

ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ NƯỚNG ĐẾN ĐỘNG HỌC BIẾN ĐỔI HÀM LƯỢNG ANTHOCYANIN VÀ CHẤT LƯỢNG BÁNH KHOAI MỠ TÍM (*Dioscorea alata*) NƯỚNG

Dương Hà Diệu Ngân¹, Nguyễn Mã Kim Yến¹, Hà Ngọc Như Ý¹,
Đặng Ngọc Thế², Nguyễn Thị Cẩm Tiên², Nhan Minh Trí^{2,*}

¹ Bộ môn Công nghệ Thực phẩm, Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Trường Đại học Cần Thơ

² Bộ môn Công nghệ Sau thu hoạch, Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Trường Đại học Cần Thơ

*Email: nhanmtri@ctu.edu.vn

TÓM TẮT

Khoai mỡ tím (*Dioscorea alata*) chứa nhiều sắc tố tự nhiên anthocyanin có tính chống oxy hóa, hạn chế đái tháo đường và ung thư ruột kết. Bên cạnh đó, khoai mỡ tím còn chứa nhiều chất nhầy là prebiotic và có khả năng giữ ẩm cao. Khoai mỡ tím được sử dụng để chế biến bánh nướng với giá trị dinh dưỡng và cảm quan. Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá mức độ ảnh hưởng của nhiệt độ nướng (150, 160, 170 °C) và thời gian nướng (20, 25, 30 phút) đến chất lượng bánh khoai mỡ tím nướng (độ ẩm, hoạt độ nước, độ cứng, độ gãy kết, hàm lượng anthocyanin, giá trị màu sắc L*, a*, b*, H° và cảm quan). Bên cạnh 27 mẫu bánh khoai mỡ tím nướng được phân tích các chỉ tiêu hóa lý và anthocyanin, mẫu đối chứng (không nướng) cũng được xác định hàm lượng anthocyanin để đánh giá động học theo mô hình phản ứng bậc nhất và Arrhenius. Kết quả cho thấy, khi nướng ở nhiệt độ 170°C trong 20 phút, bánh khoai mỡ tím đạt điểm cảm quan cao nhất với màu tím đẹp, và hương vị thơm ngon. Bánh có lớp vỏ giòn và phần ruột mềm, độ ẩm khoảng 26 - 27% và hàm lượng anthocyanin cao nhất (7,52 mg%). Mô hình phản ứng bậc nhất có thể dự đoán hàm lượng anthocyanin còn lại trong bánh khoai mỡ tím khi nướng ở nhiệt độ theo thời gian nướng. Mô hình Arrhenius được sử dụng để tính toán năng lượng kích hoạt cho quá trình phân hủy anthocyanin trong quá trình nướng, với giá trị năng lượng kích hoạt là 49,48 kJ/mol. Hàm lượng anthocyanin có quan hệ nghịch chiều mạnh với nhiệt độ nướng nhưng quan hệ thuận chiều mạnh với độ ẩm bánh. Kết quả nghiên cứu không chỉ cung cấp dữ liệu khoa học về sự biến đổi anthocyanin trong quá trình nướng mà còn gợi mở tiềm năng phát triển các sản phẩm bánh nướng từ khoai mỡ tím, góp phần đa dạng hóa sản phẩm thực phẩm giàu chất chống oxy hóa trên thị trường.

Từ khóa: Anthocyanin, bánh khoai mỡ tím nướng, độ cứng, động học phản ứng, hoạt độ nước, màu sắc.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đồng bằng sông Cửu Long nổi tiếng với nhiều loại nông sản đa dạng như: Khoai lang, khoai mì, khoai môn, đặc biệt là khoai mỡ. Khoai (*Dioscorea* spp.) được sử dụng phổ biến như hấp chín hoặc nấu súp trong ẩm thực châu Á bao gồm: Việt Nam, Đài Loan, Nhật Bản và Trung Quốc. Bánh khoai mì nướng là sản phẩm truyền thống phổ biến ở Việt Nam. Gần đây, thị trường đã xuất hiện nhiều sản phẩm từ khoai mỡ như bánh khoai mỡ chiên, viên canh khoai mỡ và bánh bao khoai mỡ. Tuy nhiên, bánh khoai mỡ tím nướng vẫn chưa được

nghiên cứu. Vì vậy, việc nghiên cứu và phát triển sản phẩm bánh nướng từ khoai mỡ không chỉ góp phần đa dạng hóa sản phẩm từ khoai mỡ mà còn đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của người tiêu dùng. Khoai mỡ tím chứa 18 - 25% tinh bột theo căn bản ướt [1], ảnh hưởng đến quá trình tạo gel và tính chất sản phẩm. Khoai mỡ tím cũng chứa 5% chất nhầy theo căn bản khô [2]. Chất nhầy, bao gồm chủ yếu là mannan-protein, chất này đóng vai trò quan trọng đối với chức năng bao gồm các hoạt động kích thích miễn dịch [3], chống oxy hóa [4] và giảm đường huyết [5]. Hàm lượng chất nhầy

tuy ít hơn nhiều so với tinh bột trong khoai mỡ, nó thể hiện khả năng giữ nước cao, do đó ảnh hưởng đáng kể đến tính chất lý hóa của tinh bột. Ngoài ra, chất nhầy có độ nhớt tương đối cao và khả năng giữ nước cao hơn so với tinh bột [6].

Bên cạnh đó, khoai mỡ tím còn cung cấp nhiều chất xơ và potassium, chất chống oxy hóa bao gồm anthocyanin và vitamin C [7]. Hợp chất anthocyanin được xem là một chất màu tự nhiên hấp dẫn và không độc hại. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, anthocyanin là chất chống oxy hoá mạnh mẽ, giúp ngăn ngừa bệnh do các gốc tự do gây ra, làm chậm quá trình lão hóa [8], tăng cường sức đề kháng, hạn chế sự phát triển của tế bào ung thư, chống các tia phóng xạ [9]. Người ta phát hiện ra rằng bột khoai mỡ tím có tổng hàm lượng phenolic là 220 mg axit gallic/100 g và hàm lượng anthocyanin 16 mg cyanidin-3-glycoside/100 g. Hơn nữa, bột khoai mỡ tím còn thể hiện hoạt tính chống oxy hóa được xác định bằng xét nghiệm DPPH với giá trị 640 mg/100 g bột so với vitamin C [10]. Các phương pháp chế biến nhiệt (hấp, nướng, chiên và quay) ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng anthocyanin, độ ẩm và màu sắc của sản phẩm từ khoai lang tím. Trong đó, anthocyanin hao hụt ít nhất là phương pháp hấp và hao hụt nhiều nhất là phương pháp chiên [11]. Hơn nữa, nhiệt độ nướng và thời gian nướng cũng ảnh hưởng đến khối lượng riêng, màu sắc, giá trị cảm quan của bánh bông lan bổ sung đậu hũ [12] và cấu trúc của bánh gạo nướng Chhana Podo [13]. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu về ảnh hưởng các điều kiện nướng đến hàm lượng anthocyanin và tính chất hóa lý của bánh khoai mỡ tím. Đặc biệt, động học phân hủy anthocyanin trong quá trình nướng sản phẩm khoai mỡ tím vẫn chưa được báo cáo. Do đó, mức độ ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian nướng đến sự động học phân hủy hàm lượng anthocyanin và tính chất hóa lý của bánh (độ ẩm, hoạt độ nước, cấu trúc và giá trị màu sắc) cũng như giá trị cảm quan của bánh khoai mỡ nướng được đánh giá trong nghiên cứu này.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1. Nguyên vật liệu

Khoai mỡ tím (*Dioscorea alata* L.) được thu mua tại chợ Tân An, thành phố Cần Thơ. Khoai mỡ được chọn là khoai mỡ ruột tím đậm. Củ khoai có

khối lượng trung bình từ 0,5 - 1,5 kg, đường kính dao động khoảng 5 - 12 cm và chiều dài từ 10 - 20 cm. Các phụ liệu (đường RE, bột năng, bột cốt dừa, bột sữa gầy, lecithin, xanthan gum và kali sorbate) được mua tại cửa hàng Thu Mart, thành phố Cần Thơ.

