

ผลของเวลาในการนึ่งต่อคุณภาพของข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลัง

Effect of Steaming Time on Qualities of Tapioca Crackers

(Khaowgriab)

สยมพร รัตนพันธ์* และเชาว์ อินทร์ประสิทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Sayumporn Rattanapan* and Chouw Inprasit

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen,

Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom 73140

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบ (8-80 นาที) ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังก่อนการทอดและหลังการทอด พบว่าข้าวเกรียบที่ใช้เวลานึ่งนานขึ้นมีระดับการเกิดเจลลาติไนเซชันเพิ่มขึ้น โดยข้าวเกรียบที่ใช้เวลานึ่งนาน 48 นาทีขึ้นไป มีระดับการเกิดเจลลาติไนเซชันที่สมบูรณ์ (100 %) แต่พบว่าระยะเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบไม่มีผลต่อความหนาแน่นของข้าวเกรียบอบแห้งก่อนทอด สำหรับข้าวเกรียบหลังทอดพบว่าระยะเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบที่นานขึ้นส่งผลให้มีแนวโน้มของอัตราการพองตัวเชิงปริมาตร และอัตราการดูดซับน้ำมันของข้าวเกรียบหลังทอดเพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มของความหนาแน่นของข้าวเกรียบหลังทอดลดลง โดยข้าวเกรียบที่ใช้เวลานึ่งนาน 56 นาที มีอัตราการพองตัวสูงสุด (801.51 %) แต่มีความหนาแน่นต่ำสุด (0.09 g/cm^3) โดยข้าวเกรียบที่ใช้เวลานึ่งนาน 8 นาที มีอัตราการดูดซับน้ำมันต่ำสุด (25.53 %)

คำสำคัญ : ข้าวเกรียบ; เวลาในการนึ่ง; แป้งมันสำปะหลัง

Abstract

Effect of steaming time (8-80 min) on quality of half-product and puffed tapioca crackers (Khaowgriab) were studied. The result showed that degree of starch gelatinization of half-product increased for increasing of steaming time and the gelatinization of the starch completed (100 %) after 48 min of steaming. However, the steaming time had no effect on density of half-product. For increasing of steaming time, expansion ratio and oil absorption of puffed Khaowgriab increased but the bulk density trended to decrease. The maximum expansion ratio (801.51 %) and the minimum bulk density (0.09 g/cm^3) of the puffed Khaowgriab was found at 56 min of steaming. The minimum oil absorption of puffed Khaowgriab (25.53 %) was found at 8 min of steaming time.

*ผู้รับผิดชอบบทความ : fengsypr@ku.ac.th

Keywords: Khaowgriab; steaming time; tapioca starch

1. บทนำ

ข้าวเกรียบเป็นขนมขบเคี้ยวที่นิยมรับประทานในประเทศไทย และประเทศกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [1] การผลิตข้าวเกรียบส่วนมากเป็นแบบครัวเรือนและอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ที่ใช้วัตถุดิบภายในท้องถิ่นเป็นหลัก ได้แก่ ข้าวเกรียบปลา ข้าวเกรียบฟักทอง ข้าวเกรียบข้าวโพด ข้าวเกรียบมัน เป็นต้น วัตถุดิบในการผลิตข้าวเกรียบประกอบด้วย แป้ง เครื่องปรุงรส และส่วนประกอบอื่น ๆ จำพวกเนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ และธัญพืช โดยแป้งมันสำปะหลังนิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตข้าวเกรียบในประเทศไทย เนื่องจากเป็นแป้งที่ผลิตได้มากในประเทศ [2] ราคาไม่สูง รวมทั้งมีอัตราการพองตัวสูง เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสต่ำและมีอะมิโลเพกทินสูง [3] และยังปราศจากกลูเตนซึ่งเป็นสารก่อภูมิแพ้ด้วย [4]

กระบวนการผลิตข้าวเกรียบประกอบด้วย ขั้นตอนการผสมและการนวด การขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอก การนึ่งหรือการต้ม การลดอุณหภูมิ การหั่นการลดความชื้น และการทอดเพื่อให้เกิดการพองตัวของข้าวเกรียบ [5,6] กระบวนการนึ่งหรือต้มข้าวเกรียบเพื่อให้แป้งเกิดการสุกหรือเจลาติไนเซชันของแป้งนั้นมีผลต่อคุณภาพของข้าวเกรียบหลังการทอด [7,8] แล้วยังเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตมากกว่าร้อยละ 65 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด [9] โดยการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งเกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนคลายตัว เม็ดแป้งเกิดการละลายน้ำโดยดูดซึมน้ำจนเกิดการพองตัวจนผ่นกลับไม่ได้ แป้งมีความหนืดสูงขึ้นและมีลักษณะใสขึ้น [3] โดยระยะเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบอยู่ในช่วง 30-120 นาที ซึ่งจากการศึกษาของลลิตาและคณะ ใช้เวลา 2

ชั่วโมง ในการนึ่งข้าวเกรียบสำหรับเยลียวทองที่มีส่วนผสมหลักเป็นแป้งมันสำปะหลัง [10] Kyaw และคณะ รายงานว่าข้าวเกรียบปลาที่มีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อปลาที่ 1 : 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร มีเกิดการเจลาติไนเซชันสมบูรณ์ที่เวลานึ่ง 20 นาที แต่มีอัตราการพองตัวสูงสุดที่เวลานึ่ง 30 นาที [7] และการศึกษาของ Tongdang และคณะ พบว่าข้าวเกรียบที่ผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งสาคุ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งสาคุ ทำให้การเกิดเจลาติไนเซชันลดลง รวมถึงพบว่าเมื่อใช้เวลานึ่ง 60 นาที ส่งผลให้เกิดเจลาติไนเซชันสูงสุดประมาณร้อยละ 80 และมีอัตราการพองตัวสูงสุด [8]

