

ผลของปริมาณน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมี
โครงสร้างและสมบัติของฟลาวัวร์ข้าวกล้องอก
Effects of Water Content and Cooking Time on Chemical
Composition Structure and Properties of Germinated Purple Rice
(*Oryza sativa* var. *Glutinosa*) Flour
ปิยะนุช รสเครือ^{1*} ศุภลักษณ์ ตันติ² และ ทับทิม โลงันท์²

¹อาจารย์ ²นักศึกษา สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
จังหวัดน่าน 55000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำ (ร้อยละ 27, 37 และ 47 โดยน้ำหนักเปียก) ระยะเวลาการให้ความร้อน (1, 3 และ 5 ชม.) ที่อุณหภูมิ 110°C และระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือก (24, 36 และ 48 ชม.) ต่อองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง และสมบัติของฟลาวัวร์ข้าวกล้องอก วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design แสดงผลภายใต้พื้นที่ผิวตอบสนอง ทำการวิจัย ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลน่าน ผลการวิจัยพบว่า ระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือกไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนและไขมัน แต่มีปริมาณเยื่อใยเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตและแอมิโลส ลดลงเมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือกนานขึ้น ลักษณะเม็ดแป้งมีรูปร่างหลายเหลี่ยม พบการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ชัดเจน สมบัติทางความหนืดของฟลาวัวร์ข้าวกล้องอกลดลงเมื่อระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือกนานขึ้น อุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเปลี่ยนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย เบรกดาวน และ ค่าการคืนตัว มีแนวโน้มลดลง ($p < 0.05$) ส่วนฟลาวัวร์ข้าวกล้องอกดัดแปร พบว่า เมื่อปริมาณน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนที่ 110°C เพิ่มขึ้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตและแอมิโลส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เยื่อใยมีแนวโน้มลดลง บริเวณผิวเม็ดแป้งมีรอยแตกและหลอมรวมกัน การบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟลาวัวร์ข้าวกล้องอกไม่ดัดแปร ค่ากำลังการพองตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 85°C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกระดับปริมาณน้ำที่ใช้ดัดแปร

Abstract

The purpose of this research is to estimate the affects of water content (27, 37 and 47 % wet basis), cooking time (1, 3 and 5 hr) at 110°C and germinating time (24, 36 and 48 hr) on chemical composition structure and properties of germinated purple rice flour. A Box-Behnken design under the response surface methodology was performed to optimize their composition. Rajamangala University of Technology Lanna Nan was research place. Results demonstrated that germinating time had no significantly effect on protein and lipid content, but resulted in increasing crude fiber and decreasing carbohydrate and amylose content with increase in germinating time. Scanning electron micrographs (SEM) revealed the presence of polyhedral shape and agglomerations. Birefringence was evidenced. Pasting properties of germinated purple rice flour showed an increase in the pasting temperature but a decrease the peak viscosity, breakdown, final viscosity and setback ($p < 0.05$) as germinating time increased. Modified rice flour were increase in carbohydrate and amylose content and decrease in protein lipid ash and fiber as water content and

cooking time at 110°C increased. Change in birefringence of starch granule after heating at 110°C was examined by a polarized light microscope. SEM showed the presence of creak surfaces and agglomerations. The swelling power of germinated purple rice flour decreased with increase in cooking time. The solubility at 85°C of germinated purple rice flour was increased in each level of water content.

คำสำคัญ : ข้าวดำ แ่่งข้าวงอก โครงสร้าง กำลังการพองตัว ความหนืด

Keywords : purple rice, germinated rice flour, structure, swelling power, viscosity

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ piyanuch_ros@hotmail.com โทร. 08 2165 8141

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ข้าวดำ (Purple Rice, *Oryza sativa* var. *Glutinosa*) หรือข้าวตอย เป็นชื่อข้าวท้องถิ่นของชาวเหนือและอีสานส่วนใหญ่นิยมปลูกบนพื้นที่สูง ลักษณะสีของเมล็ดมีสีแดงเข้ม หรือแดงดำ จนเป็นสีม่วง โดยจะพบที่เยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) ความแตกต่างทางพันธุกรรมของข้าวดำพื้นเมืองขึ้นอยู่กับสารที่ทำให้เกิดสีในเมล็ดข้าวดำ จนกลายเป็นความหลากหลายทางพรรณพฤกษศาสตร์สีม่วงเป็นสารประกอบรงควัตถุพวกแอนโทไซยานิน ซึ่งสารประกอบประเภทนี้จะให้สีแตกต่างกันไปตั้งแต่สีชมพูจนถึงสีม่วงดำ นอกจากนี้ในข้าวดำยังพบสารสำคัญ ได้แก่ แกมมา-โอไรซานอล (gamma oryzanol) (Xu และคณะ, 2001) สารประกอบโปรตีนและกรดอะมิโนที่สำคัญ คือ ไลซีน (lysine) ธาตุเหล็ก สังกะสี วิตามินเอ วิตามินอี (tocopherol) วิตามินบี1 (thiamine) วิตามินบี2 (riboflavin) วิตามินบี6 (pyridoxine) (Frei และ Becker, 2004) จากคุณประโยชน์ของสารที่พบในข้าวดำทำให้มีการศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้น เช่น การสกัดแ่่งและสกัดข้าวดำ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารหลากหลายชนิด แ่่งข้าวดำมีลักษณะเป็นผงละเอียด สากมีน้อยกว่าแ่่งข้าวเจ้า สีที่ปรากฏใกล้เคียงกับสีม่วงธรรมชาติ เมื่อทำให้สุกจะมีสีม่วงเข้มขึ้น จะชุ่มเหนียวขึ้น จับตัวเป็นก้อน เหมาะสำหรับอาหารที่ต้องการความเหนียว เกาะตัว เช่น ขนมเหนียว ขนมถั่วแปบ ดังนั้นเพื่อสามารถใช้ประโยชน์จากแ่่งข้าวดำมากขึ้น การดัดแปรแ่่งด้วยวิธีการใช้ความร้อนเป็นการดัดแปรแ่่งทางกายรูป โดยควบคุมปัจจัยที่ใช้ดัดแปรคือ ปริมาณน้ำ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความร้อน ได้แ่่งดัดแปรที่มีสมบัติการละลายได้ง่าย ความหนืดลดลง ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสได้ดี (Zavareze และคณะ, 2010) ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาความสัมพันธ์ของสภาวะดัดแปร ได้แก่ ปริมาณน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง และสมบัติของฟลาวร์ข้าวดำงอก เพื่อสามารถใช้เป็นข้อมูลในการนำมาพัฒนาการใช้ประโยชน์จากข้าวดำต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการแ่่งข้าวเปลือก ปริมาณน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง และสมบัติของฟลาวร์ข้าวดำงอก
2. เพื่อสร้างความสัมพันธ์ของปัจจัยการดัดแปรต่อองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างและสมบัติของแ่่งข้าวดำดัดแปร

