



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ณ โรงแรมฮาร์ตโรค พัทยา จังหวัดชลบุรี

Available online at [www.tsaе.asia](http://www.tsaе.asia)

สภาวะที่เหมาะสมของการแปรรูปมะม่วงแผ่นกรอบโดยใช้การวิเคราะห์แบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

Optimum Conditions for Vacuum Frying of Crispy Mango Chip using Box-Behnken

Experimental Design

นันท์ณภัฏ ระหงษ์<sup>1</sup>, ฤทธิชัย อัสวารชานย์<sup>1, 2\*</sup>

Nunnapat Rahong<sup>1</sup>, Rittichai Assawarachan<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สันทราย เชียงใหม่ 50290

<sup>1</sup>Faculty of Engineering and Agro-Industry; Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand

<sup>2</sup>หน่วยวิจัยเทคโนโลยีลดความชื้น และการอบแห้ง คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สันทราย เชียงใหม่

<sup>2</sup>Drying and Dehydration Technology Research Unit. Faculty of Engineering and Agro-Industry; Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand

\*Corresponding author: Tel: +66-8-1792-0946, Fax: +66-53-878-123, E-mail: [rittichai.assawarachan@gmail.com](mailto:rittichai.assawarachan@gmail.com)

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการแปรรูปมะม่วงแผ่นกรอบด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศโดยใช้วิธีการทางสถิติ ผลการศึกษาพบว่าสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมของการแปรรูปมะม่วงแผ่นกรอบโดยใช้เทคนิคพื้นที่ผิวตอบสนองด้วยวิธีแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิในการทอดที่ 75, 85 และ 95 °C ( $X_1$ ) เวลาในการทอดที่ 25, 30 และ 35 min ( $X_2$ ) และเวลาที่ใช้เหี่ยงลดปริมาณน้ำมันในสภาวะสุญญากาศที่ 20, 30 และ 40 min ( $X_3$ ) ตามลำดับ พบว่ามีรูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสองที่ใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมันที่เหลือในมะม่วงแผ่นกรอบ โดยมีสมการเท่ากับ  $Y_1 = 11.33 - 0.79X_1 + 0.21X_2 + 0.011X_3 - 0.24X_1X_2 - 0.38X_1X_3 - 0.37X_2X_3 + 5.15X_1^2 + 0.82X_2^2 + 1.42X_3^2$  ( $R^2 = 0.9827$ ) สภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปมะม่วงแผ่นกรอบ ที่อุณหภูมิเท่ากับ 86.4 °C เวลาในการทอดเท่ากับ 31.5 min และเวลาที่ใช้เหี่ยงลดปริมาณน้ำมันเท่ากับ 30 min เป็นสภาวะที่มีปริมาณน้ำมันเหลือในผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด เท่ากับ  $11.33 \pm 0.39$  mg/100 g ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นสุดท้าย ( $M_p$ ) และปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) มีค่าเท่ากับ  $5.14 \pm 0.92\%$  (w.b.) และ  $3.15 \pm 0.73$  ผลิตภัณฑ์มีค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $42.8 \pm 2.07$ ,  $6.5 \pm 2.07$ ,  $16.5 \pm 1.82$  ตามลำดับ ค่าแรงกดแตก ค่าความเปราะ และผลิตภัณฑ์แตกเท่ากับ  $94.93 \pm 34.21$  N,  $70.61 \pm 32.46$  N/s และ  $304.4 \pm 77.52$  times ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** มะม่วงแผ่นกรอบ ทอดสุญญากาศ สภาวะที่เหมาะสม การทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

## Abstract

The objective of this study was to investigate the optimum conditions for vacuum frying of crispy mango chip using statistical experimental design. The result was successfully determined by response surface methodology of Box-Behnken and it was used to design the vacuum frying conditions of crispy mango chip. Experimental factors effecting the optimum conditions were carried out at different frying temperature levels (75, 85 and 95 °C), frying time (25, 30 and 35 min) and centrifugal time (20, 30 and 40 min). The second degree polynomial equation for prediction of fat value of crispy mango chip during vacuum frying was  $Y_1 = 11.33 - 0.79X_1 + 0.21X_2 + 0.011X_3 - 0.24X_1X_2 - 0.38X_1X_3 - 0.37X_2X_3 + 5.15X_1^2 + 0.82X_2^2 + 1.42X_3^2$  ( $R^2 = 0.9827$ ). The optimum conditions for frying temperature was 86.4 °C with 31.5 min of frying times and 30 min of centrifugal time, giving

the lowest oil uptake of  $11.33 \pm 0.39$  mg/100 g and maximum of  $L^*$ -value and  $b^*$ -value was  $42.8 \pm 2.07$  and  $16.5 \pm 1.82$ , respectively. The texture analysis namely hardness, linear distance and count peak were  $94.93 \pm 34.21$  N,  $70.61 \pm 32.46$  N/s and  $304.4 \pm 77.52$  times, respectively.

**Keywords:** Crispy mango chip, Vacuum frying, Optimum condition, Box-behken experiment design

## 1. บทนำ

มะม่วง (*Mangifera indica* L. Anacardiaceae) เป็นไม้ผลที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยซึ่งมีการปลูกมะม่วงอย่างกว้างขวางในเกือบทุกพื้นที่ของประเทศ มีพื้นที่รวมทั้งหมดประมาณ 614,178 ไร่ ให้ผลผลิตประมาณ 530,370 ตัน (ระบบสารสนเทศการผลิตทางการเกษตร online, กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560) พันธุ์มะม่วงที่นิยมปลูกมาก ได้แก่ น้ำดอกไม้เขียวเสวย แก้ว โชคอนันต์ ฟาลัน และเขียวมรกต เป็นต้น เนื่องจากปริมาณผลผลิตต่อปีที่สูงจึงมีการนำผลมะม่วงมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่นมะม่วงแช่อิ่ม มะม่วงอบแห้ง มะม่วงกวน และเนื้อมะม่วงแช่เยือกแข็งโดยเฉพาะเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถส่งออกและทำรายได้ให้ประเทศ อย่างไรก็ตามมะม่วงยังเป็นไม้ผลที่ประสบปัญหาล้นตลาดทุกปี เนื่องจากปริมาณการผลิตในการแปรรูปมะม่วงนั้นสามารถแปรรูปได้เพียง 15-20 % ของผลผลิตในแต่ละปี เทคโนโลยีการทอดในระบบสภาวะสุญญากาศนำมาใช้ในการทอดผลไม้แห้ง มีข้อดีคือจากการที่มีออกซิเจนน้อยมากในระบบทำให้เกิดการออกซิเดชันต่ำในน้ำมัน เนื่องจากในการสร้างระบบสุญญากาศจะใช้ปั๊มดูดอากาศออกจากระบบตลอดเวลาส่งผลต่อคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำมันเช่น จุดเดือดมีค่าลดลงสามารถใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำกว่า  $100^\circ\text{C}$  ส่งผลผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจึงมีคุณภาพด้านกลิ่น สี และรสชาติใกล้เคียงกับธรรมชาติเดิม เทคโนโลยีการทอดในระบบสภาวะสุญญากาศสามารถใช้ในการทอดผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลสูงและผักสดที่มีปริมาณน้ำมากให้มีความกรอบเพื่อใช้บริโภคเป็นอาหารขบเคี้ยว ช่วยลดการไหม้ของน้ำตาล และเปลี่ยนสภาพเป็น Caramel Formation ในสถานะของแข็งซึ่งจะเป็นผลึกที่กั้นการระเหยน้ำออกจากโครงสร้างเซลล์ การทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศจึงไม่เหมาะสมกับทอดผลไม้และผักที่มีน้ำตาลสูงและมีความชื้นต่ำได้ (Inprasit, 2012 and Assawarachan, 2018)

การหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology, RSM) และการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken design, BBD) เป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเงื่อนไข

กระบวนการผลิตและเงื่อนไขในการผลิตที่เหมาะสม (Chailungka and Assawarachan, 2015) นอกจากนี้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองสามารถทำให้ได้สมการทำนายกระบวนการแปรรูปมะม่วงกรอบด้วยการทอดสุญญากาศ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานอันได้แก่ ระดับอุณหภูมิในการทอด ( $X_1$ ) เวลาในการทอดสุญญากาศ ( $X_2$ ) และเวลาในการเหวี่ยงลดปริมาณน้ำมัน ( $X_3$ ) ต่อการมีปริมาณน้ำมันเหลือในผลิตภัณฑ์ และวิเคราะห์ค่าความชื้นสุดท้าย ( $M_f$ ) ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) ค่าสีของผลิตภัณฑ์ ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส อาทิ ค่าแรงกดแตก ค่าความเปราะ และผลิตภัณฑ์แตกของผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นกรอบด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศ

## 1 อุปกรณ์และวิธีการ

### 1.1 การเตรียมเนื้อมะม่วงแผ่น

นำเนื้อมะม่วงสุก ในการศึกษานี้ใช้มะม่วงน้ำดอกไม้สุกที่ตกเกรดมาใช้ในการศึกษา ขั้นตอนแรกนำมะม่วงปอกเปลือกมะม่วง และนำไปแช่ในน้ำเกลือ (NaCl) ที่อัตราส่วน 1% w/w เป็นเวลา 1 min ขั้นตอนที่น่าเนื้อมะม่วงหั่นเป็นแผ่นที่ความหนา 2 mm และนำไปแช่ในสารละลาย  $\text{CaCl}_2$  ที่อัตราส่วน 1% w/w เป็นเวลา 5 min ล้างด้วยน้ำสะอาด สะเด็ดน้ำให้แห้งก่อนนำไปทอดในขั้นตอนต่อไป

### 1.2 การทอดสุญญากาศ

เครื่องทอดสุญญากาศขนาดห้องปฏิบัติการพัฒนาโดยหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการลดความชื้นและการอบแห้ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยแบ่งการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่เหลือ ได้แก่ อุณหภูมิในการทอด ( $X_1$ ) ที่ 75, 85 และ  $95^\circ\text{C}$  เวลาในการทอด ( $X_2$ ) ที่ 25, 30 และ 35 min และเวลาที่ใช้เหวี่ยงลดปริมาณน้ำมันในสภาวะสุญญากาศ ( $X_3$ ) ที่ 20, 30 และ 40 min ตามลำดับทุกสภาวะของการทดลองใช้ความดันสุญญากาศที่ -650 ถึง -700 mmHg และใช้ระบบ PID-controller สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของหัวเผาที่ใช้หลักการให้ความร้อนด้วย LPG

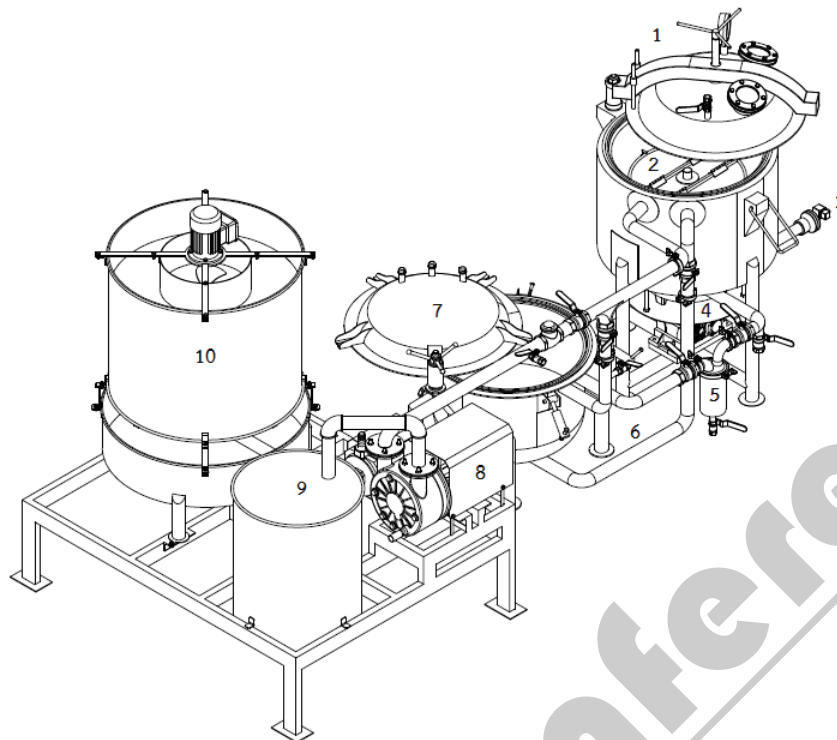


Figure 1 Schematic of laboratory of vacuum frying

(1) Vacuum Frying chamber 1 (2) Pasteurization (3) Solisnoid valve (4) Burner (5) Filter (6) Pipe (7) Vacuum Frying chamber (8) Liquid ring vacuum pump 3 HP (9) Water tank (10) Cooling tower

### 2.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่เหลือ

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธีโดยตรง (Direct extraction methods) เป็นวิธีการสกัดโดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ โดยทั่วไปส่วนประกอบที่เป็นไขมันในอาหารเป็นสารประกอบสกัดออกได้ด้วยตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ และไดเอทิลอีเทอร์ วัดปริมาณไขมันที่หลงเหลือด้วยเครื่องวิเคราะห์ไขมัน Tecator soxtec system, HT model 1043 extraction unit, Netherland

### 2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

การวัดความชื้นสุดท้าย ปริมาณน้ำอิสระ และค่าสีของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัดความชื้นอัตโนมัติ (Moisture Analyzer, Ohaus Model: MB 45, United States of America), เครื่อง Water activity meter, AquaLab รุ่น 3TE, United States of America) และค่าสีในระบบ CIE-L\*a\*b\* ด้วยเครื่อง CR-400 chroma meter (Model: Konica Minolta; Japan) และวัดสมบัติทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer (Stable Micro System model: TA.xt. Plus) ชนิดของหัววัด P/50 ด้วย

เทคนิคการกดแบบครั้งเดียว (Return to start) test speed เท่ากับ  $10 \text{ mm sec}^{-1}$  และ Distance เท่ากับ 2.0 mm.

### 2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์สถิติเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง และการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน โดยใช้โปรแกรม Design-Expert 7.0 version

## 3. ผลและวิจารณ์

การหาสภาวะที่เหมาะสมของมะม่วงแผ่นกรอบด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศต่อปริมาณน้ำมันที่เหลือในมะม่วงแผ่นกรอบด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง ด้วยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขกระบวนการผลิตและเงื่อนไขในการผลิตเพื่อหาสภาวะการแปรรูปด้วยการออกแบบการทดลองทางสถิติเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานอันได้แก่ อุณหภูมิในการทอด ( $X_1$ ) เวลาในการทอดสุญญากาศ ( $X_2$ ) และเวลาในการหึ่งลดปริมาณน้ำมันในระบบสุญญากาศ ( $X_3$ ) ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่เหลือในมะม่วงแผ่นกรอบพบว่า มีปริมาณน้ำมัน

11.08-19.23 g/100 g ผลของอุณหภูมิในการทอดต่อปริมาณน้ำมันที่เหลือในมะม่วงแผ่นกรอบ พบว่าการทอดที่อุณหภูมิ ที่ 75 °C มีปริมาณน้ำมันที่เหลือในผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นกรอบ เท่ากับ 17.46 - 19.23 g/100 g เนื่องจากการทอดที่อุณหภูมิต่ำนั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเซลล์ของเนื้อมะม่วง และการแพร่ของน้ำในเซลล์ชั้นในของเนื้อมะม่วงแผ่นด้วยอัตราการไหล และเกิดลักษณะโพรงขนาดใหญ่เมื่อเนื้อมะม่วงเกิดการเปลี่ยนแปลงจนแห้งในขณะที่เวลาในการทอดสุญญากาศ ( $X_2$ ) และเวลาในการเหี่ยวลดปริมาณน้ำมัน ( $X_3$ ) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่การทอดที่อุณหภูมิ ที่ 75 °C ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันที่หลงเหลือในมะม่วงแผ่นกรอบที่อุณหภูมิ ที่ 95 °C พบว่ามีปริมาณไขมันหลงเหลือในผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นกรอบเท่ากับ

15.45- 17.64 g/100 g ซึ่งมีปริมาณไขมันหลงเหลือน้อยกว่าการทอดที่อุณหภูมิที่ 75 °C และไม่มีผลกระทบของเวลาในการทอดสุญญากาศ ( $X_2$ ) และเวลาในการเหี่ยวลดปริมาณน้ำมัน ( $X_3$ ) เช่นเดียวกันทั้งนี้การทอดเนื้อมะม่วงกรอบด้วยการทอดสุญญากาศที่อุณหภูมิสูงนั้นส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลความชื้นในเนื้อมะม่วงแผ่นมากขึ้น และส่งผลให้โพรงภายในเนื้อมะม่วงแผ่นลดลง แต่ผลการที่เนื้อมะม่วงได้รับอุณหภูมิมากเกินไปส่งผลให้เนื้อเยื่อภายในเกิดการแข็งและยุบตัวเป็นลักษณะหลุมจำนวนมากส่งผลให้เกิด สอดคล้องรายงานวิจัยของ Yamsaengsung et al., (2011) ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดมะม่วงแผ่นกรอบด้วยการทอดสุญญากาศนั้นที่อุณหภูมิ เท่ากับ 85 °C ซึ่งมีปริมาณไขมันหลงเหลือเท่ากับ 11.08 - 15.33 g/100 g

**Table 1** Optimisation method parameters for box-behken experimental design and results for oil content of crispy mango chip

| No.             | Frying temperature ( $X_1$ ) | Frying time ( $X_2$ ) | centrifugal time ( $X_3$ ) | oil uptake (g/100 g) (Y) |
|-----------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1               | 75 (-1)                      | 25 (-1)               | 30 ( 0)                    | 18.69                    |
| 2               | 95 ( 1)                      | 25 (-1)               | 30 ( 0)                    | 17.64                    |
| 3               | 75 (-1)                      | 35 ( 1)               | 30 ( 0)                    | 17.46                    |
| 4               | 95 ( 1)                      | 35 ( 1)               | 30 ( 0)                    | 15.45                    |
| 5               | 75 (-1)                      | 30 ( 0)               | 20 (-1)                    | 18.21                    |
| 6               | 95 ( 1)                      | 30 ( 0)               | 20 (-1)                    | 17.34                    |
| 7               | 75 (-1)                      | 30 ( 0)               | 40 ( 1)                    | 19.23                    |
| 8               | 95 ( 1)                      | 30 ( 0)               | 40 ( 1)                    | 16.86                    |
| 9               | 85 ( 0)                      | 25 (-1)               | 20 (-1)                    | 12.06                    |
| 10              | 85 ( 0)                      | 35 ( 1)               | 20 (-1)                    | 15.33                    |
| 11              | 85 ( 0)                      | 25 (-1)               | 40 ( 1)                    | 12.57                    |
| 12              | 85 ( 0)                      | 35 ( 1)               | 40 ( 1)                    | 14.37                    |
| 13 <sup>a</sup> | 85 ( 0)                      | 30 ( 0)               | 30 ( 0)                    | 11.28                    |
| 14 <sup>a</sup> | 85 ( 0)                      | 30 ( 0)               | 30 ( 0)                    | 11.98                    |
| 15 <sup>a</sup> | 85 ( 0)                      | 30 ( 0)               | 30 ( 0)                    | 11.08                    |

Note: <sup>a</sup> central point

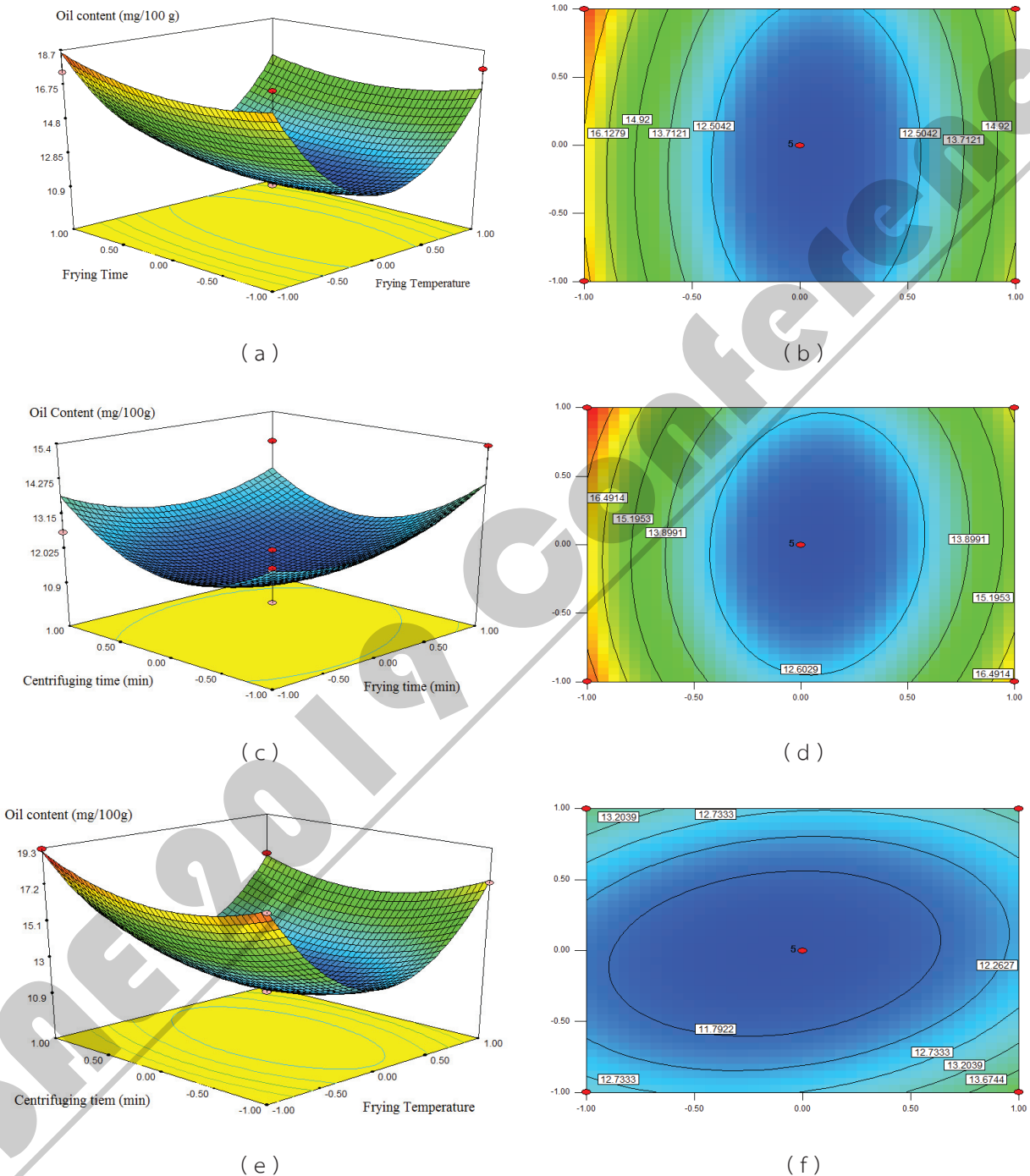
Figure 2 แสดงพื้นผิวตอบสนองในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ (3D plot) และกราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวตอบสนอง (Contour plot) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยระหว่างอุณหภูมิ ( $X_1$ ) เวลาในการทอด ( $X_2$ ) และเวลาในการเหี่ยวลดปริมาณน้ำมัน ( $X_3$ ) ต่อปริมาณน้ำมันที่เหลือในมะม่วงแผ่นกรอบด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศโดยเป็นการแสดงความสัมพันธ์ของพื้นผิวตอบสนองในรูปแบบของกราฟ 3D และกราฟเส้นโครง

ร่างของพื้นผิวตอบสนอง ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของการทอดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อมะม่วงแผ่นกรอบด้วยเทคนิคทอดสุญญากาศที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถวิเคราะห์สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย  $X_1$ ,  $X_2$  และ  $X_3$  มีสมการความสัมพันธ์  $Y_1 = 11.33 - 0.79X_1 + 0.21X_2 + 0.011X_3 - 0.24X_1X_2 - 0.38X_1X_3 - 0.37 X_2X_3 + 5.15X_1^2 + 0.82X_2^2 +$

$1.42X_3^2$  โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีระดับนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9827 ผลการวิเคราะห์แสดงการกำหนดช่วงของแต่ละปัจจัยกับค่าการตอบสนองที่นำมาใช้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูป

มะม่วงแผ่นกรอบด้วยการทอดสุญญากาศ เมื่อนำช่วงของค่าการตอบสนองทุกค่ามาทำการหาสภาวะที่เหมาะสม เพื่อหาค่าปัจจัยที่ให้ค่าการตอบสนองที่ดีที่สุด

1



**Figure 2** Response surface diagrams and contour plot for oil content of crispy mango chip: (a, b) Effect of frying temperature and frying time; (c, d) Effect of frying time and centrifuging time; (e, f) centrifuging time and frying temperature



ผลการวิเคราะห์แสดงการกำหนดช่วงของแต่ละปัจจัยกับค่าการตอบสนองที่นำมาใช้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปมะม่วงแผ่นกรอบด้วยการทอดสุญญากาศ เมื่อนำช่วงของค่าการตอบสนองทุกค่ามาทำการหาสภาวะที่เหมาะสม เพื่อหาค่าปัจจัยที่ให้ค่าการตอบสนองที่ดีที่สุด การวิเคราะห์สามารถสรุปผลได้

จากผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการแปรรูปมะม่วงแผ่นกรอบ ด้วยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบ็นทเคน (Box-Behnken design, BBD) ดำเนินการแปรรูปผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นทอดกรอบสุญญากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 86.4 °C เวลาในการทอดเท่ากับ 31.5 min และเวลาที่ใช้เหวี่ยงลดปริมาณน้ำมันเท่ากับ 30 min จากนั้นนำไปบรรจุด้วยถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 14x22 cm<sup>2</sup> และปิดผนึกด้วยระบบเติมก๊าซ N<sub>2</sub> จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์หาคูณลักษณะและสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความชื้นสุดท้าย ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณไขมันหลงเหลือ ค่าสีในระบบ CIE L\*, a\*, b\* และการทดสอบทางกลของเนื้อสัมผัส มีรายละเอียดตาม Table 3

**Table 3** Characteristic and quality of crispy mango chip

| Characteristic                 | Value       |
|--------------------------------|-------------|
| Final moisture content %(w.b.) | 5.14±0.92   |
| Water activity                 | 3.15±0.73   |
| Oil content (mg/100 g)         | 11.33±0.39  |
| L*-value                       | 40.86±1.67  |
| b*-value                       | 6.5±2.07    |
| a*-value                       | 15.56±0.86  |
| Hardness (N)                   | 94.93±34.21 |
| Linear distance (N/s)          | 70.61±32.46 |
| Count peak (time)              | 304.4±77.52 |

( M±SD, n=3)

## 2 สรุป

สภาวะที่เหมาะสมการแปรรูปมะม่วงแผ่นกรอบด้วยเทคนิคพื้นที่ผิวตอบสนองด้วยวิธีแบบบ็อกซ์-เบ็นทเคนเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยคืออุณหภูมิการทอด (X<sub>1</sub>) เวลาในการทอด

(X<sub>2</sub>) และเวลาที่ใช้เหวี่ยงลดปริมาณน้ำมัน (X<sub>3</sub>) มีรูปแบบสมการโพลีโนเมียมกำลังสองที่ใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมันที่เหลือในมะม่วงแผ่นกรอบ โดยสภาวะที่เหมาะสมของการแปรรูปมะม่วงแผ่นกรอบ คืออุณหภูมิเท่ากับ 86.4 °C เวลาในการทอดเท่ากับ 31.5 min และเวลาที่ใช้เหวี่ยงลดปริมาณน้ำมันเท่ากับ 30 min เป็นสภาวะที่มีปริมาณน้ำมันเหลือในผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดเท่ากับ 11.33±0.39 mg/100 g

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุน ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษาพ.ศ. 2560 และได้รับความอนุเคราะห์เครื่องทอดสุญญากาศ ในโครงการเรื่องการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตลำไยทอดกรอบอบแห้งด้วยเทคนิคการทอดสุญญากาศ (รหัสโครงการ CRP5805020370) ซึ่งรับเงินทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

## 3 เอกสารอ้างอิง

- Assawarachan, R. 2018. Emerging technologies of thermal and non thermal for food processing. Chiangmai: Office of academic administration and development maejo university press. (in Thai)
- Chailungka, N. and Assawarachan, R. 2015. The Study of Optimum Conditions for Hot Air Drying of *Spirogyra* sp. Using Response Surface Methodology. Thai Society of Agricultural Engineering Journal (2): 16-24. (in Thai)
- Inprasit, C. 2012. Vacuum Frying for Food. Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen Kasetsart University. 100 page. (in Thai)
- Yamsaengsung, R, Thaworn, A and Kulchanat, P. 2011. Effects of vacuum frying on structural changes of bananas. Journal of Food Engineering 106: 298–305.