ผลของการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปและบรรจุภัณฑ์ต่อการพองตัวของแคบหมูอบพองด้วยเตาไมโครเวฟ
Effect of Pre-Treatment Processes and Packaging on Puffing Quality of Microwavable Puffed Pork Rinds (Kab-Moo)

อรทัย บุญทะวงศ์[1*] และ นิชาภา คำเครือ[1]
Orathai Bunthawong[1*], and Nichapha Khamkruea[1]

Received: July 12, 2021
Revised: November 14, 2021
Accepted: November 17, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป และบรรจุภัณฑ์สำหรับอบแคบหมูให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ โดยศึกษาเวลาการต้มหนังหมูในน้ำมัน (นาน 2-6 ชั่วโมง) ความยาวของแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป (1-3 เซนติเมตร) กำลังไฟของเตาไมโครเวฟ (700 และ 900 วัตต์) ชนิดของบรรจุภัณฑ์สำหรับอบแคบหมูด้วยเตาไมโครเวฟ (ถุงกระดาษ ถุงพลาสติก และกล่องพลาสติก) และน้ำหนักบรรจุ (14-22 กรัม) ผลพบว่าระยะเวลาการต้มหนังหมูในน้ำมันที่นานขึ้น มีผลให้ความชื้นในแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปลดลง ซึ่งมีผลให้อัตราการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลง การบรรจุแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์และน้ำหนักบรรจุที่แตกต่างกัน มีผลต่ออัตราการพองตัว และค่าความแข็งของแคบหมูแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยวิธีการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสม คือ แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปมีความยาวเส้น 3 เซนติเมตร ที่ผ่านการต้มในน้ำมันนาน 5 ชั่วโมง 30 นาที และบรรจุแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปในถุงกระดาษ ถุงพลาสติก และกล่องพลาสติกสำหรับอบในเตาไมโครเวฟ ด้วยน้ำหนักบรรจุในช่วง 16-18 กรัมต่อบรรจุภัณฑ์ สามารถอบให้พองตัวพร้อมภาชนะบรรจุด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ 700 วัตต์ ได้แคบหมูที่มีค่าอัตราการพองตัว และความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

คำสำคัญ: แคบหมูอบพอง บรรจุภัณฑ์ ไมโครเวฟ

ABSTRACT

This research was aimed at investigating pre-treatment processes and package type for microwavable puffed pork rinds (Kab-Moo). Boiling time of pork rinds in oil were studied (2-6 hours), length of instant pork rind (1-3 centimeters), microwave power out put (700 and 900 watts), microwavable packaging types (paper bag, plastic bag and plastic box) and packing weight (14-22 grams) were carried out. As the boiling time increased, moisture content of pork rinds trended to decline. While the expansion ratio increased, hardness tended to decline. The microwave puffed pork rind from different of packaging type and packing weight had expansion ratio and hardness were significant difference ($p\leq0.05$). The optimum of process was boiling the pork rind product of 3 centimeters long for 5 hours 30 minutes. Pork rinds with packing weight of 16-18 grams could be puffed in paper bag, plastic bag and plastic box by microwave oven at 700 watts. The puffing quality (expansion ratio and hardness) of products from aforementioned conditions were not significant difference ($p>0.05$).

Keywords: puffed pork rind, package, microwave

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com
[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

