

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

YANG JIN HAN

**SNACK NGÔ GIÀU CHẤT XƠ:
ẢNH HƯỞNG CỦA NGUYÊN LIỆU, CÁC THÔNG SỐ
QUÁ TRÌNH ÉP ĐÙN VÀ CHIÊN
ĐẾN CHẤT LƯỢNG SẢN PHẨM**

Chuyên ngành: Công nghệ Thực phẩm
Mã số chuyên ngành: 62 54 02 01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2020

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn khoa học: GS. TS. Lê Văn Việt Mẫn

Phản biện độc lập 1:

Phản biện độc lập 2:

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....
vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

A. PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Thực phẩm ăn nhẹ (snack) rất tiện lợi trong xã hội hiện đại vì chúng cung cấp năng lượng cho người sử dụng. Tuy nhiên, thực phẩm ăn nhẹ chứa ít chất xơ so với nhu cầu dinh dưỡng hàng ngày của con người. Trong công nghiệp, phương pháp ép đùn và chiên thường được sử dụng để sản xuất thực phẩm ăn nhẹ. Các sản phẩm này có chứa nhóm phụ gia chống oxy hóa để hạn chế sự oxy hóa lipid trong quá trình chế biến và bảo quản. Hiện nay, người tiêu dùng có xu hướng sử dụng thực phẩm ăn nhẹ giàu chất xơ và không chứa các phụ gia tổng hợp. Có rất nhiều nghiên cứu sử dụng các nguồn chất xơ khác nhau trong quy trình sản xuất snack. Các nguồn chất xơ được nghiên cứu là bột ngũ cốc nguyên hạt, cám ngũ cốc, nguyên liệu giàu xơ có xuất xứ từ trái cây và các loài thực vật. Ngày nay, các chế phẩm xơ thương mại hóa đã được sử dụng trong các quy trình chế biến thực phẩm công nghiệp như polydextrose, tinh bột bền, maltodextrin bền, inulin và các loại gum. Thành phần hóa học và các tính chất kỹ thuật của chúng ổn định và đã được tiêu chuẩn hóa. Tuy nhiên, việc sử dụng chế phẩm xơ thương mại trong quy trình sản xuất snack đến nay vẫn chưa được công bố. Mặt khác, nhiều nghiên cứu sử dụng các chất chống oxy hóa tự nhiên để ngăn ngừa sự oxy hóa chất béo đã được thực hiện trên đối tượng khoai tây chiên. Tuy nhiên, có rất ít nghiên cứu về chất chống oxy hóa tự nhiên cho nhóm sản phẩm snack chiên. Đến nay, các chất chống oxy hóa tự nhiên đã được thương mại hóa trên toàn thế giới nhưng tác động của chúng đến chất lượng dầu trong quá trình chiên snack vẫn chưa được công bố.

Mục tiêu chung của nghiên cứu này là tạo ra sản phẩm snack ngô có những tác động có lợi cho sức khỏe và không dùng phụ gia tổng hợp. Các chế phẩm xơ thương mại và chất chống oxy hóa tự nhiên được thử nghiệm sử dụng trong quy trình chế biến để cải thiện chất lượng sản phẩm snack.

2. Mục tiêu của luận án

Mục tiêu của nghiên cứu này là làm rõ những ảnh hưởng của các chế phẩm xơ thương mại cũng như các điều kiện ép đùn đến chất lượng của sản phẩm snack ngô chiên. Ngoài ra, nghiên cứu cũng làm sáng tỏ ảnh hưởng của các chế phẩm chống oxy hóa thương mại có nguồn gốc thiên nhiên cũng như hàm lượng chất chống oxy hóa đến chất lượng của dầu cọ olein trong quá trình xử lý nhiệt và

chiên snack. Cuối cùng, snack giàu chất xơ được thử nghiệm in-vivo với mô hình chuột tăng lipid máu để làm rõ những tác động có lợi của sản phẩm đến sức khỏe chuột.

3. Những đóng góp mới của luận án

- Ảnh hưởng của các chế phẩm xơ và tỷ lệ khác nhau đến thành phần hóa học, tính chất vật lý và cảm quan của sản phẩm snack ngô đã được xác định.
- Ảnh hưởng của các thông số công nghệ của quá trình ép đùn đến thành phần hóa học, tính chất vật lý và cảm quan của snack giàu chất xơ đã được đánh giá và giải thích.
- Tác động của các loại dầu có nguồn gốc thiên nhiên như chất chống oxy hóa và ảnh hưởng hàm lượng của chúng đến chất lượng dầu cọ trong quá trình xử lý nhiệt và chiên snack đã được đánh giá.
- Các kết quả thu được sẽ góp phần phát triển sản phẩm thực phẩm mới và công nghệ xanh để ứng dụng trong sản xuất công nghiệp.

4. Bố cục của luận án

Luận án có 123 trang, 30 bảng, 21 hình và 223 tài liệu tham khảo, bao gồm các phần: Mở đầu; Chương 1: Tổng quan; Chương 2: Nguyên liệu và phương pháp nghiên cứu; Chương 3: Kết quả và bàn luận; Chương 4: Kết luận và kiến nghị; Tài liệu tham khảo; Các công trình đã công bố.

B. NỘI DUNG LUẬN ÁN

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1. Quy trình sản xuất snack có hàm lượng chất xơ cao

Quy trình sản xuất snack truyền thống và quy trình sản xuất snack có hàm lượng chất xơ cao là hoàn toàn tương tự nhau. Mặc dù quy trình chế biến đơn giản, có rất nhiều loại snack được sản xuất do sự khác biệt về loại nguyên phụ liệu và công thức phối trộn.

Nguyên phụ liệu, nước → Chuẩn bị → Phối trộn → Ép đùn → Sấy/Chiên → Phân gia vị → Bao gói → Sản phẩm snack.

1.2. Nguyên liệu sản xuất snack giàu chất xơ

1.2.1. Bột ngô

Bột ngũ cốc là nhóm nguyên liệu thường được sử dụng để sản xuất snack, trong đó, bột ngô là nguyên liệu phổ biến nhất được sử dụng để sản xuất các loại

snack bằng phương pháp ép đùn. Tính chất vật lý của hạt ngô chủ yếu liên quan đến tổng lượng protein trong hạt ngô và tỉ lệ nhóm protein zein.

1.2.2. Chế phẩm xơ

Theo Hiệp hội các nhà hóa học ngũ cốc Hoa Kỳ (AACC), chất xơ là thành phần ăn được có xuất xứ từ thực vật, chúng không bị tiêu hóa và không được hấp thu ở ruột non trong cơ thể con người nhưng chúng có thể được lên men hoàn toàn hoặc lên men một phần trong ruột kết. Chất xơ bao gồm polysaccharide, oligosaccharide, lignin và một số thành phần khác.

1.2.3. Chất chống oxy hóa tự nhiên

Phần lớn các chất chống oxy hóa tự nhiên là các hợp chất phenolic; các nhóm chất chống oxy hóa tự nhiên quan trọng nhất là tocopherols, flavonoid và acid phenolic. Chúng có xuất xứ từ các loại gia vị, thảo mộc, trà, dầu, hạt, ngũ cốc, vỏ ca cao, ngũ cốc, trái cây và rau quả.

1.3. Quá trình ép đùn

Ép đùn sẽ tạo ra sản phẩm có tỉ trọng thấp với nhiều lỗ xốp trong cấu trúc. Đây là kết quả của các biến đổi vật lý, hóa học và hóa lý của các nguyên liệu chứa tinh bột và protein thô. Quá trình ép đùn bao gồm tác động lên khối nguyên liệu như phối trộn, nhào, gia nhiệt, cắt và tạo hình.

CHƯƠNG 2: NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Nguyên liệu

- **Bột ngô** được cung cấp bởi Công ty Lê Huyền (tỉnh Đồng Nai, Việt Nam); thành phần hóa học của bột ngô (g/kg) như sau: độ ẩm: 123, tro: 7, protein: 60, lipid: 6, chất xơ: 45 và tổng carbohydrate: 758; kích thước hạt trung bình ($d_{3,2}$) là 35,8 μm .

- **Dầu cọ olein** được cung cấp bởi Công ty Cổ phần Dầu thực vật Tường An (Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam); hàm lượng acid béo tự do và giá trị peroxide tương ứng là 0,01 g/kg và 0,6 meq/kg.

- Chất xơ thực phẩm

Sáu chế phẩm xơ thương mại đã được sử dụng: polydextrose, xanthan gum, gum acacia, inulin, tinh bột bền và maltodextrin bền.

- Chất chống oxy hóa

Năm chế phẩm thương mại có hoạt tính chống oxy hóa có nguồn gốc thiên nhiên đã được sử dụng: dầu gỗ tuyết tùng, dầu sả, dầu đinh hương, dầu hạt nhục

đậu khấu và dầu hương thảo. Ngoài ra, tocopherol và hydroxytoluene butylated cũng được sử dụng làm mẫu đối chứng dương.

- **Chuột:** Mười lăm con chuột bạch tạng Thụy Sĩ ($31,2 \pm 0,41\text{g}$) đã được sử dụng cho các thí nghiệm. Chúng được cung cấp bởi Viện Pasteur Thành phố Hồ Chí Minh (Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam).

2.2. Hoạch định thí nghiệm

2.2.1. Phần 1: Sử dụng chế phẩm xơ trong quá trình ép đùn để cải thiện hàm lượng chất xơ cho sản phẩm snack ngô

Các loại chế phẩm xơ và tỷ lệ chất xơ khác nhau trong công thức nguyên liệu đã được nghiên cứu. Ngoài ra, ảnh hưởng của các thông số ép đùn bao gồm tốc độ quay của trục vít và nhiệt độ đến chất lượng sản phẩm cũng được khảo sát.

- Mục 1.1: Ảnh hưởng của các chế phẩm xơ khác nhau đến chất lượng snack.
- Mục 1.2: Ảnh hưởng của tỷ lệ chế phẩm xơ sử dụng đến chất lượng snack.
- Mục 1.3: Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đến chất lượng snack.
- Mục 1.4: Ảnh hưởng của nhiệt độ ép đùn đến chất lượng snack.

2.2.2. Phần 2: Sử dụng các chất chống oxy hóa tự nhiên trong quá trình chiên snack ép đùn từ ngô

Ảnh hưởng của các chất chống oxy hóa tự nhiên đến chất lượng dầu chiên trong quá trình xử lý nhiệt đã được nghiên cứu. Ngoài ra, ảnh hưởng của hàm lượng chất chống oxy hóa đến chất lượng dầu trong quá trình xử lý nhiệt và quá trình chiên snack cũng được đánh giá.

- Mục 2.1: Ảnh hưởng của các chất chống oxy hóa tự nhiên đến chất lượng dầu chiên trong quá trình xử lý nhiệt.
- Mục 2.2: Ảnh hưởng của nồng độ chất chống oxy hóa trong dầu chiên đến chất lượng dầu.
- Mục 2.3: Ảnh hưởng của chất chống oxy hóa đến chất lượng dầu trong nồi chiên và snack chiên trong quá trình tái sử dụng dầu chiên.

2.2.3. Phần 3: Lợi ích sức khỏe của snack ngô giàu polydextrose

Trong phần nghiên cứu này, tác dụng bảo vệ gan và hạ đường huyết của snack giàu chất xơ trên giống chuột bạch tạng Thụy Sĩ đã được nghiên cứu.

2.3. Phương pháp phân tích

- Phân tích hóa học:

- ✓ **Chất xơ:** độ ẩm, hàm lượng tro, hàm lượng protein thô, tổng hàm lượng lipid, tổng hàm lượng chất xơ, tổng hàm lượng carbohydrate.

