

DOI:10.22144/ctu.jvn.2022.067

ỨNG DỤNG VI BAO GIỌT TỤ TRONG CÔNG NGHIỆP THỰC PHẨM

Hoàng Quang Bình^{1*}, Chế Mỹ Linh², Trịnh Ngọc Thảo Ngân² và Lê Trung Thiên^{1,2}

¹Viện Kỹ thuật Công nghệ cao Nguyễn Tất Thành, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

²Khoa Công nghệ Hóa học và Thực phẩm, Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Hoàng Quang Bình (email: hqbinh@ntt.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 27/12/2021

Ngày nhận bài sửa: 26/01/2022

Ngày duyệt đăng: 08/02/2022

Title:

Application of coacervation in the food industry

Từ khóa:

Bảo quản, hợp chất sinh học, thực phẩm, ứng dụng, vi bao

Keywords:

Application, bioactive compound, coacervation, foodstuff, preservation

ABSTRACT

Microencapsulation is an effective method to preserve bioactive compounds. Through the encapsulation mechanism of polymers derived from proteins, polysaccharides; natural compounds (polyphenols, carotenoids,...), as well as beneficial microorganisms (yeast, probiotics), are protected against adverse environmental conditions. The application of microencapsulated beads in foodstuff prolongs the shelf life of products, improve the antioxidant capacity and enhance the survival of probiotics.

TÓM TẮT

Vi bao là phương pháp hiệu quả giúp bảo quản các chất sinh học. Thông qua cơ chế bao gói của các polymer có nguồn gốc từ protein, polysaccharide, các hợp chất tự nhiên (polyphenol, carotenoid, ...) cũng như vi sinh vật có lợi (nấm men, probiotic) giúp bảo vệ trong các điều kiện bất lợi của môi trường. Ứng dụng các hạt vi bao trong chế biến thực phẩm giúp sản phẩm kéo dài thời gian sử dụng, nâng cao khả năng kháng oxy hóa và cải thiện khả năng sống sót của probiotic.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các hợp chất sinh học có ảnh hưởng quan trọng đến sức khỏe con người. Nhiều nghiên cứu cho thấy chế độ ăn giàu polyphenol giúp giảm ung thư, bệnh tim mạch và tiểu đường (Pandey & Rizvi, 2009). Tuy nhiên, ứng dụng các hợp chất sinh học trong chế biến thực phẩm không đơn giản do chúng thiếu ổn định dưới các tác động của môi trường như ánh sáng, nhiệt độ, pH và oxy (Deng et al., 2018). Vì vậy, bảo vệ các hợp chất sinh học sau quá trình trích ly là rất cần thiết. Công nghệ vi bao có khả năng nhốt các hợp chất hay còn gọi là vật liệu lõi bên trong các lớp màng bao sinh học; từ đó giúp hạn chế các tác động bên ngoài đến sự ổn định cho các hợp chất sinh học (Wang et al., 2018). Phương pháp vi bao giọt tụ cho thấy hiệu quả trong việc vi bao các chất với khả năng cao 70 – 90%, cũng như kiểm soát

tốt khả năng giải phóng vật liệu lõi (Stojanovic et al., 2012). Tuy nhiên, các tài liệu về khả năng ứng dụng của phương pháp này trong công nghiệp thực phẩm hiện còn khá hạn chế tại Việt Nam. Bài viết này tổng quan các thông tin về phương pháp vi bao giọt tụ và tiềm năng ứng dụng trong thực phẩm.

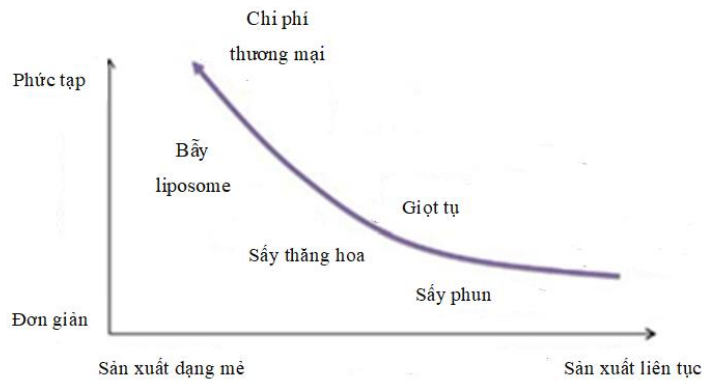
2. ĐỊNH NGHĨA VI BAO

2.1. Định nghĩa chung

Vi bao là một quá trình bao phủ một chất được gọi là vật liệu lõi trong một chất khác được gọi là màng bao để tạo ra các viên nang nhỏ đường kính từ vài nanomet đến vài milimét (Đorđević et al., 2015). Trong đó, các vật liệu màng bao phủ có thể là một loại thuần nhất (gum arabic, sodium alginate, tinh bột,...) hoặc hỗn hợp nhiều loại (alginate – pectin, gelatin – pectin...) (Bảng 1). Trong công nghiệp thực phẩm thì công nghệ vi bao mang lại một số lợi

ích gồm: (i) che giấu các mùi vị không mong muốn của vật liệu lõi, (ii) bảo vệ các hợp chất sinh học dưới tác động bất lợi của môi trường, (iii) kiểm soát khả năng giải phóng các hợp chất sinh học, (iv) chuyển đổi các đặc tính vật lý của vật liệu lõi (ví dụ chuyển dạng lỏng sang dạng rắn) giúp thuận tiện cho việc sử dụng, (v) ngăn cách vật liệu lõi với các thành

phần khác giúp tránh xảy ra các phản ứng không mong muốn (Gouin, 2004). Ngày nay, nhiều phương pháp vi bao đã được phát triển như sấy phun, sấy thăng hoa, giọt tụ, ép đùn, bẫy nhốt liposome. Trong đó, phương pháp giọt tụ có phương pháp thực hiện đơn giản, chi phí đầu tư thấp, phù hợp với phương pháp sản xuất liên tục.