2.2. Bố trí thí nghiệm

2.2.1. Chuẩn bị mẫu

Củ khoai được gọt vỏ và cắt miếng với bề dày 2 - 3 mm. Các lát được sấy ở nhiệt độ 70 - 80°C trong thời gian 120 phút. Các lát khoai khô được xay thành bột và rây qua lỗ rây có đường kính 0,25 mm. Bột khoai mỡ tím được bảo quản trong bao PA và giữ ở nhiệt độ phòng.

2.2.2. Tiến hành thí nghiệm

Hỗn hợp gồm 100 g bột (60 g bột khoai mỡ và 40 g bột năng), cùng với 40% đường, 10% sữa gầy, 20% bột cốt dừa, 20,08% phụ gia (lecithin, xanthan gum, và kali sorbate) và 120% nước. Hỗn hợp được khuấy trộn bằng máy đồng hóa Bluestone trong 5 phút. Hỗn hợp được rót khuôn nhôm (kích thước 7 x 4 x 3,5cm) với khối lượng là 20 g/khuôn. Sau đó, hỗn hợp trong khuôn được nướng với hai nhân tố. Nhân tố nhiệt độ nướng (A) với mức (150, 160, và 170°C) và nhân tố thời gian nướng (B) với 3 mức (20, 25, 30 phút). Tổng thí nghiệm là 27 (3 mức nhân tố A x 3 mức nhân tố B x 3 lần lặp lại). Ở mỗi thí nghiệm, sau khi được nướng tại một mức nhiệt độ và một mức thời gian, bánh được làm nguội ở nhiệt độ phòng trong 30 phút trước khi đo các chỉ tiêu.

2.2.3. Các chỉ tiêu phân tích

Các mẫu bánh khoai mỡ tím được xác định các chỉ tiêu như: Độ ẩm, hoạt độ nước, giá trị màu sắc (L, a*, và b*), góc màu H°, hàm lượng anthocyanin, cấu trúc và giá trị cảm quan.

2.3. Các phương pháp phân tích

2.3.1. Độ ẩm

Độ ẩm (hàm lượng nước) được xác định bằng cách sấy ở nhiệt độ 105°C theo phương pháp Suzanne (2010) [14].

2.3.2. Hoạt độ nước và đo màu

Hoạt độ nước (a_w) được đo ở nhiệt độ 25°C với máy đo hoạt độ nước AQUALAB 4TE (Mỹ).

Giá trị màu L*, a* và b* được đo bằng máy Colorimeter (Linshang LS172, Trung Quốc). Mỗi mẫu được đo trên nhiều vị trí khác nhau và lặp lại 3 lần. Giá trị màu H° như sau:

$$\text{Góc màu } H^{\circ} = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad [1]$$

Trong đó: L (Lightness), biểu thị độ sáng của màu sắc, từ đen (L = 0) đến trắng (L = 100). Giá trị màu sắc a* (Red-Green), biểu thị độ đỏ (a* dương) hoặc xanh lá cây (a* âm). Giá trị màu sắc b* (Yellow-Blue), biểu thị độ vàng (b* dương) hoặc xanh dương (b* âm).

2.3.3. Cấu trúc

Mẫu bánh được chuẩn bị có hình trụ với chiều cao 8 mm và đường kính 60 mm. Bánh được đo bằng máy Texture Analyser TA-XT2 (Mỹ) với đầu đo đĩa mai ca hình trụ (an acrylic cylindrical probe) với đường kính 35 mm và load cell 50N. Bánh được nén 2 lần với tốc độ 1 mm/s và 25%. Độ cứng (hardness) và độ gắn kết (cohesiveness) được xác định từ phần mềm của máy đo cấu trúc [15]. Độ cứng 1 và 2 là lực lớn nhất ở lần nén 1 và 2. Độ gắn kết là tỷ lệ giữa diện tích của đường con ở lần nén 2 chia cho diện tích của đường con ở lần nén 1.

2.3.4. Hàm lượng anthocyanin

Hàm lượng anthocyanin được xác định theo phương pháp vi sai [16]. Độ hấp thụ màu anthocyanin trong dung dịch đệm khác nhau (pH 1 và 4,5) tại các bước sóng lần lượt tương ứng 510 và 700 nm với máy hấp thụ quang phổ (Thermo Scientific Evolution One, Trung Quốc). Hàm lượng anthocyanin tổng của mẫu (theo CBU, căn bản ướt) được tính theo cyanidin-3-glucoside:

$$X = \frac{A \times MW \times DF \times 10^3}{\epsilon \times L} \left(\frac{mg}{L} \right) \quad (2)$$

Trong đó: X là hàm lượng anthocyanin (mg/L); A = (A_{520nm, pH=1} - A_{700nm, pH=1}) - (A_{520nm, pH= 4,5} - A_{700nm, pH= 4,5}); A_{520nm}, A_{700nm}, là độ hấp thụ tại bước sóng cực đại và 700 nm, ở pH = 1 và 4,5; MW là khối lượng phân tử của anthocyanin, MW = 449,2 (g/mol); L là chiều dày cuvet (cm); DF là độ pha loãng; 10³ là hệ số chuyển đổi từ g thành mg; ε là hệ số hấp thụ phân tử cyanidin-3-glucoside (26.900); L là bề dày của cuvet (1 cm). Hàm lượng anthocyanin theo phần trăm căn bản khô (CBK) được tính theo công thức sau.

$$C = \frac{X \times V \times 100}{m \times (100 - w) \times 100} \left(\frac{mg}{100gCBK} \right) \quad (3)$$

Trong đó: C là hàm lượng anthocyanin (mg/100 CBK); V là thể tích dịch chiết (lít); w là độ ẩm nguyên liệu (%); m là khối lượng mẫu (g).

2.4. Động học phản ứng

2.4.1. Mô hình phản ứng bậc nhất

Sự phân hủy anthocyanin có thể được tính theo phương trình phản ứng bậc nhất [17].

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -k \times t \quad (4)$$

Trong đó: C và C₀ là hàm lượng anthocyanin tại thời gian gia nhiệt t (phút) và tại thời gian ban đầu t = 0; k là hằng số tốc độ phản ứng bậc nhất (phút⁻¹) phân hủy anthocyanin.

2.4.2. Mô hình Arrhenius

Năng lượng hoạt hóa phân hủy anthocyanin được tính theo mô hình Arrhenius model [18] như phương trình 5:

$$\ln(k) = \ln(k_{ref}) + \left[\frac{E_a}{R_T} \times \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (5)$$

Trong đó: E_a là năng lượng phân hủy (kJ/mol); k và k_{ref} (phút⁻¹) là hằng số tốc độ phản ứng ở nhiệt độ T (nhiệt độ phản ứng, °K) và T_{ref} (nhiệt độ tham chiếu, °K); và R_T = 8,314 J/Kmol.

2.5. Đánh giá cảm quan

Đánh giá cảm quan bánh theo phương pháp QDA (Quantitative Descriptive Analysis) được mô tả bởi Poste và cs (1991) [19]. Mười thành viên đánh giá cảm quan đã được huấn luyện. Các thành viên tham gia đánh giá điểm từ 1 – 5 cho từng chỉ tiêu (màu sắc, mùi, vị và cấu trúc). Trong đó, giá trị cảm quan cao nhất của mỗi chỉ tiêu được cho điểm 5 (rất thích) và ngược lại là điểm 1 (rất kém). Thang điểm của từng chỉ tiêu cảm quan được mô tả. Các mẫu được mã hóa trước khi đánh giá.

