

TỐI ƯU HÓA CÔNG THỨC SẢN PHẨM THỊT GIẢ CÓ NGUỒN GỐC THỰC VẬT TỪ ĐIỂM ĐÁNH GIÁ CẢM QUAN BẰNG PHƯƠNG PHÁP BỀ MẶT ĐÁP ỨNG (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY) OPTIMIZATION OF PLANT – BASED MEAT FORMULATION FROM SENSORY PROPERTIES USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

NGUYỄN THỊ XUÂN THUY^{1,a}, NGUYỄN PHỤNG TIÊN¹
VÀ TRẦN HỒNG QUÂN²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Đại học Cần Thơ

^aTác giả liên hệ: 23905001@st.vlute.edu.vn

Nhận bài(Received): 21/4/2025; Phản biện (Reviewed): 08/5/2025; Chấp nhận (Accepted): 12/6/2025

TÓM TẮT

Công thức sản phẩm thịt giả từ thực vật (PBM) được tối ưu hóa bằng phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) với thiết kế CCD. Hai biến độc lập được khảo sát là tỷ lệ đậu xanh (X_1) và bột mì (X_2). Mô hình hồi quy bậc hai cho thấy sự phù hợp với dữ liệu thực nghiệm ($R^2 = 0,84-0,97$; $p < 0,05$, Lack of Fit $> 0,05$, CV $< 2,5\%$), với độ tin cậy cao. Kết quả tối ưu đạt được với tỷ lệ 30,00% đậu xanh và 3,86% bột mì, độ thỏa dụng 0,735. Các chỉ tiêu cảm quan dự đoán đều đạt mức cao: màu sắc (7,67); mùi (7,44); vị (7,44); cấu trúc (7,85) và mức độ yêu thích (6,97). RSM hiệu quả trong việc xác định công thức chế biến tối ưu, góp phần phát triển sản phẩm PBM có chất lượng cảm quan cao và tiềm năng được người tiêu dùng chấp nhận.

Từ khóa: Thịt giả (PBM), phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM), thiết kế tổng hợp trung tâm (CCD), đánh giá cảm quan, tối ưu hóa công thức

ABSTRACT

The formulation of a plant-based meat (PBM) product from mung bean and wheat flour was optimized using Response Surface Methodology (RSM) with a Central Composite Design (CCD). Two independent variables were investigated with the ratio between mung bean (X_1) and wheat flour (X_2). The second-order regression models showed a good fit with the experimental data ($R^2 = 0,84-0,97$; $p < 0,05$; Lack of Fit $> 0,05$; CV $< 2,5\%$), indicating high reliability. The optimal formulation was determined to be 30,00% mung bean and 3,86% wheat flour, with a desirability score of 0,735. The predicted sensory attributes were all rated highly: color (7,67); aroma (7,44); taste (7,44); texture (7,85); and overall acceptability (6,97). RSM proved to be effective in identifying the optimal processing formulation, contributing to the development of a PBM product with high sensory quality and strong potential for consumer acceptance.

Keywords: Plant-based meat (PBM), Response Surface Methodology (RSM), Central Composite Design (CCD), Sensory evaluation, Formula optimization

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, nhu cầu về các sản phẩm thay thế thịt có nguồn gốc từ thực vật (plant-based meat) đã gia tăng đáng kể do nhận thức ngày càng cao của người tiêu dùng về sức khỏe, môi trường (Devi et al., 2024). Thịt giả từ thực vật được thiết kế để mô phỏng đặc tính cảm quan, giá trị dinh dưỡng và chức năng của thịt động vật, đặc biệt là trong các sản phẩm như burger patty (nhân burger) – một món ăn phổ biến trong khẩu phần ăn phương Tây và đang dần phổ biến tại nhiều quốc gia châu Á. Sự phát triển của sản phẩm thịt giả từ thực vật không chỉ góp phần giảm thiểu tác động môi trường do ngành chăn nuôi mà còn đáp ứng nhu cầu của nhóm người ăn chay, người theo chế độ ăn lành mạnh, hoặc những người có nhu cầu giảm tiêu thụ thịt đỏ (Kyriakopoulou et al., 2019). Để đạt được cấu trúc và hương vị giống với thịt thật, các nguyên liệu phổ biến được sử dụng trong sản xuất PBM thường bao gồm các nguồn protein thực vật như đậu nành, đậu xanh, đậu Hà Lan, lúa mì hoặc các loại hạt ngũ cốc (Singh et al., 2021). Ngoài protein, các thành phần như chất béo thực vật, chất tạo màu (như củ dền), chất tạo cấu trúc (bột mì) và gia vị cũng được bổ sung nhằm tạo cấu trúc, mùi vị giống thịt, cũng như độ mềm nước cho sản phẩm.