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบ

ข้าวเหนียวดำ พันธุ์ข้าวดำไร่พื้นเมือง แหล่งเพาะปลูก บ้านห้วยลอย ต.ภูฟ้า อ.บ่อเกลือ จ.น่าน ปีที่ปลูก พ.ศ. 2554

2.2 การเตรียมข้าวดำงอก

แ่่งข้าวเปลือกด้วยน้ำสะอาด อัตราส่วน 1:7 (ข้าว 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 7 กิโลกรัม) ที่อุณหภูมิห้อง (25±2°C) นาน 24, 36 และ 48 ชั่วโมง โดยคลุมภาชนะที่แ่่งข้าวด้วยผ้าชุบน้ำสะอาดตลอดเวลาแ่่ง จากนั้นแยกข้าวเปลือกที่ผ่านการ

แช่แต่ละช่วงเวลามาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (TD10, OFM 1997, Thailand) ที่อุณหภูมิ 50°C จนมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 15 (โดยน้ำหนักเปียก)

2.3 การศึกษาผลของปริมาณน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนในการตัดแปรฟลาวาร์ข้าวเหนียวก้างอก

ซึ่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ผ่านการงอกจากข้อ 2.2 แต่ละระยะเวลาการงอก จำนวน 500 กรัม ลงในขวดแก้วปิดฝาสนิท ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาณน้ำในช่วงร้อยละ 27, 37 และ 47 (โดยน้ำหนักเปียก) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110°C นาน 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ด้วยหม้อนิ่งความดันที่ 10 บาร์ จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C ด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด จนเหลือปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 15 (โดยน้ำหนักเปียก) นำไปชดสีเปลือกด้วยครกไม้ก่อนนำเมล็ดข้าวเก่าและเมล็ดข้าวเก่าตัดแปรมาบดด้วยโม่หิน จากนั้นร่อนแบ่งผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช บรรจุแบ่งในถุงพรอยด์ปิดสนิทเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5°C

2.4 การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี

ทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเก่าและแป้งข้าวก้างอกตัดแปร ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน (N X 5.95) ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2005) ในวิธีการที่ 925.10 991.20 922.06 985.29 และ 981.10 ตามลำดับ และหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยใช้ผลต่าง การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส โดยใช้วิธีทำให้เกิดสีกับไอโอดีน ตามวิธีของ Juliano และคณะ (1981)

2.5 ลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้ง

นำตัวอย่างแป้งติดบน stub โดยใช้เทปกาวสองหน้าหรือกาว ฉาบด้วยทองหนา 20-30 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V Sputter Coater บันทึกรูปโครงสร้างของตัวอย่างด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (JEOL รุ่น JSM-5800 LV, Japan) ควบคุมที่ 20 kV ใช้กำลังขยาย 1,000 และ 2,500 เท่า วิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง การกระจายตัวและพื้นผิวของเม็ดแป้งจากรูปที่บันทึกได้ด้วยเครื่องตามวิธี Sahai และ Jackson (1996)

2.6 ค่ากำลังการพองตัวและการละลาย

ซึ่งตัวอย่างแป้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 0.1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่หลอดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักแล้ว เติมน้ำกลั่นปริมาตร 9.9 กรัม แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 65 และ 85°C เขย่าตลอดเวลา เป็นเวลา 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ตูดของเหลวส่วนบนใส่ภาชนะที่ทราบน้ำหนักให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และนำไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 100±2°C จนแห้ง ซึ่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนแป้งเปียกในหลอดนำมาซึ่งเป็นน้ำหนักแป้งที่พองตัวตามวิธีของ Li และ Yeh (2001) แล้วนำมาคำนวณตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

