

HOẠT TÍNH KHÁNG NẤM *Botrytis cinerea* CỦA TINH DẦU LÁ TRẦU KHÔNG (*Piper betle* L.) VÀ ỨNG DỤNG HỆ MÀNG BAO TINH BỘT SINH HỌC TRONG BẢO QUẢN TRÁI DÂU TÂY

Mạc Thị Hà Thanh¹, Đặng Quang Anh¹, Nguyễn Ngọc Hoan¹, Đào Ngọc Yến Bình¹, Bùi Thị Châu¹,
Ngô Nguyễn Như Quỳnh¹, Ngô Thái Bích Vân¹, Võ Văn Quốc Bảo^{2*}

¹ Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

² Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Võ Văn Quốc Bảo <vvqbao@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 26-05-2026; Hoàn thành phản biện: 13-06-2026; Ngày chấp nhận đăng: 16-06-2026)

Tóm tắt. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá hoạt tính kháng nấm của tinh dầu lá Trầu không (*Piper betle* L.) đối với nấm *Botrytis cinerea* và khả năng ứng dụng trong bảo quản trái Dâu tây sau thu hoạch thông qua màng bao tinh bột chứa tinh dầu. Kết quả cho thấy tinh dầu lá Trầu không có hoạt tính kháng nấm *Botrytis cinerea* rõ rệt, thể hiện qua đường kính vòng vô khuẩn đạt $20,0 \pm 1,8$ mm, nồng độ ức chế nấm tối thiểu (MIC) là 1/8% và nồng độ diệt nấm tối thiểu (MFC) đối với *Botrytis cinerea* là 0,5%. Trong thử nghiệm bảo quản, trái Dâu tây được xử lý bằng màng tinh bột tích hợp tinh dầu ở các nồng độ 0, 0,5, 1,0 và 1,5% và theo dõi trong 8 ngày ở nhiệt độ phòng. Đến ngày thứ 8, nghiệm thức chứa 1,0 và 1,5% tinh dầu có tỉ lệ nhiễm nấm mốc thấp hơn so với đối chứng (tương ứng 7,1, 6,4 và 46,5%); hao hụt khối lượng giảm còn 11,23% và 10,27% (đối chứng 17,61%), trong khi độ cứng quả và hàm lượng chất rắn hòa tan duy trì ở mức lần lượt là 13,85–14,23 N và 10,01–10,31%. Điều này cho thấy màng bao tinh bột sinh học chứa 1,0–1,5% tinh dầu tạo hệ rào cản kép, ức chế hiệu quả sự nảy mầm của nấm mốc và cho hiệu quả bảo quản tốt hơn so với đối chứng và màng tinh bột không chứa tinh dầu. Tổng hợp các chỉ tiêu vi sinh, hóa sinh, cảm quan và trạng thái bề mặt cho thấy màng bao tinh bột chứa 1,0% tinh dầu lá Trầu không là công thức phù hợp nhất cho mục tiêu bảo quản tổng thể trái Dâu tây sau thu hoạch.

Từ khoá: tinh dầu lá Trầu không, *Botrytis cinerea*, trái Dâu tây, màng bao tinh bột, bảo quản sau thu hoạch

Antifungal activity of *Piper betle* L. leaf essential oil against *Botrytis cinerea* and the application of a biodegradable starch-based coating system for strawberry preservation

Mac Thi Ha Thanh¹, Dang Quang Anh¹, Nguyen Ngoc Hoan¹, Dao Ngoc Yen Binh¹, Bui Thi Chau¹,
Ngo Nguyen Nhu Quynh¹, Ngo Thai Bích Vân¹, Vo Van Quoc Bao^{2*}

¹ The University of Danang - University of Science and Technology, Da Nang, Vietnam

² University of Agriculture and Forestry, Hue University, Hue, Vietnam

* Correspondence to Vo Van Quoc Bao <vvqbao@hueuni.edu.vn>

(Received: 26 May 2026; Revised: 13 June 2026; Accepted: 16 June 2026)

Abstract. This study was conducted to evaluate the antifungal efficacy of Betel leaf essential oil against *Botrytis cinerea* and to investigate its potential application in postharvest preservation of strawberries through starch-based edible coatings enriched with essential oil. The results demonstrated that Betel leaf essential oil exhibited pronounced antifungal activity, as evidenced by an inhibition zone diameter of 20.0 ± 1.8 mm, a minimum inhibitory concentration of 1/8% and a minimum fungicidal concentration of 0.5%. In the preservation experiments, strawberries were coated with the starch-based films containing essential oil at concentrations of 0, 0.5, 1.0, and 1.5% and stored at ambient temperature for 8 days. By day 8, the treatments containing 1.0 and 1.5% essential oil showed significantly lower mould incidence than the control (7.1 and 6.4 vs. 46.5%), a weight loss reduction to 11.23 and 10.27% (control 17.61%), while fruit firmness and total soluble solids were maintained at 13.85–14.23 N and 10.01–10.31%, respectively. The findings revealed that the bioactive starch-based coat containing 1.0–1.5% essential oil established a dual-barrier preservation system, effectively suppressing mould development and therefore providing better preservation than the control and the starch-based coat without essential oil. In terms of microbiological, physicochemical, sensory, and surface quality attributes, the starch-based film containing 1.0% Betel leaf essential oil represented the optimal formulation for comprehensive postharvest preservation of strawberries.

Keywords: Betel leaf essential oil, *Botrytis cinerea*, strawberry, starch coating, postharvest preservation

1 Mở đầu

Dâu tây (*Fragaria × ananassa*) là một trong những loại quả mọng có giá trị kinh tế và dinh dưỡng cao, được người tiêu dùng trên toàn thế giới ưa chuộng nhờ hương vị đặc trưng và hàm lượng dồi dào các hợp chất sinh học, đặc biệt là acid ascorbic và các chất chống oxy hóa [1]. Tuy nhiên, với đặc tính sinh lý là loại quả có cấu trúc mô mềm, lớp biểu bì mỏng và hàm lượng nước cao, Dâu tây cực kỳ mẫn cảm với các tổn thương cơ học và sự tấn công của vi sinh vật sau thu hoạch [2]. Trong số các tác nhân gây bệnh, nấm mốc xám *Botrytis cinerea* được xem là nguyên nhân cốt lõi gây ra những tổn thất kinh tế nặng nề nhất đối với chuỗi cung ứng trái Dâu tây trên toàn cầu [3]. Bào tử *Botrytis cinerea* có thể lây nhiễm từ giai đoạn đồng ruộng, tiềm ẩn trong cấu trúc hoa và bùng phát mạnh mẽ ngay cả ở điều kiện bảo quản lạnh, làm quả thối nhũn và hủy hoại hoàn toàn giá trị thương phẩm của quả [4].

Trong nhiều thập kỷ, việc kiểm soát bệnh thối xám chủ yếu phụ thuộc vào các loại thuốc trừ nấm tổng hợp hóa học. Mặc dù mang lại hiệu quả tức thời, hóa chất, nếu lạm dụng, sẽ dẫn đến sự tích lũy dư lượng độc hại trên bề mặt nông sản, gây ô nhiễm môi trường và làm gia tăng sự xuất

hiện của các chủng nấm kháng thuốc [5, 6]. Trước áp lực từ các quy định an toàn thực phẩm ngày càng khắt khe và xu hướng tiêu dùng xanh, việc phát triển các giải pháp bảo quản sinh học (bio-preservation) an toàn, thân thiện với môi trường đang trở thành ưu tiên hàng đầu trong công nghệ sau thu hoạch [7].

Trong bối cảnh đó, màng bao sinh học cấu tạo từ các biopolymer tự nhiên như tinh bột, chitosan, hay alginate đang nhận được sự quan tâm đặc biệt. Tinh bột, với nhiều ưu điểm như giá thành thấp và khả năng tạo màng tốt, có thể hình thành một rào cản bán thấm trên bề mặt quả [8]. Lớp màng này giúp kìm hãm tốc độ hô hấp, giảm thiểu sự khuếch tán hơi nước và kìm hãm các biến đổi sinh lý sau thu hoạch [9]. Tuy nhiên, bản thân màng tinh bột thuần lại thiếu các đặc tính kháng vi sinh vật, khiến khả năng bảo vệ quả trước sự xâm nhiễm của nấm bệnh bị hạn chế nghiêm trọng [10]. Để khắc phục nhược điểm này, chiến lược tích hợp các hợp chất sinh học có hoạt tính như tinh dầu thực vật vào polymer nền đang được xem là một hướng đi đột phá [11].