Việc phát triển sản phẩm PBM dạng nhân burger đòi hỏi sự tối ưu hóa công thức phối trộn nguyên liệu nhằm đảm bảo sự cân bằng giữa các yếu tố cảm quan, giá trị dinh dưỡng và tính khả thi trong quá trình chế biến. Trong nghiên cứu này, công thức PBM dạng nhân burger được tối ưu hóa dựa trên việc sử dụng protein từ đậu xanh và bột mì – hai nguồn nguyên liệu phổ biến, có chi phí hợp lý và giàu dinh dưỡng. Phương pháp bề mặt đáp ứng (Response Surface Methodology – RSM) kết hợp với

thiết kế CCD (Central Composite Design) được áp dụng để khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ đậu xanh và bột mì đến các thuộc tính cảm quan bao gồm màu sắc, mùi, vị, cấu trúc, và mức độ yêu thích của sản phẩm. Qua đó góp phần đa dạng hóa danh mục thực phẩm nguồn gốc thực vật, thân thiện với môi trường và phù hợp với xu hướng tiêu dùng hiện đại.

2. NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Đậu xanh bóc vỏ (thương hiệu Xuân Hồng), nấm bào ngư xám (vùng trồng Mỹ An, Mang Thít, Vĩnh Long), củ dền đỏ (vùng trồng Đà Lạt), bột mì đa dụng (thương hiệu Đại Phong), hành tím, tỏi, dầu ăn vi chất dinh dưỡng (thương hiệu Tường An) và bột tiêu được mua từ Siêu thị Co.opmart Vĩnh Long (Số 26, đường 3/2, phường 01, thành phố Vĩnh Long, tỉnh Vĩnh Long),

2.2. Phương pháp chuẩn bị mẫu PBM

Đậu xanh (*Vigna radiata*) được loại bỏ vỏ, rửa sạch và ngâm trong 8 giờ ở nhiệt độ phòng sau đó được hấp chín ở 100°C trong 20 phút, nghiền nhuyễn và phối trộn với bột mì theo tỷ lệ được thể hiện trong Bảng 1 cùng với các thành phần khác gồm hành tím, tỏi, củ dền, tiêu, muối, dầu thực vật được cố định hàm lượng tương ứng 3,3g/100g; 3,3g/100g; 30g/100g; 0,35 g/100g; 0,85 g/100g; 1,25 g/100g và nấm bào ngư với hàm lượng thay đổi theo từng công thức để đạt tổng khối lượng 100g. Các nguyên liệu đã chuẩn bị được nghiền bằng máy trong thời gian 2 phút, sau đó được cho vào khuôn để định hình sản phẩm (patties). Mẫu được đem hấp trong 7 phút ở 100°C, sau đó mẫu được ổn định ở nhiệt độ phòng trong 30 phút và tiến hành phân tích, đánh giá chất lượng.

Bảng 1. Bảng thiết kế tổng hợp trung tâm (Central Composite Design – CCD) của hai biến độc lập là đậu xanh (X_1 , g/100 g) và bột mì (X_2 , g/100 g)

Thứ tự mẫu (Run order)	Mức độ mã hóa (Code level)		Mức độ thực (Actual levels)	
	X_1 : Đậu xanh (g/100g)	X_2 : Bột mì (g/100g)	X_1 : Đậu xanh (g/100g)	X_2 : Bột mì (g/100g)
1	-1,000	-1,000	30	2
2	1,000	-1,000	50	2
3	-1,000	1,000	30	5
4	1,000	1,000	50	5
5	-1,414	0,000	25,86	3,5
6	1,414	0,000	54,14	3,5
7	0,000	-1,414	40	1,38
8	0,000	1,414	40	5,62
9	0,000	0,000	40	3,5
10	0,000	0,000	40	3,5
11	0,000	0,000	40	3,5
12	0,000	0,000	40	3,5
13	0,000	0,000	40	3,5