2.7 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียก

ซึ่งตัวอย่าง 3.00 กรัม (ความเข้มข้น 10.71%) ใส่ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างที่มีน้ำกลั่นปริมาตรประมาณ 25.00±0.1 มิลลิลิตร ใส่ใบพัด (paddle) ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างหมุนใบพัดกวนไปมาแรงๆ และดึงขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรงๆ ประมาณ 10 ครั้ง นำถ้วยบรรจุตัวอย่างที่ใส่ใบพัดไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA-4, Newport Science, Australia) โดยปรับสภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA ดังนี้ อุณหภูมิเริ่มต้น 50°C ตั้งแต่เวลา 0-1 นาที โดย 10 วินาทีแรก ใช้ความเร็ว 960 รอบต่อนาที แล้วลดลงเป็น 160 รอบต่อนาทีตลอดการวิเคราะห์ จากนั้น

เพิ่มอุณหภูมิเป็น 95°C เป็นเวลา 3.75 นาที และรักษาให้อุณหภูมิคงที่ที่ 95°C เป็นเวลา 2.50 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงมาที่ 50°C ในช่วงเวลาระหว่าง 3.75 นาที รักษาให้อุณหภูมิคงที่ที่ 50°C เป็นเวลา 2 นาที วัดค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดความหนืด (pasting temperature), ความหนืดสูงสุด (peak viscosity), ความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น (holding strength), ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (break down), ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback)

2.8 สร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร

สร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรปัจจัยการตัดแปรแปรง ต้ององค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างและสมบัติของแป้งข้าวเหนียวกึ่งอกตัดแปร ด้วยวิธีการและการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM)

2.9 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

วางแผนการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken design แบบ 3 x 3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Statistica เวอร์ชัน 5.0 ประเมินความสัมพันธ์ของสภาวะการตัดแปรต้ององค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเคมีกายรูปของแป้งข้าวตัดแปร โดยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 17.0 ด้วย regression analysis

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลของระยะเวลาการงอกต้ององค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์ข้าวกึ่งอก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์ข้าวกึ่งอก (ตารางที่ 1) พบว่า ระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ฟลาวัวร์ข้าวกึ่งอกมีปริมาณโปรตีนและไขมันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่ปริมาณเยื่อใยเพิ่มขึ้น ปริมาณเถ้า คาร์โบไฮเดรตและแอมิโลสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในกระบวนการงอก น้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกจะไปกระตุ้นการทำงานของไฮโดรไลติกเอนไซม์ (hydrolytic enzyme) ทำให้เกิดการย่อยสลายไขมันและโปรตีนที่ บริเวณชั้นรำข้าว และบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดทำให้ปริมาณโปรตีนและไขมันบางส่วน (Shoichi, 2004; Raj และ Singaravudal, 1979) ซึ่งจากงานวิจัยนี้ปริมาณโปรตีนและไขมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) นอกจากนี้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) สามารถย่อยสลายสารอาหารที่ถูกเก็บไว้ภายในเมล็ดข้าวด้วยกระบวนการทางชีวเคมี โดยไปย่อยโมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพคติน เกิดเป็นเดกซ์ทริน (dextrins) และมอลโทส (maltose) (Brennan และคณะ, 2008) เป็นผลให้ปริมาณแอมิโลสลดลง และขั้นตอนการล้างด้วยน้ำสะอาดหลังการแช่ และการสกัดแป้งทำให้น้ำตาลบางส่วนถูกชะหลุดไปกับน้ำ ส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงเช่นกัน นอกจากนี้โมเลกุลของน้ำที่ซึมเข้าเมล็ดข้าวส่งยังกระตุ้นให้เอนไซม์สามารถย่อยเส้นใยส่วนของพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) และมูซิเลจ (mucilage) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและปริมาณเส้นใยในเมล็ดข้าวได้ (Hooda และ Jood, 2003)