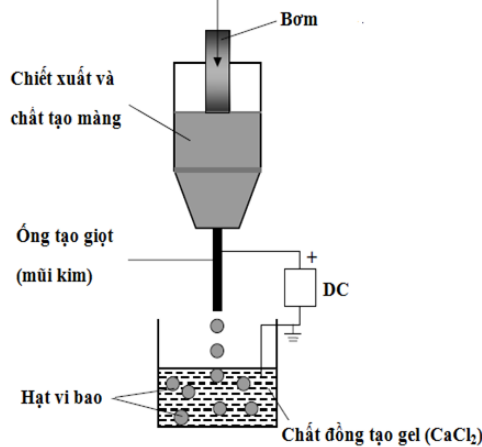
Hình 1. Tổng quan một số phương pháp vi bao (Barrow et al., 2013)

2.2. Định nghĩa và phân loại

2.2.1. Định nghĩa

“Coacervation” là một thuật ngữ được sử dụng trong hoá học để thể hiện sự phân tách giữa các pha. Quá trình phân tách và tạo giọt xảy ra do sự thay đổi

của môi trường (pH, cường độ ion, nhiệt độ trong điều kiện có kiểm soát). Trong đó, khả năng tạo gel phụ thuộc vào tính chất của vật liệu màng bao khi được nhỏ giọt vào trong một môi trường thích hợp (Timilsena et al., 2019) (Hình 2).



Hình 2. Minh họa mô hình tạo hạt vi bao (Stojanovic et al., 2012)

2.2.2. Vi bao giọt tụ đơn giản

Vi bao giọt tụ là quá trình chỉ có một polymer tham gia vào quá trình vi bao. Trong quá trình vi bao thì màng bao được hình thành thông qua tác động của muối và các dung dịch háo nước (Timilsena et al., 2019). Ví dụ, dung dịch gelatin tạo gel khi có sự xuất hiện của muối Na_2SO_4 hoặc ethanol; dung dịch alginate đông tụ thành gel trong dung dịch canxi clorua do liên kết giữa các gốc $-\text{COO}^-$ với Ca^{2+} .

Quá trình tạo giọt tụ đơn giản tiết kiệm chi phí và hoạt động linh hoạt hơn nhờ sử dụng muối vô cơ chi phí thấp.

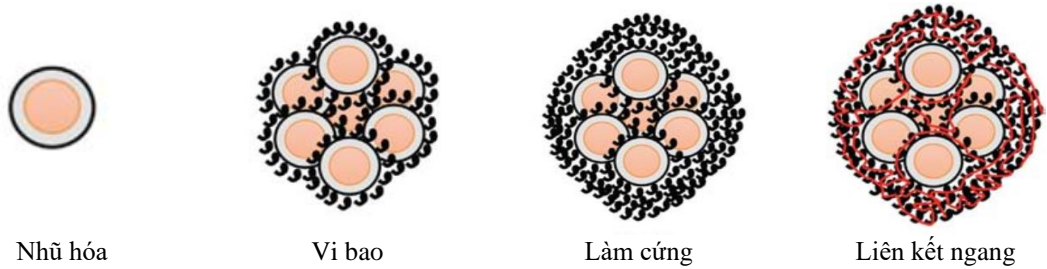
2.2.3. Vi bao giọt tụ phức tạp

Cơ chế tạo giọt tụ phức tạp nhờ vào sự tương tác ion giữa hai hay nhiều polymer tích điện trái dấu, thường là protein và polysaccharide. Ngoài ra, lực van der Waals, các tương tác kỵ nước, liên kết hydro cũng đóng vai trò quan trọng trong cơ chế giọt tụ

phức tạp (Timilsena et al., 2019). Trong đó, các loại vật liệu tạo màng có bản chất là protein có thể được sản xuất từ động vật như gelatin, whey protein, albumin, hoặc sản xuất từ thực vật như protein của đậu nành, đậu hà lan, lúa mì, hạt chia, ngũ cốc. Đối với các vật liệu polysaccharide bao gồm alginate, chitosan, gum arabic, pectin, agar, carrageenan và carboxymethyl cellulose (CMC) (Timilsena et al., 2019). Mặc dù phương pháp này tốn nhiều thời gian thực hiện, chi phí cao hơn so với phương pháp sấy phun (phương pháp vi bao thông dụng), nhưng nó cũng có những ưu điểm như hiệu quả vi bao vật liệu lõi cao (hơn 80%), hiệu suất thu hồi sản phẩm cao (trên 99%) và kiểm soát tốt quá trình giải phóng của các vật liệu lõi ra khỏi hạt vi bao (Barrow et al., 2013).

Nhìn chung, quá trình vi bao bằng phương pháp vi bao phức tạp gồm 4 bước như nhũ hóa/đồng hóa,

vi bao, hình thành/làm cứng lớp màng bao và hình thành liên kết ngang (Hình 3). Đầu tiên, (i) vật liệu lõi được nhũ hóa trong nước (pha liên tục) có chứa hai hay nhiều loại polymer tại nhiệt độ trên điểm tạo gel đối với polymer có bản chất polysaccharide và pH đẳng điện đối với polymer có bản chất protein. Tiếp đó, (ii) pH của hệ nhũ được giảm đến pH đẳng điện của polymer (protein), lúc này các hạt vi bao dần hình thành tách ra khỏi môi trường lỏng nhờ sự hình thành các liên kết tĩnh điện giữa các cực trái dấu của polymer. Sau đó, (iii) lớp vỏ bao quanh phần lõi dần được hình thành, giai đoạn này có thể được thúc đẩy bằng cách hạ nhiệt độ xuống dưới điểm tạo gel của polymer. Cuối cùng, (iv) hạt vi bao được ngâm trong các dung dịch có chứa các chất tạo liên kết ngang có bản chất hóa học (CaCl₂) hoặc enzyme (transglutaminase) (Barrow et al., 2013).