Tinh dầu lá Trầu không (*Piper betle* L.), một loại cây dược liệu bản địa phổ biến tại Việt Nam và Đông Nam Á, đã được y học cổ truyền và y học hiện đại chứng minh có phổ kháng khuẩn và

kháng nấm cực kỳ mạnh mẽ [11, 12]. Hoạt tính sinh học của tinh dầu lá Trầu không là kết quả của sự có mặt dồi dào của các hợp chất phenol kỵ nước như eugenol, chavibetol và hydroxylchavicol [13]. Các nghiên cứu *in vitro* gần đây đã cho thấy rằng các dẫn xuất của eugenol có khả năng tương tác trực tiếp, làm gián đoạn hệ ergosterol trên màng tế bào của *Botrytis cinerea*, dẫn đến rò rỉ ion nội bào và gây hoại tử bào tử nấm [14, 15].

Mặc dù tiềm năng của tinh dầu lá Trầu không là rất lớn, việc ứng dụng trực tiếp chúng lên nông sản bị cản trở do tính kỵ nước cao, tính dễ bay hơi, độ nhạy với ánh sáng và đặc biệt là nguy cơ gây độc tính quang học hoặc làm biến đổi hương vị bản địa của quả nếu sử dụng ở nồng độ không phù hợp [16]. Việc nhũ hóa tinh dầu và phân tán chúng vào mạng lưới màng tinh bột không chỉ giải quyết được vấn đề hòa tan mà còn tạo ra cơ chế giải phóng có kiểm soát, duy trì nồng độ chất kháng nấm hiệu quả trên bề mặt quả trong suốt chu kỳ lưu trữ [17].

Các công bố hiện có về lá Trầu không vẫn chủ yếu tập trung vào đặc điểm hóa học, hoạt tính sinh học tổng quát hoặc ứng dụng trên các loại thực phẩm và trái cây khác nhau; dữ liệu trực tiếp về việc sử dụng tinh dầu lá Trầu không trong màng bao tinh bột để kiểm soát nấm *Botrytis cinerea* và duy trì chất lượng trái Dâu tây sau thu hoạch vẫn còn hạn chế [18]. Từ những thực tiễn đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá hoạt tính kháng nấm *in vitro* của tinh dầu lá Trầu không đối với *Botrytis cinerea* và khảo sát hiệu quả của màng bao tinh bột chứa tinh dầu lá Trầu không trong bảo quản trái Dâu tây sau thu hoạch thông qua các chỉ tiêu hư hỏng, nấm mốc, hao hụt khối lượng, hóa sinh và cảm quan.

2 Vật liệu và phương pháp

2.1 Vật liệu

Tinh dầu lá Trầu không được chiết xuất bằng phương pháp chưng cất lôi cuốn hơi nước từ nguồn nguyên liệu thu hái tại Thành phố Đà Nẵng.

Trái Dâu tây (*Fragaria × ananassa*) được tuyển chọn kỹ lưỡng từ Hợp tác xã Dịch vụ nông nghiệp tổng hợp Liên Hằng (phân phối cho hệ thống siêu thị GO Đà Nẵng). Quả được chọn có độ chín đồng đều (75–85% bề mặt quả chuyển màu đỏ đặc trưng), kích thước đồng nhất, không bị tổn thương cơ học hay có dấu hiệu lây nhiễm vi sinh vật.

Chủng nấm mốc gây bệnh thối xám *Botrytis cinerea*, đối tượng kiểm định, được cung cấp từ Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, Đại học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh. Tất cả các hóa chất, dung môi và môi trường nuôi cấy (PDA và PDB) sử dụng trong nghiên cứu đều đạt tiêu chuẩn phân tích.

2.2 Đánh giá hoạt tính kháng nấm của tinh dầu

Phương pháp khuếch tán giếng thạch

Botrytis cinerea được nuôi cấy trong môi trường PDB ở nhiệt độ phòng để thu huyền phù nấm, sau đó trải đều 100 μ L dịch nấm lên bề mặt đĩa PDA với độ dày khoảng 4 mm. Các giếng thạch đường kính 6 mm được tạo trên bề mặt môi trường và nạp 50 μ L tinh dầu nguyên chất vào mỗi giếng. Đĩa được để ở nhiệt độ phòng trong 2 giờ, sau đó ủ trong tối ở nhiệt độ phòng trong 3 ngày. Hoạt tính kháng nấm được đánh giá thông qua đường kính vòng vô khuẩn (ZOI) theo công thức:

$$\text{ZOI(mm)} = D - d$$

trong đó D là đường kính vòng vô khuẩn và d là đường kính giếng thạch.

Xác định nồng độ ức chế tối thiểu (MIC, Minimum Inhibitory Concentration)

Tiến hành bằng phương pháp vi loãng trong môi trường lỏng trên đĩa 96 giếng. Tinh dầu được pha loãng bậc 2 trong môi trường PDB (chứa 0,5% Tween 80 để tăng độ phân tán) nhằm tạo dãy nồng độ từ 4% giảm dần xuống 1/64%. Mỗi giếng gồm 50 μ L dịch nấm và 50 μ L dung dịch tinh dầu ở nồng độ tương ứng. Các giếng đối chứng chỉ chứa môi trường PDB và tinh dầu ở các nồng độ tương ứng để kiểm soát độ vô trùng. Đĩa được ủ ở nhiệt độ phòng trong 5 ngày. MIC là nồng độ thấp nhất của tinh dầu mà tại đó không quan sát thấy sự phát triển của nấm trong giếng.

Xác định nồng độ diệt nấm tối thiểu (MFC, Minimum Fungicidal Concentration)

Từ các giếng không quan sát thấy sự phát triển của nấm trong thí nghiệm MIC, hút 100 μ L dịch nuôi cấy đã được ủ với tinh dầu có nồng độ tương ứng 1xMIC, 2xMIC và 4xMIC, sau đó cấy trải lên bề mặt môi trường PDA. Các đĩa được ủ ở nhiệt độ phòng trong tối và theo dõi sự mọc lại của nấm. MFC là nồng độ thấp nhất của tinh dầu không cho nấm phát triển trở lại trên môi trường thạch.

2.3 Chuẩn bị lớp bao tinh bột chứa tinh dầu lá Trầu không

Lecithin được sử dụng làm chất nhũ hóa. Cân 2,0 g lecithin, hòa tan trong nước cất và gia nhiệt ở 40–50 °C, sau đó khuấy từ ở tốc độ 800 vòng/phút trong 15–20 phút. Tinh dầu lá Trầu không được bổ sung từ từ vào dung dịch lecithin theo tỷ lệ tương ứng với từng nghiệm thức để tạo nhũ tương tinh dầu – lecithin. Dung dịch tạo màng được pha bằng cách phân tán 5,0 g tinh bột trong nước cất, gia nhiệt ở 80 °C trong 30 phút và khuấy liên tục (1000 vòng/phút) để hồ hóa hoàn toàn. Sau khi làm nguội xuống 40–50°C, bổ sung sorbitol 1% làm chất hóa dẻo. Cuối cùng, nhũ tương tinh dầu – lecithin được phối trộn từ từ vào

nền tinh bột – sorbitol và khuấy liên tục; dịch màng đồng nhất là chế phẩm tinh bột chứa tinh dầu lá Trầu không (TB-TDT). Công thức lớp bao được xây dựng theo bốn mức nồng độ tinh dầu: 0, 0,5, 1,0 và 1,5%.

2.4 Bố trí thí nghiệm bảo quản trái Dâu tây

Thí nghiệm gồm 5 nghiệm thức: đối chứng (không xử lý), màng nền không chứa tinh dầu (0%) và các màng chứa tinh dầu ở nồng độ 0,5, 1,0 và 1,5%. Mỗi nghiệm thức được bố trí 15 trái/1 lần lặp, với 3 lần lặp độc lập, tương đương khoảng 0,7–0,9 kg mẫu ban đầu cho mỗi nghiệm thức. Trái Dâu tây được nhúng trong dung dịch lớp bao tương ứng, để ráo tự nhiên, sau đó bảo quản ở nhiệt độ phòng (30 $\pm$ 2 °C), độ ẩm không khí 75–80%, trong điều kiện thông thoáng và hạn chế nhiễm chéo. Các mẫu được theo dõi ở các thời điểm 0, 2, 4, 6 và 8 ngày bảo quản. Thí nghiệm kết thúc khi quả có dấu hiệu hư hỏng rõ rệt và không còn giá trị cảm quan.

