Journal of Agri. Research & Extension 41(2): 145-156

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟ

Development of Ready-to-Eat Cassava Crackers by Microwave

วงศ์ผกา วงศ์รัตน์* กมลพร มีหนองใหญ่ ชนิตา ประสิทธิ์กาญจน์ ณัฐริกา สัปคง และสยุมพร รัตนพันธ์

Wongphaka Wongrat*, Kamolpron Menongyai, Chanita Prasitkan

Nattarika Supakong and Sayumporn Rattanapan

ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus Nakorn Prathom, Thailand 73140

*Corresponding author: fengwkw@ku.ac.th

Received: *July 01, 2023*
Revised: *March 15, 2024*
Accepted: *April 10, 2024*

Abstract

When the semi-product of cassava crackers is heated up until the water contained in the crackers boils, collective pressure builds up until the surface of semi-products cannot sustain it. This leads to the explosion of the puffing, which is an important characteristic of the cassava crackers. This research aimed to develop ready-to-eat cassava crackers using a microwave as a substitute for conventional deep-frying, eliminating the need for using oil as a heating medium. The study focused on three main aspects; 1) the effect of moisture content on the puffing of semi-product crackers, 2) the effect of continuous and intermittent heating methods on the puffing of semi-product crackers packed in craft-paper packaging, and 3) the effect of packaging sizes and shapes on the puffing of ready-to-eat cassava crackers.

The results showed that the optimum moisture content of semi-product crackers for achieving the best puffing was 9.08% (wet basis), resulting in a volume expansion of 852%. The best preparation method for puffing 15 semi-product crackers, packed in craft-paper packaging with a volume of 1,646.88 cm^3, was found to be using a microwave power of 800 watts and applying two intermittent heating periods. The first period involved heating the package for 40 seconds in the microwave oven, followed by removing the package and shaking it for approximately 5 seconds. Subsequently, the package was continually heated for the second period for 25 seconds in the microwave oven. The results also showed that the sizes and shapes of the packaging affected the puffing of ready-to-eat cassava crackers when intermittent heating was applied.

Keywords: cassava crackers, ready-to-eat product, microwave, puffing

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 41(2): 145-156

บทคัดย่อ

ข้าวเกรียบมันสำปะหลังกึ่งสำเร็จรูปเมื่อได้รับความร้อนเพียงพอจะทำให้น้ำในข้าวเกรียบเดือด เกิดความดันสะสมจนผิวของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปไม่สามารถรับแรงดันได้ เกิดการพองตัวซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของข้าวเกรียบมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟ แทนวิธีการทอดในน้ำมันท่วมแบบดั้งเดิม ทำให้ไม่ต้องใช้น้ำมันเป็นตัวกลางให้ความร้อน โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาใน 3 ประเด็นหลัก คือ 1) ผลของความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ 2) ผลของวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องต่อการพองตัวของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ และ 3) ศึกษาผลของขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ต่อการพองตัวของข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทาน

ผลการศึกษาพบว่าความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ทำให้ข้าวเกรียบพองตัวมากที่สุด คือ 9.08% (ฐานเปียก) ข้าวเกรียบมีการพองตัว 852% วิธีการอบพองข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจำนวน 15 ชิ้นที่เหมาะสมที่สุดในบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ที่มีปริมาตร 1,646.88 ลบ.ซม. คือ การให้ความร้อนที่กำลังไมโครเวฟ 800 วัตต์แบบไม่ต่อเนื่องโดยแบ่งเป็นสองช่วง ช่วงแรกเป็นการให้ความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ 40 วินาที ตามด้วยการนำถุงบรรจุภัณฑ์ออกมาเขย่าประมาณ 5 วินาที แล้วนำถุงบรรจุภัณฑ์ไปให้ความร้อนต่อในเตาอบไมโครเวฟช่วงที่สอง 25 วินาที จากผลการศึกษายังพบว่าขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทาน สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง

คำสำคัญ: ข้าวเกรียบมันสำปะหลัง ผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทาน ไมโครเวฟ การพองตัว