Hình 3. Minh họa các giai đoạn hình thành hạt vi bao bằng kỹ thuật vi bao phức tạp

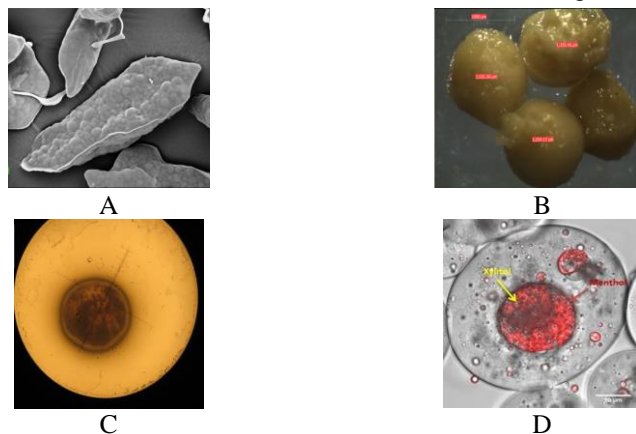
(Barrow et al., 2013)

3. PHƯƠNG PHÁP TẠO HẠT VI BAO

3.1. Vi bao dịch trích ly thực vật

Nhiều nghiên cứu đã cho thấy các hợp chất sinh học có trong các dịch chiết thực vật rất nhạy cảm với nhiệt độ, ánh sáng và oxy. Các tác nhân không mong

muốn này không ngừng tác động lên các hợp chất trong toàn bộ quá trình trích ly cũng như bảo quản; từ đó làm suy giảm hàm lượng và hoạt tính của nó. Vì vậy, nhiều nghiên cứu đã không ngừng tìm kiếm phương pháp bảo quản phù hợp (Bảng 1). Hình 4 minh họa hạt vi bao giọt tự.



Hình 4. Hạt vi bao bằng phương pháp giọt tự

A. Hình chụp SEM hạt vi bao dầu cá ngừ (Wang et al., 2014). B. Hình chụp hạt vi bao dịch chiết cây *Pimenta dioica* (L) Merr. (Dima et al., 2014). C. Hình chụp SEM vi bao vi khuẩn *L. acidophilus* (Mirzaei et al., 2012). D. Hình chụp SEM của hạt vi bao xylitol và mentol (Santos et al., 2014)

Bảng 1. Phương pháp tạo vi bao giọt tụ

Nguyên liệu được vi bao	Vật liệu vi bao	Hiệu quả vi bao	Tài liệu tham khảo
β -carotene có trong dầu cám gạo	Casein và gum tragacanth	79,4%	Jain et al. (2016)
Dịch trích cây cầu kỳ (<i>Lycium barbarum</i>).	Gelatin và sodium carboxymethyl cellulose	92,6 ± 2,91%	Zhang et al. (2021)
Polyphenol có trong chiết xuất lá ô liu	Gelatin- tragacanth	90,4%	Oliveira et al. (2022)
Ergosterol trong chiết xuất nấm mỡ (<i>Agaricus bisporus</i> L.).	Whey protein isolate và chitosan	100%	Rudke et al. (2019)
Tinh dầu tiêu đen	Gelatine và natri alginate	81,1%	Bastos et al. (2020)
Tinh dầu cây <i>Pimenta dioica</i> L Merr	Chitosan và dung dịch K-carrageenan	96,2%	Dima et al. (2014)
Tinh dầu chanh	Alginate-tween 80	78-86%	Trương và ctv. (2020)
Dầu hạt Sacha ichi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.)	Natri alginate.	94,12%	da Silva Soares et al. (2019)
Dầu cá ngừ	Gelatin và sodium hexametaphosphate	88,0%	Wang et al. (2014)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Màng cellulose của <i>Acetorbacter xylinum</i> bởi	-	Nguyen et al. (2009)
	Ca-alginate	-	Hương và ctv. (2012)
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Natri alginate và tinh bột kháng	-	Mirzaei et al. (2012)
	Whey protein và pectin	-	Riberio et al. (2014)
<i>Lactobacillus casei</i>	Tinh bột bắp và alginate	-	Pankasemsuk et al. (2016)

Ghi chú: -: Thông tin về hiệu quả vi bao không được tìm thấy trong tài liệu tham khảo.

Hiệu quả vi bao là tỷ lệ phần trăm giữa hàm lượng các chất được vi bao nằm trong phần lõi của hạt vi bao chia cho tổng hàm lượng có trong hạt vi bao (lõi + bề mặt)

Jain et al. (2016) đã vi bao β -carotene có trong dầu cám gạo tinh luyện hai lần bằng hỗn hợp màng bao casein và gum tragacanth (tỷ lệ 2:1) bằng cơ chế giọt tụ; quá trình vi bao đạt hiệu quả là 79,36% và kết quả phân tích cho thấy sau 60 ngày bảo quản tại nhiệt độ 25°C thì hàm lượng β -carotene còn lại có trong các hạt vi bao cao hơn khoảng 2 lần so với không vi bao. Zhang et al. (2021) đã nghiên cứu vi bao zeaxanthin một hợp chất có lợi giúp phòng ngừa các bệnh liên quan đến mắt có trong dịch trích cây cầu kỳ (*Lycium barbarum*); kết quả nghiên cứu cho thấy tỷ lệ phối trộn gelatin và sodium carboxymethyl cellulose tối ưu là 9:1 (g/g), pH tối ưu là 4,5 cho hiệu quả vi bao đạt 92,6%.

Oliveira et al. (2022) đã ghi nhận hiệu quả vi bao polyphenol có trong chiết xuất lá ô liu (*Olea europaea* L.) bằng gelatin, tragacanth và hỗn hợp gelatin- tragacanth lần lượt là 61,23%, 52,04% và 90,41%. Kết quả cho thấy gelatin có hiệu quả vi bao tốt hơn so với tragacanth; như vậy lần nữa được khẳng định thông qua chỉ số phần trăm ức chế gốc tự do (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)); với

kết quả tương ứng cho từng loại màng bao lần lượt là 91,26%, 47,64% và 90,41%. Thí nghiệm tối ưu hoá các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình vi bao ergosterol hợp chất có hiệu quả cao trong chống oxy hóa, chống viêm đã được Rudke et al., (2019) nghiên cứu trên đối tượng chiết xuất nấm mỡ (*Agaricus bisporus* L.). Mẫu vi bao được chuẩn bị bằng cách cho ergosterol tinh khiết hòa tan với dung dịch đệm acetate (100 mM) trong 20 phút thu dung dịch A. Sau đó, dung dịch whey protein isolate và dung dịch chitosan được bổ sung lần lượt vào dung dịch A với tỉ lệ whey protein isolate – chitosan là 0,5 (mL/mL). Hỗn hợp được lắc đều và ủ ở 55°C trong 5 phút và được làm nguội bằng nước đá trong 20 phút. Tại điều kiện này, mẫu vi bao đạt hiệu quả vi bao là 100%.