2.5 Các chỉ tiêu đánh giá chất lượng sau thu hoạch

Tỷ lệ nấm mốc được xác định bằng quan sát trực tiếp tại từng thời điểm bảo quản. Quả được xem là nhiễm nấm khi xuất hiện sợi nấm hoặc đốm mốc nhìn thấy được trên bề mặt. Tỷ lệ nấm mốc được tính theo công thức:

$$T_{nm} (\%) = n/N \times 100$$

trong đó T_{nm} là tỷ lệ nấm mốc (%); n là số trái có nấm mốc; N là tổng số trái theo dõi.

Hao hụt khối lượng được xác định bằng cân kỹ thuật với độ chính xác 0,01 g tại các thời điểm bảo quản. Tỷ lệ hao hụt khối lượng được tính theo công thức:

$$M (\%) = (a - b)/a \times 100$$

trong đó M là hao hụt khối lượng (%); a là khối lượng ban đầu của mẫu (g); b là khối lượng mẫu tại thời điểm phân tích (g).

Độ cứng của quả được xác định bằng thiết bị đo lực Lutron FR-5120-3, sử dụng đầu dò hình trụ đường kính 3 mm. Trên mỗi trái Dâu tây, tiến hành đo ngẫu nhiên tại ba vị trí khác nhau trên bề mặt quả; kết quả được lấy trung bình và biểu thị bằng Newton (N).

Đánh giá cảm quan do một hội đồng gồm 9 thành viên đã qua huấn luyện thực hiện. Chất lượng cảm quan của trái Dâu tây được đánh giá theo thang điểm 10 với các tiêu chí màu sắc, mùi, trạng thái bề mặt; cấu trúc được mô tả cụ thể từ tươi tốt đến hư hỏng hoàn toàn.

Hàm lượng vitamin C được xác định bằng phương pháp chuẩn độ oxy hóa khử, sử dụng dung dịch iod chuẩn và hồ tinh bột 1% làm chất chỉ thị.

Tổng chất rắn hòa tan (TSS) được xác định bằng khúc xạ kế và biểu thị bằng độ Brix (%).

2.6 Xử lý số liệu

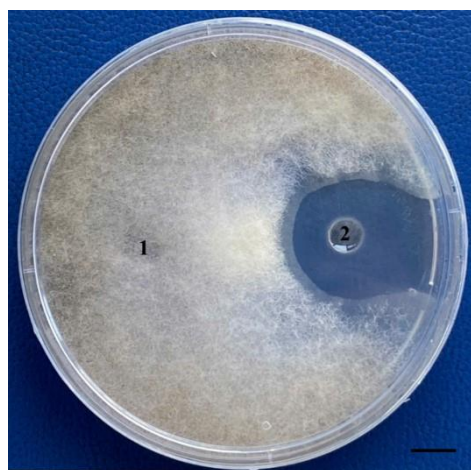
Số liệu được xử lý bằng phần mềm Minitab 22. Phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) một nhân tố được áp dụng để đánh giá sự khác biệt tổng thể. Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các giá trị trung bình của ba lần lặp lại cho mỗi nghiệm thức được kiểm định hậu nghiệm bằng kiểm định Tukey; các nghiệm thức có cùng chữ cái ký hiệu a, b, c, ... cho biết đại lượng không khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức tin cậy 95% ($p < 0,05$).

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Hoạt tính kháng nấm *Botrytis cinerea* của tinh dầu lá Trầu không

Khả năng ức chế nấm mốc xám *Botrytis cinerea* của tinh dầu lá Trầu không được minh chứng rõ nét qua thử nghiệm khuếch tán giếng thạch (Hình 1). Tinh dầu nguyên chất tạo ra vùng ức chế mạnh mẽ với đường kính vòng vô khuẩn đạt $20,0 \pm 1,8$ mm. Kết quả này chứng tỏ chủng

nấm mốc xám nhạy với tinh dầu lá Trầu không khảo sát và cho thấy tinh dầu có tiềm năng ứng dụng như một tác nhân kháng nấm tự nhiên trong bảo quản trái Dâu tây sau thu hoạch. *Botrytis cinerea* là tác nhân gây mốc xám rất lớn trên quả tươi sau thu hoạch, vì vậy khả năng ức chế được ghi nhận trong nghiên cứu này có giá trị thực tiễn rõ rệt [15].



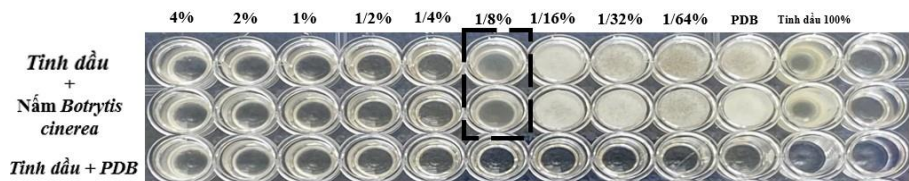
Hình 1. Kết quả khuếch tán đĩa nấm *Botrytis cinerea* (1): Thuốc kháng nấm thương mại Ibisol (Medisun); (2): Tinh dầu lá Trầu không; thanh kích thước: 1 cm

Kết quả vi pha loãng cho thấy tinh dầu lá Trầu không ức chế hoàn toàn sự phát triển quan sát được của *Botrytis cinerea* ở nồng độ ức chế tối thiểu MIC = 1/8% (Hình 2). Các mẫu không ghi nhận sự phát triển của nấm trong thử nghiệm MIC. được cấy chuyển trên môi trường thạch PDA và ủ trong 5 ngày (Hình 3). Kết quả cho thấy nấm vẫn có khả năng phục hồi sinh trưởng ở nồng độ thấp hơn 1/2%, trong khi không quan sát thấy sự hình thành khuẩn lạc ở nồng độ 4xMIC (1/2%). Do đó, nồng độ diệt nấm tối thiểu của tinh dầu lá Trầu không đối với *Botrytis cinerea* được xác định là 1/2%. Giá trị MFC cao gấp bốn lần MIC cho thấy tinh dầu không chỉ có tác dụng ức chế tạm thời mà còn có tác dụng diệt nấm rõ rệt đối với nấm *Botrytis cinerea*.

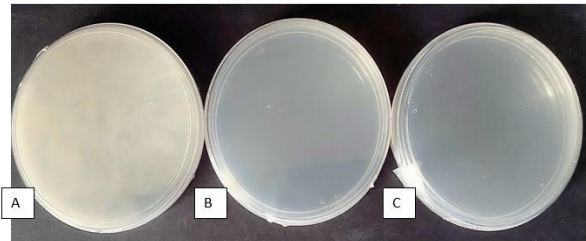
Các nghiên cứu trước đây cũng ghi nhận các hợp chất dẫn xuất của eugenol có hiệu lực cao đối với *Botrytis cinerea* và nhiều loại nấm sau thu

hoạch khác [19]. Về cơ chế, hoạt tính kháng nấm của tinh dầu lá Trầu không nhiều khả năng liên quan đến các hợp chất phenol và phenylpropanoid như eugenol, chavibetol và các cấu tử thơm kỵ nước, vốn được ghi nhận là thành phần đặc trưng của *Piper betle*. Các hợp chất này có thể tương tác với màng tế bào nấm, làm giảm tính toàn vẹn của màng, tăng tính thấm thấu và

ảnh hưởng đến hệ sterol màng, đặc biệt là ergosterol; từ đó cản trở sinh trưởng của hệ sợi và khả năng mọc lại của nấm [20]. Vì vậy, tinh dầu lá Trầu không có hoạt tính kháng nấm mạnh đối với *Botrytis cinerea* và đủ cơ sở để tích hợp vào lớp bao tinh bột nhằm khảo sát hiệu quả bảo quản trái Dâu tây ở điều kiện *in vivo*.



