



การศึกษาการพองตัวของข้าวด้วยเครื่องผลิตข้าวพองแบบแผ่น

Study on Puffing of Rice using a Rice Cake Machine

ชนิดา บุพตา¹, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์^{1*}, ภัทรพร สัญชาตเจตน์²

Chanida Bupata¹, Siwalak Pathaveerat^{1*}, Pattaraporn Sanchatjate²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, ชลบุรี, 20110

²Department of Agricultural Engineering, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, 20110

*Corresponding author: Tel: +66-86-147-2656, Fax: +66-34-351-896, E-mail: fengslp@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเป็นการแปรรูปข้าวโดยการให้ความร้อนแก่ข้าวภายใต้ความดันสูง ข้าวพองส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแผ่นกลมแบน พองกรอบ และให้พลังงานต่ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ความชื้นข้าวสาร และระยะเวลาการให้ความร้อนต่อคุณลักษณะของข้าวพองจากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในการทดลองใช้ข้าวสารที่มีความชื้นตั้งแต่ 13–19% (w.b.) โดยให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิและระยะเวลาในช่วง 220–240°C และเวลา 3–7 s ตามลำดับ พบว่าปัจจัยทั้งสามชนิดมีผลต่อคุณภาพข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และอัตราการพองตัวของข้าวพองจะมากขึ้นเมื่อค่าตัวแปรทั้งหมดเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) สีของข้าวพองขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าค่า L^* จะมีค่าลดลง ส่วนค่า b^* จะสูงขึ้น ($P < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเนื้อสัมผัสของข้าวพองทั้งความแข็งและความกรอบจะสัมพันธ์กับอัตราการพองตัว เมื่อข้าวพองตัวมากขึ้นจะทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นขณะที่ความกรอบลดลง ($P < 0.05$) ซึ่งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองจะต้องใช้ข้าวสารที่มีความชื้น 13% (w.b.) ให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิ 240°C เป็นเวลา 7 s จะได้ข้าวพองที่มีอัตราการพองตัว 6.30 เท่า โดยมีปริมาตร 29.22 cm³ ค่า L^* เท่ากับ 73.51 ได้ค่า b^* เท่ากับ 16.23 และ ค่าความแข็งเป็น 18.68 N

คำสำคัญ: ข้าวพอง, อัตราการพองตัว, สภาวะการพองตัว

Abstract

Puffed rice cake product is made by heating rice kernels under high pressure in the presence of steam. It is flat, round, crispy and low calorie. This study aimed to determine the effects of temperature, rice moisture content and heating time on the characteristics of the puffed rice from Pathum Thani 1. In the experiment, the rice moisture content, temperature and holding time were varied in the ranges of 13–19% (w.b.), 220–240°C and 3–7 s, respectively. It was found that these three parameters significantly affected the characteristics of puffed rice ($P < 0.05$) and the rate of rice expansion were increased when all factors were higher ($P < 0.05$). The color values of puffed rice were depended on the increasing of temperature and heating duration. The results exhibited that the L^* value decreased, whereas the b^* value increased ($P < 0.05$). However, the texture properties as the hardness and the brittleness were changed upon the rice extension rate. The hardness was more stiffness, but the crispness was decreased ($P < 0.05$). The optimum conditions for puffing were using the rice with moisture content of 13%, the temperature of 240°C and the extension time of 7 s that caused the expansion ratio was 6.30 times. Therefore, the product had the volume of 29.22 cm³, the L^* of 73.51, the b^* of 16.23 and the hardness value of 18.68 N.

Received: November 16, 2019

Revised: November 27, 2019

Accepted: November 27, 2019

Available online: August 21, 2020

1 บทนำ

ข้าวเป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายไปทั่วโลก โดยเฉพาะในประเทศไทย นอกจากข้าวจะเป็นอาหารหลักของไทยแล้วยังมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และยังคงเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้มากกว่าแสนล้านบาทต่อปี (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2562) จากพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปลี่ยนไป ตามวิถีการดำเนินชีวิตที่เร่งรีบ การขยายตัวของชนชั้นกลาง และค่านิยมรักสุขภาพ ทำให้มีการบริโภคข้าวที่ผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะอื่น ๆ แทนการบริโภคข้าวในลักษณะหุงสุกเพียงอย่างเดียว ไม่ว่าจะเป็นการบริโภคข้าวในรูปแบบอาหารหลักหรืออาหารว่าง เพราะสะดวกรวดเร็วและใช้เวลาในการเตรียมน้อยลงจึงได้รับความนิยมมากขึ้น เช่น ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็ว ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าจากข้าว ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง และผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าว เป็นต้น (อรอนงค์, 2556)

ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (Puffed rice product) เป็นการแปรรูปข้าว โดยทำให้ข้าวเกิดการพองตัวและยึดติดกันโดยไม่ใช้ส่วนผสมอื่นในการจับยึด มีลักษณะเป็นแผ่นแบน พองกรอบ และให้พลังงานต่ำ ผลิตภัณฑ์นี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น อินเดีย และออสเตรเลีย เป็นต้น (Hsieh et al., 1989) ทั้งนี้ Hsieh and Luh (1991) ได้อธิบายถึงการพองตัวของข้าว ซึ่งเป็นผลจากความดันทำให้อุณหภูมิในช่องว่างของเมล็ดข้าวขยายตัวจึงเกิดการพองตัวขึ้น และความร้อนที่ทำให้ข้าวสุกด้วยการระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวภายในภาชนะที่ปิดสนิท เมื่อเปิดภาชนะความดันจะลดลงอย่างรวดเร็ว น้ำจะระเหยกลายเป็นไอทำให้ข้าวพองตัวขึ้น ตามลักษณะของภาชนะที่ให้ความร้อน และมีความกรอบ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว ประกอบด้วยความชื้นของข้าวก่อนการพองตัว อุณหภูมิ และระยะเวลาของการให้ความร้อน ทั้งนี้ข้าวที่มีความชื้นต่ำเกินไปจะเกิดการพองตัวได้น้อย (Murugesan and Bhattacharya, 1986) สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสม Huff et al. (1992) ได้แนะนำอุณหภูมิในช่วง 200-270°C เนื่องจากหากอุณหภูมิสูงเกินไปจะส่งผลให้การพองตัวเพิ่มขึ้นด้วย Hsieh et al. (1989) ได้ทดลองผลิตข้าวพองด้วยเครื่อง Lite energy rice cake machine (Real Foods Pty Ltd., St. Peters, ประเทศออสเตรเลีย) โดยให้ความร้อน 4 ระดับ คือ 200 210 220 และ 230°C เป็นเวลา 8 s พบว่าอุณหภูมิ 230°C เกิดการพองตัวดีที่สุด และเมื่อเพิ่มระยะเวลาของการให้ความร้อนขึ้น จะทำให้เมล็ดข้าวมีเวลาในการดูดซับน้ำมากขึ้น ส่งผลต่อการพองตัวของข้าวเช่นเดียวกัน Hsieh et al. (1989); Maisont and Narkruga (2009) และ El-Salam et. al. (2015) ได้รายงานว่าการวิจัยสำคัญที่บอกถึงคุณภาพของการผลิตข้าวพอง คือ ความสามารถในการพองตัวและอัตราการขยายตัว

