

ผลของการพรีทรีตเมนต์ด้วยไมโครเวฟและเทคนิคการพัพฟิงต่อคุณภาพของแครีรอตอบแห้ง

ประยูร จอมหล้าพิรติกุล ภูษิสส์ ตันวานิชกุล และ อาภาภรณ์ จอมหล้าพิรติกุล*

สาขาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
150 หมู่ 6 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

รับบทความ 17 ธันวาคม 2567 แก้ไขบทความ 7 สิงหาคม 2568 ตอบรับบทความ 4 กันยายน 2568

บทคัดย่อ

การพัพฟิงเป็นเทคนิคในการเพิ่มคุณภาพทางเนื้อสัมผัสให้แครีรอตอบแห้งมีความกรอบแต่การพัพฟิงต้องใช้อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ จึงต้องมีวิธีการพรีทรีตเมนต์ ที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหานี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเวลาพรีทรีตเมนต์โดยการลวกด้วยไมโครเวฟ (1 2 และ 3 นาที) อุณหภูมิพัพฟิง (140 150 และ 160 องศาเซลเซียส) และเวลาพัพฟิง (1 2 และ 3 นาที) ต่อคุณภาพของแครีรอตอบแห้ง ในด้านความแตกต่างสี และความแข็งของเนื้อสัมผัส ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพัพฟิงผิวดอบสนองใช้เวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟ 2 นาที อุณหภูมิพัพฟิง 147.5 องศาเซลเซียส และเวลาพัพฟิง 1.75 นาที จะได้ค่าความแตกต่างสี 14.45 ความแข็งของเนื้อสัมผัส 8.29 N

คำสำคัญ : การอบแห้ง; เทคนิคการพัพฟิง; แครีรอต

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 5716 0057, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: apaporn.jo@rmuti.ac.th

Effect of Pretreatment using Microwave and Puffing Technique on the Quality of Dried Carrots

Prayoon Jomlaperatikul Bhuchiss Tanwanichkul and Apaporn Jomlaperatikul*

Department of Food and Biological Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

150 Moo. 6, Srichan Road, Tambon Nai-Muang, Amphur Muang, KhonKaen, 40000

Received 17 December 2024; Revised 7 August 2025; Accepted 4 September 2025

Abstract

Puffing is a technique used to enhance the crispness and textural quality of dried carrots. Nevertheless, high temperature puffing accelerates non-enzymatic browning reactions. A pretreatment method that is appropriate is necessary to mitigate this issue. The objective of this work was therefore to study the effects of microwave blanching time (1, 2, and 3 minutes), puffing temperature (140, 150, and 160 °C), and puffing time (1, 2, and 3 minutes) on carrot qualities such as colour, and textural property. The optimisation using response surface methodology was used for a trade-off between colour and textural properties. To obtain a good quality product should be operated at the microwave blanching for 2 minutes, a puffing temperature of 147.5 °C, and a puffing time of 1.75 minutes. Due to these parameters, the color difference value was 14.45 and the textural hardness was 8.29 N.

Keywords : Drying; Puffing Technique; Carrots

* Corresponding Author. Tel.: +668 5716 0057, E-mail Address: apaporn.jo@rmuti.ac.th

1. บทนำ

ปัจจุบันผักและผลไม้อบแห้งเป็นขนมขบเคี้ยวที่มีความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความกรอบอร่อย ไม่อมน้ำมันและไม่มีปัญหากลิ่นเหม็นเหมือนกับการอบแห้งที่ผ่านการทอด แคร้รอตเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่นำมาแปรรูปด้วยการอบกรอบ จากคุณสมบัติของแคร้รอตที่มีทั้งสารเบต้าแคโรทีนช่วยบำรุงสายตา อีกทั้งมีวิตามินและแร่ธาตุที่มีประโยชน์หลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินซี วิตามินอี ธาตุแคลเซียม ธาตุโพแทสเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก และปริมาณสารฟอลคารินอล (falcarinol) [1], [2] ซึ่งช่วยต่อต้านเซลล์มะเร็ง [2] ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ แคร้รอตจึงน่าสนใจที่จะนำมาแปรรูปเป็นแคร้รอตอบกรอบ

การแปรรูปด้วยกระบวนการอบแห้งเป็นการรักษาคุณภาพและเพิ่มมูลค่าของผักผลไม้ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามในกระบวนการอบแห้งยังมีข้อเสียด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น เนื้อสัมผัสที่แห้งแข็งและการเปลี่ยนแปลงของสี เป็นต้น ในการแก้ไขปัญหาคุณภาพเนื้อสัมผัสให้มีความกรอบนั้น สามารถนำเทคนิคการพuffingที่มีการใช้อุณหภูมิสูง และระยะเวลาสั้นๆ ในการอบแห้ง ส่งผลให้การระเหยของน้ำภายในผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างภายในเกิดการพองและมีการขยายตัว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากขึ้น [3] ถึงแม้ว่าการพuffingจะช่วยแก้ปัญหาในด้านความกรอบ แต่ด้วยเทคนิคการใช้อุณหภูมิสูงก็ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านสี ทำให้เกิดสีน้ำตาลเข้มหรือไหม้บางส่วน โดยการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาพuffingจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ที่มาจากน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนโปรตีน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาจากการศึกษาทางวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การพuffing โดยการใช้แคร้รอตด้วยไมโครเวฟจะช่วยลดความแน่นเนื้อและการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าการพuffing โดยวิธีอื่น เช่น การลวกด้วยน้ำร้อนและการนึ่ง [4], [5] เนื่องจากการลวกด้วยไมโครเวฟจะทำลาย เพคติน