Hình 2. Kết quả xác định giá trị MIC của tinh dầu lá Trầu không đối với nấm *Botrytis cinerea*



Hình 3. Kết quả xác định giá trị MFC của tinh dầu lá Trầu không đối với nấm *Botrytis cinerea* sau 5 ngày theo dõi

Nấm *Botrytis cinerea* được xử lý với tinh dầu lá Trầu không ở các nồng độ tương ứng giá trị 1xMIC (A); 2xMIC (B); 4xMIC (C).

3.2 Ảnh hưởng của màng bao TB-TDT đến tỷ lệ nấm mốc, hao hụt khối lượng và độ cứng của trái Dâu tây

Tỷ lệ nấm mốc

Tỷ lệ nấm mốc trên trái Dâu tây tăng theo thời gian bảo quản ở tất cả các nghiệm thức, nhưng mức tăng khác nhau rõ rệt tùy theo nồng độ tinh dầu trong màng bao (Hình 4). Trong 2 ngày đầu, tất cả các mẫu chưa có nấm mốc. Từ ngày thứ 4, trên mẫu đối chứng bắt đầu xuất hiện nấm với tỷ lệ 17,7%, cao hơn rõ rệt so với các mẫu có bao màng, trong đó trên nghiệm thức 1,0% và 1,5% chưa xuất hiện nấm. Đến ngày thứ 8, tỷ lệ nấm mốc ở mẫu đối chứng tăng lên 46,5%, trong khi trên các nghiệm thức 0, 0,5, 1,0 và 1,5% lần lượt là 36,7, 19,4, 7,1 và 6,4%. Như vậy, hiệu quả

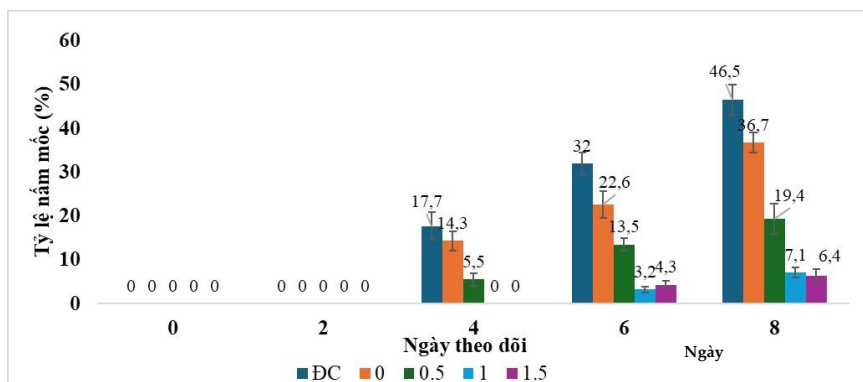
kháng nấm tăng rõ khi bổ sung tinh dầu, đặc biệt ở khoảng nồng độ 1,0–1,5%.

Kết quả này cho thấy màng nền tinh bột tự thân đã có tác dụng nhất định trong việc cản trở sự xuất hiện nấm mốc nhờ tạo lớp bao bán thấm trên bề mặt quả, nhưng hiệu quả chỉ thật sự rõ khi có thêm tinh dầu lá Trầu không. Điều đó phù hợp với xu hướng chung đã được xác nhận trong phân tích gộp trên trái Dâu tây: lớp bao ăn được làm giảm đáng kể tỷ lệ hư hỏng và thối mốc so với mẫu không bao, còn lớp bao chứa tinh dầu thường cho hiệu quả kháng nấm mạnh hơn nhờ bổ sung pha hoạt tính sinh học.

Về mặt cơ chế, khả năng ức chế nấm *Botrytis cinerea* trong thí nghiệm *in vivo* tại nồng độ 1,0–1,5% tương quan thuận với kết quả MIC/MFC đã xác định trước đó (1/8% và 1/2%).

Tinh dầu được giữ và phân tán trong mạng polymer của màng có thể duy trì một lớp hoạt chất trên bề mặt quả và kìm hãm sự nảy mầm của bào tử và sự phát triển của hệ sợi nấm. Các nghiên cứu gần đây trên trái Dâu tây cũng ghi

nhận hiện tượng tương tự: lớp bao chứa tinh dầu hoặc nano nhũ tương tinh dầu làm giảm bệnh thối xám, giảm tỷ lệ hư hỏng và kéo dài thời gian bảo quản [21, 22].

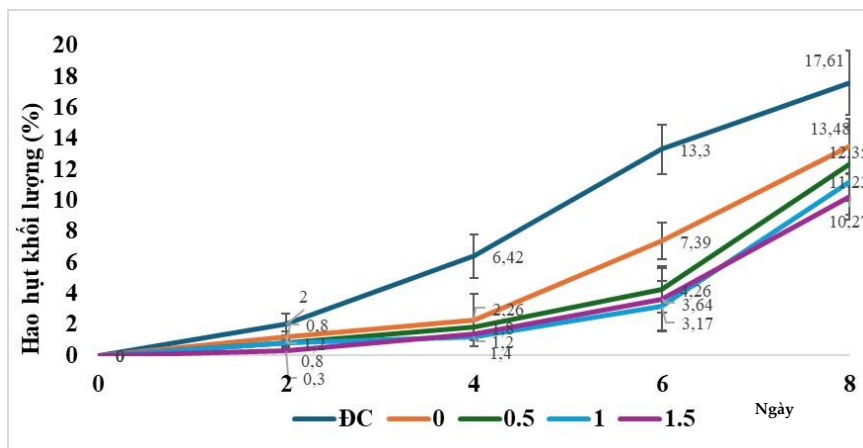


Hình 4. Tỷ lệ nấm mốc xuất hiện trong quá trình bảo quản trái Dâu tây

Hao hụt khối lượng

Sự hao hụt khối lượng diễn ra mạnh trong suốt quá trình bảo quản ở tất cả các nghiệm thức, phản ánh sự mất nước và tiêu hao chất dự trữ sau thu hoạch. Tuy nhiên, các mẫu được bao TB-TDT luôn có hao hụt khối lượng thấp hơn đối chứng

(Hình 5). Ở ngày thứ 2, hao hụt khối lượng của đối chứng là 2,11%, cao hơn so với các nghiệm thức còn lại. Xu hướng này tiếp tục rõ hơn ở các thời điểm sau. Đến ngày thứ 8, hao hụt khối lượng của đối chứng đạt 17,61%, trong khi ở các nghiệm thức 0, 0,5, 1,0 và 1,5% lần lượt là 13,48, 12,35, 11,23 và 10,27%.



Hình 5. Tỷ lệ hao hụt khối lượng trong quá trình bảo quản trái Dâu tây

Các số liệu này cho thấy màng nền tinh bột đã tạo được hiệu ứng kháng ẩm khá rõ và việc bổ sung tinh dầu làm tăng thêm hiệu quả. Hiệu quả bảo quản của hệ màng trong nghiên cứu này là do tác động phối hợp của nền tinh bột và tinh dầu lá Trầu không. Nền tinh bột bổ sung sorbitol tạo

màng bán thấm trên bề mặt quả, tạo nên một rào cản vật lý giúp hạn chế truyền ẩm và làm chậm mất nước; trong khi đó, tinh dầu đóng vai trò rào cản sinh học đối với tác nhân gây bệnh. Hệ TB-TDT tạo ra hiệu quả kép: kìm hãm cường độ hô hấp và giảm thiểu sự tiêu hao cơ chất hữu cơ nội

sinh của quả, nhờ vậy làm giảm tổn thất khối lượng của quả [23, 24]. Điều này càng được chứng minh khi Taban [25] cũng công bố trái Dâu tây được bao màng nhìn chung có hao hụt khối lượng thấp hơn đáng kể so với mẫu không bao.