- ✓ **Dầu:** chỉ số acid, nối đôi liên hợp, ba nối đôi liên hợp, giá trị peroxide, xét nghiệm loại phản ứng acid thiobarbituric (TBARS).
- **Phân tích vật lý cho sản phẩm ép đùn:** tỉ lệ giãn nở, tỉ trọng khối, độ giòn, độ cứng, độ màu, hình ảnh lỗ xốp trong cấu trúc sản phẩm.
- **Phân tích hóa lý cho sản phẩm ép đùn:** chỉ số hòa tan trong nước (WSI), chỉ số độ hấp thu nước (WAI).
- **Phân tích cảm quan:** Độ cứng và độ giòn của sản phẩm chiên được đánh giá bằng phương pháp thang điểm 9.
- **Thí nghiệm in vivo trên mô hình chuột:** các thông số sinh hóa huyết thanh, nghiên cứu mô bệnh học về gan.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Tất cả các thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Phân tích phương sai một chiều được thực hiện bằng phần mềm Statgraphics Centurion XV (Manugistic Inc., Rockville, MD, Hoa Kỳ) để xác định sự khác biệt kết quả là có ý nghĩa thống kê hay không ($p < 0,05$).

CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Sử dụng chế phẩm xơ trong quá trình ép đùn snack để cải thiện hàm lượng chất xơ cho sản phẩm snack ngô

3.1.1. Ảnh hưởng của các chế phẩm xơ thương mại đến chất lượng snack

3.1.1.1. Ảnh hưởng của các chế phẩm xơ đến thành phần hóa học của sản phẩm ép đùn

Thành phần hóa học của sản phẩm ép đùn được thể hiện trong Bảng 4.1.

Bảng 4.1. Ảnh hưởng của các loại chất xơ đến thành phần hóa học (g/kg) của sản phẩm^a (Hỗn hợp bao gồm 90,3% bột ngô, 5,0% sản phẩm chất xơ, 4,0% đường và 0,7% muối; tính theo trọng lượng khô).

Mẫu	Độ ẩm	Tro	Protein	Lipid	Chất xơ	Carbo hydrate
Đối chứng	13,0±0,7 ^a	6,5±0,1 ^a	46,7±0,1 ^{ac}	293,5±1,0 ^a	28,2±0,4 ^a	612,1
Polydextrose	9,9±1,1 ^b	6,4±0,1 ^a	44,1±1,0 ^b	326,5±2,5 ^b	62,3±1,3 ^b	550,8
Xanthan gum	20,2±1,4 ^d	12,2±0,2 ^d	55,8±0,6 ^d	190,3±1,2 ^c	89,9±4,6 ^d	631,6
Gum acacia	18,3±1,1 ^c	12,1±0,1 ^d	47,4±0,4 ^c	209,1±6,6 ^d	87,6±4,6 ^d	625,5
Inulin	11,9±1,0 ^a	7,3±0,2 ^b	47,1±0,3 ^{ac}	298,4±4,8 ^a	77,9±1,9 ^c	557,4
Tinh bột bền	11,4±1,1 ^{ab}	7,6±0,1 ^c	44,1±0,3 ^b	293,9±3,0 ^a	50,4±0,4 ^c	592,6
Maltodextrin bền	11,2±1,1 ^{ab}	7,0±0,2 ^c	46,3±0,4 ^a	276,2±2,4 ^c	53,0±0,1 ^c	606,3

^a Dữ liệu là các giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị có các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể ($p < 0,05$).

Việc sử dụng gum xanthan hoặc gum acacia làm tăng độ ẩm của sản phẩm ép đùn. Tuy nhiên, việc thêm polydextrose vào hỗn hợp làm giảm nhẹ độ ẩm của

sản phẩm trong khi sản phẩm ép đùn với inulin, tinh bột bền hoặc maltodextrin bền có độ ẩm tương tự như mẫu đối chứng. Việc sử dụng chế phẩm xơ đã thay đổi hàm lượng tro của sản phẩm. Tương tự như hàm lượng tro, hàm lượng protein trong sản phẩm cũng bị thay đổi. Sử dụng polydextrose hoặc tinh bột bền làm giảm lượng protein của sản phẩm ép đùn. Bổ sung gum xanthan hoặc gum acacia vào hỗn hợp làm giảm đáng kể hàm lượng chất béo của sản phẩm sau chiên. Sử dụng chế phẩm xơ làm tăng tổng hàm lượng chất xơ của sản phẩm. Mặc dù lượng chất xơ bổ sung đã được cố định ở mức 50g/kg cho tất cả các mẫu, nhưng tổng hàm lượng chất xơ trong sản phẩm thay đổi từ 50,4 đến 89,9g/kg.

3.1.1.2. Ảnh hưởng của các chế phẩm xơ đến tính chất vật lý của sản phẩm

Bảng 4.2 cho thấy sản phẩm chứa gum xanthan có tỷ lệ nở hướng tâm và hướng trục bị giảm đi so với mẫu đối chứng. Ngoài ra, việc sử dụng gum accacia, inulin hoặc tinh bột kháng làm giảm đáng kể tỷ lệ nở hướng tâm nhưng không làm thay đổi tỷ lệ nở hướng trục. Tuy nhiên, sản phẩm chứa polydextrose có tỷ lệ nở tương tự mẫu đối chứng.

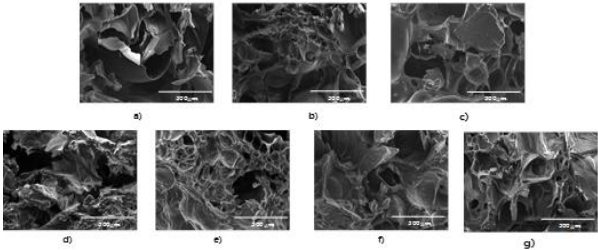
Bảng 4.2. Ảnh hưởng của các loại chất xơ đến tính chất vật lý của sản phẩm^a (Hỗn hợp bao gồm 90,3% bột ngô, 5,0% nguyên liệu chất xơ, 4,0% đường và 0,7% muối; tỷ lệ được tính theo trọng lượng khô).

Mẫu	Tỷ lệ nở hướng tâm (%)	Tỷ lệ nở hướng trục (%)	Tỷ trọng khối (g/L)	Độ giòn, (số lần)	Độ cứng (g)
Đối chứng	161±7 ^b	127±5 ^{ad}	57,5±0,4 ^a	108±2 ^a	520±110 ^{de}
Polydextrose	157±8 ^b	130±4 ^d	56,1±0,9 ^{ac}	96±1 ^b	550±190 ^e
Xanthan gum	148±18 ^a	120±4 ^b	92,3±0,1 ^c	115±2 ^e	770±100 ^c
Gum acacia	150±6 ^a	124±4 ^{ab}	89,8±0,4 ^d	64±2 ^d	630±290 ^a
Inulin	146±4 ^a	123±6 ^{ab}	71,5±1,8 ^b	87±2 ^c	640±100 ^a
Tinh bột bền	146±11 ^a	123±8 ^{ab}	61,5±0,9 ^f	127±2 ^f	500±230 ^d
Maltodextrin bền	158±8 ^b	135±7 ^c	55,4±1,0 ^c	95±2 ^b	340±80 ^b

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).

Việc sử dụng xanthan gum hoặc gum acacia làm tăng đáng kể tỉ trọng khối do tỷ lệ nở thấp hơn và độ ẩm cao hơn mẫu đối chứng. Ảnh chụp từ kính hiển vi điện tử quét cho thấy có các lỗ xốp trong sản phẩm chứa xanthan gum (Hình 4.1g) hoặc gum accacia (Hình 4.1e). Ngoài ra, việc thêm polydextrose vào hỗn hợp không làm thay đổi tỉ trọng khối sản phẩm do tỷ lệ nở không đổi. Các mẫu chứa xanthan gum và tinh bột bền có độ giòn cao hơn so với mẫu đối chứng trong khi các mẫu khác ít giòn hơn. Đối với độ cứng, sản phẩm chứa maltodextrin bền có kết cấu mềm nhất. Ngược lại, sử dụng xanthan gum, gum

acacia hoặc inulin đã tạo ra sản phẩm có kết cấu cứng hơn. Hình 4.1a cho thấy mẫu đối chứng chứa lỗ xốp to với lớp thành mỏng. Việc sử dụng polydextrose (Hình 4.1b) và maltodextrin bền (Hình 4.1g) cũng cho cấu trúc lỗ xốp tương đối to. Tuy nhiên, mẫu chứa inulin (Hình 4.1e) có các lỗ xốp nhỏ hơn đáng kể trong khi các mẫu chứa xanthan gum (Hình 4.1c) hoặc gum accacia (Hình 4.1d) có thành lỗ xốp dày hơn với cấu trúc xốp ít hơn.



Hình 4.1. Hình ảnh chụp kính hiển vi điện tử quét của sản phẩm với các nguyên liệu chất xơ khác nhau: a) mẫu đối chứng, b) Polydextrose, c) Gum Xanthan, d) Gum accacia, e) Inulin, f) Tinh bột bền, g) Maltodextrin bền.

Việc bổ sung chất xơ vào hỗn hợp làm tăng nhẹ giá trị độ sáng L*. Ngoài ra, cả hai giá trị a* và b* đều ít thay đổi khi các chế phẩm xơ khác nhau được sử dụng trong công thức nguyên liệu (Bảng 4.3).

Bảng 4.3. Ảnh hưởng của các loại chất xơ khác nhau đến màu sắc và tính chất cảm quan của sản phẩm^a (Hỗn hợp bao gồm 90,3% bột ngô, 5,0% nguyên liệu chất xơ, 4,0% đường và 0,7% muối; tỷ lệ được tính trên trọng lượng khô).

Mẫu	L*	a*	b*	ΔE	Độ cứng	Độ giòn
Mẫu đối chứng	71,3±0,9 ^a	9,0±0,0 ^a	36,7±0,6 ^a	4,2	3,6±1,0 ^{ab}	8,0±0,9 ^a
Polydextrose	72,5±0,1 ^b	9,2±0,1 ^a	33,4±0,3 ^b	4,2	3,9±0,6 ^b	6,0±0,8 ^b
Xanthan gum	76,8±0,3 ^c	7,5±0,2 ^c	39,1±0,3 ^d	4,2	8,0±0,6 ^e	2,0±0,5 ^f
Gum acacia	76,6±0,6 ^c	8,1±0,1 ^f	38,4±0,2 ^c	4,2	4,9±0,5 ^c	3,0±0,9 ^e
Inulin	75,2±0,1 ^d	8,7±0,1 ^d	38,2±0,3 ^c	4,2	5,4±1,2 ^c	4,0±0,9 ^c
Tinh bột bền	77,4±0,4 ^c	6,9±0,2 ^b	38,2±0,3 ^c	4,2	3,1±0,4 ^f	8,0±0,8 ^a
Maltodextrin bền	77,0±0,1 ^c	7,8±0,1 ^e	36,4±0,3 ^a	4,2	2,7±0,4 ^d	7,0±0,7 ^d

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).

Việc thêm polydextrose vào hỗn hợp không làm thay đổi điểm cảm quan về độ cứng của sản phẩm. Điểm số độ cứng bị giảm đi khi tinh bột bền và maltodextrin bền được sử dụng; trong khi xanthan gum, gum accacia và inulin làm tăng điểm số độ cứng. Đối với độ giòn, điểm số của mẫu đối chứng và mẫu chứa tinh bột bền là tương tự nhau.

3.1.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ polydextrose sử dụng đến chất lượng snack

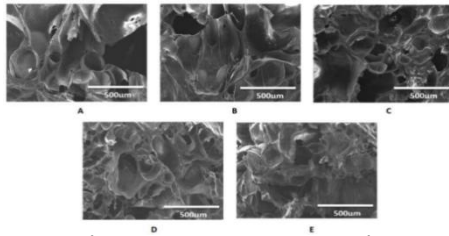
3.1.2.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ polydextrose đến thành phần hóa học sản phẩm

Việc thêm polydextrose vào hỗn hợp làm giảm nhẹ độ ẩm của sản phẩm. Việc sử dụng polydextrose không làm thay đổi hàm lượng tro của sản phẩm (Bảng 4.4). Tuy nhiên, sản phẩm ép đùn với polydextrose chứa ít protein hơn mẫu đối chứng do hàm lượng protein của polydextrose (1g/kg) thấp hơn nhiều so với bột ngô (60g/kg). Khi tăng hàm lượng polydextrose sử dụng từ 0 đến 10%, hàm lượng lipid của snack tăng thêm 20%. Hình 4.2 cho thấy mẫu đối chứng có các lỗ xốp to với lớp thành mỏng. Tuy nhiên, sự gia tăng hàm lượng polydextrose trong công thức nguyên liệu làm cho các lỗ xốp nhỏ hơn, thành lỗ xốp dày hơn và cấu trúc xốp ít hơn. Bảng 4.4 cũng cho thấy hàm lượng polydextrose trong hỗn hợp càng cao thì hàm lượng chất xơ càng cao.