สำหรับการผลิตข้าวพองในประเทศไทย อาศัยการเรียนรู้จากรุ่นสู่รุ่นมาเป็นระยะเวลานาน เช่น การนำข้าวมาคั่วกับทรายร้อน

(ข้าวตอก) หรือการนำข้าวมาทอดในน้ำมัน (ข้าวแต๋น) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีการดังกล่าวยังไม่มีความสะดวกในการบริโภคมากนัก รวมทั้งการทอดทำให้มีปริมาณไขมันสูง เมื่อเก็บข้าวพองไว้เป็นเวลานานจะทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ (มาลี, 2535) กระบวนการทั้งสองจึงยังไม่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพสำหรับเป็นอาหารว่าง ดังนั้นการผลิตข้าวพองแบบแผ่นพร้อมรับประทานจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ เนื่องจากเหมาะสำหรับการเป็นอาหารว่างของผู้บริโภคทั่วไป และกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจเรื่องสุขภาพ อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยยังขาดข้อมูลที่เกี่ยวข้องการผลิตข้าวพองจากข้าวสายพันธุ์ไทย ทั้งนี้รวมถึงสภาวะการผลิตทั้งทางด้านอุณหภูมิ ความชื้น และคุณภาพของข้าวพันธุ์ไทยที่จะส่งผลต่อการพองตัวของข้าวพอง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองของไทยได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองแบบแผ่น ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิ ระยะเวลาในการให้ความร้อน และความชื้นของข้าวที่มีผลต่อการพองตัวของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ข้าวสารที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวพันธุ์หอมปทุมธานี 1 ความชื้นเริ่มต้น 13% (w.b.) นำข้าวสารมาปรับความชื้น 3 ระดับ คือ 15 17 และ 19% (w.b.) ตามต้องการ ด้วยวิธีการเติมน้ำ จากนั้นนำไปใส่ภาชนะปิดสนิทไว้เก็บที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 h ซึ่งเป็นการตัดแปลงจากวิธีของสุนันทา (2555) เพื่อให้เกิดสมดุลของความชื้น โดยทำการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมโดยใช้สูตรสมมูลมวล จากสมการ (1)

$$M_2 = \frac{M_3 X_{w,3} - M_1 X_{w,1}}{X_{w,2}} \tag{1}$$

- เมื่อ M_1 = มวลของข้าวสาร (kg)
- M_2 = มวลของน้ำที่ต้องเติมเข้าไป (kg)
- M_3 = มวลของข้าวสารที่มีความชื้นตามต้องการ (kg)
- $X_{w,1}$ = สัดส่วนความชื้นของข้าวสารเริ่มต้น
- $X_{w,2}$ = ความชื้นน้ำ (100% (w.b.))
- $X_{w,3}$ = สัดส่วนความชื้นของข้าวสารที่ต้องการ (15 17 และ 19% (w.b.))

2.2 การผลิตข้าวพอง

นำข้าวสารหอมปทุมธานีที่ปรับความชื้นแล้ว (13 15 17 และ 19% (w.b.)) มาขึ้นรูปเป็นแผ่นข้าวพองที่สภาวะดังกล่าว แสดงใน Table 1 ด้วยเครื่องผลิตข้าวพอง (Figure 1) ซึ่งถูกพัฒนาโดย โปธิเศรษฐ์ และอภิวัฒน์ (2559) ซึ่งเป็นการดัดแปลงจากเครื่องผลิตข้าวพองแบบ Lite energy rice cake machine

(Real Foods Pty Ltd., St. Peters, ประเทศออสเตรเลีย) ส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ แม่พิมพ์ทรงกระบอกกลมด้านบนและด้านล่าง (Figure 2) แม่พิมพ์ทั้งสองถูกทำให้ร้อนด้วยฮีตเตอร์แบบรัดท่อ (Band heater) วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (Thermocouple type K) เครื่องสามารถปรับและควบคุมอุณหภูมิด้วย temperature control

Table 1 Treatment combinations for production process of puffed rice.

Treatment	Moisture content (%)	Heating temperature (°C)	Heating time (s)
1	13	220	3
2	13	220	5
3	13	220	7
4	13	230	3
5	13	230	5
6	13	230	7
7	13	240	3
8	13	240	5
9	13	240	7
10	15	220	3
11	15	220	5
12	15	220	7
13	15	230	3
14	15	230	5
15	15	230	7
16	15	240	3
17	15	240	5
18	15	240	7
19	17	220	3
20	17	220	5
21	17	220	7
22	17	230	3
23	17	230	5
24	17	230	7
25	17	240	3
26	17	240	5
27	17	240	7

หลักการการทำงานของเครื่องผลิตข้าวพอง คือเมื่อนำข้าวสารใส่ลงในแม่พิมพ์ด้านล่างซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 mm ลึก 6 mm แล้วจึงเคลื่อนแม่พิมพ์ด้านบนลงกดปิดแม่พิมพ์ด้านล่างเพื่อทำให้เป็นภาชนะปิดสนิท เมื่อข้าวสารที่มีความชื้นได้รับความร้อนสูงภายในห้องอบที่ปิดสนิท ส่งผลให้ช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์กลายเป็นห้องอบอุณหภูมิสูงและมีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว และเกิดขบวนการ

เจลลาทีไนเซชัน ไอน้ำที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวเคลื่อนตัวออกสู่ด้านนอก เมื่อเปิดห้องอบขึ้นอย่างทันทีทันใด ความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วทันที ไอน้ำที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวจะระเหยออกรวดเร็วทันทีและดันให้เมล็ดข้าวเกิดการพองตัว องค์ประกอบของอะไมโลเพคตินที่มีความเหนียวจะช่วยประสานให้ข้าวพองกลายเป็นแผ่นโดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน เมื่อเย็นลงจะรูปร่างที่เป็นแผ่นและมีความกรอบ (ไพบูลย์, 2545; Hsieh and Luh, 1991)

วิธีการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองแบบแผ่น มีขั้นตอนดังนี้ คือ นำข้าวสารความชื้น 13% (w.b.) จำนวน 5 g ใส่ลงในเครื่องผลิตข้าวพอง โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 220 230 และ 240°C เป็นระยะเวลา 3 5 และ 7 s จากนั้นนำข้าวสารที่ความชื้น 15 17 และ 19% (w.b.) มาทำการทดสอบตามสภาวะข้างต้น (Table 1)