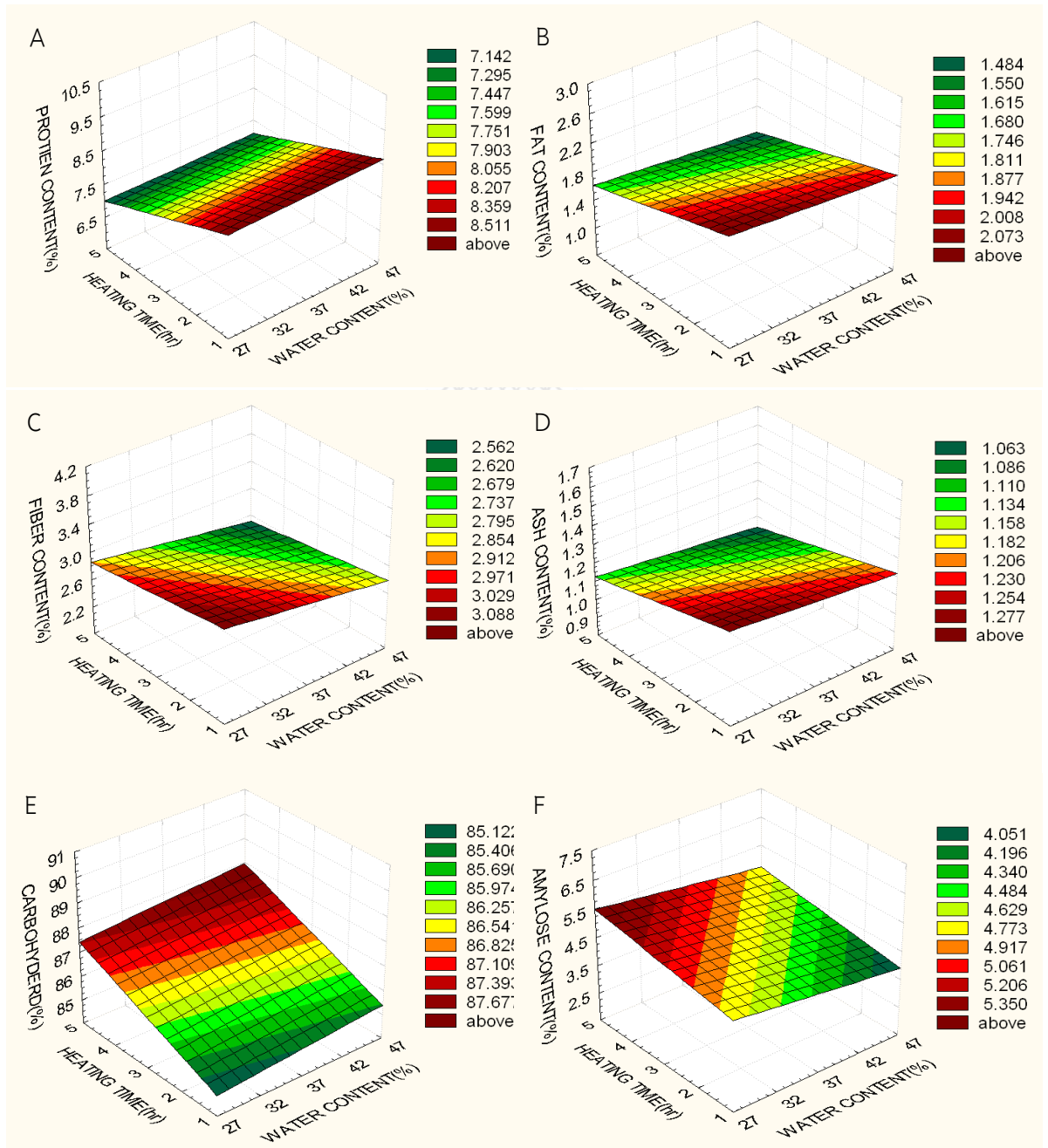
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์ข้าวกึ่งอก

ระยะเวลา การแช่ (ชม.)	องค์ประกอบทางเคมี (%โดยน้ำหนักแห้ง)						
	ความชื้น	โปรตีน ^{ns}	เถ้า	ไขมัน ^{ns}	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรต	แอมิโลส
24	11.02 ^c ± 0.11	9.74 ± 0.04	2.65 ^a ± 0.04	6.25 ± 0.13	5.75 ^c ± 0.13	75.61 ^a ± 1.49	3.56 ^a ± 0.34
36	11.57 ^b ± 0.27	9.79 ± 0.03	2.38 ^b ± 0.04	6.29 ± 0.13	6.21 ^b ± 0.11	75.33 ^b ± 1.52	3.02 ^b ± 0.11
48	12.03 ^a ± 0.10	9.82 ± 0.12	2.03 ^c ± 0.02	6.32 ± 0.12	6.55 ^a ± 0.12	75.28 ^c ± 1.22	2.56 ^c ± 0.12

a, b, c ตัวอักษรในแนวตั้งที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ns หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากรูปที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์ข้าวกึ่งอกตัดแปรด้วยปริมาณน้ำ ร้อยละ 27, 37 และ 47 (โดยน้ำหนักเปียก) และระยะเวลาการให้ความร้อนนาน 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110°C วางแผนการทดลองตามวิธี Box-Behnken design พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้าและเยื่อใย อยู่ในช่วงร้อยละ 84.49-89.80, 5.86-

9.99, 0.82-2.70, 0.90-1.59 และ 2.11-3.80 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ จากองค์ประกอบทางเคมีของฟลาวาร์ข้าว ก้างอกตัดแปรมีค่าแตกต่างกันเป็นช่วงกว้าง เนื่องจากความแตกต่างของสภาวะการตัดแปร สามารถแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนในการตัดแปรฟลาวาร์ข้าว ก้างอกต่อองค์ประกอบทางเคมีด้วยกราฟ พื้นที่ผิวตอบสนอง



รูปที่ 1 ผลของปริมาณน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อนต่อ ปริมาณโปรตีน (A), ปริมาณไขมัน (B), ปริมาณเยื่อใย (C), ปริมาณเถ้า (D) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (E) และปริมาณแป้ง (F) ของฟลาวาร์ข้าว ก้างอกตัดแปร

ปริมาณโปรตีนของฟลาวัวร์ข้าวก่ำดัดแปรมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นในทุกระดับปริมาณน้ำที่ใช้ดัดแปร (รูปที่ 1A) ส่วนปริมาณไขมัน เยื่อใย และเถ้ามีแนวโน้มลดลงในสภาวะดัดแปรที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 5 ชั่วโมงที่ 110°C และปริมาณน้ำ 47% (รูปที่ 1B-1D) นอกจากนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของฟลาวัวร์ข้าวก่ำดัดแปรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อน 110°C และปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น (รูปที่ 1E) โดยที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 110°C นาน 5 ชั่วโมงและปริมาณน้ำ 47% มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด ส่วนปริมาณแอมิโลสของฟลาวัวร์ข้าวก่ำดัดแปรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อน 110°C เพิ่มขึ้น และใช้ปริมาณน้ำดัดแปรน้อยที่สุด (รูปที่ 1F) เนื่องจากการใช้ความร้อนขึ้นจะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างแอมิโลส-แอมิโลส และ/หรือ อะมิโลเพกติน-อะมิโลเพกติน จึงเป็นผลให้เกิดการลดการละลายของแอมิโลสและลดการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Chung และคณะ, 2009)