3.2. Vi bao dầu và tinh dầu

Tinh dầu chứa nhiều hợp chất bay hơi nên trong quá trình bảo quản thì các hợp chất này dễ dàng thất thoát ra môi trường. Bên cạnh, tinh dầu và dầu thực vật/động vật có cấu trúc hóa học chứa nhiều nối đôi nên chất lượng của các sản phẩm này dễ bị biến đổi

dưới tác động của oxy, nhiệt độ, ánh sáng thông qua phản ứng oxy hóa. Bao gói các hợp chất này trong một hoặc nhiều loại màng bao sẽ giúp hạn chế tiếp xúc trực tiếp tinh dầu/dầu với các yếu tố môi trường bất lợi, giúp ổn định chất lượng sản phẩm trong quá trình bảo quản. Bastos et al. (2020) đã nghiên cứu quy trình vi bao tinh dầu tiêu đen; theo đó tinh dầu được hòa trộn với tween 20 và bổ sung vào dung dịch màng bao gồm gelatin và natri alginate (tỷ lệ 6:1 g/g), theo tỷ lệ 0,3-1. Hỗn hợp sau đó được đồng hóa 10.000 vòng/phút trong 3 phút và được để ổn định ở nhiệt độ 25°C trong 30 phút. pH của hỗn hợp được hiệu chỉnh thành pH 4. Cuối cùng, dung dịch được nhỏ vào trong dung dịch CaCl₂ 3% để tạo hạt vi bao. Sản phẩm thu được đạt hiệu quả vi bao là 81,1%.

Dima et al. (2014) đã nghiên cứu vi bao tinh dầu cây *Pimenta dioica* L Merr. Trước hết, dung dịch chitosan và dung dịch K-carrageenan được hòa trộn cùng với nhau theo tỷ lệ 3:1. Sau đó, tinh dầu được bổ sung vào hỗn hợp dịch vi bao. Tiếp theo, hỗn hợp này được bổ sung tween 40 và được đồng hóa bằng máy siêu âm dạng đầu dò ở 25°C trong 5 phút. Cuối cùng, hỗn hợp được nhỏ vào dung dịch ethanol có chứa NaOH 1M. Hạt vi bao thu được có hiệu quả vi bao đạt 96,23%. Tinh dầu chanh đã được nghiên cứu vi bao bởi Trương và ctv. (2020); tinh dầu được cho từ từ vào hỗn hợp dung dịch alginate-tween 80 và hệ nhũ tương được đồng hóa 13.500 vòng/phút trong 3 phút. Tiếp theo, hỗn hợp nhũ tương được nhỏ vào trong dung dịch CaCl₂ 0,5% bằng kim tiêm. Hạt vi bao được ngâm trong dung dịch CaCl₂ trong 25 phút để làm cứng hạt. Sản phẩm thu được có hiệu quả vi bao đạt 78-86%. Da Silva Soares et al. (2019) đã nghiên cứu vi bao dầu hạt Sacha ichi (*Plukenetia volubilis* L.) bằng cách trộn dung dịch ovalbumin với dầu. Kế đến nhũ tương được đồng hóa bằng máy đồng hóa (IKA, T25D ULTRA-TURRAX®) tại 13.000 vòng/phút trong 3 phút và bổ sung với natri alginate. Trong đó, tỷ lệ giữa ovalbumin: natri alginate là 4:1, tỷ lệ giữa dầu và hỗn hợp màng bao là 1:1. Hỗn hợp nhũ tương sau khi được hiệu chỉnh pH 4 được để ổn định trong 1 giờ ở 10°C trong 24 giờ. Tiếp theo, mẫu được ly tâm 7.000 x g trong 15 phút. Dịch thu được sau ly tâm được bổ sung dung dịch CaCl₂ 3% và lắc đều, để ổn định trong 15 phút ở 25°C. Sau đó, mẫu được ly tâm tại 1.000 x g trong 5 phút để thu phần cặn kết tủa. Hiệu quả vi bao đạt 94,12%.

Nghiên cứu của Wang et al. (2014) đã cho thấy gelatin và sodium hexametaphosphate (SHMP) là vật liệu vi bao thích hợp dầu cá ngừ. Cụ thể, hỗn hợp gồm dầu cá ngừ và chất chống oxy hóa thương mại

(Duralox Blend AN 110 XT) được trộn đều cùng với dung dịch gelatin. Sau đó, nhũ tương được đồng hóa 15.000 vòng/phút trong 15 phút. Tiếp theo, dung dịch SHMP được bổ sung vào nhũ tương và được khuấy đều tại 800 vòng/phút. Lúc này, nhũ tương có nồng độ gelatin và SHMP lần lượt đạt 3% và 0,2%, tỷ lệ giữa dầu cá và hỗn hợp màng bao là 6:4 (g/g), pH 4,7 và nhiệt độ 50°C. Khi SHMP được hòa tan hoàn toàn, mẫu được giảm nhiệt từ từ xuống 5°C và duy trì tại nhiệt độ này trong 30 phút. Sau đó, mẫu được bổ sung enzyme transglutaminase giúp tăng khả năng liên kết giữa các polymer. Tiếp theo hỗn hợp được nâng nhiệt từ từ đến 25°C và giữ ổn định trong 5 giờ rồi thu hạt vi bao. Sản phẩm thu đạt được hiệu quả vi bao 88,03%.

