

Ảnh hưởng của tinh dầu Quế đen trên tính chất kháng khuẩn của màng poly(vinyl alcohol)/agar

Nguyễn Thị Thương

Viện Ứng dụng Công nghệ và Phát triển bền vững, Đại học Nguyễn Tất Thành
nthithuong@ntt.edu.vn

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành kết hợp tinh dầu Quế đen vào màng poly(vinyl alcohol)/agar để cải thiện hoạt tính kháng khuẩn của màng thu được. Tinh dầu quế đen có hoạt tính kháng *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*), *Escherichia coli* (*E. coli*), và *Salmonella typhimurium* là nhờ thành phần cinnamaldehydecó trong tinh dầu. Màng hỗn hợp dựa trên poly(vinyl alcohol)/agar kết hợp với tinh dầu Quế đen được tổng hợp thành công bằng phương pháp tạo màng. Kết quả cho thấy màng thu được có hoạt tính kháng khuẩn dựa trên sự kết hợp của tinh dầu Quế đen, và do đó màng thu được giúp cải thiện chất lượng bao bì trong lĩnh vực bảo quản thực phẩm.

Nhận 09.03.2022
Được duyệt 11.04.2022
Công bố 21.04.2022

Từ khóa

Poly (vinyl alcohol), Agar, Hoạt tính kháng khuẩn, Tinh dầu quế đen

© 2022 Journal of Science and Technology - NTTU

1 Giới thiệu

Polyvinyl alcol (PVA) là sản phẩm của quá trình alcol hóa từ polyvinyl acetate với mật độ cao của nhóm hydroxyl phân bố dọc theo mạch chính, làm cho PVA có tính ưa nước. Gần đây, PVA được sử dụng trong nhiều ứng dụng xử lý nước thải nhờ vào sự hấp phụ cao, tính tương hợp, không độc và có khả năng phân hủy sinh học [1,2]. Tuy nhiên, tính ưa nước đã làm giảm hiệu quả và độ bền của vật liệu trong quá trình xử lý nước thải [3,4]. Gần đây, nhiều phương pháp đã được nghiên cứu để giảm tính ưa nước của PVA như khâu mạng PVA bằng cách sử dụng nhiệt, tác nhân hóa học (glutaraldehyde, glyoxal, axit boric và đất sét) và tác nhân vật lý (sử dụng UV và bức xạ ion) [3,5].

Việc kết hợp agar vào màng PVA nhằm giảm tính ưa nước của nó. Agar là một phức hợp polysaccharit của agarose và agaropectin. Thành phần chính của mạch là β -D-galactopyranose và 3,6-anhydro- α -L-galactopyranose liên kết với nhau bởi liên kết β -1,4 và

α -1,3 Mạch polysaccharit được este hóa ở mức độ thấp với axit sulfuric [7]. Các nghiên cứu trước cũng cho thấy agar như một ứng cử viên trong cải thiện tính chất vật lý của màng PVA [7-9].

Gần đây, xu hướng kết hợp các chất kháng khuẩn tự nhiên vào vật liệu ứng dụng bảo quản thực phẩm đã và đang nhận được nhiều quan tâm của các nhà khoa học [10-14]. Những nghiên cứu trước cho thấy tinh dầu quế có hoạt tính kháng khuẩn chống lại các vi khuẩn như *Stenotrophomonas maltophilia*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Streptococcus oralis*, *Streptococci anginosus*, *Escherichia coli* và *Bacillus subtilis* [15,16]. Các hoạt tính kháng khuẩn và kháng nấm được cho là do các hợp chất phenolic với cấu trúc vòng lặp được chức năng hóa [17].

Nghiên cứu này thực hiện kết hợp tinh dầu Quế đen (TDQĐ) vào màng PVA để tạo ra màng sinh học có hoạt tính kháng khuẩn, nhằm cải thiện chất lượng bao bì trong lĩnh vực bảo quản thực phẩm.