คำนำ

ข้าวเกรียบเป็นขนมขบเคี้ยวชนิดหนึ่งที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลักและมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น เนื้อสัตว์ ผัก กระเทียม พริกไทย เกลือ น้ำตาล เพื่อเพิ่มรสชาติของข้าวเกรียบให้หลากหลาย โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตข้าวเกรียบ เนื่องจากผลิตได้มากในประเทศไทย ราคาไม่สูง และมีอัตราการพองตัวสูงเพราะมีปริมาณอะมิโลสต่ำและมีอะมิโลเพกทินสูง (Rattanapan and Inprasit, 2018) โดยปกติการรับประทานข้าวเกรียบจะนำแผ่นข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปมาทอดแบบน้ำมันท่วมทำให้มีปริมาณน้ำมันสะสมในข้าวเกรียบได้สูงถึง 35% (Shachat and Raphael, 1990) ซึ่งหากรับประทานในปริมาณที่มากเกินไปจะเกิดไขมันสะสมในร่างกายและมีความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยจากโรคต่าง ๆ เช่น โรคอ้วน โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น (Trachoo, 2019) จากสาเหตุดังกล่าวทำให้มีนักวิจัยทำการศึกษาวิธีการอบพองข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปด้วยไมโครเวฟแทนการทอดแบบน้ำมันท่วม Panomwan (2009) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งข้าวผสมแครอทสำหรับอบพองด้วยไมโครเวฟ Chedoloh and Chehmalee (2019) ศึกษาผลของกำลังคลื่นไมโครเวฟและระยะเวลาอบพองต่อคุณภาพข้าวเกรียบปลากึ่งสำเร็จรูป Nguyen *et al.* (2013) ศึกษาผลของความชื้นและปริมาณน้ำมันในแผ่นข้าวเกรียบกุ้งกึ่งสำเร็จรูป ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเกรียบหลังอบพองด้วยไมโครเวฟ

การอบพองข้าวเกรียบด้วยไมโครเวฟเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของของน้ำและองค์ประกอบอื่นที่มีสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric property) ในแผ่นข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปเกิดการหมุนสลับขั้วไปมาตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ (2,450 เมกะเฮิรตซ์) เกิดความเสียดทานจนเกิดเป็นความร้อน เมื่อมีปริมาณความร้อนเพียงพอจะทำให้น้ำในข้าวเกรียบเดือด เกิดความดันสะสมจนผิวของ

ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปไม่สามารถรับแรงดันได้จึงเกิดการพองตัวซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของข้าวเกรียบ จากงานวิจัยที่ศึกษาในเรื่องการอบพองข้าวเกรียบด้วยไมโครเวฟ (Panomwan, 2009; Nguyen *et al*., 2013; Chedoloh and Chehmalee, 2019) พบว่าข้าวเกรียบที่อบพองด้วยไมโครเวฟมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และผู้บริโภคมีความสนใจและยอมรับแนวคิดข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่อบพองด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากมีความสะดวกและไม่ยุ่งยากในการอบพอง เหมาะสำหรับเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสำหรับผู้ที่รักสุขภาพ เนื่องจากมีปริมาณไขมันต่ำ อย่างไรก็ดีรูปแบบการศึกษาการอบพองของข้าวเกรียบในไมโครเวฟของงานวิจัยที่ผ่านมาเน้นการศึกษาหาวิธีอบพองข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปทีละชิ้นหรือหลายชิ้นนอกบรรจุภัณฑ์ในเตาอบไมโครเวฟซึ่งยังไม่สะดวกสำหรับผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟในบรรจุภัณฑ์ โดยทำการศึกษาใน 3 ประเด็นหลัก คือ 1) ผลของความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ 2) ผลของวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องต่อการพองตัวของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ และ 3) ศึกษาผลของขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ต่อการพองตัวของข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทาน เพื่อให้ได้องค์ความรู้และแนวทางการระบุข้อมูลวิธีการอบพองข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปบนฉลากบรรจุภัณฑ์ ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมแผ่นข้าวเกรียบมันสำปะหลังกึ่งสำเร็จรูป

วัตถุดิบในการทำแผ่นข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูป คือ แป้งมันสำปะหลังตราปลาไทย ส่วนประกอบอื่น ๆ กำหนดเป็น %น้ำหนักของแห้งต่อน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง ดังนี้ เกลือ 2% ผงกระเทียม 2% น้ำตาลทราย 2% พริกไทยป่น 0.5% นำมาผสมให้เข้ากันก่อนจะนำไปนวดในเครื่องนวดผสมกับน้ำร้อนในสัดส่วน 37.5% ต่อน้ำหนักทั้งหมด จากนั้นนำมาแบ่งขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นรอบวง 15 ซม. ความยาว 8 ซม. แล้วนำไปนึ่งเป็นเวลา 1 ชม. พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ก่อนนำไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 16-17°ซ. เป็นเวลา 12 ชม. แล้วนำมาหั่นเป็นแผ่นหนา 2 มม. นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°ซ. ที่ระยะเวลาการอบแห้ง 210, 240, 270, 300 และ 330 นาที เพื่อนำไปศึกษาผลของความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัว

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัว โดยนำข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมได้หลังจากอบแห้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ฐานเปียก) รวมทั้งนำตัวอย่างข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ระดับความชื้นต่าง ๆ ไปอบพองด้วยไมโครเวฟยี่ห้อ SUMSUNG รุ่น ME731KD ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 50 วินาที เพื่อนำไปหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเชิงปริมาตรและค่าความแข็ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยระยะเวลาอบแห้งข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปเป็นระดับปัจจัยที่ใช้ศึกษาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ฐานเปียก) %การขยายตัวเชิงปริมาตร และค่าความแข็งเป็นผลของปัจจัยที่ศึกษาตามลำดับ

ปริมาณความชื้น ความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปหาจากวิธีการอบลมร้อน (AOAC, 1990) โดยเตรียมตัวอย่างข้าวเกรียบ 2 กรัม (W_1) บดเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 135°ซ. เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พักให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบต่อจนได้น้ำหนักคงที่ (W_2) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ฐานเปียก) จากสมการ (1) ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

$$\%\text{ความชื้น (ฐานเปียก)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \qquad (1)$$

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง (กรัม)

การขยายตัวเชิงปริมาตร การพองตัวของข้าวเกรียบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเชิงปริมาตรด้วยวิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงาในภาชนะทรงกระบอกที่ทราบปริมาตร (Nguyen *et al.*, 2013; Rattanapan and Inprasit, 2018; Chedoloh and Chehmalee, 2019) โดยเริ่มจากการหาปริมาตรของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูป (V_1) หลังจากนั้นนำข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปชิ้นเดิมไปอบพองด้วยไมโครเวฟแล้วนำมาหาปริมาตร (V_2) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเชิงปริมาตรจากสมการ (2) ทำการทดลองตัวอย่างละ 8 ซ้ำ

$$\%\text{การขยายตัวเชิงปริมาตร} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \qquad (2)$$

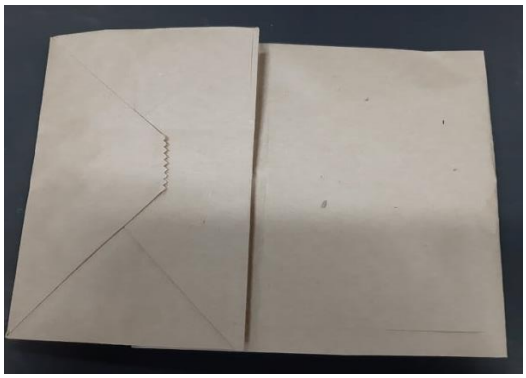
โดยที่ V_1 คือ ปริมาตรของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปก่อนอบพองด้วยไมโครเวฟ (ลบ.ซม.)

V_2 คือ ปริมาตรของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปหลังอบพองด้วยไมโครเวฟ (ลบ.ซม.)

ค่าความแข็ง นำตัวอย่างข้าวเกรียบหลังการอบพองด้วยไมโครเวฟมาทดสอบหาค่าความแข็ง (Hardness) ในหน่วยนิวตัน (N) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (รุ่น LR5KMR4 บริษัท Lloyd Instrument สหราชอาณาจักร) โดยใช้ Load cell ขนาด 50 นิวตัน และใช้หัวโพรบแบบ Warner Bratzler Blade โดยตั้งระยะกด 20 มม. ที่ความเร็ว 5 มม./วินาที ทำการทดลองตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

การศึกษาวิธีการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์

การเตรียมข้าวเกรียบในถุงบรรจุภัณฑ์ นำข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจำนวน 15 ชิ้น ซึ่งมีน้ำหนักรวมเฉลี่ยในช่วง 29.82±0.48 กรัม บรรจุลงในถุงบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ความหนา 70 แกรม แบบพับก้น (ปลายถุง) เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาด คือ 8.5x12.5x20 ซม. แล้วนำมาพับที่ปากถุงบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ได้ลักษณะถุงบรรจุภัณฑ์ 2 แบบ **แบบที่ 1** นำถุงกระดาษคราฟท์ที่บรรจุข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปมาทากาวแป้งเปียกบริเวณปากของถุงกระดาษเพื่อปิดปากถุง แล้วทำการพับปากถุงที่ปิดแล้วลง 1 พับ จะได้บรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาตรเมื่อขยายตัวประมาณ 1,646.88 ลบ.ซม. (8.5x12.5x15.5 ซม.) ดังแสดงใน Figure 1 และ**แบบที่ 2** นำถุงกระดาษคราฟท์ที่บรรจุข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปมาพับด้านปากถุงให้เป็นลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมเหมือนด้านก้นถุง แล้วทำการทากาวปิดปากถุงด้วยกาวแป้งเปียก จะได้บรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาตรเมื่อขยายตัวประมาณ 1,859.38 ลบ.ซม. (8.5x12.5x17.5 ซม.) ดังแสดงใน Figure 2