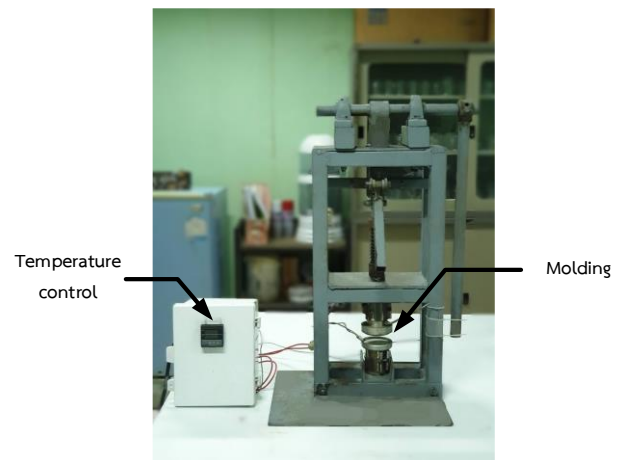


Figure 1 Equipment used in processing of rice cakes.

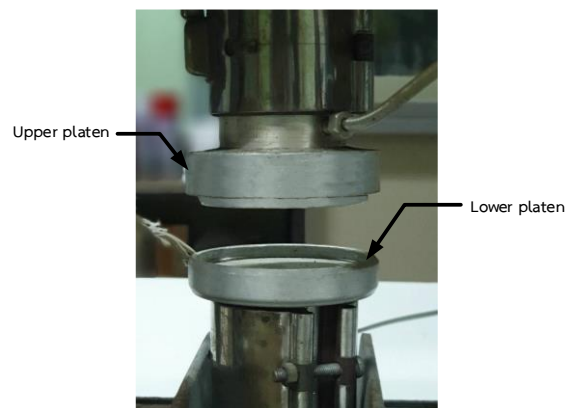


Figure 2 Mold of puffed rice cake.

2.3 การทดสอบคุณภาพข้าวพองแบบแผ่น

2.3.1 ขนาด (size)

วัดขนาดของแผ่นข้าวพองที่ได้ด้วย Vernier caliper ยี่ห้อ Mitutoyo ความละเอียด 0.02 mm (ประเทศญี่ปุ่น) โดยวัดขนาด ความกว้าง และความหนา จำนวน 3 ตำแหน่ง รอบแผ่นข้าวพองต่อหนึ่งตัวอย่าง โดยวัดจำนวน 5 ชิ้นต่อสภาวะ ตามวิธีของ Sharma (2012)

2.3.2 ปริมาตร (Volume) ของแผ่นข้าวพอง

หาปริมาตรของแผ่นข้าวพอง ตามวิธีของ Sharma (2012) ซึ่งสามารถคำนวณปริมาตรได้จากสมการ (2)

$$Volume\ of\ rice\ cake\ (cm^3) = \pi r^2 h \quad (2)$$

เมื่อ r = รัศมีของแผ่นข้าวพอง (cm)
 h = ความหนาของแผ่นข้าวพอง (cm)

2.3.3 อัตราการส่วนการพองตัว (Expansion ratio)

อัตราการการพองตัวของแผ่นข้าวพอง ถูกคำนวณโดยวิธีของ Goodman and Rao (1984) และ อุบลรัตน์ (2549) ดังสมการ (3)

$$Expansion\ ratio = \frac{Volume\ of\ rice\ cake}{Volume\ of\ rice} \quad (3)$$

2.3.4 ค่าสี (CIE L*, a*, b*)

วัดค่าสี (CIE L*, a*, b*) บนแผ่นข้าวพอง ด้วยเครื่อง Konica Minolta (รุ่น CR-10, ประเทศญี่ปุ่น) จำนวน 3 ตำแหน่ง ต่อ 1 ชิ้นตัวอย่าง โดยวัดจำนวน 5 ชิ้นต่อสภาวะ

2.3.5 คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นข้าวพอง

วัดค่าสมบัติเชิงกลของแผ่นข้าวพอง ด้วยเครื่อง Texture analyzer ยี่ห้อ Stable micro systems (รุ่น TA XT.plus, ประเทศอังกฤษ) ทำการทดสอบหาแรงโค้งงอแบบ 3 จุด (Three point bending) โดยค่าแรงกดสูงสุด คือค่า Hardness (N) และ ค่าความกรอบ Fraturability (mm) ทดสอบด้วยแรงกดขนาด 50 N หัวกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3 mm s⁻¹ ระยะกดจากผิว 10 mm ดัดแปลงจากวิธีของ Sangnark et al. (2015) โดยทดสอบจำนวน 5 ชิ้นต่อสภาวะ

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS (Version 16)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ขนาด

แผ่นข้าวพองที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นแบน กลม (Figure 3) จากการทดสอบพบว่าเมื่ออุณหภูมิ ระยะเวลาในการให้ความร้อน และความชื้นข้าวสารเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แผ่นข้าวพองที่ได้มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วง 56.71-72.89 mm โดยสภาวะที่ทำให้ข้าวพองมีขนาดใหญ่ที่สุด คือสภาวะที่ 27 ผลิตด้วยอุณหภูมิ 240°C เป็นเวลา 7 s ด้วยข้าวสารความชื้น 17%

3.2 ปริมาตร

จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิ ระยะเวลาให้ความร้อน และ ปริมาณความชื้นข้าวเริ่มต้น มีอิทธิพลต่อปริมาตรของข้าวพอง อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยสภาวะที่มีปริมาตรข้าวพองสูงสุด คือสภาวะ 9 มีปริมาตร 29.22 cm³ ส่วนสภาวะ 1 ข้าวพองมี ปริมาตรน้อยที่สุด คือ 6.83 cm³ (Figure 5) สาเหตุมาจาก ข้าวสารที่ความชื้นต่ำได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่ำและระยะเวลา ในการให้ความร้อนน้อย ยังไม่สามารถทำให้ข้าวพองตัวได้อย่าง สมบูรณ์ ซึ่งจะสอดคล้องกับอัตราการพองตัว เมื่อพิจารณาจาก ผลการทดสอบจะพบว่าที่ระดับเวลาให้ความร้อนเดียวกัน ถ้า ข้าวสารได้รับความร้อน และความชื้นข้าวสารที่มากขึ้น ส่งผลให้ ข้าวพองที่ได้มีปริมาตรเพิ่ม ดังแสดงใน (Figure 4 (b))