บทนำ

แคบหมู เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากหนังหมูที่มีชั้นไขมันแข็งติดอยู่หรือไม่ก็ได้ มีขนาดชิ้นและการพองตัวสม่ำเสมอ อาจแตกหักได้บ้าง ไม่มีขนหมูติดอยู่ ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของแคบหมู ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน และมีลักษณะเนื้อสัมผัสกรอบ ไม่เหนียวหรือแข็งกระด้าง [1] Bunthawong et al. [2] ได้ศึกษาวิธีการผลิตแคบหมูชนิดไร้มันเส้นเล็กกึ่งสำเร็จรูปนำไปอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ 900 วัตต์ ทดแทนการทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิสูง ซึ่งมีผลในการเร่งให้น้ำมันที่ใช้ทอดเสื่อมคุณภาพเร็ว น้ำมันมีกลิ่นและสีเปลี่ยนไป เกิดสารประกอบจากการสลายตัวของน้ำมัน ซึ่งสารบางชนิดอาจเป็นพิษต่อร่างกายได้ [3] ซึ่งมีสารประกอบมากมาย เช่น สารโพลาร์ สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารประกอบคาร์บอนิล สารคีโตน เป็นต้น โดยสารประกอบบางตัวหากสะสมในร่างกายอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ [4] และอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์ เสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งปอดและโรคความดันโลหิตสูง [5] แคบหมูที่ผลิตด้วยวิธีการอบให้พองตัวมีปริมาณไขมันร้อยละ 11.30-14.59 [2, 6] ซึ่งน้อยกว่าแคบหมูที่ทอดในน้ำมันมีไขมันร้อยละ 20.00-45.66 [2, 6-7] อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปเป็นเส้นหนังหมูความยาว 10-15 เซนติเมตร [2] เมื่อผ่านขั้นตอนการผลิตหนังหมูจะมีการเปลี่ยนคอลาเจนเป็นเจลาตินที่สามารถกักเก็บความชื้นไว้ภายในหนังหมูได้ จะต้องใช้ความร้อนชื้น (moist heat) ส่งผลให้หนังหมูในขั้นตอนนี้มีลักษณะยืดหยุ่นและอ่อนตัว [8] เส้นหนังหมูบางส่วนจึงเกิดการพับ เส้นติดกัน หรือพันกัน ส่งผลให้การกระจายความชื้นไม่สม่ำเสมอได้ และมีผลโดยตรงกับการพองตัวของแคบหมูขณะอบ ดังนั้นจึงควรพัฒนารูปแบบแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปเป็นเส้นสั้นลงและศึกษาวิธีการเตรียมที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาดังกล่าว ปัจจุบันเตาไมโครเวฟที่มีใช้ตามครัวเรือนทั่วไปมีกำลังไฟเริ่มต้นที่ 700 วัตต์ จึงควรศึกษาวิธีการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่สามารถอบให้พองตัวได้ดีที่กำลังไฟของเตาไมโครเวฟ 700 วัตต์ขึ้นไป รวมถึงการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่สามารถเข้าอบในเตาไมโครเวฟได้ โดยบรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับเตาไมโครเวฟนับว่ามีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอาหารกึ่งสำเร็จรูปหรืออาหารพร้อมรับประทาน เพียงแต่นำมาทำให้ร้อนขึ้นด้วยเตาไมโครเวฟก็รับประทานได้นั้น จำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุในการทำบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อช่วยให้เกิดความเสถียรด้านการกระจายความร้อนระหว่างชิ้นแคบหมูขณะอบให้สม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสะดวกในการอบแคบหมูเพื่อรับประทานสำหรับผู้บริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้จึงต้องการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป ด้านขนาดของชิ้นหนังหมู เวลาการต้มหนังหมูในน้ำมันที่แตกต่างกัน และศึกษาสภาวะการอบแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์ และระดับความร้อนของเตาไมโครเวฟที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาคุณภาพการพองตัวของแคบหมูในด้านปริมาณความชื้นของแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป อัตราการพองตัว และลักษณะเนื้อสัมผัส งานวิจัยนี้จะทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนากระบวนการอบหนังสัตว์ชนิดอื่นให้พองตัวทดแทนการทอดในน้ำมันได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. ศึกษารูปแบบและการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปสำหรับการอบด้วยเตาไมโครเวฟ

นำหนังหมูมาล้างทำความสะอาด จากนั้นกำจัดขนออกและล้างทำความสะอาดอีกครั้ง พักให้สะเด็ดน้ำ หลังจากนั้นนำหนังหมูต้มในน้ำเดือดประมาณ 10-15 นาที พักให้สะเด็ดน้ำ นำหนังหมูหลังต้มมาหั่นเป็นเส้นหนา 0.5 เซนติเมตร [9] ความยาว 1, 2 และ 3 เซนติเมตร จากนั้นนำหนังหมูอบเพื่อลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (บริษัทกล้วยน้ำไท, ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 90±5 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง [2] โดยหนังหมูความยาว 1, 2 และ 3 เซนติเมตร มีความชื้นหลังอบเท่ากับร้อยละ 10.03±0.23, 10.26±0.34 และ 10.47±0.46 ตามลำดับ จากนั้นนำหนังหมูต้มในน้ำมันที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส นาน 2½, 3, 3½, 4, 4½, 5, 5½ และ 6 ชั่วโมง พักทิ้งไว้ให้เย็น นำแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปเก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com

[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

(PET/ AL/ LLDPE; Polyethylene Terephthalate/ Aluminium Foil/ Linear Low Density Polyethylene) หนา 130 ไมครอน และเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดสมดุลความชื้น [10] ตรวจสอบปริมาณความชื้น [11] จากนั้นนำแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปเข้าอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ (Samsung, ME712N, Malaysia) ที่กำลังไฟ 700 วัตต์ อบจนกระทั่งแคบหมูพองตัวมากที่สุด และตรวจสอบค่าอัตราการพองตัวของแคบหมู คัดเลือกความยาวของหนังหมู และระยะเวลาการต้มในน้ำมันที่เหมาะสม เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2. ศึกษาระดับความร้อนของไมโครเวฟต่อค่าอัตราการพองตัวของแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป

นำความยาวของหนังหมู และระยะเวลาการต้มในน้ำมันที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 1 นำมาผลิตเป็นแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปเก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ปิดสนิท และเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดสมดุลความชื้น [10] ตรวจสอบปริมาณความชื้น [11] เพื่อศึกษาระดับความร้อนของไมโครเวฟต่อค่าอัตราการพองตัวของแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป โดยนำแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปเข้าอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ (Samsung, ME712N, Malaysia) ที่กำลังไฟ 700 วัตต์ และอบแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ (Electrolux, EMM2450, Sweden) ที่กำลังไฟ 900 วัตต์ อบจนกระทั่งแคบหมูพองตัวมากที่สุด บันทึกเวลาที่ใช้ในการพองตัว ตรวจสอบค่าอัตราการพองตัวของแคบหมู (expansion ratio) และค่าเนื้อสัมผัส (hardness) คัดเลือกสภาวะการผลิตแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสม เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3. ศึกษาบรรจุภัณฑ์สำหรับอบแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปด้วยเตาไมโครเวฟ

นำแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2 บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ 1) บรรจุถุงกระดาษสีขาวความหนา 70 แกรม แบบพับข้างมีก้น ขนาด 5x9 นิ้ว ขยายข้าง 3 นิ้ว 2) ถุงพลาสติกลามิเนตประกอบด้วย Nylon 15 ไมครอน/LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) 80 ไมครอน ขนาด 6x9 นิ้ว 3) กล่องพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน (polypropylene) สำหรับเตาไมโครเวฟ ขนาดกว้าง x ยาว x สูง = 4.5 x 6.5 x 1.5 นิ้ว และปริมาณการบรรจุแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป คือ 14, 16, 18, 20 และ 22 กรัมต่อบรรจุภัณฑ์ และเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดสมดุลความชื้น [10] ตรวจสอบปริมาณความชื้น [11] นำแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปเข้าอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ (Samsung, ME712N, Malaysia) ที่กำลังไฟ 700 วัตต์ อบจนกระทั่งแคบหมูพองตัวมากที่สุด บันทึกเวลาที่ใช้ในการพองตัว ตรวจสอบค่าอัตราการพองตัวของแคบหมู (expansion ratio) และค่าเนื้อสัมผัส (hardness)

4. การวิเคราะห์ค่าอัตราการพองตัว (Expansion ratio)

วัดปริมาตรด้วยวิธีแทนที่เมล็ดงา (seed displacement) [12] โดยวัดปริมาตรของแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปและแคบหมูหลังการอบให้พองตัวจำนวน 10 ตัวอย่าง ในแต่ละสภาวะการทดลอง วัดปริมาตรการแทนที่เมล็ดงาในกระบอกตวง 1,000 มิลลิลิตร เขย่า 30 ครั้ง จนปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง นำค่ามาคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\text{อัตราการพองตัว (เท่า)} = \frac{\text{ปริมาตรของแคบหมูหลังการอบให้พองตัว } (cm^3)}{\text{ปริมาตรของแคบหมูก่อนการอบให้พองตัว } (cm^3)}$$

5. การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส (Texture analysis)

การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (hardness) ด้วยวิธี puncture test ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro Systems, TA-XT.Plus, UK) โดยใช้หัววัดแบบ puncture probe ชนิดทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร โดยกำหนดอัตราการกดทะลุในขณะทดสอบ ก่อนทดสอบ และหลังทดสอบเป็น 1, 1 และ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะการ

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com

[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

กดทะลุเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และจำนวนแรงกดที่ใช้ (trigger force) 50 นิวตัน โดยจะทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและค่าเฉลี่ยแรงกดสูงสุด (maximum force) ของตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง ในแต่ละสภาวะการทดลอง โดยค่าแรงกดที่วัดได้เป็นหน่วยนิวตัน (N)

6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ออกแบบการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) นำข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) โดยใช้คอมพิวเตอร์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของรูปแบบและการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปต่อค่าอัตราการพองตัวของแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่อบด้วยเตาไมโครเวฟ

จากการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มีความยาว 1, 2 และ 3 เซนติเมตร เมื่อผ่านการต้มในน้ำมันที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส ที่เวลาแตกต่างกัน พบว่า ทุกตัวอย่างมีปริมาณความชื้นลดลงเมื่อใช้เวลาการต้มในน้ำมันที่นานขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงใน Figure 1 โดยขั้นตอนการต้มหนังหมูในน้ำมันจะช่วยสร้างเกราะแข็งขึ้นรอบๆ ชิ้นหนังหมู ช่วยป้องกันไม่ให้น้ำระเหยออกไปได้ง่ายในขณะอบให้พองตัว และช่วยให้ทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้นขณะพองตัว และช่วยให้หนังหมูพองตัวได้ดีมากขึ้น [2, 8-9] เมื่อนำแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปไปอบในเตาไมโครเวฟ ทุกตัวอย่างมีค่าอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นตามเวลาการต้มในน้ำมันที่นานขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงใน Figure 2 โดยการต้มหนังหมูนาน 2½-4 ชั่วโมง มีแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปบางตัวอย่างเมื่อนำไปอบให้พองตัว แคบหมูเกิดการยุบตัวหลังอบในลักษณะหดแบนหรือหดทั้งชิ้น ดังแสดงใน Figure 3 เนื่องจากแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปยังมีปริมาณความชื้นมากเกินไป (ร้อยละ 6.43-9.25) เมื่อนำไปอบให้พองตัวโครงสร้างของเจลาตินในหนังหมูที่เกิดการหลอมเหลวระหว่างการอบอาจเหนียวมากเกินไป แรงดันไอน้ำที่ถูกกักไว้ในเจลาตินจึงอาจไม่เพียงพอที่จะดันโครงสร้างให้ขยายตัวได้มากนัก หรือน้ำที่มีอยู่ในโครงสร้างที่มากเกินไป อาจมีผลทำให้โครงสร้างไม่แข็งแรง ไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ และเกิดการยุบตัวลงได้หลังอบให้พองตัว [2, 8-9]