2.3. Thiết kế thí nghiệm và phân tích thống kê

Thiết kế tổng hợp trung tâm (Central Composite Design – CCD) thuộc phương pháp bề mặt đáp ứng (Response Surface Methodology – RSM) được áp dụng với hai biến độc lập: tỷ lệ đậu xanh (X_1 , g/100 g sản phẩm) và tỷ lệ bột mì (X_2 , g/100 g sản phẩm), mỗi biến được khảo sát ở năm mức mã hóa khác nhau. Mức trung tâm của các biến được mã hóa là 0; các mức thực tế và

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_1 X_1^2 + \beta_2 X_2^2$$

Trong đó, Y là các biến phụ thuộc (màu sắc, mùi, vị, cấu trúc, mức độ yêu thích); là hệ số hằng số; β_1 và β_2 là hệ số tuyến tính của X_1 và X_2 tương ứng; β_{12} là hệ số tương tác giữa hai biến độc lập. Phân tích phương

mã hóa chi tiết được trình bày trong Bảng 1. Tổng số 13 thí nghiệm được thực hiện, trong đó bao gồm 5 điểm lặp lại tại trung tâm nhằm ước lượng sai số thuần (pure error). Giá trị đáp ứng (Y) được xác định là trung bình điểm đánh giá cảm quan đối với các thuộc tính: màu sắc, mùi, vị, cấu trúc và mức độ yêu thích tổng thể. Dữ liệu thu được được mô hình hóa bằng phương trình hồi quy bậc hai như sau:

sai (ANOVA) được sử dụng để đánh giá mức độ phù hợp và ý nghĩa thống kê của mô hình hồi quy. Việc lựa chọn mô hình tối ưu dựa trên các chỉ số thống kê bao gồm hệ số xác định (R^2), hệ số xác định

hiệu chỉnh (Adjusted R^2), hệ số xác định dự đoán (Predicted R^2), độ phù hợp mô hình (Lack of Fit) và độ biến thiên tương đối (CV%). Các mối quan hệ giữa biến độc lập và đáp ứng được thể hiện trực quan bằng biểu đồ đường đồng mức (contour plots). Tối ưu hóa điều kiện phối trộn được thực hiện bằng cách xác định tổ hợp tỷ lệ nguyên liệu cho giá trị cảm quan cao nhất. Toàn bộ quá trình thiết kế thí nghiệm và phân tích dữ liệu được thực hiện bằng phần mềm Design-Expert version 7.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA). Mức ý nghĩa thống kê được thiết lập tại ngưỡng $p < 0,05$.

2.4. Phương pháp đánh giá cảm quan

Đánh giá cảm quan của sản phẩm được thực hiện theo phương pháp thang điểm thị hiếu 9.0 điểm của Ahmad et al. (2005). Các mẫu được mã hóa ngẫu nhiên bằng ba chữ số và đựng trong đĩa nhựa trắng để đảm bảo tính khách quan trong quá trình đánh giá. Tất cả mẫu được đánh giá dựa trên các tiêu chí cảm quan bao gồm trạng thái kết cấu, màu sắc, mùi, vị và mức độ yêu thích tổng thể. Thang điểm dao động từ 1,0 (cực kỳ không thích) đến 9,0 (cực kỳ thích). Tổng cộng có ít nhất 50 người tham gia đánh giá cảm quan, tất cả đều không được huấn luyện và nằm trong độ tuổi từ 18 đến 35 tuổi.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hệ số hồi quy và ý nghĩa thống kê

Dựa trên thiết kế thí nghiệm theo CCD (RSM), 13 công thức với hai biến độc lập gồm đậu xanh (X_1 , g/100 g) và bột mì (X_2 , g/100 g) đã được thiết lập để phát triển sản phẩm PBM (Bảng 1). Các mẫu sau khi chế biến được tiến hành đánh giá cảm quan các chỉ tiêu gồm: màu sắc, mùi, vị, cấu trúc, mức độ yêu thích. Kết quả cho thấy, dữ liệu