ในผนังเยื่อระหว่างเซลล์ ทำให้ลดความแข็งของเนื้อสัมผัส [6] และช่วยกำจัดเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็ว กว่าวิธีอื่น ทำให้การทำงานของเอนไซม์ลดลง [7] งานวิจัยของ Surapit et al. [8] พบว่าการลวกด้วยไมโครเวฟช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยกรอบ เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวก และยังมีงานวิจัยของ F. Salehi et al. [9] ที่พบว่าการลวกด้วยไมโครเวฟจะเพิ่มปริมาณสารฟอลคารินอล (falcarinol) ในเซอร์รืหวาน ดังนั้นการลวกด้วยไมโครเวฟเป็นทางเลือกใหม่ของการพuffing ก่อนอบแห้งผลิตภัณฑ์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาเวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟ อุณหภูมิพuffing และเวลาพuffing ต่อคุณภาพแคร้รอตอบแห้ง ได้แก่ ความแตกต่างสี และความแข็งของเนื้อสัมผัส โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology)

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดลอง

นำแคร้รอตลอกเปลือกและล้าง จากนั้นใช้มีดฝานที่สามารถปรับระดับความหนาได้ ที่ระดับความหนา 2.5 มิลลิเมตร จำนวน 90 กรัม (ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 90.83 ± 0.07 มาตรฐานเปียก) โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยการพuffing โดยใส่จานเซรามิกไม่ใส่น้ำ ลวกด้วยไมโครเวฟ (Sharp, R-220, Japan) กำลังไฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 1 2 และ 3 นาที จากนั้นนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน (JSR, รุ่น JSOF-050, Korea) มี 3 ขั้นตอนทำต่อเนื่องกันด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน โดยขั้นตอนแรกอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขั้นตอนที่สองนำมาพuffing ด้วยอุณหภูมิ 140 150 160 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 2 และ 3 นาที และขั้นตอนสุดท้ายอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 10 มาตรฐานเปียก จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งมาวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพ

2.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน (JSR, รุ่น JSOF-050, Korea) และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Sartorius, รุ่น CP3202S, Germany) ความแม่นยำ ± 0.01 กรัม การวิเคราะห์ความชื้นตามวิธี AOAC [10]

2.2.2 การวิเคราะห์ค่าสี

การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab, USA) วิเคราะห์ค่าสี L , a และ b โดยวัดค่าสีในแต่ละกลุ่มตัวอย่างมาหาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) จากสมการ (1)

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (1)$$

โดยที่

L_0 และ L = ค่าความสว่างของสีก่อนและหลังอบแห้ง
 a_0 และ a = ค่าสีแดงหรือเขียวก่อนและหลังอบแห้ง
 b_0 และ b = ค่าสีเหลืองหรือน้ำเงินก่อนและหลังอบแห้ง

2.2.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

การทดสอบเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของแครรอต โดยใช้เครื่องวัดแรงกดตอเนกประสงค์ (Universal testing machine) ยี่ห้อ Lloyd Instruments รุ่น LRX-Plus ผู้ผลิตบริษัท AMETEK Lloyd Instrument Ltd. ประเทศอังกฤษ การทดสอบใช้แรงกดโดยใช้หัวกดแบบทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ในการทดสอบกำหนดความเร็วในการทดสอบที่ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที

2.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค

ทดสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของแครรอต ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น TM3030 Hitachi Japan โดยนำแครรอตอบแห้งมาเพื่อ

ดูโครงสร้างตามแนวขวาง โดยใช้พลังงานในการเร่งอิเล็กตรอนเท่ากับ 10 kv กำลังขยาย 500 เท่า

2.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

ตัวแปรที่ต้องการศึกษาในการอบแห้งแครรอตเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลต่อความชื้น ความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE) และความแข็งเนื้อสัมผัสของแครรอตอบแห้ง ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิการพффิง เวลาการลวกด้วยไมโครเวฟ และเวลาการพффิง โดยคุณภาพที่ต้องการศึกษาจะกำหนดให้เป็นตัวแปร (Y) ซึ่งการประมาณค่าของตัวแปร Y จะใช้สมการกำลังสองเชิงถดถอย (Second Order Polynomial Regression) อ้างอิงตาม D.C. Montgomery [11] ดังสมการที่ (2)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^n \beta_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