2 Thực nghiệm

2.1 Hóa chất và nguyên liệu

Poly (vinyl alcohol) (M = 160 g/mol, độ thủy phân 86,5 % - 89 %) là sản phẩm thuộc công ty HIMEDIA, Ấn Độ. Agar powder (C₆H₁₀O₅)_n được mua từ Công ty WVP, Pháp. Tinh dầu Qué đen (TDQĐ - *Cinnamomum cassia*) được cung cấp bởi Công ty TNHH Notessen, Việt Nam. Các chủng khuẩn *Staphylococcus aureus* NRRL B-313 (*S. aureus*), *Pseudomonas aeruginosa* NRRL B-14781 (*P. aeruginosa*), *Escherichia coli* NRRL B-409 (*E. coli*), và *Salmonella typhimurium* YS1646 (*S. typhi*) được cung cấp bởi Viện Sinh học Nhiệt đới Tp. Hồ Chí Minh.

2.2 Phương pháp chế tạo màng

Quy trình tổng hợp màng PVA/agar kết hợp với tinh TDQĐ được tổng hợp theo phương pháp bay hơi dung môi đã được mô tả trong nghiên cứu trước của nhóm [14,18]. Đầu tiên, hỗn hợp của dung dịch PVA (5 %, w/v) và dung dịch agar (2,5 %, w/v) được khuấy từ với tốc độ khuấy từ 500 vòng/phút ở nhiệt độ 90 °C cho đến khi agar tan hoàn toàn. Sau đó, 30 % glycerol (w/w, so với khối lượng của tổng chất rắn) với vai trò là chất hóa dẻo, được thêm vào hỗn hợp và khuấy liên tục trong 1 giờ ở 60 °C. Dung dịch polymer sau khi đồng nhất được li tâm trong 1 phút để loại bỏ bọt khí. Sau đó, TDQĐ được thêm vào dung dịch polymer ở các nồng độ 0,5 %; 1 %; 1,5 % (v/v) cùng với 0,25 % (v/v) chất nhũ hóa tween 80 và được siêu âm trong 30 phút ở 60 °C. Trong giai đoạn kế tiếp, dung dịch tạo màng được đổ trên các đĩa petri (đường kính 90 mm) với cùng thể tích (30 mL) để đảm bảo độ dày các màng tạo thành đồng đều. Sau đó, các màng tạo thành được sấy khô ở 40 °C trong 72 giờ và được tách khỏi khuôn bảo quản ở 25 °C. Các màng PVA/agar và PVA/agar chứa 0,5 %; 1 %; 1,5 % (v/v) TDQĐ được chú thích tương ứng PA, PA-0.5, PA-1 và PA-1.5.

2.3 Phương pháp xác định thành phần hóa học TDQĐ

Phương pháp GC-MS được dùng để xác định thành phần các chất có trong mẫu. Thành phần TDQĐ được xác định bằng thiết bị GC Agilent 6890 N với áp lực của cột đầu là 9,3 psi, tốc độ dòng không đổi ở mức

1 mL/min, nhiệt độ đầu phun là 250 °C. Chương trình nhiệt chạy mẫu tinh dầu: 50 °C giữ trong 2 phút sau đó tăng 5 °C /min đến 200 °C tiếp tục tăng 10 °C /min đến 280 °C giữ trong 5 phút. Thành phần TDQĐ được phân tích GC-MS ở Trung tâm Công nghệ Việt - Đức, Trường ĐH Công nghiệp Thực phẩm Tp. HCM.

2.4 Phương pháp đánh giá khả năng kháng khuẩn của TDQĐ

Hoạt tính kháng khuẩn của TDQĐ được đánh giá bằng phương pháp khuếch tán đĩa giấy được báo cáo bởi tác giả Hasan Baydar [19] với một số thay đổi nhỏ. Quy trình được thực hiện như sau: 100 µL dung dịch huyền phù vi khuẩn thử nghiệm gồm *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*), *Escherichia coli* (*E. coli*), và *Salmonella typhimurium* (*S. typhi*) với mật độ khuẩn 2×10^7 CFU/mL được nhỏ vào đĩa môi trường và trải đều trên mặt thạch. Mẫu giấy (Whatman No.) với đường kính 6 mm được thấm 20 µL TDQĐ sau đó được đặt lên trung tâm mặt thạch. Các đĩa petri chứa khuẩn và giấy thấm TDQĐ được đặt vào tủ ủ 37 °C trong 24 giờ. Hoạt tính kháng khuẩn của TDQĐ được đánh giá thông qua đường kính (mm) vòng tròn ức chế. Tất cả mẫu được thực hiện ít nhất 3 lần để lấy giá trị trung bình và sai số.