Before expansion



After expansion

Figure 1 A craft-paper bag filled with semi-finished cassava crackers for a variation I



Before expansion



After expansion

Figure 2 A craft-paper bag filled with semi-finished cassava crackers for a variation II

การจำแนกลักษณะปรากฏของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปหลังจากอบพอง คัดเลือกข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นเหมาะสม สามารถพองตัวได้ดีที่สุดเมื่ออบพองด้วยไมโครเวฟ จากผลการศึกษาความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปต่อการพองตัวจำนวน 15 ชิ้น บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 แล้วทดลองอบพองด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อสังเกตลักษณะปรากฏที่เป็นไปได้ของข้าวเกรียบที่ได้หลังการอบพองในบรรจุภัณฑ์ โดยจากผลการทดลองขั้นต้นพบว่า ลักษณะปรากฏของข้าวเกรียบสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงใน Figure 3 ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ข้าวเกรียบพองตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น มีลักษณะเป็นไตแข็งคล้ายลักษณะของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปตอนที่ยังไม่พองตัวในบางส่วนของข้าวเกรียบหลังอบพองด้วยไมโครเวฟ โดยจะจำแนกข้าวเกรียบที่มีลักษณะปรากฏในกลุ่มนี้ว่าเป็นของเสียแบบ “ขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น”

กลุ่มที่ 2 ข้าวเกรียบพองตัวทั่วทั้งแผ่นและมีสีสม่ำเสมอ ซึ่งถือเป็นลักษณะที่พึงประสงค์ของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่อบพองด้วยไมโครเวฟ จึงไม่นับเป็นของเสีย

กลุ่มที่ 3 ข้าวเกรียบพองตัวทั่วทั้งแผ่นแต่มีสีไม่สม่ำเสมอ โดยพบสีน้ำตาลอ่อนในบางบริเวณของข้าวเกรียบหลังอบพองด้วยไมโครเวฟ อย่างไรก็ดีเมื่อรับประทานไม่มีรสสัมผัสที่แข็งและขม จึงยังจัดอยู่ในกลุ่มที่มีลักษณะพึงประสงค์ของข้าวเกรียบไมโครเวฟ จึงไม่นับเป็นของเสีย

กลุ่มที่ 4 ข้าวเกรียบพองตัวทั่วทั้งแผ่นและมีสีไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากพบบริเวณที่ข้าวเกรียบบางส่วนมีสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงสีดำ เมื่อรับประทานจะให้รสสัมผัสขม โดยจะจำแนกข้าวเกรียบที่มีลักษณะปรากฏในกลุ่มนี้ว่าเป็นของเสียแบบ “ไหม้”



Group 1 Group 2 Group 3 Group 4

Figure 3 Appearance of puffed crackers classified into 4 groups

วิธีการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์ ข้าวเกรียบจำนวน 15 ชิ้น ในบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ถูกอบพองด้วยไมโครเวฟด้วยวิธีให้ความร้อน 2 รูปแบบ คือ วิธีให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและวิธีให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยทั้งสองวิธีจะใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 40, 50, 60 และ 70 วินาที สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง และที่ระยะเวลา 40/10, 40/20, 40/25 และ 40/30 วินาที สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยสัญลักษณ์ “/” คั่นระหว่างตัวเลขหมายถึง “ระยะเวลาการอบไมโครเวฟช่วงที่หนึ่ง (วินาที)/ระยะเวลาการอบไมโครเวฟช่วงที่สอง (วินาที)” ในระหว่างเวลาการอบไมโครเวฟช่วงที่หนึ่งและช่วงที่สองจะมีการนำถุงบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุข้าวเกรียบออกมาเขย่าระหว่างช่วงประมาณ 5 วินาที โดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วยในเรื่องการกระจายความร้อนของแผ่นข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์และลดผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิข้าวเกรียบที่สูงเกินไปจนข้าวเกรียบไหม้ (กลุ่มที่ 4) หากได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟอย่างต่อเนื่อง