3.3. Vi bao vi sinh vật

Hiện nay, nấm men cố định là nguyên liệu được sử dụng ngày càng phổ biến trong chế biến sản phẩm lên men có cồn. Nấm men cố định giúp nâng cao năng suất quá trình lên men, phù hợp cho quy trình lên men liên tục, tế bào nấm men ổn định trong lên men, khả năng tái sử dụng cao. Ngoài ra, phương pháp cố định giúp giảm các tác động bất lợi của môi trường đến sự phát triển của nấm men (Kourkoutas et al., 2004). Dựa trên những ưu điểm này, nhiều nghiên cứu cố định nấm men đã được thực hiện. Song song, các nghiên cứu về cố định vi khuẩn probiotic cũng đã được thực hiện.

Nấm men *Saccharomyces cerevisiae* đã được nghiên cứu cố định trên chất mang là màng cellulose được làm từ vi khuẩn *Acetobacter xylinum* (Nguyen et al., 2009). Sinh khối nấm men được chuẩn bị bằng cách nuôi tế bào nấm men trong môi trường dịch quả nho 24°Bx ở nhiệt độ 30°C trong 2 ngày. Sau đó, mẫu được ly tâm 3.000 vòng/phút trong 15 phút thu sinh khối tế bào. Trong giai đoạn cố định tế bào, sinh khối nấm men (1,4 x 10⁹ tế bào/g màng cellulose) và màng cellulose được bổ sung vào trong dịch quả nho, mẫu được khuấy trộn trong 4 giờ 45 phút. Sau đó, màng cellulose được lấy ra khỏi dịch quả, rửa với nước vô trùng và ủ 2 ngày ở 30°C. Rượu vang non được lên men từ nấm men cố định có hàm lượng cồn đạt khoảng 12%. Hương và ctv. (2012) đã nghiên cứu cố định chủng nấm men *Saccharomyces cerevisiae* bằng phương pháp cố định tế bào trong hạt Ca-alginate. Đầu tiên, nấm men được tăng sinh khối trên môi trường nuôi cấy vi sinh chuyên dụng. Tiếp đó, sinh khối tế bào thu được sau quá trình ly tâm được rửa sạch bằng nước muối sinh lý 0,85% và được khuấy trộn đều với dung dịch natri alginate 3% (đã được xử lý nhiệt ở 110°C/30 phút và làm nguội). Tiếp đó, hỗn hợp có mật độ tế bào nấm men 10⁹ tế

bào/mL được nhỏ vào dung dịch CaCl_2 2% để tạo hạt vi bao. Nấm men cố định có thể được dùng để lên men cồn từ ri đường trong 4 lần với độ cồn tạo thành trong sản phẩm sau lên men đạt 10,5-11%.

Nghiên cứu của Mirzaei et al. (2012) đã thực hiện vi bao vi khuẩn *Lactobacillus acidophilus*. Vi khuẩn được tăng sinh trong môi trường MRS-salicin-agar trong 72 giờ ở 37°C, điều kiện kỵ khí. Tiếp theo, hỗn hợp dung dịch vi bao gồm 2% natri alginate, 2% tinh bột kháng (nguồn gốc từ bắp), 0,1% dịch vi sinh vật được trộn đều và được nhỏ giọt vào dung dịch CaCl_2 0,1 M bằng kim tiêm để thu được hạt vi bao (đường kính 50-80 μm). Chủng vi khuẩn *Lactobacillus acidophilus* cũng được nghiên cứu vi bao bằng whey protein và pectin trong nghiên cứu của Ribeiro et al. (2014). Đầu tiên, nhũ tương được chuẩn bị bằng cách đồng hóa dung dịch pectin 2% với 2% bơ không muối tại 14.000 vòng/phút trong 5 phút. Sau đó, 2% dung dịch sinh khối *L. acidophilus* được bổ sung vào nhũ tương và khuấy đều trong 6.000 vòng/phút trong 1 phút. Hỗn hợp được nhỏ vào dung dịch CaCl_2 (nồng độ 2%, pH 4), tốc độ khuấy trộn là 410 vòng/phút. Sau 30 phút, hạt vi bao được lọc và rửa qua nước cất vô trùng pH 4. Tiếp đó, hạt vi bao được ngâm 30 phút trong dung dịch whey protein 4% đã được xử lý biến tính trước đó tại 80°C trong 15 phút, pH 4. Vi khuẩn *Lactobacillus casei* 01 đã được Pankasemsuk et al. (2016) nghiên cứu vi bao bằng tinh bột bắp và alginate. Đầu tiên, vi khuẩn được nuôi trong môi trường MRS và ly tâm thu sinh khối 10^{10} cfu/mL. Tiếp đó, 40 mL dung dịch gồm 2% natri alginate, 1% tinh bột bắp được trộn đều cùng với 10 mL dịch vi sinh vật. Hỗn hợp được thêm 200 mL dầu đậu nành có chứa 0,2% Tween 80. Nhũ tương sau khi khuấy đều được nhỏ vào 200 mL dung dịch CaCl_2 0,1M. Sau 10 phút ngâm trong dung dịch CaCl_2 , hạt vi bao được vớt ra và rửa với nước muối sinh lý có chứa 5% glycerol. Sản phẩm thu được có mật độ vi khuẩn khoảng 10^9 cfu/mL. Kết quả phân tích cho thấy vi khuẩn được vi bao có khả năng sống sót trong môi trường dạ dày và ruột ở điều kiện mô phỏng tốt hơn so với vi khuẩn tự do.

4. TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG

Oliveira et al. (2022) đã nghiên cứu ứng dụng hạt vi bao chiết xuất polyphenol từ lá cây oliu trong

hamburger thịt cừu. Các tác giả này cũng đã nhận thấy hạt vi bao giúp giảm quá trình oxy hoá chất béo trong thịt và có nhiều tiềm năng thay thế cho natri erythorbate-một chất bảo quản nhân tạo. Nghiên cứu Karimi Sani et al. (2020) đã ứng dụng hạt vi bao tinh dầu tía tô vào sữa chua. Ngoài lợi ích nâng cao khả năng kháng oxy hoá, các mẫu sữa chua có bổ sung hạt vi bao cũng được các cảm quan viên đánh giá tốt về hương vị cảm quan. Tinh dầu được bổ sung vào sữa chua ở dạng vi bao giúp giảm sự giải phóng tự do các hợp chất tinh dầu dễ bay hơi trong quá trình bảo quản sản phẩm. Ứng dụng hạt vi bao tinh dầu tía tô có thể mở ra một hướng đi mới cho việc tạo thực phẩm chức năng.

Một nghiên cứu ứng dụng các hạt vi bao chiết xuất từ cây hương thảo trong bảo quản phô mai tươi cũng được thực hiện bởi Ribeiro et al. (2016). Các tác giả đã nhận thấy các hạt vi bao polyphenol góp phần làm tăng khả năng kháng oxy hoá của mẫu trong quá trình bảo quản mà không làm thay đổi cảm quan của phô mai. Ứng dụng các hạt vi bao vào các sản phẩm thực phẩm giúp ức chế được sự phát triển của vi sinh vật, kiểm soát sự giải phóng các hoạt chất, tăng khả năng kháng oxy hoá các sản phẩm. Đặc biệt, giá trị cảm quan của các sản phẩm bổ sung hạt vi bao cũng không làm thay đổi tính chất của sản phẩm và được người tiêu dùng chấp nhận. Không những ứng dụng trong các sản phẩm thực phẩm, hạt vi bao các chiết xuất còn được ứng dụng để bảo quản các loại nông sản sau thu hoạch (Alikhani-Koupaei et al., 2014; Girardi et al., 2017; Girardi et al., 2018). Ứng dụng hạt vi bao tinh dầu xạ hương (*Thymus vulgaris* L.) và tinh dầu hương thảo (*Rosmarinus officinalis* L.) để bảo quản nấm mỡ tươi đã được thực hiện bởi Alikhani-Koupaei et al. (2014); kết quả cho thấy các hạt vi bao tinh dầu xạ hương và hương thảo đã hạn chế sự mềm của nấm so với các mẫu đối chứng. Hiện tượng này được giải thích là do tinh dầu có thể làm giảm hoạt động các enzyme phân huỷ thành tế bào. Hơn nữa, việc bổ sung các hạt vi bao tinh dầu đã hạn chế sự thất thoát về khối lượng, hạn chế được sự phát triển của sinh vật hiếu khí. Thông tin về kết quả ứng dụng cũng như hình ảnh minh họa của một số sản phẩm thực phẩm có bổ sung hạt vi được trình bày lần lượt trong Bảng 2 và Hình 5.

Bảng 2. Ứng dụng của vi bao giọt tụ trong thực phẩm

Chất được vi bao	Thực phẩm được bổ sung	Tỷ lệ sử dụng	Kết quả chính được công bố	Tài liệu tham khảo
Carotenoid có trong dầu cò	Sữa chua	0,5 g hạt vi bao / 50 mL sữa	Các đánh giá về cảm quan, thành phần hóa lý của sữa chua bổ sung hạt vi bao chưa được đề cập trong nghiên cứu. Hỗn hợp chitosan/pectin có hiệu quả vi bao tốt hơn chitosan/xanthan gum	Rutz et al. (2017)
	Bánh mì	0,5 g hạt vi bao / 80 g bột nhào		
Polyphenol có trong dịch trích lá ô liu	Hamburger thịt cừu	1,12 g /65 g hamburger	Hạt vi bao giúp giảm hiện tượng oxy hóa thịt.	Oliveira et al. (2022)
Dầu tía tô (<i>Melissa officinalis</i>)	Sữa chua	0,75, 1,5 g hạt vi bao / 1 L sữa	Sự chấp nhận về hương vị của người tiêu dùng đối với mẫu sữa chua bổ sung hạt vi bao khác biệt không ý nghĩa so với mẫu không bổ sung.	Karimi Sani et al. (2020)
Dịch trích nhân hạt xoài	Sữa chua	3 g hạt vi bao/100 mL sữa	Bổ sung hạt vi bao không làm thay đổi đáng kể đến hương vị, màu sắc của sữa chua.	Trang & Thiên (2018)
Tinh dầu lá cây <i>Lippia turbinata</i>	Hạt đậu phộng	5000 x ppm/225 g hạt đậu	Các hạt vi bao tinh dầu có thể kiểm soát sự phát triển của <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Eurotium</i> and <i>Fusarium</i> sp trong hạt đậu phộng cũng như sự nảy mầm của hạt.	Girardi et al., (2017)
Tinh dầu hạt cà phê nhân xanh	Nước me	0,69 g hạt /100 g nước quả	Bổ sung hạt vi bao không làm thay đổi tính lưu biến hoặc cảm quan của sản phẩm sau 30 ngày bảo quản tại 5°C.	de Oliveira et al. (2020)
Tinh dầu cỏ xạ hương (<i>Thymus vulgaris</i>)	Bánh bông lan	0,125 và 0,625 g/15 g bột	Đối với mẫu bánh đối chứng, sau 15 ngày bảo quản đã bắt đầu xuất hiện sợi nấm với tổng hàm lượng nấm men và mốc là 1,1 – 1,8 CFU/g). Tuy nhiên, các mẫu bánh bổ sung hạt vi bao thì không có nhiễm men mốc (<1 CFU/ngày).	Gonçalves et al. (2017)
Xylitol và menthol	Kẹo dẻo	6,75 g hạt vi bao /100 g kẹo dẻo	Menthol bổ sung dạng vi bao giúp kẹo có thời gian làm mát lâu hơn so với dạng tự do.	Santos et al. (2014)
Vi khuẩn <i>Lactobacillus casei</i>	Sữa chua	10 x g hạt vi bao/100 mL sữa	Lên men sữa chua bằng hạt vi bao giúp tăng khả năng sống sót của probiotic trong quá trình bảo quản sản phẩm.	Sandoval-Castilla et al. (2010)
Vi bao protein đậu Hà Lan	Nước dừa lười và nước ép lựu	3 g hạt vi bao/200 mL nước quả	Các đánh giá về cảm quan chưa được đề cập trong nghiên cứu.	Narin et al. (2020)

