Malone, and H. Lipson, "Printing food," in *Proceedings of the 18th Solid Freeform Fabrication Symposium*, Austin, TX, USA, 2007, pp. 564-574.
- [3] T. Pereira, S. Barroso, and M. M. Gil, "Food texture design by 3D printing: A review," *Foods*, vol. 10, no. 2, p. 320, 2021.
- [4] H. W. Kim, J. H. Lee, S. M. Park, M. H. Lee, *et al.*, "Effect of hydrocolloids on rheological properties and printability of vegetable inks for 3D food printing," *Journal of Food Science*, vol. 83, no. 12, pp. 2923-2932, 2018.
- [5] S. L. Voon, J. An, G. Wong, Y. Zhang, and C. K. Chua, "3D food printing: A categorised review of inks and their development," *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 14, no. 3, pp. 203-218, 2019.
- [6] I. Tomašević, P. Putnik, F. Valjak, B. Pavlič, *et al.*, "3D printing as novel tool for fruit-based functional food production," *Current Opinion in Food Science*, vol. 41, pp. 138-145, 2021.

-
- [7] E. M. Brouwer-Brolsma, B. Brandl, M. E. Buso, T. Skurk, and C. Manach, "Food intake biomarkers for green leafy vegetables, bulb vegetables, and stem vegetables: a review," *Genes & Nutrition*, vol. 15, no. 1, pp. 1-12, 2020.
- [8] M. J. Kim, Y. Moon, J. C. Tou, B. Mou, and N. L. Waterland, "Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.)," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 49, pp. 19-34, 2016.
- [9] S. A. Mir, M. A. Shah, M. M. Mir, B. N. Dar, *et al.*, "Microbiological contamination of ready-to-eat vegetable salads in developing countries and potential solutions in the supply chain to control microbial pathogens," *Food Control*, vol. 85, pp. 235-244, 2018.
- [10] C. K. Carstens, J. K. Salazar, and C. Darkoh, "Multistate outbreaks of foodborne illness in the United States associated with fresh produce from 2010 to 2017," *Frontiers in Microbiology*, vol. 10, p. 2667, 2019.
- [11] M. S. Rahman, "Food preservation: an overview," in *Handbook of Food Preservation*, CRC Press, 2020, pp. 7-18.
- [12] S. K. Amit, M. M. Uddin, R. Rahman, S. R. Islam, and M. S. Khan, "A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing," *Agriculture & Food Security*, vol. 6, pp. 1-22, 2017.
- [13] S. Sharma, "Food preservatives and their harmful effects," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 5, no. 4, pp. 1-2, 2015.
- [14] V. P. Singh, "Recent approaches in food bio-preservation-a review," *Open Veterinary Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 104-111, 2018.
- [15] H. M. Lung, Y. C. Cheng, Y. H. Chang, H. W. Huang, *et al.*, "Microbial decontamination of food by electron beam irradiation," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 44, no. 1, pp. 66-78, 2015.
- [16] T. Prokopov and S. Tanchev, "Methods of food preservation," in *Food Safety: A Practical and Case Study Approach*, vol. 1, pp. 3-25, 2007.
- [17] A. Pant, A. Y. Lee, R. Karyappa, C. P. Lee, *et al.*, "3D food printing of fresh vegetables using food hydrocolloids for dysphagic patients," *Food Hydrocolloids*, vol. 114, p. 106546, 2021.
- [18] M. Pérez-Patricio, J. L. Camas-Anzueto, A. Sanchez-Alegria, A. Aguilar-González, *et al.*, "Optical method for estimating the chlorophyll contents in plant leaves," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 18, no. 2, p. 650, 2018.
- [19] M. Hagos, M. Redi-Abshiro, B. S. Chandravanshi, and E. E. Yaya, "Development of analytical methods for determination of β -carotene in pumpkin (*Cucurbita maxima*) flesh, peel, and seed powder samples," *International Journal of Analytical Chemistry*, vol. 2022, p. 9363692, 2022.
- [20] I. Viera, M. Herrera, and M. Roca, "Influence of food composition on chlorophyll bioaccessibility," *Food Chemistry*, vol. 386, p. 132805, 2022.
- [21] S. Pareek, N. A. Sagar, S. Sharma, V. Kumar, *et al.*, "Chlorophylls: Chemistry and biological functions," in *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, E. M. Yahia, Ed., 2nd ed. John Wiley & Sons, 2017, pp. 269-284.
- [22] L. Calucci, C. Pinzino, M. Zandomenoghi, A. Capocchi, *et al.*, "Effects of γ -irradiation on the free radical and antioxidant contents in nine aromatic herbs and spices," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 51, no. 4, pp. 927-934, 2003.
- [23] R. Khalili, N. Ayoobian, M. Jafarpour, and B. Shirani, "The effect of gamma irradiation on the properties of cucumber," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 54, no. 13, pp. 4277-4283, 2017.
- [24] B. Maherani, M. Harich, S. Salmieri, and M. Lacroix, "Antibacterial properties of combined non-thermal treatments based on bioactive edible coating, ozonation, and gamma irradiation on ready-to-eat frozen green peppers: evaluation of their freshness and sensory qualities," *European Food Research and Technology*, vol. 245, pp. 1095-1111, 2019.
- [25] J. Seow, R. Agoston, L. Phua, and H. G. Yuk, "Microbiological quality of fresh vegetables and fruits sold in Singapore," *Food Control*, vol. 25, no. 1, pp. 39-44, 2012.
- [26] M. Kumar, S. Ahuja, A. Dahuja, R. Kumar, and B. Singh, "Gamma radiation protects fruit quality in tomato by inhibiting the production of reactive oxygen species (ROS) and ethylene," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 301, pp. 871-880, 2014.
- [27] Z. Liu, M. Zhang, B. Bhandari, and C. Yang, "Impact of rheological properties of mashed potatoes on 3D printing," *Journal of Food Engineering*, vol. 220, pp. 76-82, 2018.
-