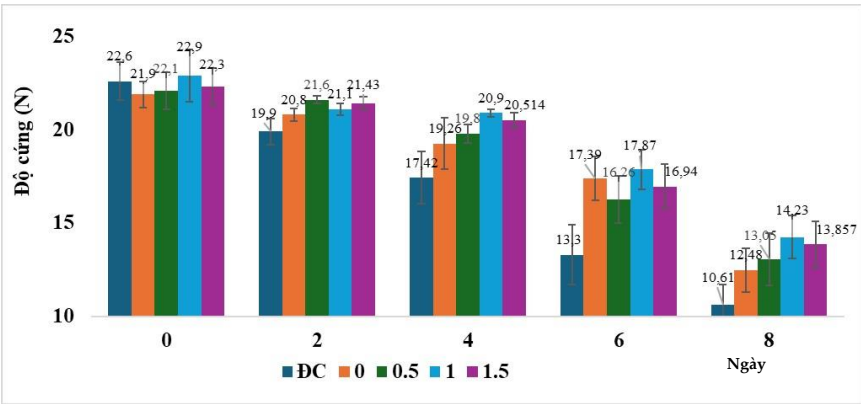
Độ cứng

Độ cứng là một trong những tiêu chí cơ bản để đánh giá tốc độ lão hóa và giá trị thương phẩm của trái Dâu tây do cấu trúc quả này vốn rất nhạy cảm với sự phân hủy enzyme của thành tế bào. Kết quả khảo sát (Hình 6) cho thấy độ cứng có xu hướng giảm dần ở tất cả các nghiệm thức theo thời gian bảo quản, nhưng tốc độ suy giảm có sự khác biệt rõ rệt giữa các lô xử lý.

Tại thời điểm ngày thứ 8, mẫu đối chứng có mức sụt giảm độ cứng nghiêm trọng nhất, chỉ còn 10,61 N, tương đương với việc mất đi hơn 50% giá trị ban đầu. Ngược lại, các mẫu xử lý bằng màng

bao tinh bột tích hợp tinh dầu lá Trầu không (TB-TDT) duy trì được cấu trúc quả tốt hơn đáng kể. Đặc biệt, nghiệm thức bổ sung 1,0% và 1,5% tinh dầu có khả năng bảo tồn độ cứng tốt nhất, đạt giá trị lần lượt là 14,23N và 13,85N tại cuối giai đoạn theo dõi.

Sự duy trì độ cứng này có thể là cơ chế tác động kép của hệ màng bao. Lớp nền tinh bột tạo ra một rào cản khí quyển biến đổi, hạn chế sự tiếp xúc với oxy và hạ thấp tốc độ hô hấp của quả, từ đó ức chế hoạt tính của các enzyme thủy phân như pectinmethylesterase và polygalacturonase, những tác nhân chính gây hòa tan pectin và làm mềm mô quả [25]. Ngoài ra, sự có mặt của các cấu tử có hoạt tính sinh học trong tinh dầu lá Trầu không (đặc biệt là các hợp chất phenol) có khả năng kháng khuẩn mạnh mẽ, giúp ngăn chặn sự xâm nhiễm của sợi nấm vào cấu trúc tế bào, bảo vệ tính toàn vẹn của vách tế bào [21].



Hình 6. Sự thay đổi độ cứng trong quá trình bảo quản trái Dâu tây

Điểm đáng chú ý là hiệu quả của tinh dầu không tăng tuyến tính theo nồng độ. Mặc dù nghiệm thức 1,5% có khả năng kiểm soát nấm mốc và giảm hao hụt khối lượng rất tốt, độ cứng cuối kỳ lại thấp hơn so với nghiệm thức 1,0%. Điều này có thể là do nồng độ tinh dầu cao có thể gây stress sinh lý hoặc thúc đẩy hô hấp, làm cho quả mềm nhanh hơn. Vì vậy, nếu xét đồng thời giữa tỷ lệ nhiễm nấm thấp, hao hụt khối lượng nhỏ và duy trì độ cứng cao, thì nghiệm thức 1,0%

là công thức cân bằng và hiệu quả nhất cho mục tiêu bảo quản tổng thể trái Dâu tây sau thu hoạch.

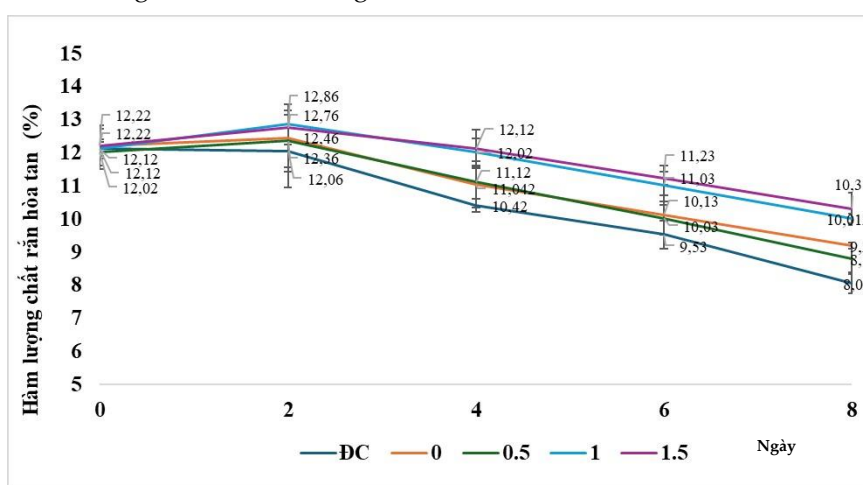
3.3 Ảnh hưởng của màng bao TB-TDT đến hàm lượng chất rắn hòa tan và vitamin C của trái Dâu tây

Hàm lượng chất rắn hòa tan tổng số và vitamin C là hai chỉ thị hóa sinh cốt lõi phản ánh mức độ tiến triển của quá trình lão hóa và sự suy giảm giá trị dinh dưỡng của trái Dâu tây sau thu hoạch. Dữ liệu thực nghiệm cho thấy xu hướng

giảm đồng thời của cả hai thông số này theo thời gian, nhưng động học của quá trình thoái hóa chịu sự can thiệp mạnh mẽ của các hệ màng bao sinh học.

Đối với chỉ tiêu TSS (Hình 7), sự sụt giảm chủ yếu xuất phát từ việc mô quả liên tục tiêu thụ các loại đường hòa tan và acid hữu cơ như nguồn cơ chất cơ bản (respiratory substrates) để duy trì hoạt động hô hấp hiếu khí. Vào ngày bảo quản thứ 8, mẫu đối chứng bị tổn thất nghiêm trọng nhất, giảm từ 12,12% xuống chỉ còn 8,05%. Ngược

lại, màng bao TB-TDT đã kìm hãm đáng kể tốc độ tiêu hao cơ chất, trong đó các nghiệm thức bổ sung 1,0% và 1,5% tinh dầu duy trì được lượng TSS ở mức cao, lần lượt là 10,01% và 10,31%. Đây là kết quả của sự hình thành rào cản khí quyển vi mô của mạng lưới polymer tinh bột kết hợp với tính kỵ nước của pha lipid (tinh dầu). Rào cản vật lý này làm giảm độ thấm oxy, từ đó ức chế tốc độ trao đổi chất, giúp quả rơi vào trạng thái ngủ đông nhẹ và ức chế quá trình phân giải carbohydrate [8].

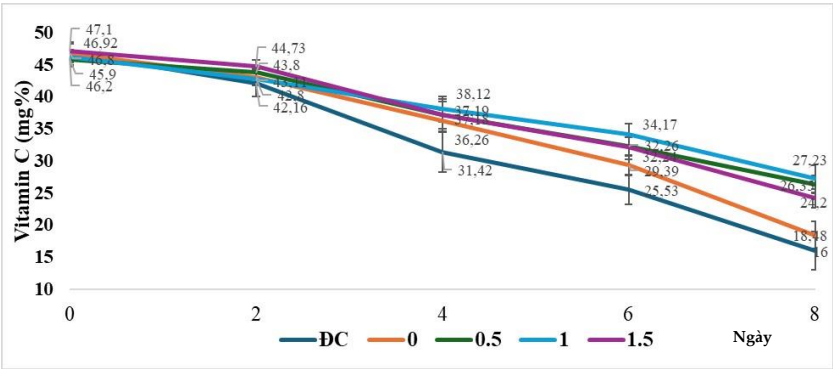


Hình 7. Sự thay đổi hàm lượng chất rắn hòa tan trong quá trình bảo quản trái Dâu tây

Sự khác biệt về cơ chế tác động của tinh dầu thể hiện sắc nét nhất thông qua động học phân hủy vitamin C (Hình 8). Là một hợp chất chống oxy hóa nhạy cảm, acid ascorbic thoái hóa mạnh dưới tác dụng của enzyme ascorbate oxidase và các gốc tự do sinh ra dưới tác động của stress môi trường. Sau 8 ngày, mẫu ĐC đánh mất hơn 65% hàm lượng (giảm từ 46,92 xuống 16,0 mg%). Điểm đáng chú ý là nghiệm thức 1,0% tinh dầu đã chứng minh năng lực bảo vệ vi chất tối ưu khi giữ lại được 27,23 mg%. Sự bảo toàn này là kết quả của tác động hiệp đồng: màng nền tinh bột hạn chế oxy tiếp xúc còn các hợp chất phenol từ tinh dầu lá Trầu không là chất bắt gốc tự do, tạo ra môi trường vi ức chế quá trình oxy hóa nội sinh [21].