2.5 Phương pháp đánh giá khả năng kháng khuẩn của màng

Khả năng kháng khuẩn của màng được xác định bằng phương pháp khuếch tán đĩa thạch theo tác giả Bektas Tepe và cộng sự [20] với một số thay đổi nhỏ. Các chủng vi sinh vật thử nghiệm *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. coli* và *S. typhi*, môi trường thạch thường, đĩa petri khử trùng, cồn, các dụng cụ trải khuẩn được chuẩn bị. Màng được cắt thành hình vuông cạnh (1 × 1) cm, sau đó đặt lên bề mặt thạch đã trải khuẩn (sử dụng 100 µL khuẩn có mật độ 2×10^7 CFU/mL), sau đó ủ ở 37 °C trong 24 giờ. Hoạt tính kháng khuẩn của TDQĐ được đánh giá thông qua đường kính (mm) vòng tròn ức chế. Tất cả mẫu được thực hiện 3 lần để lấy giá trị trung bình và sai số. Độ bền khuẩn của màng được kiểm tra 0 ngày và 7 ngày lưu trữ màng ở nhiệt độ phòng (25 °C).

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Thành phần hóa học của TDQĐ

Các thành phần chiếm hàm lượng lớn có TDQĐ sử dụng trong nghiên cứu này được thể hiện trong Bảng 1 bao gồm: trimethylamine (17,45 %), 2-propenal (31 %), cinnamaldehyde (21,73 %), và phenylacrolein (23,97 %). Kết quả cho thấy tinh dầu từ lá và cành Quế đen Ấn Độ có hàm lượng cinnamaldehyde thấp hơn so với tinh dầu Quế Việt Nam (90,08 % Trans-cinnamaldehyde và 4,69 % Trans-cinnamyl acetate) [21] và tinh dầu Quế *Cinnamomum zeylanicum Bark* (71,5 % cinnamaldehyde, 7 % linalool, 6,40 % β -caryophyllene, 5,4 % eucalyptol, và 4,6 % eugenol) [16].

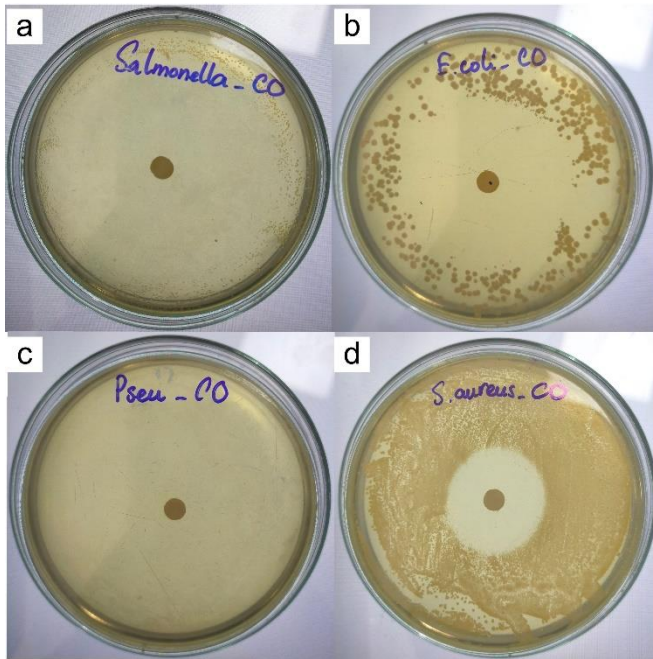
Bảng 1 Thành phần các chất chứa trong TDQĐ