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพของข้าวเกรียบทั้งก่อนและหลังการทอด การประเมินคุณภาพของข้าวเกรียบก่อนทอดทำโดยศึกษาระดับการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง และหาความหนาแน่น ขณะที่การประเมินคุณภาพของข้าวเกรียบหลังการทอด ทำโดยหาความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การพองตัวเชิงปริมาตร และอัตราการดูดซึมน้ำมันของข้าวเกรียบ โดยเป็นการผลิตข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังที่เป็นส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังกับเครื่องเทศ (กระเทียม และพริกไทย) และเครื่องปรุงรสที่ประกอบด้วยเกลือและน้ำตาลเท่านั้น เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกสภาวะในการนึ่งข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังที่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการนึ่งผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่มีส่วนผสมของเนื้อสัตว์ ธัญพืช ผัก ผลไม้ และอื่น ๆ รวมทั้งสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เพลเลตอื่น ๆ ที่มีกระบวนการผลิตเหมือนกันต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การผลิตข้าวเกรียบใช้แป้งมันสำปะหลังตราสามเจ็ด ที่ผลิตโดยโรงงานแป้งมันสำปะหลังยังฮั่ว-ฮวด ส่วนผสมปรับปรุงจากสูตรข้าวเกรียบสาหร่ายเกลียวทองของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา [10] ประกอบด้วยร้อยละของแห้งดังต่อไปนี้แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 92.5 กระเทียมป่นร้อยละ 1.5 พริกไทยป่นร้อยละ 2.0 น้ำตาลร้อยละ 2.0 และเกลือร้อยละ 2.0 โดยควบคุมความชื้นของข้าวเกรียบที่ร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก (ฐานเปียก) กระบวนการผลิตข้าวเกรียบประกอบด้วยการนวดผสมด้วยการใช้น้ำเดือดละลายน้ำตาล และเกลือ เติมส่วนผสมของกระเทียมป่น พริกไทยป่น แล้วจึงผสมกับแป้ง และนวดผสมด้วยเครื่องผสมโดยใช้ใบผสมแบบใบพัดเป็นเวลา 20 นาที ขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และยาว 150 มิลลิเมตร แล้วห่อด้วยพลาสติกห่ออาหาร

2.2 กระบวนการนึ่งข้าวเกรียบ

นำข้าวเกรียบที่ได้จากข้อ 2.1 มาเรียงด้วยหม้อนึ่งภายใต้สภาวะบรรยากาศนาน 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72 และ 80 นาที หลังจากนั้นนำไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำข้าวเกรียบที่ได้มาตัดส่วนปลายทั้งสองข้างออก ข้างละ 30 มิลลิเมตร และนำไปหั่นด้วยเครื่องหั่นให้มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แผ่นข้าวเกรียบหลังการอบแห้งมีความชื้นในช่วงร้อยละ 10.31-10.88 โดยน้ำหนัก (wb) ซึ่งไม่เกินข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับข้าวเกรียบ มพช. 107/2554 ที่กำหนดให้ข้าวเกรียบก่อนการทอดต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก [5] นำแผ่นข้าวเกรียบที่ผ่านการอบแห้งไปทอดแบบน้ำมันท่วมด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 200

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เก็บข้าวเกรียบที่ทอดในถุงอูมิเนียมฟอยล์

2.3 การศึกษาคุณภาพของข้าวเกรียบ

2.3.1 อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางข้าวเกรียบ

การวัดอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางข้าวเกรียบ ทำโดยการฝังสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ในตำแหน่งกึ่งกลางแท่งข้าวเกรียบจำนวน 3 แท่ง และวัดอุณหภูมิภายในหม้อนึ่ง บันทึกค่าอุณหภูมิขณะนึ่งข้าวเกรียบทุก ๆ 8 นาที โดยวัดซ้ำ 3 ครั้ง

2.3.2 ระดับการเกิดเจลละตินเซชัน (degree of gelatinization, DG) ของข้าวเกรียบก่อนการทอด

การหาระดับการเกิดเจลละตินเซชันของข้าวเกรียบทำโดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC; Perkin Elmer Instrument, model PYRIS Diamond DSC, USA) [11,12] นำตัวอย่างข้าวเกรียบที่ศึกษา (แป้งที่ผสมเครื่องปรุงรสดำข้าวเกรียบที่ไม่ผ่านการนึ่ง และข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอดที่ผ่านการบดแล้ว) และน้ำในอัตราส่วน 30:70 บรรจุในแพนอะลูมิเนียม (aluminum pan) และปิดผนึก ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง ให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง โดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 30-100 องศาเซลเซียส ในอัตรา 10 องศาเซลเซียส ต่อ 1 นาที ระดับการเกิดเจลละตินเซชันหาได้จากสมการ (1)

$$DG = 1 - \frac{\Delta H_s}{\Delta H_n} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ DG คือ ระดับการเกิดเจลละตินเซชัน; ΔH_s คือ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลละตินเซชันของข้าวเกรียบก่อนการทอด; ΔH_n คือ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลละตินเซชันของส่วนผสมข้าวเกรียบ (แป้งมันสำปะหลังและเครื่องปรุง)

2.3.3 ความหนาแน่นของข้าวเกรียบ

การหาความหนาแน่นของข้าวเกรียบก่อนและหลังการทอดทำโดยหาปริมาตรของข้าว

เก็บด้วยวิธีแทนที่ของเมล็ดพืช (seed displacement) ด้วยเมล็ดงา [13]