3.2 ผลของระยะเวลาการงอกต่อโครงสร้างของฟลาวัวร์ข้าวก่ำงอก

ลักษณะของเม็ดแป้งของฟลาวัวร์ข้าวก่ำงอกที่ผ่านการแช่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อตรวจสอบดูลักษณะของเม็ดแป้งด้วยเครื่อง SEM พบว่า เม็ดแป้งมีขนาดเล็กรูปร่างทรงหลายเหลี่ยม และจับตัวกันเป็นก้อน เนื่องจากฟลาวัวร์ข้าวก่ำงอกมีองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันสูง โดยที่โปรตีนส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวเม็ดแป้งมีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง นอกจากนี้ไขมันมีทั้งบริเวณผิวและกระจายอยู่ทั่วไปภายในเม็ดแป้งซึ่งมีผลต่อการกระจายตัวของแป้งเช่นกัน (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543) เมื่อผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นเม็ดแป้งมีลักษณะจับกันเป็นก้อน รูปร่างเปลี่ยนไป บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งมีลักษณะการแตก (crack) และถูกหลอมอย่างเห็นได้ชัดในสภาวะที่มีปริมาณน้ำสูง เม็ดแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 110°C นานมากกว่า 3 ชั่วโมงขึ้นไป มีพื้นผิวที่เกิดรอยแตกของเม็ดแป้งมากขึ้น บางส่วนบริเวณผิวมีการหลอมของเม็ดแป้งจึงมีโอกาสร่วมกันเป็นก้อนติดกัน รูปแบบของการแตกบริเวณผิวของเม็ดแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นส่วนใหญ่จะเกิดพร้อมๆกับลักษณะกลวงภายในเม็ดแป้ง (Chung และคณะ, 2009)

ตารางที่ 2 ลักษณะพื้นที่ผิวและรูปร่างของเม็ดฟลาวัวร์ข้าวก่ำงอกโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM)

ระยะเวลาการแช่ (ชม.)	X1000	X2500
24		
36		

ตารางที่ 3 ปริมาณหนืดของฟลาวัวร์ข้าวก่ำอกที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆ

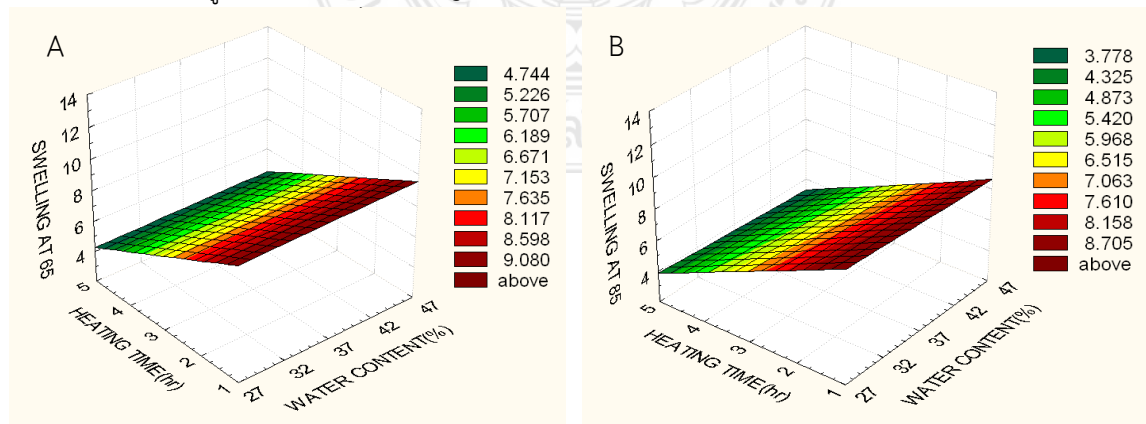
	ระยะเวลาการแช่ (ชม.)		
	24	36	48
Pasting temperature (°C)	68.73 ^c ± 0.88	72.41 ^b ± 1.15	75.24 ^a ± 0.34
Peak viscosity (RVU)	654.50 ^a ± 31.32	391.00 ^b ± 11.41	331.50 ^c ± 26.16
Holding strength (RVU)	184.50 ^a ± 2.12	57.00 ^b ± 1.41	23.00 ^c ± 1.41
Breakdown (RVU)	470.00 ^a ± 29.70	334.00 ^b ± 2.83	308.50 ^c ± 24.75
Final viscosity (RVU)	260.00 ^a ± 1.41	75.00 ^b ± 2.83	30.50 ^c ± 0.71
Setback (RVU)	75.50 ^a ± 0.71	18.00 ^b ± 1.41	7.50 ^c ± 0.71