โดยที่

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ = ค่าสัมประสิทธิ์

X_i เป็นที่ต้องการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิการพффิง (X_1) เวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟ (X_2) และเวลาในการพффิง (X_3) โดยกำหนดค่าของตัวแปรดังนี้ X_1 มีค่าเท่ากับ 140 150 และ 160 °C สำหรับ X_2 และ X_3 มีค่าเท่ากับ 1 2 และ 3 นาที ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรศึกษา

ตัวแปรต้น	ตัวแปร	ระดับ		
		-1	0	1
อุณหภูมิการพффิง (°C)	X_1	140	150	160
เวลาลวกด้วยไมโครเวฟ (นาที)	X_2	1	2	3
เวลาพффิง (นาที)	X_3	1	2	3

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 สมการถดถอยและการวิเคราะห์ ค่าความแปรปรวน

ผลการศึกษาหาความเหมาะสมในการอบแห้งแคร้งด้วยเทคนิคการฟัพฟิงต่อคุณภาพด้านความชื้น ความแข็งเนื้อสัมผัส และค่าความแตกต่างสีโดยรวมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองและการออกแบบการทดลอง Box-Behnken โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิฟัพฟิง เวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟ และเวลาฟัพฟิง จากผลการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและการตอบสนองของตัวแปร สามารถนำมาสร้างเป็นสมการถดถอยของความชื้น (Y_1) ความแข็งเนื้อสัมผัส (Y_2) และความแตกต่างของสี (Y_3) ดังสมการที่ (3)-(5) ตามลำดับ

$$Y_1 = 9 - 0.63X_1 - 3.25X_2 - 2.38X_3 + X_1X_2 + 0.25X_1X_3 + 0.5X_2X_3 + 1.88X_1^2 + 1.13X_2^2 + 0.88X_3^2 \quad (3)$$

$$Y_2 = 6.79 - 0.71X_1 - 3.77X_2 - 0.93X_3 + 0.04X_1X_2 - 0.13X_1X_3 + 1.65X_2X_3 + 0.22X_1^2 + 1.21X_2^2 + 0.02X_3^2 \quad (4)$$

$$Y_3 = 15.33 + 1.75X_1 + 3.25X_2 + 2X_3 + 1.75X_1X_2 + 4.25X_1X_3 + 2.75X_2X_3 - 0.29X_1^2 + 5.21X_2^2 + 0.21X_3^2 \quad (5)$$

จากผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในรูปแบบกำลังสอง (Quadratic) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีค่านัยสำคัญ $\alpha=0.05$ ค่า p-value มีความเหมาะสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า p-value ของ lack of fit ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง โดยมีค่า R^2 ของสมการ (3)-(5) ได้แก่ 0.985 0.981 และ 0.911 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองดังสมการที่ (2) มีความเหมาะสมสำหรับแบบจำลอง เพื่อนำไปทำนายคุณภาพของการอบแห้งแคร้งด้วยเทคนิคการฟัพฟิง

ด้วยการลวกด้วยไมโครเวฟและเทคนิคการฟัพฟิง โดยแสดงผลในกราฟความสัมพันธ์ทั้ง 3 ตัวแปรจากสมการ (3)-(5) ที่มีความเหมาะสมและค่า R^2 ที่สูงสามารถนำมาวิเคราะห์นอกช่วงการทดลองทำให้เกิดความน่าเชื่อถือได้ โดยคำนวณอุณหภูมิเพิ่มคือ 130 และ 170 °C (การทดลอง 140 150 และ 160 °C) เวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟและเวลาฟัพฟิง 0 ถึง 4 นาที (การทดลอง 1 2 และ 3 นาที) ดังรูปที่ 1 และ 2

3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพ

การทดลองได้กำหนดคุณภาพด้านความชื้นของแคร้งอบแห้งให้มีความชื้นสุดท้ายที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 10 มาตรฐานเปียก [12] จากรูปที่ 1 ก) จะเห็นว่าเวลาลวกแคร้งด้วยไมโครเวฟและเวลาฟัพฟิงมากขึ้นจะทำให้ความชื้นลดลง โดยเฉพาะเวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟมีอิทธิพลต่อความความชื้นมากกว่าเวลาฟัพฟิง สังเกตได้จากความชันของกราฟ เป็นผลเนื่องจากการลวกด้วยไมโครเวฟจะเหนี่ยวนำให้เกิดพลังงานความร้อน ทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น [13] โดยเฉพาะช่วงการลวกด้วยไมโครเวฟ 0-2 นาที จะสังเกตได้ว่ากราฟมีความชันมากกว่าช่วง 2-4 นาที