Bảng 4.4. Ảnh hưởng của hàm lượng polydextrose đến thành phần hóa học (g/kg) của sản phẩm^a (Hỗn hợp bao gồm 95,3 đến 85,3% bột ngô, 0 đến 10% polydextrose, 4,0% đường và 0,7% muối).

Lượng Polydextrose (%)	Độ ẩm	Tro	Đạm	Lipid	Chất xơ	Carbohydrate
0	12,9±0,8 ^a	6,6±0,2 ^a	45,5±0,8 ^a	294,6±10,6 ^a	32,5±3,2 ^a	640,3
2,5	9,8±0,1 ^b	6,6±0,1 ^a	44,0±0,5 ^b	312,7±13,0 ^{ab}	46,0±0,5 ^b	626,9
5,0	9,9±1,3 ^b	6,6±0,1 ^a	43,1±0,5 ^{bc}	325,2±14,5 ^{bc}	61,7±3,2 ^c	615,2
7,5	9,8±1,2 ^b	6,5±0,1 ^a	41,9±0,8 ^{cd}	336,3±7,2 ^{cd}	75,9±2,7 ^d	605,5
10,0	10,1±0,8 ^b	6,5±0,1 ^a	40,8±1,0 ^d	352,7±1,5 ^d	86,3±1,2 ^e	589,9

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).



Hình 4.2: Hình chụp kính hiển vi điện tử quét của sản phẩm với các hàm lượng polydextrose khác nhau. Hàm lượng polydextrose (% khối lượng khô) trong hỗn hợp là: A) 0; B) 2,5%; C) 5,0%; D) 7,5% và E) 10,0%

3.1.2.2. Ảnh hưởng của hàm lượng polydextrose lên tính chất vật lý của sản phẩm

Từ Bảng 4.5, có thể thấy rằng việc tăng hàm lượng polydextrose từ 0 đến 10% trong công thức nguyên liệu làm cho tỷ lệ nở hướng tâm và hướng trục giảm

lần lượt là 13% và 9%. Hình 4.2 cho thấy các lỗ xốp nhỏ hơn khi mẫu snack có hàm lượng polydextrose cao hơn. Tuy nhiên, việc sử dụng polydextrose ở mức 10% đã làm tăng tỉ trọng khối lên 22% do độ nở của sản phẩm thấp hơn. Khi tăng hàm lượng polydextrose từ 0 đến 7,5%, độ cứng của sản phẩm tăng dần. Việc giảm độ cứng đột ngột ở mẫu chứa 10% polydextrose có lẽ là do cấu trúc lỗ xốp to trong sản phẩm bị phá vỡ và xuất hiện nhiều lỗ xốp nhỏ hơn (Hình 4.2E). Độ giòn của sản phẩm giảm dần theo sự gia tăng hàm lượng polydextrose.

Bảng 4.5: Ảnh hưởng của hàm lượng polydextrose đến tính chất vật lý của sản phẩm^a (Hỗn hợp bao gồm 95,3 đến 85,3% bột ngô, 0 đến 10% polydextrose, 4,0% đường và 0,7% muối; tỷ lệ được tính trên trọng lượng khô).

Lượng Polydextrose (%)	Tỉ lệ nở hướng tâm (%)	Tỉ lệ nở hướng trục (%)	Tỉ trọng khối (g/L)	Độ cứng, Lực (g)	Độ giòn, (số lần)
0	164,9±8,6 ^a	137,6±20,6 ^a	55,8±1,19 ^a	445±66 ^a	109±2,2 ^a
2,5	161,7±10,1 ^a	135,5±13,4 ^{ab}	56,6±1,22 ^{ab}	497±39 ^b	101±4,7 ^b
5,0	160,8±9,8 ^a	132,2±7,5 ^{abc}	58,9±1,79 ^b	511±67 ^b	95±2,4 ^c
7,5	155,8±11,6 ^b	130,3±21,3 ^{bc}	64,2±1,62 ^c	521±51 ^b	92±4,5 ^d
10,0	143,2±13,8 ^c	125,7±9,3 ^c	67,9±1,04 ^d	388±23 ^c	68±5,9 ^e

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).

Giá trị độ sáng L* tăng nhẹ khi hàm lượng polydextrose trong sản phẩm ép đùn tăng lên. Hơn nữa, khi hàm lượng polydextrose tăng cao thì giá trị b* tăng lên và giá trị a* bị giảm đi (Bảng 4.6).

Bảng 4.6. Ảnh hưởng của hàm lượng polydextrose đến màu sắc và tính chất cảm quan của sản phẩm^a

Lượng Polydextrose (%)	L*	a*	b*	Δ E	Độ cứng	Độ giòn
0	69,0±1,4 ^a	9,2±0,40 ^a	34,5±1,3 ^a	4,15±0,03 ^a	3,6±1,0 ^a	7,6±1,3 ^a
2,5	69,5±0,9 ^a	9,1±0,21 ^a	35,0±0,8 ^a	4,16±0,02 ^{ab}	3,6±0,7 ^a	7,0±0,8 ^b
5,0	69,9±1,7 ^a	8,9±0,40 ^a	35,7±1,4 ^a	4,16±0,02 ^{ab}	3,9±1,5 ^{ab}	6,1±0,9 ^c
7,5	70,2±2,3 ^a	8,0±0,21 ^b	36,1±2,2 ^a	4,15±0,02 ^{ab}	5,3±1,3 ^c	5,9±0,8 ^c
10,0	73,5±0,6 ^b	7,3±0,25 ^c	38,8±0,7 ^b	4,18±0,01 ^b	4,3±1,1 ^b	5,0±0,8 ^d

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).

Sự gia tăng hàm lượng polydextrose trong công thức nguyên liệu từ 0 đến 7,5% làm tăng dần điểm số độ cứng của sản phẩm. Đối với độ giòn, điểm số giảm dần khi hàm lượng polydextrose của sản phẩm tăng lên.

3.1.3. Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đùn đến chất lượng snack

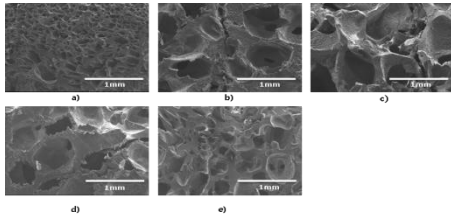
3.1.3.1. Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đùn đến thành phần hóa học của sản phẩm

Bảng 4.7 cho thấy sự gia tăng tốc độ trục vít làm tăng độ ẩm của snack chiên. Khi tốc độ trục vít tăng từ 150 đến 180 vòng/phút, hàm lượng lipid trong sản phẩm ép đùn giảm dần. Hình 4.3a cho thấy thành lỗ xốp trong sản phẩm trở nên mỏng hơn trong khi kích thước lỗ xốp to hơn khi tốc độ trục vít tăng từ 150 đến 180 vòng/phút. Tuy nhiên, khi tốc độ trục vít tăng thêm từ 180 đến 190 vòng/phút thì thành lỗ xốp dày hơn (Hình 4.3e). Bảng 4.7 cũng thể hiện rằng hàm lượng tro, protein và chất xơ của sản phẩm không đổi khi tốc độ trục vít thay đổi.

Bảng 4.7. Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đến thành phần (g/kg) của sản phẩm^a (Hỗn hợp bao gồm 87,8% bột ngô, 7,5% polydextrose, 4,0% đường và 0,7% muối).

Tốc độ trục vít (vòng/phút)	Độ ẩm	Tro	Protein	Lipid	Chất xơ
150	8,1±0,8 ^a	6,5±0,2 ^a	41,1±0,9 ^a	348,2±1,2 ^a	75,6±1,0 ^a
160	9,4±0,3 ^b	6,5±0,1 ^a	41,8±1,5 ^a	346,0±1,5 ^a	75,5±2,1 ^a
170	11,2±0,4 ^c	6,4±0,2 ^a	42,7±1,5 ^a	328,6±0,3 ^b	75,2±2,1 ^a
180	12,7±0,5 ^d	6,4±0,3 ^a	42,9±1,0 ^a	329,5±0,9 ^b	74,7±1,2 ^a
190	12,5±0,7 ^d	6,5±0,1 ^a	43,0±1,7 ^a	322,9±5,6 ^c	75,7±3,3 ^a

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).



Hình 4.3: Hình ảnh từ kính hiển vi điện tử quét của sản phẩm khi thay đổi các tốc độ trục vít đùn (vòng/phút): a) 150rpm, b) 160rpm, c) 170rpm, d) 180rpm e) 190rpm.

3.1.3.2. Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đùn đến tính chất vật lý của sản phẩm

Bảng 4.8 cho thấy ảnh hưởng của tốc độ trục vít đến tỷ lệ nở của sản phẩm. Khi tốc độ trục vít tăng từ 150 đến 180 vòng/phút, tỷ lệ nở hướng tâm và hướng trục tăng lần lượt là 18% và 7%. Tuy nhiên, việc tăng thêm tốc độ trục vít từ 180 đến 190 vòng/phút đã làm giảm đáng kể tỷ lệ nở của sản phẩm ép đùn. Khi tốc độ trục vít tăng từ 150 đến 190 vòng/phút, tỉ trọng khối của sản phẩm giảm đi 39%.

Bảng 4.8. Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đùn đến tính chất vật lý của sản phẩm^a (Hỗn hợp bao gồm 87,8% bột ngô, 7,5% polydextrose, 4,0% đường và 0,7% muối; tỷ lệ được tính theo trọng lượng khô)

Tốc độ vít tải (vòng/phút)	Tỉ lệ nở hướng tâm (%)	Tỉ lệ nở hướng trục (%)	Tỉ trọng khối (g/L)	Độ cứng, Lực (g)	Độ giòn, (số lần)
150	143±17 ^a	136±9 ^a	100±1 ^a	736±23 ^a	69±2 ^a
160	149±7 ^{ac}	138±6 ^{ab}	68±2 ^e	556±27 ^e	78±5 ^b
170	164±11 ^b	141±5 ^b	65±1 ^d	490±11 ^b	97±3 ^d
180	169±11 ^b	145±6 ^c	58±1 ^c	448±27 ^c	120±12 ^c
190	153±12 ^c	139±7 ^{ab}	61±1 ^b	478±26 ^b	100±4 ^d

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).

Những thay đổi về đặc tính kết cấu của sản phẩm theo các tốc độ trục vít khác nhau cũng được hiển thị trong Bảng 4.8. Độ cứng của sản phẩm bị giảm đi khi tốc độ trục vít tăng từ 150 đến 180 vòng/phút. Sự giảm tỉ trọng khối và độ dày của các lỗ xốp làm cho độ cứng của sản phẩm giảm xuống (Hình 4.3 và Bảng 4.8). Tuy nhiên, việc tăng thêm tốc độ trục vít từ 180 đến 190 vòng/phút đã làm tăng độ cứng của sản phẩm. Độ giòn snack cũng tăng dần theo sự gia tăng tốc độ trục vít.

3.1.3.3. Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đùn đến giá trị cảm quan của sản phẩm

Điểm số độ cứng và độ giòn được trình bày trong Bảng 4.9. Điểm số độ cứng giảm 48% khi tốc độ trục vít tăng từ 150 đến 180 vòng/phút. Tuy nhiên, sự gia tăng tốc độ trục vít từ 180 đến 190 vòng/phút làm tăng đáng kể độ cứng của sản phẩm. Điểm số độ giòn được cải thiện đáng kể khi tốc độ trục vít tăng từ 150 đến 180 vòng/phút nhưng bị giảm khi tốc độ trục vít thay đổi từ 180 đến 190 vòng/phút.