2.6. Phân tích số liệu

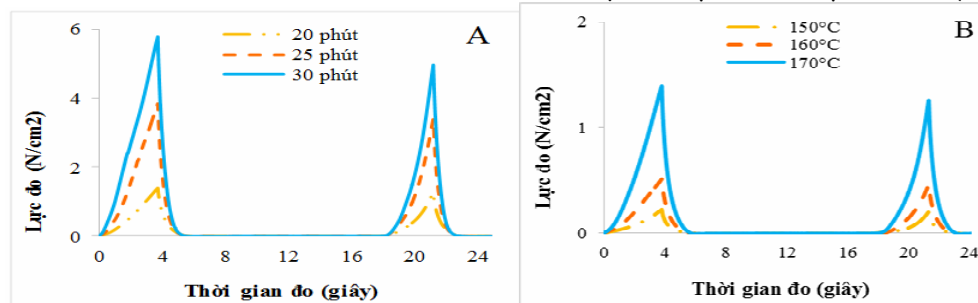
Tất cả thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Số liệu được thống kê bằng chương trình Stagraphic Centurion 15 để tính ANOVA, kiểm định bằng Fisher t test, sự khác biệt có ý nghĩa (LSD), hệ số tương quan Pearson ở mức alpha = 0,05. Phần trăm ảnh hưởng (variance component) được tính tỷ lệ % giữa tổng bình phương độ lệch (sum of square) so với tổng các độ lệch bình phương toàn bộ (total sum of square).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Sự thay đổi nhiệt độ và thời gian nướng có ảnh hưởng đến chất lượng bánh khoai mỡ nướng được đánh giá thông qua các chỉ tiêu (độ ẩm, hoạt độ nước, độ cứng, độ gắn kết, hàm lượng

anthocyanin, giá trị màu sắc L^* , a^* , b^* , H^0) và giá trị cảm quan.

3.1. Đánh giá mức độ tác động của các nhân tố đến các chỉ tiêu của bánh khoai mỡ tím nướng



Hình 1. Lực đo của bánh khi nướng ở 170°C (A) theo thời gian và ở 20 phút (B) theo nhiệt độ

Hình 1A cho thấy, ở cùng nhiệt độ nướng 170°C, độ cứng của bánh tăng từ 2,21 N/cm² lên 2,61 N/cm² khi tăng thời gian nướng từ 20 – 30 phút. Kết quả này tương tự với kết quả nghiên cứu của Saric và cs (2014) [20], khi tăng thời gian nướng thì lượng nước bốc hơi nhiều dẫn đến độ ẩm giảm và độ cứng tăng.

Hình 1B cho thấy với cùng thời gian nướng 20 phút, độ cứng của bánh từ 0,22 đến 1,40 N/cm² khi

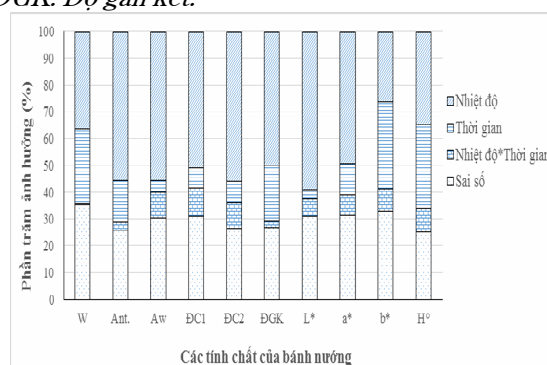
Tính chất hoá lý của bánh nướng được sử dụng để đánh giá sự ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian nướng. Độ cứng là lực lớn nhất phá vỡ mẫu được xác định từ đồ thị tiêu biểu (Hình 1).

nhiệt độ tăng từ 150 đến 170°C. Khi tăng nhiệt độ nướng thì lực dùng để phá vỡ bánh sẽ càng lớn. Nhiệt độ nướng càng cao dẫn đến việc khí và hơi từ bột nhào thoát ra sớm làm bột cứng lại dẫn đến bánh đặc hơn và cứng hơn [21]. Nghiên cứu của Patel và cs (2006) [22] đã chỉ ra rằng, tốc độ gia nhiệt trong quá trình nướng có ảnh hưởng đến mức độ hydrat hóa hạt tinh bột, làm trương nở, phân tán và mức độ tái tạo.

Bảng 1. Tác động nhiệt độ và thời gian nướng đến tính chất vật lý của bánh khoai mỡ nướng

Nhân tố	Trung bình bình phương									
	W	Ant	a_w	ĐC 1	ĐC 2	ĐGK	L^*	a^*	b^*	H^0
A: Nhiệt độ nướng	$1,76 \times 10^{2**}$	64,08***	$9,3 \times 10^{-3***}$	31,25**	23,79**	49,92	0,76	2,1	3,46	34,93
B: Thời gian nướng	$1,34 \times 10^{2**}$	17,86*	$7,3 \times 10^{-4}$	5,05	3,71	20,94	1,79	2,32	7,37**	31,00
A.B	1,26	1,88	$8,2 \times 10^{-4}$	7,59	5,61	2,51	1,72	0,73	0,95	8,95
Sai số	19,05	3,32	$5,6 \times 10^{-4}$	3,32	2,41	26,63	5,13	1,51	1,11	25,12

Chú thích. ***: $P < 0,001$; **: $0,001 < p < 0,01$; *: $p < 0,05$; W: Độ ẩm; Ant: anthocyanin; ĐC: Độ cứng; ĐGK: Độ gắn kết.



Hình 2. Phần trăm ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian nướng đến màu, chỉ tiêu chất lượng bánh nướng khoai mỡ tím

Bảng 1 cho thấy, nhiệt độ nướng tác động mạnh ($p < 0,001$) đến a_w , tác động trung bình ($0,001 < p < 0,01$) đến độ ẩm, anthocyanin, độ cứng. Thời gian nướng tác động trung bình đến độ ẩm và tác động yếu đến hàm lượng anthocyanin và giá trị màu sắc L^* , a^* , b^* , H^0 . Tuy nhiên sự tương tác giữa hai nhân tố nhiệt độ và thời gian không có sự tác động đến các chỉ tiêu.

Hình 2 cho thấy, nhiệt độ nướng có ảnh hưởng mạnh đến hàm lượng anthocyanin (55,46%), a_w (55,58%), độ gắn kết (49,92%), độ cứng 1 và 2 (50,71%, 55,92%), giá trị màu sắc L^* (58,96%) và a^*

(49,22%), ảnh hưởng trung bình đến độ ẩm (36,4%), giá trị b^* (26,25%) và góc màu H^o (34,93%). Tương tự, thời gian nướng ảnh hưởng trung bình đến độ ẩm (27,69%), độ gắn kết (20,96%), giá trị b^* (32,45%), góc màu H^o (31%) và ảnh hưởng yếu đến các chỉ tiêu còn lại. Sự tương tác giữa hai nhân tố nhiệt độ và thời gian nướng ít ảnh hưởng đến tất cả các chỉ tiêu. Kết quả này tương tự kết quả nghiên cứu của Im và cs (2003) [23], theo đó các điều kiện chế biến, bao gồm: Nhiệt độ và thời gian nướng, ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng vật lý (độ cứng và màu sắc) của bánh. Nhiệt độ nướng ảnh hưởng mạnh đến hàm lượng anthocyanin.

Tuy nhiên, hình 2 cho thấy sai số thí nghiệm vẫn còn đáng kể do ảnh hưởng của các yếu tố nhiều, bao gồm sự phân bố nhiệt trong lò nướng không đồng đều, biến động độ ẩm môi trường và sai số trong quá trình đo lường.

3.2. Ảnh hưởng nhiệt độ và thời gian nướng đến các chỉ tiêu của bánh

Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các chỉ tiêu được trình bày ở bảng 2 để đánh giá mức độ khác biệt có ý nghĩa thống kê do sự ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian nướng.