จากการศึกษาพบว่า แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มีความยาว 1 เซนติเมตร จะมีค่าอัตราการพองตัวน้อยกว่าแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มีความยาว 2 และ 3 เซนติเมตร เนื่องจากมีลักษณะสั้นและขนาดเล็กกว่า ดังแสดงใน Figure 4 เมื่อนำไปอบให้พองตัวในเตาไมโครเวฟ จะเกิดความร้อนสูงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้บริเวณผิวของชิ้นหนังหมูแห้งได้เร็วกว่า จุดหลอมเหลวจึงสูงกว่า ส่งผลให้เจลาตินหลอมเหลวได้ช้ากว่าไอน้ำมาก ไอน้ำที่เกิดขึ้นก่อนจะหนีออกไปบางส่วน แรงดันจึงลดลงมากกว่า ทำให้เกิดการพองตัวน้อยกว่า [8-9] และเมื่อใช้เวลาการต้มหนังหมูในน้ำมันที่ 5-6 ชั่วโมง มีค่าอัตราการพองตัวลดลง อาจเนื่องจากการใช้เวลาการต้มหนังหมูในน้ำมันที่นานขึ้น ทำให้หนังหมูมีปริมาณความชื้นน้อยเกินไป จึงเกิดการจับตัวกันของโปรตีนแน่นมากเกินไป มีผลให้การขยายตัวของโครงสร้างเป็นไปได้ยากขึ้น อีกทั้งเมื่อนำไปอบให้พองตัวอาจเกิดแรงดันไอน้ำได้น้อย จึงไม่สามารถดันเจลาตินให้ขยายตัวออกไปได้มากนัก แคบหมูที่ได้จึงมีค่าอัตราการพองตัวน้อยลง [8-9]

แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มีความยาว 2 และ 3 เซนติเมตร เมื่อใช้เวลาการต้มหนังหมูในน้ำมันนาน 4½-6 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 3.11-6.84 นำไปอบให้พองตัว เมื่อแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปได้รับคลื่นไมโครเวฟและระยะเวลาที่เหมาะสม คลื่นไมโครเวฟถูกดูดซับเข้าสู่หนังหมู จะเกิดความร้อนขึ้นในรูปแบบ dipole rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบมีขั้ว (polar) คือ น้ำที่มีอยู่ในหนังหมู จะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทาง เพื่อเรียงตัวอย่างมีระเบียบ การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปกลับมาจะเกิดอย่างรวดเร็ว ผลของความเร็วในการหมุนตัว และการเสียดสีกันทำให้เกิด

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com

[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

ความร้อนขึ้น [13-18] เมื่อได้รับความร้อนมากพอจะทำให้เกิดไอน้ำขึ้นก่อนการหลอมเหลวของเจลาตินเล็กน้อย การเกิดไอน้ำภายในหนังหมูด้วยโครงสร้างที่มีเกราะแข็งเคลือบไว้ ซึ่งเป็นตัวกั้นไอน้ำไม่ให้ระเหยออกไปได้ง่าย เมื่อมีปริมาณแรงดันไอน้ำมากพอจะสามารถดันโครงสร้างเจลาตินที่อ่อนตัวและมีความยืดหยุ่นให้เกิดการขยายตัวและพองตัวได้พอดี แคบหมูที่ได้จึงมีค่าอัตราการพองตัวมากขึ้น [9, 19-20] โดยแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มีความยาว 2 และ 3 เซนติเมตร และใช้เวลาการต้มหนังหมูในน้ำมันที่ 5½-6 ชั่วโมง มีค่าอัตราการพองตัวมากที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จึงเป็นวิธีการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมสำหรับอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ

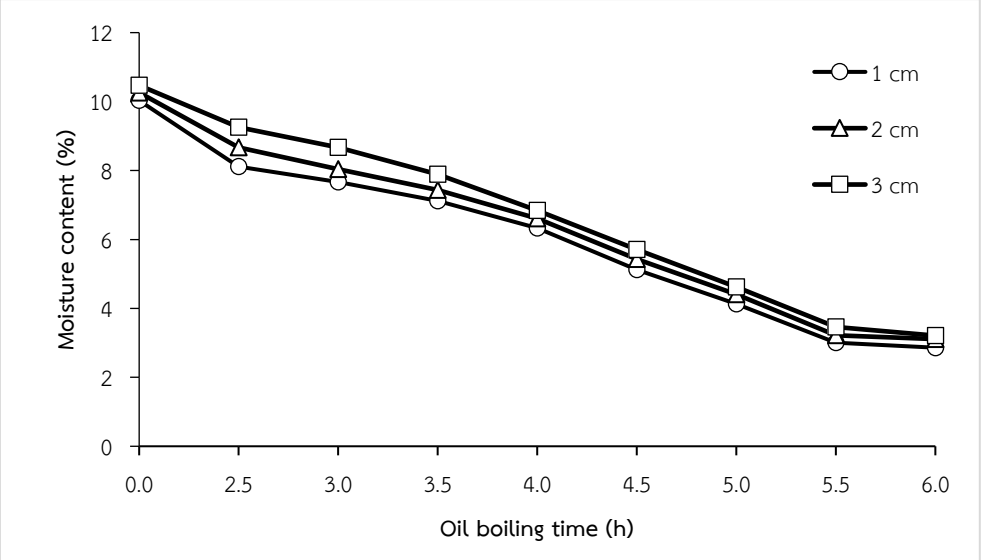


Figure 1 Relationship between moisture content and oil boiling time of pork rinds at various length of instant pork rinds