2.3.4 โครงสร้างของข้าวเกรียบ

การศึกษาโครงสร้างของข้าวเกรียบก่อนการทอดด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า

2.3.5 อัตราการพองตัวของข้าวเกรียบ

การวิเคราะห์อัตราการพองตัวเชิงปริมาตรของข้าวเกรียบดัดแปลงจากการศึกษาของ Noorakmar และคณะ โดยอัตราการพองตัวเชิงปริมาตรหาได้จากสมการ (2) [14] และหาปริมาตรของข้าวเกรียบด้วยวิธีการแทนที่ของเมล็ดงา (volume displacement) [13]

$$\% \text{ การพองตัวเชิงปริมาตร} = \frac{V_{\text{puff}} - V_{\text{half}}}{V_{\text{half}}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ V_{puff} คือ ปริมาตรของข้าวเกรียบหลังการทอด; V_{half} คือ ปริมาตรของข้าวเกรียบก่อนการทอด

2.3.6 การดูดซับน้ำมัน (oil absorption)

อัตราการดูดซับน้ำมันของข้าวเกรียบหลังการทอดหาได้จาก สมการ (3) [15] หาความชื้นของข้าวเกรียบก่อนและหลังทอดทำตามวิธีของ AOAC [16] เพื่อใช้ในการหาน้ำหนักของข้าวเกรียบก่อนและหลังทอดที่ปราศจากความชื้น

$$\% \text{ การดูดซับน้ำมัน} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ w_1 คือ น้ำหนักของข้าวเกรียบก่อนทอดที่ปราศจากความชื้น; w_2 คือ น้ำหนักของข้าวเกรียบหลังทอดที่ปราศจากความชื้น

2.3.7 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม R วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (least significant difference)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลของเวลาในการนึ่งต่อคุณภาพข้าวเกรียบก่อนการทอด

3.1.1 อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางข้าวเกรียบ

ผลของอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางข้าวเกรียบดังตารางที่ 1 พบว่าอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของข้าวเกรียบเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการนึ่งจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 32.46 องศาเซลเซียส จนถึง 99.63 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการนึ่ง 80 นาที โดยการนึ่งข้าวเกรียบเป็นเวลา 0-24 นาที ค่าอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางข้าวเกรียบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่จุดกึ่งกลางข้าวเกรียบมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 81.46-98.39 องศาเซลเซียส โดยสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตินในเซชันของแป้งมันสำปะหลัง (66.5-92.5 องศาเซลเซียส) [17] และสำหรับอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของข้าวเกรียบตั้งแต่เวลาในการนึ่ง 24-80 นาที (98.39-99.63 องศาเซลเซียส) มีค่าสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในหม้อนึ่ง (96.65 องศาเซลเซียส) รวมทั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.1.2 ระดับการเกิดเจลลิตินในเซชัน

การศึกษาระดับการเกิดเจลลิตินในเซชันของข้าวเกรียบที่ไม่ผ่านการนึ่ง (ได้ข้าวเกรียบจากการผสมด้วยน้ำร้อน) และข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอดแสดงในตารางที่ 1 โดยพบว่าข้าวเกรียบที่ไม่ผ่านการนึ่งมีระดับการเกิดเจลลิตินในเซชันคิดเป็นร้อยละ 33.72 ขณะที่ข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอดมีระดับการเกิดเจลลิตินในเซชันอยู่ในช่วงร้อยละ 71.87-100 ระดับการเกิดเจลลิตินในเซชันของข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการนึ่ง และเกิดเจลลิตินในเซชันอย่างสมบูรณ์เมื่อใช้เวลานึ่ง 48 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าระดับการเกิดเจลลิตินในเซชันของข้าวเกรียบที่ไม่ผ่านการนึ่ง (0 นาที) และข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอดที่ใช้เวลานึ่ง 8-24 นาที มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอดที่ใช้

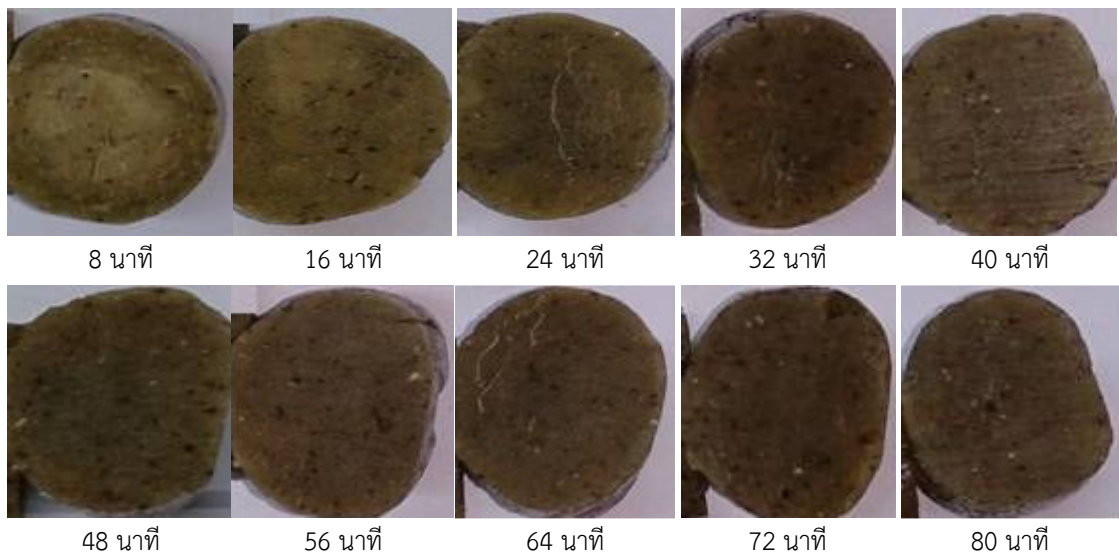
ตารางที่ 1 ค่าอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางข้าวเกรียบขณะนึ่ง ระดับการเกิดเจลลาตินในเซชัน และความหนาแน่นของข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอดที่ระยะเวลาการนึ่ง 0-80 นาที