5. KẾT LUẬN

Phương pháp vi bao giọt tụ được ứng dụng cho nhiều đối tượng khác nhau như tinh dầu, dầu động thực vật, dịch trích ly từ thực vật cũng như nấm men rượu và probiotic. Tùy theo từng loại vật liệu lõi khác nhau mà có các loại polymer bao gói thích hợp; nhưng nhìn chung các polymer này có nguồn gốc protein và polysaccharide. Hạt vi bao có khả năng ứng dụng trong nhiều loại sản phẩm thực phẩm khác

nhau như nước trái cây, sản phẩm sữa, bánh ngọt, sản phẩm chế biến từ thịt. Bổ sung hạt vi bao trong công thức chế biến giúp hạn chế sự phát triển của vi sinh vật không mong muốn, quá trình oxy hóa từ đó kéo dài thời gian sử dụng cho sản phẩm. Ngoài ra, bổ sung các hạt vi bao có thể giúp cải thiện hoạt tính sinh học của sản phẩm như khả năng kháng oxy hóa mà không làm biến đổi đáng kể đến chất lượng cảm quan của sản phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Alikhani-Koupaei, M., Mazlumzadeh, M., Sharifani, M., & Adibian, M. (2014). Enhancing stability of essential oils by microencapsulation for preservation of button mushroom during postharvest. *Food Science & Nutrition*, 2(5), 526-533. Doi: 10.1002/fsn3.129
- Barrow, C., Wang, B., Adhikari, B., Liu, & H. (2013). Spray drying and encapsulation of omega-3 oils. In: Jacobsen, C., Nielsen, N.S., Horn, A.F., Sørensen, A.-D.M. (Eds.). *Food Enrichment with Omega-3 Fatty Acid* (194–219). Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK. Doi.org/10.1533/9780857098863.2.194
- Bastos, L. P. H., Vicente, J., dos Santos, C. H. C., de Carvalho, M. G., & Garcia-Rojas, E. E. (2020). Encapsulation of black pepper (*Piper nigrum* L.) essential oil with gelatin and sodium alginate by complex coacervation. *Food Hydrocolloids*, 102, 105605. Doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105605
- da Silva Soares, B., Siqueira, R. P., de Carvalho, M. G., Vicente, J., & Garcia-Rojas, E. E. (2019). Microencapsulation of sachal inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) using complex coacervation: Formation and structural characterization. *Food Chemistry*, 298 (15), 125045. Doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125045.
- de Oliveira, W. Q., Wurlitzer, N. J., de Oliveira Araújo, A. W., Comunian, T. A., Bastos, M. D. S. R., de Oliveira, A. L., Magalhães, H. C. R., Ribeiro, H. L., de Figueiredo, R. W., de Sousa, P. H. M., & de Sousa, P. H. M. (2020). Complex coacervates of cashew gum and gelatin as carriers of green coffee oil: The effect of microcapsule application on the rheological and sensorial quality of a fruit juice. *Food Research International*, 131, 109047. Doi: 10.1016/j.foodres.2020.109047
- Deng, J., Yang, H., Capanoglu, E., Cao, H., & Xiao, J. (2018). Technological aspects and stability of polyphenols. In Galanakis C. (Eds.). *Polyphenols: Properties, recovery, and applications* (295-323). Woodhead Publishing. Doi.org/10.1016/B978-0-12-813572-3.00009-9
- Dima, C., Cotârlet, M., Alexe, P., & Dima, S. (2014). Microencapsulation of essential oil of pimento (*Pimenta dioica* (L) Merr.) by chitosan/k-carrageenan complex coacervation method. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22, 203-211. Doi: 10.1016/j.ifset.2013.12.020.
- Đorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, I., Komes, D., Bugarski, B., & Nedović, V. (2015). Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews*, 7(4), 452-490. Doi: 10.1007/s12393-014-9106-7
- Girardi, N. S., García, D., Passone, M. A., Nesci, A., & Etcheverry, M. (2017). Microencapsulation of *Lippia turbinata* essential oil and its impact on peanut seed quality preservation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 116, 227-233. Doi: 10.1016/j.ibiod.2016.11.003
- Girardi, N. S., Passone, M. A., García, D., Nesci, A., & Etcheverry, M. (2018). Microencapsulation of *Peumus boldus* essential oil and its impact on peanut seed quality preservation. *Industrial Crops and Products*, 114, 108-114. Doi: 10.1016/j.indcrop.2018.01.036
- Gonçalves, N. D., de Lima Pena, F., Sartoratto, A., Derlamelina, C., Duarte, M. C. T., Antunes, A. E. C., & Prata, A. S. (2017). Encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil used as a natural preservative in bakery product. *Food Research International*, 96, 154-160. Doi: 10.1016/j.foodres.2017.03.006
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*, 15(7-8), 330-347. Doi: 10.1016/j.tifs.2003.10.005.
- Hương N. T., Ánh D. H., Vân Ng. T., Việt G. T., Bách Ng. X., Bích T. N. (2012). Nghiên cứu cố định tế bào nấm men ứng dụng trong lên men cồn từ ri đường. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, 50(6), 621-631.
- Jain, A., Thakur, D., Ghoshal, G., Katore, O. P., & Shivhare, U. S. (2016). Characterization of microcapsulated β -carotene formed by complex coacervation using casein and gum tragacanth. *International Journal of Biological Macromolecules*, 87, 101-113. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.01.117
- Karimi Sani, I., Alizadeh Khaledabad, M., Pirsra, S., & Moghaddas Kia, E. (2020). Physico-chemical, organoleptic, antioxidative and release characteristics of flavoured yoghurt enriched with microencapsulated *Melissa officinalis* essential oil. *International Journal of Dairy Technology*, 73(3), 542-551. Doi: 10.1111/1471-0307.12691
- Kourkoutas, Y., Bekatorou, A., Banat, I. M., Marchant, R., & Koutinas, A. A. (2004). Immobilization technologies and support materials suitable in alcohol beverages production: a review. *Food Microbiology*, 21(4), 377-397. Doi: 10.1016/j.fm.2003.10.005.
- Mirzaei, H., Pourjafar, H., & Homayouni, A. (2012). Effect of calcium alginate and resistant starch microencapsulation on the survival rate of *Lactobacillus acidophilus* La5 and sensory

