ผลของการให้ความร้อนต่อสมบัติทางเคมีและหน้าที่ของแป้งถั่วหรั่ง
Effect of Heat Processing on Chemical and Functional Properties of Bambara Groundnut Flour

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ์
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
Assistant Professor Kamontip Ekthamasut
Department of Food Science and Technology
School of Science and Technology
University of the Thai Chamber of Commerce
E-mail: kamontip__ekt@utcc.ac.th

บทคัดย่อ

แป้งถั่วหรั่งมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเส้นใยอาหารร้อยละ 19.20-19.26 9.81-10.85 และ 0.50-1.28 ตามลำดับ การต้มถั่วหรั่งในน้ำเดือดเป็นเวลา 10-30 นาที สามารถลดปริมาณแทนนิน และสารยับยั้งทริปซินได้ถึงร้อยละ 76.26-77.63 และ 91.81-92.65 ตามลำดับ ค่าการอุ้มน้ำและกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้น แต่สมบัติการเกิดฟอง การเกิดอิมัลชั่น และการเกิดเจลลดต่ำลง รวมถึงค่าความหนืดจาก Barberder Viscoamylograph ก็ลดต่ำลงด้วยเช่นกัน ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: แป้งถั่วหรั่ง สมบัติทางเคมี สมบัติทางหน้าที่

Abstract

Bambara groundnut *(Vigna subterranean)* flour contains 19.20-19.26% protein, 9.81-10.85% fat and 0.50-1.28% fiber. Boiling of bambara groundnuts for 10-30 min reduced tannin and trypsin inhibitor 76.26-77.63% and 91.81-92.65%, respectively. In addition they increased water absorption and swelling capacity, but decreased foaming, emulsion and gel capacities, as well as decreasing viscosity of Barberder viscoamylograph ($p < 0.05$).

Keywords: Bambara Groundnut Flour, Chemical Properties, Functional Properties

บทนำ

ถั่วหรั่ง (Bambara Groundnut) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในท้องถิ่นภาคใต้ที่มีราคาสูงและให้ผลผลิตที่สูงกว่าถั่วลิสง สามารถปลูกได้ในพื้นที่หลายจังหวัด เช่น สงขลา นราธิวาส ยะลา กระบี่ ตรัง พัทลุง นครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานี เป็นต้น โดยเกษตรกรนิยมปลูกในระบบการปลูกพืชร่วมกับยางพาราและไม้ผล จากการตรวจวิเคราะห์ถั่วหรั่งจากแหล่งปลูกต่าง ๆ พบการปนเปื้อนของเชื้อรา *Aspergillus feavus* แต่ไม่พบสารอัลฟา-ท็อกซิน (ปรมาภรณ์ กัลยาณ์ และ ทิพวรรณ สมพงษ์, 2547) ซึ่งต่างจากเมล็ดถั่วอื่น ๆ นอกจากนี้ถั่วหรั่งเมล็ดแก่ยังสามารถนำมาบดเป็นแป้ง และนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้ ซึ่งแป้งถั่วหรั่งเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีความสมดุลทางโภชนาการสูง (Olaleke, Olorunfemi, and Emmauel, 2006) โดยมีปริมาณโปรตีน 18.3-22.1% เถ้า 0.6-4.4% เส้นใยอาหาร 0.8-5.2% ไขมัน 1.2-6.6% และคาร์โบไฮเดรต 55.6-67.1% (Amarteifio and Moholo, 1998; Adebowale, Afolabi, and Lawal, 2002; Fasoyiro, et al., 2006) นอกจากนี้แป้งถั่วหรั่งยังมีกรดไขมันชนิดลิโนเลอิกและลิโนเลนิกในปริมาณสูง รวมทั้งมีปริมาณไลซีนและเมทไธโอนีนสูงด้วย (Minka and Bruneteau, 2000; Olaleke, Olorunfemi, and Emmauel, 2006) จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารโดยใช้ทดแทนแป้งหรือโปรตีน โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ธัญพืชที่มีปริมาณไลซีนอยู่จำกัด เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และยังเป็นการส่งเสริมพืชเศรษฐกิจทางภาคใต้ให้มีมูลค่าทางการค้าเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากในเมล็ดถั่วทุกชนิดรวมถึงถั่วหรั่งมีสารต้านคุณค่าทางโภชนาการ (Antinutritional Factor) ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพการบริโภค และจากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า สามารถลดปริมาณสารต้านคุณค่าทางโภชนาการเหล่านี้ได้โดยการนำเมล็ดถั่วไปผ่านการแช่น้ำ และให้ความร้อนโดยการต้มในน้ำเดือด หรือการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (Onimawo and Akpojovwo, 2006; Onwuka, 2006) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงสมบัติทางเคมี กายภาพ และหน้าที่ของแป้งถั่วหรั่งเมื่อผ่านกระบวนการผลิตที่ให้ความร้อนโดยการต้มที่เวลาต่าง ๆ กัน

วิธีการทดลอง

วัตถุดิบ

ถั่วหรั่ง *(Vigna subterranean)* ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นพันธุ์สงขลา 1 ที่ได้จากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร จังหวัดสงขลา

การเตรียมแป้งถั่วหรั่งปรับปรุงจากวิธีของ Mbata, Ikenebomeh, and Ezeibe (2009) โดยนำถั่วหรั่งมาคัดแยกเมล็ดที่ลอยน้ำออกและแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการผ่าครึ่งเมล็ดและแกะเปลือกออก นำไปต้มในน้ำเดือด 0 10 20 และ 30 นาที ที่อัตราส่วนของถั่วหรั่งต่อน้ำเป็น 1:10 โดยน้ำหนัก ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง บดให้เป็นผงด้วยเครื่อง Roter Beater Mill และร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 60 เมช บรรจุใส่ถุงโพลีเอธิลีนเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าจะใช้งาน

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วหรั่ง ตามวิธีใน Association of Official Analytical Chemists (1990)

การวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน (Tannin) และสารยับยั้งทริปซิน (Trypsin Inhibitor) ตามวิธีของ Omoikhoje, Aruna, and Bamgbose (2009)

การทดสอบสมบัติทางหน้าที่

การดูดซับน้ำและน้ำมัน (Water and Oil Absorption) ดัดแปลงจากวิธีของ Guerrero, et al. (2002) โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นหรือน้ำมันถั่วเหลือง 50 มิลลิลิตร ทำการกวนด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Hettich® centrifuge ที่ความเร็วรอบ 5,000 x g นาน 30 นาที แยกน้ำหรือน้ำมันที่ไม่ถูกดูดซับออก และคำนวณค่าการดูดซับน้ำหรือน้ำมันเป็นกรัมของน้ำหรือน้ำมันที่ถูกดูดซับไว้ต่อกรัมของตัวอย่าง

กำลังการพองตัว (Swelling Power) และการละลายน้ำ (Solubility) ตามวิธีของ Tattiyakul, Asavasaksakul, and Pradipasena (2006) โดยเติมตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัม (m_o) ใส่ในน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนและคนเบา ๆ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ (Hettich Centrifuge Universal 16A, Germany) ที่ความเร็วรอบ 3,000 x g เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนของแป้งที่พองน้ำไปชั่งน้ำหนัก (m_{sw}) และนำสารละลายส่วนใสไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ (m_s) กำลังการพองตัวและการละลายน้ำ คำนวณได้ดังสมการ

$$Swelling\ power\ (g/g\ dry\ sample) = \frac{m_{sw}}{m_o(1 - Solubility)}$$

$$Solubility\ (g/g\ dry\ sample) = \frac{m_s}{m_o}$$

การเกิดฟอง (Foaming Capacity) ดัดแปลงจากวิธีของ Guerrero, et al. (2002) โดยเติมตัวอย่าง 3 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ปั่นด้วย Waring Blender (Waring Products, Inc., USA) ที่ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 1 นาที ถ่ายใส่กระบอกตวงและวัดปริมาตรของฟองที่เกิดขึ้นภายในเวลา 30 วินาที การเกิดฟองคิดเป็นร้อยละของปริมาตรฟองที่เกิดขึ้นต่อปริมาตรของตัวอย่างเริ่มต้น

การเกิดอิมัลชั่น (Emulsifying Activity) ดัดแปลงจากวิธีของ Guerrero, et al. (2002) โดยเติมตัวอย่าง 2 กรัม ในน้ำกลั่น 25 กรัม และเติมน้ำมันถั่วเหลือง 25 กรัม ปั่นด้วย Waring Blender

ที่ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 1 นาที ถ่ายใส่หลอดเซนตริฟิวจ์ที่มีขีดบอกปริมาตรและนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ที่ความเร็วรอบ 2,000 x g เป็นเวลา 5 นาที การเกิดอิมัลชั่นคิดเป็นร้อยละของปริมาตรอิมัลชั่นที่เกิดขึ้นต่อปริมาตรตัวอย่างทั้งหมด

การเกิดเจล (Gelation) การวิเคราะห์หาความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดเจลดัดแปลงจากวิธีของ Guerrero, et al. (2002) โดยเตรียมตัวอย่างสารละลายแป้งที่ความเข้มข้น 7 8 9 10 11 12 13 14 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ในน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง นำไปต้มในน้ำเดือด 1 ชั่วโมง และทำให้เย็นทันทีด้วยน้ำประปา เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดูการเกิดเจลพร้อมบันทึกความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดเจล โดยการเอียงหลอดเพื่อทดสอบการเกิดเจล หลอดที่ไม่มีการไหลของสารละลายแป้งถือว่าเกิดเจลโดยสมบูรณ์ และหาความเข้มข้นต่ำสุดที่แป้งเกิดเจล

วิเคราะห์การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ของน้ำแป้งถั่วหรั่ง โดยใช้เครื่อง Brabender รุ่น TP 100 และใช้โปรแกรม Programloader Version 4.7 กำหนดความเข้มข้นของแป้ง 8 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ในน้ำกลั่น 500 กรัม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) โดยใช้คอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมบัติทางเคมีของแป้งถั่วหรั่ง

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วหรั่งให้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 พบว่า การให้ความร้อนโดยการต้มถั่วหรั่งนั้นจะไม่ค่อยมีผลต่อปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต ($p > 0.05$) แต่จะมีผลต่อปริมาณเถ้า ($p < 0.05$) โดยที่การต้มจะทำให้ปริมาณเถ้าในแป้งถั่วหรั่งลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม (0 นาที) ทั้งนี้ เนื่องจากการต้มอาจทำให้สารประกอบอนินทรีย์เกิดการละลายน้ำออกมา ส่งผลให้ปริมาณเถ้าลดต่ำลง และเมื่อต้มเป็นเวลานานขึ้น ปริมาณเถ้าจะมีแนวโน้มลดต่ำลงด้วย ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ กล่าวคือ แป้งถั่วหรั่งมีปริมาณโปรตีน 18.3-22.1% เถ้า 0.6-4.4% เส้นใยอาหาร 0.8-5.2% ไขมัน 1.2-6.6% และคาร์โบไฮเดรต 55.6-67.1% (Amarteifio and Moholo, 1998; Adebowale, Afolabi, and Lawal, 2002; Fasoyiro, et al., 2006) ปริมาณสารต่าง ๆ อาจแตกต่างกันไปบ้างขึ้นกับสายพันธุ์ของถั่วหรั่ง รวมถึงปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันของแป้งถั่วหรั่ง นอกจากนี้ เนื่องจากถั่วหรั่งมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง คือ ประมาณ 19% จึงถือเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีสำหรับการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ธัญพืชที่มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างกัน

องค์ประกอบทางเคมี	เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)			
	0	10	20	30
ความชื้น (%)	$11.13^{a}\pm0.06$	$11.67^{a}\pm0.15$	$11.70^{a}\pm0.10$	$11.77^{a}\pm0.21$
เถ้า (%)	$5.13^{a}\pm0.07$	$2.90^{b}\pm0.22$	$2.66^{b}\pm0.20$	$2.28^{c}\pm0.08$
ไขมัน (%)	$9.81^{a}\pm0.08$	$10.85^{a}\pm0.62$	$10.54^{a}\pm0.82$	$10.75^{a}\pm0.21$
โปรตีน (%)	$19.20^{a}\pm0.10$	$19.26^{a}\pm0.18$	$19.26^{a}\pm0.18$	$19.26^{a}\pm0.18$
เส้นใยอาหาร (%)	$0.69^{a}\pm0.32$	$1.28^{a}\pm0.11$	$1.06^{a}\pm0.06$	$0.56^{a}\pm0.04$
คาร์โบไฮเดรต (%)	$55.03^{a}\pm0.16$	$54.58^{a}\pm0.31$	$54.55^{a}\pm1.06$	$55.11^{a}\pm0.22$

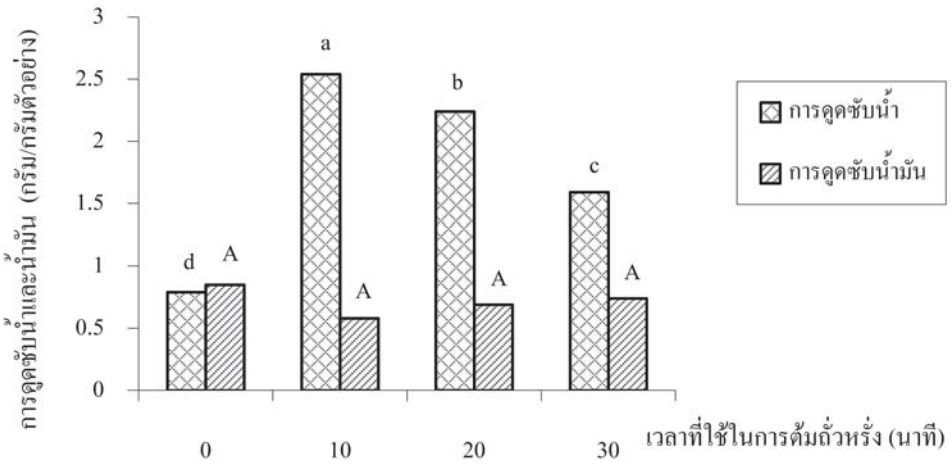
หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c, ... ที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

จากการศึกษาปริมาณสารต่อต้านโภชนาการ 2 ชนิด ได้แก่ สารยับยั้งทริปซิน (Trypsin Inhibition Activity: TIA) และปริมาณแทนนิน (Tannin) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 พบว่า เวลาในการต้มถั่วหรั่งมีผลต่อปริมาณสารยับยั้งทริปซิน และปริมาณแทนนิน ($p < 0.05$) โดยที่การต้มจะทำให้ปริมาณสารยับยั้งทริปซิน และปริมาณแทนนินลดต่ำลง และที่เวลาการต้ม 10 20 และ 30 นาที ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้ การต้มทำให้ปริมาณสารยับยั้งทริปซินลดต่ำลงถึงร้อยละ 91.81-92.65 เนื่องจากการต้มถั่วหรั่งในน้ำเดือดทำให้สารยับยั้งทริปซินสามารถละลายน้ำออกมา รวมถึงการต้มส่งผลกระทบโดยตรงต่อโครงสร้างของสารยับยั้งทริปซิน ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ที่พบว่า การให้ความร้อนกับถั่วหรั่งจะช่วยลดปริมาณสารยับยั้งทริปซินได้ และเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณสารยับยั้งทริปซินจะแตกต่างกันไปขึ้นกับกรรมวิธีและเวลาในการให้ความร้อน (Barimalaa and Anoghalu, 1997; Ijarotimi and Esho, 2009; Omoikhoje, Aruna, and Bamgbose, 2009) นอกจากนี้ ยังพบว่า การต้มจะทำให้ปริมาณแทนนินลดลงร้อยละ 76.26-77.63 ขึ้นกับเวลาในการต้ม ซึ่งจากการทดลองของ Nti (2009) พบว่า การต้มถั่วหรั่งเป็นเวลา 25 นาที ส่งผลให้ปริมาณแทนนินลดต่ำลงจากเดิม 1.14-1.79 mg/g เป็น 0.09-1.10 mg/g ขึ้นกับสายพันธุ์ของถั่วหรั่ง เนื่องจากการต้มทำให้แทนนินละลายน้ำออกมา

ตารางที่ 2 ปริมาณสารยับยั้งทริปซิน และแทนนินในแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)	สารยับยั้งทริปซิน		แทนนิน	
	ปริมาณ (มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง)	%Loss	ปริมาณ (มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่าง)	%Loss
0	$13.20^{a}\pm0.28$	-	$2.19^{a}\pm0.01$	-
10	$1.05^{b}\pm0.07$	92.05	$0.52^{b}\pm0.01$	76.26
20	$1.08^{b}\pm0.16$	91.81	$0.49^{b}\pm0.01$	77.63
30	$0.97^{b}\pm0.01$	92.65	$0.50^{b}\pm0.01$	77.17

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, ... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT



ภาพที่ 1 การดูดซับน้ำและน้ำมันของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มที่เวลาต่าง ๆ

สมบัติทางหน้าที่ของแป้งถั่วหรั่ง

จากการศึกษาค่าการดูดซับน้ำ และการดูดซับน้ำมันของแป้งถั่วหรั่งได้ผลแสดงดังรูปที่ 1 พบว่าการต้มถั่วหรั่งจะมีผลต่อค่าการดูดซับน้ำของแป้งถั่วหรั่ง ($p < 0.05$) โดยแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มจะมีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม และเมื่อเวลาที่ใช้ในการต้มมากขึ้น แป้งถั่วหรั่งจะมีการดูดซับน้ำลดลง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Odoemelam (2005) ที่พบว่าการให้ความร้อนจะทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีค่าการดูดซับน้ำมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้โครงสร้างที่เป็นหน่วยย่อย (Subunit Structure) เกิดการแตกตัวเป็นประจุ (Dissociation) ทำให้มีด้านที่สามารถรวมกับน้ำ (Water Binding Site) มากขึ้น รวมถึงการให้ความร้อนทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาติ-

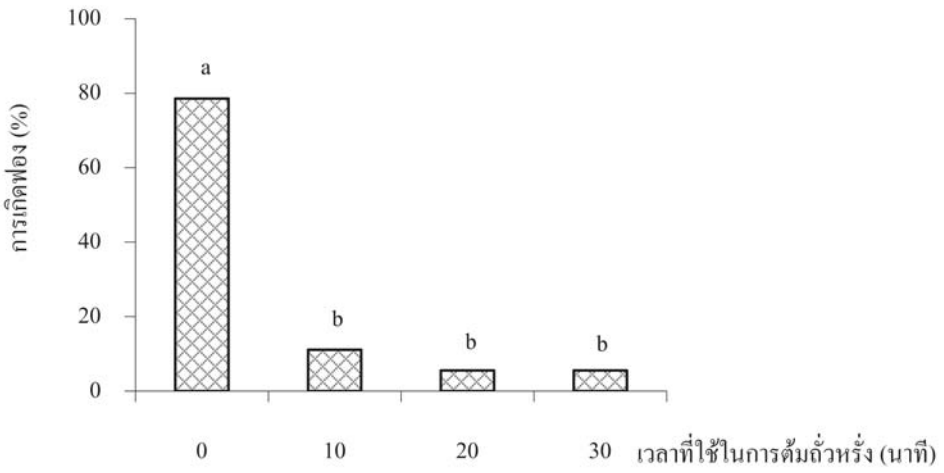
ไนเซชั่น และเส้นใยอาหารต่าง ๆ เกิดการบวมพอง ดังนั้น จึงส่งผลให้แป้งมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเวลาที่ใช้ให้ความร้อนเพิ่มขึ้นแป้งถั่วหรั่งจะมีการอุ้มน้ำลดต่ำลง เพราะโปรตีนเกิดการเสียสภาพ (Denaturation) ทำให้เกิดการคลายตัวของโครงสร้าง (Unfold) ด้านที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Site) ที่อยู่ด้านในเป็นอิสระ สมบัติการดูดซับน้ำจึงลดต่ำลงตามเวลาการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่า การต้มถั่วหรั่งจะไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของแป้งถั่วหรั่ง ($p > 0.05$) กล่าวคือ แป้งถั่วหรั่งจะมีค่าการดูดซับน้ำมันประมาณ 0.58-0.85 g oil/g sample ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ Adebowale, Afolabi, and Lawal (2002) ที่พบว่า แป้งถั่วหรั่งมีค่าการดูดซับน้ำมันเท่ากับ 1.96 g oil/g sample ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวน่าจะมาจากสายพันธุ์ที่แตกต่างกันของถั่วหรั่ง รวมถึงความแตกต่างของปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 3 กำลังการพองตัว การละลายน้ำ และความเข้มข้นต่ำสุดในการเกิดเจลของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)	กำลังการพองตัว (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)	การละลายน้ำ (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความเข้มข้นต่ำสุดในการเกิดเจล (%)
0	$3.32^{c}\pm0.19$	$0.29^{a}\pm0.02$	9
10	$10.21^{a}\pm0.94$	$0.32^{a}\pm0.20$	14
20	$6.88^{b}\pm0.40$	$0.11^{a}\pm0.04$	14
30	$6.84^{b}\pm0.07$	$0.11^{a}\pm0.01$	14

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, ... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

จากการศึกษากำลังการพองตัว และการละลายน้ำของแป้งถั่วหรั่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3 พบว่า การต้มถั่วหรั่งจะไม่ค่อยมีผลต่อค่าการละลายน้ำของแป้งถั่วหรั่ง ($p > 0.05$) โดยที่แป้งถั่วหรั่งจะมีการละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.11-0.32 g/g dry sample ในขณะที่การต้มจะมีผลต่อค่ากำลังการพองตัวของแป้งถั่วหรั่ง กล่าวคือ การต้มจะทำให้แป้งถั่วหรั่งมีค่ากำลังการพองตัวมากขึ้น โดยการต้ม 10 นาที จะทำให้แป้งถั่วหรั่งมีกำลังการพองตัวสูงที่สุด คือ 10.21 g/g sample และจะลดต่ำลงเมื่อต้มเป็นเวลา 20 และ 30 นาที ตามลำดับ ซึ่งค่าการพองตัวของแป้งถั่วหรั่งจะสัมพันธ์กับค่าการดูดซับน้ำ (รูปที่ 1) กล่าวคือ หากแป้งถั่วหรั่งมีค่าการดูดซับน้ำสูงก็จะมีค่ากำลังการพองตัวสูงเช่นกัน นอกจากนี้ ยังพบว่า แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้มจะมีความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดเจลเท่ากับ 9 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มทั้ง 3 ช่วงเวลา ต้องใช้ความเข้มข้นถึง 14 เปอร์เซ็นต์ จึงจะเกิดเจลได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Odoemelam (2005) ที่พบว่า การให้ความร้อนทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีความเข้มข้นต่ำสุดในการเกิดเจลเพิ่มขึ้นจาก 16 เปอร์เซ็นต์ เป็น 18 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้แกรนูลสตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ไปบ้างแล้ว ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลลดต่ำลง ต้องใช้ความเข้มข้นมากขึ้นจึงจะเกิดเจลได้



ภาพที่ 2 สมบัติการเกิดฟองของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่าง ๆ

จากการศึกษาสมบัติการเกิดฟองได้ผลดังรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มจะมีสมบัติการเกิดฟองที่ลดต่ำลง ($p < 0.05$) และการต้มที่เวลาต่างกันจะไม่ส่งผลต่อสมบัติการเกิดฟองของแป้งถั่วหรั่ง ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติการเกิดฟองของแป้งจะขึ้นกับปริมาณโปรตีนธรรมชาติ (Native Protein) ดังนั้น การต้มจะส่งผลให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ สมบัติการเกิดฟองจึงลดต่ำลง และเมื่อต้มนานขึ้น สมบัติการเกิดฟองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Odoemelam (2005) ที่พบว่า การให้ความร้อนจะทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีสมบัติการเกิดฟองลดต่ำลงจาก 7.1 เป็น 6.0 g/ml

ตารางที่ 4 สมบัติการเกิดอิมัลชั่นของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)	การเกิดอิมัลชั่น (%)	ความเสถียรของอิมัลชั่น (%)
0	64.44±3.85	62.22±3.85
10	ND	ND
20	ND	ND
30	ND	ND

หมายเหตุ: ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้ (non detect)

ผลการศึกษาสมบัติการเกิดอิมัลชั่น และความเสถียรของอิมัลชั่นของแป้งถั่วหรั่งแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้มจะมีค่าการเกิดอิมัลชั่น และความเสถียรของอิมัลชั่นเท่ากับ 64.44 และ 62.22 ตามลำดับ และการต้มถั่วหรั่งจะทำให้แป้งถั่วหรั่งสูญเสียสมบัติด้านการเกิดอิมัลชั่นจนไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวที่ทำให้แป้งเกิดสมบัติอิมัลชั่น และเมื่อให้ความร้อนโดยการต้มโปรตีนจะเกิดการเสียสภาพทำให้แป้งถั่วหรั่งสูญเสียสมบัติด้านนี้ไป ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการ

ทดลองของ Odoemelam (2005) ที่พบว่า การให้ความร้อนทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีสมบัติการเกิดอิมัลชั่นลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Abbey and Ibek (1988) ที่พบว่า การให้ความร้อนส่งผลให้แป้งเมล็ดถั่วฝักยาวมีสมบัติการเกิดอิมัลชั่นลดต่ำลงเช่นกัน เนื่องจากการให้ความร้อนส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญต่อสมบัติการเกิดอิมัลชั่นของแป้ง

ตารางที่ 5 สมบัติด้านการเกิดเจลาติไนเซชั่นของน้ำแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่าง ๆ

พารามิเตอร์	เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)			
	0	10	20	30
A. Gelatinization Temperature (°C)	$79.9^{c}\pm0.11$	$94.5^{a}\pm0.11$	$81.9^{b}\pm0.07$	$77.8^{d}\pm0.28$
B. Peak Viscosity (BU)	$399.0^{a}\pm5.66$	$23.5^{d}\pm3.54$	$96.0^{c}\pm4.24$	$158.0^{b}\pm1.41$
C. Hot Paste Viscosity (BU)	$385.0^{a}\pm1.41$	$23.0^{d}\pm2.83$	$96.0^{c}\pm4.24$	$158.0^{b}\pm1.41$
D. Cold Paste Viscosity (BU)	$615.0^{a}\pm9.90$	$69.0^{d}\pm7.07$	$140.5^{c}\pm7.78$	$312.5^{b}\pm3.54$
Breakdown (BU) (B-C)	$14.0^{a}\pm0.42$	$0.05^{b}\pm0.71$	$0.0^{b}\pm0.00$	$0.0^{b}\pm0.00$
Setback (BU) (D-B)	$216.0^{a}\pm5.56$	$45.5^{c}\pm1.61$	$44.5^{c}\pm3.54$	$154.5^{b}\pm4.95$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, ... ที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ผลของการศึกษาสมบัติด้านการเกิดเจลาติไนเซชั่นของน้ำแป้งถั่วหรั่งโดยใช้ Brabender Viscoamylograph ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 5 พบว่า เวลาในการต้มมีผลต่อสมบัติด้านการเกิดเจลาติไนเซชั่นของน้ำแป้งถั่วหรั่งในทุก ๆ ค่า โดยที่แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มเป็นเวลา 10 นาที จะมีอุณหภูมิในการเกิดเจล (Gelatinization Temperature) สูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มเป็นเวลา 20 และ 30 นาทีตามลำดับ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนส่งผลกระทบโดยตรงต่อองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ของแป้งถั่วหรั่งจึงทำให้แป้งถั่วหรั่งที่ได้มีสมบัติเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจากการทดลองของ Adebowale, Afolabi, and Lawal (2002) พบว่า สตาร์ชของถั่วหรั่งธรรมชาติ (Bambara Native Starch) มีอุณหภูมิในการเกิดเจลเท่ากับ 84 องศาเซลเซียส ในขณะที่ในการทดลองนี้แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้มมีอุณหภูมิในการเกิดเจลเท่ากับ 79.9 องศาเซลเซียส ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวอาจมาจากสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน รวมถึงความแตกต่างทางองค์ประกอบทางเคมีระหว่างแป้งถั่วหรั่งกับสตาร์ชของถั่วหรั่ง และนอกจากนี้ ยังพบว่า เวลาในการต้มส่งผลให้ค่า Peak Viscosity, Hot Paste Viscosity, Cold Paste Viscosity และ Set Back ลดลงจากแป้งที่ไม่ผ่านการต้ม ($p < 0.05$) แต่เมื่อเวลาที่ต้มนานขึ้น จะเห็นว่าค่าเหล่านี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเป็นผลมาจากปริมาณอะไมโลส (Amylose Content) และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสกับไขมัน (Amylose-lipid Complex Formation) รวมถึงการเกิดรีโทรกราเดชั่น (Retrogadation) ของอะไมโลสที่ละลายน้ำได้ (Bhattacharya, Zee, and Corke, 1999) ซึ่งการให้ความร้อนทำให้

องค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อความหนืดของแป้ง และเมื่อพิจารณาค่า Breakdown หรือความทนทานของเม็ดแป้งต่อการเคี่ยว พบว่า แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มจะมีความทนทานต่อการเคี่ยว กล่าวคือ ค่าความหนืดจะคงที่ แม้เคี่ยวแป้งที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยดูจากค่า Breakdown ที่น้อยกว่าแสดงว่ามีความทนทานต่อการเคี่ยวมากกว่า ส่วนค่า Setback หรือค่าการแข็งตัวของแป้งสุกที่เย็นลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดสูงสุด พบว่า แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มจะมีค่า Setback ต่ำกว่าแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม ($p < 0.05$)

สรุปผลการทดลอง

การต้มถั่วหรั่งในน้ำเดือดเป็นเวลา 10-30 นาที จะไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตของแป้งถั่วหรั่ง ($p > 0.05$) แต่จะสามารถลดปริมาณแทนนินและสารยับยั้งทริปซินได้ถึงร้อยละ 76.26-77.63 และ 91.81-92.65 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม นอกจากนี้ การต้มถั่วหรั่งยังทำให้ค่าการอุ้มน้ำและกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้น แต่สมบัติการเกิดฟอง การเกิดอิมัลชั่น และการเกิดเจลลดต่ำลง รวมถึงค่าความหนืดจาก Barberder Viscoamylograph ลดต่ำลงด้วยเช่นกัน ($p < 0.05$)

บรรณานุกรม

Abbey, B.W., and Ibeh, G.O. 1988. "Functional Properties of Raw and Heat Processed Cowpea *(Vigna unguiculata, Walp)* Flour." **Journal of Food Science** 53: 1775-1777, 1791.

Adebowale, K.O., Afolabi, T.A., and Lawal, O.S. 2002. "Isolation, Chemical Modification and Physicochemical Characterization of Bambarra Groundnut *(Voandzeia subterranean)* Starch and Flour." **Food Chemistry** 78: 305-311.

Amarteifio, J.O., and Moholo, D. 1998. "The Chemical Composition of Four Legumes Consumed in Botswana." **Journal of Food Composition and Analysis** 11: 329-332.

Association of Official Analytical Chemists. 1990. **Official Method of Analysis.** 15th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

Barimalaa, I.S., and Anoghalu, S.C. 1997. "Effect of Processing on Certain Antinutrients in Bambara Groundnut *(Vigna subterranea)* Cotyledons." **Journal of the Science of Food and Agriculture** 73: 186-188.

Bhattacharya, M., Zee, S.Y., and Corke, H. 1999. "Physicochemical Properties Related to Quality of Rice Noodles." **Cereal Chemistry** 76: 861-867.

Fasoyiro, S.B., et al. 2006. "Proximate, Minerals and Antinutritional Factors of Some Under-Utilized Grain Legumes in South-Western Nigeria." **Nutrition and Food Science** 36: 18-23.

Guerrero, L.C., et al. 2002. "Functional Properties of Flours and Isolates from *Phaseolus lunatus* and *Canavalia*

ensifrormis Seeds." **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50: 584-591.

Ijarotimi, O.S., and Esho, T.R. 2009. "Composition of Nutritional Compositional and Anti-Nutrient Status of Fermented, Germinated and Roasted Bambara Groundnut Seeds *(Vigna subterranes).*" **British Food Journal** 111: 376-386.

Kalaya, Paramaporn, and Sompong, Tippawan. 2004. **Composition and Physico-Chemical of Bambara Groundnut Flour.** Songkla: Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University. (in Thai).

ปรมาภรณ์ กัลยาณ์ และ ทิพวรรณ สมพงษ์. 2547. **องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งถั่วหรั่ง.** สงขลา: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Mbata, T.I., Ikenebomeh, M.J., and Ezeibe, S. 2009. "Evaluation of Mineral Content and Functional Properties of Fermented Maize (Generic and specific) Flour Blended with Bambara Groundnut *(Vigna subterranean L).*" **African Journal of Food Science** 3: 107-112.

Minka, S.R., and Bruneteau, M. 2000. "Partial Chemical Composition of Bambara Pea [*Vigna subterranea* (L.) *Verde*]." **Food Chemistry** 68: 273-276.

Nti, C.A. 2009. "Effects of Bambara Groundnut (*Vigna subterranean*) Variety and Processing on the Quality and Consumer Appeal for Its Products." International **Journal of Food Science and Technology** 44: 2234-2242.

Odoemelam, S.A. 2005. "Functional Properties of Raw and Heat Processed Jackfruit *(Artocarpus heterophyllus)* Flour." **Pakistan Journal of Nutrition** 4: 366-370.

Olaleke, A.M., Olorunfemi, O., and Emmauel, A.T. 2006. "A Comparative Study on the Chemical and Amino Acid Composition of Some Nigerian Under-Utilized Legume Flours." **Pakistan Journal of Nutrition** 5: 34-38.

Omoikhoje, S.O., Aruna, M.B., and Bamgbose, A.M. 2009. "Effect of Cooking on Some Nutrient and Antinutrient Components of Bambara Groundnut Seeds." **Animal Science Journal** 80: 52-56.

Onimawo, I.A., and Akpojovwo, A.E. 2006. "Toasting (Dry Heat) and Nutrient Composition Functional Properties and Antinutritional Factors of Pigeon Pea *(Cajanus cajan)* Flour." **Journal of Food Processing and Preservation** 30: 742-753.

Onwuka, G.I. 2006. "Soaking, Boiling and Antinutritional Factors in Pigeon Peas *(Cajanus cajan)* and Cowpea *(Vigna unguiculata).*" **Journal of Food Processing and Preservation** 30: 616-630.

Tattiyakul, J., Asavasaksakul, S., and Pradipasena, P. 2006. "Chemical and Physical Properties of Flour Extracted from Taro *Colocasia esculenta (L.)* Schott Grown in Different Regions of Thailand." **Science Asia** 32: 279-284.

Kamontip Ekthamasut is an Assistant Professor in the School of Science and Technology, University of the Thai Chamber of Commerce (UTCC), Bangkok, Thailand. Her current research includes edible films and cereal products. She received her Master of Science degree in Food Technology from Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.