a, b, c ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50°C และค่า setback พบว่า แป้งข้าวก่ำอกที่ระยะเวลาการแช่ 24 ชั่วโมง มีค่า setback สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวก่ำอกที่ระยะเวลาการแช่ 24 ชั่วโมง โมเลกุลแอมิโลสหลุดออกจากโครงสร้างมากกว่าฟลาวัวร์ข้าวก่ำอกระยะเวลาการแช่ 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 3) และค่า setback ลดลงเมื่อระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้น อาจเป็นผลจากความร้อนและความชื้นไปส่งเสริมให้เกิดการเชื่อมพันธะระหว่างแอมิโลส-แอมิโลส, แอไมโลเพคติน-แอมิโลส, แอมิโลส-ลิปิด ส่งผลให้โครงสร้างของแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น (Gujska และคณะ, 1994) นอกจากนี้ความคงตัวต่อความร้อนของ ฟลาวัวร์ข้าวก่ำอกมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาการแช่เนื่องจากในฟลาวัวร์ข้าวก่ำอกมีสิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งได้แก่ โปรตีน และไขมันสูงซึ่งสามารถเกิดอันตรกิริยากับเม็ดแป้งระหว่างที่ได้รับความร้อนส่งผลให้โครงสร้างแข็งแรง (Gujska และคณะ, 1994)

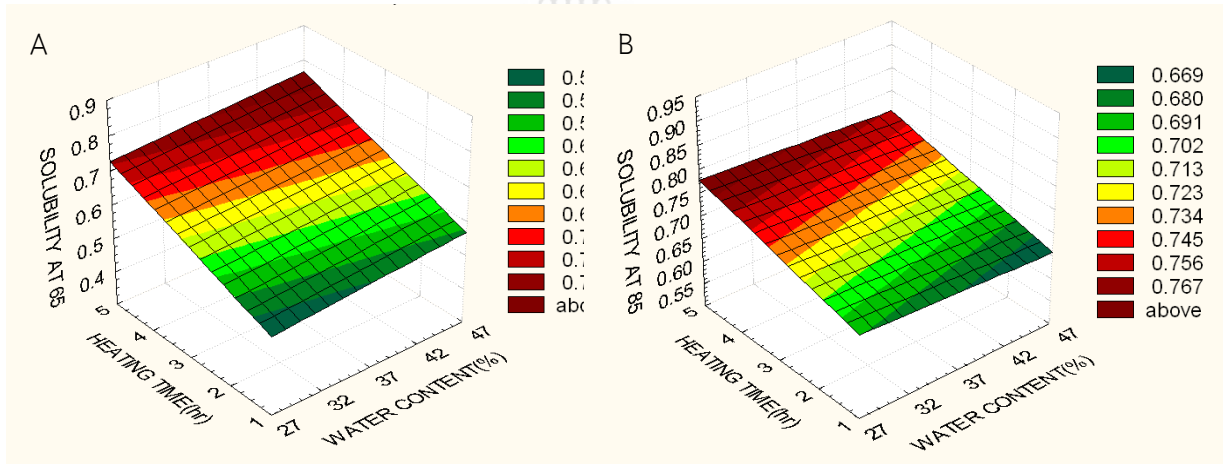
3.4 ผลความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการให้ความร้อนและปริมาณน้ำในการตัดแปรต่อกำลังการพองตัวและการละลายของฟลาวัวร์ข้าวก่ำอก

จากรูปที่ 3 ค่ากำลังการพองตัวของฟลาวัวร์ข้าวก่ำอกตัดแปร ที่อุณหภูมิ 65 และ 85°C มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนที่ 110°C เพิ่มขึ้นในทุกระดับปริมาณน้ำที่ใช้ตัดแปร (รูปที่ 3A และ 3B) เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นกำลังการพองตัวของเม็ดฟลาวัวร์ข้าวก่ำอกตัดแปรลดลง เนื่องจากเกิดการเชื่อมพันธะระหว่างโมเลกุลแอมิโลส-แอมิโลส และแอมิโลส-แอมิโลเพคติน (Jacobs และคณะ, 1995) และการเกิดพันธะระหว่างแอมิโลส-ลิปิด (Waduge และคณะ, 2006) การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของผลึกภายในส่วนออสซิลลูมของเม็ดแป้ง (Hoover และ Vasanthan, 1994) ซึ่งเป็นผลให้จำนวนผลึกในโครงสร้างเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น จนทำให้เกิดความแข็งแรงของพันธะภายในเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซึมน้ำจึงลดลง (Waduge และคณะ, 2006)



รูปที่ 3 ผลของระยะเวลาการให้ความร้อนและปริมาณน้ำของฟลาวัวร์ข้าวก่ำอกตัดแปรต่อกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65°C (A) และ 85°C (B)