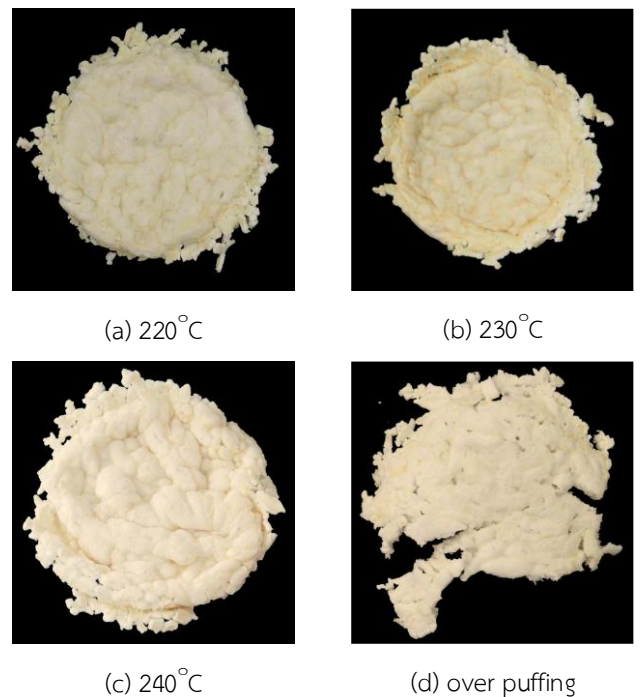


Figure 3 Puffed rice cake with difference condition.

3.3 อัตราการพองตัว

การพองตัวของข้าวพองเกิดจากความชื้นในเมล็ดข้าวเมื่อ ได้รับความร้อนภายในภาชนะที่ปิดสนิท น้ำจะกลายเป็นไอน้ำ ทำให้เกิดแรงดันในแม่พิมพ์ เมื่อแม่พิมพ์ถูกเปิดออกส่งผลให้แรงดัน ในแม่พิมพ์ลดลงอย่างกะทันหันทำให้ข้าวเกิดการพองตัวขึ้น ซึ่ง ปริมาณไอน้ำในกระบวนการทำข้าวพองจะส่งผลให้ข้าวเกิดการ พองตัวได้ดีขึ้น (Huff et al, 1992) จาก Figure 6 แสดงอัตรา การพองของข้าวพองที่สภาวะการทดสอบต่างๆ พบว่าสภาวะที่ 1 มีอัตราการพองตัวน้อยที่สุด คือ 1.47 เท่า และสภาวะ 9 มี อัตราการพองตัวมากที่สุด จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่ม อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน แผ่นข้าวพองที่ได้จะมีอัตรา การพองตัวเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยมีอัตราการพองตัวสูงที่สุดคิดเป็น 6.30 เท่า ที่เงื่อนไขการทำข้าวพองที่อุณหภูมิ 240°C เวลา 7 s

เมื่อใช้ข้าวสารที่มีความชื้นเริ่มต้น 13% (w.b.) ได้ปริมาตรข้าวพองเท่ากับ 29.22 cm³

ความชื้นและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้อัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น (Figure 4 (a)) แต่เมื่อนำข้าวสารที่ความชื้นเดียวกันมาทำข้าวพอง โดยใช้อุณหภูมิมากกว่า 240°C อัตราการพองตัวจะเริ่มลดลง ทั้งนี้ข้าวสารที่มีความชื้น 19% (w.b.) เมื่อนำมาผลิตเป็นข้าวพอง พบว่าข้าวที่มีความชื้นสูงจะมีการพองตัวมากเกินไปจนทำให้แผ่นข้าวพองที่ได้ขยายตัวมากเกินไปไม่สามารถทำให้เป็นแผ่นปกติได้ (Figure 3 (d)) แต่การทำข้าวพองที่อุณหภูมิ 240°C พบว่าการพองตัวของข้าวลดลงถึงแม้จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการผลิตข้าวพองของไพบูลย์ (2545) ด้วยเครื่องผลิตข้าวพอง พบว่าปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตข้าวพองมีอิทธิพลต่อการพองตัวของข้าว โดยข้าวจะพองตัวได้ดีที่สุด เมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 13 ที่อุณหภูมิ 170°C เป็นเวลา 6 s โดยความชื้นข้าวเป็นปัจจัยหลัก ที่มีความสัมพันธ์กับสภาวะที่ใช้ในผลิตข้าวพอง โดยพบว่าเมื่อความชื้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การพองตัวจะเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงใน Figure 4 (a) เนื่องจากอุณหภูมิจะเร่งให้น้ำในเมล็ดข้าวระเหยกลายเป็นไอน้ำเร็วขึ้น และระยะเวลาที่นานขึ้นทำให้ปริมาณไอน้ำมีมากขึ้น (Huff et al., 1992) แม้ว่าปริมาณไอน้ำจะมีผลต่อการพองตัวที่ดี แต่ถ้าอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงและเวลานานเกินไป จะทำให้บริเวณขอบนอกของเมล็ดข้าวเกิดขอบแข็งและไหม้ดำทำให้น้ำภายในเมล็ดข้าวแพร่ออกสู่ภายนอกเมล็ดได้น้อยลง จึงทำให้เกิดการพองตัวลดลงด้วย

3.4 ค่าสีของข้าวพอง

ค่าสีของข้าวพองที่วัดได้ใช้หน่วยระบบสี CIE ซึ่งจะแสดงในเทอมของตัวแปรค่าความสว่าง (Lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b*) จากการสังเกตสีของข้าวพองที่ได้ พบว่าข้าวพองจะมีสีขาวอมเหลือง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ให้ความร้อน จาก Figure 9 และ Figure 10 กราฟแสดงค่า L* และ b* ของ

แผ่นข้าวพองที่สภาวะต่างๆ พบว่าเมื่อความชื้นเริ่มต้นข้าวสาร อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสว่าง (L*) ของข้าวพองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยค่า L* สูงสุดอยู่ในช่วง 80.13-83.77 (สภาวะที่ 10-16) ที่เงื่อนไขการทำข้าวพองที่ความชื้นข้าวสาร 15% (w.b.) และอุณหภูมิ 230°C สอดคล้องกับไพบูลย์ (2545) และ Huff et al. (1992) ที่รายงานว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาให้ความร้อนนานขึ้น ส่งผลให้เมล็ดข้าวได้รับความร้อนสูงทำให้สีเข้มขึ้นดังแสดงใน Figure 7 (a) ทั้งนี้ค่า L* ยังสัมพันธ์กับการพองตัวของข้าว กล่าวคือถ้าข้าวมีการพองตัวดีจะทำให้มีค่า L* สูง และข้าวที่พองตัวน้อยจะมีค่า L* น้อย เนื่องจากการพองตัวของข้าวจะทำให้เมล็ดข้าวมีช่องว่างของอากาศภายในเมล็ดมาก จึงทำให้เมล็ดข้าวมีความโปร่งเพิ่มขึ้น (ไพบูลย์ 2545)

ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของข้าวพองในแต่ละสภาวะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ให้ความร้อน เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาที่ให้ความร้อนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า b* เพิ่มขึ้นในทุกเงื่อนไขของความชื้นข้าวสาร ส่งผลให้ข้าวพองมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นดังแสดงใน Figure 7 (b) ข้าวพองมีค่า b* สูงสุดอยู่ในช่วง 11.33-16.23 (สภาวะที่ 7-9) ที่เงื่อนไขการทำข้าวพองที่ความชื้นข้าวสาร 13% (w.b.) และอุณหภูมิ 240°C (Figure 10)

ผลของอุณหภูมิและเวลาในการผลิตข้าวพองต่อค่าสีพบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นค่าความสว่าง L* ลดลง (Figure 7 (a)) แต่ค่าความเป็นสีเหลือง b* ของข้าวพองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Figure 7 (b)) กล่าวคือ ข้าวพองจะมีสีเหลืองเข้มขึ้น ทั้งนี้อาจมาจากอุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้นทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ของไพบูลย์ (2545) และจิรวรรณ และนันทิภา (2555)

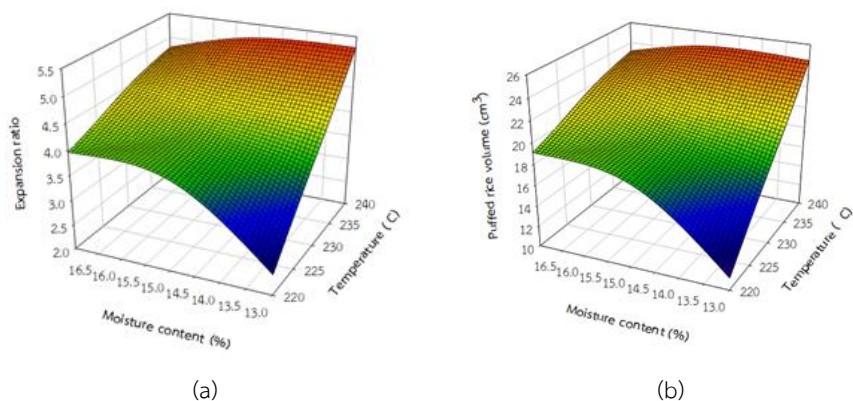


Figure 4 Expansion ratio (a) and puffed rice volume (b) of puffed rice cake in different moisture content and heating temperature.

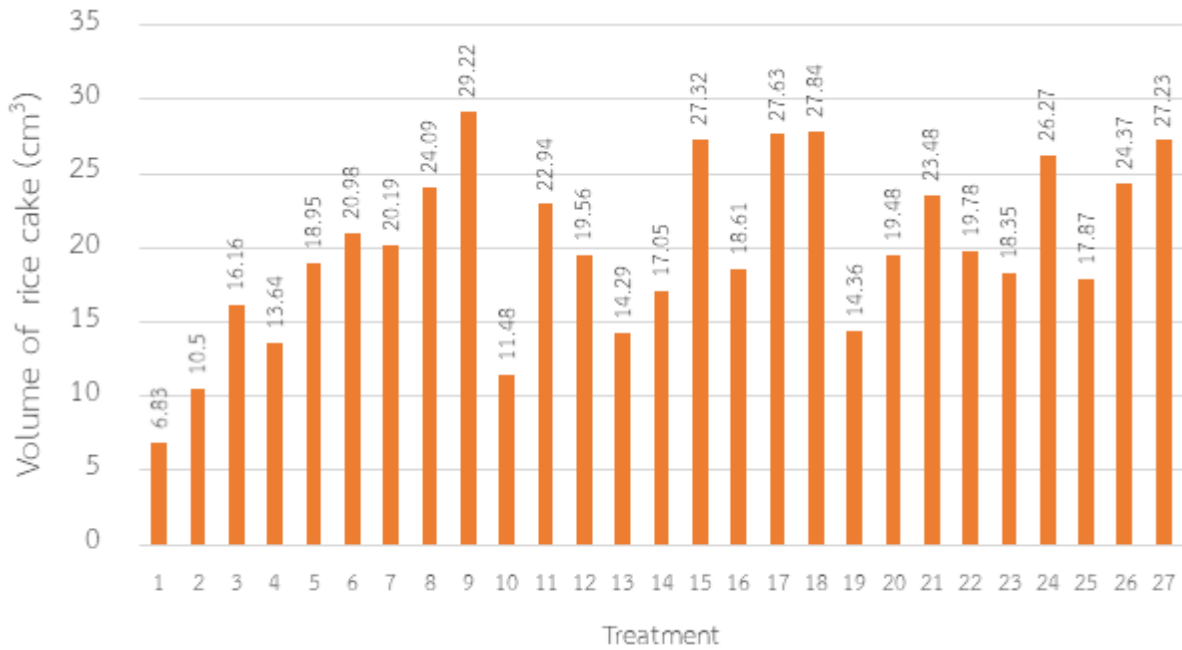


Figure 5 Volume of rice cake in different treatment.

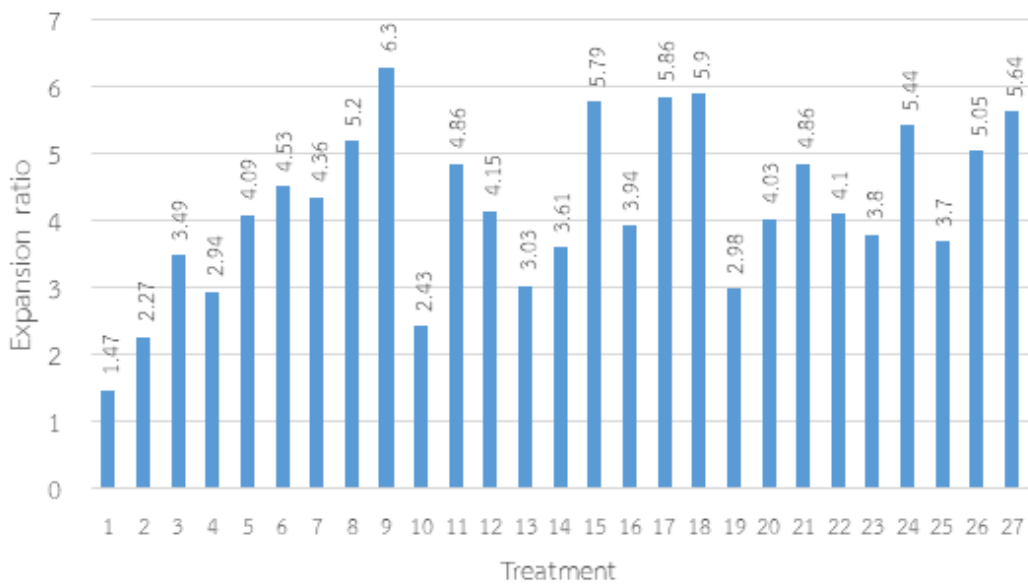


Figure 6 Expansion ratio of puffed rice cake in different treatment.

