

ประสิทธิผลการแกะเปลือกและคุณสมบัติของแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม ที่เป็นผลจากการให้ความร้อน

Dehulling Effectiveness and Properties of Full-fat Soy Flour as Affected by Thermal Treatments

วนิดา ชารีมูย์¹ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี^{1,*} และ โชติกา วิริยะรัตนศักดิ์²

Wanida Chareemuy¹, Chairath Tangduangdee^{1,*} and Chotika Viriyarattanasak²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

² สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

¹ Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand

² Pilot Plant Development and Training Institute, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10150, Thailand

รับเรื่อง: มีนาคม 2561 Received: March 2018

รับตีพิมพ์: พฤษภาคม 2561 Accepted: May 2018

* Corresponding author: chairath.tan@kmutt.ac.th

ABSTRACT: This research was aimed to study the effects of thermal treatments via steaming (0, 5, 10 and 15 min) and drying (60, 100, 130, and 160°C) on dehulling effectiveness and properties of full-fat soy flour (urease activity, nitrogen solubility index, foaming capacity and stability, and color). The results demonstrate the interaction effect between steaming and drying on dehulling effectiveness and properties of full-fat soy flour ($P \leq 0.05$). The longer steaming time and higher drying temperature applied to soybean, the higher dehulling effectiveness but lower functional properties of soy flour. The results indicate that steaming for 15 min and 5–15 min prior to drying at 100 and 130°C, respectively and also drying at 130°C with/without steaming sufficiently destroyed trypsin inhibitor. Moreover, there was no significant difference in dehulling effectiveness (0.88–0.90), nitrogen solubility index (5.97–9.11%), foaming capacity (5.96–7.96%) and foaming stability (1.94–3.88%) among these thermal treatments ($P > 0.05$). On the other hand, drying soybean at 60°C prior to dehulling step insufficiently destroyed trypsin inhibitor; however, this thermal treatment provided the best functional properties of soy flour. The results reported in this study would be useful for improving the performance of soy flour production in the industrial-scale.

Keywords: Full fat soy flour, dehulling, thermal pretreatments, functional properties

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนถั่วเหลืองด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (0, 5, 10 และ 15 นาที) ร่วมกับการอบแห้ง (60, 100, 130 และ 160 องศาเซลเซียส) ต่อประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกและคุณสมบัติของแป้งถั่วเหลือง (การทำลายสารยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการ (Urease activity), ดัชนีการละลายของไนโตรเจน, ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัว และค่าสี) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการนึ่งด้วยไอน้ำร่วมกับการอบแห้งมีอิทธิพลร่วมต่อประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก และคุณสมบัติของแป้งถั่วเหลือง ($P \leq 0.05$) โดยการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น (ระยะเวลาหนึ่งทีมากและ/หรือ อุณหภูมิการอบแห้งที่สูง) จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกสูงแต่แป้งถั่วเหลืองที่ได้มีสมบัติเชิงหน้าที่ด้านดัชนีการละลายของไนโตรเจนและความสามารถในการเกิดโฟมลดลง และสีเข้มขึ้น สภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมในการผลิตแป้งถั่วเหลืองได้แก่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 และ 130 องศาเซลเซียส ร่วมการนึ่งด้วยไอน้ำนาน 15 และ 5-15 นาที ตามลำดับหรือการอบแห้งถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูง 160 องศาเซลเซียส โดยไม่ขึ้นกับการนึ่งก่อนการอบแห้ง เนื่องจากการให้ความร้อนที่สภาวะเหล่านี้ส่งผลให้มีการทำลายสารยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการอย่างเพียงพอ อีกทั้งยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก (0.88-0.90), ดัชนีการละลายของไนโตรเจน (ร้อยละ 5.97-9.11) ความสามารถในการเกิดโฟม (ร้อยละ 5.96-7.96) และความคงตัว (ร้อยละ 1.94-3.88) ที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ในขณะที่การให้ความร้อนถั่วเหลือง 60 องศาเซลเซียส ก่อนการกะเทาะเปลือกไม่สามารถทำลายสารยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการได้อย่างเพียงพอแม้ว่าจะส่งผลให้แป้งถั่วเหลืองที่ได้มีสมบัติเชิงหน้าที่ด้านดัชนีการละลายของไนโตรเจนและความสามารถในการเกิดโฟมได้ดีที่สุด ข้อมูลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ในการ

พัฒนาประสิทธิภาพการผลิตแป้งถั่วเหลืองในระดับอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม, กะเทาะเปลือก, การเตรียมวัตถุดิบโดยใช้ความร้อน, สมบัติเชิงหน้าที่

บทนำ

แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม (Full-fat soy flour) ประกอบด้วยโปรตีนสูงถึงร้อยละ 40 (Ukwuru, 2003) มีสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) ที่เป็นประโยชน์ และมีราคาถูก ด้วยเหตุนี้แป้งถั่วเหลืองจึงได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงในการนำมาผลิตอาหารที่มีโปรตีนสูงเพื่อทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ เช่น น้ำเต้าหู้และเต้าหู้ (Liu *et al.*, 2013) รวมถึงการเพิ่มปริมาณโปรตีนและ/หรือทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (Panyajiva, 2005; Sanful and Darko, 2010; Shin *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2015) ปัจจุบันประเทศไทยพบปัญหาการปนเปื้อนเปลือกถั่วซึ่งมีปริมาณไฟเบอร์สูงและไม่ละลายน้ำในแป้งถั่วเหลืองซึ่งส่งผลให้แป้งถั่วเหลืองมีความหนืดสูงและรสขม เมื่อนำแป้งถั่วเหลืองที่มีการปนเปื้อนเปลือกถั่วไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารจะส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นไม่ได้ตามต้องการ

การผลิตแป้งถั่วเหลืองโดยทั่วไปเริ่มจากการทำความสะอาด คัดแยกขนาดของเมล็ด อบแห้งกะเทาะแยกเปลือก บดและร่อนเพื่อให้ได้แป้งถั่วเหลือง ขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของเปลือกถั่วและคุณภาพของแป้งถั่วเหลืองคือ การอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ความชื้นของเมล็ดถั่วเหลืองลดลงอย่างรวดเร็วและง่ายต่อการกะเทาะแยกเปลือก อย่างไรก็ตาม การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้โปรตีนที่มีอยู่ในแป้งถั่วเหลืองเสียสภาพทางธรรมชาติและส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วเหลือง Panyajiva (2005) รายงานว่า การอบ

แห้งข้าวเหลืองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง ทำให้ได้แป้งข้าวเหลืองที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ (เช่น สมบัติทางอิมัลซิฟิเออร์ความสามารถในการเกิดโฟม (Foaming capacity) สมบัติการเกิดเจล และค่าดัชนีการละลายของไนโตรเจน (Nitrogen Solubility Index, NSI)) ที่ดี และเมื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (เช่น เค้ก โดนัทเค้ก และขนมปัง เป็นต้น) ยังได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในด้านสี และเนื้อสัมผัสมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ได้จากการอบแห้งข้าวเหลืองที่อุณหภูมิสูง 130 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