เมื่อวิเคราะห์รูปที่ 1 ข) จะเห็นว่าเมื่อเวลาฟัพฟิงเพิ่มขึ้นความแข็งมีค่าลดลง (ที่ช่วงการลวกด้วยไมโครเวฟ 0-2 นาที) หลังจากนั้นความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สอดคล้องกับผลการศึกษาของ N.C. Shilton et al.[14] ที่พบว่าความชื้นผลิตภัณฑ์ก่อนการฟัพฟิงเหลือน้อย เนื่องจากใช้เวลาในการฟัพฟิงมากเกินไปโดยการลวกด้วยไมโครเวฟนานขึ้น การระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ก็จะมากขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ไม่เพียงพอต่อการเดือดและการระเหยจนกลายเป็นไอ เกิดการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ได้น้อย ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งขึ้น แต่ถ้าความชื้นของผลิตภัณฑ์สูง ก่อนการฟัพฟิงก็จะปลดประสิทธิภาพการฟัพฟิง เพราะฉะนั้นระดับความชื้นก่อนการฟัพฟิงต้องมีความเหมาะสม เพื่อทำให้เกิดการขยายตัวที่ดีนำไปสู่การเพิ่มความกรอบของผลิตภัณฑ์

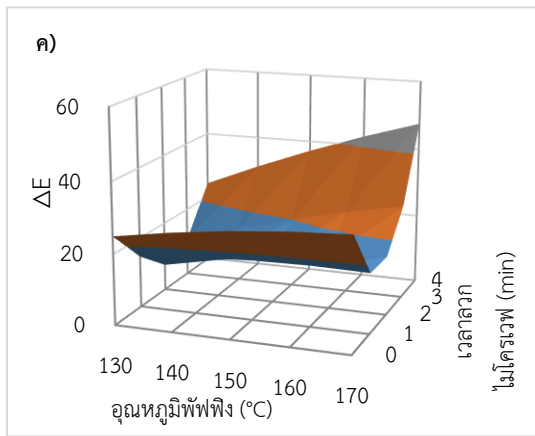
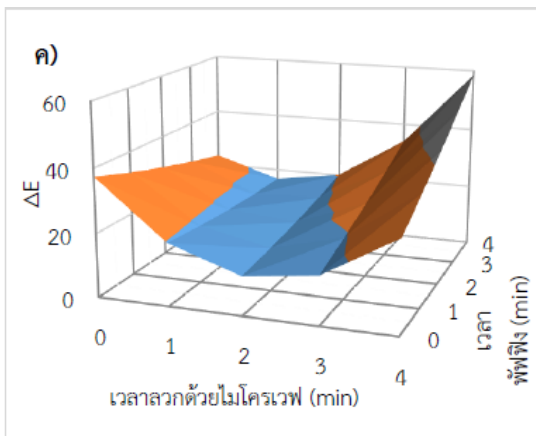
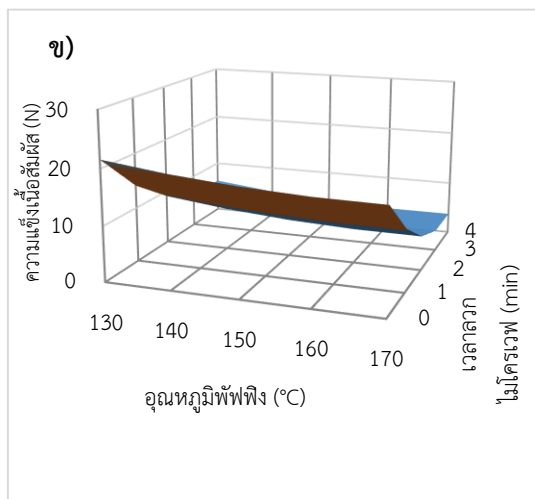
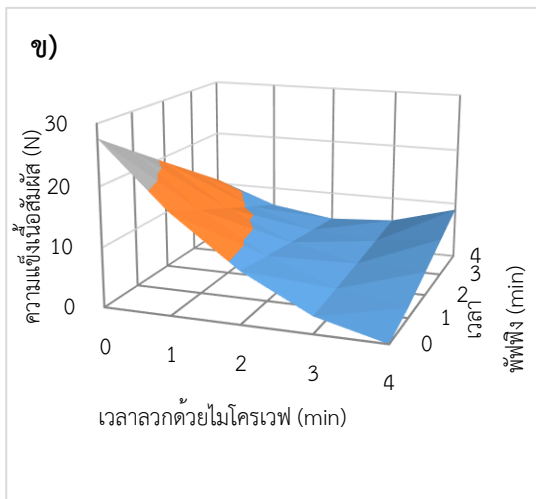
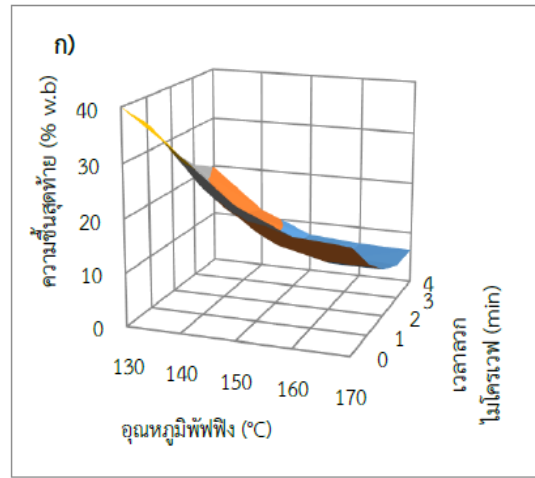
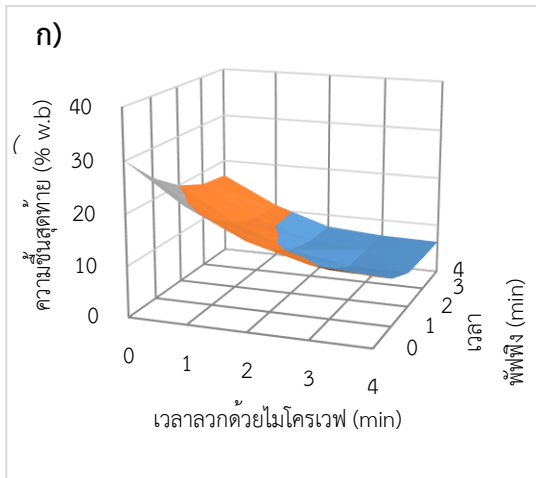
นอกจากนี้ตามรูปที่ 1 ค) จะเห็นว่าเวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟและเวลาในการพัพฟิง ส่งผลต่อค่า ΔE ใน 2 ช่วงเวลา คือ ระยะแรก 0-2 นาที่ ค่า ΔE มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับหลายๆงานวิจัยที่ พรีทรีตเมนต์ด้วยไมโครเวฟในเวลาที่เหมาะสมที่สุด ไม่เกิน 2 นาที่ เช่น งานวิจัยของ M. A. Hamid et al. [15] ที่พบว่าเวลาลวกด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 1 นาที่เป็นวิธีที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับการลวกด้วยไอน้ำ เนื่องจากยังคงสภาพสี ลดการทำงานของเอนไซม์ PPO และงานวิจัยของ C. Severini et al. [16] ที่พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการลวกบรอกโคลีด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 80 วินาที จะช่วยคงสภาพสีได้ดีที่สุด ส่วนระยะเวลา 2-4 นาที่ ค่า ΔE จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการรายงานของ T. V. L. Nguyen et al. [17] ที่กล่าวว่าเวลาลวกเกินเวลาที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสูญเสียวิตามิน และเนื้อสัมผัสเหนียวเกินไป

การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิพัพฟิงและเวลาลวกด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพแครอทอบแห้ง ดังรูปที่ 2 (ก) พิจารณาอุณหภูมิพัพฟิงและเวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟส่งผลต่อความชื้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความชื้นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ T. Surapit et al. [8] ที่อบแห้งกล้วยแผ่น พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิพัพฟิงจะทำให้กล้วยแผ่นใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง เนื่องจากอุณหภูมิพัพฟิงสูงจะทำให้ความชื้นมีอัตราการระเหยสูงขึ้น และการลวกด้วยไมโครเวฟนานขึ้น จะทำให้ความชื้นลดลง เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทะลุทะลวงเข้าไปในวัสดุโดยตรง เป็นผลให้ความชื้นบางส่วนระเหยออกไปจากวัสดุ ส่วนผลของอุณหภูมิพัพฟิงและเวลาลวกด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพแครอทอบแห้งต่อความแข็งของเนื้อสัมผัส ตามรูปที่ 2 ข) จะเห็นว่าอุณหภูมิพัพฟิง เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความแข็งของเนื้อสัมผัสลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ J.Thavorn [18] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ C. Raikham et al. [19] ที่รายงานว่าอุณหภูมิและเวลาในการพัพฟิงสูงขึ้นทำให้เกิดการหดตัวลดลง และเนื้อสัมผัสกรอบขึ้น เนื่องจากการพัพฟิงด้วยอุณหภูมิสูง ทำให้ความดันไอที่เกิดจาก

การเดือดของน้ำในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ทำให้โครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์มีรูพรุนมากขึ้น ลักษณะโครงสร้างดังกล่าวจะทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างลดลง ส่งผลให้แครอทมีความแข็งแรงลดลง จึงทำให้แครอทกรอบขึ้น แต่ถ้าใช้เวลาในการพัพฟิงนานเกินไปจะทำให้เนื้อสัมผัสแข็งและมีสีเข้มเกินไปดังรายงานของ T. Surapit et al. [20] ที่ใช้เวลาการพัพฟิงกล้วยกรอบที่ 2 นาที่ ดังนั้นเวลาในการพัพฟิงควรเป็นเวลาที่เหมาะสม ไม่สั้นหรือนานจนเกินไป และการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงสี ดังรูปที่ 2 ค) จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับงานวิจัยของ C. Raikham et al. [21] ที่พบว่าอุณหภูมิพัพฟิงสูงขึ้นทำให้เกิดสีน้ำตาล เข้มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิพัพฟิงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสีน้ำตาล ส่งผลให้ค่า ΔE สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [8],[20] ส่วนเวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟมีความไม่แน่นอนในการเปลี่ยนแปลงสี ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการลวก ที่เวลาลวกด้วยไมโครเวฟ 2 นาที่ มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงาน [7],[8] รายงานว่าผลของเวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากไมโครเวฟช่วยลด polyphenol oxidase activity ได้ [8], [22]