Bảng 4.9. Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đùn đến điểm số cảm quan của sản phẩm^a (Hỗn hợp bao gồm 87,8% bột ngô, 7,5% polydextrose, 4,0% đường và 0,7% muối; tỷ lệ được tính theo trọng lượng khô).

Tốc độ vít tải (vòng/phút)	150	160	170	180	190
Độ cứng	8,4±0,69 ^b	5,3±0,72 ^c	5,7±0,81 ^c	4,4±1,10 ^d	6,6±0,9 ^e
Độ giòn	4,8±0,41 ^b	5,5±0,52 ^{cd}	5,6±0,51 ^d	6,1±0,76 ^e	5,1±0,80 ^c

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).

3.1.3.4. Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đùn đến màu sắc, chỉ số hấp thụ nước (WAI), chỉ số hòa tan trong nước (WSI) của sản phẩm và năng lượng cơ học riêng của quá trình ép đùn

Giá trị L* tăng nhẹ khi tốc độ trục vít tăng. Giá trị a* và b* thay đổi rất ít trong khoảng giá trị tốc độ trục vít khảo sát (Bảng 4.10).

Bảng 4.10. Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đùn đến màu sắc, WAI, WSI của sản phẩm và năng lượng cơ học riêng (SME) của quá trình ép đùn^a (Hỗn hợp bao gồm 87,8% bột ngô, 7,5% polydextrose, 4,0% đường và 0,7% muối, tỷ lệ được tính theo trọng lượng khô).

Tốc độ vít tải (vòng/phút)	L*	a*	b*	WAI	WSI	SME (KJ/Kg)
150	65,5±0,5 ^a	8,9±0,3 ^a	32,5±0,5 ^a	253±4 ^a	12,8±0,4 ^a	226±1 ^a
160	67,9±0,2 ^{bc}	7,2±0,1 ^b	32,3±0,7 ^a	284±4 ^b	13,9±0,6 ^b	230±2 ^a
170	66,7±0,5 ^b	7,4±0,4 ^b	32,2±1,2 ^a	296±5 ^c	16,7±0,3 ^d	236±1 ^c
180	68,5±0,7 ^c	7,6±0,1 ^b	32,9±0,9 ^a	296±5 ^c	18,8±0,6 ^c	244±2 ^d
190	67,8±0,6 ^{bc}	7,3±0,3 ^b	31,7±1,0 ^a	327±7 ^d	19,9±0,3 ^e	265±4 ^e

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).

Tăng tốc độ trục vít từ 150 đến 190 vòng/phút làm tăng chỉ số hấp thụ nước của sản phẩm. Hơn nữa, chỉ số độ hòa tan trong nước cũng tăng dần khi tốc độ trục vít tăng từ 150 đến 190 vòng/phút. Năng lượng cơ học riêng của quá trình ép đùn cũng tăng 17% khi tăng tốc độ trục vít từ 150 đến 190 vòng/phút.

3.1.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ ép đùn đến chất lượng snack

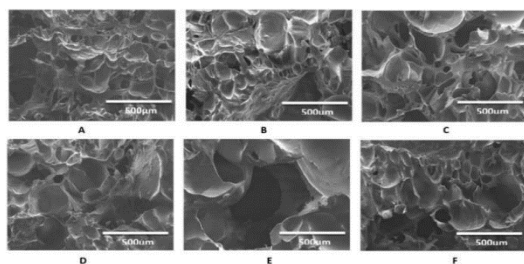
3.1.4.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ ép đùn đến thành phần hóa học của sản phẩm

Bảng 4.11 cho thấy sự gia tăng nhiệt độ ép đùn làm giảm độ ẩm của sản phẩm. Tăng nhiệt độ khuôn từ 60±1 đến 100±1°C làm giảm dần hàm lượng lipid của sản phẩm. Hình 4.4A-E cho thấy thành lỗ xốp trong sản phẩm trở nên mỏng hơn trong khi kích thước lỗ xốp lớn hơn khi nhiệt độ khuôn tăng từ 60±1 đến 100±1°C. Tuy nhiên, nhiệt độ khuôn quá cao sẽ khiến cho cấu trúc sản phẩm xốp hơn và thành lỗ xốp dày hơn (Hình 4.4F).

Bảng 4.11. Ảnh hưởng của nhiệt độ ép đùn đến thành phần hóa học (g/kg) của sản phẩm (Hỗn hợp bao gồm 87,8% bột ngô, 7,5% polydextrose, 4,0% đường và 0,7% muối; tỷ lệ dựa trên trọng lượng khô, nhiệt độ ép đùn (°C) tại khu vực 1, 2, 3 và 4 được cố định lần lượt là 48±1, 60±1, 77±1 và 93±1; nhiệt độ của khu vực 6 và nhiệt độ buồng ép đùn tương tự nhau).

Barrel temperature (°C)		Moisture	Ash	Protein	Lipid
Zone 5	Zone 6				
70±1	60±1	13,3±0,1 ^a	6,3±0,1 ^a	39,3±0,57 ^a	367,0±2,8 ^a
80±1	70±1	12,6±0,3 ^b	6,4±0,2 ^a	39,9±0,85 ^a	351,0±3,5 ^b
90±1	80±1	11,3±0,1 ^c	6,3±0,1 ^a	40,8±0,92 ^a	339,5±3,7 ^c
100±1	90±1	11,0±0,2 ^d	6,1±0,0 ^a	41,1±0,99 ^a	338,7±5,0 ^c
110±1	100±1	8,7±0,1 ^e	6,1±0,0 ^a	40,9±1,34 ^a	332,3±2,5 ^d
120±1	110±1	8,1±0,2 ^f	6,3±0,2 ^a	40,9±0,42 ^a	340,3±2,7 ^c

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).



Hình 4.4: Hình từ kính hiển vi điện từ quét của sản phẩm với hàm lượng polydextrose 7,5% và nhiệt độ ép đùn khác nhau: A) 60, B) 70, C) 80, D) 90, E) 100 và F) 110°C.

3.1.4.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ ép đùn đến tính chất vật lý của sản phẩm

Khi nhiệt độ ép đùn tăng từ 60 ± 1 đến $100\pm 1^\circ\text{C}$, tỷ lệ nở hướng tâm và hướng trục của sản phẩm tăng dần trong khi tỉ trọng khối giảm (Bảng 4.12). Tuy nhiên, sự gia tăng nhiệt độ ép đùn từ $100\pm 1^\circ\text{C}$ lên $110\pm 1^\circ\text{C}$ làm giảm đáng kể tỷ lệ nở và tăng tỉ trọng khối của sản phẩm. Có thể thấy rằng, ở nhiệt độ ép đùn cao hơn, các lỗ xốp được hình thành lớn hơn và thành lỗ xốp mỏng hơn (Hình 4.4A-E). Những thay đổi về đặc tính cấu trúc của sản phẩm ở các giá trị nhiệt độ ép đùn khác nhau cũng được hiển thị trong Bảng 4.12. Cả độ cứng và độ giòn của sản phẩm ép đùn đều tăng khi nhiệt độ tăng từ $60\pm 1^\circ\text{C}$ lên $100\pm 1^\circ\text{C}$.

Bảng 4.12. Ảnh hưởng của nhiệt độ ép đùn đến tính chất vật lý của sản phẩm^a (Hỗn hợp bao gồm 87,8% bột ngô, 7,5% polydextrose, 4,0% đường và 0,7% muối; tỷ lệ được tính theo trọng lượng khô).

Nhiệt độ ép đùn ($^\circ\text{C}$)		Tỉ lệ nở hướng tâm (%)	Tỉ lệ nở hướng trục (%)	Mật độ khối (g/L)	Độ cứng, Lực (g)	Độ giòn, (lần)
Zone 5	Zone 6					
70 ± 1	60 ± 1	$137,8\pm 10,5^a$	$123,2\pm 5,60^a$	$69,40\pm 0,82^a$	$510\pm 36,6^a$	$74\pm 5,4^a$
80 ± 1	70 ± 1	$143,9\pm 9,70^b$	$126,0\pm 4,44^b$	$66,34\pm 1,50^b$	$541\pm 51,3^{bc}$	$84\pm 4,5^b$
90 ± 1	80 ± 1	$148,9\pm 6,7^c$	$128,7\pm 5,31^c$	$58,03\pm 0,43^c$	$569\pm 53,2^{cd}$	$94\pm 5,3^c$
100 ± 1	90 ± 1	$149,5\pm 7,7^c$	$129,1\pm 6,96^c$	$58,31\pm 0,21^c$	$573\pm 69,9^d$	$92\pm 10,0^c$
110 ± 1	100 ± 1	$151,3\pm 6,0^c$	$127,7\pm 4,92^{bc}$	$57,50\pm 0,58^c$	$578\pm 58,3^d$	$98\pm 10,7^d$
120 ± 1	110 ± 1	$145,1\pm 9,0^b$	$121,5\pm 9,15^a$	$66,30\pm 0,78^b$	$516\pm 72,9^{ab}$	$86\pm 4,1^b$

^a Dữ liệu là giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn ($n = 3$). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể ($p < 0,05$).

3.1.4.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ ép đùn đến tính chất cảm quan của sản phẩm

Điểm số độ cứng tăng 79% khi nhiệt độ ép đùn tăng từ $60\pm 1^\circ\text{C}$ lên $80\pm 1^\circ\text{C}$. Tuy nhiên, việc tăng nhiệt độ ép đùn lên $100\pm 1^\circ\text{C}$ và $110\pm 1^\circ\text{C}$ làm giảm đáng kể điểm độ cứng của sản phẩm ép đùn (Bảng 4.13). Điểm số độ giòn được cải thiện đáng kể khi nhiệt độ ép đùn tăng từ $60\pm 1^\circ\text{C}$ lên $80\pm 1^\circ\text{C}$ nhưng điểm bị giảm đi khi nhiệt độ thay đổi từ $100\pm 1^\circ\text{C}$ đến $110\pm 1^\circ\text{C}$ (Bảng 4.13).

Bảng 4.13: Ảnh hưởng của nhiệt độ ép đùn đến tính chất cảm quan của sản phẩm (Hỗn hợp bao gồm 87,8% bột ngô, 7,5% polydextrose, 4,0% đường và 0,7% muối; tỷ lệ được tính theo trọng lượng khô).

Zone 5	70±1	80±1	90±1	100±1	110±1	120±1
Zone 6	60±1	70±1	80±1	90±1	100±1	110±1
Độ cứng	3,8±0,8 ^a	5,6±1,0 ^c	6,8±0,9 ^d	6,5±1,1 ^d	4,6±1,2 ^b	4,2±1,2 ^{ab}
Độ giòn	4,7±1,1 ^a	5,8±0,9 ^b	7,2±0,8 ^d	6,6±0,8 ^c	5,6±0,8 ^b	4,2±1,0 ^a

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).

3.1.4.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ ép đùn đến màu sắc, chỉ số hấp thụ nước, chỉ số hòa tan trong nước của quá trình chiên và năng lượng cơ học riêng của quá trình ép đùn

Tăng nhiệt độ ép đùn từ 60±1°C lên 100±1°C làm tăng dần chỉ số hấp thụ nước (Bảng 4.14). Chỉ số độ hòa tan trong nước cũng tăng dần khi nhiệt độ ép đùn tăng từ 60±1°C lên 100±1°C (Bảng 4.14). Giá trị L* và a* giảm khi tăng nhiệt độ khuôn trong khi giá trị b* đại diện cho màu đỏ của mẫu lại gia tăng (Bảng 4.14). Năng lượng cơ học riêng cũng tăng 12,3% khi tăng nhiệt độ ép đùn từ 60±1°C lên 110±1°C.