ระยะเวลานึ่งข้าวเกรียบ (นาที)	อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางโดข้าวเกรียบ* (องศาเซลเซียส)	ระดับการเกิดเจลลาตินในเซชัน (%)	ความหนาแน่นของข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอด (g/cm ³)
0 (โด)	32.46±1.12 ^d	33.72±1.55 ^d	—**
8	81.46±1.84 ^c	71.87±1.92 ^c	0.55±0.01
16	95.06±1.80 ^b	89.91±1.18 ^b	0.54±0.02
24	98.39±0.42 ^a	97.50±0.75 ^a	0.53±0.02
32	99.19±0.07 ^a	99.04±0.85 ^a	0.53±0.02
40	99.38±0.04 ^a	99.55±0.15 ^a	0.53±0.02
48	99.56±0.09 ^a	100.00±0.00 ^a	0.52±0.01
56	99.58±0.13 ^a	100.00±0.00 ^a	0.52±0.01
64	99.62±0.07 ^a	100.00±0.00 ^a	0.52±0.02
72	99.63±0.06 ^a	100.00±0.00 ^a	0.52±0.01
80	99.63±0.06 ^a	100.00±0.00 ^a	0.52±0.02

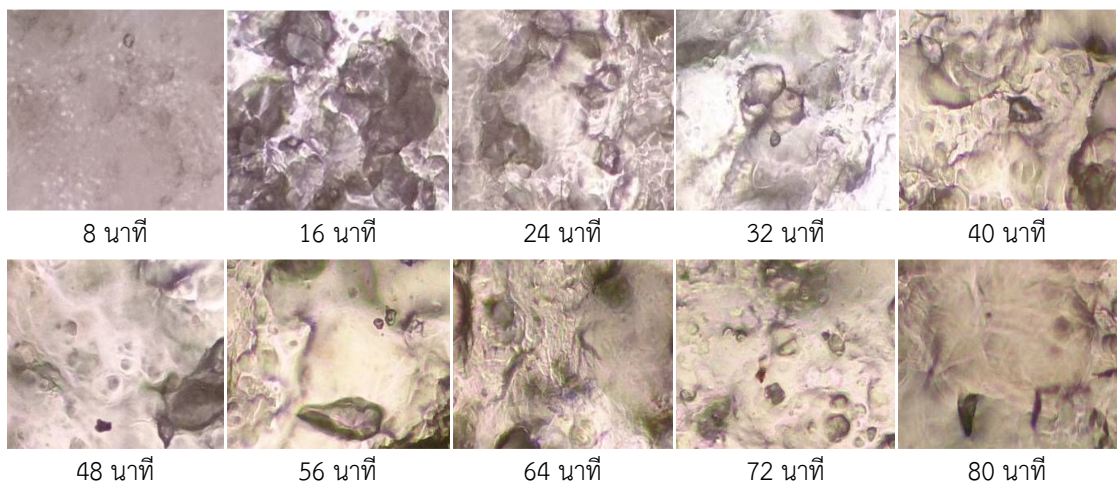
*อุณหภูมิภายในหม้อนึ่ง 96.65±0.08 องศาเซลเซียส; **ข้าวเกรียบที่เวลาการนึ่ง 0 นาที คือ โดข้าวเกรียบที่ไม่นึ่งไม่ได้นำมาอบแห้ง; a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เวลานึ่ง 24-80 นาที มีระดับการเกิดเจลลาตินในเซชันไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากการเกิดเจลลาตินในเซชันของแป้งเกิดขึ้นเมื่อสารละลายน้ำแป้งได้รับความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินซ์ ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนคลายตัวเม็ดแป้งเกิดการละลายน้ำและดูดซึมน้ำจนเกิดการพองตัวจนผ่นกลับไม่ได้ แป้งมีความหนืดสูงขึ้นและมีลักษณะเป็นเจลใสขึ้น [3] โดยช่วงอุณหภูมิเกิดเจลลาตินในเซชันของแป้งมันสำปะหลังอยู่ในช่วง 68-92 องศาเซลเซียส [17] การนึ่งข้าวเกรียบที่เวลาในการนึ่ง 8-24 นาที มีระดับการเกิดเจลลาตินในเซชันของข้าวเกรียบอยู่ในช่วงร้อยละ 71.87-97.50 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาในการนึ่ง โดยจากรูปที่ 1 เจลของข้าวเกรียบหลังการนึ่งที่เวลา 8 นาที มีลักษณะขาวขุ่นอยู่บริเวณตรงกลาง และสีขาวขุ่นของแป้งเปลี่ยนเป็นใสมากขึ้นเมื่อเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบนานขึ้น เนื่องจากเวลาใน