Bảng 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian nướng đến giá trị của các chỉ tiêu của bánh khoai mỡ nướng

Chỉ tiêu	Thời gian nướng (phút)	Nhiệt độ nướng ($^{\circ}\text{C}$)			Trung bình
		150	160	170	
Độ ẩm (%)	20	35,12 $\pm$ 1,04	34,23 $\pm$ 1,03	26,76 $\pm$ 0,74	32,03 ^a $\pm$ 4,59
	25	30,66 $\pm$ 0,75	28,17 $\pm$ 0,61	23,21 $\pm$ 1,09	27,35 ^b $\pm$ 3,79
	30	27,40 $\pm$ 0,63	25,86 $\pm$ 0,06	19,87 $\pm$ 0,69	24,38 ^b $\pm$ 3,97
	Trung bình	31,06 ^A $\pm$ 3,87	29,42 ^A $\pm$ 4,32	23,28 ^B $\pm$ 3,44	
Anthocyanin (mg/100 g CBK)	20	14,26 $\pm$ 0,14	11,30 $\pm$ 0,22	7,52 $\pm$ 0,08	11,03 ^a $\pm$ 3,38
	25	11,18 $\pm$ 0,46	7,93 $\pm$ 0,13	6,86 $\pm$ 0,29	8,65 ^b $\pm$ 2,25
	30	11,24 $\pm$ 0,16	7,93 $\pm$ 0,06	6,40 $\pm$ 0,15	8,52 ^b $\pm$ 2,48
	Trung bình	12,23 ^A $\pm$ 1,76	9,05 ^B $\pm$ 1,94	6,92 ^C $\pm$ 0,56	
Hoạt độ nước	20	0,92 $\pm$ 0,02	0,91 $\pm$ 0,01	0,89 $\pm$ 0,02	0,91 ^a $\pm$ 0,01
	25	0,92 $\pm$ 0,03	0,90 $\pm$ 0,02	0,85 $\pm$ 0,04	0,89 ^a $\pm$ 0,04
	30	0,94 $\pm$ 0,01	0,91 $\pm$ 0,01	0,85 $\pm$ 0,04	0,90 ^a $\pm$ 0,04
	Trung bình	0,93 ^A $\pm$ 0,01	0,91 ^A $\pm$ 0,01	0,86 ^B $\pm$ 0,03	
Độ gắn kết (g.s)	20	0,77 $\pm$ 0,08	0,66 $\pm$ 0,12	0,63 $\pm$ 0,06	0,69 ^b $\pm$ 0,07
	25	0,68 $\pm$ 0,13	0,63 $\pm$ 0,07	0,62 $\pm$ 0,07	0,64 ^{ab} $\pm$ 0,03
	30	0,62 $\pm$ 0,10	0,58 $\pm$ 0,10	0,53 $\pm$ 0,05	0,58 ^b $\pm$ 0,05
	Trung bình	0,69 ^A $\pm$ 0,07	0,62 ^{AB} $\pm$ 0,04	0,59 ^B $\pm$ 0,06	
Độ cứng 1 (N/cm ²)	20	0,22 $\pm$ 0,04	0,51 $\pm$ 0,07	1,40 $\pm$ 0,07	0,71 ^a $\pm$ 0,61
	25	0,28 $\pm$ 0,04	0,57 $\pm$ 0,01	3,96 $\pm$ 0,09	1,60 ^a $\pm$ 2,05
	30	0,44 $\pm$ 0,10	0,98 $\pm$ 0,05	5,78 $\pm$ 0,07	2,40 ^a $\pm$ 2,94
	Trung bình	0,31 ^B $\pm$ 0,11	0,69 ^B $\pm$ 0,26	3,71 ^A $\pm$ 2,20	
Độ cứng 2(N/cm ²)	20	0,20 $\pm$ 0,03	0,46 $\pm$ 0,05	1,26 $\pm$ 0,05	0,64 ^a $\pm$ 0,55
	25	0,25 $\pm$ 0,02	0,51 $\pm$ 0,08	3,52 $\pm$ 0,04	1,43 ^a $\pm$ 1,82
	30	0,40 $\pm$ 0,05	0,88 $\pm$ 0,05	4,97 $\pm$ 0,06	2,08 ^a $\pm$ 2,52
	Trung bình	0,29 ^B $\pm$ 0,10	0,61 ^B $\pm$ 0,23	3,25 ^A $\pm$ 1,87	
L*	20	40,24 $\pm$ 0,70	42,34 $\pm$ 0,86	40,86 $\pm$ 0,82	41,15 ^a $\pm$ 1,08
	25	40,66 $\pm$ 0,99	40,79 $\pm$ 0,84	40,77 $\pm$ 0,63	40,74 ^a $\pm$ 0,07
	30	40,82 $\pm$ 0,94	40,02 $\pm$ 0,86	39,94 $\pm$ 0,81	40,26 ^a $\pm$ 0,48
	Trung bình	40,57 ^A $\pm$ 0,61	41,05 ^A $\pm$ 1,18	40,53 ^A $\pm$ 0,51	
a*	20	20,63 $\pm$ 0,94	20,76 $\pm$ 0,86	20,84 $\pm$ 0,55	20,74 ^a $\pm$ 0,11
	25	19,42 $\pm$ 0,99	18,92 $\pm$ 0,66	20,89 $\pm$ 0,96	19,74 ^a $\pm$ 1,02
	30	20,20 $\pm$ 0,72	20,19 $\pm$ 0,92	20,82 $\pm$ 1,09	20,40 ^a $\pm$ 0,36

	Trung bình	20,08 ^A ± 0,61	19,95 ^A ± 0,94	20,85 ^A ± 0,04	
b*	20	-2,37 ± 0,45	-3,53 ± 0,95	-4,80 ± 0,67	-3,57 ^b ± 1,22
	25	-1,81 ± 0,31	-1,92 ± 0,37	-2,50 ± 0,51	-2,08 ^a ± 0,37
	30	-1,90 ± 0,85	-1,54 ± 0,55	-2,36 ± 0,57	-1,93 ^a ± 0,41
	Trung bình	-2,03 ^A ± 0,30	-2,33 ^{AB} ± 1,06	-3,22 ^B ± 1,37	
Góc màu H°	20	-0,12 ± 0,03	-0,16 ± 0,08	-0,23 ± 0,03	-0,17 ^b ± 0,06
	25	-0,09 ± 0,02	-0,10 ± 0,01	-0,12 ± 0,07	-0,10 ^a ± 0,01
	30	-0,09 ± 0,06	-0,08 ± 0,03	-0,11 ± 0,06	-0,09 ^a ± 0,02
	Trung bình	-0,10 ^A ± 0,01	-0,11 ^{AB} ± 0,04	-0,15 ^B ± 0,06	

Ghi chú: Những chữ cái a, b, c khác nhau trong cùng một cột, hoặc A, B, C trong một hàng, thể hiện sự khác biệt ý nghĩa giữa 5% các mẫu; * Độ lệch chuẩn (STD) của giá trị trung bình.

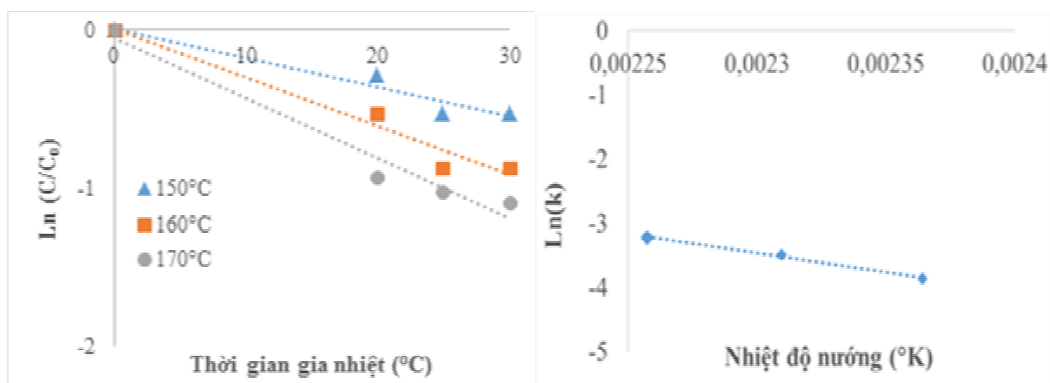
3.2.1. Độ ẩm

Độ ẩm giảm khi tăng thời gian và nhiệt độ nướng. Khi thời gian nướng tăng từ 20 - 30 phút thì độ ẩm của bánh giảm từ 26,76% xuống 19,87%. Sự mất ẩm phụ thuộc vào diện tích bề mặt bánh, nhiệt độ và thời gian nướng bánh. Việc tăng thời gian nướng làm giảm độ ẩm của bánh mì chứa hạt cà phê xanh là do ảnh hưởng bởi sự khuếch tán của nước, đẩy nước ra khỏi sản phẩm [24]. Bánh nướng trong thời gian ngắn, lượng nước trong bánh chưa bốc hơi hoàn nên độ ẩm cao [25]. Tương tự, khi nhiệt độ tăng từ 150°C lên 170°C thì độ ẩm càng giảm, độ ẩm giảm dần từ 35,12% xuống 26,76%. Nguyên nhân là do nhiệt độ càng cao, không khí bên trong trở nên khô hơn (độ ẩm tương đối giảm) đã tạo nên sự chênh lệch lớn hơn giữa độ ẩm trong bánh và độ ẩm trong lò, đã thúc đẩy quá trình thoát hơi nước ra khỏi bánh [26].