Bảng 4.14. Ảnh hưởng của nhiệt độ ép đùn đến WAI, WSI, màu sắc & SME của sản phẩm^a (Hỗn hợp bao gồm 87,8% bột ngô, 7,5% polydextrose, 4,0% đường và 0,7% muối; tỷ lệ đã được tính trên cơ sở trọng lượng khô).

Zone 6 (°C)	WAI	WSI	L*	a*	b*	SME (kJ/kg)
60±1	292,3±6,8 ^a	12,1±0,06 ^a	79,13±1,96 ^a	6,36±0,24 ^a	35,53±1,34 ^a	203,4±3,4 ^a
70±1	291,3±0,1 ^a	13,71±0,18 ^b	77,48±0,52 ^{ab}	6,14±0,44 ^a	36,84±1,17 ^a	210,1±2,3 ^b
80±1	299,9±4,5 ^b	14,09±0,04 ^c	76,25±1,26 ^b	6,11±0,26 ^{ab}	39,56±1,29 ^b	221,0±2,5 ^c
90±1	303,7±1,8 ^{bc}	17,25±0,28 ^d	75,17±0,49 ^{bc}	5,58±0,18 ^c	41,33±0,81 ^{bc}	225,2±4,7 ^{cd}
100±1	315,9±0,5 ^d	17,63±0,08 ^e	73,42±2,23 ^c	5,66±0,23 ^{bc}	42,53±0,94 ^c	228,4±4,4 ^d
110±1	309,1±1,7 ^c	14,65±0,04 ^f	72,73±1,74 ^c	5,54±0,13 ^c	43,31±1,59 ^c	219,1±2,7 ^c

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột là khác nhau đáng kể (p < 0,05).

3.2. Sử dụng các chất chống oxy hóa tự nhiên trong quá trình chiên snack ép đùn từ ngô

3.2.1 Ảnh hưởng của chất chống oxy hóa tự nhiên đến chất lượng dầu cọ olein trong quá trình xử lý nhiệt.

Sự gia tăng chỉ số acid trong quá trình xử lý nhiệt được ghi nhận cho tất cả các mẫu dầu. Vào cuối quá trình xử lý nhiệt, chỉ số acid của mẫu đối chứng cao hơn đáng kể so với tất cả các mẫu được bổ sung chất chống oxy hóa. Chỉ số acid thấp nhất được ghi nhận cho mẫu dầu nhục đậu khấu. Chỉ số acid của mẫu chứa dầu nhục đậu khấu thấp hơn 44% so với mẫu đối chứng (Bảng 4.15).

Bảng 4.15 cho thấy hàm lượng nối đôi liên hợp ở mức thấp khi bắt đầu quá trình nhưng có xu hướng gia tăng lên cùng với sự tăng các chu kỳ xử lý nhiệt. Đáng chú ý, hàm lượng nối đôi liên hợp thấp nhất vào cuối quá trình xử lý nhiệt được ghi nhận cho các mẫu chứa dầu nhục đậu khấu và chiết xuất hương thảo. Tương tự, hàm lượng ba nối đôi liên hợp thấp nhất cũng được ghi nhận cho mẫu chứa dầu nhục đậu khấu vào cuối quá trình xử lý nhiệt; giá trị này thấp hơn 28% so với mẫu đối chứng có hàm lượng ba nối đôi liên hợp cao nhất (Bảng 4.15).

Tất cả các mẫu dầu đều có giá trị peroxide ban đầu tương tự nhau. Trong giai đoạn đầu tiên của quá trình xử lý nhiệt, sự gia tăng giá trị peroxide đã được ghi nhận ở tất cả các mẫu. Tuy nhiên, giá trị peroxide thấp nhất đã được ghi nhận cho mẫu chứa dầu nhục đậu khấu trong khi mẫu đối chứng và mẫu chứa dầu gỗ tuyết tùng có giá trị cao nhất. Trong giai đoạn tiếp theo của quá trình xử lý nhiệt, giá trị peroxide giảm mạnh đối với tất cả các mẫu ngoại trừ mẫu chứa tocopherol giá trị peroxide không đổi.

Không có sự khác biệt thống kê về hàm lượng malonaldehyde ở tất cả các mẫu ($p > 0,05$) khi bắt đầu xử lý nhiệt; tuy nhiên hàm lượng malonaldehyde tăng dần theo thời gian sự oxy hóa của dầu cọ. Đặc biệt, hàm lượng malonaldehyde của mẫu chứa dầu nhục đậu khấu thấp hơn 56% so với mẫu đối chứng.

Khi bắt đầu gia nhiệt, màu của các mẫu dầu có sự khác biệt do các chế phẩm chống oxy hóa được sử dụng trong nghiên cứu này có màu sắc khác nhau (Bảng 4.15). Khi kết thúc quá trình xử lý nhiệt, giá trị L^* và a^* của tất cả các mẫu đều giảm. Ngoài ra, sự giảm màu đỏ cũng được ghi nhận ở tất cả các mẫu, sắc màu vàng tăng dần trong suốt quá trình gia nhiệt.

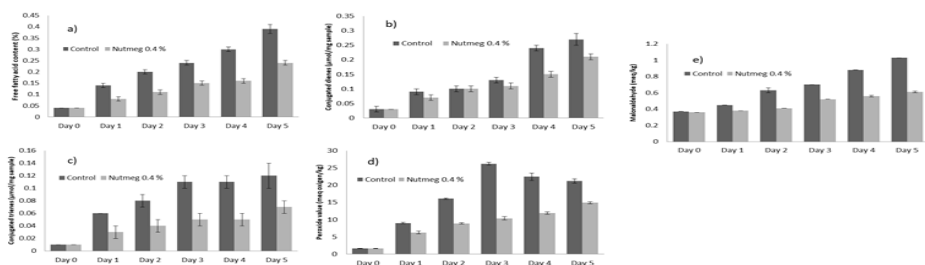
3.2.2. Ảnh hưởng của nồng độ dầu nhục đậu khấu đến chất lượng dầu cọ olein trong quá trình xử lý nhiệt

Trong quá trình xử lý nhiệt, chỉ số acid của tất cả các mẫu tăng dần. Nồng độ của dầu nhục đậu khấu càng cao thì chỉ số acid của dầu cọ olein càng thấp khi kết thúc quá trình xử lý nhiệt (Bảng 4.16). Hàm lượng nối đôi liên hợp và ba nối đôi liên hợp của tất cả các mẫu cũng tăng dần theo thời gian xử lý nhiệt (Bảng 4.16). Khi tăng nồng độ dầu nhục đậu khấu bổ sung, sự hình thành nối đôi liên hợp và ba nối đôi liên hợp đã giảm đi đáng kể. Các giá trị thấp nhất được ghi nhận ở mẫu bổ sung dầu đậu khấu 4 và 5 g/kg và các giá trị này lần

lượt thấp hơn 38% và 61% so với mẫu đối chứng. Bảng 4.18 cũng cho thấy giá trị peroxide ban đầu của tất cả các mẫu là khác nhau không đáng kể ($p > 0,05$). Giá trị peroxide lớn nhất của mẫu đối chứng cao hơn 1,8 và 2,2 lần tương ứng so với mẫu bổ sung dầu nhục đậu khấu với hàm lượng là 1 và 2 g/kg. Ngoài ra, khi nồng độ dầu nhục đậu khấu tăng từ 3 đến 5g/kg dầu cọ olein, giá trị peroxide tăng dần trong suốt quá trình xử lý nhiệt và sự hình thành các peroxide chiếm ưu thế vượt trội so với sự phân hủy chúng. Theo thời gian xử lý nhiệt, hàm lượng malonaldehyde của tất cả các mẫu cũng tăng dần (Bảng 4.18). Khi nồng độ tinh dầu nhục đậu khấu tăng từ 0 đến 5 g/kg, hàm lượng malonaldehyde khi kết thúc xử lý nhiệt đáng kể ($p < 0,05$) giảm. Giá trị L^* và a^* của tất cả các mẫu dầu giảm dần trong quá trình gia nhiệt, trong khi giá trị b^* tăng lên (Bảng 4.16)

3.2.3. Ảnh hưởng của dầu nhục đậu khấu đối với chất lượng dầu cọ olein trong quá trình chiên snack

Chỉ số acid tăng dần cho cả hai mẫu dầu (Hình 4.5a). Vào cuối ngày thứ năm, chỉ số acid của mẫu đối chứng cao hơn 63% so với mẫu bổ sung dầu nhục đậu khấu. Hình 4.5b và 4.5c cho thấy hàm lượng nôi đôi liên hợp và ba nôi đôi liên hợp tăng dần từ ngày 0 đến ngày 5. Khi kết thúc quá trình chiên, hàm lượng nôi đôi liên hợp và ba nôi đôi liên hợp liên hợp của mẫu chứa dầu nhục đậu khấu thấp hơn lần lượt 22% và 42% so với mẫu đối chứng. Hình 4.5d cho thấy giá trị peroxide của mẫu đối chứng đã tăng từ ngày 0 đến ngày thứ 3; sau đó giá trị peroxide giảm dần cho đến khi kết thúc thí nghiệm chiên. Trong khi đó, giá trị peroxide của mẫu được bổ sung dầu nhục đậu khấu tăng dần từ đầu đến cuối thí nghiệm chiên. Hàm lượng malonaldehyde đã tăng dần từ ngày 0 đến ngày 5 ở cả mẫu đối chứng và mẫu chứa dầu nhục đậu khấu (Hình 4.5e).



Hình 4.5: Ảnh hưởng của tinh dầu nhục đậu khấu đối với sự ổn định của dầu cọ olein trong quá trình chiên snack (15 mẻ mỗi ngày và trong 5 ngày liên tiếp): a) Acid béo tự do, b) Nôi đôi liên hợp, c) Ba nôi đôi liên hợp, d) Giá trị peroxide, e) Hàm lượng malonaldehyde.

Bảng 4.15. Sự thay đổi chất lượng của dầu cọ olein trong quá trình xử lý nhiệt với các chất chống oxy hóa khác nhau