thu được từ các thí nghiệm phù hợp với phương trình hồi quy bậc hai. Các mô hình đa thức được xây dựng thể hiện hệ số xác định (R^2) tương đối cao, lần lượt là 0,8903; 0,8412; 0,8506; 0,9286; 0,9660 (Bảng 2). Giá trị R^2 càng gần 1 cho thấy mô hình càng phù hợp với dữ liệu thực nghiệm. Kết quả phân tích phương sai (ANOVA) cũng chỉ ra rằng có ít nhất một hệ số trong mô hình có ý nghĩa thống kê trong việc giải thích biến thiên của các biến phụ thuộc, thể hiện qua giá trị p nhỏ (Quan and Benjakul, 2019). Ngoài ra, hệ số biến thiên (CV) của các mô hình đều nhỏ hơn 10%, cho thấy độ chính xác hợp lý của thí nghiệm và khả năng tái lập cao của mô hình (Mahawar et al., 2018). Giá trị “lack of fit” không có ý nghĩa thống kê (p -value $> 0,05$) cũng chứng minh rằng các mô hình xây dựng là phù hợp với dữ liệu thực nghiệm (Chotphruethipong et al., 2017).

3.2. Ảnh hưởng của các yếu tố độc lập đến các chỉ tiêu cảm quan và điểm yêu thích

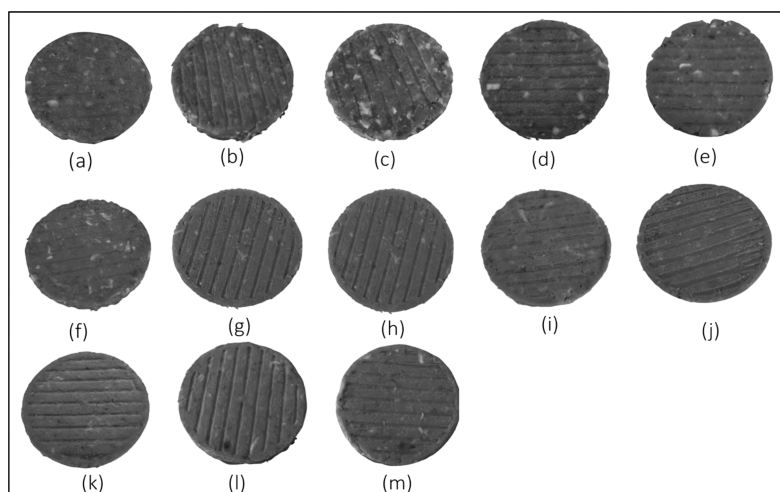
Trong nghiên cứu này, các yếu tố ảnh hưởng của đậu xanh và bột mì đến các chỉ tiêu cảm quan (màu sắc, mùi, vị, trạng thái kết cấu) và mức độ yêu thích tổng thể của sản phẩm PBM đã được đánh giá. Kết quả phân tích hồi quy cho thấy các yếu tố đậu xanh (X_1) và bột mì (X_2) có ảnh hưởng đáng kể đến các chỉ tiêu cảm quan bao gồm màu sắc, mùi, vị, cấu trúc và mức độ yêu thích tổng thể của sản phẩm (bảng 2). Các mô hình hồi quy đều có hệ số xác định cao (R^2 dao động từ 0,8413 đến 0,9660) với $p < 0,05$, cho thấy các mô hình là phù hợp và có ý nghĩa thống kê. Bên cạnh đó, giá trị “lack of fit” đều không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$), cùng với hệ số biến thiên (CV) thấp (0,89% - 2,34%), chứng tỏ mô hình có độ lặp lại và độ chính xác cao.

Bảng 2. Hệ số hồi quy của các mô hình đa thức bậc hai dự đoán cho các chỉ tiêu cảm quan (màu sắc, mùi, vị, cấu trúc) và điểm yêu thích tổng thể của sản phẩm PBM

Regression coefficients (β)	Màu sắc	Mùi	Vị	Cấu trúc	Yêu thích
Intercept					
β_1	8,372	7,4600	7,2446	7,280	7,1128
Linear					
β_1	-0,0928	-0,236	-0,2291	-0,3569	-0,0259
β_2	-0,0328	-0,0123	-0,0119	0,1052	-0,0055
Cross product					
β_{12}	-0,0488	0,0100	0,0097	-0,2750	-0,1973
Quadratic					
β_{11}	-0,3260	-0,0075	-0,0111	0,1288	-0,2030
β_{22}	-0,2623	-0,2975	-0,2924	-0,1713	-0,2272
R^2	0,8903	0,8413	0,8506	0,9287	0,9660
P-value	0,0030	0,0102	0,0083	0,0007	0,0001
Lack of fit	0,1130	0,1130	0,0789	0,0734	0,1017
CV (%)	1,7897	2,3358	2,2681	1,9245	0,8866