Thành phần	Hàm lượng (%)
Trimethylamine	17,45
Pyranon A	0,65
α -Pinene	0,84
Benzaldehyde	0,22
3-Carene	0,23
Cyclohexene, 4-isopropenyl-1-methoxymethoxymethyl-	0,05
Eucalyptol	0,10
3-Oxo-androsta-1,4-dien-17 β -spiro-2'-3'-oxo-oxetane	0,03
Camphor	0,10
Benzenepropanal	0,05
(Z)-3-Phenylacrylaldehyde	0,28
2-Propenal	31,00
Cinnamaldehyde	21,73
Phenylacrolein	23,97
β -Isosafrole	0,05
Brassicasterol acetate	0,03
α -ylangene	0,09
β -Longipinene	1,27
trans-o-Coumaric acid	0,78
Androstan-17-one, 3-ethyl-3-hydroxy-, (5 α -)	0,11
Retinol, acetate	0,06
β -Guaiene	0,06
Gibberellic acid	0,05

Ergosta-5,22-dien-3-ol, acetate, (3 β ,22E)-	0,09
[5,9-Dimethyl-1-(3-phenyl-oxiran-2-yl)-deca-4,8-dienylidene]-(2-phenylaziridin-1-yl)-amine	0,06
Androstan-17-one, 3-ethyl-3-hydroxy-, (5 α -)	0,15
Benzyl benzoate	0,49

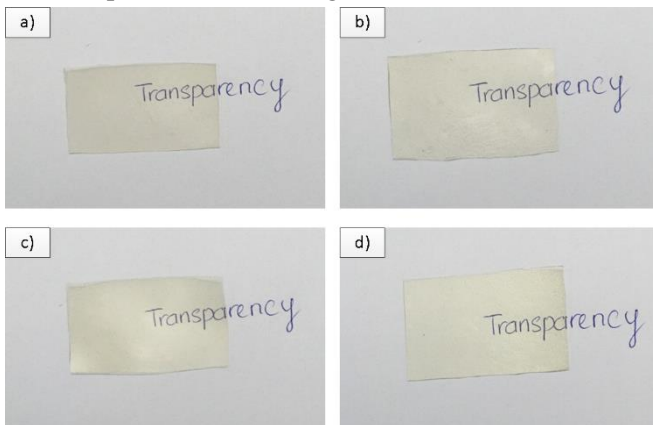
3.2 Hoạt tính kháng khuẩn của TDQĐ

Kết quả kiểm tra khả năng kháng khuẩn của tinh dầu quế bằng phương pháp khuếch tán giấy được thể hiện trong Hình 1. Có thể thấy TDQĐ kháng mạnh đối với *P. aeruginosa* khi không còn quan sát thấy khuẩn lạc trên đĩa thạch chứa giấy thấm tinh dầu (Hình 1c). TDQĐ cũng được tìm thấy có khả năng ức chế đối với *S. typhi*, *E. coli* và *S. aureus* khi bán kính vòng bán khuẩn được ghi nhận tương ứng ($60 \pm 0,7$; $49 \pm 0,14$ và $22,5 \pm 0,35$) mm. Hoạt tính kháng khuẩn cao của tinh dầu quế được cho là do sự tác động của cinnamaldehyde - một phân tử âm điện có thể can thiệp vào quá trình sinh học tế bào, đặc biệt là các chất chứa nitơ như protein và nucleic acid [21]. Cơ chế kháng khuẩn của tinh dầu quế là do ái lực điện tử của nhóm cacbonyl (trong cinnamaldehyde) liên kết với liên kết đôi, điều này đã giúp TDQĐ có thể vượt qua thành tế bào của vi khuẩn và phản ứng với nucleophile, chẳng hạn như protein sulfhydryl và các nhóm amine của vi sinh vật, làm ức chế sự phân chia tế bào và thay đổi cấu trúc lipid dẫn đến ức chế hoạt động của vi khuẩn. Kết quả tương tự cũng được báo cáo từ các nghiên cứu kiểm tra khả năng kháng khuẩn của dầu quế và các loại dầu khác chống lại *S. aureus* và *E. coli* trước đó [16,17,22-25]. Nghiên cứu này tiến hành kết hợp TDQĐ vào màng PVA/agar và tiếp tục khảo sát ưu việt kháng khuẩn của sản phẩm.