Chỉ tiêu	Thời gian	Đối chứng	Tuyệt tùng	Sả	Dinh hương	Nhục đậu khấu	Hương thảo	Tocopherol	BHT	
Hàm lượng acid tự do (%)	0h	0,05±0,01 ^{a,A}	0,04±0,01 ^{a,A}	0,05±0,00 ^{a,A}	0,04±0,01 ^{a,A}	0,04±0,01 ^{a,A}	0,05±0,01 ^{a,A}	0,05±0,01 ^{a,A}	0,05±0,01 ^{a,A}	
	6h	0,10±0,01 ^{b,D}	0,09±0,01 ^{b,C}	0,05±0,01 ^{a,A}	0,06±0,01 ^{b,A}	0,06±0,01 ^{b,AB}	0,06±0,00 ^{b,AB}	0,08±0,01 ^{b,C}	0,07±0,01 ^{b,B}	
	12h	0,17±0,01 ^{c,F}	0,10±0,01 ^{b,E}	0,09±0,01 ^{b,DE}	0,06±0,00 ^{b,A}	0,08±0,00 ^{b,BC}	0,08±0,01 ^{d,B}	0,10±0,01 ^{c,E}	0,09±0,01 ^{c,CD}	
	18h	0,22±0,01 ^{d,E}	0,15±0,01 ^{c,D}	0,14±0,00 ^{c,D}	0,12±0,01 ^{c,B}	0,10±0,00 ^{d,A}	0,12±0,01 ^{d,B}	0,14±0,01 ^{d,C}	0,11±0,01 ^{d,B}	
	24h	0,26±0,01 ^{e,A}	0,21±0,00 ^{d,B}	0,16±0,01 ^{d,CD}	0,17±0,01 ^{d,C}	0,15±0,01 ^{e,D}	0,16±0,01 ^{e,C}	0,16±0,01 ^{e,C}	0,16±0,01 ^{e,CD}	
	30h	0,36±0,01 ^{f,G}	0,33±0,01 ^{e,E}	0,34±0,01 ^{e,F}	0,31±0,00 ^{e,D}	0,24±0,01 ^{f,A}	0,24±0,01 ^{f,B}	0,29±0,01 ^{f,C}	0,27±0,01 ^{f,C}	
Nối đôi liên hợp $\varepsilon^{1\%}_{1cm(2232)}$ (μmol/mg mẫu)	0h	0,03±0,00 ^{a,AB}	0,03±0,00 ^{a,AB}	0,03±0,01 ^{a,AB}	0,03±0,01 ^{a,AB}	0,03±0,00 ^{a,AB}	0,03±0,01 ^{a,A}	0,03±0,00 ^{a,AB}	0,04±0,01 ^{a,B}	
	6h	0,08±0,00 ^{b,C}	0,06±0,01 ^{b,A}	0,06±0,01 ^{ab,A}	0,07±0,00 ^{b,AB}	0,07±0,01 ^{b,AB}	0,06±0,01 ^{b,A}	0,07±0,00 ^{ab,AB}	0,07±0,01 ^{b,BC}	
	12h	0,09±0,01 ^{b,AB}	0,08±0,01 ^{c,AB}	0,09±0,00 ^{ab,BC}	0,10±0,01 ^{c,C}	0,08±0,00 ^{c,A}	0,08±0,01 ^{c,AB}	0,08±0,00 ^{abc,A}	0,09±0,01 ^{c,AB}	
	18h	0,13±0,01 ^{c,C}	0,12±0,01 ^{d,BC}	0,12±0,01 ^{bc,AB}	0,12±0,01 ^{d,BC}	0,11±0,00 ^{d,A}	0,11±0,01 ^{d,AB}	0,12±0,01 ^{bc,AB}	0,11±0,01 ^{d,AB}	
	24h	0,18±0,01 ^{d,D}	0,17±0,01 ^{e,B}	0,18±0,00 ^{c,A}	0,17±0,01 ^{e,CD}	0,13±0,00 ^{c,C}	0,13±0,01 ^{e,AB}	0,15±0,01 ^{c,A}	0,14±0,01 ^{e,D}	
	30h	0,25±0,00 ^{e,G}	0,24±0,01 ^{f,F}	0,22±0,00 ^{bc,E}	0,22±0,00 ^{f,E}	0,17±0,00 ^{f,A}	0,18±0,01 ^{f,B}	0,21±0,00 ^{bc,D}	0,20±0,01 ^{f,C}	
Ba nối đôi liên hợp $\varepsilon^{1\%}_{1cm(2268)}$ (μmol/mg mẫu)	0h	0,01±0,01 ^{a,A}	0,01±0,00 ^{a,A}	0,02±0,02 ^{a,A}	0,01±0,01 ^{a,A}	0,01±0,00 ^{a,AB}	0,01±0,00 ^{a,A}	0,01±0,01 ^{a,A}	0,01±0,00 ^{a,A}	
	6h	0,05±0,00 ^{b,A}	0,04±0,01 ^{ab,C}	0,03±0,01 ^{ab,C}	0,03±0,00 ^{ab,BC}	0,03±0,00 ^{b,BC}	0,03±0,01 ^{b,BC}	0,03±0,00 ^{ab,BC}	0,03±0,02 ^{ab,BC}	
	12h	0,08±0,02 ^{c,A}	0,08±0,00 ^{c,A}	0,05±0,02 ^{b,BC}	0,04±0,01 ^{b,C}	0,04±0,01 ^{b,C}	0,06±0,01 ^{c,AB}	0,04±0,01 ^{b,C}	0,05±0,01 ^{b,BC}	
	18h	0,11±0,01 ^{d,AB}	0,12±0,02 ^{d,A}	0,07±0,01 ^{c,DE}	0,08±0,02 ^{c,CDE}	0,06±0,01 ^{c,E}	0,10±0,02 ^{d,ABC}	0,08±0,01 ^{c,CDE}	0,09±0,02 ^{c,BCD}	
	24h	0,15±0,00 ^{e,A}	0,16±0,01 ^{e,A}	0,10±0,02 ^{d,CD}	0,13±0,01 ^{d,B}	0,09±0,01 ^{d,D}	0,11±0,01 ^{d,CD}	0,13±0,01 ^{d,B}	0,12±0,02 ^{d,BC}	
	30h	0,18±0,01 ^{f,AB}	0,19±0,02 ^{f,A}	0,16±0,01 ^{e,BC}	0,15±0,02 ^{e,CD}	0,13±0,02 ^{e,D}	0,15±0,02 ^{e,C}	0,17±0,02 ^{e,ABC}	0,16±0,01 ^{e,C}	
Giá trị peroxide (meq oxygen/kg)	0h	1,68±0,16 ^{a,A}	1,55±0,11 ^{a,A}	1,63±0,17 ^{a,A}	1,58±0,31 ^{a,A}	1,62±0,23 ^{a,A}	1,67±0,01 ^{a,A}	1,62±0,34 ^{a,A}	1,61±0,25 ^{a,A}	
	6h	4,95±0,67 ^{b,BC}	5,44±0,50 ^{b,C}	4,54±0,54 ^{ab,ABC}	4,97±1,01 ^{b,BC}	3,86±0,14 ^{b,A}	3,57±0,50 ^{b,A}	4,33±0,50 ^{ab,AB}	4,05±0,40 ^{b,AB}	
	12h	13,56±1,17 ^{c,F}	9,67±1,22 ^{c,E}	7,47±0,72 ^{bc,CD}	8,39±0,67 ^{c,DE}	4,55±0,28 ^{c,E}	5,82±1,03 ^{c,AB}	6,84±0,72 ^{abc,BC}	6,17±0,79 ^{c,BC}	
	18h	25,39±1,52 ^{f,E}	24,66±1,5 ^{f,E}	16,48±0,92 ^{c,C}	19,63±0,74 ^{d,D}	7,23±0,22 ^{d,A}	8,37±0,68 ^{d,A}	13,48±1,66 ^{c,B}	9,00±0,86 ^{d,A}	
	24h	22,15±0,95 ^{e,D}	20,21±1,02 ^{e,CD}	14,57±1,19 ^{c,B}	18,89±0,98 ^{e,C}	11,1±0,36 ^{f,A}	13,22±1,09 ^{f,B}	12,88±1,45 ^{c,AB}	13,29±1,57 ^{f,B}	
	30h	19,67±1,27 ^{d,E}	16,0±0,96 ^{d,D}	13,68±1,45 ^{bc,C}	15,79±1,41 ^{d,D}	8,90±0,14 ^{c,A}	10,87±0,37 ^{b,B}	14,03±0,75 ^{bc,C}	10,75±0,63 ^{b,B}	
Malonaldehyde (meq/kg dầu)	0h	0,36±0,00 ^{a,A}	0,36±0,00 ^{a,A}	0,36±0,00 ^{a,A}	0,37±0,00 ^{a,A}	0,36±0,04 ^{a,A}	0,37±0,00 ^{a,A}	0,36±0,00 ^{a,A}	0,36±0,01 ^{a,A}	
	6h	0,50±0,00 ^{b,C}	0,51±0,01 ^{b,C}	0,58±0,00 ^{b,D}	0,59±0,01 ^{b,D}	0,37±0,00 ^{a,A}	0,46±0,01 ^{b,B}	0,38±0,01 ^{b,A}	0,39±0,04 ^{b,A}	
	12h	0,69±0,01 ^{c,H}	0,54±0,00 ^{c,D}	0,64±0,00 ^{c,G}	0,63±0,00 ^{c,F}	0,41±0,00 ^{b,B}	0,47±0,01 ^{b,C}	0,40±0,00 ^{c,A}	0,57±0,01 ^{c,E}	
	18h	0,75±0,00 ^{d,F}	0,65±0,00 ^{d,E}	0,65±0,00 ^{d,E}	0,65±0,00 ^{d,E}	0,42±0,00 ^{b,A}	0,52±0,01 ^{c,B}	0,59±0,01 ^{d,D}	0,58±0,00 ^{c,C}	
	24h	0,88±0,01 ^{e,G}	0,81±0,00 ^{e,F}	0,70±0,00 ^{e,E}	0,67±0,00 ^{e,D}	0,46±0,00 ^{c,A}	0,63±0,01 ^{d,C}	0,61±0,00 ^{e,B}	0,61±0,01 ^{d,B}	
	30h	1,11±0,01 ^{f,G}	0,95±0,00 ^{f,F}	0,71±0,00 ^{f,D}	0,74±0,01 ^{f,E}	0,49±0,01 ^{d,A}	0,68±0,00 ^{e,C}	0,65±0,00 ^{f,B}	0,65±0,00 ^{e,B}	
L*	0h	86,00±0,01 ^{f,F}	83,77±0,01 ^{f,E}	83,17±0,04 ^{f,D}	77,62±0,06 ^{d,A}	86,73±0,02 ^{e,G}	77,5±0,05 ^{f,A}	80,57±0,02 ^{f,B}	81,65±0,57 ^{f,C}	
	30h	78,4±0,02 ^{a,F}	74,28±0,02 ^{a,E}	69,49±0,01 ^{a,D}	70,67±0,56 ^{a,C}	79,32±0,04 ^{a,G}	72,58±0,01 ^{a,D}	74,27±0,05 ^{a,E}	70,24±0,07 ^{a,B}	
Màu sắc	a*	0h	-1,89±0,00 ^{f,B}	-1,57±0,05 ^{f,E}	-1,65±0,01 ^{e,C}	-1,61±0,01 ^{f,D}	-1,88±0,01 ^{e,B}	-2,32±0,01 ^{e,A}	-1,49±0,01 ^{e,F}	-1,86±0,02 ^{e,B}
		30h	-4,03±0,03 ^{a,E}	-3,82±0,08 ^{a,C}	-3,47±0,03 ^{a,F}	-4,69±0,03 ^{a,B}	-3,9±0,01 ^{a,D}	-4,1±0,01 ^{a,C}	-4,89±0,04 ^{a,A}	-4,1±0,02 ^{a,C}
	b*	0h	6,76±0,08 ^{a,E}	5,11±0,01 ^{a,D}	4,17±0,01 ^{a,A}	4,05±0,14 ^{a,A}	6,83±0,02 ^{a,E}	7,46±0,09 ^{a,F}	4,74±0,01 ^{a,C}	4,55±0,02 ^{a,B}
		30h	14,61±0,03 ^{f,I,D}	16,20±0,10 ^{f,I,E}	11,6±0,16 ^{f,I,A}	11,65±0,24 ^{f,I,A}	14,88±0,05 ^{e,I,D}	13,82±0,05 ^{e,C}	13,95±0,27 ^{f,I,C}	13,38±0,56 ^{d,B}

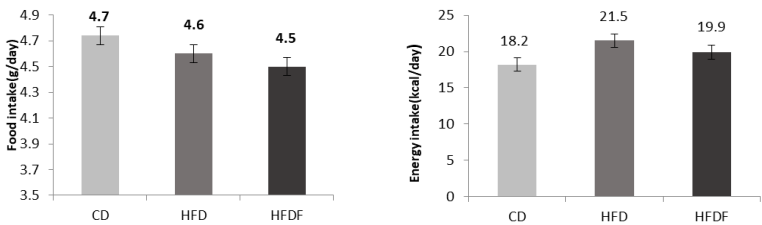
Bảng 4.16: Ảnh hưởng của hàm lượng dầu nhục đậu khấu trong dầu cọ olein trong quá trình xử lý nhiệt (g dầu nhục đậu khấu/kg dầu cọ)