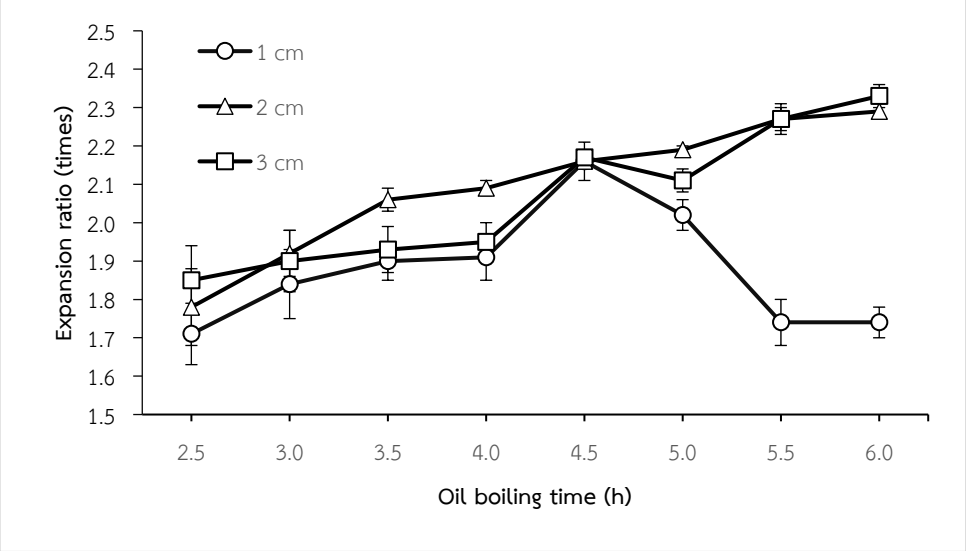
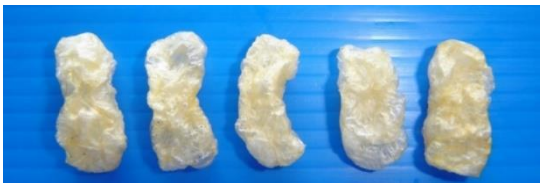


Figure 2 Relationship between expansion ratio and oil boiling time of microwave puffed pork rinds at various length of instant pork rinds

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com

[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang



Shrunk and flat appearance

Shrinking the whole piece appearance

Figure 3 The appearance of shrinkage characteristics of unpuffed pork rinds from instant pork rinds had high moisture content and inappropriate

1cm 2cm 3cm

Figure 4 The appearance of instant pork rinds and microwave puffed pork rinds from different of length of instant pork rinds (1 cm at oil boiling 4.5 h, 2 cm at oil boiling 6 h, 3 cm at oil boiling 6 h)

2. ผลของระดับความร้อนของไมโครเวฟต่อค่าอัตราการพองตัวของแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป

จากการนำแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปความยาว 2 และ 3 เซนติเมตร และผ่านการต้มในน้ำมันนาน 5½ และ 6 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 3.11-3.46 นำไปอบด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ 700 และ 900 วัตต์ ใช้เวลาอบให้พองตัวอยู่ในช่วง 150-230 วินาที เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับความยาวและปริมาณความชื้นของแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งระยะเวลาการอบเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการพองตัว [2, 25-26] และหากใช้กำลังไฟของเตาไมโครเวฟที่สูงกว่า จะให้ความร้อนได้เร็วและใช้เวลาน้อยกว่า ซึ่งกำลังไฟที่ใช้จึงเป็นตัวปรับอัตราเร็วในการให้ความร้อนกับอาหาร [21] พบว่าแคบหมูทุกตัวอย่างหลังอบให้พองตัวมีค่าอัตราการพองตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 5 และแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มีความยาวเท่ากัน แต่ใช้ระยะเวลาการต้มในน้ำมันต่างกัน มีค่า hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปได้รับคลื่นไมโครเวฟ จะเกิดความร้อนขึ้นในรูปแบบ dipole rotation และการเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้น [19-24] ความร้อนทำให้เจลาตินในหนังหมูเกิดการหลอมเหลว และมีปริมาณแรงดันไอน้ำ

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com

[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

เกิดขึ้นมากพอที่จะสามารถดันโครงสร้างเจลาตินที่หลอมเหลวให้เกิดการขยายตัวได้ แคบหมูจึงเกิดการพองตัวขึ้น [9, 19-20] โดยแคบหมูหลังการอบให้พองตัวมีค่า hardness แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มีความยาว 2 เซนติเมตร มีค่า hardness มากกว่าแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มีความยาว 3 เซนติเมตร เนื่องจากมีขนาดชิ้นที่เล็กกว่า เมื่อได้รับความร้อนที่เท่ากันส่งผลให้ความชื้นระเหยออกจากแคบหมูได้อย่างรวดเร็ว [24-25] จึงอาจเกิดการลักษณะผิวนอกที่แห้งและแข็งได้มากกว่า ส่งผลให้มีค่า hardness มากกว่า ($p \leq 0.05$)