3.2.2. Hàm lượng anthocyanin

Khi nhiệt độ và thời gian nướng tăng thì hàm lượng anthocyanin (mg/100 g CBK) có xu hướng

giảm. Khi nhiệt độ nướng tăng dần thì hàm lượng anthocyanin có xu hướng giảm từ 14,26 mg/100g CBK xuống 7,52 mg/100 g CBK, tương tự với thời gian nướng anthocyanin giảm từ 7,52 mg/100 g CBK xuống 6,4 mg/100 g CBK. Cũng theo kết quả nghiên cứu của Žilic và cs (2016) [27] cho thấy, ở cùng nhiệt độ nướng (200°C) hàm lượng anthocyanin giảm từ 83,9 mg CGE/kg xuống 45,7 mg CEG/kg khi tăng thời gian nướng từ 7 phút lên 10 phút. Nhiệt độ cao gây phân hủy anthocyanin được lý giải do sự thủy phân các cấu trúc glycoside có tác động bảo vệ đối với anthocyanin không ổn định. Bánh có pH trung tính cho nên anthocyanin chuyển sang dạng quinonoidal hoặc chalcone không bền màu, dễ bị phân hủy hơn khi gặp nhiệt [27]. Nhiệt độ nướng càng cao, sự phân hủy anthocyanin càng nhiều dẫn đến màu sắc của sản phẩm cũng nhạt dần và giá trị màu sắc L* tăng dần càng nhiều dẫn đến màu sắc của sản phẩm cũng nhạt dần và giá trị màu sắc L* tăng dần.



Hình 3. Sự phân hủy anthocyanin theo mô hình phản ứng bậc nhất (A) và mô hình Arrhenius (B) trong quá trình nướng

Hình 3A cho thấy, với hệ số xác định $R^2 > 0,91$, mô hình động học phản ứng bậc nhất có thể được sử dụng mô tả hàm lượng anthocyanin trong bánh khoai mỡ được nướng ở nhiệt độ khác nhau. Hàm lượng anthocyanin (theo căn bản khô, CBK) trong bánh khoai mỡ nướng được đánh giá với mô hình phản ứng bậc nhất theo nhiệt độ khác nhau (150, 160, 170°C) và thời gian khác nhau. Hằng số k tốc độ phản ứng phân hủy anthocyanin trong bánh khoai mỡ khi nướng được xác định và trình bày trong bảng 3. Các hệ số xác định R^2_1 lớn hơn 0,91. Điều này nghĩa cho thấy rằng, sự phân hủy

anthocyanin có thể được mô tả theo mô hình phản ứng bậc nhất. Hình 3A và bảng 3 cho thấy, khi nướng ở nhiệt độ càng cao thì hằng số k tốc độ phân hủy anthocyanin càng nhanh

Các hằng số k tốc độ phản ứng ở nhiệt độ khác nhau được kiểm tra với mô hình Arrhenius trên hình 3B. Năng lượng hoạt hóa E_a được tính toán và trình bày ở bảng 3. Với hệ số xác định $R^2_2 = 0,99$, mô hình Arrhenius có thể được sử dụng để xác định năng lượng hoạt hóa E_a phản ứng phân hủy anthocyanin trong bánh khoai mỡ tím trong quá trình nướng.

Bảng 3. Thông số động học phân hủy anthocyanin trong bánh khoai mỡ tím khi nướng

Nhiệt độ nướng	Phản ứng bậc nhất		Mô hình Arrhenius	
	k (phút ⁻¹)	R^2_1	E_a (kJ/mol)	R^2_2
150°C	0,0211	0,91		
160°C	0,0304	0,99	49,48	0,99
170 °C	0,0398	0,99		

Chú thích: k là hằng số tốc độ phản ứng; E_a là năng lượng hoạt hóa; R^2_1 và R^2_2 là hệ số xác định k và E_a .

Như mong đợi, nhiệt độ càng cao thì phản ứng phân hủy anthocyanin trong bánh khoai mỡ nướng với hằng số tốc độ k càng cao. Mishra và cs (2008) [28] cũng báo cáo rằng hằng, số phân hủy anthocyanin trong nước bả nhỏ là 0,0607 phút⁻¹ ở 110°C. Anthocyanin trong nước ép nhỏ bị phân hủy nhanh hơn anthocyanin trong bánh khoai mỡ tím. Điều này có thể giải thích, do hai nguyên nhân, thứ nhất, bả nhỏ có độ ẩm cao ($W = 42\%$) hơn độ ẩm bánh khoai mỡ nướng ($W = 35\%$). Thứ hai, bả nhỏ được tiết trùng trong hộp thiếc kín với áp suất cao $> 1 \text{ kg/cm}^2$.

Trong quá trình nướng bánh khoai mỡ tím, năng lượng hoạt hóa phân hủy anthocyanin là $E_a = 49,48 \text{ kJ/mol}$ ở nhiệt độ 150 - 170°C với $R^2 = 0,99$. Năng lượng hoạt hóa phân hủy anthocyanin của bánh khoai mỡ tím khi nướng thấp hơn so của anthocyanin của bả nhỏ ($E_a = 65,32 \text{ kJ/g mol}$) trong hộp khi tiết trùng [28], anthocyanin của nước ép dầu ($E_a = 72 \text{ kJ/mol}$) khi thanh trùng 70 - 90°C [29], anthocyanin của nước nhỏ ($E_a = 74 \text{ kJ/mol}$) khi thanh trùng 70 - 90°C [30], anthocyanin của phúc bồn tử ($E_a = 58,95 \text{ kJ/mol}$) khi thanh trùng 60 - 90°C [31]. Sui và cs (2015) [32] cũng báo cáo rằng năng lượng hoạt hóa ($E_a =$

91 kJ/mol) phân hủy anthocyanin bổ sung vào bánh mì sandwich trong quá trình nướng.

3.2.3. Hoạt độ nước

Tương tự độ ẩm thì hoạt độ nước cũng có xu hướng giảm dần khi thời gian và nhiệt độ nướng tăng dần. Khi tăng nhiệt độ nướng từ 150°C lên 170°C thì hoạt độ nước giảm từ 0,92 xuống 0,89 và khi tăng thời gian nướng từ 20 phút lên 30 phút thì hoạt độ nước giảm từ 0,89 xuống 0,85. Độ ẩm và a_w giảm dần dựa trên sự bay hơi và khuếch tán nước trong quá trình nướng [33]. Nhiệt độ nướng càng cao sự bay hơi và khuếch tán nước tự do càng nhanh nên hoạt độ nước giảm càng nhiều. Tương tự, khi nướng bánh quy ở 170°C trong khoảng thời gian từ 10 - 16 phút thì a_w giảm từ 0,6 xuống 0,36 khi tăng thời gian nướng [34].