Chỉ tiêu	Thời gian	0	1	2	3	4	5
Lượng acid béo tự do (%)	0h	0,04±0,01 ^{a,AB}	0,04±0,01 ^{a,A}	0,04±0,00 ^{a,AB}	0,04±0,01 ^{a,AB}	0,04±0,00 ^{a,AB}	0,05±0,01 ^{a,B}
	6h	0,11±0,00 ^{b,D}	0,08±0,00 ^{b,C}	0,06±0,01 ^{b,B}	0,06±0,01 ^{b,B}	0,05±0,01 ^{ab,A}	0,05±0,01 ^{a,A}
	12h	0,17±0,00 ^{c,E}	0,09±0,01 ^{c,D}	0,08±0,01 ^{c,C}	0,07±0,01 ^{b,BC}	0,06±0,01 ^{b,AB}	0,05±0,01 ^{a,A}
	18h	0,21±0,01 ^{d,D}	0,13±0,01 ^{d,C}	0,11±0,01 ^{d,B}	0,10±0,01 ^{c,AB}	0,09±0,01 ^{c,A}	0,09±0,02 ^{b,A}
	24h	0,27±0,01 ^{e,E}	0,19±0,01 ^{e,D}	0,16±0,01 ^{e,C}	0,16±0,01 ^{d,C}	0,14±0,01 ^{d,B}	0,12±0,01 ^{c,A}
	30h	0,35±0,01 ^{f,D}	0,26±0,01 ^{f,C}	0,19±0,01 ^{f,B}	0,20±0,01 ^{e,B}	0,18±0,01 ^{e,A}	0,17±0,01 ^{d,A}
Nổi dôi liên hợp $\epsilon^{1\%}_{1\text{cm}}(\lambda 232)$ ($\mu\text{mol/mg}$ mẫu)	0h	0,03±0,01 ^{a,B}	0,03±0,01 ^{a,A}	0,03±0,00 ^{a,AB}	0,03±0,00 ^{a,AB}	0,03±0,00 ^{a,AB}	0,03±0,00 ^{a,AB}
	6h	0,08±0,01 ^{b,D}	0,07±0,00 ^{b,CD}	0,07±0,01 ^{b,C}	0,06±0,01 ^{b,B}	0,05±0,00 ^{b,AB}	0,05±0,01 ^{b,A}
	12h	0,08±0,01 ^{b,B}	0,08±0,01 ^{c,B}	0,08±0,01 ^{c,B}	0,08±0,01 ^{c,AB}	0,07±0,01 ^{c,AB}	0,07±0,01 ^{c,A}
	18h	0,13±0,01 ^{c,C}	0,13±0,01 ^{d,C}	0,11±0,01 ^{d,B}	0,10±0,01 ^{d,B}	0,09±0,00 ^{d,A}	0,10±0,01 ^{d,AB}
	24h	0,19±0,01 ^{d,D}	0,17±0,01 ^{e,C}	0,13±0,00 ^{e,B}	0,13±0,00 ^{e,B}	0,11±0,01 ^{e,A}	0,11±0,01 ^{e,A}
	30h	0,24±0,01 ^{e,D}	0,22±0,01 ^{f,C}	0,17±0,01 ^{f,B}	0,16±0,01 ^{f,AB}	0,15±0,01 ^{f,A}	0,15±0,00 ^{f,A}
Ba nổi dôi liên hợp $\epsilon^{1\%}_{1\text{cm}}(\lambda 268)$ ($\mu\text{mol/mg}$ mẫu)	0h	0,01±0,00 ^{a,A}	0,01±0,00 ^{a,A}	0,01±0,00 ^{a,A}	0,01±0,00 ^{a,A}	0,01±0,01 ^{a,A}	0,01±0,00 ^{a,A}
	6h	0,05±0,00 ^{b,A}	0,04±0,00 ^{b,B}	0,03±0,00 ^{b,C}	0,03±0,00 ^{b,C}	0,02±0,01 ^{a,D}	0,02±0,00 ^{b,D}
	12h	0,08±0,00 ^{c,A}	0,06±0,00 ^{c,B}	0,04±0,00 ^{c,C}	0,05±0,01 ^{c,D}	0,03±0,00 ^{b,E}	0,03±0,01 ^{b,F}
	18h	0,10±0,01 ^{d,A}	0,08±0,01 ^{d,B}	0,06±0,00 ^{d,C}	0,08±0,00 ^{d,B}	0,04±0,01 ^{c,D}	0,05±0,01 ^{c,D}
	24h	0,15±0,01 ^{e,A}	0,12±0,01 ^{e,B}	0,09±0,00 ^{e,C}	0,09±0,01 ^{d,C}	0,07±0,00 ^{d,D}	0,07±0,00 ^{d,D}
	30h	0,18±0,01 ^{f,A}	0,15±0,01 ^{f,B}	0,13±0,01 ^{f,C}	0,10±0,01 ^{e,D}	0,08±0,00 ^{e,E}	0,07±0,01 ^{d,E}
Chỉ số peroxide (meq oxygen/kg)	0h	1,62±0,01 ^{a,A}	1,60±0,1 ^{a,A}	1,52±0,19 ^{a,A}	1,66±0,04 ^{a,A}	1,58±0,04 ^{a,A}	1,61±0,07 ^{a,A}
	6h	4,90±0,05 ^{b,D}	4,12±0,49 ^{b,C}	3,84±0,16 ^{b,BC}	3,36±0,47 ^{b,B}	2,64±0,06 ^{b,A}	2,68±0,04 ^{b,A}
	12h	13,17±0,20 ^{c,C}	8,81±0,73 ^{c,B}	4,52±0,98 ^{b,A}	4,16±0,04 ^{c,A}	3,71±0,33 ^{c,A}	3,62±0,45 ^{c,A}
	18h	25,33±0,86 ^{d,D}	14,32±0,62 ^{f,C}	7,57±0,62 ^{c,B}	7,78±0,42 ^{d,B}	5,43±0,42 ^{d,A}	5,76±0,04 ^{d,A}
	24h	21,47±0,35 ^{e,D}	12,65±0,69 ^{e,C}	11,30±0,75 ^{e,B}	8,68±0,08 ^{e,A}	7,95±0,41 ^{e,A}	7,85±0,94 ^{e,A}
	30h	19,31±0,79 ^{d,C}	10,09±1,03 ^{d,B}	8,93±0,43 ^{f,A}	8,90±0,14 ^{e,A}	8,60±0,20 ^{f,A}	8,48±0,45 ^{e,A}
Malonaldehyde (meq/kg dầu)	0h	0,37±0,01 ^{a,B}	0,36±0,00 ^{a,A}	0,36±0,00 ^{a,A}	0,37±0,00 ^{a,B}	0,36±0,00 ^{a,A}	0,36±0,00 ^{a,A}
	6h	0,50±0,01 ^{b,D}	0,40±0,01 ^{b,C}	0,38±0,00 ^{b,B}	0,37±0,00 ^{a,A}	0,37±0,00 ^{b,A}	0,37±0,00 ^{b,A}
	12h	0,70±0,01 ^{c,D}	0,41±0,00 ^{c,C}	0,42±0,01 ^{c,C}	0,39±0,00 ^{b,A}	0,40±0,00 ^{c,B}	0,39±0,00 ^{c,A}
	18h	0,75±0,00 ^{d,D}	0,44±0,00 ^{d,C}	0,43±0,00 ^{d,B}	0,40±0,00 ^{c,A}	0,40±0,00 ^{c,A}	0,40±0,01 ^{d,A}
	24h	0,90±0,01 ^{e,E}	0,48±0,00 ^{e,D}	0,46±0,00 ^{e,C}	0,41±0,00 ^{d,B}	0,40±0,00 ^{c,A}	0,40±0,00 ^{d,A}
	30h	1,11±0,00 ^{f,E}	0,53±0,00 ^{f,D}	0,49±0,00 ^{f,C}	0,42±0,00 ^{e,B}	0,41±0,00 ^{d,A}	0,41±0,00 ^{e,A}
Color	L*	0h	86,02±0,01 ^{a,A}	86,31±0,12 ^{a,B}	86,71±0,01 ^{a,CD}	86,64±0,01 ^{a,C}	86,72±0,02 ^{a,CD}
		30h	78,45±0,03 ^{f,A}	79,08±0,09 ^{f,B}	79,33±0,02 ^{f,C}	79,29±0,01 ^{e,C}	81,96±0,03 ^{e,E}
	a*	0h	-1,89±0,01 ^{a,A}	-1,71±0,05 ^{a,C}	-1,87±0,01 ^{a,A}	-1,82±0,01 ^{a,B}	-1,72±0,01 ^{a,C}
		30h	-4,01±0,01 ^{f,A}	-4,15±0,01 ^{f,B}	-3,91±0,01 ^{f,C}	-3,60±0,01 ^{f,D}	-3,59±0,02 ^{f,D}
	b*	0h	6,76±0,08 ^{a,B}	6,62±0,05 ^{a,A}	6,83±0,02 ^{a,BC}	6,92±0,10 ^{a,C}	7,16±0,03 ^{a,D}
		30h	14,66±0,10 ^{f,A}	14,68±0,09 ^{f,A}	14,86±0,07 ^{f,B}	15,07±0,08 ^{f,C}	15,16±0,12 ^{e,C}

3.3. Tác dụng hạ đường huyết và bảo vệ gan của snack ép đùn từ ngô chứa hàm lượng polydextrose cao trên chuột bạch tạng

3.3.1. Thức ăn và năng lượng

Phân tích thống kê cho thấy lượng thức ăn trung bình giữa ba nhóm chuột thử nghiệm là tương tự nhau (Hình 4.6a). Tuy nhiên, mức năng lượng nạp vào khác nhau đáng kể giữa ba nhóm (Hình 4.6 b).



Hình 4.6. Lượng thức ăn hàng ngày và lượng năng lượng nạp vào của chuột bạch tạng Thụy Sĩ trong thí nghiệm mười hai tuần (CD: Nhóm chế độ ăn đối chứng, HFD: Nhóm chế độ ăn nhiều chất béo, HFDF: Nhóm chế độ ăn nhiều chất béo và chất xơ)

3.3.2. Tác dụng của snack giàu polydextrose đối với trọng lượng cơ thể

Khi bắt đầu thí nghiệm, ba nhóm chuột có trọng lượng cơ thể tương đương nhau (Bảng 4.17). Sau 12 tuần, trọng lượng cơ thể của nhóm chuột có chế độ ăn giàu polydextrose cao hơn một chút so với nhóm chế độ ăn đối chứng. Trọng lượng của nhóm chuột có chế độ ăn nhiều chất béo cao hơn khoảng 12,9% và 6,7% so với nhóm chuột đối chứng và nhóm chuột sử dụng nhiều chất béo và chất xơ.

Bảng 4.17. Thay đổi trọng lượng cơ thể của chuột trong mười hai tuần^a

Thời gian (tuần)	Nhóm CD	Nhóm HFD	Nhóm HFDF
0 (*)	30,88±0,51 ^{aA}	31,37±0,41 ^{aA}	31,23±0,3 ^{aA}
2	31,37±0,55 ^{abA}	32,68±0,53 ^{bB}	32,01±0,31 ^{bA}
4	31,80±0,55 ^{bcA}	33,80±0,52 ^{cB}	32,69±0,28 ^{cC}
6	32,32±0,51 ^{cdA}	35,04±0,66 ^{dB}	33,55±0,36 ^{dC}
8	32,91±0,55 ^{deA}	36,22±0,6 ^{eB}	34,56±0,34 ^{eC}
10	33,46±0,48 ^{efA}	37,42±0,79 ^{fB}	35,25±0,37 ^{fC}
12	33,94±0,52 ^{fA}	38,32±0,64 ^{gB}	35,93±0,35 ^{gC}

^a Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 5). Các giá trị với các chữ cái viết thường khác nhau trong cùng một cột là khác nhau có ý nghĩa thống kê (p < 0,05). Các giá trị với các chữ cái viết hoa khác nhau trong cùng một hàng khác nhau có ý nghĩa thống kê (p < 0,05); 0 (*) là thời điểm bắt đầu của thí nghiệm.