การนึ่งข้าวเกรียบเพื่อให้เกิดการเจลลาตินซ์ของแป้งนั้น ต้องมีระยะเวลาในการส่งผ่านความร้อนจากผิวสู่จุดกึ่งกลางของข้าวเกรียบ ทำให้เกิดการเจลลาติน-เซชันของแป้งหลังจากอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินซ์แล้ว (อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางข้าวเกรียบ 81.46-98.39 องศาเซลเซียส) และเมื่อระยะเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 24 นาที เป็นต้นไป นั้นมีระดับการเกิดเจลลาตินในเซชันของข้าวเกรียบอยู่ในช่วงร้อยละ 97.50-100.00 นั้นเจลข้าวเกรียบหลังการนึ่งมีลักษณะใสขึ้นตามระดับการเกิดเจลลาตินซ์ (รูปที่ 1) จากผลการศึกษาที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าระดับการเกิดเจลลาตินซ์ของข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบ โดยการสุกหรือการเจลลาตินซ์ของแป้งนั้นมีผลต่อคุณภาพของข้าวเกรียบหลังการทอด [19,20]



รูปที่ 1 เจลข้าวเกรียบหลังการนึ่งที่ระยะเวลาการนึ่ง 8-80 นาที



รูปที่ 2 โครงสร้างของข้าวเกรียบก่อนทอดเท่าที่ระยะเวลาการนึ่งข้าวเกรียบ 8-80 นาที เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า

3.1.3 โครงสร้าง

การศึกษาโครงสร้างของข้าวเกรียบอบแห้งก่อนทอดดังรูปที่ 2 พบว่าข้าวเกรียบที่ใช้เวลานึ่ง 8 นาที มีลักษณะที่ทึบแสงและโครงสร้างของเม็ดแป้งมีขนาดเล็กไม่มีการเกิดเจลตาในเซชันโครงสร้างไม่ยึดเกาะกัน ซึ่งแตกต่างจากข้าวเกรียบที่ผ่านการนึ่ง

นาน 16 นาทีขึ้นไป โดยข้าวเกรียบมีลักษณะโปร่งแสง โครงสร้างของเนื้อข้าวเกรียบมีลักษณะยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากเจลาตินในเซชันของแป้งทำให้เกิดการละลายน้ำของแป้งโดยดูดน้ำเข้าไปในโครงสร้างของเม็ดแป้ง และมีลักษณะเป็นเจลใส [3] ดังรูปข้าวเกรียบที่เวลาการนึ่ง 16-80 นาที

3.14 ความหนาแน่น

ข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอดที่ใช้ระยะเวลาหนึ่ง 8-80 นาที มีความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง $0.52-0.55 \text{ g/cm}^3$ (ตารางที่ 1) ปัจจัยที่ทำให้อาหารมีความหนาแน่นที่ต่างกัน คือ อุณหภูมิและองค์ประกอบของอาหาร [13] แต่การผลิตข้าวเกรียบในงานวิจัยนี้มีส่วนผสมที่เหมือนกัน ความชื้นเริ่มต้นของโดข้าวเกรียบเท่ากันที่ 45 % โดยน้ำหนัก รวมทั้งความชื้นหลังการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 10.31-10.88 โดยน้ำหนัก (wb) มีค่าความหนาแน่นหลังการอบแห้งใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบไม่มีผลต่อความหนาแน่นของข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอดโดย Ziaifar และคณะ พบว่าความหนาแน่นของอาหารก่อนการทอดมีผลต่อคุณภาพด้านการพองตัวและการดูดซับน้ำมันหลังการทอด [18] ดังนั้นงานวิจัยนี้ความหนาแน่นของข้าวเกรียบก่อนการทอดไม่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพหลังการทอดของข้าวเกรียบ เนื่องด้วยข้าวเกรียบก่อนการทอดมีความหนาแน่นไม่แตกต่างกันแม้มีระยะเวลาในการนึ่งต่างกันไปก็ตาม

3.2 ผลของเวลาในการนึ่งต่อคุณภาพข้าวเกรียบหลังการทอด

3.2.1 อัตราการพองตัวเชิงปริมาตร

ผลการศึกษาอัตราการพองตัวเชิงปริมาตรของข้าวเกรียบหลังการทอดดังตารางที่ 2 พบว่าอัตราการพองตัวของข้าวเกรียบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการนึ่งที่นานขึ้น (8-56 นาที) รวมถึงพบว่าการพองตัวเชิงปริมาตรมีความสัมพันธ์กับระดับการเกิดเจลลิตไนซ์ของแป้งที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเมื่อระดับการเกิดเจลลิตไนซ์เพิ่มขึ้น [7,8,19,20] ซึ่งข้าวเกรียบที่เวลาการนึ่ง 8 นาที มีระดับการเกิดเจลลิตไนซ์ที่ร้อยละ