- properties in Iranian white brined cheese. *Food Chemistry*, 132(4), 1966-1970. Doi: 10.1016/j.foodchem.2011.12.033
- Narin, C., Ertugrul, U., Tas, O., Sahin, S., & Oztop, M. H. (2020). Encapsulation of pea protein in an alginate matrix by cold set gelation method and use of the capsules in fruit juices. *Journal of Food Science*, 85(10), 3423-3431. Doi: 10.1111/1750-3841.15433
- Nguyen, D. N., Ton, N. M. N., & Le, V. V. M. (2009). Optimization of *Saccharomyces cerevisiae* immobilization in bacterial cellulose by 'adsorption-incubation' method. *International Food Research Journal*, 16(1), 59-64.
- Oliveira, F. M., Oliveira, R. M., Buchweitz, L. T. G., Pereira, J. R., dos Santos Hackbart, H. C., Nalério, É. S., Borges, C. D., & Zambiasi, R. C. (2022). Encapsulation of olive leaf extract (*Olea europaea* L.) in gelatin/tragacanth gum by complex coacervation for application in sheep meat hamburger. *Food Control*, 131, 108426. Doi: 10.1016/j.foodcont.2021.108426
- Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2(5), 270-278. Doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498
- Pankasemsuk, T., Apichartsrangkoon, A., Worametrachanon, S., & Techarang, J. (2016). Encapsulation of *Lactobacillus casei* 01 by alginate along with hi-maize starch for exposure to a simulated gut model. *Food Bioscience*, 16, 32-36. Doi: 10.1016/j.fbio.2016.07.001
- Ribeiro, A., Caleja, C., Barros, L., Santos-Buelga, C., Barreiro, M. F., & Ferreira, I. C. (2016). Rosemary extracts in functional foods: Extraction, chemical characterization and incorporation of free and microencapsulated forms in cottage cheese. *Food & Function*, 7(5), 2185-2196. Doi: 10.1039/c6fo00270f
- Ribeiro, M. C. E., Chaves, K. S., Gebara, C., Infante, F. N., Grosso, C. R., & Gigante, M. L. (2014). Effect of microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 on physicochemical, sensory and microbiological characteristics of stirred probiotic yoghurt. *Food Research International*, 66, 424-431. Doi: 10.1016/j.foodres.2014.10.019
- Rudke, A. R., Heleno, S. A., Fernandes, I. P., Prieto, M. A., Gonçalves, O. H., Rodrigues, A. E., Ferreira, I. C. F. R., & Barreiro, M. F. (2019). Microencapsulation of ergosterol and *Agaricus bisporus* L. extracts by complex coacervation using whey protein and chitosan: Optimization study using response surface methodology. *LWT*, 103, 228-237. Doi: 10.1016/j.lwt.2019.01.018
- Rutz, J. K., Borges, C. D., Zambiasi, R. C., Crizel-Cardozo, M. M., Kuck, L. S., & Noreña, C. P. (2017). Microencapsulation of palm oil by complex coacervation for application in food systems. *Food Chemistry*, 220, 59-66. Doi: 10.1016/j.foodchem.2016.09.194
- Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., García-Galindo, H. S., Alvarez-Ramírez, J., & Vernon-Carter, E. J. (2010). Textural properties of alginate-pectin beads and survivability of entrapped *Lb. casei* in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *Food Research International*, 43(1), 111-117. Doi: 10.1016/j.foodres.2009.09.010
- Santos, M. G., Carpinteiro, D. A., Thomazini, M., Rocha-Selmi, G. A., da Cruz, A. G., Rodrigues, C. E., & Favaro-Trindade, C. S. (2014). Coencapsulation of xylitol and menthol by double emulsion followed by complex coacervation and microcapsule application in chewing gum. *Food Research International*, 66, 454-462. Doi: 10.1016/j.foodres.2014.10.010
- Stojanovic, R., Belscak-Cvitanovic, A., Manojlovic, V., Komes, D., Nedovic, V., & Bugarski, B. (2012). Encapsulation of thyme (*Thymus serpyllum* L.) aqueous extract in calcium alginate beads. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(3), 685-696. Doi: 10.1002/jsfa.4632
- Timilsena, Y. P., Akanbi, T. O., Khalid, N., Adhikari, B., & Barrow, C. J. (2019). Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121, 1276-1286. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.144.
- Trang, H. T., & Thiên, L. T. (2018). Biến đổi hàm lượng polyphenol vi bao trong quá trình chế biến yaourt. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển*, 17(1), 26-34.
- Wang, B., Adhikari, B., & Barrow, C. J. (2014). Optimisation of the microencapsulation of tuna oil in gelatin-sodium hexametaphosphate using complex coacervation. *Food Chemistry*, 158, 358-365. Doi: /10.1016/j.foodchem.2014.02.135
- Wang, B., Akanbi, T. O., Agyei, D., Holland, B. J., & Barrow, C. J. (2018). Coacervation technique as an encapsulation and delivery tool for hydrophobic biofunctional compounds. In Grumezescu, A. M., & Holban, A. M. (Eds.). *Role of Materials Science in Food Bioengineering* (235-261). Academic Press. Doi.org/10.1016/B978-0-12-811448-3.00007-3
- Zhang, J., Jia, G., Wanbin, Z., Minghao, J., Wei, Y., Hao, J., Liu, X., Gan, Z., Sun, A., & Sun, A. (2021). Nanoencapsulation of zeaxanthin extracted from *Lycium barbarum* L. by complex coacervation with gelatin and CMC. *Food Hydrocolloids*, 112, 106280. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.106280