Đối với chỉ tiêu màu sắc, kết quả hồi quy cho thấy cả đậu xanh ($X_1^2 = -0,326$) và bột mì ($X_2^2 = -0,2623$) đều ảnh hưởng đáng kể đến màu sắc sản phẩm theo xu hướng phi tuyến (hình 1), Khi tỷ lệ hai nguyên liệu vượt quá mức tối ưu, điểm màu sắc có xu hướng giảm, có thể do sự pha trộn giữa sắc vàng tự nhiên của đậu xanh và màu trắng của bột mì làm thay đổi sắc độ tổng thể. Biểu đồ contour (hình 2a) minh họa rõ vùng tối ưu nằm gần trung tâm

($X_1 \approx 50\%$, $X_2 \approx 3,5$), nơi sản phẩm đạt giá trị màu sắc cao nhất. Khi rời xa vùng này, điểm màu giảm dần, thể hiện qua sự chuyển sắc từ cam-vàng sang xanh trên biểu đồ. Mô hình có hệ số xác định cao ($R^2 = 0,8903$), p-value = 0,0030 và Lack of fit = 0,1130 (bảng 2), cho thấy mô hình phù hợp và có độ tin cậy trong dự đoán ảnh hưởng của nguyên liệu đến màu sắc. Mô hình hồi quy đa thức đã được xây dựng giữa màu sắc và các biến độc lập như sau:



Hình 1. Các mẫu PBM được chế biến với các tỷ lệ đậu xanh (X_1) và bột mì (X_2) khác nhau như sau: (a) $X_1 = 40$ g/100 g và $X_2 = 5,62$ g/100 g; (b) $X_1 = 50$ g/100 g và $X_2 = 5$ g/100 g; (c) $X_1 = 40$ g/100 g và $X_2 = 1,38$ g/100 g; (d) $X_1 = 30$ g/100 g và $X_2 = 5$ g/100 g; (e) $X_1 = 40$ g/100 g và $X_2 = 3,5$ g/100 g; (f) $X_1 = 30$ g/100 g và $X_2 = 2$ g/100 g; (g) $X_1 = 50$ g/100 g và $X_2 = 2$ g/100 g; (h) $X_1 = 25,86$ g/100 g và $X_2 = 3,5$ g/100 g; (i) $X_1 = 54,14$ g/100 g và $X_2 = 3,5$ g/100 g; (j) $X_1 = 40$ g/100 g và $X_2 = 3,5$ g/100 g; (k) $X_1 = 40$ g/100 g và $X_2 = 3,5$ g/100 g; (l) $X_1 = 40$ g/100 g và $X_2 = 3,5$ g/100 g; (m) $X_1 = 40$ g/100 g và $X_2 = 3,5$ g/100 g

$$\text{Màu sắc} = +1,72077 + 0,26290 * X_1 + 0,92403 * X_2 - 3,25000E-003 * X_1 X_2 - 3,26000E-003 * X_1^2 - 0,11656 * X_2^2$$

Mùi của sản phẩm thông qua hệ số hồi quy tuyến tính âm của đậu xanh ($\beta_1 = -0,2362$) cho thấy nguyên liệu này có ảnh hưởng đáng kể. Khi hàm lượng đậu xanh tăng, mùi đặc trưng của đậu có thể gây cảm giác khó chịu cho người tiêu dùng. Ngược lại, bột mì ($\beta_2 = -0,0123$) không ảnh hưởng đáng kể, Hình 2b thể hiện rõ vùng tối ưu về mùi tập trung gần trung tâm ($X_1 \approx 40-45\%$; $X_2 \approx 3,0-3,5$), nơi sản phẩm đạt điểm đánh giá cao nhất, thể hiện bằng gam màu cam-đỏ. Khi xa vùng này cùng với tỷ lệ

$$\text{Mùi} = +6,78704 - 0,019950 * X_1 + 0,89067 * X_2 + 6,66667E-004 * X_1 X_2 - 7,50000E-005 * X_1^2 - 0,13222 * X_2^2$$