71.87 ข้าวเกรียบหลังทอดมีการพองตัวไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่น โดยพองตัวเฉพาะบริเวณขอบแต่บริเวณตรงกลางไม่มีการพองตัวมีลักษณะเป็นไตและมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้าง (รูปที่ 3) มีอัตราการพองตัวต่ำสุด (174.26 %) สำหรับข้าวเกรียบที่นึ่ง 16-80 นาที มีระดับการเกิดเจลลิตไนซ์ที่ร้อยละ 89.91-100 หลังการทอดมีลักษณะการพองตัวสม่ำเสมอทั้งแผ่น (รูปที่ 3) และมีอัตราการพองตัวเชิงปริมาณสูงสุดเมื่อใช้เวลานึ่ง 56 นาที คิดเป็นร้อยละ 801.51 การเกิดเจลลิตไนซ์ขั้นที่สมบูรณ์ของข้าวเกรียบเกิดขึ้นที่เวลาในการนึ่ง 48 นาที โดยสัมพันธ์กับการศึกษาของ Kyaw และคณะ พบว่าข้าวเกรียบปลา (Keropok) ที่มีการเกิดเจลลิตไนซ์สมบูรณ์เมื่อนึ่งเป็นเวลา 20 นาที มีอัตราการพองตัวของการพองตัวสูงสุดที่เวลาในการนึ่ง 30 นาที [7] เนื่องจากการพองตัวของข้าวเกรียบในระหว่างการทอดเกิดจากการขยายตัวของโครงสร้างเม็ดแป้ง จากการกลายเป็นโอโซนน้ำในเม็ดแป้งเคลื่อนที่ออกจากเม็ดแป้งทำให้เกิดเป็นรูพรุนภายในโครงสร้างของข้าวเกรียบ [21] โดยการศึกษานี้ได้ควบคุมความชื้นของข้าวเกรียบก่อนการทอดอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 10.31-10.88 โดยน้ำหนัก (wb) รวมทั้งความหนาแน่นของข้าวเกรียบก่อนการทอดอยู่ระหว่าง $0.52-0.55 \text{ g/cm}^3$ ดังนั้นปริมาณของน้ำที่อยู่ในโครงสร้างของเม็ดแป้งมีผลโดยตรงต่อการพองตัวของข้าวเกรียบ น้ำในเม็ดแป้งเกิดจากกระบวนการเจลลิตไนซ์ของแป้ง เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตไนซ์ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนคลายตัว เม็ดแป้งเกิดการละลายน้ำโดยดูดซึมน้ำจนเกิดการพองตัวจนพ่นกลับไม่ได้ ปริมาณการละลายน้ำได้ของแป้งเพิ่มขึ้นตามระดับการเกิดเจลลิตไนซ์ และมีค่าสูงสุดเมื่อมีการเกิดเจลลิตไนซ์สมบูรณ์ (100 %) [3] ดังนั้นเมื่อนึ่งข้าวเกรียบตั้งแต่ระยะเวลา 8-56 นาที นั้นทำให้ระดับการเกิดเจลลิตไนซ์ของข้าวเกรียบสูงขึ้น จึงทำให้อัตราการ

ตารางที่ 2 อัตราการพองตัวเชิงปริมาตร ความหนาแน่น และอัตราการดูดซับน้ำมันของข้าวเกรียบหลังทอดที่ระยะเวลาการนึ่งข้าวเกรียบ 8-80 นาที

ระยะเวลานึ่งข้าวเกรียบ (นาที)	อัตราการพองตัวเชิงปริมาตร (%)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	อัตราการดูดซับน้ำมัน (%)
8	174.26±40.56 ^e	0.26±0.02 ^a	25.53±0.95 ^b
16	407.34±40.42 ^d	0.16±0.01 ^b	53.90±0.95 ^a
24	523.92±40.94 ^c	0.13±0.01 ^c	54.28±0.98 ^a
32	645.67±35.37 ^b	0.11±0.01 ^{cd}	55.06±1.06 ^a
40	649.63±41.19 ^b	0.11±0.01 ^{cd}	53.97±0.69 ^a
48	750.70±34.75 ^{ab}	0.10±0.01 ^d	55.32±0.64 ^a
56	801.51±34.11 ^a	0.09±0.01 ^d	55.74±0.81 ^a
64	728.69±40.31 ^{ab}	0.10±0.01 ^{cd}	55.56±0.94 ^a
72	726.15±25.54 ^{ab}	0.10±0.00 ^d	55.48±0.93 ^a
80	703.67±32.14 ^{ab}	0.10±0.01 ^{cd}	56.47±1.19 ^a

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 3 ข้าวเกรียบหลังการทอดที่ระยะเวลาการนึ่งข้าวเกรียบ 8-80 นาที

พองตัวของข้าวเกรียบสูงขึ้นด้วย แต่เมื่อข้าวเกรียบเกิดการเจลาติไนซ์สมบูรณ์ (100 %) แล้วยั้งนึ่งข้าวเกรียบ

ต่อไปอีกเป็นเวลานานขึ้น (มากกว่า 56 นาที) พบว่าอัตราการพองตัวของข้าวเกรียบลดลง สอดคล้องกับ

การศึกษา Kyaw และคณะ ที่พบว่า การนึ่งข้าวเกรียบปลาต่อไปหลังจากการเจลาติไนซ์จนสมบูรณ์แล้ว (100%) [7] และการศึกษาของ Tongdang และคณะ ในการนึ่งข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลัง และจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งสาคู หลังจากการเจลาติไนซ์สูงสุด (80 %) [8] เป็นเวลานานขึ้นมีผลทำให้อัตราการพองตัวของข้าวเกรียบลดลง จากการสูญเสียไอน้ำออกจากโครงสร้างของเม็ดแป้ง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิภายในข้าวเกรียบสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำทำให้น้ำภายในข้าวเกรียบบางส่วนเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นไอ และเกิดการสูญเสียไอน้ำออกจากเม็ดแป้งบางส่วน ข้าวเกรียบมีการขยายตัวลดลงเมื่อนำไปทอดเนื่องจากน้ำภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งน้อยลง จึงทำให้อัตราการพองตัวของข้าวเกรียบลดลง จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบมีความสำคัญต่อคุณภาพด้านการพองตัวของข้าวเกรียบหลังการทอด โดยการนึ่งข้าวเกรียบต้องมีระยะเวลาพอทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ของแป้งสมบูรณ์ (100 %) และต้องไม่ใช้เวลาในการนึ่งที่นานเกินกว่า 8-10 นาที หลังจากการเจลาติไนซ์ที่สมบูรณ์ของแป้ง เนื่องจากการใช้เวลาในการนึ่งข้าวเกรียบที่นานเกินไปหลังจากแป้งเจลาติไนซ์สมบูรณ์แล้วไม่ทำให้คุณภาพด้านการพองตัวของข้าวเกรียบเพิ่มขึ้น แต่กลับทำให้มีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งมีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาด ความเป็นรูพรุน รวมถึงเนื้อสัมผัสของอาหารด้วย และยังก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองต้นทุนการผลิตโดยที่ได้คุณภาพของข้าวเกรียบลดลงด้วย