3.5 คุณสมบัติเชิงกลของข้าวพอง

การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของข้าวพองประกอบด้วย การวัดค่าความแข็งและความกรอบของข้าวของด้วยแรงกดที่ทำให้ข้าวพองแตกหัก โดยค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ข้าวพองแตกหมายถึงค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวพอง ค่าความกรอบ (Fracturability) หมายถึงค่าระยะทางที่ตกลงไปถึงจุดที่ทำให้ข้าวพองแตก ถ้าข้าวพองแตกเมื่อใช้ระยะกดสั้น หมายถึงข้าวพองแตกง่าย คือมีความกรอบมาก (ชยุวานิช, 2561) จาก Figure 11 พบว่าค่าแรงกดแตกของข้าวพองอยู่ในช่วง 10.97-20.46 N โดยที่ปัจจัยด้านอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนข้าวพองมีผลต่อค่าแรงกดแตก เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นทำ

ให้ค่าแรงกดแตกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดังแสดงใน (Figure 8 (a)) โดยที่ค่าแรงกดแตกจะสัมพันธ์กับอัตราการพองตัวของข้าวพอง เนื่องจากเมื่อข้าวพองได้รับความร้อนและไอน้ำเกิดการระเหยและทำให้ข้าวเกิดการพองตัวที่ดีกว่าจะทำให้โครงสร้างภายในมีฟองอากาศขนาดใหญ่ ส่งผลให้เมื่อวัดค่าแรงกด จึงมีแรงในการเจาะทะลุน้อยกว่า ดังนั้นสภาวะที่มีค่าแรงกดสูงสุดและน้อยสุด จึงอยู่ที่อุณหภูมิ 240°C ความชื้นข้าวสาร 17% (w.b.) และเงื่อนไขการผลิตที่อุณหภูมิ 220°C ความชื้นข้าวสาร 13% (w.b.) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานของชยุวานิช (2561) ที่พบว่าเมื่อผลิตข้าวพองด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

ที่สภาวะความชื้นสูง และใช้อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น

ค่าความกรอบของข้าวพอง พบว่าความชื้นข้าวสารเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความกรอบของข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อความชื้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะยกตเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน (Figure 8 (b)) โดยที่ระดับความชื้นข้าวสาร 17% (w.b.) ในทุกๆ สภาวะมีระยะยกตสูงสุด อยู่ในช่วง 20.56-23.14 mm หมายถึงข้าวพองแตกยากหรือความกรอบน้อย ส่วน

สภาวะที่มีระยะยกตน้อยที่สุด คืออุณหภูมิ 230°C ความชื้นข้าวสาร 13% (w.b.) มีระยะยกต 4.01 mm ซึ่งค่าระยะยกตมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งและอัตราการพองตัวของข้าวพอง เนื่องจากเมื่อข้าวเกิดการพองตัวจะเกิดฟองอากาศอยู่ภายในโครงสร้างของข้าวพองจะส่งผลให้มีความแข็งมากขึ้นจึงต้องใช้แรงมากกว่าในการกดให้แตก จึงส่งผลให้ระยะการกดมากตามไปด้วย

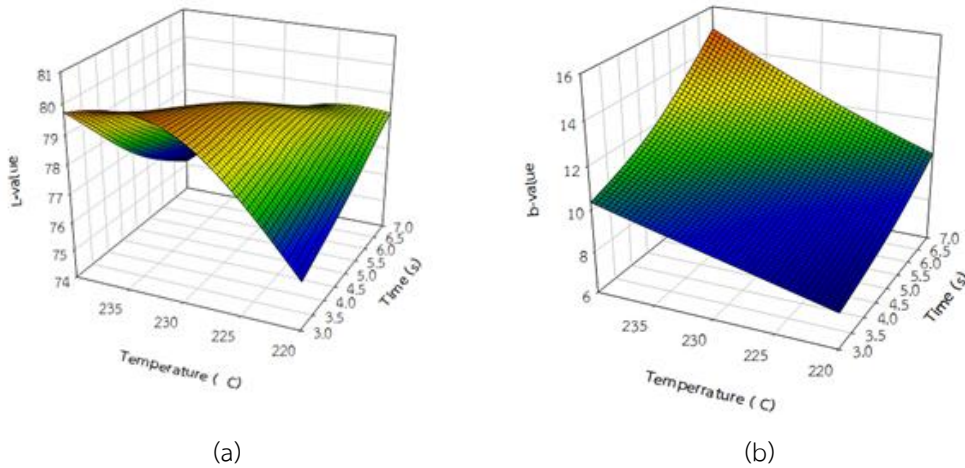


Figure 7 Change L*-value (a) and b*-value (b) of puffed rice cake in different heating temperature and time.

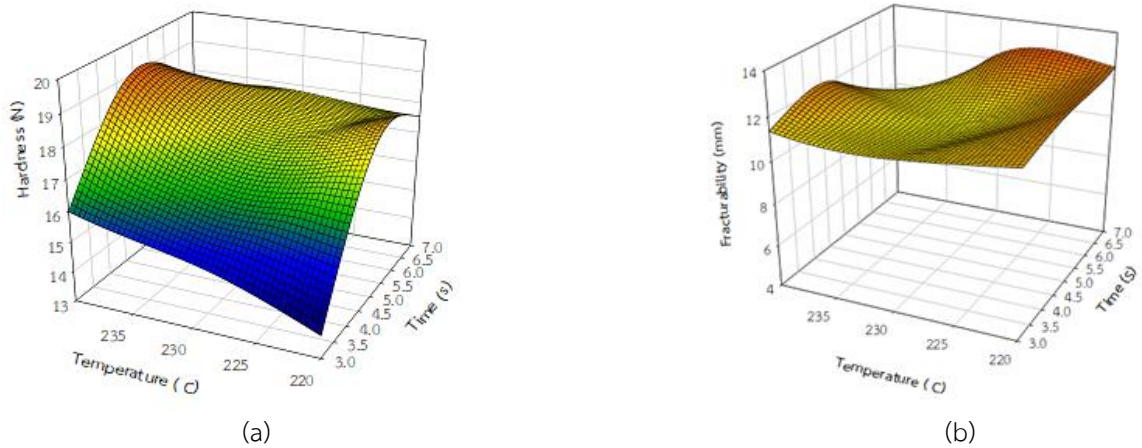


Figure 8 Hardness (a) and Fracturability (b) of puffed rice cake in different heating temperature and time.