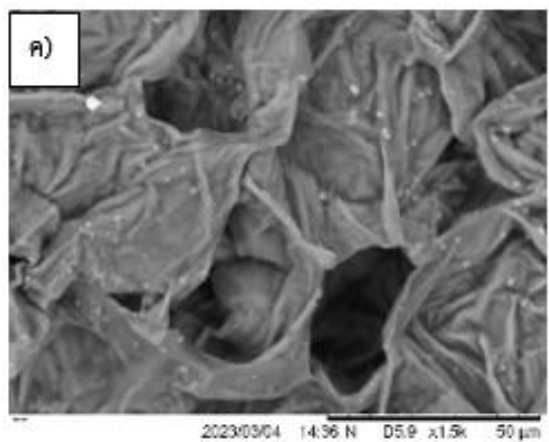
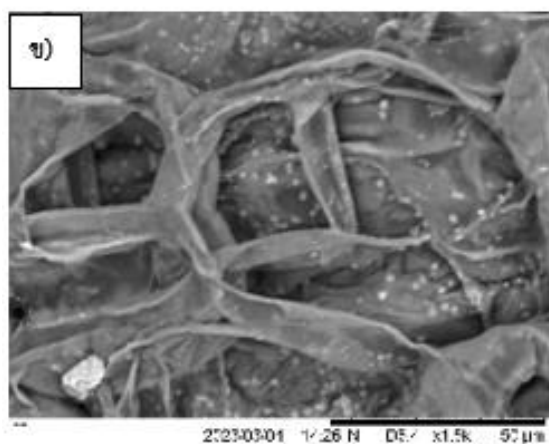
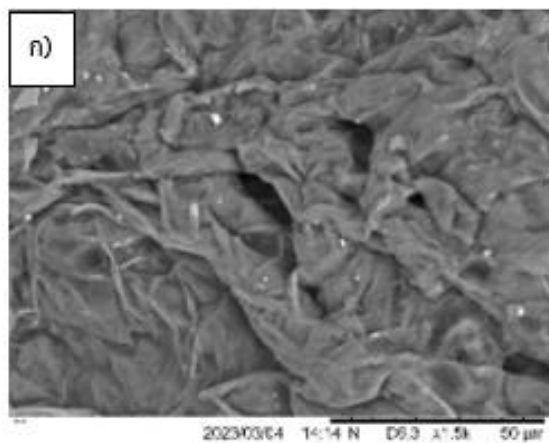
3.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

เมื่อวิเคราะห์ภาพถ่ายจาก SEM โดยเลือกวิเคราะห์ที่การลวกด้วยไมโครเวฟ 2 นาที่ เนื่องจากเป็นสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาในการพัพฟิงที่สภาวะต่างๆ ดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการพัพฟิงมากขึ้น จะทำให้เกิดการแตกร้าวจากเล็กน้อยจนขยายใหญ่ขึ้นเป็นรูพรุนกว้างมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการพัพฟิงด้วยอุณหภูมิสูง และเวลาที่มากขึ้น จะมีการถ่ายโอนพลังงานความร้อนมากขึ้น ส่งผลให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์เกิดการเดือด ก่อให้เกิดความดันไอสูงขึ้น เป็นผลให้ขยายปริมาตรและเกิดรูพรุนบริเวณผิวผลิตภัณฑ์ [23], [24]