3.2.2 ความหนาแน่น

ผลการหาความหนาแน่นของข้าวเกรียบหลังทอดดังตารางที่ 2 พบว่าความหนาแน่นของข้าวเกรียบมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้เวลานานขึ้น โดยข้าวเกรียบที่ใช้เวลานึ่ง 8 นาที มีความหนาแน่นสูงสุด คือ 0.26 g/cm^3 และมีความหนาแน่นต่ำสุด (0.09

g/cm^3) เมื่อใช้เวลานึ่ง 56 นาที ทั้งยังพบว่าจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของข้าวเกรียบมีค่าผกผันกับอัตราการพองตัวเชิงปริมาตร ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Charles และ Suknark และคณะ พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ผ่านการทอดที่มีค่าอัตราการพองตัวสูงจะมีความหนาแน่นต่ำ [19,20] เนื่องจากในกระบวนการทอดข้าวเกรียบนั้นการพองตัวของข้าวเกรียบเกิดจากการกลายเป็นไอของน้ำในเม็ดแป้ง เกิดการขยายตัวเคลื่อนที่ออกจากเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งขยายตัวเกิดเป็นรูพรุนภายในโครงสร้างของข้าวเกรียบ [21] ดังนั้นข้าวเกรียบที่มีการพองตัวสูงส่งผลให้มีความเป็นรูพรุนภายในมากขึ้นจึงมีความหนาแน่นต่ำ ส่วนข้าวเกรียบที่มีอัตราการพองตัวน้อยมีค่าความหนาแน่นสูง ดังข้าวเกรียบที่เวลาในการนึ่ง 8 นาที พบว่าหลังการทอดเกิดพองตัวเฉพาะบริเวณขอบ แต่ไม่พองตัวภายในแผ่นข้าวเกรียบมีลักษณะเป็นไตแข็ง (รูปที่ 3) มีอัตราการพองตัวต่ำ (174.26%) และมีความหนาแน่นสูง (0.26 g/cm^3)

3.2.3 การดูดซับน้ำมัน

ผลการศึกษาของอัตราการดูดซับน้ำมันของข้าวเกรียบหลังการทอดดังตารางที่ 2 พบว่าข้าวเกรียบที่ใช้เวลานึ่ง 8 นาที มีอัตราการดูดซับน้ำมัน (25.53%) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับข้าวเกรียบที่ใช้เวลานึ่งตั้งแต่ 16-80 นาที ($51.82\text{-}56.47 \%$) รวมถึงพบว่าข้าวเกรียบที่ใช้เวลานึ่ง 16-80 นาที มีอัตราการดูดซับน้ำมันไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) การดูดซับน้ำมันของข้าวเกรียบเกิดจากน้ำมันเข้าไปอยู่ภายในรูพรุนที่เกิดจากการขยายตัวระหว่างการทอดเนื่องจากการน้ำในโครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดการระเหยการเป็นไอ ทำให้เกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง และน้ำมันเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างแทน [21] ซึ่งน้ำในโครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดจากละลายน้ำได้ของแป้งจากการเจลาติไนซ์ของแป้งใน

กระบวนการนึ่งข้าวเกรียบ [3] จึงพบว่าข้าวเกรียบที่นึ่งเป็นเวลา 8 นาที ซึ่งมีระดับการเจลาติไนเซชันที่ต่ำ (71.87 %) เมื่อผ่านการทอดมีอัตราการพองตัวเชิงปริมาตรต่ำ (174.46 %) ทำให้ความเป็นรูพรุนภายในโครงสร้างของข้าวเกรียบน้อย ข้าวเกรียบหลังการทอดมีลักษณะเป็นไตแข็งไม่พองตัว (รูปที่ 3) รวมทั้งมีค่าความหนาแน่นสูง (0.26 g/cm^3) ดังนั้นจึงเกิดการดูดซับน้ำมันของข้าวเกรียบหลังการทอดต่ำกว่าข้าวเกรียบที่นึ่งที่ระยะเวลาการนึ่ง 16-80 นาที ที่มีระดับการเกิดเจลาติไนเซชันตั้งแต่ร้อยละ 89.91 ขึ้นไปมีลักษณะการพองตัวหลังการทอดที่สม่ำเสมอทั้งแผ่น (รูปที่ 3) จากผลการศึกษาเมื่อควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของข้าวเกรียบประกอบด้วยคุณลักษณะทางกายภาพของอาหารทั้งขนาด รูปร่างพื้นผิว ความหนาแน่น รวมไปถึงองค์ประกอบของอาหาร ความชื้นเริ่มต้น คุณภาพและชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด และปัจจัยของกระบวนการทอดทั้งอุณหภูมิและเวลาในการทอดข้าวเกรียบแล้ว พบว่าการพองตัวของข้าวเกรียบจากกระบวนการทอดมีผลต่อการดูดซับน้ำมันหลังการทอดของข้าวเกรียบ