รายงานทางวิชาการหลายฉบับแนะนำให้มีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Pre-treatment) (เช่น การต้ม การแช่น้ำ การแช่ในสารเคมี การนึ่งด้วยไอน้ำ หรือการใช้วิธีเหล่านี้ร่วมกัน) ก่อนการอบแห้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแกะเปลือก (Mpagalile *et al.*, 2008; Ukwuru, 2003) การเตรียมวัตถุดิบโดยการใช้ความร้อน (Thermal pretreatment) เป็นที่นิยมสำหรับการเตรียมแป้งจากเมล็ดพืช เนื่องจากความร้อนสามารถทำลายสารยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการ (Trypsin inhibitor) การป้องกันการเกิดกลิ่นข้าว และเพิ่มประสิทธิภาพของการแกะเปลือก (Mpagalile *et al.* (2008) รายงานว่า การนึ่งเมล็ดข้าวเหลืองด้วยไอน้ำ (Steaming) ก่อนการอบแห้งที่ 43–46 องศาเซลเซียสช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแกะเปลือกจากการย่อยสลาย 57 เป็น 92 นอกจากนี้ Tiwari *et al.* (2010) รายงานว่า การนึ่งข้าวแระ 10 นาที และอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียสเพิ่มประสิทธิภาพการแกะเปลือกจากการย่อยสลาย 43 เป็น 74 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการนึ่งก่อนการอบแห้ง

การสำรวจเอกสารทางวิชาการดังรายงานข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการให้ความร้อนก่อนการแกะเปลือก (การเตรียมวัตถุดิบและอบแห้ง) ต่อคุณภาพของแป้งข้าวเหลืองและประสิทธิภาพของการแกะเปลือก อย่างไรก็ตาม การศึกษาผลร่วระหว่างการนึ่งด้วยไอน้ำและการอบแห้งก่อนการ

แกะเปลือกยังมีข้อมูลไม่มากพอต่อการตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตแป้งข้าวเหลือง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนข้าวเหลืองด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำร่วมกับการอบแห้งต่อประสิทธิภาพการแกะเปลือกและคุณสมบัติของแป้งข้าวเหลือง โดยมีปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ เวลานึ่งด้วยไอน้ำ (0, 5, 10, และ 15 นาที) และอุณหภูมิอบแห้ง (60, 100, 130, และ 160 องศาเซลเซียส) ข้อมูลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตแป้งข้าวเหลืองในระดับอุตสาหกรรมและใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาผลกระทบของการให้ความร้อนก่อนการแกะเปลือกสำหรับเมล็ดพืชเศรษฐกิจประเภทอื่น

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่างเมล็ดข้าวเหลือง

นำข้าวเหลืองสายพันธุ์เชียงใหม่ 60 อายุเก็บเกี่ยว 120 วัน (ชื่อจากจังหวัดเชียงราย) มาคัดแยกสิ่งปนเปื้อน เมล็ดสีเขียว เมล็ดสีออก และคัดขนาดโดยการร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 5 มิลลิเมตร จากนั้น แบ่งใส่ถุงสุญญากาศถุงละ 300 ± 1 กรัม ตึงอากาศออก และปิดผนึกก่อนใส่ถุงอะลูมิเนียมและปิดผนึกอีกชั้น เก็บไว้ที่ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทดลอง

การคำนวณระยะเวลาการอบแห้ง

นำตัวอย่างข้าวเหลืองแช่เย็นมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 12 ชั่วโมงก่อนนำไปนึ่งด้วยไอน้ำโดยใช้หม้อนึ่ง 2 ชั้น ระยะเวลาหนึ่งนาน 0, 5, 10, และ 15 นาที จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 100, 130, และ 160 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อน (Model TS800, Termaks, Norway) ในระหว่างการอบแห้งเก็บตัวอย่างข้าวเหลืองแบบสุ่มทุก 10 นาที เพื่อนำไปหาความชื้น (AOAC, 2000) คำนวณค่าคงที่ของกรอบแห้งจากความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและความชื้นของข้าวเหลืองตามแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ Page's model ที่อุณหภูมิกว้างหนึ่ง ๆ ดังสมการที่ (1)

$$\frac{M_t}{M_0} = \exp(-kt^n) \quad (1)$$

เมื่อ M_t คือ ความชื้นของถั่วเหลืองที่เวลาใด ๆ (มาตรฐานแห้ง) และ M_0 คือ ความชื้นถั่วเหลืองเริ่มต้น (มาตรฐานแห้ง) t คือ ระยะเวลาของการอบแห้ง (นาทีก) และ n คือ ค่าคงที่ของการอบแห้ง พิจารณาความแม่นยำในการทำนายค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการอบแห้งของสมการที่ (1) จากการคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error, *RMSE*) จากสมการที่ (2) หรือความแตกต่างของความชื้นจากการทดลองและจากสมการคำนวณได้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=i}^m (y_t - \hat{y}_t)^2}{m}} \quad (2)$$

เมื่อ y_t คือ อัตราส่วนความชื้นของถั่วเหลืองจากสมการของ Page \hat{y}_t อัตราส่วนความชื้นของถั่วเหลืองจากการทดลอง และ m คือ จำนวนข้อมูล หากค่า *RMSE* มีค่าเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่า การทำนายค่าคงที่ของสมการอบแห้งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Page's model มีความผิดพลาดน้อยหรือมีความแม่นยำมาก

คำนวณระยะเวลาการอบแห้งจากสมการที่ (1) เมื่อกำหนดให้ความชื้นสุดท้ายของถั่วเหลืองก่อนนำไปปดเป็นแป้งมีค่าไม่เกินร้อยละ 6.83 (มาตรฐานแห้ง) ซึ่งเป็นความชื้นของแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มโดย

ทั่วไป (มพช. 1377/2550; Ukwuru, 2003; Edema *et al.*, 2005)

การศึกษาประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือก

นำตัวอย่างถั่วเหลืองแช่เย็นมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 12 ชั่วโมงก่อนนำไปนึ่งด้วยไอน้ำโดยใช้หม้อนึ่ง 2 ชั้น ระยะเวลาหนึ่งนาน 0, 5, 10, และ 15 นาที จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 100, 130 และ 160 องศาเซลเซียสด้วยตู้อบลมร้อน (Model TS800, Termaks, Norway) จนกระทั่งตัวอย่างถั่วเหลืองมีความชื้นร้อยละ 6.38 (มาตรฐานแห้ง) ถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งจะนำมากะเทาะเปลือกทันทีด้วยเครื่องกะเทาะเปลือก (Mincer, Toshiba, Thailand) จากนั้นแยกเนื้อถั่ว เปลือกถั่ว เนื้อถั่วติดเปลือก และเศษ (Figure 1) ด้วยโบลเวอร์ (Type TOHO Electric Blower, 220/230 volt, 50-60 Hz) ที่ปลายท่อมีถุง 130 กรองเพื่อเก็บเปลือกและตะแกรงขนาด 8 เมช นำแต่ละส่วนมาชั่งน้ำหนักและคำนวณหาประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก (Dehulling effectiveness) ตามสมการที่ (3)

$$\text{Dehulling Effectiveness} = \frac{(m_c + m_h) - (m_{uh} + m_f)}{m_i} \quad (3)$$

เมื่อ m คือ น้ำหนัก (กรัม) และ ตัวห้อย c, h, uh, f และ i แสดงถึง เนื้อถั่ว, เปลือก, เนื้อติดเปลือก, เศษถั่ว และ ถั่วเหลืองเริ่มต้น

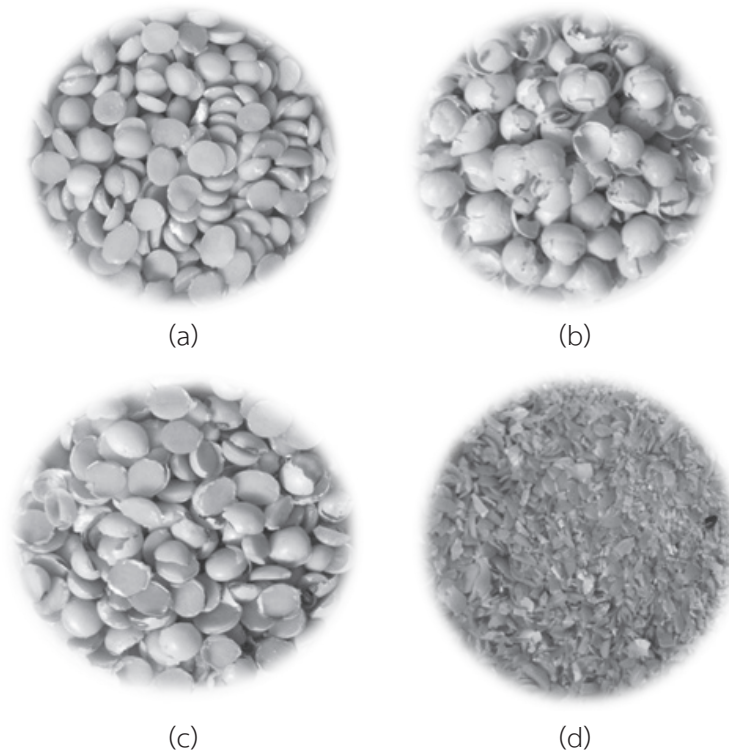


Figure 1 Cotyledons (a), removed hull (b), undehulled seed (c) and fines (d) of soybean after dehulling

การวิเคราะห์สมบัติของแป้งถั่วเหลือง

นึ่งตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลือง 300 กรัม ด้วยไอน้ำโดยใช้หม้อนึ่ง 2 ชั้นนาน 0, 5, 10 และ 15 นาที ก่อนอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน (TS800, Termark, Bergan, Norway) ที่อุณหภูมิ 60, 100, 130 และ 160 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างถั่วเหลืองมีความชื้นร้อยละ 6.38 (มาตรฐานแห้ง) จากนั้นแกะเปลือกถั่วเหลืองทันที ก่อนนำส่วนเนื้อถั่วเหลืองไปบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อน 200 เมช นำตัวอย่างแป้งถั่วเหลืองเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ในภาวะสุญญากาศก่อนนำไปวัดสมบัติของแป้งถั่วเหลือง เช่น องค์ประกอบทางเคมี (AOAC, 2000) กิจกรรมเอนไซม์ยูเรียเอส (Urease activity) ดัชนีการละลายของไนโตรเจน ความสามารถ

ในการเกิดโฟม (Foaming capacity) และความคงตัวของโฟม (Foaming stability) และค่าสี โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. วิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ยูเรียเอส (Urease activity) ตามมาตรฐาน AAC (1995) ค่ากิจกรรมเอนไซม์ยูเรียเอสเป็นการวัดปริมาณสารยับยั้งทริปซินโดยอ้อม เตรียมสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ 0.05M โดยละลายสาร K_2HPO_4 จำนวน 4.355 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และละลาย KH_2PO_4 3.403 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำมาผสมกันและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตรด้วยน้ำ กลั่นก่อนใช้งานปรับ pH เป็น 7 ด้วยกรดหรือเบสเข้มข้น จากนั้นเตรียมสารละลายยูเรียบัฟเฟอร์ โดยละลาย

ยูเรีย 15 กรัม ในสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ 500 มิลลิลิตร เติมสารละลายโกลูอิน 5 มิลลิลิตร และปรับ pH ให้เป็น 7 ก่อนใช้งาน เติมแป้งถั่วเหลือง 0.2 กรัม ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายยูเรียบัฟเฟอร์ 10 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิทและทิ้งไว้ในอ่างน้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าหลอด ทดลองทุก 5 นาที จนครบ 30 นาที จากนั้นวัดค่า pH ของสารละลายยูเรียบัฟเฟอร์ (pH_A) ทำ blank โดยเติมแป้งถั่วเหลือง 0.2 กรัม ในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ 10 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท และทิ้งไว้ในอ่างน้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าหลอด ทดลองทุก 5 นาที จนครบ 30 นาที จากนั้นวัดค่า pH ของสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ (pH_B) โดยใช้ pH meter ค่ากิจกรรมเอนไซม์ยูริเอสหาได้จากความแตกต่างระหว่าง pH ของตัวอย่าง (pH_A) และค่า pH ของ blank (pH_B)

2. วิเคราะห์ดัชนีการละลายของไนโตรเจนตามวิธีของ Bera and Mukherjee (1989) ซึ่งแป้งถั่วเหลือง 5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร เขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงชนิดควบคุมอุณหภูมิ (CR 21, Hitachi Koki Co. Ltd., Japan) ที่ความเร็ว 5000×g อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 4 นำส่วนใสปริมาตร 25 มิลลิลิตรมาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่ละลายได้ด้วยวิธี Kjeldahl ตามวิธีของ AOAC (2000) เทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่าง

3. วิเคราะห์ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมตามวิธีของ Johnson and Brekke (1983) ซึ่งแป้งถั่วเหลือง 1 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร วัดปริมาตร (V_1) ปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นผสม (Blender,

WCG75, Torrington, CT) ที่ความเร็วสูงสุคนาน 5 นาที จากนั้นเทของผสมใส่กระบอกตวงขนาดปริมาตร 250 มิลลิลิตร อย่างช้า ๆ และวัดปริมาตรทั้งหมดรวมโฟมที่เกิดขึ้น (V_2) คำนวณเป็นร้อยละความสามารถในการเกิดโฟม (Foaming capacity, FC) ดังสมการที่ (4) จากนั้นตั้งของผสมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) นาน 2 ชั่วโมง ก่อนวัดปริมาตรของโฟมที่เหลือต่อปริมาตรก่อนปั่น 6 (V_3) คำนวณเป็นร้อยละความคงตัวของโฟม (Foaming stability, FS) ดังสมการที่ (5)

$$\text{Foaming capacity} = \left(\frac{V_2 - V_1}{V_1} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Foaming stability} = \frac{V_3}{V_1} \times 100 \quad (5)$$

4. วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab (Color Quest®, model: Ultrascan XE, U.S.A.) ใช้โหมด Transmittance และใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 แสดงค่าสีในค่า L^* (ค่าความสว่าง) a^* (ค่าสีแดงและสีเขียว) และ b^* (ค่าสีเหลืองและน้ำเงิน)

การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ออกแบบการทดลองแบบแฟคเทอเรียลสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) และทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดลองแสดงในรูปค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

การคำนวณระยะเวลาการอบแห้ง

ถั่วเหลืองมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 13.21 ± 0.22 (มาตรฐานแห้ง) และมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 17.83 ± 0.60 , 18.08 ± 0.54 และ 18.15 ± 0.43 (มาตรฐานแห้ง) เมื่อหนึ่งด้วยไอน้ำนาน 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ (Table 1) ระยะเวลาในการนึ่งที่เพิ่มขึ้นสูงขึ้น (5–15 นาที) ส่งผลต่อความชื้นของถั่วเหลืองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการนึ่งถั่วเหลืองด้วยไอน้ำนาน 5 นาทีเพียงพอที่จะทำให้ถั่วเหลืองมีความชื้นที่สมดุล

ค่าคงที่การอบแห้ง (k และ n) และค่า $RMSE$ ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Page's model แสดงดัง Table 1 ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าค่า $RMSE$ สำหรับทุกตัวอย่างการทดลองมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (0.01–0.02) นั่นคือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Page's model มีความเหมาะสมในการทำนายอัตราส่วนความชื้นของถั่วเหลืองที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ภายใต้อุณหภูมิอบแห้ง 60–160 องศาเซลเซียส และถั่วเหลืองมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 13–18 (มาตรฐานแห้ง) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wutiwivatthai (1997)

ที่แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ Page's model มีความเหมาะสมมากที่สุดในการทำนายอัตราส่วนความชื้นของถั่วเหลืองที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้อุณหภูมิอบแห้ง 110–140 องศาเซลเซียส และถั่วเหลืองมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 24.7–33.3 (มาตรฐานแห้ง) เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Two-compartment model และ Newton's law of cooling model

เมื่อคำนวณระยะเวลาในการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองตามสมการที่ (1) โดยกำหนดให้ความชื้นสุดท้ายของถั่วเหลืองเท่ากับร้อยละ 6.38 (มาตรฐานแห้ง) พบว่า การนึ่งถั่วเหลืองด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้งส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนเช่น ระยะเวลาในอบแห้งถั่วเหลืองที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นจาก 52 นาทีเป็น 128 นาทีเมื่อมีการนึ่งถั่วเหลืองด้วยไอน้ำนาน 5 นาที (Table 1) ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงอย่างชัดเจน เช่น การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจาก 60 เป็น 100 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลดระยะเวลาการอบแห้งมากกว่า 5 เท่า โดยไม่ขึ้นกับการนึ่งด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้ง (Table 1) ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิการอบแห้ง และความชื้นเริ่มต้นของถั่วเหลืองก่อนการอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง

Table 1 Initial moisture content of soybean, Page's model parameters, and calculated drying time as functions of steaming time and drying temperatures

Steaming time (min)	Moisture content (%d.b.)	Drying temperature (°C)	K	n	RMSE	Calculated drying time* (min)
0	13.21 ± 0.22 ^a	60	0.03	0.51	0.01	438
		100	0.06	0.64	0.01	52
		130	0.08	0.73	0.01	22
		160	0.10	0.89	0.01	10
5	17.83 ± 0.60 ^b	60	0.06	0.43	0.01	828
		100	0.12	0.44	0.01	128
		130	0.14	0.54	0.02	39
		160	0.11	0.80	0.01	16
10	18.08 ± 0.54 ^b	60	0.05	0.48	0.01	736
		100	0.11	0.48	0.01	132
		130	0.12	0.58	0.01	40
		160	0.13	0.78	0.02	15
15	18.15 ± 0.43 ^b	60	0.06	0.44	0.01	795
		100	0.06	0.57	0.01	152
		130	0.14	0.54	0.01	40
		160	0.11	0.87	0.02	15

Note: ^a and ^b Values with different superscript letters (as the same column) were significantly different ($P \leq 0.05$) * Drying time calculated from Equation (1) as the moisture content of soybean reached approximately 6.38% dry basis

ประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือก

ประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของน้ำหนักส่วนที่สามารถแยกเนื้อถั่วกับเปลือกได้ (เนื้อถั่วและเปลือก) กับส่วนที่ไม่สามารถแยกได้ (เนื้อติดเปลือกและเศษ) ต่อน้ำหนักเริ่มต้น หากประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่า การแยกกันระหว่างเนื้อถั่วกับเปลือกเกิดขึ้นได้ดี ในขณะที่มีเนื้อติดเปลือกและเศษเกิดขึ้นเพียงส่วนน้อย ผลการทดลองระยะเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำ

และอุณหภูมิการอบแห้งต่อประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกของถั่วเหลืองแสดงดัง Figure 2 ในกรณีที่ไม่มีการนึ่งก่อนอบแห้ง ประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (จาก 0.59 เป็น 0.85) เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 100 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม การอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 และ 160 องศาเซลเซียสส่งผลต่อประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองที่ไม่แตกต่างกัน (0.89–0.90)

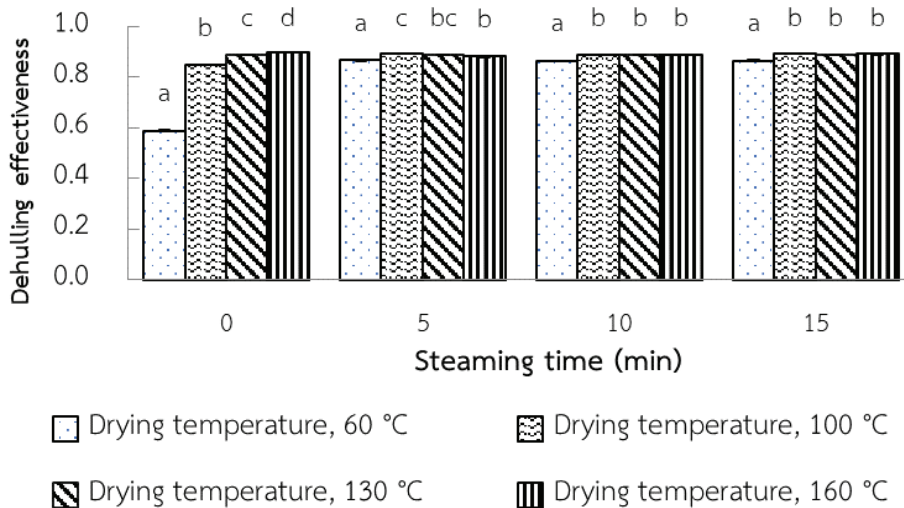


Figure 2 Effect of steaming time and drying temperature on dehulling effectiveness of soybean ^{a,b,c} Values with different superscript letters (as the same steaming time) were significantly different ($P < 0.05$)

เมื่อพิจารณาการนึ่งด้วยไอน้ำร่วมกับการอบแห้ง พบว่า ผลวิเคราะห์ทางสถิติแสดงการมีอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างระยะเวลานึ่งด้วยไอน้ำ และอุณหภูมิอบแห้งต่อสัดส่วนของประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก กล่าวคือ การนึ่งด้วยไอน้ำและอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกอย่างมีนัยสำคัญ

($P < 0.05$) การนึ่งด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองเมื่ออุณหภูมิอบแห้งน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส โดยไม่ขึ้นกับระยะเวลาในการนึ่งด้วยไอน้ำ เช่น การนึ่งถั่วเหลืองด้วยไอน้ำเป็นเวลาสั้น ๆ 5 นาทีร่วมกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะช่วยเพิ่ม

ประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกได้จาก 0.59 เป็น 0.87 (Figure 2) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Mapagalile *et al.* (2008) ซึ่งรายงานว่าการนึ่งถั่วเหลืองส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำจาก 0.57 ถึง 0.92 การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองเนื่องจากการนึ่งด้วยไอน้ำมีสาเหตุมาจากความร้อนขึ้นของไอน้ำที่ซึมผ่านเข้าสู่เปลือกและเมล็ดถั่วได้ทำลายสารจำพวกกัมและเมือก ซึ่งยึดติดระหว่างเนื้อถั่วและเปลือกหุ้มเมล็ดหลุดออกจากกัน และเมื่อนำไปอบแห้งจะส่งผลให้ส่วนของเนื้อถั่วเหลืองเกิดการหดตัว (Shrink) มากกว่าส่วนเปลือก ดังนั้นส่วนเปลือกจึงง่ายต่อการหลุดจากส่วนเนื้อถั่วเหลือง (Ramakrishnaiah and Kurien, 1983) ในขณะที่การนึ่งด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้งไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองเมื่ออุณหภูมิเท่ากับหรือสูงกว่า 130 องศาเซลเซียส เช่นการนึ่งถั่วเหลืองด้วยไอน้ำนาน 0 หรือ 15 นาทีก่อนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือกที่เท่ากัน (0.89) (Figure 2) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงจะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสูงขึ้น ส่งผลให้บริเวณที่ผิวของเมล็ดถั่วเหลืองมีการสูญเสียความชื้นไปอย่างรวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเมล็ดซึ่งถูกจำกัดด้วยการแพร่ภายในถั่วเหลือง ดังนั้นบริเวณเนื้อถั่วเหลืองจึงเกิดการแข็งตัวและอุณหภูมิที่ผิวของถั่วเหลืองจะสูงขึ้นส่งผลให้เมล็ดถั่วเหลืองเกิดการแตกร้าว (Cracking) เมื่อกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองขณะที่ยังร้อนจึงส่งผลให้การขัดสีเปลือกออกจากเนื้อถั่วเหลืองเกิดขึ้นได้ง่าย (Wutiwivatchai, 1997) ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของผลร่วมระหว่างการนึ่งด้วยไอน้ำและการอบแห้งก่อนการกะเทาะเปลือกโดยเฉพาะ

อย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิมอบแห้งน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติของแป้งถั่วเหลือง

ตัวอย่างแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มในงานวิจัยนี้มีความชื้นร้อยละ 6.0 โปรตีนร้อยละ 47.3 ไขมันร้อยละ 20.4 เถ้าร้อยละ 5.0 ไฟเบอร์ร้อยละ 4.9 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 22.4 (มาตรฐานแห้ง) (ตัวอย่างที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ 15 นาทีก่อนอบแห้งที่ 160 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มพช. 1377/2550) และผลงานวิจัยหลายฉบับที่แสดงปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันของแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มอยู่ในช่วงร้อยละ 5.6–8.4, 31.5–49.4 และ 14.9–21.9 (มาตรฐานแห้ง) ตามลำดับ (Edema *et al.*, 2005; Joshi *et al.*, 2015; Ukwuru, 2003)

กิจกรรมเอนไซม์ยูเรียเอส (Urease activity)

การวัดค่า ΔpH เป็นการวัดกิจกรรมเอนไซม์ยูเรียเอสโดยอ้อม (AACC, 1995) Palić *et al.* (2008) แนะนำว่าถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการใช้เป็นอาหารเพื่อบริโภคควรมีค่า ΔpH อยู่ระหว่าง 0.05–0.20 และถั่วเหลืองที่มีค่า ΔpH สูงกว่า 0.20 ถือว่าถั่วเหลืองนั้นได้รับความร้อนไม่เพียงพอ (Under-process) ต่อการทำลายสารยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการ (Trypsin inhibitor) Table 2 แสดงผลของระยะเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำและอุณหภูมิมอบแห้งต่อค่า ΔpH ของถั่วเหลือง ในกรณีที่ไม่มีกรนึ่งด้วยไอน้ำก่อนอบแห้งค่า ΔpH จะลดลงตามอุณหภูมิมอบแห้งที่เพิ่มขึ้น และต้องใช้อุณหภูมิมอบแห้งสูงถึง 160 องศาเซลเซียส จึงจะสามารถทำลายสารยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการได้ตามมาตรฐาน ($\Delta pH < 0.2$) เมื่อพิจารณาผลของการนึ่งด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้งพบว่า การนึ่งด้วยไอน้ำ 5–10 นาทีร่วมกับการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือ

เท่ากับ 130 องศาเซลเซียสจะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีค่า $\Delta pH < 0.2$ และหากเพิ่มระยะเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำนาน 15 นาทีร่วมกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพียงพอที่จะทำให้ลายสาร์ยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการ ($\Delta pH = 0.17$) เป็นที่น่าสนใจว่าการอบแห้งถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสไม่เพียงพอต่อการทำลายสาร์ยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการให้ได้ตามมาตรฐานแม้ว่าจะมีการนึ่งด้วยไอน้ำนานถึง 15 นาทีร่วมด้วย ($\Delta pH = 0.85 - 2.25$)

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Palić *et al.* (2008) ที่แสดงค่า $\Delta pH < 0.2$ เมื่อถั่วเหลืองผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 135 องศาเซลเซียส ในกรณีที่ไม่มี การให้ความร้อนอื่นร่วมด้วย ในขณะที่ Wutiwivatchai (1997) รายงานการอบแห้งถั่วเหลืองที่มีความชื้นสูง (ร้อยละ 23.5 มาตรฐานแห้ง) ด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชันต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียสจึงจะสามารถลดเอนไซม์ยูเรียเอสได้ ถึงแม้จะมีรายงานทางวิชาการมากมายที่แสดงให้เห็นว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิน้อยกว่า 100 องศาเซลเซียสจะสามารถผลิตแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มที่มีคุณภาพสูงและใช้ทดแทนแป้งสาลีได้ (Joshi *et al.*, 2015; Panyajiva, 2005) อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งก่อนการแกะเปลือกที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 160 องศาเซลเซียส กรณีไม่มีการนึ่งด้วยไอน้ำก่อนอบแห้ง) นี้ อาจจะไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคเนื่องจากมีสาร์ยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการที่มากเกินไปมาตรฐาน

โดยสรุป งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงปริมาณความร้อนที่ถั่วเหลืองได้รับเป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำลายสาร์ยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการ เป็นที่ประจักษ์ว่าการอบแห้งถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสไม่เพียงพอต่อการทำลายสาร์ยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการให้ได้ตามมาตรฐานแม้ว่าถั่วเหลืองจะผ่านการนึ่งก่อนการอบแห้ง ในขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 100–130 องศาเซลเซียส จำเป็นต้องมีการนึ่งด้วย

ไอน้ำร่วมด้วยจึงจะเพียงพอต่อการทำลายสาร์ยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการให้ได้ตามมาตรฐาน และการอบแห้งถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูง 160 องศาเซลเซียสเพียงพอต่อการทำลายสาร์ยับยั้งคุณค่าทางโภชนาการให้ได้ตามมาตรฐานโดยไม่ขึ้นกับการนึ่งก่อนการอบแห้ง

ดัชนีการละลายของไนโตรเจน

ดัชนีการละลายของไนโตรเจน (Nitrogen Solubility Index, NSI) แสดงถึงปริมาณโปรตีนที่ยังไม่เสื่อมสภาพทางธรรมชาติ จากผลการทดลองพบว่า ในกรณีที่ไม่มี การนึ่งก่อนอบแห้ง ค่า NSI จะลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิมอบแห้งสูงขึ้นโดยแป้งถั่วเหลืองมีค่า NSI สูงสุด (ร้อยละ 70.57) และต่ำสุด (ร้อยละ 8.39) เมื่อถั่วเหลืองที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 และ 160 องศาเซลเซียสตามลำดับ (Table 2) เมื่อพิจารณาผลของการนึ่งด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้ง พบว่า การนึ่งถั่วเหลืองด้วยไอน้ำร่วมกับการอบแห้งที่ 60 และ 130 องศาเซลเซียสส่งผลให้ค่า NSI ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ยกตัวอย่างเช่น การนึ่งถั่วเหลืองนาน 5, 10 และ 15 นาที ร่วมกับการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสส่งผลให้ค่า NSI เท่ากับร้อยละ 17.64, 11.17 และ 9.11 ตามลำดับ (Table 2) อย่างไรก็ตาม การนึ่งด้วยไอน้ำไม่ส่งผลต่อค่า NSI อย่างเด่นชัดเมื่อถั่วเหลืองผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง 160 องศาเซลเซียส

การลดลงของค่า NSI เกิดเนื่องจากการเสื่อมสภาพทางธรรมชาติของโปรตีน (Protein denaturation) German *et al.* (1982) รายงานการเสื่อมสภาพทางธรรมชาติของโปรตีนในถั่วเหลือง 7S (β -conglycinin) และ 11S (Glycinin) ที่อุณหภูมิ 72 และ 92 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยทั่วไปเมื่อโปรตีนโกลบูลินเกิดการเสื่อมสภาพทางธรรมชาติ โปรตีนจะเกิดการคลายตัว และแสดงส่วนที่ไม่มีขั้ว (Nonpolar group) หรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ออกมามากขึ้น ดังนั้นเมื่อโมเลกุลของโปรตีนเข้าใกล้กันมากขึ้นจึงนำไปสู่การรวมกลุ่มและการตกตะกอนของโปรตีน (Protein

aggregation) ส่งผลให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนลดลง นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของโปรตีนยังขึ้นกับความซับซ้อนทางโครงสร้างของโปรตีนที่เสื่อมเสียสภาพทางธรรมชาติ และวิธีการให้ความร้อนอีกด้วย (Liu and Kuo, 2016; Geerts *et al.*, 2018)

ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัว

ความสามารถในการเกิดและคงตัวของโฟมเป็นหนึ่งในสมบัติทางหน้าที่ที่สำคัญในการประยุกต์ใช้แป้งถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และไอศกรีม โปรตีนถั่วเหลืองที่มีบทบาทในการเกิดโฟมคือ โปรตีนโกลบูลิน 11S ผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แป้งถั่วเหลืองมีความสามารถในการเกิดโฟมสูงสุดร้อยละ 15.96 และค่าความคงตัวของโฟมมีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การนึ่งด้วยไอน้ำ และ/หรือการใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไปจะทำให้ความสามารถในการเกิดโฟม และความคงตัวของโฟมลดลงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (Table 2)

ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่าผลงานวิจัยของ Acuna *et al.* (2010) ที่รายงานความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของแป้งถั่วเหลืองอยู่ในช่วงร้อยละ 21.33–37.21 และ 17.82–33.65 ตามลำดับ สาเหตุอาจจะมาจากการผลิตแป้งถั่วเหลืองในรายงานวิจัยของ Acuna *et al.* (2010) ไม่มีการใช้ความร้อน และความเข้มข้นของแป้งถั่วเหลืองที่ใช้ในการวัดความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวใช้ปริมาณมาก (ร้อยละ 2–10) กว่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ร้อยละ 1) นอกจากนี้ความร้อนจะส่งผลให้เกิดการเสื่อมเสียสภาพทางธรรมชาติของโปรตีนที่มีบทบาทในการเกิดโฟม ความสามารถในการ

เกิดโฟมยังมีความสัมพันธ์กับดัชนีการละลายของไนโตรเจนอีกด้วย กล่าวคือ โปรตีนที่ละลายได้จะแพร่กระจาย (Diffusion) ไปยังผิวรอยต่อระหว่างอากาศและน้ำ เมื่อความเข้มข้นของโปรตีนที่รอยต่อนี้มากขึ้นจะทำให้แรงตึงผิวลดลง จากนั้น โปรตีนเกิดการคลายตัวเปลี่ยนรูปร่างและจัดเรียงส่วนที่ไม่มีขั้วล้อมรอบฟองอากาศและหันส่วนที่มีขั้วสู่น้ำ และสุดท้ายจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างสายโพลีเปปไทด์เพื่อสร้างเป็นฟิล์มที่แข็งแรงล้อมรอบฟองอากาศ (Domodaran, 1997) ดังนั้นสมบัติการละลายของโปรตีนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการเกิดโฟมเพิ่มขึ้นด้วย

ค่าสี

Table 2 และ Figure 3 แสดงผลกระทบของสภาวะการนึ่งและการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองต่อค่าสี (L^* , a^* , b^*) และรูปร่างของแป้งถั่วเหลืองตามลำดับ ในกรณีที่ไม่มีการนึ่งก่อนอบแห้ง ค่าความสว่าง (L^*) ลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 84.51 ถึง 81.37 ในขณะที่ค่าสีเขียว ($-a^* = -0.38$) จะเปลี่ยนเป็นสีแดง ($+a^* = 1.95$) เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเกิน 100 องศาเซลเซียส ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจาก 23.75 เป็น 21.94 เมื่อพิจารณาผลของการนึ่งด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้ง แป้งถั่วเหลืองมีสีคล้ำขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเมล็ดถั่วเหลืองผ่านการนึ่งไอน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการนึ่งด้วยไอน้ำร่วมกับการอบแห้งที่ 130 และ 160 องศาเซลเซียส (Figure 3) เช่น การนึ่งเมล็ดถั่วเหลืองนาน 15 นาที ก่อนการอบแห้งที่ 130 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลงจาก 81.27 เป็น 74.63 ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1.71 เป็น 5.74 และ 22.48 เป็น 28.14 ตามลำดับ (Table 2) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการนึ่งก่อนการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ระยะเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำและอุณหภูมิอบแห้งมีอิทธิพลร่วมต่อค่าสี ($P \leq 0.05$)

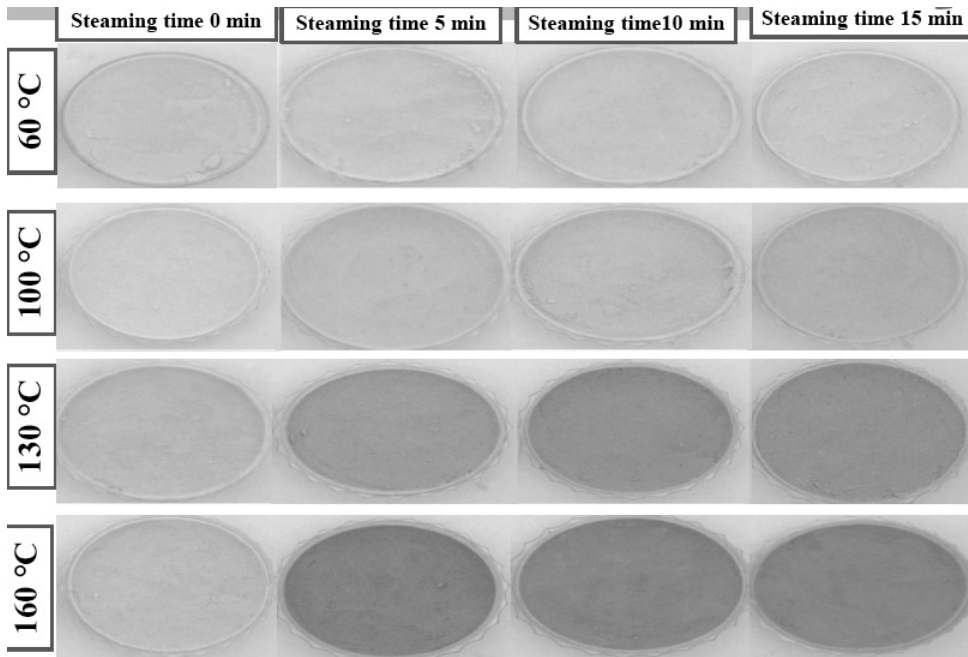


Figure 3 Image of full-fat soy flour affected by different thermal treatments

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Panyajiva (2005) ซึ่งรายงานว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมงส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ของแป้งถั่วเหลืองมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แป้งถั่วเหลืองมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เนื่องจากถั่วเหลืองมีโปรตีนสูง โดยเฉพาะกรดอะมิโนไลซีน ซึ่งมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Ahmed *et al.*, 1986) อีกทั้งตัวอย่างที่ผ่านการนี้ จะมีความชื้นสูงทำให้ต้องใช้เวลารอบแห้งนานขึ้น ส่งผลทำให้สีเปลี่ยนแปลงมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ขึ้น และอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

สีเป็นหนึ่งในดัชนีที่บ่งบอกการยอมรับของผู้บริโภค มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.

1377/2550) กำหนดเพียงแป้งถั่วเหลืองต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ไม่มีการกำหนดค่าดัชนีสีที่ยอมรับอย่างชัดเจน เมื่อตรวจวัดค่าสีของแป้งถั่วเหลืองเชิงพาณิชย์พบว่า มีค่า $L^* = 81.51$, $a^* = 1.50$ และ $b^* = 21.26$ สอดคล้องกับ Panyajiva (2005) รายงานค่าสีของแป้งถั่วเหลืองเชิงพาณิชย์เท่ากับ $L^* = 86.29$, $a^* = 0.31$ และ $b^* = 24.80$ หากอ้างอิงจากค่าสี (L^* , a^* , b^*) ดังกล่าวจะพบว่าการอบแห้งถั่วเหลืองที่ 60 และ 100 องศาเซลเซียส (โดยไม่ขึ้นกับการนึ่งก่อนการอบแห้ง) หรือการอบแห้งถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูง 130–160 องศาเซลเซียส (โดยไม่มีการนึ่งก่อนการอบแห้ง) ส่งผลให้ค่าสีของตัวอย่างแป้งถั่วเหลืองใกล้เคียงกับแป้งถั่วเหลืองเชิงพาณิชย์

Table 2 Urease activity, color and functional properties of full-fat soy flour affected by different thermal treatments

Steaming time (min)	Drying temperature (°C)	Color		Urease activity (ΔpH)	NSI (%)	FC (%)	FS (%)	
		L*	a*					b*
0	60	84.51 ± 0.23 ^c	0.38 ± 0.01 ^a	23.75 ± 0.01 ^c	2.25 ± 0.04 ^d	70.57 ± 3.15 ^d	15.69 ± 0.39 ^c	8.53 ± 0.10 ^b
	100	84.00 ± 0.08 ^b	0.04 ± 0.11 ^b	22.02 ± 0.22 ^{ab}	1.48 ± 0.02 ^c	41.30 ± 2.20 ^c	9.96 ± 0.03 ^b	9.26 ± 0.26 ^b
	130	81.27 ± 0.04 ^a	1.71 ± 0.15 ^c	22.48 ± 0.24 ^b	0.34 ± 0.05 ^b	16.53 ± 0.46 ^b	9.70 ± 0.37 ^b	3.55 ± 0.10 ^a
	160	81.37 ± 0.17 ^b	1.95 ± 0.03 ^c	21.94 ± 0.08 ^a	0.19 ± 0.01 ^a	8.39 ± 0.37 ^a	7.96 ± 0.02 ^a	3.83 ± 0.20 ^a
5	60	83.53 ± 0.03 ^d	0.20 ± 0.00 ^a	23.39 ± 0.01 ^a	2.06 ± 0.02 ^c	39.47 ± 0.76 ^d	9.96 ± 0.01 ^{ns}	1.90 ± 0.13 ^{ns}
	100	81.02 ± 0.00 ^c	2.00 ± 0.01 ^b	23.76 ± 0.01 ^b	1.35 ± 0.04 ^b	17.64 ± 0.22 ^c	7.96 ± 0.01 ^{ns}	1.92 ± 0.10 ^{ns}
	130	75.33 ± 0.08 ^b	4.95 ± 0.01 ^c	26.13 ± 0.03 ^c	0.06 ± 0.04 ^a	5.88 ± 0.22 ^a	5.99 ± 0.01 ^{ns}	3.88 ± 0.15 ^{ns}
	160	70.92 ± 0.01 ^a	7.44 ± 0.00 ^d	28.97 ± 0.03 ^d	0.02 ± 0.00 ^a	6.73 ± 0.25 ^b	5.97 ± 0.00 ^{ns}	3.87 ± 0.16 ^{ns}
10	60	83.63 ± 0.09 ^d	0.09 ± 0.00 ^a	23.02 ± 0.02 ^a	1.83 ± 0.17 ^c	20.14 ± 0.55 ^c	9.73 ± 0.34 ^b	1.91 ± 0.13 ^{ns}
	100	81.06 ± 0.03 ^c	1.87 ± 0.02 ^b	23.64 ± 0.03 ^b	0.77 ± 0.03 ^b	11.17 ± 0.37 ^b	5.99 ± 0.01 ^a	1.94 ± 0.08 ^{ns}
	130	74.22 ± 0.01 ^b	5.62 ± 0.06 ^c	28.57 ± 0.09 ^c	0.05 ± 0.00 ^a	5.97 ± 0.22 ^a	5.96 ± 0.02 ^a	3.86 ± 0.15 ^{ns}
	160	70.72 ± 0.09 ^a	6.84 ± 0.01 ^d	28.89 ± 0.00 ^d	0.04 ± 0.00 ^a	6.33 ± 0.09 ^a	5.97 ± 0.01 ^a	3.87 ± 0.16 ^{ns}
15	60	83.36 ± 0.04 ^d	0.13 ± 0.01 ^a	22.52 ± 0.04 ^a	0.85 ± 0.03 ^c	9.18 ± 0.47 ^b	9.96 ± 0.05 ^{ns}	1.90 ± 0.12 ^{ns}
	100	80.27 ± 0.01 ^c	2.58 ± 0.02 ^b	23.83 ± 0.00 ^b	0.17 ± 0.02 ^b	9.11 ± 0.20 ^b	5.98 ± 0.00 ^{ns}	1.94 ± 0.08 ^{ns}
	130	74.63 ± 0.00 ^b	5.74 ± 0.01 ^c	28.14 ± 0.02 ^c	0.01 ± 0.00 ^a	6.50 ± 0.30 ^a	5.97 ± 0.00 ^{ns}	3.87 ± 0.16 ^{ns}
	160	70.54 ± 0.04 ^a	6.80 ± 0.05 ^d	28.27 ± 0.56 ^d	0.03 ± 0.01 ^a	6.30 ± 0.24 ^a	5.99 ± 0.01 ^{ns}	3.88 ± 0.17 ^{ns}