Tuy nhiên, khi nồng độ tinh dầu được nâng lên mức 1,5%, hàm lượng vitamin C lại có xu hướng sụt giảm nhanh hơn (chỉ còn 24,2 mg ở ngày thứ 8). Sự đảo chiều dữ liệu này hoàn toàn tương thích với giả thuyết về ứng kích sinh lý do ngộ độc mô (phytotoxic stress) đã được quan sát ở chỉ tiêu độ cứng. Việc tiếp xúc với hoạt chất kháng khuẩn ở nồng độ quá cao có thể đã làm tổn thương hệ thống màng tế bào, kích hoạt cơ chế phòng vệ của mô thực vật. Quá trình này tạo ra một lượng lớn các thực thể chứa oxy hoạt động (Reactive Oxygen Species), buộc tế bào quả phải huy động và tiêu thụ nhanh chóng lượng acid ascorbic dự trữ để phân hủy các độc tố nội sinh này [26]. Do đó, các dữ liệu cơ lý và hóa sinh một lần nữa cho thấy nồng độ tinh dầu 1,0% là nồng

độ thích hợp nhất cho mục tiêu bảo quản tổng thể trái Dâu tây sau thu hoạch.



Hình 8. Sự thay đổi hàm lượng vitamin C trong quá trình bảo quản trái Dâu tây

3.4 Ảnh hưởng màng bao TB-TDT đến chỉ tiêu cảm quan của trái Dâu tây

Quan sát trực quan hình thái quả trong suốt quá trình bảo quản (Hình 9) cho thấy các nghiệm thức có bổ sung tinh dầu, đặc biệt ở nồng độ 1,0% và 1,5%, duy trì được trạng thái quả tốt hơn so với đối chứng và màng nền 0%. Ở các mẫu đối chứng,

hiện tượng thâm sẫm, nhăn bề mặt, mềm mô và mốc xám xuất hiện sớm hơn; trong khi đó, các mẫu có tinh dầu giữ được hình dạng và màu sắc đồng đều hơn trong cùng khoảng thời gian theo dõi. Điều này tương đồng với kết quả về tỷ lệ hư hỏng, tỷ lệ nấm mốc và hao hụt khối lượng đã trình bày ở mục 3.2.

ĐC	0%	0,5%	1%	1,5%	
					Ngày 0
					Ngày 2
					Ngày 4
					Ngày 6
					Ngày 8

Hình 9. Hình ảnh trái Dâu tây theo dõi trong quá trình bảo quản

Kết quả đánh giá cảm quan bằng phương pháp cho điểm

Kết quả trên Hình 9 cho thấy điểm cảm quan về các chỉ tiêu màu sắc, mùi, trạng thái bề mặt và cấu trúc ở mỗi nghiệm thức đều giảm dần theo thời gian bảo quản, cho thấy sự suy giảm

chất lượng tự nhiên của trái Dâu tây sau thu hoạch do hàm lượng nước, tốc độ hô hấp và tốc độ mất nước cao. Việc bổ sung tinh dầu lá Trầu không vào màng bao tinh bột có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng duy trì chất lượng cảm quan của trái Dâu tây trong quá trình bảo quản nhờ sự điều

chính quá trình hô hấp và hoạt tính kháng khuẩn của lớp bao; điều này cũng tương đồng với các kết quả nghiên cứu trước đây [2, 14, 27].

Đối với chỉ tiêu màu sắc, các mẫu trái Dâu tây ở nghiệm thức chứa tinh dầu với nồng độ 1,0 và 1,5% duy trì điểm màu cao hơn đáng kể so với mẫu đối chứng trong quá trình bảo quản. Đặc biệt ở ngày thứ 4, nghiệm thức 1,0 và 1,5% có điểm màu cao hơn rõ rệt so với đối chứng (đài quả mẫu đối chứng khô héo, màu xanh thâm hoặc xanh đen; quả chuyển sang màu đỏ thâm; thân quả có nhiều đốm đen lớn). Đến ngày thứ 6, hai nghiệm thức này vẫn giữ được màu sắc tương đối tươi với số điểm lần lượt là 5,17 và 6,67; trong khi đối chứng và nghiệm thức nồng độ thấp hơn (0,5%) có điểm màu giảm mạnh xuống khoảng 2,0–2,8 điểm. Kết quả này cho thấy tinh dầu lá Trầu không có khả năng ức chế quá trình thâm màu của quả; điều này có thể liên quan đến tác dụng kháng vi sinh vật và hạn chế sự phát triển của nấm mốc trên bề mặt. Nồng độ tinh dầu càng cao càng kìm hãm sự phát triển của nấm mốc. Từ đó, quá trình hình thành các vết thâm, thối rữa và biến màu trên quả dâu cũng giảm, giúp duy trì chất lượng cảm quan của trái Dâu tây theo thời gian bảo quản [28, 29].

Đối với chỉ tiêu mùi, kết quả cho thấy khi nồng độ tinh dầu tăng, điểm cảm quan về mùi có xu hướng giảm nhẹ trong giai đoạn đầu bảo quản do mùi đặc trưng của tinh dầu dần lấn át mùi tự nhiên của Dâu tây, do đó mẫu mùi của mẫu đối chứng được đánh giá cao. Tuy nhiên, đến ngày thứ 6, nghiệm thức 1,0 và 1,5% vẫn duy trì điểm mùi ở mức chấp nhận được, lần lượt đạt 7,17 và 5,33 điểm với mùi hài hòa, cho thấy quả vẫn còn mùi dâu đặc trưng và chưa xuất hiện rõ mùi chua hoặc hư hỏng. Về trạng thái bề mặt và cấu trúc, các mẫu bổ sung tinh dầu vẫn duy trì được hình thức tương đối nguyên vẹn và chưa xuất hiện hư hỏng nghiêm trọng đến ngày thứ 6. Không có sự khác biệt có ý nghĩa về chất lượng cảm quan tổng thể giữa hai nghiệm thức có nồng độ tinh dầu 1

và 1,5%; vì vậy, nghiệm thức bổ sung 1% tinh dầu vào màng là phù hợp để cân bằng giữa hiệu quả bảo quản và đặc tính cảm quan của trái Dâu tây [30].