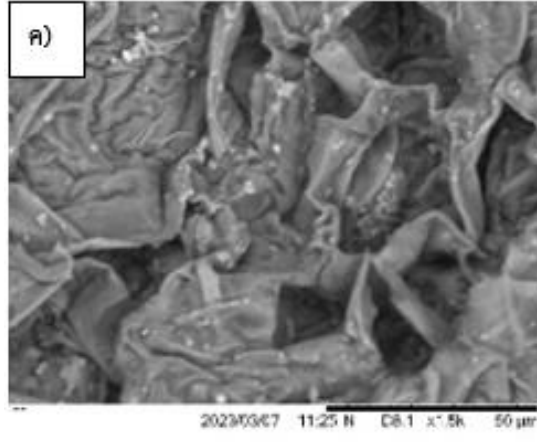
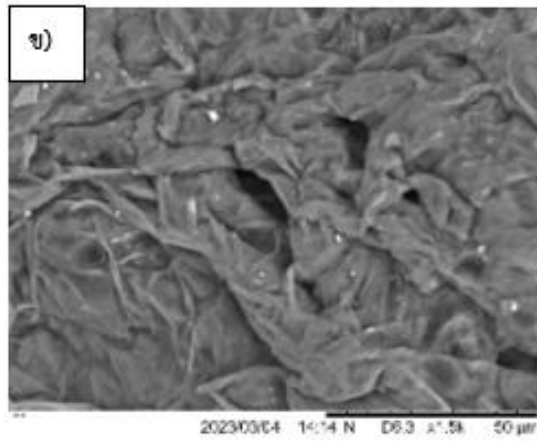
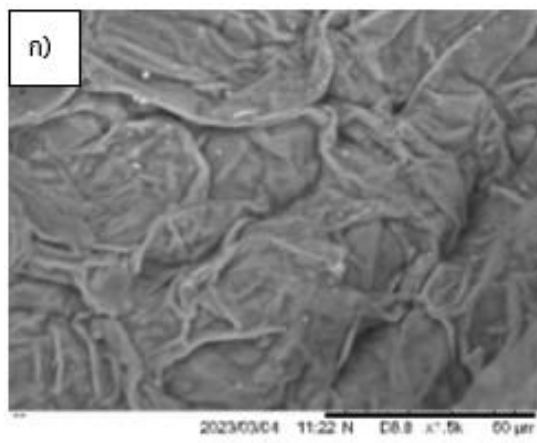


รูปที่ 1 ผลของเวลาตากด้วยไมโครเวฟและเวลาพิ้งต่อคุณภาพแคร้รอตบแห้ง ก) ความชื้นสุดท้าย ข) ความแข็งแรงเนื้อสัมผัส ค) ΔE

รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิพิ้งและเวลาตากด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพแคร้รอตบแห้ง ก) ความชื้นสุดท้าย ข) ความแข็งแรงเนื้อสัมผัส ค) ΔE



รูปที่ 3 ภาพถ่ายจาก SEM ของแคร่รอตบแห้งที่เวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟ 2 นาที และเวลาพัฟฟิง 1 นาที ก) อุณหภูมิพัฟฟิง 140 °C ข) อุณหภูมิพัฟฟิง 150 °C ค) อุณหภูมิพัฟฟิง 160 °C



รูปที่ 4 ภาพถ่ายจาก SEM ของแคร่รอตบแห้งที่เวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟ 2 นาที และอุณหภูมิพัฟฟิง 150 °C ก) เวลาพัฟฟิง 1 นาที ข) เวลาพัฟฟิง 2 นาที ค) เวลาพัฟฟิง 3 นาที

4. สรุป

จากผลการวิจัยเวลาในการพรีทรีตเมนต์โดยการลวกด้วยไมโครเวฟ อุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาในการพัฟฟิงต่อคุณภาพของแครอทตอบแห้ง พบว่าเวลาลวกด้วยไมโครเวฟ อุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงมากขึ้น จะทำให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและทำให้ความแข็งของเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มลดลง แต่จะทำให้การเปลี่ยนแปลงสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจากการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของแครอทตอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพได้ค่าความแตกต่างสีเท่ากับ 14.45 ความแข็งของเนื้อสัมผัส 8.29 N และมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 มาตรฐานเบี่ยงโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในรูปแบบกำลังสอง มีค่านัยสำคัญ $\alpha=0.05$ ค่า p-value มีความเหมาะสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า R^2 ได้แก่ 0.985 0.981 และ 0.911 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งคืออุณหภูมิพัฟฟิง 147.5 °C เวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟ 2 นาที และเวลาพัฟฟิง 1.75 นาที

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. K.-Larsen, R. B. E-Houri, L. P. Christensen, I. A-Najami, X. Fretté, and G. Baatrup, "Dietary polyacetylenes, falcarinol and falcarindiol, isolated from carrots prevents the formation of neoplastic lesions in the colon of azoxymethane-induced rats," *Food & Function*, vol. 8, no. 3, pp. 964–974, Mar. 2017.
- [2] S. Purup, E. Larsen, and L. P. Christensen, "Differential Effects of Falcarinol and Related Aliphatic C17-Polyacetylenes on Intestinal Cell Proliferation," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 57, no. 18, pp. 8290–8296, Aug. 2009.
- [3] T. Pisut, P. Suwit, and T. Surapit, "Effects of ripening level and puffing temperature on qualities of puffed Homtong banana slices," *Creative Science (SNRU Journal of Science and Technology)*, vol. 10, no. 2, pp. 116–123, May–Aug. 2018.
- [4] D. Başkaya Sezer and A. Demirdöven, "The Effects of Microwave Blanching Conditions on Carrot Slices: Optimization and Comparison: Effects of Microwave Blanching on Carrot Slices," *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 39, no. 6, pp. 2188–2196, Dec. 2015.
- [5] N. Turkmen, E. S. Poyrazoglu, F. Sari, and Y. Sedat Velioglu, "Effects of cooking methods on chlorophylls, pheophytins and colour of selected green vegetables," *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 41, no. 3, pp. 281–288, Mar. 2006.
- [6] L. Katia, B. Ilaria, and E. Marco, "Effect of microwave power and blanching time in relation to different geometric shape of vegetables," *LWT- Food Science and Technology*, vol. 99, no. 6, pp. 497–504, 2019.