ค่าการละลายของฟลาร์ข้าวกล้องกึ่งดัดแปรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนที่ 110°C เพิ่มขึ้น ในทุกระดับปริมาณน้ำที่ใช้ดัดแปร (รูปที่ 4A และ 4B) ที่อุณหภูมิ 65°C ค่าการละลายของเม็ดแป้งของ ฟลาร์ข้าวกล้องกึ่งดัดแปรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนที่ 110°C และปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณน้ำระดับ 47% และระยะเวลาการให้ความร้อนที่ 110°C นาน 5 ชั่วโมง มีค่าการละลายของเม็ดแป้งของฟลาร์ข้าวกล้องกึ่งดัดแปรมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากกระบวนการแช่และผ่านการให้ความร้อนจะมีผลต่อการหลุดออกของสารประกอบน้ำตาล และแอมิโลสทำให้มีสารประกอบที่ละลายได้เพิ่มขึ้น (Jangchud และคณะ, 2003) นอกจากนี้ที่อุณหภูมิ 85°C ค่าการละลายของเม็ดแป้งของฟลาร์ดัดแปรข้าวกล้องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนที่ 110°C เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณน้ำระดับร้อยละ 47 ระยะเวลาการให้ความร้อนที่ 110°C นาน 1 ชั่วโมง มีค่าการละลายของเม็ดฟลาร์ข้าวกล้องกึ่งดัดแปรแนวโน้มต่ำที่สุด และที่ปริมาณน้ำระดับร้อยละ 27 ระยะเวลาการให้ความร้อนที่ 110°C นาน 5 ชั่วโมง ค่าการละลายของเม็ดฟลาร์ข้าวกล้องกึ่งดัดแปรสูงที่สุด ซึ่งอาจจะเกิดได้จากเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นในการละลายของเม็ดแป้ง มีผลทำให้ปริมาณการละลายของเม็ดแป้งของฟลาร์ข้าวกล้องกึ่งดัดแปรเพิ่มขึ้น เนื่องจากแอมิโลสที่หลุดออกมาโดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่ขาดและหลุดออกจากแกรนูลระหว่างการพองตัว การหลุดออกของแอมิโลสเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของแป้งได้รับความร้อนและน้ำ (Tester และ Morrison, 1990)



รูปที่ 4 ผลของระยะเวลาการให้ความร้อนและปริมาณน้ำของฟลาร์ข้าวกล้องกึ่งดัดแปรต่อการละลายที่อุณหภูมิ 65°C (A) และ 85°C (B)

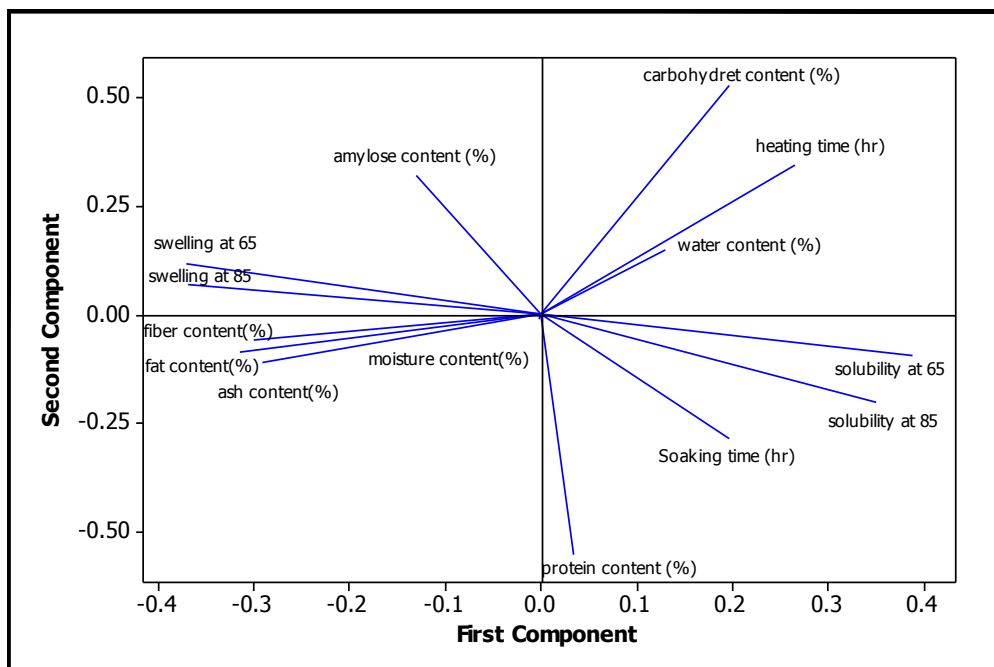
3.6 การประเมินความสัมพันธ์ของสภาวะการดัดแปรต่อองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่

จากความสัมพันธ์ของสภาวะการดัดแปร ได้แก่ ปริมาณน้ำ ระยะเวลาการให้ความร้อนข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 110°C และระยะเวลาการงอก กับองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาร์ข้าวกล้องกึ่งดัดแปรด้วย Principal component analysis (PCA) สามารถบอกความสัมพันธ์ได้ดังนี้ ปริมาณน้ำและระยะเวลาการให้ความร้อน มีอิทธิพลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต ในทิศทางเดียวกัน แต่ ปริมาณความชื้น ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ในทิศทางตรงข้ามกัน การแช่มีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนและสมบัติการละลาย ที่อุณหภูมิ 65 และ 85°C ในทิศทางเดียวกันแต่ ปริมาณแอมิโลสและสมบัติการพองตัว ที่อุณหภูมิ 65 และ 85°C ในทิศทางตรงข้ามกัน (รูปที่ 5)

ระยะเวลาการให้ความร้อนและปริมาณน้ำ เป็นปัจจัยทางการผลิตแปรรูปในการทดลองนี้ โดยมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตและแอมิโลส นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ กำลังการพองตัวและการละลายดังรูปที่ 5 สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสมการ (model equation) จากการใช้ regression

analysis ได้สมการความสัมพันธ์ โดยกำหนดค่า X = ระยะเวลาการแช่, Y = ปริมาณน้ำ, Z = ระยะเวลาการให้ความร้อน ดังนี้