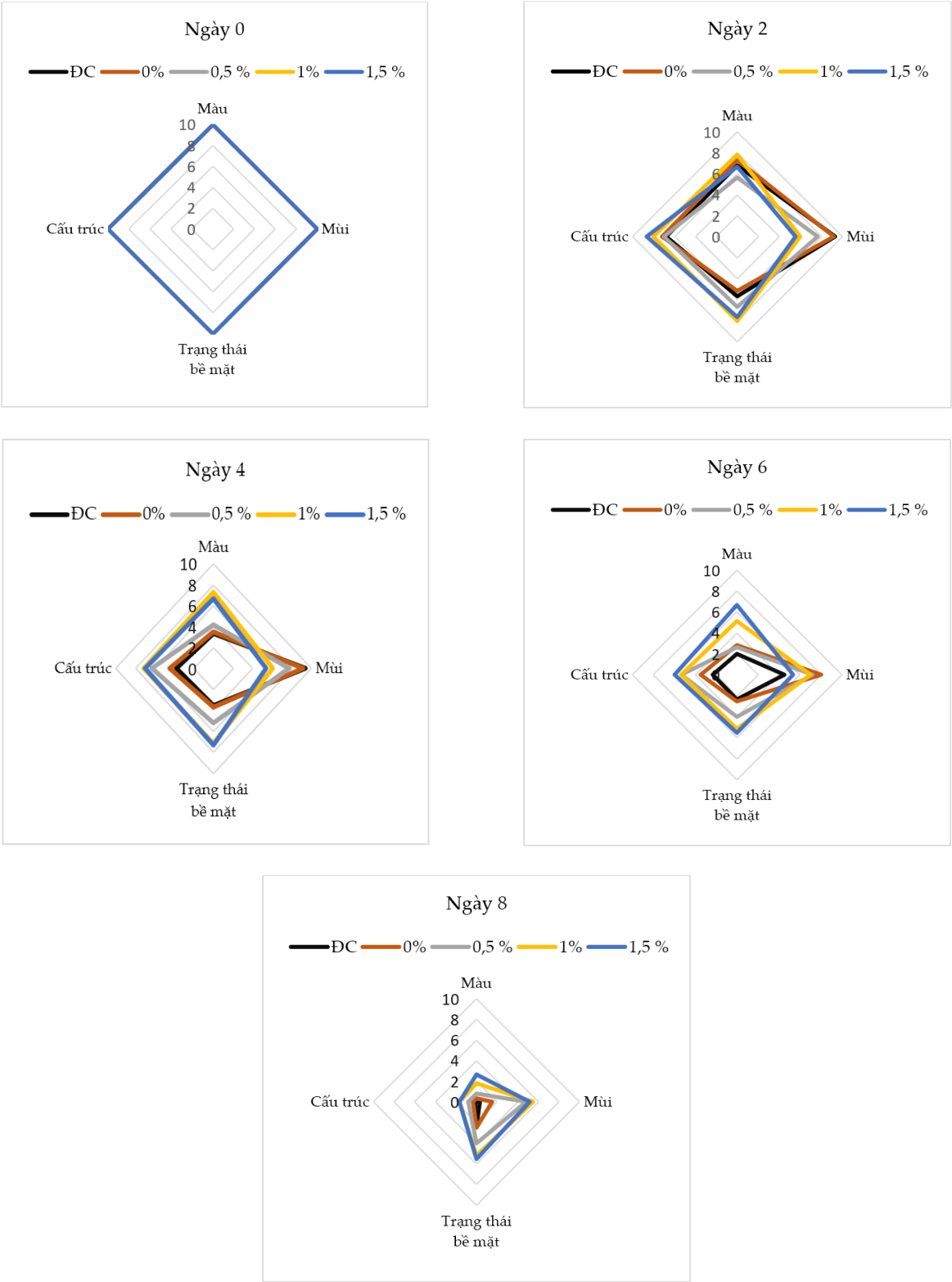
Kết quả đo màu trái Dâu tây theo thời gian bảo quản

Tiến hành đánh giá màu sắc của trái Dâu tây bằng máy đo màu tại các mẫu đối chứng (–), 0, 0,5, 1, 1,5% và mẫu đối chứng (+) trong 8 ngày. Kết quả được trình bày trong Bảng 1.

Có thể thấy các giá trị L^* , a^* và b^* đều biến động theo thời gian bảo quản. Giá trị L^* giảm ở tất cả các mẫu, phản ánh xu hướng sẫm màu và mất nước; tuy nhiên, mức giảm ở các mẫu có bổ sung tinh dầu, đặc biệt 1,0 và 1,5%, thấp hơn so với đối chứng và màng nền 0%. Chỉ số a^* , đại diện cho sắc đỏ đặc trưng của trái Dâu tây, duy trì ổn định hơn ở các nghiệm thức có tinh dầu. Với chỉ số b^* , sự biến động ở các mẫu có tinh dầu cũng thấp hơn, cho thấy nền màu của quả ít bị thay đổi hơn trong quá trình lưu trữ.

Nhìn chung, xét riêng về màu sắc, nghiệm thức 1,0% có xu hướng thuận lợi nhất; trong khi nghiệm thức 1,5% vẫn cho hiệu quả tốt hơn rõ rệt so với các mẫu đối chứng và các mẫu nồng độ thấp. Kết quả này tương thích với phân tích gộp gần đây, trong đó màng bao có bổ sung tinh dầu thường hỗ trợ duy trì tốt hơn các thuộc tính bề mặt và màu sắc của trái Dâu tây trong quá trình bảo quản [25].

Tổng hợp toàn bộ dữ liệu cho thấy màng TB-TDT, đặc biệt ở nồng độ 1,0–1,5%, có hiệu quả rõ rệt trong việc ức chế *Botrytis cinerea*, giảm tốc độ hư hỏng, hạn chế nấm mốc, giảm hao hụt khối lượng và duy trì chất lượng cảm quan của trái Dâu tây. Tuy vậy, nếu xét ở nồng độ 1,5% thì bề mặt trái Dâu tây có hiện tượng vón cục nhẹ, xuất hiện những chấm thâm đen sau 7 ngày theo dõi. Trên cơ sở đó, chúng tôi đề xuất 1,0% là nồng độ phù hợp nhất cho mục tiêu bảo quản tổng thể.



Hình 10. Điểm đánh giá cảm quan các tiêu chí màu sắc, mùi, trạng thái bề mặt và cấu trúc của các mẫu trái Dâu tây theo thời gian bảo quản

Bảng 1. Kết quả đo màu bằng máy đo màu

		ĐC	0	0,5	1	1,5
Ngày 0	L*	50,51 ^a ± 1,12	48,30 ^{ab} ± 1,21	46,34 ^{ab} ± 0,84	47,69 ^b ± 0,95	46,91 ^b ± 1,34
	a*	37,17 ^a ± 0,55	39,90 ^{ab} ± 1,53	35,69 ^{ab} ± 0,94	36,87 ^b ± 1,72	35,59 ^b ± 0,78
	b*	28,72 ^a ± 0,77	25,79 ^a ± 1,29	24,44 ^{ab} ± 0,89	28,56 ^{ab} ± 0,64	25,30 ^b ± 2,25
Ngày 2	L*	41,31 ^{ab} ± 1,18	44,06 ± 2,55	45,22 ± 3,86	46,31 ± 1,84	41,07 ± 1,03
	a*	40,09 ^a ± 1,69	45,73 ^a ± 2,85	38,21 ^b ± 0,27	45,33 ^b ± 2,02	36,94 ^b ± 1,69
	b*	22,46 ^a ± 0,55	25,36 ^b ± 0,69	25,48 ^b ± 1,77	29,44 ^c ± 1,14	18,30 ^d ± 0,62
Ngày 4	L*	31,52 ^a ± 1,09	32,13 ^{ab} ± 1,21	36,07 ^{abc} ± 2,37	37,61 ^c ± 1,46	35,63 ^{bc} ± 1,19
	a*	38,00 ^a ± 0,39	40,54 ^{ab} ± 1,65	36,39 ^{bc} ± 0,42	35,91 ^{bc} ± 1,75	33,96 ^c ± 1,40
	b*	9,80 ^a ± 0,65	10,45 ^a ± 1,24	13,98 ^{ab} ± 1,34	13,39 ^b ± 0,59	12,33 ^b ± 1,22
Ngày 6	L*	20,77 ^a ± 2,15	19,16 ^a ± 1,22	22,87 ^{ab} ± 0,18	25,26 ^b ± 2,03	25,54 ^b ± 0,37
	a*	22,63 ^a ± 0,37	30,41 ^{ab} ± 2,10	26,43 ^{bc} ± 1,50	27,18 ^c ± 1,98	25,61 ^{bc} ± 0,42
	b*	7,11 ^a ± 0,36	9,01 ^{ab} ± 0,60	8,80 ^{ab} ± 1,61	10,04 ^b ± 1,14	7,37 ^b ± 0,65
Ngày 8	L*	2,28 ^a ± 0,73	3,89 ^{ab} ± 1,02	5,48 ^{ab} ± 1,07	7,34 ^c ± 0,46	6,33 ^{bc} ± 1,12
	a*	13,55 ^a ± 0,69	15,82 ^{ab} ± 1,30	18,16 ^{ab} ± 2,17	18,25 ^{ab} ± 2,66	18,88 ^b ± 1,57
	b*	2,80 ^a ± 0,73	4,50 ^{ab} ± 1,35	7,49 ^a ± 0,66	7,43 ^c ± 0,31	6,63 ^{bc} ± 1,51

Ghi chú: Các giá trị trung bình cùng chữ cái thì không khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% ($p < 0,05$).