Tương tự, khi đánh giá về vị của sản phẩm, cả đậu xanh ($\beta_1 = -0,2291$) và bột mì ($\beta_2 = -0,0119$) đều có hệ số hồi quy tuyến tính âm, phản ánh xu hướng điểm cảm quan về vị sẽ giảm khi tăng hàm lượng nguyên liệu. Trong đó, đậu xanh có ảnh hưởng rõ rệt hơn, khi sử dụng ở tỷ lệ cao làm giảm mức độ chấp nhận của người tiêu dùng. Và ngược lại, bột mì hầu như không ảnh hưởng nhiều về vị. Hình 2c cho thấy điểm vị cao nhất tập trung ở vùng giữa biểu đồ, tương ứng với tỷ lệ đậu xanh khoảng 40-45% và bột mì khoảng 3,0-3,5%. Khi tăng tỷ lệ đậu

$$Vị = +6,50970 - 0,016292 * X_1 + 0,87595 * X_2 + 6,46733E-004 * X_1 X_2 - 1,11028E-004 * X_1^2 - 0,12997 * X_2^2$$

Ảnh hưởng của tỷ lệ đậu xanh (X_1) và bột mì (X_2) đến cấu trúc sản phẩm được thể hiện rõ qua biểu đồ (hình 2d). Kết quả phân tích hồi quy cho thấy yếu tố tỷ lệ đậu xanh có tác động tuyến tính âm mạnh đến cấu trúc sản phẩm với hệ số $\beta_1 = -0,357$. Điều này cho thấy khi tăng tỷ lệ đậu xanh trong công thức, cấu trúc sản phẩm có xu hướng suy giảm, thể hiện qua độ liên kết và độ đàn hồi yếu hơn. Nguyên nhân có thể là do đậu xanh không chứa gluten – một protein có vai trò quan trọng trong việc tạo mạng lưới cấu trúc giúp giữ hình dạng và độ dai của sản phẩm. Trong khi đó, bột mì cho thấy tác động tuyến tính dương nhẹ đến cấu trúc

đậu xanh tăng, màu sắc sản phẩm chuyển sang vàng và xanh, phản ánh sự giảm điểm cảm quan về mùi. Mô hình đạt $R^2 = 0,8413$; $p\text{-value} = 0,0102$; Lack of fit = 0,1130 và $CV = 2,34\%$ (bảng 2), cho thấy độ chính xác và khả năng dự đoán cao trong đánh giá mối liên hệ giữa thành phần nguyên liệu và cảm nhận mùi sản phẩm. Ảnh hưởng của hàm lượng đậu xanh và bột mì đến chỉ tiêu cảm quan về mùi của sản phẩm được mô tả thông qua phương trình hồi quy sau:

xanh về phía bên phải (trục X_1), điểm vị giảm dần, thể hiện qua sự chuyển màu từ xanh lá nhạt sang xanh lam đậm. Điều này hoàn toàn phù hợp với điểm đánh giá cảm quan, khi hàm lượng đậu xanh vượt mức tối ưu, điểm đánh giá giảm. Mô hình có $R^2 = 0,8506$, $p\text{-value} = 0,0083$, Lack of fit = 0,0789 và $CV = 2,268\%$ (bảng 2), cho thấy mô hình phù hợp và đáng tin cậy trong mô tả ảnh hưởng của thành phần đến chỉ tiêu vị. Mô hình đa thức hồi quy giữa chỉ tiêu đánh giá cảm quan vị và các biến độc lập được cho như sau:

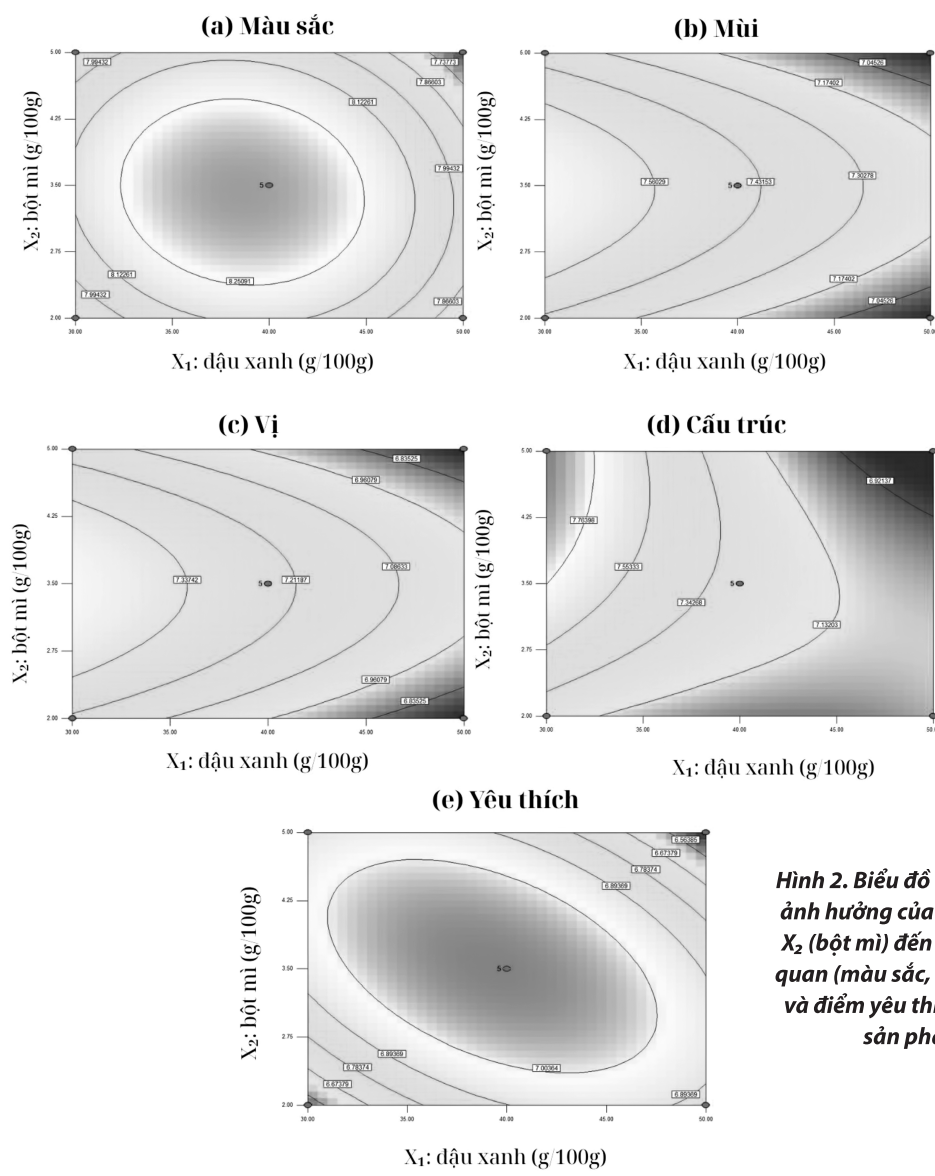
với hệ số $\beta_2 = 0,1052$, phản ánh vai trò hỗ trợ của gluten trong việc tăng độ bền và sự ổn định cấu trúc. Đặc biệt, tương tác giữa hai yếu tố X_1 và X_2 cũng có ảnh hưởng đáng kể ($X_1 X_2 = -0,275$), cho thấy rằng hiệu quả của bột mì trong việc cải thiện cấu trúc có thể bị hạn chế khi kết hợp với tỷ lệ đậu xanh cao. Mô hình xây dựng có hệ số xác định $R^2 = 0,9287$ và hệ số biến thiên $CV = 1,92\%$, cho thấy mô hình có độ phù hợp và khả năng dự đoán cao. Mối quan hệ giữa hàm lượng đậu xanh, bột mì và chỉ tiêu cảm quan cấu trúc được biểu diễn bằng phương trình hồi quy đa biến sau:

$$\text{Cấu trúc} = +7,02338 - 0,074529 * X_1 + 1,33623 * X_2 - 0,018333 * X_1 X_2 + 1,28750E-003 * X_1^2 - 0,076111 * X_2^2$$