คาร์โบไฮเดรต	= $84.889-0.002X^2-0.002Y^2+0.142Z^2+0.004XY-0.016XZ+0.011YZ,$	$R^2 = 0.79$
แอมิโลส	= $6.516-0.003 X^2-0.001 Y^2-0.102 Z^2-0.001 XY +0.032 XZ -0.008 YZ,$	$R^2 = 0.75$
กำลังการพองตัว (85°C)	= $10.768-0.006X^2-0.002Y^2-0.021Z^2+0.008XY+ 0.024XZ-0.053YZ,$	$R^2 = 0.77$
การละลาย (85°C)	= $0.586+0.007Z^2-0.002XZ+0.001YZ,$	$R^2 = 0.81$



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการตัดแปรรูปต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์ข้าวกล้องอกตัดแปรรูป

4. สรุป

การแช่ข้าวเปลือกในระยะเวลา 48 ชั่วโมง ไม่มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนและไขมันเปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้ปริมาณเยื่อใยเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณเถ้า คาร์โบไฮเดรต แอมิโลส และสมบัติด้านความเหนียวของแป้งลดลงในกระบวนการตัดแปรรูปด้วยสภาวะที่มีปริมาณน้ำ และระยะเวลาการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110°C เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ฟลาวัวร์ข้าวกล้องอกตัดแปรรูปที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและแอมิโลสเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใยลดลง มีการพองตัวได้น้อยแต่สามารถละลายได้ดี จากสมบัติดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพิ่มความข้นไม่ต้องการความเหนียวมาก เช่น ซุปข้าวกล้องอกกึ่งสุก น้ำสลัดไขมันต่ำ เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำหรับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ด้วยงบประมาณผลประโยชน์มหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2555

6. เอกสารอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 หน้า.
- Adebowale, K.O., Afolabi, T.A. and Olu-Owolabi, B.I. 2005. **Hydrothermal treatments of Finger millet (*Eleusine coracana*) starch**. Food Hydrocolloid. 19: 974–983.
- AOAC. 2005. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA, Official Method 2005.8
- Brennan, M.A., Mert, I., Monro, J., Woolnough, J. and Brennan, C.S. 2008. **Impact of guar gum and wheat bran on the physical and nutritional quality of extruded breakfast cereals**. Starch/Starke. 60: 248–256.
- Chung, H. J., Liu, Q. and Hoover, R. 2009. **Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn pea and lentil starches**. Carbohydr. Polym. 75: 436–447.
- Frei, M. and Becker, K. 2004. **Rice Biodiversity and Nutrients**. Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Stuttgart. Germany.
- Gujska, E., Reinhard, W.D. and Khan, K. 1994. **Physicochemical properties of field pea, pinto and navy bean starches**. J. Food Sci. 59: 634–636.
- Hooda, S. and Jood, S. 2003. **Effect of soaking and germination on nutrient and antinutrient contents of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*)**. J. Food Biochem. 27: 165-176.
- Hoover, R. and Vasanthan, T. 1994. **The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches**. J. Food Biochem. 17: 303–325.
- Jacobs, H., Eerlingen, R.C., Clauwaert, W. and Delcour, J.A. 1995. **Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources**. Cereal Chem. 72: 80–487.
- Jangchud, K., Phimolsiripol, Y. and Haruthaithanasan, V. 2003. **Physicochemical properties of sweet potato flour and starch as affected by blanching and processing**. Starch/Starke. 55: 258–264.
- Juliano, B.O., Perez, C.M., Blakeney, A.S., Castillo, D.E., Kongseree, N., Laingnelet, B., Lapis, E.T., Murthy, V.S., Paule, C.M. and Webb, B.D. 1981. **International cooperative testing on the amylose content of milled rice**. Starch/Starke. 33: 157-162.
- Li, Y.J. and Yeh, A.I. 2001. **Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches**. J. Food Eng. 50: 141–148
- Raj, S.A. and Singaravadival, R. 1979. **Influence of soaking and steaming on the loss of simple constituents in paddy**. J. Food Sci and Tech. 17: 141-143.
- Sahai, D. and Jackson, D.S. 1996. **Structural and chemical properties of native corn starch granules**. Starch/Starke. 48: 249-255.
- Shoichi, I. 2004. **Marketing of value-added rice products in Japan: germinated brown rice and rice bread**. FAO rice conference. 1-10.

- Tester, R.F. and Morrison, W.R. 1990. **Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose and lipids.** Cereal Chem. 67: 551–557.
- Waduge, R.N., Hoover, R., Vasanthan, T., Gao, J. and Li, J. 2006. **Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylose content.** Food Res. Int. 39: 59–77.
- Xu, Z., Hua, N., and Godber, J. S. 2001. **Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and γ -oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobis(2-methylpropionamide) dihydrochloride.** J. Agri. Food Chem. 49: 2077-2081.
- Yang, Y. and Tao, W.-Y. 2008. **Effect of lactic acid fermentation on FT-IR and pasting properties of rice flour.** Food Res. Int. 41: 937-940.
- Zavareze, E.R., Storck, C.R., Suita de Castro, L.A., Schirmer, M.A. and Guerra Dias, A.R. 2010. **Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylase content.** Food Chem. 121: 358-365.