Độ cứng là tính chất cơ học quan trọng để xác định lực khi bánh được nhai vỡ. Lực phá vỡ thấp (độ cứng nhỏ) liên quan đến tính giòn, nhưng kết quả tăng độ cứng liên quan đến cấu trúc cứng chắc của bánh quy [35]. Độ cứng 1 tăng từ 0,22 N/cm² lên 1,4 N/cm² khi tăng nhiệt độ từ 150°C lên 170°C, khi tăng thời gian nướng từ 20 lên 30 phút thì độ cứng bánh tăng từ 1,4 N/cm² lên 5,78 N/cm². Độ cứng 2 tăng từ 0,2 N/cm² lên 1,26 N/cm² khi tăng nhiệt độ từ 150°C lên 170°C khi

tăng thời gian nướng từ 20 phút lên 30 phút thì độ cứng tăng từ 1,26 N/cm² lên 4,97 N/cm². Tương tự nghiên cứu của Bojana và cs (2014) [36], tại cùng nhiệt độ nướng 170°C, độ cứng của sản phẩm tăng đáng kể từ 894,4 g lực lên 4824,1 g lực khi thời gian nướng tăng từ 10 phút lên 16 phút. Nguyên nhân của việc tăng độ cứng là do các biến đổi hóa học phức tạp xảy ra trong bột bánh quy trong quá trình nướng, bao gồm sự tan chảy của chất béo, phá vỡ cấu trúc hạt tinh bột, biến tính protein, phản ứng Maillard, cùng với hiện tượng nở của bột do giãn nở nhiệt của khí và sự bay hơi nước. Tất cả những thay đổi này đều phụ thuộc vào nhiệt độ và thời gian nướng [37]. Đồng thời, độ gắn kết cũng bị ảnh hưởng ít nhiều khi thay đổi nhiệt độ và thời gian nướng. Độ gắn kết giảm từ 0,77 g.s xuống 0,63 g.s khi tăng nhiệt độ nướng từ 150 lên 170°C và tăng thời gian nướng từ 20 lên 30 phút độ gắn kết giảm từ 0,63 g.s xuống 0,53 g.s.

3.2.4. Giá trị màu sắc L^* , a^* , b^* và H^*

Các giá trị màu sắc có xu hướng tăng khi tăng nhiệt độ. Giá trị màu sắc L^* tăng từ 40,27 lên 42,86, giá trị màu sắc a^* tăng từ 20,63 lên 20,84, khi tăng nhiệt độ nướng từ 150 lên 170°C. Khi tăng thời gian nướng từ 20 phút lên 30 phút, giá trị màu sắc L^* , a^* , b^* và góc màu H^* có xu hướng giảm nhẹ. Giá trị màu sắc L^* giảm từ 40,86 xuống 39,94, a^*

giảm từ 20,84 xuống 20,82. Tuy nhiên, các giá trị màu sắc này có xu hướng giảm khi tăng thời gian nướng không ảnh hưởng đáng kể đến sự thay đổi màu của bánh. Màu sắc sản phẩm nướng quyết định bởi hàm lượng đường có trong bột nhào, nhiệt độ và thời gian nướng bánh [38]. Trong khi đó, nhiệt độ cao là yếu tố gây mất màu anthocyanin [39]. Sự mất màu sắc đã được phát hiện khi tăng nhiệt độ [40].

Một số chỉ tiêu không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê do sai số thí nghiệm do các yếu tố nhiễu như phân bố nhiệt không đồng đều, biến động độ ẩm môi trường và sai số đo lường. Điều này cho thấy cần có nghiên cứu bổ sung để đánh giá rõ hơn ảnh hưởng của các yếu tố này.

3.3. Đánh giá mối quan hệ giữa các chỉ tiêu và nhân tố

Trong quá trình nướng, các chỉ tiêu chất lượng của bánh thay đổi theo thời gian và nhiệt độ nướng. Hệ số tương quan Pearson được tính để kiểm tra mối quan hệ giữa các nhân tố (nhiệt độ và thời gian nướng) và các chỉ tiêu (độ ẩm, độ gắn kết, độ ẩm, a_w , hàm lượng anthocyanin và giá trị màu sắc (L^* , a^* , b^* , H^*) và nhân tố (nhiệt độ và thời gian nướng).

Bảng 4. Hệ số tương quan (r) giữa nhiệt độ và thời gian nướng với các chỉ tiêu của bánh khoai mỡ nướng

	Nhiệt độ	Thời gian	Độ ẩm	Anthocyanin	Hoạt độ nước	Độ gắn kết	Độ cứng 1
Độ ẩm	-0,53**	-0,52**					
Anthocyanin	-0,74***	-0,35	0,74***				
Hoạt độ nước	-0,74***	-0,11	0,64***	0,61***			
Độ gắn kết	-0,16	0,02	0,26	0,15	0,30		
Độ cứng 1	0,57**	0,28	-0,65**	-0,49**	-0,83***	-0,10	
Độ cứng 2	0,57**	0,28	-0,65**	-0,49**	-0,84***	-0,10	,99***
L^*	-0,01	-0,19	0,03	-0,07	0,02	-0,19	-0,01
a^*	0,26	-0,12	-0,15	0,09	-0,28	0,33	0,39*
b^*	-0,38	0,51**	-0,13	0,02	0,17	-0,10	0,02
Góc màu H^*	-0,35	0,51**	-0,16	0,03	0,14	-0,09	0,05

Ghi chú: ***: $p < 0,001$; **: $0,001 < p < 0,01$; *: $p < 0,05$.

Bảng 4 cho thấy hàm lượng anthocyanin có quan hệ nghịch chiều mạnh ($p < 0,001$) với nhiệt độ nướng. Anthocyanin phân hủy chậm ở nhiệt độ thường và phân hủy nhanh ở nhiệt độ cao [41]. Mặt khác, hàm lượng anthocyanin có quan hệ thuận chiều mạnh ($p < 0,001$) với độ ẩm. Và độ ẩm có quan hệ thuận chiều mạnh với a_w ($p < 0,001$),

nghĩa là hoạt độ nước tăng thì độ ẩm tăng. Theo Therdthai và Zhou (2003) độ ẩm và a_w giảm dần dựa trên sự bay hơi và khuếch tán nước trong quá trình nướng [33]. Hàm lượng anthocyanin có quan hệ thuận chiều với độ hoạt động của nước. Điều này có thể là do anthocyanin và hoạt độ nước cùng nghịch chiều với nhiệt độ. Hoặc khi bánh nướng

lâu, bánh có hoạt độ nước thấp hơn và có độ rỗng xốp hơn nên anthocyanin dễ tiếp xúc và phản ứng với oxy nên hàm lượng anthocyanin còn lại ít hơn. Sự oxy hóa này có thể dẫn đến sự phá vỡ liên kết đôi trong cấu trúc anthocyanin, làm giảm hàm lượng anthocyanin còn lại trong sản phẩm thực phẩm. Điều này cũng được báo cáo rằng anthocyanin bị phân hủy tăng khi độ hoạt động nước giảm [42].

3.4. Đánh giá cảm quan của bánh khoai mỡ nướng

Màu sắc của bánh khoai mỡ nướng thay đổi rõ rệt tùy thuộc vào nhiệt độ và thời gian nướng. Điểm cảm quan về màu sắc đạt mức cao nhất là 4,32 khi bánh được nướng ở 170°C trong 20 phút. Ngược lại, điểm thấp nhất là 2,98 khi bánh được nướng ở 150°C trong 30 phút. Khi nhiệt độ và thời gian nướng tăng lên, màu sắc của bánh sẽ ngày càng trở nên đậm hơn, nếu phản ứng Maillard xảy

ra vừa đủ sẽ giúp sản phẩm có màu sắc đặc trưng và tăng giá trị cảm quan.

Về cấu trúc, khi tăng nhiệt độ và thời gian nướng thì nước bốc hơi tăng, độ ẩm giảm nhanh nên cấu trúc bánh trở nên cứng dần. Bánh đạt điểm trung bình cảm quan về cấu trúc cao nhất là 3,99 ở 170°C trong 20 phút, ở thời điểm này bánh đạt độ giòn bên ngoài và mềm mại bên trong. Ngược lại, ở cùng nhiệt độ nướng nhưng tăng thời gian nướng (30 phút), bánh đạt giá trị cảm quan thấp nhất (2,98) do bánh khô cứng. Vì thế, bánh có cấu trúc hấp dẫn nhất khi nướng ở nhiệt độ cao nhưng thời gian ngắn, mang lại lớp vỏ giòn và phần ruột mềm mại.