4 Kết luận và kiến nghị

Tinh dầu lá Trầu không có hoạt tính kháng nấm rõ rệt đối với *Botrytis cinerea* với đường kính vòng vô khuẩn đạt $20,0 \pm 1,8$ mm, giá trị MIC = 1/8% và MFC = 1/2%. Thử nghiệm *in vivo* với trái Dâu tây áp dụng màng bao tinh bột bổ sung tinh dầu ở các nồng độ khác nhau cho thấy rõ hiệu quả bảo quản so với mẫu đối chứng, đặc biệt ở nồng độ 1,0% và 1,5%. Các kết quả đánh giá chỉ tiêu

vi sinh, hóa sinh, cảm quan và trạng thái bề mặt cho thấy màng bao tinh bột chứa 1,0% tinh dầu lá Trầu không là công thức phù hợp nhất có thể áp dụng để bảo quản tổng thể trái Dâu tây sau thu hoạch.

Tài liệu tham khảo

1. Petrasch S, Knapp SJ, van Kan JAL, Blanco-Ulate B. Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by the ubiquitous necrotrophic fungal

- pathogen *Botrytis cinerea*. Molecular Plant Pathology. 2019;20(6):877-92.
2. Mohammadi L, Ramezani A, Tanaka F, Tanaka F. Impact of Aloe vera gel coating enriched with basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil on postharvest quality of strawberry fruit. Journal of Food Measurement and Characterization. 2021;15(1):353-62.
3. Youssef K, Ippolito A, Roberto SR. Editorial: Post-harvest Diseases of Fruit and Vegetable: Methods and Mechanisms of Action. Frontiers in Microbiology. 2022;Volume 13 – 2022.
4. Wang X, Shen Y, Thakur K, Han J, Zhang JG, Hu F, et al. Antibacterial Activity and Mechanism of Ginger Essential Oil against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. Molecules . 2020;25(17):3955.
5. Aguilar-Veloz LM, Calderón-Santoyo M, Vázquez González Y, Ragazzo-Sánchez JA. Application of essential oils and polyphenols as natural antimicrobial agents in postharvest treatments: Advances and challenges. Food Science & Nutrition. 2020;8(6):2555-68.
6. El Khetabi A, Lahlali R, Ezrari S, Radouane N, Lyousfi N, Banani H, et al. Role of plant extracts and essential oils in fighting against postharvest fruit pathogens and extending fruit shelf life: A review. Trends in Food Science & Technology. 2022;120:402-17.
7. Yousuf B, Wu S, Siddiqui MW. Incorporating essential oils or compounds derived thereof into edible coatings: Effect on quality and shelf life of fresh/fresh-cut produce. Trends in Food Science & Technology. 2021;108:245-57.
8. Salehi F. Edible Coating of Fruits and Vegetables Using Natural Gums: A Review. International Journal of Fruit Science. 2020;20(sup2):S570-S89.
9. Nair MS, Tomar M, Punia S, Kukula-Koch W, Kumar M. Enhancing the functionality of chitosan- and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;164:304-20.
10. Thakur R, Pristijono P, Bowyer M, Singh SP, Scarlett CJ, Stathopoulos CE, et al. A starch edible surface coating delays banana fruit ripening. LWT. 2019;100:341-7
11. Prakash A, Baskaran R, Paramasivam N, Vadivel V. Essential oil based nanoemulsions to improve the microbial quality of minimally processed fruits and vegetables: A review. Food Research International. 2018;111:509-23.
12. Karak S, Acharya J, Begum S, Mazumdar I, Kundu R, De B. Essential oil of Piper betle L. leaves: Chemical composition, anti-acetylcholinesterase, anti- β -glucuronidase and cytotoxic properties. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 2018;10:85-92.
13. Tran TTT, Nguyen ATV, Le DNT, Nguyen VDH, Ly, Trinh TP. Production of essential oils and sugar-rich hydrolysate from betel leaves (*Piper betle*). The Journal of Agriculture and Development. 2024;23(1):64-75.
14. Mutlu-Ingok A, Devecioglu D, Dikmetas DN, Karbancioglu-Guler F, Capanoglu E. Antibacterial, antifungal, antimycotoxigenic, and antioxidant activities of essential oils: An updated review. Molecules. 2020;25(20):4711.
15. Olea AF, Bravo A, Martínez R, Thomas M, Sedan C, Espinoza L, et al. Antifungal Activity of Eugenol Derivatives against *Botrytis Cinerea*. Molecules . 2019;24(7):1239.
16. Amalraj A, Haponiuk JT, Thomas S, Gopi S. Preparation, characterization and antimicrobial activity of polyvinyl alcohol/gum arabic/chitosan composite films incorporated with black pepper essential oil and ginger essential oil. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;151:366-75.
17. Ju J, Chen X, Xie Y, Yu H, Guo Y, Cheng Y, et al. Application of essential oil as a sustained release preparation in food packaging. Trends in Food Science & Technology. 2019;92:22-32.
18. Ju J, Xie Y, Guo Y, Cheng Y, Qian H, Yao W. Application of edible coating with essential oil in food preservation. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019;59(15):2467-80.
19. Pinto E, Vale-Silva L, Cavaleiro C, Salgueiro L. Antifungal activity of the clove essential oil from *Syzygium aromaticum* on *Candida*, *Aspergillus* and dermatophyte species. Journal of Medical Microbiology. 2009;58(11):1454-62.
20. Shao X, Wang H, Xu F, Cheng S. Effects and possible mechanisms of tea tree oil vapor treatment on the main disease in postharvest strawberry fruit. Postharvest Biology and Technology. 2013;77:94-101
21. Javanmardi Z, Koushesh Saba M, Nourbakhsh H, Amini J. Efficiency of nanoemulsion of essential oils to control *Botrytis cinerea* on strawberry surface

- and prolong fruit shelf life. *International Journal of Food Microbiology*. 2023;384:109979.
22. Vitti A, Coviello L, Triunfo M, Guarnieri A, Scieuzo C, Salvia R et al. *In vitro* antifungal activity and *in vivo* edible coating efficacy of insect-derived chitosan against *Botrytis cinerea* in strawberry. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024;279:135158.
23. Firdaus RR, Mardiana M, Tubagus R. Aplikasi *Edible Coating* Berbahan Dasar Pati Kulit Kentang (*Solanum tuberosum* L.) pada Buah Stroberi (*Fragaria x ananassa*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2024;1(1):1-10.
24. Moghadas HC, Chauhan R, Smith JS. Application of Plant Oils as Functional Additives in Edible Films and Coatings for Food Packaging: A Review. *Foods* . 2024;13(7):997
25. Taban A, Haghighi TM, Mousavi SS, Sadeghi H. Are edible coatings (with or without essential oil/extract) game changers for maintaining the postharvest quality of strawberries? A meta-analysis. *Postharvest Biology and Technology*. 2024;216:113082.
26. Werrie P-Y, Durenne B, Delaplace P, Fauconnier M-L. Phytotoxicity of Essential Oils: Opportunities and Constraints for the Development of Biopesticides. A Review. *Foods*. 2020;9(9):1291.
27. De Bruno A, Gattuso A, Ritorto D, Piscopo A, Poiana M. Effect of Edible Coating Enriched with Natural Antioxidant Extract and Bergamot Essential Oil on the Shelf Life of Strawberries. *Foods*. 2023;12(3):488.
28. Oliveira Filho JG de, da Cruz Silva G, de Aguiar AC, Cipriano L, de Azeredo HMC, Bogusz Junior S, et al. Chemical composition and antifungal activity of essential oils and their combinations against *Botrytis cinerea* in strawberries. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021;15(2): 1815-25.
29. Yan J, Wu H, Chen K, Feng J, Zhang Y. Antifungal Activities and Mode of Action of *Cymbopogon citratus*, *Thymus vulgaris*, and *Origanum heracleoticum* Essential Oil Vapors against *Botrytis cinerea* and Their Potential Application to Control Postharvest Strawberry Gray Mold. *Foods* . 2021;10(10):2451.
30. Martínez K, Ortiz M, Albis A, Castañeda CCG, Valencia ME, Tovar CDG. The effect of edible chitosan coatings incorporated with *Thymus capitatus* essential oil on the shelf-life of strawberry (*Fragaria x ananassa*) during cold storage. *Biomolecules*. 2018;8(4):155.