- [7] L. Peng, M. S. Arun, M. Zhang, and J. Hao, "Comparison of three blanching treatments on the color and anthocyanin level of the microwave assisted spouted bed drying of purple flesh sweet potato," *Drying Technology*, vol. 33, no. 1, pp. 66-71, 2014.
- [8] T. Surapit, P. Suwit, and S. Somchart, "Effects of Microwave Blanching Time and Puffing Temperature on Drying Time and Qualities of Crisp Banana," *Journal of Food Technology, Siam University*, Vol. 16, no. 1, pp.144-153, 2021.
- [9] F. Salehi, M. Inanloodoghous, and S. Ghazvineh, "Influence of microwave pretreatment on the total phenolics, antioxidant activity, moisture diffusivity, and rehydration rate of dried sweet cherry," *Food Science & Nutrition*, vol. 11, no. 12, pp. 7870-7876, Sep. 2023.
- [10] AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th ed., Rev.1, Gaithersburg, MD, USA. 2002.
- [11] D. C. Montgomery, *Introduction to Linear Regression Analysis*, 4th ed. Wiley & Sons, 2006.
- [12] J. Apaporn and J. Prayoon, "Mathematical Models Developing of Different Pattern of Dried Agricultural Products," *KKU Science Journal*, Vol. 47, no. 1, pp.144-153, Jan.-Mar. 2019.
- [13] S. Pongpon, N. Nukrob, and A. Rittichai, "Study of the optimum conditions for microwave drying of turmeric by response surface methodology," *Life Sciences and Environment Journal*, vol.14, no.2, pp 44-52, 2014.
- [14] N. C. Shilton, A. A. Bekhit, and K. Niranjana, "Optimisation of a Dehydration Process for Potato Cubes using an Intermediate Puffing Step," *Potato Research*, vol. 41, pp. 203-209, Sep.1998.
- [15] A. H. Manzoor, C. H. See, O. Martony, and M. Devi, "Effect of steam and microwave blanching against enzymatic browning of chilled saba banana (*Musa spp.*, BBB)," *Bulletin of Culinary Art and Hospitality*, vol. 4, no. 1, pp. 21-28, 2024.
- [16] C. Severini, R. Giuliani, A. D. Filippis, A. Derossi, and T. D. Pilli, "Influence of different blanching methods on colour, ascorbic acid and phenolics content of broccoli," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 53, no. 1, pp. 501-510, 2016.
- [17] T. V. L. Nguyen, T. Y. N. Tran, D. T. Lam, L. G. Bach, and D. C. Nguyen, "Effects of microwave blanching conditions on the quality of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) butt segment," *Food Science & Nutrition*, vol. 7, no. 11, pp. 3513-3519, 2019.
- [18] J. Thavorn, "Effect of Puffing Conditions on Quality of Crispy Banana," *Thaksin University Journal*, vol.20, no.3, pp. 141-148, 2017.
- [19] C. Raikham, S. Prachayawarakorn, A. Nathakarakule, and S. Soponronnarit,

- "Optimum Conditions of Fluidized Bed Puffing for Producing Crispy Banana," *Drying Technology*, vol. 31, no. 6, pp. 726-739, Apr. 2013.
- [20] T. Surapit, P. Somkiat, and S. Somchart, "Optimum condition of producing crisp osmotic banana using superheated steam puffing," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 97, no. 4, pp. 1244-1251, Mar. 2017.
- [21] A. Nathakaranakule, S. Soponronnarit, and S. Prachayawarakorn, "Influences of pretreatments and drying process including fluidized bed puffing on quality attributes and microstructural changes of banana slices," *Drying Technology*, vol.33, no.8, pp. 915-925, 2015.
- [22] J. Prayoon, M. Dechawut, T. Bhuchiss, S. Prasit, L. Chainarong, J. Apaporn and K.Sirithon, "Effect of Sample Pretreatment and Drying Methods on Quality of Dates," *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, Vol. 23 no. 4, pp.120-130, 2023.
- [23] R. Chonlada and R. Orawan, "Effect of Temperature and Puffing Time on the Qualities of Puffed Rice Produced by RD6 Glutinous Rice," *Journal of Science Ladkrabang*, vol. 27, no. 1, pp. 42-54, Jan.-Jun. 2018.
- [24] T. Surapit, "Effects of Hot Water Blanching and Puffing Temperature Level on Qualities of Namwa and Homtong-Banana Chips," *RMUTP Research Journal*, vol.17, no. 2, pp.1-14, Jul.-Dec. 2023.