วิธีการให้ความร้อนและระยะเวลาการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจะประเมินจากการหาเปอร์เซ็นต์ชิ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นและเปอร์เซ็นต์ชิ้นไหม้ ดังแสดงในสมการ (3) และสมการ (4) โดยวิธีการให้ความร้อนและระยะเวลาการให้ความร้อนข้าวเกรียบที่เหมาะสมจะทำให้ข้าวเกรียบหลังการ อบพองในบรรจุภัณฑ์มีเปอร์เซ็นต์ชิ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น และเปอร์เซ็นต์ชิ้นไหม้มีน้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์ อย่างไรก็ดีหากข้าวเกรียบเกิดลักษณะปรากฏหลังอบพองด้วยไมโครเวฟทั้งขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นและไหม้พร้อมกันจะถือว่าข้าวเกรียบชิ้นนั้นเป็นของเสียแบบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น

$$\% \text{ ชิ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น} = \frac{\text{จำนวนชิ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น}}{\text{จำนวนชิ้นทั้งหมด}} \times 100 \quad (3)$$

$$\% \text{ ชิ้นไหม้} = \frac{\text{จำนวนชิ้นไหม้}}{\text{จำนวนชิ้นทั้งหมด}} \times 100 \quad (4)$$

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (RCBD) สำหรับการศึกษาวิธีการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์ โดยระยะเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องเป็นระดับปัจจัยที่ใช้ศึกษา ถุงบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 เป็นปัจจัยที่ถูกกำหนดให้เป็นบล็อก และลักษณะปรากฏของข้าวเกรียบทั้ง 4 กลุ่ม ในบรรจุภัณฑ์หลังจากให้ความร้อนด้วยวิธีไมโครเวฟเป็นผลของการศึกษา

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) สำหรับการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่เตรียมได้หลังจากอบแห้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ และข้อมูลการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (RCBD) สำหรับการศึกษาวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องต่อการพองตัวของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในถุงบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ทั้งสองรูปแบบถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's honest significant test ด้วยโปรแกรม SPSS (Version 18, USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลของความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ

ผลของระยะเวลาอบแห้งในช่วง 210-330 นาที ส่งผลให้ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปมีค่าความชื้นแตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงใน Table 1 อย่างไรก็ดีข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ทุกระยะเวลาการอบแห้งมีความชื้นไม่เกินข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับข้าวเกรียบ (Thai Industrial Standards Institute, 2011) จาก Table 1 เมื่อพิจารณาผลของความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ส่งผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบพบว่าความชื้นมีผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ (Panomwan, 2009; Nguyen *et al.*, 2013) โดยความชื้นที่เหมาะสมที่ทำให้ข้าวเกรียบพองตัวมากที่สุดอยู่ที่ระดับความชื้น 9.08% (ฐานเปียก) มีการขยายตัวเชิงปริมาตรสูงที่สุดอยู่ที่ 852% ส่วนความชื้นข้าวเกรียบในระดับอื่นหลังการอบแห้งไม่ส่งผลให้ข้าวเกรียบพองตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้าวเกรียบจะพองตัวได้ดีต้องมีปริมาณความชื้นที่เพียงพอ เพื่อใช้ในการเดือดสร้างแรงดันทำให้ข้าวเกรียบเกิดการพองตัว ขณะเดียวกันในระหว่างกระบวนการอบแห้งข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจะเกิดการสร้างชั้นผิวบาง ๆ ที่สามารถเก็บกักความดันระหว่างที่น้ำในข้าวเกรียบเกิดการเดือด ดังนั้นกระบวนการอบแห้งข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจึงส่งผลต่อปัจจัยร่วมในเรื่องปริมาณน้ำในการเดือดสร้างแรงดันและการสร้างชั้นผิวเก็บกักความดัน ซึ่งส่งผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ Nguyen *et al.* (2013) รายงานว่าข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นมากเกินไปจะมีปริมาณน้ำอิสระสูง ทำให้ต้องใช้