Đánh giá cảm quan ở bảng 5 cho thấy, khi được nướng ở 170°C trong thời gian 20 phút thì bánh khoai mỡ nướng đạt cấu trúc tốt nhất, có màu tím đẹp, mùi thơm hài hòa giữa mùi bánh nướng và mùi khoai mỡ.

Bảng 5. Giá trị cảm quan của bánh khoai mỡ tím nướng với nhiệt độ và thời gian nướng

Nhiệt độ nướng (°C)	Thời gian nướng (phút)	Chỉ tiêu			
		Màu sắc	Mùi	Vị	Cấu trúc
150	20	3,80 ^b ± 0,05	2,90 ^g ± 0,03	3,11 ^h ± 0,03	3,87 ^b ± 0,05
	25	3,40 ^e ± 0,03	3,10 ^f ± 0,06	3,37 ^g ± 0,06	3,50 ^d ± 0,08
	30	2,98 ^g ± 0,03	2,90 ^g ± 0,04	3,13 ^h ± 0,07	3,79 ^c ± 0,04
160	20	3,53 ^d ± 0,04	3,91 ^c ± 0,03	3,91 ^e ± 0,02	3,28 ^f ± 0,03
	25	3,53 ^d ± 0,03	3,51 ^d ± 0,01	3,80 ^f ± 0,03	3,51 ^d ± 0,04
	30	2,80 ^h ± 0,04	3,50 ^e ± 0,03	3,99 ^d ± 0,05	3,41 ^e ± 0,06
170	20	4,32 ^a ± 0,02	4,12 ^b ± 0,04	4,42 ^c ± 0,02	3,99 ^a ± 0,02
	25	3,31 ^f ± 0,03	4,09 ^b ± 0,02	4,50 ^b ± 0,06	3,31 ^f ± 0,03
	30	3,71 ^c ± 0,02	4,20 ^a ± 0,05	4,70 ^a ± 0,05	2,98 ^g ± 0,07

Ghi chú: Số liệu là trung bình của ba lần lặp lại, các số trong cùng một cột mang chữ cái khác nhau thì có sự khác biệt về ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) theo phép thử LSD.

4. KẾT LUẬN

Nhiệt độ nướng ảnh hưởng nhiều đến cấu trúc (độ cứng, độ gắn kết), độ ẩm, hoạt độ nước, hàm lượng anthocyanin, giá trị màu sắc L*, và a*. Trong khi đó, sự ảnh hưởng của thời gian nướng được thể hiện rõ đối với giá trị màu sắc b* và H°. Ở nhiệt độ nướng 170°C và thời gian nướng 20 phút, bánh khoai mỡ nướng đạt giá trị cảm quan cao nhất với màu tím đẹp, cấu trúc giòn xốp, mùi vị hài hòa. Bánh có lớp vỏ giòn và phần ruột mềm mại khi độ ẩm khoảng 26 - 27%. Bên cạnh đó, hàm lượng anthocyanin được giữ lại trong bánh nhiều nhất (7,52 mg%). Hàm lượng anthocyanin trong

bánh khoai mỡ tím có thể được dự đoán khi sử dụng mô hình phản ứng bậc nhất theo nhiệt độ và thời gian nướng. Mô hình Arrhenius có thể sử dụng tính năng lượng hoạt hóa 49.48 KJ/mol phân hủy anthocyanin trong quá trình nướng. Hàm lượng anthocyanin có quan hệ nghịch chiều mạnh với nhiệt độ nướng nhưng quan hệ thuận chiều mạnh với độ ẩm. Nghiên cứu không chỉ cung cấp dữ liệu về sự biến đổi anthocyanin trong quá trình nướng mà còn cho thấy tiềm năng phát triển bánh nướng từ khoai mỡ tím như một sản phẩm giàu dinh dưỡng và chất chống oxy hóa. Với nguyên liệu tự nhiên, lợi ích sức khỏe và màu sắc hấp dẫn,

sản phẩm này có thể thu hút người tiêu dùng trong xu hướng thực phẩm lành mạnh, đồng thời góp phần đa dạng hóa thị trường và nâng cao giá trị kinh tế từ nguồn nguyên liệu địa phương. Các phụ gia, chất bảo quản và bao bì sẽ được nghiên cứu nhằm kéo dài thời gian bảo quản sản phẩm một cách an toàn và vệ sinh thực phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Scott, G. J., Rosegrant, M. W. & Ringler, C., (2000). Roots and tubers for the 21st century trends, projections and policy options food, agriculture and the environment discussion paper 31. International Food Policy Research Institute. 2033 K Street, N. W., Washington, DC 20006-1002 USA.
2. Tsai, S. S. & Tai, F. J. (1984). Studies on the mucilage from tuber of yam (*Dioscorea alata* Linn.) I. Isolation and purification of the mucilage. *Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society*, 22(1 - 2), 88 - 94.
3. Shang, H. F., Cheng, H. C., Liang, H. J., Liu, H. Y., Liu, S. Y. & Hou, W. C. (2007). Immunostimulatory activities of yam tuber mucilages. *Botanical Studies*, 48(1), 63 - 70.
4. Hou, W. C., Lee, M. H., Chen, H. J., Liang, W. L., Han, C. H., Liu, Y. W. & Lin, Y. H. (2001). Antioxidant activities of dioscorin, the storage protein of yam (*Dioscorea batatas* Decne) tuber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4956 - 4960.
5. Boban, P. T., Nambisan, B. & Sudhakaran, P. R. (2006). Hypolipidaemic effect of chemically different mucilages in rats: A comparative study. *British Journal of Nutrition*, 96(6), 1021 - 1029.
6. Yeh, A. I., Chan, T. Y. & Chuang, G. C. C. (2009). Effect of water content and mucilage on physico-chemical characteristics of Yam (*Dioscorea alata* Purpurea) starch. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 106 - 114.
7. Larief, R., Dirpan, A. & Theresia. (2018). Purple yam flour (*Dioscorea alata* L.) processing effect on anthocyanin and antioxidant capacity in traditional cake “bolu cukke” making. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 207, p. 012043). IOP Publishing.
8. Jiao, X., Sherman, B. T., Huang, D. W., Stephens, R., Baseler, M. W., Lane, H. C. & Lempicki, R. A. (2012). DAVID-WS: A stateful web service to facilitate gene/protein list analysis. *Bioinformatics*, 28(13), 1805 - 1806.
9. Ashwin, P. P., Sutar, N. G., Vishnu, A. S., Ajith, J. S. & Waghade, P. B. (2023). Anticancer activity of anthocyanins: A comprehensive review. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 10(1S), 5993 - 6007.
10. Singthong, J. (2018). Functional properties of purple yam (*Dioscorea alata*) flour. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 25(2).
11. Phan, K. T. L., Chittrakorn, S., Tai, H. P. & Ruttarattanamongkol, K. (2018). Effects of cooking methods on the changes of total anthocyanins, phenolics content and physical characteristics of purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) grown in Vietnam. *International Journal Advance Science Engineering Information Technology*, 8, 227 - 233.
12. Kehinde, O. E., Ayodele, I. M., John, B. A., Omowunmi, O. O. & Adewale, O. S. (2021). Effect of baking time and temperature on the baking quality and sensory attribute of cake produced from wheat-tigernut pomace flour blends by surface methodology. *Carpathian Journal of Food Science & Technology*, 13(3).
13. Kumari, A., Eljeeva Emerald, F. M., Simha, V. & Pushpadass, H. A. (2015). Effects of baking conditions on colour, texture and crumb grain characteristics of Chhana Podo. *International Journal of Dairy Technology*, 68(2), 270 - 280.
14. Suzanne, N. S. (2010). Food Analysis. 4th edition. Springer New York Dordrecht Heidelberg.
15. Lambert-Meretei, Szendrei, E., Nogula-Nagy, M. & Fekete, A. (2010). *Methods to evaluate the effects of bread improver additive on bread crumb texture properties*. <https://doi.org/10.1556/aalim.39.2010.2.10>
16. Lee, J., Durst, R. W. & Wrolstad, R. E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants and wines by the pH differential method: Collaborative study. *J. AOAC Int* 88, 1269 - 1278.
17. Labuza, T. P. (1984). Application of chemical kinetics to deterioration of foods. *Journal of chemical Education*. 61: 348 - 358.