จากผลการศึกษาพบว่า แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มีความยาว 3 เซนติเมตร และใช้เวลาการต้มหนังหมูในน้ำมันที่ 5½-6 ชั่วโมง นำไปอบด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ 700 และ 900 วัตต์ มีค่ามีค่าอัตราการพองตัวและค่า hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จึงเป็นวิธีการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมสำหรับอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟ

Table 1 The expansion ratio and hardness of microwave puffed pork rinds at various conditions

Length (cm)	Oil boiling time (h)	Microwave power output (W)	Puffing time (sec)	Expansion ratio[ns] (times)	Hardness (N)
2	5½	700	210	2.65±0.31	23.34^{ab}±1.11
2	6.0	700	210	2.59±0.06	24.08^{a}±0.97
2	5½	900	150	2.57±0.27	24.96^{a}±1.50
2	6.0	900	130	2.55±0.39	25.11^{a}±1.43
3	5½	700	230	2.41±0.17	20.97^{c}±1.02
3	6.0	700	230	2.32±0.10	21.67^{bc}±0.95
3	5½	900	170	2.46±0.13	22.12^{bc}±1.23
3	6.0	900	160	2.40±0.13	22.97^{abc}±1.06

[ns] Means with no significant different ($p > 0.05$)

[a-c] Means value in the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

2cm 3cm

Figure 5 The appearance of microwave puffed pork rinds at length of instant pork rinds were 2 and 3 centimeters

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com

[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

3. ผลของบรรจุภัณฑ์ต่อค่าอัตราการพองตัวของแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่อบด้วยเตาไมโครเวฟ

จากการนำแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์สำหรับอบในเตาไมโครเวฟ 3 ชนิด ได้แก่ ถุงกระดาษ ถุงพลาสติก (Nylon/LLDPE; Linear Low Density Polyethylene) และกล่องพลาสติก (polypropylene) สำหรับเตาไมโครเวฟ ดังแสดงใน Figure 6 และปริมาณบรรจุ 14, 16, 18, 20 และ 22 กรัมต่อบรรจุภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพแคบหมูด้านน้ำหนักบรรจุที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 2 พบว่า แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงกระดาษ และถุงพลาสติกที่บรรจุ 14-22 กรัมต่อบรรจุภัณฑ์ แคบหมูมีค่าอัตราการพองตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุกล่องพลาสติกที่บรรจุ 14 กรัมต่อบรรจุภัณฑ์ สามารถพองตัวได้น้อยที่สุด ($p\leq0.05$) อาจเนื่องจากมีจำนวนชิ้นแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่น้อย จึงมีพื้นที่ว่างภายในบรรจุภัณฑ์ (Headspace) ที่มากกว่า แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปสามารถกระจายตัวได้มากกว่า เมื่อนำไปอบให้พองตัวในเตาไมโครเวฟ จะเกิดความร้อนสูงได้รวดเร็วกว่า บริเวณผิวของชิ้นหนังหมูอาจแห้งเร็วกว่า จุดหลอมเหลวจึงสูงกว่า ส่งผลให้เจลาตินหลอมเหลวได้ช้ากว่าไอน้ำมาก ไอน้ำที่เกิดขึ้นก่อนจะหนีออกไปบางส่วน แรงดันจึงลดลงมาก การพองตัวจึงน้อยกว่า การบรรจุแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุ 16-22 กรัมต่อบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีค่าอัตราการพองตัวที่มากกว่าและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ด้านค่า hardness พบว่า แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงกระดาษ และกล่องพลาสติกที่บรรจุ 14-22 กรัมต่อบรรจุภัณฑ์ แคบหมูมีค่า hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในถุงพลาสติก พบว่า ปริมาณการบรรจุแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แคบหมูมีค่า hardness มีค่าเพิ่มขึ้น ($p\leq0.05$) ทั้งนี้ขนาดของบรรจุภัณฑ์ และปริมาณของอาหาร เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคลื่นไมโครเวฟที่ทะลุผ่านไปยังอาหารได้ เมื่อมีปริมาณแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มากขึ้น (18-22 กรัม) ส่งผลให้แคบหมูเกิดการขยายตัวได้ในพื้นที่ว่างภายในบรรจุภัณฑ์ที่จำกัด แคบหมูจึงไม่สามารถขยายตัวได้เต็มที่ มีผลให้ค่า hardness ของแคบหมูเพิ่มขึ้น ($p\leq0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพแคบหมูด้านบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 2 พบว่า ค่าอัตราการพองตัวของแคบหมูที่น้ำหนักบรรจุเท่ากัน (14-18 กรัม) พบว่า แคบหมูบรรจุในถุงกระดาษมีค่าอัตราการพองตัวมากที่สุด รองลงมา คือ ถุงพลาสติก และกล่องพลาสติก ตามลำดับ ($p\leq0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติความสามารถยอมให้สนามไฟฟ้าผ่านได้และสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้กลายเป็นความร้อน (loss tangent) ของวัสดุของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติการยอมให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านไปยังอาหารได้ โดยวัสดุที่มีค่า loss tangent ต่ำ ได้แก่ กระดาษ แก้ว และพลาสติกชนิด polypropylene มีค่า loss tangent เท่ากับ 0.001 น้อยกว่า nylon มีค่า loss tangent เท่ากับ 0.04 [26] ทั้งนี้ชนิด ขนาด และความหนาของบรรจุภัณฑ์ และปริมาณอาหารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคลื่นไมโครเวฟที่ทะลุผ่านไปยังอาหารได้ ซึ่งส่งผลต่อการขยายตัวของแคบหมูเมื่อได้รับความร้อนขณะอบ ส่งให้ผลค่าอัตราการพองตัว และค่า hardness ของแคบหมูแตกต่างกัน ($p\leq0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุมากขึ้น (20-22 กรัม) พบว่า แคบหมูบรรจุในถุงพลาสติกมีค่าอัตราการพองตัวน้อยที่สุด และมีค่า hardness มากที่สุด ($p\leq0.05$) เนื่องจากถุงพลาสติกมีปริมาตร 385 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นข้อจำกัดด้านพื้นที่ว่างภายในบรรจุภัณฑ์ที่น้อยกว่าถุงกระดาษ และกล่องพลาสติกซึ่งมีปริมาตร 2,109 และ 685 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปต่อบรรจุภัณฑ์มากขึ้น การขยายตัวขณะอบพื้นที่ว่างภายในบรรจุภัณฑ์ที่น้อยกว่า แคบหมูจึงมีข้อจำกัดในการขยายตัว มีผลให้มีค่าอัตราการพองตัวที่น้อยกว่า การเกิดโพรงอากาศภายในโครงสร้างแคบหมูจะเล็กและแน่นกว่า ส่งผลให้แคบหมูมีค่า hardness ที่มากกว่า ($p\leq0.05$)