ระยะเวลาที่นานขึ้นเพื่อให้เกิดการเดือดของน้ำในข้าวเกรียบ ส่งผลให้ข้าวเกรียบพองตัวไม่ดี ในขณะที่ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นน้อยเกินไปจะมีปริมาณน้ำอิสระที่สามารถเดือดเพื่อสร้างแรงดันได้ไม่เพียงพอ ส่งผลให้ข้าวเกรียบพองตัวไม่ดีเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของข้าวเกรียบหลังการพองตัว ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Panomwan (2009) พบว่าความชื้นและปริมาณอะมิโลสมีผลต่อค่าความแข็งของข้าวเกรียบ ข้าวเกรียบที่สูญเสียความชื้นมากจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น และข้าวเกรียบที่มีความชื้นเท่ากันแต่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าจะมีความแข็งมากกว่า ดังนั้นจากผลการทดลองจึงเป็นไปได้ว่าข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นในช่วง 8.50-10.11% (ฐานเปียก) มีความชื้นหลังการอบพองไม่แตกต่างกัน และเนื่องจากส่วนผสมของตัวอย่างข้าวเกรียบที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยมีส่วนประกอบที่เหมือนกัน ทำให้ตัวอย่างข้าวเกรียบที่ทุกระดับความชื้นมีปริมาณอะมิโลสไม่แตกต่างกัน จึงไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของค่าความแข็งของข้าวเกรียบหลังอบพองด้วยไมโครเวฟ

Table 1 Effect of drying time and moisture content of semi-finished crackers on volume expansion and hardness after puffed with microwave

Drying time (minute)	Moisture content of semi-finished crackers (%w.b.)	Volume expansion (%)	Hardness (N)
210	10.11±0.09^{a}	623±101.20^{bc}	7.91±0.35^{a}
240	9.43±0.10^{b}	659±58.40^{b}	8.21±0.70^{a}
270	9.08±0.41^{c}	852±64.80^{a}	8.48±1.48^{a}
300	8.84±0.41^{cd}	720±65.20^{b}	8.57±0.83^{a}
330	8.50±0.37^{d}	635±41.40^{bc}	8.49±0.34^{a}

Values shown are the mean±standard deviation (moisture content: n=3, volume expansion: n=8, hardness: n=5).
Mean with different superscript letters within the same column differ significantly (P<0.05).

ผลของวิธีการให้ความร้อนและรูปแบบบรรจุภัณฑ์ต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ

Table 2 แสดงผลของวิธีการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่ระยะเวลาการอบพองด้วยไมโครเวฟแตกต่างกันที่ผลต่อเปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น และ Table 3 แสดงผลของวิธีการให้ความร้อนข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่ระยะเวลาการอบพองด้วยไมโครเวฟแตกต่างกันที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบไหม้

Table 2 Effect of continuous and intermittent heating times on %partly puffed crackers of craft-paper bags filled with semi- finished crackers for Variation I and II

Heating time (s)	%partly puffed crackers	
	Craft-paper bag Variation I	Craft-paper bag Variation II
40	95.8±4.76%[1a]	95.8±4.76%[1a]
50	45.4±16.20%[2a]	34.6±6.83%[2a]
60	10.6±9.32%[3a]	9.4±9.32%[3a]
70	0%[4a]	0%[4a]
40/10	90.6±9.32%[1a]	88.0±6.69%[1a]
40/20	44.2±4.76%[2a]	49.4±12.53%[2a]
40/25	0%[4a]	0%[4a]
40/30	0%[4a]	0%[4a]

Values shown are the mean±standard deviation of n=5: Mean with different superscript numbers within the same column differ significantly (P<0.05); Mean with different superscript letters within the same row differ significantly (P<0.05).

สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องจาก Table 2 พบว่าระยะเวลาการอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบด้วยไมโครเวฟส่งผลให้ เปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการอบพองด้วยไมโครเวฟมีแนวโน้มทำให้ข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ขยายตัวได้ดีขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นมีแนวโน้มลดลง ที่ระยะเวลาการอบพองแบบต่อเนื่อง 70 วินาที ไม่พบ เปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น ในทางกลับกันจาก Table 3 พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบไหม้เพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาการอบพองแบบต่อเนื่อง 70 วินาที พบเปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบไหม้สูงสุด ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีให้ความร้อนแบบต่อเนื่องในการอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองแบบยังไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมที่สามารถทำให้เปอร์เซ็นต์ชิ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นและเปอร์เซ็นต์ชิ้นไหม้น้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์ซึ่งเป็นลักษณะที่พึงประสงค์ของการอบพองข้าวเกรียบ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Panomwan (2009) ที่พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการอบพองข้าวเกรียบจนถึง 40 วินาที จะเพิ่มร้อยละของจำนวนข้าวเกรียบที่พองตัวสมบูรณ์มากขึ้น เข้าใกล้ 100% แต่เมื่อใช้เวลาการอบพองมากเกิน 40 วินาที ข้าวเกรียบจะเริ่มเกิดการไหม้ อาหารที่ได้รับความร้อนด้วยวิธีไมโครเวฟจะร้อนได้รวดเร็วกว่าการได้รับความร้อนด้วยวิธีการนำและการพาความร้อนแบบทั่วไป ดังนั้นควรอบพองข้าวเกรียบด้วยไมโครเวฟที่ระดับพลังงานสูงแต่ใช้ช่วงระยะเวลาสั้นเพื่อหลีกเลี่ยงลักษณะปรากฏของชิ้นข้าวเกรียบไหม้ (Nguyen *et al.*, 2013) จากผลการทดลองยังพบว่าขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง ไม่ส่งผลให้ เปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นและเปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบไหม้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 3 Effect of continuous and intermittent heating times on %burnt crackers of craft-paper bags filled with semi- finished crackers for variation I and II