3.3.3. Ảnh hưởng của snack giàu polydextrose đến các thông số huyết thanh của chuột

Hàm lượng triglyceride trong huyết thanh của chuột trong nhóm chế độ ăn nhiều chất béo cao gấp 2,6 và 2,0 lần so với nhóm đối chứng và nhóm có chế độ ăn nhiều chất béo và chất xơ (Bảng 4.18). Không có gì đáng ngạc nhiên, tổng lượng cholesterol và nồng độ cholesterol lipoprotein tỉ trọng thấp trong huyết thanh của nhóm chế độ ăn giàu chất béo lần lượt cao gấp 1,3 và 2,0 lần so với thông số của nhóm ăn nhiều chất béo và chất xơ (Bảng 4.18). Ngoài ra, hàm lượng cholesterol lipoprotein tỉ trọng cao trong huyết thanh của nhóm chế độ ăn nhiều chất béo thấp hơn đáng kể so với nhóm đối chứng và nhóm có chế độ ăn nhiều chất béo và chất xơ. Do đó, chế độ ăn nhiều chất béo và chất xơ làm giảm lượng mỡ máu ở chuột. Bảng 4.18 cũng cho thấy nồng độ glucose trong máu của nhóm sử dụng chế độ ăn nhiều chất béo và nhóm có chế độ ăn nhiều béo và chất xơ lần lượt cao hơn 2,6 và 1,6 lần so với nhóm đối chứng.

Bảng 4.18. Thành phần lipid và nồng độ glucose trong huyết thanh của chuột trong ba nhóm chế độ ăn uống

Nhóm chuột	Triglyceride (mg/dL)	Tổng cholesterol (mg/dL)	HDL-cholesterol (mg/dL)	LDL-cholesterol (mg/dL)	Glucose (mmol/L)
CD	129,90±21,87 ^a	148,89±10,11 ^a	82,08±8,62 ^b	41,50±5,7 ^a	59,83±13,16 ^a
HFD	334,62±32,44 ^b	224,82±10,82 ^c	57,0±6,19 ^a	101,47±8,67 ^c	158,39±21,61 ^c
HFFD	164,21±13,15 ^c	177,8±9,66 ^b	94,43±9,45 ^c	51,41±3,15 ^b	97,38±8,85 ^b

Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 5). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột khác nhau đáng kể (p < 0,05). CD: Nhóm đối chứng, HFD: Nhóm chế độ ăn nhiều chất béo, HFFD: Nhóm chế độ ăn nhiều chất béo và chất xơ, HDL- và LDL-cholesterol là lipoprotein tỉ trọng cao và cholesterol lipoprotein tỉ trọng thấp, tương ứng.

3.3.4. Ảnh hưởng của snack giàu polydextrose đối với chức năng gan

Hoạt tính aspartate aminotransferase và alanine aminotransferase ở gan chuột bằng chế độ ăn nhiều chất béo cao hơn so với nhóm chuột ăn nhiều chất béo - chất xơ và nhóm chuột đối chứng (Bảng 4.19). Nhóm chuột có chế độ ăn nhiều chất béo - chất xơ và nhóm đối chứng có sự tương đồng về hoạt tính của alanine aminotransferase và aspartate aminotransferase.

Bảng 4.19. Khối lượng gan, khối lượng mỡ, AST và ALT của chuột

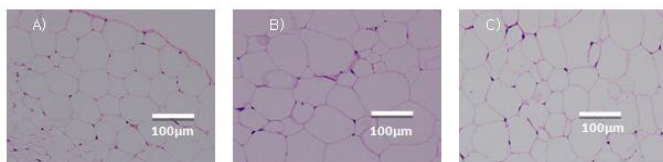
Nhóm chuột	Khối lượng gan (g)	Khối lượng mỡ (g)	AST (U/L)	ALT (U/L)
CD	1,44± 0,05 ^a	0,42±0,09 ^a	132,1±28,25 ^a	64,74±9,26 ^a
HFD	2,17±0,14 ^c	1,00±0,18 ^c	236,58±15,5 ^b	118,54±22,68 ^b
HFFD	1,59±0,06 ^b	0,73±0,08 ^b	144,28±25,89 ^a	59,26±12,72 ^a

Dữ liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 5). Các giá trị với các chữ cái nhỏ khác nhau trong cùng một cột khác nhau đáng kể (p < 0,05); CD: Nhóm đối chứng, HFD: Nhóm chế độ ăn nhiều chất béo, HFFD: Nhóm chế độ ăn nhiều chất béo và chất xơ, AST: aspartate aminotransferase, ALT: alanine aminotransferase

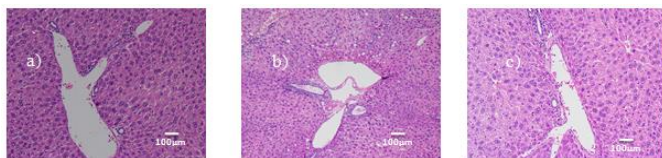
Khối lượng gan của chuột ăn chế độ ăn nhiều chất béo cao hơn 51% và 36% so với nhóm đối chứng và nhóm được cho ăn nhiều chất béo và chất xơ (Bảng 4.19). Ngoài ra, khối lượng chất béo ở gan của chuột ăn chế độ ăn nhiều chất béo cao hơn 138% và 37% so với nhóm đối chứng và nhóm được cho ăn nhiều chất béo và chất xơ. Kết quả này chỉ ra rằng chế độ giàu chất xơ làm giảm nguy cơ gan nhiễm mỡ ở chuột.

3.3.5. Tác dụng của snack giàu polydextrose đối với sự tích tụ chất béo và cấu trúc gan

Vào cuối mười hai tuần thí nghiệm, sự tích lũy chất béo ở gan của nhóm chế độ ăn nhiều chất béo cao hơn so với nhóm đối chứng (Hình 4.7). Chế độ ăn nhiều chất béo bổ sung chất xơ làm giảm rõ ràng kích thước tế bào mỡ trong mô gan. Các mẫu nhuộm hematoxylin và eosin chỉ ra cấu trúc gan rõ ràng của nhóm chuột đối chứng (Hình 4.8a) trong khi các triệu chứng bệnh lý được nhìn thấy ở chuột ăn nhiều chất béo. Với các giọt lipid lớn và nhiều mỡ trong các tế bào nhu mô, tế bào gan dường như bị thoái hóa mỡ nghiêm trọng cùng với sự xâm nhập các tế bào viêm (Hình 4.8b). Khi những con chuột được cho ăn với thức ăn giàu béo kết hợp với snack giàu polydextrose trong mười hai tuần, sự thoái hóa tế bào gan đã được cải thiện (Hình 4.8c). Do đó, snack giàu polydextrose có tác động làm giảm sự tích lũy béo ở gan chuột trong chế độ ăn nhiều chất béo.



Hình 4.7. Phân tích mô học của mô mỡ ngoài màng cứng của ba nhóm. Phân khúc mỡ thượng thận; các mô được phóng đại 200 lần; A) nhóm đối chứng; B) nhóm chế độ ăn nhiều chất béo; C): nhóm chế độ ăn nhiều chất béo và chất xơ



Hình 4.8. Ảnh từ kính hiển vi mô gan chuột cho 3 nhóm ($\times 100$); A) nhóm đối chứng; B) nhóm chế độ ăn nhiều chất béo; C): nhóm chế độ ăn nhiều chất béo và chất xơ

CHƯƠNG 4. KẾT LUẬN & THẢO LUẬN

4.1. Kết luận

Những kết luận về học thuật:

Việc bổ sung các chế phẩm xơ thương mại như polydextrose, xanthan gum, gum acacia, inulin, tinh bột bền và maltodextrin bền vào công thức nguyên liệu đã làm thay đổi các tính chất vật lý và cảm quan của snack nhưng màu sắc của sản phẩm gần như không đổi.

Khi tăng hàm lượng polydextrose trong công thức nguyên liệu từ 0 đến 10%, tỉ trọng khối của sản phẩm tăng 22% trong khi tỷ lệ nở hương tâm và độ giòn sản phẩm giảm lần lượt là 13% và 38%; hàm lượng chất xơ và lipid cũng tăng lần lượt là 166% và 20% so với mẫu đối chứng.

Khi tăng tốc độ trục vít từ 150 đến 180 vòng/phút, tỷ lệ nở hương tâm và độ giòn của sản phẩm tăng lần lượt là 18% và 73% trong khi tỉ trọng khối và độ cứng giảm lần lượt là 42% và 39%. Sự gia tăng tốc độ trục vít còn làm tăng chỉ số hấp thu nước và chỉ số hòa tan trong nước của sản phẩm. Năng lượng cơ học riêng của quá trình ép đùn cũng tăng theo tốc độ trục vít.

Sự gia tăng nhiệt độ ép đùn từ 60 đến 100°C đã làm giảm 17% tỉ trọng khối của sản phẩm trong khi tỷ lệ nở hương tâm, độ cứng và độ giòn tăng lần lượt là 9,8%, 13% và 32%; nhiệt độ ép đùn cao cũng làm cho các lỗ xốp lớn hơn và thành lỗ xốp mỏng hơn nhưng chỉ số hấp thu nước và độ hòa tan trong nước của snack sẽ cao hơn.

Việc sử dụng các chế phẩm dầu thương mại từ sả, nhục đậu khấu, đinh hương và hương thảo đã ngăn chặn thành công quá trình oxy hóa lipid của dầu cọ olein trong quá trình xử lý nhiệt và chiên. Nồng độ dầu nhục đậu khấu trong dầu chiên càng cao thì hiệu quả ngăn ngừa sự oxy hóa chất béo trong quá trình xử lý nhiệt sẽ càng tốt.

Những kết luận về ứng dụng:

Tỷ lệ polydextrose trong công thức nguyên liệu, nhiệt độ ép đùn và tốc độ trục vít thích hợp lần lượt là 7,5%, 100°C và 180 vòng/phút. Nồng độ thích hợp của dầu hạt nhục đậu khấu để bổ sung vào dầu cọ olein trong quá trình chiên snack là 0,4%.

Việc bổ sung snack giàu polydextrose vào chế độ ăn nhiều chất béo làm giảm hàm lượng triglyceride, tổng cholesterol và cholesterol lipoprotein tỉ trọng thấp trong huyết thanh chuột cũng như làm giảm hoạt tính alanine aminotransferase và aspartate aminotransferase, khối lượng gan và khối lượng mỡ trong gan chuột. Việc sử dụng snack giàu polydextrose trong chế độ ăn nhiều chất béo cũng làm tăng hàm lượng cholesterol lipoprotein tỉ trọng cao trong khi làm giảm sự tích tụ của các giọt lipid trong gan và tổn thương gan của chuột bị tăng lipid máu. Chế độ ăn với snack giàu polydextrose có tác dụng bảo vệ gan và hạ đường huyết trên chuột bị tăng lipid máu.

4.2. Đề nghị

Một số hướng nghiên cứu cần được tiếp tục thực hiện để cải thiện chất lượng của snack giàu polydextrose và đa dạng hóa sản phẩm:

- Nghiên cứu biến đổi hóa học của chất xơ trong quá trình ép đùn để làm rõ ảnh hưởng của nguyên liệu giàu chất xơ đến cấu trúc sản phẩm.
- Nghiên cứu ảnh hưởng của độ ẩm hỗn hợp đến chất lượng của snack giàu chất xơ.
- Tối ưu hóa các điều kiện ép đùn bằng phương pháp đáp ứng bề mặt để cải thiện tính chất vật lý của snack giàu chất xơ.
- Thay thế chiên bằng phương pháp sấy và nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện sấy đến chất lượng của snack giàu chất xơ.

CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. Yang Jin Han, Thi Thu Tra Tran, Van Viet Man Le (2018)
Corn snack with high fiber content: Effects of different fiber types on the Product quality. *LWT - Food Science and Technology*, Vol. 96, pp.1–6 (SCI, Food Science, Q1)
2. Jin Han Yang, Thi Thu Tra Tran, Van Viet Man Le (2020)
Hypolipidemic and Hepatoprotective Effects of High-Polydextrose Snack Food on Swiss Albino Mice. *Journal of Nutrition and Metabolism*, Vol. 2020, Article ID 5104231, 6p (SCIMAGO, Food Science, Q1)
3. Jin Han Yang, Thi Thu Tra Tran, Van Viet Man Le (2019)
Co-extrusion of corn meal and polydextrose for making high fiber snack food: Effects of extrusion screw speed on the product quality. *Journal of Science and Technology - Da nang University*, Vol. 17(6), pp.10-14.