4. สรุป

เวลาในการนึ่งข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลังที่ความชื้นเริ่มต้น 45 % มีขนาดแท่งข้าวเกรียบเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร ที่ 8-80 นาที ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการเกิดเจลาติไนเซชันและอุณหภูมิใจกลางของเจลข้าวเกรียบ โดยมีระดับการเกิดเจลาติไนเซชันที่สมบูรณ์ (100 %) ที่เวลานึ่ง 48 นาที แต่ไม่มีผลต่อความหนาแน่นของข้าวเกรียบอบแห้งก่อนการทอด เมื่อทอดข้าวเกรียบพบว่าเวลานึ่งข้าวเกรียบที่ระยะเวลา 56 นาที ให้คุณภาพด้านการพองตัวของข้าวเกรียบหลังการทอดที่ดีที่สุด (ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กับที่ระยะเวลาการนึ่ง 48-80 นาที) นอกจากนี้ยังพบว่าเวลานึ่งข้าวเกรียบหลังจากการเกิดเจลาติไนเซชันที่สมบูรณ์ (100 %) ต่อไปอีกนั้น (มากกว่า 56 นาที) นอกจากไม่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของคุณภาพข้าวเกรียบแล้ว ยังทำให้คุณภาพของข้าวเกรียบลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (อัตราการพองตัวลดลง ความหนาแน่นสูงขึ้น) รวมทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองทั้งต้นทุนด้านพลังงาน และทำให้ระยะเวลาในการผลิตข้าวเกรียบเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาในการนึ่งข้าวเกรียบนั้นต้องนานพอให้เกิดการเจลาติไนเซชันที่สมบูรณ์ของแป้งแต่ต้องไม่ใช้เวลาในการนึ่งที่นานเกินกว่า 8-10 นาที หลังจากการเจลาติไนเซชันที่สมบูรณ์ของแป้ง ทำให้ได้ข้าวเกรียบที่มีคุณภาพด้านการพองตัวที่สูง ความหนาแน่นต่ำ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัย

6. รายการอ้างอิง

- [1] Ang, C.Y.W., Liu, K. and Hoang, Y., 1999, Asian Food Science & Technology, Technomic Publishing Company, Inc., USA.
- [2] มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง, แหล่งที่มา : <http://www.tapioca-thai.org/E4.html>, 24 เมษายน 2560
- [3] กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546, เทคโนโลยีของแป้ง, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย

- ลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [4] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนพานนท์, Gluten-free products / ผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่มีกลูเตน, แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2748/gluten-free-products>, 28 มกราคม 2560
- [5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวเกรียบ. มผช. 107/2554, กรุงเทพฯ.
- [6] Taewee, T.K., 2011, Mini review cracker “Keropok”: A review on factors influencing expansion, Int. Food Res. J. 18(3): 855-866.
- [7] Kyaw, Z., Yu, S., Cheow, C. and Dzulkifly, M., 1999, Effect of steaming time on the linear expansion of fish crackers (‘keropok’), J. Sci. Food Agric. 79: 1340-1344.
- [8] Tongdang, T., Meenun, M. and Chainui, J., 2008, Effect of sago starch addition and steaming time on making cassava cracker (Keropok), Starch/Stärke 60(10): 568-576.
- [9] Yu, S.Y. and Low, S.L., 1992, Utilisation of pre-gelatinized tapioca starch in the manufacture of a snackfood, fish cracker (‘keropok’), Int. J. Food Sci. Technol. 27: 593-596.
- [10] ลลิตา สุระรัตน์, ชัยรุจา สารคุณ และณัฐภาส ผู้พัฒน์, การผลิตข้าวเกรียบสาหร่ายเกลียวทอง, แหล่งที่มา : http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/52/01-celebrate/lalida/celebrate_00.html, 1 ตุลาคม 2558.
- [11] วันชัย โชคไพศาล, ชูเกียรติ กิจคุณาเสถียร และ กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2541, การศึกษาผลกระทบของพันธุ์มันสำปะหลังและอายุการเก็บเกี่ยวต่อคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกและกายภาพของแป้ง, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [12] Kim, Y.S., Wiesnborn, D.P., Orr, P.H., Grant, L.A., 1995, screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry, J. Food Sci. 60: 1060-1065.
- [13] Sahin, S. and Sumnu, S.G., 2006, Physical Properties of Foods, Springer Science + Business Media, LLC., USA.
- [14] Noorakmar, A.W., Cheow, C.S., Norizzah, A.R., MohdZahid, A. and Ruzaina, I., 2012, Effect of orange sweet potato (*Ipomoea batatas*) flour on the physical properties of fried extruded fish crackers, Int. Food Res. J. 19(2): 657-664.
- [15] Mohamed, S., Abdullah, N. and Muthu, M.K., 1989, Physical properties of keropok (fried crisps) in relation to the amylopectin content of starch flour, J. Agric. Food Chem. 49: 369-377.
- [16] AOAC, 2000, Official Methods of Analysis of AOAC International, 17 th Ed., AOAC International, Maryland, 31 p.
- [17] Swinkels, J.J.M., 1985, Sources of Starch, its Chemistry and Physics, pp. 15-45, In VanBeynum, G.M.A. and Roels, J.A. (Eds.), Starch Conversion Technology, Marcel Dekker, Inc., New York.

- [18] Ziaifar, A.M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I. and Trystram, G., 2008, Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process, *Int. J. Food Sci. Technol.* 43: 1410-1423.
- [19] Suknark, K., Phillips, R.D. and Huang, Y.W., 1999, Tapioca-fish and tapioca-peanut snacks by twin-screw extrusion and deep-fat frying, *J. Food Sci.* 64: 303-308.
- [20] Case, S.E., Hamann, D.D. and Schwartz, S.J., 1992, Effect of starch gelatinization of physical properties of extruded wheat and corn based products, *Cereal Chem.* 69(4): 401-404.
- [21] Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E. and Barrufet, M.A., 1999, *Deep-Fat Frying: Fundamentals and Application*, Aspen Publication, Maryland, 350 p.