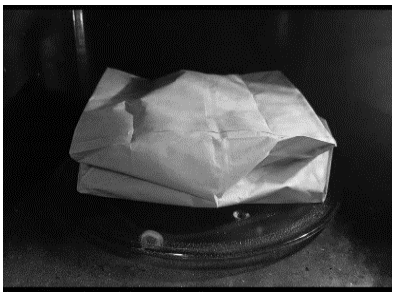
Heating time	%burnt crackers	
(s)	Craft-paper bag Variation I	Craft-paper bag Variation II
40	0%[1a]	0%[1a]
50	0%[1a]	0%[1a]
60	13.4±13.16%[2a]	17.4±14.06%[2a]
70	42.8±19.20%[3a]	41.4±24.17%[3a]
40/10	0%[1a]	0%[1a]
40/20	0%[1a]	0%[1a]
40/25	0%[1a]	20.0±8.69%[2b]
40/30	28.0±6.69%[4a]	60.0±8.69%[4b]

Values shown are the mean±standard deviation of n=5. Mean with different superscript numbers within the same column differ significantly (P<0.05); Mean with different superscript letters within the same row differ significantly (P<0.05).

สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง จาก Table 2 พบว่าระยะเวลาการอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนในช่วงที่สองเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้จำนวนชิ้นของข้าวเกรียบที่ขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ชิ้นข้าวเกรียบขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่นเป็นศูนย์ที่ระยะเวลาการอบพอง 40/25 และ 40/30 วินาที ในทางกลับกันจาก Table 3 การอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนในช่วงที่สองเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มให้จำนวนชิ้นของข้าวเกรียบไหม้เพิ่มขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 จะเริ่มมีจำนวนชิ้นของข้าวเกรียบไหม้ที่ระยะเวลาการอบพอง 40/30 วินาที ขณะที่บรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 จะเริ่มมีจำนวนชิ้นของข้าวเกรียบไหม้ที่ระยะเวลาการอบพอง 40/25 วินาที ซึ่งจากผลการทดลองในส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ส่งผลต่อความสามารถในการกระจายความร้อนของข้าวเกรียบในระหว่างการพองตัวในบรรจุภัณฑ์ โดยในระหว่างการทดลองพบว่าการพองตัวของบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 ซึ่งมีปริมาตรบรรจุภัณฑ์น้อยกว่าบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 จะมีการขยายตัวของบรรจุภัณฑ์เต็มที่หลังจากอบพองในไมโครเวฟ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 มีการขยายตัวของบรรจุภัณฑ์ไม่เต็มที่ ดังแสดงใน Figure 4 จึงสันนิษฐานว่าปริมาตรของบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 มีขนาดใหญ่และมีวิธีการพับบรรจุภัณฑ์ที่แรงดันไอน้ำที่ทำให้ข้าวเกรียบพองตัวมีไม่เพียงพอสำหรับการขยายตัวของบรรจุภัณฑ์ จึงทำให้มีพื้นที่จำกัดในการเคลื่อนตัวอย่างอิสระของข้าวเกรียบในระหว่างการเขย่าบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้เป็นอุปสรรคในการกระจายความร้อนระหว่างชิ้นของข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ไม่ดีพอ ทำให้ชิ้นข้าวเกรียบบางชิ้นในบรรจุภัณฑ์เกิดความร้อนสะสมมากเกินไป ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ชิ้นของข้าวเกรียบไหม้ของบรรจุภัณฑ์แบบที่ 2 สูงกว่าบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1