Note: NSI= Nitrogen solubility index; FC= Foaming capacity; FS= Foaming stability

^{a,b,c,d} Values with different superscript letters (as the same column and steaming time) were significantly different (P ≤ 0.05)

สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนถั่วเหลืองด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ ร่วมกับการอบแห้งต่อประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก และคุณสมบัติของแป้งถั่วเหลือง ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การนึ่งด้วยไอน้ำร่วมกับการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 60–160 องศาเซลเซียส มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ต่อประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก และคุณสมบัติของแป้งถั่วเหลือง ($P \leq 0.05$) โดยการ ให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น (ระยะเวลาหนึ่งทีมากและ/หรือ อุณหภูมิการอบแห้งที่สูง) จะส่งผลให้ประสิทธิภาพ ของการกะเทาะเปลือกสูงแต่แป้งถั่วเหลืองที่ได้มี คุณสมบัติที่ลดลง สภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสม ในการผลิตแป้งถั่วเหลือง ได้แก่ การอบแห้งที่ อุณหภูมิ 100 และ 130 องศาเซลเซียสร่วมการนึ่งด้วย ไอน้ำนาน 15 และ 5–15 นาที ตามลำดับ หรือการอบ แห้งถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูง 160 องศาเซลเซียส โดยไม่

ขึ้นกับการนึ่งก่อนการอบแห้ง เนื่องจากการให้ความ ร้อนที่สภาวะเหล่านี้เพียงพอต่อการทำลายสารยับยั้ง คุณค่าทางโภชนาการ และส่งผลต่อประสิทธิภาพ การกะเทาะเปลือกและคุณสมบัติของแป้งถั่วเหลืองที่ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) เนื่องจาก งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงผลการให้ความร้อนที่มีต่อ ประสิทธิภาพของการกะเทาะเปลือก และคุณสมบัติแป้ง ถั่วเหลืองในทางตรงกันข้าม ดังนั้นจึงควรมีการศึกษา วิจัยเพิ่มเติมถึงแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของการ กะเทาะเปลือกและยังคงได้คุณสมบัติของแป้งถั่วเหลือง ที่ดีเพื่อใช้เป็นข้อมูลในกาพัฒนาประสิทธิภาพการผลิต แป้งถั่วเหลืองในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่ง ชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรีในการสนับสนุนและจัดสรรทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- AACC. 1995. Approved methods of Analysis. 9th ed. The American Association of Cereal 387 Chemists, St. Paul, Minnesota, USA.
- Ahmed, M.U., S.R. Thorpe and J.W. Baynes. 1986. Identification of N ε- carboxymethyllysine as a degradation product of fructoselysine in glycated 391 protein. J. Biol. Chem. 261: 4889–4894.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Official Analytical 393 Chemists, Arlington, Virginia, USA. 1440p.
- Acuna, S.P.C., J.H.G. Gonzalez and I.D.A. Torres. 2010. Physicochemical characteristics and functional properties of vitabosa (*Mucuna deeringiana*) and soybean (*Glycine max*). Ciênc. Technol. Aliment. 32: 98–105.
- Bera, M.B. and R.K. Mukherjee. 1989. Solubility, emulsifying and foaming properties of rice bran protein concentrates. J. Food Sci. 54: 142–145.
- Domodaran, S. 1997. Food proteins—an overview, pp. 1–24. In: S. Domodaran and A. Paraf, eds. Food Proteins and Their Applications. Marcel Dekker Inc., New York, USA.

- Edema, M.O., L.O. Sanni and A.I. Sanni. 2005. Evaluation of maize-soybean flour blends for sour maize bread production in Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.* 4: 911–918.
- Geerts, M.E.J., B.L. Dekkers, A. van der Padt and A.J.E. van der Goot. 2018. Aqueous fractionation process of soy protein for fibrous structure formation. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 45: 313–319.
- German, B., S. Damodaran and J.E. Kinsella. 1982. Thermal dissociation and association behavior of soy protein. *J. Agric. Food Chem.* 30: 807–811.
- Johnson, E.A. and C.J. Brekke. 1983. Functional properties of acylated pea protein isolates. *J. Food Sci.* 48: 722–725.
- Joshi, A.U., C. Liu and S.K. Sathe. 2015. Functional properties of select seed flours. *LWT – Food Sci. Technol.* 60: 325–331.
- Liu, H., J. Chien and M. Kuo. 2013. Ultra high pressure homogenized soy flour for tofu making. *Food Hydrocoll.* 32: 278–285.
- Liu, H. and M. Kuo. 2016. Ultra high pressure homogenization effect on the proteins in soy flour. *Food Hydrocolloids.* 52: 741–748.
- Mpagalile, J.J., H.S. Laswai, W.R. Ballegu and V.C. Silayo. 2008. The effectiveness of a novel steaming method in improving small scale soybean dehulling. *Afr. J. Food Agric. Nutr.* 8: 304–318.
- Palić, D.V., J.D. Lević, S.A. Sredanović and O.M. Duragić. 2008. Quality control of full-fat soybean using urease activity: Critical assessment of the method. *APTEFF.* 39: 421 47–53.
- Park, J., I. Choi and Y. Kim. 2015. Cookies formulated from fresh okara using starch, soy flour and hydroxypropyl methylcellulose have high quality and nutritional value. *LWT – Food Sci. Technol.* 63: 660–666.
- Panyajiva, P. 2005. Low Heat Full-Fat Soy Flour: Nutritional Values, Functional Properties and Potential Food Application. MS Thesis, Mahidol University, Thailand. (in Thai)
- Ramakrishnaiah, N. and P.P. Kurien 1983. Variabilities in the dehulling characteristics of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. *J. Food Sci. Tech.* 20: 287–291.
- Shin, D., W. Kim and Y. Kim. 2013. Physicochemical and sensory properties of soy bread made with germinated, steamed, and roasted soy flour. *Food Chem.* 141: 517–523.
- Sanful, R.E. and S. Darko. 2010. Utilization of soybean flour in the production of bread. *Pak. J. Nutr.* 9(8): 815–818.
- Tiwari, B.K., R. JaganMohan, N. Venkatachalapathy, M. Tito Anand, A. Surabi and K. Alagusundaram. 2010. Optimisation of hydrothermal treatment for dehulling pigeon pea. *Food Res. Int.* 43: 496–500.

- Thai Industrial Standards Institute. 2007. Thai Community Products Standards: Soybeans flour (CPS 1377/2007). Ministry of Industry, Bangkok. Available Source: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps1377_50.pdf, June 16, 2016.
- Ukwuru, M.U. 2003. Effect of processing on the chemical qualities and functional properties of soy flour. *Plant Foods Hum. Nutr.* 58: 1–11.
- Wutiwiwatchai, W. 1997. Appropriate Strategy for Soybean Drying by Fluidization 440 Technique. MS Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand (in Thai)