Hình 1 Kết quả kháng khuẩn của TDQĐ chống lại *S. typhi* (a), *E. coli* (b), *P. aeruginosa* (c), và *S. aureus* (d)

3.3 Kết quả về chế tạo màng



Hình 2 Ảnh màng a) PA, b) PA-0.5, c) PA-1, và d) PA-1.5

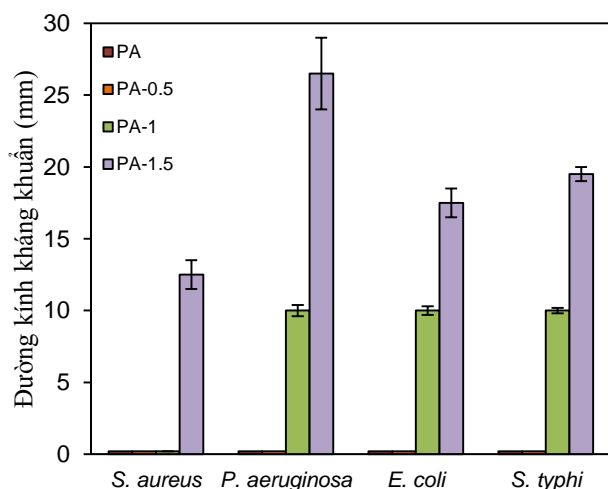
Hình ảnh của các màng được trình bày ở Hình 2. Đối với màng PVA/agar (PA) không chứa TDQĐ (Hình 2a), màng hơi đục, không có bọt khí, màng có độ truyền qua tốt. Khi thêm TDQĐ, màng trong và có độ truyền qua tốt hơn so với màng PA (Hình 2b và Hình 2d). Độ truyền qua đều khá tốt cho cả bốn màng khi có thể quan sát được những dòng chữ bên dưới. Kết quả tăng độ truyền qua của màng khi kết hợp với TDQĐ là do liên kết cộng hóa trị giữa PVA và TDQĐ, điều này dẫn đến giảm sự kết tụ của các giọt dầu trong quá trình làm khô và sự tán xạ ánh sáng

nhìn thấy [26]. Riêng với màng PA-1.5, ta thấy có màu vàng nhạt đặc trưng của TDQĐ đậm hơn so với 2 màng PA-0.5, và PA-1. Kết quả tương tự cũng được báo cáo bởi Gao và các đồng nghiệp [27], khi kết hợp PVA với tinh dầu quế ở các tỉ lệ khác nhau, các màng trở nên vàng hơn và mờ đục hơn. Điều này có thể liên quan đến màu vàng tự nhiên của tinh dầu quế và sự gia tăng phân xạ khuếch tán gây ra bởi sự tán xạ ánh sáng trong các giọt lipid. Độ dày các màng PA, PA-0.5, PA-1 và PA-1.5 tương ứng ($0,21 \pm 0,01$, $0,23 \pm 0,01$, $0,26 \pm 0,00$ và $0,29 \pm 0,00$) mm. Kết quả này cũng tương tự như trong báo cáo trước đây khi quan sát độ dày của màng PVA/gum arabic/chitosan kết hợp với tinh dầu tiêu đen và gừng [28] và màng PVA/tinh bột kết hợp với tinh dầu sả [29]. Điều này có thể được giải thích do sự bẫy những giọt tinh dầu trong mạch polymer [28].