Mức độ yêu thích tổng thể của sản phẩm được mô tả trong hình 2e. Mô hình hồi quy cho chỉ tiêu này có độ phù hợp cao với $R^2 = 0,9660$, $p\text{-value} = 0,0001$, Lack of Fit = 0,1017 và CV = 0,89% (bảng 2), cho thấy mô hình có ý nghĩa thống kê và khả năng dự đoán tốt. Hệ số bậc hai âm của $X_1(-0,2030)$ và $X_2(-0,2273)$ cho thấy việc tăng tỷ lệ đậu xanh và bột mì vượt ngưỡng tối ưu làm giảm mức độ yêu thích,

nhấn mạnh tầm quan trọng của việc cân đối thành phần. Nhìn chung, các chỉ tiêu cảm quan đều được mô hình hóa tốt với R^2 cao, sai số nhỏ và Lack of Fit không có ý nghĩa thống kê, khẳng định độ tin cậy của mô hình trong mô tả và dự đoán chất lượng cảm quan. Mô hình hồi quy đa thức được xây dựng để mô tả mối quan hệ giữa điểm cảm quan yêu thích tổng thể và các biến độc lập như sau:

$$\text{Yêu thích} = +0,90230 + 0,20586 * X_1 + 1,22943 * X_2 - 0,013150 * X_1 X_2 - 2,03025E-003 * X_1^2 - 0,10101 * X_2^2$$



Hình 2. Biểu đồ contour thể hiện ảnh hưởng của X_1 (đậu xanh) và X_2 (bột mì) đến các chỉ tiêu cảm quan (màu sắc, mùi, vị, cấu trúc) và điểm yêu thích tổng thể của sản phẩm PBM

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy sản phẩm PBM từ đậu xanh và bột mì có thể được phát triển hiệu quả thông qua phương pháp thiết kế bề mặt đáp ứng (RSM). Tỷ lệ phối trộn nguyên liệu ảnh hưởng đáng kể đến các đặc tính cảm quan, đặc biệt là vị, cấu trúc và mức độ yêu thích tổng thể. Mô hình hồi quy thu được có độ phù hợp cao và đáng

tin cậy, với giá trị mong muốn tổng hợp (desirability) đạt 0,735. Công thức tối ưu từ RSM với 30,00% đậu xanh và 3,86% bột mì cho ra sản phẩm có điểm cảm quan cao về mùi, vị, cấu trúc, và mức độ yêu thích trung bình đạt 6,97 điểm. Kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng nguyên liệu thực vật nội địa trong phát triển thực phẩm thay thế thịt giàu giá trị cảm quan và dinh dưỡng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Devi, T. A., Rahul, R., Joshua, H. M., Naveen, N., & Karthik, P. (2024). Formulation of plant-based meat alternatives and its optimization by experimental design using response surface methodology. *Sustainable Food Technology*, 2(4), 1139-1151.
- [2] Singh, M., Trivedi, N., Enamala, M. K., Kuppam, C., Parikh, P., Nikolova, M. P., & Chavali, M. (2021). Plant-based meat analogue (PBMA) as a sustainable food: A concise review. *European Food Research and Technology*, 247, 2499-2526.
- [3] Quan, T. H., & Benjakul, S. (2019). Impacts of desugarization and drying methods on physicochemical and functional properties of duck albumen powder. *Drying Technology*, 37(7), 864-875.
- [4] Kyriakopoulou, K., Dekkers, B., & van der Goot, A. J. (2019). Plant-based meat analogues. In *Sustainable meat production and processing* (pp. 103-126). Academic Press.
- [5] Mahawar, M. K., Jalgaonkar, K., Bibwe, B., Kulkarni, T., Bhushan, B., & Meena, V. S. (2018). Optimization of mixed aonla-guava fruit bar using response surface methodology. *Nutrition & Food Science*, 48(4), 621-630.
- [6] Chotphruethipong, L., Benjakul, S., & Kijroongrojana, K. (2017). Optimization of extraction of antioxidative phenolic compounds from cashew (*Anacardium occidentale* L.) leaves using response surface methodology. *Journal of Food Biochemistry*, 41(4), e12379.
- [7] Ahmad, S., Vashney, A. K., & Srivasta, P. K. (2005). Quality attributes of fruit bar made from papaya and tomato by incorporating hydrocolloids. *International journal of food properties*, 8(1), 89-99.