18. Özsen, D., & Erge, H. S. (2013). Degradation kinetics of bioactive compounds and change in the antioxidant activity of wild strawberry (*Fragaria vesca*) pulp during heating. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 2261 - 2267.
19. Poste, L. M., Mackie, A. D., Butler, G. & Larmond, E. (1991). Laboratory methods of sensory evaluation of food. Research branch Canada Department of Agriculture Publications.
20. Saric, B., Nedeljkovic, N., Simurina, O., Pestoric, M., Kos, J., Mandic, A., Sakac, M., Saric, L., Psodorov, D. & Misan, A. (2014). The influence of baking time and temperature on characteristics of gluten free cookies enriched with blueberry pomace. *Food and Feed Research*, 41(1), 39 - 46.
21. Panghal, A., Chhikara, N., & Khatkar, B. S. (2018). Effect of processing parameters and principal ingredients on quality of sugar snap cookies: a response surface approach. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 3127 - 3134.
22. Patel, B. K., & Seetharaman, K. (2006). Effect of heating rate on starch granule morphology and size. *Carbohydrate Polymers*, 65(3), 381 - 385.
23. Im, J. S., Huff, H. E. & Hsieh, F. H. (2003). Effects of processing conditions on the physical and chemical properties of buckwheat grit cakes. *Journal Agriculture Food Chemistry*. 51: 659 - 666.
24. Galanakis, C. M., Aldawoud, T. M. S., Rizou, M., Rowan, N. J. & Ibrahim, S. A. (2020). Food ingredients and active compounds against the coronavirus disease (COVID-19) pandemic: A comprehensive review. *Foods*. 9: 1701.
25. Mondal, A. & Datta, A. K. (2008). Bread baking - A review. *Journal of Food engineering*, 86(4), 465 - 474.
26. Võ Tấn Thành, Vũ Trường Sơn (2011). *Giáo trình kỹ thuật thực phẩm 1*. Nxb Đại học Cần Thơ.
27. Žilić, S., Kocadağlı, T., Vančetočić, J., & Gökmen, V. (2016). Effects of baking conditions and dough formulations on phenolic compound stability, antioxidant capacity and color of cookies made from anthocyanin-rich corn flour. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 597 - 603.
28. Mishra, D. K., Dolan K. D., Yang L., (2008). Confidence intervals for modeling anthocyanin retention in grape pomace during nonisothermal heating. *Journal Food Science*. 73(1): E9 - E15.
29. Patras A., Brunton N. P., Donnell C. O. & Tiwari B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 3 - 11.
30. Hillmann, M. C. R., Burin, V. M. & Bordignon-Luiz, M. T. (2011). Thermal degradation kinetics of anthocyanins in grape juice and concentrate. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 1997 - 2000.
31. Wang, W., S. Xu, (2007). Degradation kinetics of anthocyanin in blackberry juice and concentrate. *Journal of Food Engineering*, 271 - 275.
32. Sui, X., Yap, P.Y. & Zhou, W. (2015). Anthocyanins During Baking: Their degradation kinetics and impacts on color and antioxidant capacity of bread. *Food Bioprocess Technology*, 8, 983 - 994.
33. Therdtai, N. & Zhou, W. (2003). Recent advances in the studies of bread baking process and their impacts on the bread baking technology. *Food Science and Technology Research*, 9(3), 219 - 226.
34. Schmidt, S. J. & Fontana Jr, A. J. (2020). E: water activity values of select food ingredients and products. Water activity in foods: *Fundamentals and applications*, 573 - 591.
35. Leiva, V. G. A., Quilaqueo, M., Lagos, D., Estay, D. & Pedreschi, F. (2018). Effect of formulation and baking conditions on the structure and development of non-enzymatic browning in biscuit models using images. *Journal Food Science Technology*, 55(4): 1234 - 1243.
36. Šarić, B. M., Nedeljković, N. M., Šimurina, O. D., Pestorić, M. V., Kos, J. J., Mandić, A. I. & Mišan, A. Č. (2014). The influence of baking time and temperature on characteristics of gluten free cookies enriched with blueberry pomace. *Food and Feed research*, 41(1), 39 - 46.
37. Chevallier, S., Della Valle, G., Colonna, P., Broyart, B. & Trystram, G. (2002). Structural and chemical modifications of short dough during baking. *Journal of Cereal science*, 35(1), 1 - 10.
38. Bùi Đức Hợi, Lê Hồng Khanh, Mai Văn Lê, Lê Thị Cúc, Hoàng Thị Ngọc Châu, Lê Ngọc Tú,

Lương Hồng Nga (2009). *Kỹ thuật chế biến lương thực* (Vol. 1). Nxb Khoa Học và Kỹ thuật.

39. Bakowska, A. (2003). The effects of heating, UV irradiation, and storage on stability of the anthocyanin-polyphenol copigment complex. *Food Chemistry*, 81(3), 349 - 355.

40. Wang, W. D. & Xu, S. Y. (2007). Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. *Journal of Food Engineering*, 82(3), 271 - 275.

41. Laleh, G., Frydoonfar, H., Heidary, R., Jameei, R. & Zare, S. (2006). The effect of light, temperature, pH and species on stability of anthocyanin pigments in four Berberis species. *Pakistan Journal of Nutrition*, 5(1), 90 - 92.

42. Jiménez, N., Dornier, M., Bonazzi, C., Pérez, A. & Vaillant, F.. (2012). Effect of water activity on anthocyanin degradation and browning kinetics at high temperatures (100 - 140 °C). *Food Research International*. 47, 106 - 115. 10.1016/j.foodres.2012.02.004.

EFFECT OF BAKING ON THE KINETICS OF ANTHOCYANIN DEGRADATION AND QUALITY OF PURPLE YAM (*Dioscorea alata*) PIES

Duong Ha Dieu Ngan¹, Nguyen Ma Kim Yen¹, Ha Ngoc Nhu Y¹,

Dang Ngoc The², Nguyen Thi Cam Tien², Nhan Minh Tri²

¹ Food Technology Department, Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University

² Postharvest Technology Department, Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University

Summary

Purple yam (*Dioscorea alata*) contains a high amount of the natural pigment anthocyanin, which has antioxidant properties and helps in preventing diabetes and colon cancer. In addition, purple yam contains mucilage, which acts as a prebiotic and has a high moisture retention capacity. Purple yam is used in the production of baked goods with nutritional and sensory value. The objective of this study is to evaluate the effect of baking temperature (150, 160, 170°C) and baking time (20, 25, 30 minutes) on the quality of purple yam pie (moisture content, water activity, hardness, cohesiveness, anthocyanin content, L, a*, b*, H° values, and sensory properties). Besides the 27 samples analyzed for physicochemical properties and anthocyanin content, the control (unbaked) sample was evaluated for anthocyanin to assess the kinetic reaction using the first-order and Arrhenius models. The results show that baking at 170°C for 20 minutes obtained the highest sensory scores, with a beautiful purple color and delicious flavor. The cake had a crispy crust and a tender crumb with with a moisture content of approximately 26 - 27% and the highest anthocyanin content of 7.52 mg/100 g. The first-order reaction model could be used to predict the remaining anthocyanin content in the purple yam pie when baked at different temperatures and times. The Arrhenius model was used to calculate the activation energy for the anthocyanin degradation process during baking, with the activation energy value of 49.48 kJ/mol. Anthocyanin content showed a strong inverse relationship with baking temperature, but a strong direct relationship with the cake's moisture content. The research results not only provide scientific data on the changes in anthocyanin during baking but also highlight the potential for developing baked products from purple yam, contributing to the diversification of antioxidant - rich food products in the market.

Keywords: Anthocyanin, color, hardness, kinetic reaction, purple yam pie, water activity.

Ngày nhận bài: 3/01/2025

Ngày chuyển phản biện: 10/02/2025

Ngày thông qua phản biện: 7/3/2025

Ngày duyệt đăng: 26/3/2025