3.4 Hoạt tính kháng khuẩn của màng

Hoạt tính kháng khuẩn là một trong những đặc tính quan trọng nhất khi nói đến màng bao bì thực phẩm hoạt tính. Kết quả kháng khuẩn của *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* và *S. typhi* trong thời gian 24 giờ của các mẫu màng PA có và không có kết hợp với TDQĐ được được trình bày trong Hình 3. Kết quả cho thấy màng PA không có hoạt tính kháng khuẩn. Khi thêm 0,5 % (v/v) TDQĐ, màng PA-0.5 tạo thành vẫn không cho thấy khả năng kháng khuẩn rõ rệt, có thể do hàm lượng tinh dầu thêm vào màng thấp. Tuy nhiên, sự phát triển của tất cả các vi sinh vật bị ức chế mạnh khi sử dụng màng PA kết hợp với TDQĐ ở nồng độ cao hơn (1 % và 1,5 % (v/v)). Đường kính kháng khuẩn tăng dần khi tăng nồng độ TDQĐ, cho thấy khả năng kháng khuẩn của màng phụ thuộc vào nồng độ tinh dầu được thêm vào màng. Sau 24 giờ tiếp xúc, hoạt tính kháng khuẩn mạnh nhất của màng được tìm thấy có khả năng ức chế *P. aeruginosa* (với đường kính kháng khuẩn của PA-1 và PA-1.5 lần lượt là 10 ± 0 và $26,5 \pm 2,5$) mm) và thấp nhất đối với *S. aureus* (với đường kính kháng khuẩn của PA-1 và PA-1.5 là $30,5 \pm 0,7$ và $13,5 \pm 1$) mm trong khi PA-1 không có sự ức chế). Kết quả này cũng phù hợp với những gì quan sát được trong đánh giá khả năng kháng khuẩn của TDQĐ, khi tinh dầu thể hiện sự ức chế mạnh đối với *P. aeruginosa* và thấp nhất đối với *S. aureus*. Như vậy, khi

kết hợp 1,5 % (v/v) TDQĐ, màng thu được có khả năng kháng khuẩn cao cho cả 4 vi sinh vật *P. aeruginosa*, *S. Typhi*, *E. Coli* và *S. aureus*. Kết quả kháng khuẩn của màng PA kết hợp với TDQĐ được tìm thấy tương tự và thậm chí cao hơn so với màng PVA/gum arabic/chitosan kết hợp với tinh dầu tiêu đen và gừng [28], PVA/nanocellulose/nano Ag [30] và màng PVA/cellulose [31]. Ngoài ra, độ bền khuẩn của màng cũng được kiểm tra đối với màng ngay sau khi tổng hợp và sau 7 ngày lưu trữ ở nhiệt độ phòng (25 °C).



Hình 3 Kết quả kháng khuẩn của màng

Kết quả cho thấy có sự phát triển khuẩn tăng mạnh đối với màng PA-0.5 và PA-1 trong khi khả năng ức chế của màng PA-1.5 đối với *P. aeruginosa*, *S. Typhi*, *E. Coli* và *S. Aureus* giảm nhẹ tương ứng (18,87; 28,2;

5,4 và 7,4) % sau 7 ngày lưu trữ màng ở nhiệt độ phòng (25 °C). Điều này là do nồng độ TDQĐ trong màng PA-1.5 chiếm cao nhất 1,5 % (v/v). Như vậy, màng PA kết hợp với 1,5 % (v/v) TDQĐ thể hiện khả năng kháng khuẩn tốt nhất và có thể duy trì sau 7 ngày lưu trữ ở nhiệt độ phòng (25 °C).

4 Kết luận

TDQĐ sử dụng trong nghiên cứu này có 21,73 % hàm lượng cinnamaldehyde và cho thấy khả năng kháng khuẩn mạnh chống lại *P. aeruginosa*, *E. coli*, *S. typhi* và *S. aureus*. TDQĐ được kết hợp vào màng PVA/agar và kết quả đánh giá sơ bộ cho thấy màng hỗn hợp chứa 1% (v/v) cho sự tương hợp tốt nhất. Màng PA kết hợp với 1,5 % (v/v) TDQĐ cho khả năng kháng khuẩn mạnh đối với bốn chủng khuẩn được sắp xếp theo thứ tự giảm dần *P. aeruginosa* > *S. typhi* > *E. coli* > *S. aureus*. Ngoài ra, kết quả đánh giá độ bền khuẩn cũng cho thấy hoạt tính kháng khuẩn của màng PA-1.5 giảm nhẹ sau 7 ngày lưu trữ ở 25 °C. Như vậy, nghiên cứu thành công màng có hoạt tính kháng khuẩn dựa trên polyvinyl alcohol/agar kết hợp với TDQĐ, và được kỳ vọng như vật liệu bao bì đầy tiềm năng trong bảo quản thực phẩm.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí của đề tài cấp Trường ĐH Nguyễn Tất Thành, Mã số: 2021.01.142/HĐ-KHCN.

Tài liệu tham khảo

- Shalla, A. H., Bhat, M. A. & Yaseen, Z. (2018). *Hydrogels for removal of recalcitrant organic dyes: A conceptual overview*. J. Environ. Chem. Eng. 6, 5938–5949.
- Li, W., Mu, B. & Yang, Y. (2019). *Feasibility of industrial-scale treatment of dye wastewater via bio-adsorption technology*. Bioresour. Technol. 277, 157–170.
- Vutskits, L. et al. (2008). *Adverse Effects of methylene blue on the central nervous system*. Anesthesiology 108, 684–692
- Agarwal, S. et al. (2016). *Efficient removal of toxic bromothymol blue and methylene blue from wastewater by polyvinyl alcohol*. J. Mol. Liq. 218, 191–197.
- Zhao, R. et al. *Water-insoluble sericin/ β -cyclodextrin/PVA composite electrospun nanofibers as effective adsorbents towards methylene blue*. Colloids Surf. B 136, 375–382.
- Figueiredo, K. C. S., Alves, T. L. M. & Borges, C. P. (2015). *Poly(vinyl alcohol) films crosslinked by glutaraldehyde under mild conditions*. J. Appl. Polym. Sci. 111, 3074–3080 (2009).

7. Madera-Santana, T. J., Freile-Peigrín, Y. & Azamar-Barrios, J. A. (2014). *Physicochemical and morphological properties of plasticized poly(vinyl alcohol)-agar biodegradable films*. *Int. J. Biol. Macromol.* 69, 176–184.
8. Madera-Santana, T. J., Robledo, D. & Freile-Peigrín, Y. (2011). *Physicochemical Properties of Biodegradable Polyvinyl Alcohol-Agar films from the red Algae *Hydropuntia cornea**. *Mar. Biotechnol.* 13, 793–800.
9. Lyons, J. G., Geever, L. M., Nugent, M. J. D., Kennedy, J. E. & Higginbotham, C. L. (2009). *Development and characterisation of an agar-polyvinyl alcohol blend hydrogel*. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* 2, 485–493.
10. Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Rezaei Mokarram, R. & Hashemi, M. (2017). *Novel active packaging based on carboxymethyl cellulose-chitosan-ZnO NPs nanocomposite for increasing the shelf life of bread*. *Food Packag. Shelf Life* 11, 106–114.
11. Bonilla, J., Vargas, M., Atarés, L. & Chiralt, A. (2011). *Physical properties of chitosan-basil essential oil edible films as affected by oil content and homogenization conditions*. *Procedia Food Sci.* 1, 50–56.
12. Ge, X. et al. (2018). *Hexagonal boron nitride/microfibril cellulose/poly(vinyl alcohol) ternary composite film with thermal conductivity and flexibility*. *Materials (Basel)*. 12, 104–115.
13. Nguyen, T. T. et al. (2021). *Development of antibacterial, antioxidant, and uv-barrier chitosan film incorporated with piper betle linn oil as active biodegradable packaging material*. *Coatings* 11,3, 35.
14. Bui, Q. T. P., Nguyen, T. T., Nguyen, L. T. T., Kim, S. H. & Nguyen, H. N. (2021). *Development of ecofriendly active food packaging materials based on blends of cross-linked poly (vinyl alcohol) and Piper betle Linn. leaf extract*. *J. Appl. Polym. Sci.* 138, 50974.
15. Oussalah, M., Caillet, S., Saucier, L. & Lacroix, M. (2007). *Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E. coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes**. *Food Control* 18, 414–420.
16. Huang, D. F., Xu, J.-G., Liu, J.-X., Zhang, H. & Hu, Q. P. (2014). *Chemical constituents, antibacterial activity and mechanism of action of the essential oil from *Cinnamomum cassia* bark against four food-related bacteria*. *Microbiology* 83, 357–365.
17. Kačaniová, M. et al. (2021). *Antimicrobial and antioxidant activities of *Cinnamomum cassia* essential oil and its application in food preservation*. *Open Chem.* 19, 214–227.
18. Nguyen, T. T. et al. (2021). *Removal of cationic dye using polyvinyl alcohol membrane functionalized by D-glucose and agar*. *J. of Water Pro. Engineer.* 40, 4, 101982.
19. Baydar, H., Sağdıç, O., Özkan, G. & Karadoğan, T. (2004). *Antibacterial activity and composition of essential oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* species with commercial importance in Turkey*. *Food Control* 15, 169–172.
20. Tepe, B., Daferera, D., Sokmen, A., Sokmen, M. & Polissiou, M. (2005). *Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and various extracts of *Salvia tomentosa* Miller (Lamiaceae)*. *Food Chem.* 90, 333–340.
21. Tongdeesontorn, W., Mauer, L. J., Wongruong, S., Sriburi, P. & Rachtanapun, P. (2011). *Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films*. *Chem. Cent. J.* 5, 1, 1–8.
22. Wu, J., Sun, X., Guo, X., Ge, S. & Zhang, Q. (2017). *Physicochemical properties, antimicrobial activity and oil release of fish gelatin films incorporated with cinnamon essential oil*. *Aquac. Fish.* 2, 185–192.
23. Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H. & Hosseini, S. M. H. (2010). *Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water*. *Food Chem.* 122, 161–166.
24. Xu, T. et al. (2018). *Retention and release properties of cinnamon essential oil in antimicrobial films based on chitosan and gum arabic*. *Food Hydrocoll.* 84, 84–92.
25. Ma, Q. et al. (2015). *Physical, mechanical, and antimicrobial properties of chitosan films with microemulsions of cinnamon bark oil and soybean oil*. *Food Hydrocoll.* 52, 533–542.

26. Villalobos, R., Chanona, J., Hernández, P., Gutiérrez, G. & Chiralt, A. (2005). *Gloss and transparency of hydroxypropyl methylcellulose films containing surfactants as affected by their microstructure*. Food Hydrocoll. 19, 53–61.
27. Gao, H. & Yang, H. (2017). *Characteristics of poly(vinyl alcohol) films crosslinked by cinnamaldehyde with improved transparency and water resistance*. J. Appl. Polym. Sci. 134, 1–8.
28. Amalraj, A., Haponiuk, J. T., Thomas, S. & Gopi, S. (2020). *Preparation, characterization and antimicrobial activity of polyvinyl alcohol/gum arabic/chitosan composite films incorporated with black pepper essential oil and ginger essential oil*. Int. J. Biol. Macromol. 151, 366–375.
29. Chen, Z., Zong, L., Chen, C. & Xie, J. (2020). *Development and characterization of PVA-Starch active films incorporated with β -cyclodextrin inclusion complex embedding lemongrass (*Cymbopogon citratus*) oil*. Food Packag. Shelf Life 26, 100565.
30. Sarwar, M. S., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Ahmad, T. & Hussain, A. (2018). *Preparation and characterization of PVA/nanocellulose/Ag nanocomposite films for antimicrobial food packaging*. Carbohydr. Polym. 184, 453–464.
31. Hu, D. & Wang, L. (2016). *Physical and antibacterial properties of polyvinyl alcohol films reinforced with quaternized cellulose*. J. Appl. Polym. Sci. 133, 1–8.

Effect of *black cinnamon* essential oil on the antibacterial activity of Polyvinyl alcohol/agar film

Nguyen Thi Thuong

Institute of Applied Technology and Sustainable Development, Nguyen Tat Thanh University
nthithuong@ntt.edu.vn

Abstract The aim of this study is to incorporate *black cinnamon* essential oil onto the polyvinyl alcohol /agar film to enhance the antibacterial activity of the resulting films. The polyvinyl alcohol/agar films loaded with *black cinnamon* essential oil were successfully synthesized via facile casting method. The result reveals that *black cinnamon* essential oil has great antibacterial properties against *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*), *Escherichia coli* (*E. coli*), and *Salmonella typhimurium* due to the presence of cinnamaldehyde. It is found that as-prepared blend film has bactericidal activity when incorporated with *black cinnamon* and the best inhibitory efficiency is observed on *P. aeruginosa* bacteria. Furthermore, it can be seen that the higher the oil concentration is, the greater antibacterial activity of as-prepared film is. Hence, it can be concluded that polyvinyl alcohol/agar film containing *black cinnamon* oil is considered a potentially promising material, ideally suitable for food packaging application.

Keywords Poly (vinyl alcohol), Agar, Antimicrobial activity, *black cinnamon* essential oil.