Variation I (fully expanded)



Variation II (partially expanded)

Figure 4 Appearance of a craft-paper bag filled with semi-finished cassava crackers after expansion for both variations

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าวิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์มีความเหมาะสมสำหรับอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์มากกว่าวิธีการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง เนื่องจากข้อเสียของการให้ความร้อนอาหารด้วยไมโครเวฟ คือ ชิ้นอาหารเกิดความร้อนไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform heating) เมื่อให้ความร้อนด้วยวิธีไมโครเวฟ (Meda *et al*., 2017) เพื่อที่จะบรรเทาการเกิดความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ Gunasekaran and Yang (2007) พบว่าการให้อาหารได้รับพลังงานไมโครเวฟแบบไม่ต่อเนื่องจะช่วยลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในชิ้นอาหารที่สูงที่สุดและต่ำที่สุดให้น้อยลง ช่วยให้อาหารมีการกระจายของอุณหภูมิทั่วทั้งชิ้นอาหารสม่ำเสมอมากขึ้น วิธีให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ชิ้นขยายตัวไม่ทั่วทั้งแผ่น และเปอร์เซ็นต์ชิ้นไหม้เป็นศูนย์ คือ การอบพองข้าวเกรียบในบรรจุภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์แบบที่ 1 ที่ระยะเวลาการอบพอง 40/25 วินาที

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟ พบว่า ความชื้นของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปที่ทำให้ข้าวเกรียบพองตัวมากที่สุด คือ 9.08% (ฐานเปียก) ข้าวเกรียบมีการพองตัว 852% วิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่กำลังไมโครเวฟ 800 วัตต์ แก่ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปจำนวน 15 ชิ้น ในบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ที่มีปริมาตร 1,646.88 ลบ.ซม. โดยแบ่งการให้ความร้อนเป็นสองช่วง คือ ให้ความร้อนช่วงแรกในเตาอบไมโครเวฟ 40 วินาที และพักเพื่อนำถุงบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบออกมาเขย่าระหว่างช่วงประมาณ 5 วินาที แล้วนำถุงบรรจุภัณฑ์ไปให้ความร้อนต่อในเตาอบไมโครเวฟช่วงที่สอง 25 วินาที จากผลการศึกษายังพบว่า ขนาดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการพองตัวของข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานสำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้ได้องค์ความรู้และแนวทางการระบุข้อมูลวิธีการอบพองข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปบนฉลากบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบมันสำปะหลังพร้อมรับประทานด้วยวิธีไมโครเวฟต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis.** 15th. Virginia: The Association of Official Analytical Chemists. 1,298 p.

Chedoloh, R. and S. Chehmalee. 2019. The effect of microwave power and puffing time on the quality of semi-finished fish cracker. **Burapha Science Journal** 24(1): 256-271. [in Thai]

Gunasekaran, S. and H. Yang. 2007. Effect of experimental parameters on temperature distribution during continuous and pulsed microwave heating. **Journal of Food Engineering** 78: 1452-1456.

Meda, V., V. Orsat and V. Raghavan. 2017. Microwave heating and dielectric properties of foods. pp. 23-43. *In* Regier, M., K. Knoerzer and H. Schubert (eds.). **The Microwave Processing of Foods**. 2nd. London: Woodhead Publishing.

Nguyen, T.T., T.Q. Le and S. Songsermpong. 2013. Shrimp cassava cracker puffed by microwave technique: effect of moisture and oil content on some physical characteristics. **Kasetsart Journal (Nat. Sci.)** 47: 434-446.

Panomwan, W. 2009. **Carrot Added Rice Cracker for Baking with Microwave.** Master Thesis. Chulalongkorn University. 179 p. [in Thai]

Rattanapan, S. and C. Inprasit. 2018. Effect of steaming time on qualities of tapioca crackers (khaowgriab). **Thai Science and Technology Journal** 26(3): 532-543. [in Thai]

Shachat, M.A. and S.J. Raphael. 1990. **Process for Making Microwave Puffed Snack Products.** U.S. Patent 4,950,492.

Thai Industrial Standards Institute. 2011. **Thai Community Product Standard 107/2554: Crispy Snack, Khaowgraib.** Bangkok: Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. 5 p. [in Thai]

Trachoo, O. 2019. **High level of fat in the blood signals a risk of heart disease.** [Online]. Available https://www.samitivejhospitals.com/article/detail/Risk-of-Heart-Disease. (January 29, 2024).