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com

[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

paper bag plastic bag plastic box

Figure 6 The appearance microwave puffed pork rinds from different of packaging type

Table 2 The expansion ratio and hardness of microwave puffed pork rinds from different of packaging type

Packing	Expansion ratio (times)			Hardness (N)		
weight (g)	paper bag	plastic bag	plastic box	paper bag	plastic bag	plastic box
14	4.36±0.24^{nsA}	3.17±0.14^{nsB}	2.68±0.40^{bB}	19.49±0.25^{nsB}	19.87±0.09^{bAB}	20.48±0.61^{nsA}
16	4.41±0.32^{nsA}	3.77±0.76^{nsAB}	3.01±0.13^{abB}	19.59±0.15^{nsB}	19.98±0.12^{bA}	19.82±0.15^{nsAB}
18	4.51±0.19^{nsA}	3.33±0.53^{nsB}	3.11±0.12^{abB}	19.49±0.15^{nsB}	20.12±0.12^{abA}	19.74±0.13^{nsB}
20	4.23±0.38^{nsA}	2.74±0.28^{nsC}	3.46±0.15^{aB}	19.34±0.22^{nsB}	20.35±0.22^{aA}	19.60±0.25^{nsB}
22	3.87±0.43^{nsA}	2.60±0.17^{nsB}	3.28±0.24^{aB}	19.71±0.16^{nsB}	20.31±0.14^{aA}	19.80±0.23^{nsB}

^{ns} Means value in the same column with no significant different ($p>0.05$)

$^{a-b}$ Means value in the same column with different letters are significantly different ($p\leq0.05$)

$^{A-B}$ Means value in the same row with different letters are significantly different ($p\leq0.05$)

สรุปผล

วิธีการเตรียมแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปสำหรับการอบให้พองตัวด้วยเตาไมโครเวฟที่เหมาะสม คือ การนำหนังหมูหลังต้มให้สุกมาหั่นเป็นเส้นหนา 0.5 เซนติเมตร ความยาว 3 เซนติเมตร นำไปอบเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 90±5 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นต้มหนังหมูในน้ำมันนาน 5 ชั่วโมง 30 นาที ได้แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นร้อยละ 3.46 โดยระยะเวลาเวลาการต้มหนังหมูในน้ำมันที่นานขึ้น มีผลให้ความชื้นในแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปลดลง ซึ่งมีผลให้อัตราการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า hardness มีแนวโน้มลดลง การบรรจุแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์และน้ำหนักบรรจุที่แตกต่างกัน มีผลต่ออัตราการพองตัว และค่า hardness ของแคบหมูแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยการบรรจุแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปในถุงกระดาษ ถุงพลาสติก และกล่องพลาสติกสำหรับเตาไมโครเวฟ น้ำหนักบรรจุ 16-18 กรัมต่อบรรจุภัณฑ์ สามารถอบให้พองตัวพร้อมภาชนะบรรจุด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ 700 วัตต์ ได้แคบหมูที่มีค่าอัตราการพองตัว และค่า hardness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการอบพองของหนังสัตว์ชนิดอื่นให้พองตัวทดแทนการทอดในน้ำมันได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com

[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

เอกสารอ้างอิง

[1] Thai Industrial Standards Institute (TISI). (2010). The community product standards: Deep-fried pig skin TISI 101/2553. Accessed May 20, 2021 from http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps101_53.pdf. (in Thai).