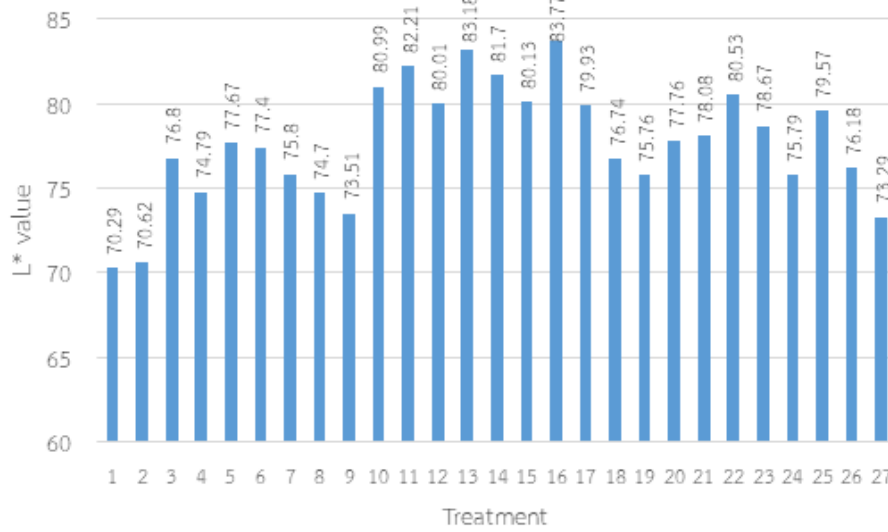


Figure 9 L* value of puffed rice cake in different treatment.

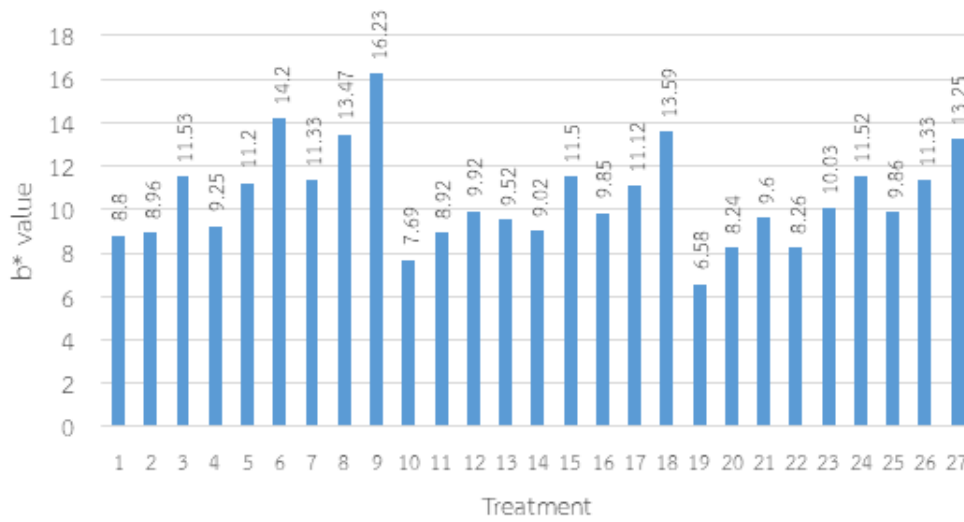


Figure 10 b* value of puffed rice cake in different treatment.

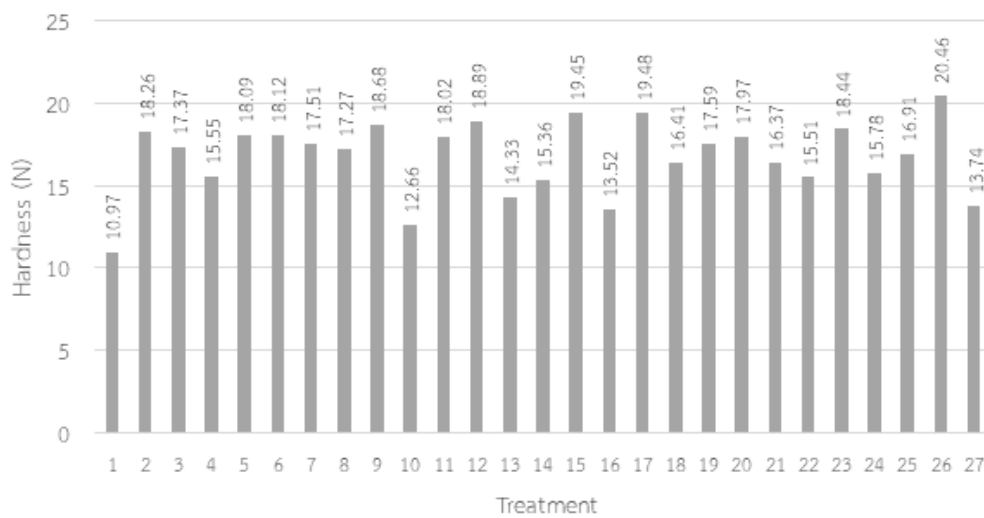


Figure 11 Hardness of puffed rice cake in different treatment.

Table 2 Effect of tempering moisture, heating temperature and heating time on the puffing qualities of Pathumthani rice cakes.

	level	Volume of puffed rice (cm ³)	Expansion ratio	L*	b*	Hardness (N)	Fracturability (mm)
Tempering moisture (%)	13	17.84 ^b ± 7.49	3.85 ^b ± 1.62	74.62 ^c ± 3.82	11.66 ^a ± 2.66	16.87 ^a ± 4.11	6.55 ^b ± 2.14
	15	20.75 ^a ± 6.17	4.40 ^a ± 1.31	80.96 ^a ± 2.69	10.13 ^b ± 1.83	16.46 ^a ± 2.85	6.43 ^b ± 1.21
	17	21.24 ^a ± 4.77	4.40 ^a ± 0.99	77.29 ^b ± 3.15	9.85 ^b ± 2.07	16.98 ^a ± 4.29	21.85 ^a ± 2.24
Heating temp (°C)	220	16.09 ^c ± 6.09	3.40 ^c ± 1.26	76.95 ^b ± 4.90	8.92 ^c ± 1.48	16.46 ^a ± 3.58	12.11 ^a ± 7.79
	230	19.62 ^b ± 5.46	4.15 ^b ± 1.14	78.87 ^a ± 3.30	10.50 ^b ± 2.03	16.74 ^a ± 3.76	11.38 ^a ± 7.89
	240	24.12 ^a ± 4.89	5.11 ^a ± 1.05	77.05 ^b ± 3.90	12.23 ^a ± 2.19	17.11 ^a ± 3.98	11.35 ^a ± 6.56
Heating time (s)	3	15.23 ^c ± 4.83	3.22 ^c ± 1.01	78.23 ^a ± 4.79	9.02 ^c ± 1.65	14.95 ^b ± 3.30	11.39 ^a ± 7.99
	5	20.37 ^b ± 5.35	4.31 ^b ± 1.13	77.71 ^{ab} ± 4.34	10.26 ^b ± 1.77	18.16 ^a ± 3.32	11.60 ^a ± 7.37
	7	24.23 ^a ± 5.51	5.12 ^a ± 1.16	76.86 ^b ± 3.12	12.37 ^a ± 2.22	17.20 ^a ± 2.83	11.85 ^a ± 6.96

Note: The letters with different superscript letters in a column are significantly different (P<0.05).

การวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิ ระยะเวลาในการให้ความร้อน และความชื้นข้าวสารที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวพอง ประกอบด้วยอัตราการพองตัว ปริมาตรข้าวพอง ค่าความแข็ง ความกรอบ และค่าสี ผลแสดงใน Table 2 พบว่าความชื้นข้าวสาร อุณหภูมิ และระยะเวลามีอิทธิพลต่ออัตราการพองตัวของข้าว ปริมาตรข้าวพอง และค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยอัตราการพองตัวและปริมาตรข้าวพองสูงขึ้นตามระดับความชื้นข้าวสาร อุณหภูมิ และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

ผลการวัดค่าความสว่าง (L*) ของข้าวพอง พบว่าเมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานและอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่า L* ของข้าวพองลดลง ผลการวัดค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) ของข้าวพอง พบว่าเมื่อข้าวพองได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง เป็นระยะเวลานานส่งผลให้ข้าวมีสีเหลืองมากขึ้น เมื่อพิจารณาทั้งค่า L* และ b* ของข้าวพอง พบว่าข้าวพองจะมีสีเหลืองเข้ม เมื่อทำให้พองตัวที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยในการพองตัวที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของข้าวพอง พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนมีอิทธิพลต่อความแข็งของข้าวพอง ซึ่งความแข็งจะมีเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ในขณะที่ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความกรอบ คือปริมาณความชื้นข้าวสาร โดยความกรอบข้าวพองที่ระดับความชื้น 17% (w.b.) จะมีค่าสูงกว่าข้าว

พองระดับความชื้น 13 และ 15% (w.b.) อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

4 สรุป

การผลิตข้าวพองจากข้าวหอมปทุม พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพข้าวพอง คืออุณหภูมิ ระยะเวลาให้ความร้อน และความชื้นข้าวสารก่อนผลิตข้าวพอง ผลด้านคุณภาพที่สำคัญคืออัตราการพองตัวมีค่ามากที่สุด คือ 6.30 เท่า ได้ปริมาตร 29.22 cm³ คุณภาพด้านสี พบว่าข้าวพองมีค่า L* อยู่ในช่วง 70.29-83.77 และ b* อยู่ในช่วง 6.58-16.23 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส พบว่าค่าความแข็งมากที่สุดคือ 20.46 N ค่าระยะกดแตกสูงสุดเท่ากับ 23.14 mm และน้อยที่สุดเท่ากับ 4.01 mm โดยสภาวะการผลิตข้าวพองที่ได้อัตราการพองตัวสูงที่สุด คืออุณหภูมิ 240°C เป็นเวลา 7 s ด้วยข้าวที่มีความชื้น 13% (w.b.) โดยแผ่นข้าวพองที่ได้มีลักษณะกลม และมีสีเหลืองเข้ม

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สัญญาเลขที่ 5421112 ทุนการศึกษาระดับปริญญาเอก มก. และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้สถานที่และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดลองครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

จิรวรรณ มณีโรจน์ และ นันทิภา พันธุ์สวัสดิ์. 2555. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นอบกรอบจากเศษเหลือปลาแชลมอน. รายงานวิจัยคณะประมง บางเขน ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 54 หน้า

ชญาณี คล่องแคล่ว. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดกรอบพองจากข้าวเจ้าเสริมน้ำหมึกผงจากหมึกกล้วย (*Loligo app.*) วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา

มาลี ชิมสกุล (2538). ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวเปลือก และต่อคุณสมบัติแป้งข้าวพองที่ได้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โพธิเศรษฐ์ โพธิ์น้อย และ อภิวัฒน์ สงวนสัตย์. 2559. รายงานฉบับสมบูรณ์ เรื่องศึกษากระบวนการผลิตป๊อปไรซ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, พิทยา อุดลยธรรม, จักรี ทองเรือง และ วรัญญ์ ศรีเดช. (2545) การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (85 แผ่น)

สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย (2562) รายงานสถานการณ์ส่งออกข้าวแนวโน้มและทิศทางการส่งออกข้าวไทย ปี 2562.

สุนันทา ทองทา (2555) การพัฒนาข้าวขึ้นรูปกึ่งสำเร็จรูปเพื่ออาหารสุขภาพ. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2551

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2556. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

อุบลรัตน์ พรหมพอง. 2549. ผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นเสริมใยอาหารจากสับปะรดและการยอมรับของผู้บริโภค : กรณีศึกษาในเขตจังหวัดลำปาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.

El Salam, K.M.A., Shaalan, A.M., El-Dalil, M.A. 2015. Popping Properties of Rice as influenced by cultivars, temperature and time of popping. Alexandria Science Exchange Journal 36(4), 358-364.

Goodman, D.E., Rao, R.M. 1984. Amylose content and puffed volume of gelatinized rice. Journal of Food Science 49 (4), 1204-1205.

Hsieh, F., Luh, B.S. 1991. Rice snack foods. In: Luh, B.S. (2nd Eds.), Rice utilization (pp 233-241). NewYork: Van Nostrand Reinhold.

Hsieh, F., Huff, H.E., Peng, I.C., Marek, S.W. 1989. Puffing of rice cakes as influenced by tempering and heating conditions. Journal of Food Science 54(5), 1310-1312.

Huff, H.E. Hsieh, F., Peng, I.C. 1992. Rice cake production using long grain and medium grain brown rice. Journal of Food Science. 57(50), 1164-1167.

Maisont, S., Narkrugsa, W. 2010. Effects of salt, moisture content and microwave power on puffing qualities of puffed rice. Kasetsart Journal: Natural Science 44, 251-261.

Murugesan, G., Bhattacharya, K.R. 1986. Studies on puffed rice. I. Effect of processing conditions. Journal of Food Science and Technology 23 (4), 197-202.

Sangnark, A., Limroongreungrat, K., Yuenyongputtakal, W., Ruengdech, A., Siripatrawan, U. 2015. Effect of Hom Nil rice flour moisture content, barrel temperature and screw speed of a single screw extruder on snack properties. International Food Research Journal 22(5), 2155-2161.

Sharma, J.K. 2012. The structure and properties of puffed rice cake. PhD dissertation. Melbourne, Australia: School of civil, Chemical and Environmental Engineering, College of Science, Engineering and Health RMIT University.