[2] Bunthawong, O., Krutarote, K. and Juyjaroen. N. (2006). Microwavable crispy pork rind (Kab moo). Thailand Research Fund (TRF) report, Bangkok. (in Thai).

[3] Rattanapanon, N. (2015). Basic principles of food processing (2nd ed.). Odeon Store, Bangkok. (in Thai).

[4] Rajavithi hospital. (2017). The dangers of re-frying oil. [Online] Available from https://www.rajavithi.go.th/ [Accessed May 20, 2021]. (in Thai).

[5] Wongthong, O. and Poonpolkul, K. (2017). Cooking principles (14th ed.). Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai).

[6] Bunthawong, O., Jinakran, L. and Juyjaroen, N. (2005). Processing of crispy pork rind (Kab moo) by baking method. Thailand Research Fund (TRF) report, Bangkok. (in Thai).

[7] Sriwattana, S., Utama-ang, N., Thakeow, P., Senapa, J., Phimolsiripol, Y., Surawang, S., Pongsirikul, I. and Angeli, S. (2012). Physical, chemical and sensory characterization of the Thai-crispy pork rind 'Kaeb moo'. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences Special Issue on Agricultural & Natural Resources. 11(1): 181-191.

[8] Jantawat, P., Niyomvit, N. and Keawcumnerd, T. (1989). The effects of moisture content, moisture equilibration and frying temperature on the quality of pork rind snack (Kaeb-moo). Food Journal. 19(2): 79-88. (in Thai).

[9] Bunthawong, O. (2012). Development of style and package for microwavable crispy pork rinds (Kab moo). Thailand Research Fund (TRF) report, Bangkok. (in Thai).

[10] Jomduang, S. (1994). Modification and improvement of Khao Kriap Waue (A traditional Thai glutinous rice-based snack food). Doctoral desertatia, University Pertanian, Malaysia.

[11] Association of Official Analytical Chemists. (2005). Official method of analysis (18th ed.). USA.

[12] Charnthankorn, T. (1999). Development of Keab-moo product and consumer test. Unpublished master's thesis, Chiang Mai University, Thailand. (in Thai).

[13] Decareau, R.V. (1992). Microwave foods. *In* New product development food and nutrition. The AVI Publishing Company, Connecticut.

[14] Ni, H., Datta, A. and Torrance, K. (1999). Moisture transport in intensive microwave heating of biomaterials: A multiphase porous media model. International Journal of Heat and Mass Transfer. 42(8): 1501-1512.

[15] Sahin, S. and Sumnu, S.G. (2006). Physical properties of foods. Springer Science and Business Media, New York.

[16] Singh, R.P. and Heldman, D.R. (2008). Heat transfer in food processing, pp 247-401. *In* Singh, R.P. and Heldman, D.R. (ed.).

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com

[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

Introduction to food engineering (4th ed). Elsevier, Burlington.

[17] Thao, T.N., Le, T.Q. and Songsermpong, S. (2013). Shrimp cassava cracker puffed by microwave technique: effect of moisture and oil content on some physical characteristics. Kasetsart Journal (Natural Sciences). 47(3): 1-13.

[18] Yan, W.Q., Zhang, M., Huang, L.L., Tang, J., Mujumdar, A.S. and Sun, J.-C. (2010). Study of the optimization of puffing characteristics of potato cubes by spouted bed drying enhanced with microwave. Journal of the Sciences of Food and Agriculture. 90(8): 1300-1307.

[19] Tiwthan, O. (2014). Study of salmon skin puffing by microwave oven and frying. Unpublished master's thesis, Prince of Songkla University, Thailand. (in Thai).

[20] Matz, S.A. (1970). Manufacture of breakfast cereals, pp. 547-566. *In* S.A. Matz (ed.). Cereal Technology. The AVI Publishing Company, Connecticut.

[21] Sumnu, G. and Sahin, S. (2005). Recent developments in microwave heating, pp 419-444. *In* D. Sun (ed.). Emerging Technologies for food processing. Elsevier Academic Press, Italy.

[22] Nirav, D.J., Debabandya, M., Dinesh, C.J. and Sutar, R.F. (2014). Puffing characteristics of parboiled milled rice in a domestic convective microwave oven and process optimization. Food and Bioprocess Technology. 7(6): 1678-1688.

[23] Varnalis, A.I., Brennan, J.G. and MacDougall, D. B. (2004). Optimisaton of high temperature puffing of potato cubes using response surface methodology. Journal of Food Engineering. 61(2): 153-163.

[24] Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering. 48(2): 177-182.

[25] Alibas, I. (2006). Microwave, air and combined microwave- air drying parameters of pumpkin slices. LWT-Food Science and Technology. 40(8): 1445-1451.

[26] Praditdoung, S. and Ratanasumawong, S. (2017). Food Science and Technology I: radiation in food processing and preservation (2nd ed). Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai).

* Corresponding author e-mail: orathai_bun@hotmail.com

[1] สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

[1] Department of Agro-Industry, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang