

อิทธิพลของอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูงจากแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105

The Influence of Barrel Temperature and Feed Moisture on Chemical, Physical and Sensory Quality of High Protein Extrudates from Khao Dawk Mali 105 Brown Rice Flour

สุธาสินี ศรีวิลัย¹, ปาริสุทธิ์ เกลิมชัยวัฒน์^{2*}, นองนุช ศิริวงศ์² และพรพราวตา จันทโร³
Sutasinee Sriwilai¹, Parisut Chalermchaiwat^{2*}, Nongnuch Siriwong² and Prawta Chantaro³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูง โดยจัดสิ่งทดลองแบบ 2x3 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองกลุ่มสมบูรณ์ (2x3 Factorial in CRD) มีปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิบาร์เรล 2 ระดับ (140 และ 160 องศาเซลเซียส) และความชื้นของตัวอย่างป้อน 3 ระดับ (ร้อยละ 16, 18 และ 20) ที่ความเร็วรอบของสกรู 350 รอบต่อนาที ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิบาร์เรล 160 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งของเอกซ์ทรูเดตลดลง อัตราการฟองตัว สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ด้วยวิธี Diphenyl-picrylhydrazyl radical scavenging assay, DPPH และ Ferric ion reducing antioxidant power assay, FRAP) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส การเพิ่มความชื้นของตัวอย่างป้อนส่งผลให้ค่าความหนาแน่นและความแข็งของเอกซ์ทรูเดตเพิ่มขึ้น แต่อัตราการฟองตัว สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ลดลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนที่ทำการศึกษาไม่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยยังคงมีปริมาณโปรตีนสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 11.51 – 11.57 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 - point hedonic scale พบว่า เอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูงที่ได้รับค่าคะแนนความชอบสูงที่สุดในทุกคุณลักษณะมาจากสภาวะการผลิตที่อุณหภูมิบาร์เรล 160 องศาเซลเซียสและความชื้นของตัวอย่างป้อน ร้อยละ 18 และที่สภาวะนี้มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวมของเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูงเท่ากับ 8.04 (ระดับชอบมาก)

คำสำคัญ: อุณหภูมิบาร์เรล ความชื้นของตัวอย่างป้อน เอกซ์ทรูเดต โปรตีนสูง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of barrel temperature and feed moisture on the chemical, physical and sensory quality of high protein extrudates. A 2x3 factorial in CRD with two levels of barrel temperature (140 and 160 °C) and three levels of feed moisture (16, 18 and 20 %) were used in this study with 350 rpm of screw speed. Results showed that at 160 °C of barrel temperature caused a decrease in bulk density and hardness of extrudates, but slightly increase in expansion ratio, total phenolic content and antioxidant activity (Diphenyl-picrylhydrazyl radical scavenging assay, DPPH and Ferric ion reducing antioxidant power assay, FRAP) of extrudates compared to that of 140 °C barrel temperature. The bulk density and hardness of extrudates increased whereas expansion ratio, total phenolic content and antioxidant activity (DPPH and FRAP) of extrudates decreased with increasing of feed moisture. However, the level of feed moisture and barrel temperature in this study had no significant

¹สาขาวิชาเกษตรเขตร้อน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี 84100

effect on protein content. The extrudates exhibited high protein content in the range of 11.51 – 11.57%. The result of sensory evaluation by using 9-point hedonic scale showed that the highest liking scores of all sensory attributes were obtained from 160°C of barrel temperature and 18% of feed moisture treatment. At this condition the mean overall liking scores of high protein extrudates was 8.04 (like very much).

Keyword: barrel temperature, feed moisture, extrudates, high protein, antioxidant activity

คำนำ

ขนมขบเคี้ยว หมายถึง อาหารที่ผู้บริโภคไม่ได้รับประทานเป็นอาหารมื้อหลัก แต่จะรับประทานในช่วงระหว่างมื้อหลักเพื่อบรรเทาความหิวอาจเป็นของหวานหรือของเคี้ยวโดยผ่านกระบวนการแปรรูป ซึ่งมีอยู่หลากหลายรูปแบบและรสชาติ (นิภาธร, 2557) การบริโภคอาหารขบเคี้ยวได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มอายุ (Hegazy *et al.*, 2017) ขนมขบเคี้ยวในท้องตลาดส่วนใหญ่มีคาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นองค์ประกอบหลักมีปริมาณโปรตีนต่ำ ซึ่งไม่เป็นที่นิยมสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ จากสถานการณ์ตลาดขนมขบเคี้ยวประเทศไทยในปี พ.ศ. 2558 พบว่ามีการแข่งขันสูง และมีการเติบโตขึ้นร้อยละ 10 จากปี พ.ศ. 2557 ดังนั้นผู้ผลิตสินค้าจึงมีการปรับตัวโดยผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคที่รักสุขภาพเพิ่มขึ้น เช่น ขนมขบเคี้ยวที่ไม่ผ่านการทอด ขนมขบเคี้ยวไขมันต่ำและขนมขบเคี้ยวประเภทโปรตีนสูง (ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2559) ในขณะที่ยังมีความนิยมในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทโปรตีนสูง แต่ในประเทศไทยผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโปรตีนสูงมีค่อนข้างน้อยยังคงนำเข้าจากต่างประเทศและราคาค่อนข้างสูง (กชแก้ว และคณะ, 2559) ตัวอย่างขนมขบเคี้ยวโปรตีนสูงที่มีในท้องตลาด เช่น ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งโปรตีนสูง ขนมขบเคี้ยวแปรรูปจากเนื้อหมู และขนมขบเคี้ยวจากเนื้อปลา เป็นต้น ขนมขบเคี้ยวต่างๆ นั้นล้วนมีกรรมวิธีการผลิตมาจากกระบวนการ เอกซ์ทรูชัน (extrusion) ซึ่งคือ การแปรรูปอาหารโดยใช้อุปกรณ์เรียกว่า เอกซ์ทรูเดอร์ (extruder) ประกอบด้วยการผสม การทำให้สุก การนวด การเคี้ยว และการขึ้นรูปทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างและเนื้อสัมผัสหลากหลาย ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เรียกว่า เอกซ์ทรูเดต (สุนทร, 2555) เอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นจึงสามารถคงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเอาไว้ได้ อีกทั้งยังสามารถทำให้เกิดการพองกรอบโดยไม่ต้องอาศัยการทอดด้วยน้ำมันจึงเหมาะที่จะนำมาพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (Liang *et al.*, 2013) แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยของกระบวนการผลิตก็ล้วนส่งผลต่อคุณภาพของเอกซ์ทรูเดต ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างงานวิจัย เช่น Ding *et al.* (2006) พบว่าปัจจัยของอุณหภูมิบาร์เรลจะส่งผลต่อการพองตัวของเอกซ์ทรูเดต โดยอัตราการพองตัวจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบาร์เรล Chalermchaiwat *et al.* (2015) , Sumargo *et al.* (2016) และ Ding *et al.* (2006) พบว่าปัจจัยของปริมาณความชื้นของตัวอย่างป้อนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นและความแข็งของเอกซ์ทรูเดตเพิ่มขึ้นอัตราการพองตัวจะลดลง Chanlat *et al.* (2011) พบว่าการเพิ่มอัตราเร็วรอบของสกรูจะส่งผลให้ค่าการพองตัวเพิ่มขึ้นแต่จะลดความหนาแน่นและความแข็งของเอกซ์ทรูเดต และ Singh *et al.* (2007) พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบสูงขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความพองตัวลดลง มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เป็นต้น ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เนื่องจากให้การพองตัวที่ดีทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่กรอบ มีสีอ่อน รสจัดเป็นธรรมชาติ รวมทั้งคงตัวดีในการเก็บรักษา และเหมาะกับการใช้เป็นองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพิ่มกลิ่นรส (Keawpeng *et al.*, 2014) ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าที่มีชื่อเสียงของประเทศไทยมีลักษณะเฉพาะคือ มีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นใบเตยเป็นเอกลักษณ์ที่เกิดจากสาร 2-acetyl-1-pyrroline (2 AP) ในเมล็ดข้าว (นิรันดร์, 2555) ข้าวกล้องเป็นธัญชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดอยู่ (ทิวาทิพย์ และคณะ, 2559) ซึ่งการบริโภคข้าวกล้องนั้น สามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังได้หลายชนิด

เช่น โรคมะเร็งและโรคหัวใจ เป็นต้น ช่วยยับยั้งการเสื่อมของเซลล์ อีกทั้งยังมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวที่ถูกขัดสีแล้ว (อนุชิตา, 2555) ตลาดขนมขบเคี้ยวในปัจจุบันนั้นมีการนำข้าวกล้องมาเป็นวัตถุดิบหลักมากขึ้นเพื่อตอบสนองกระแสสุขภาพตามความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาสภาวะสำหรับการผลิตเอกซ์ทราคตโปรตีนสูงที่ผลิตจากแป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 105 แต่เนื่องจากข้าวกล้องยังมีปริมาณโปรตีนที่น้อย ดังนั้นเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการจึงเสริมผงโปรตีนเข้าไปในแป้งข้าวให้ปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้นเพื่อสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค โดยทำการศึกษาผลของอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อน ต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสเพื่อนำเอกซ์ทราคตโปรตีนสูงที่ได้ไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งโปรตีนสูงต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ศึกษาอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนในกระบวนการเอกซ์ทราคตโปรตีนสูง

นำส่วนผสมของแป้งข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับผงโปรตีน (ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทศูนย์วิทยาศาสตร์เบทาโกร จำกัด) ในอัตราส่วน 95 : 5 ด้วยเครื่องผสมอาหาร (kitchenaid, professional 600, U.S.A.) โดยใช้หัวตีตะขอ ความเร็วระดับ 3 เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทราคตโปรตีนสูง (hermann berstorff laboratory, ZE25 x 33D, Germany) เพื่อผลิตเป็นเอกซ์ทราคตโปรตีนสูง จัดสิ่งทดลองแบบ 2x3 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ (2x3 factorial in CRD) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิบาร์เรล 2 ระดับ คือ 140 และ 160 องศาเซลเซียส และความชื้นของตัวอย่างที่ป้อน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 16, 18 และ 20 เอกซ์ทราคตโปรตีนสูงที่ได้จะถูกนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที นำเอกซ์ทราคตโปรตีนสูงที่ผ่านการอบไปบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ดังนี้

1.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

1.1.1 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ในระบบ CIE ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (hunter-lab รุ่น ultra scan vis U.S.A.) วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง

1.1.2 ค่าความหนาแน่น (bulk density) คัดแปลงตามวิธีการของ Ding et al. (2005) รายงานหน่วยเป็น กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง

1.1.3 อัตราการพองตัว (expansion ratio) โดยการคำนวณได้จาก อัตราส่วนการพองตัว = เส้นผ่านศูนย์กลางเอกซ์ทราคต / เส้นผ่านศูนย์กลางหน้ารูปเปิด (die) รายงานหน่วยเป็นเท่า วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง

1.1.4 ค่าเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าความแข็ง (hardness) คัดแปลงตามวิธีการของ Chalermchaiwat et al. (2015) ด้วยเครื่อง Texture analyzer (stable micro systems TA.XT plus U.S.A.) ใช้หัววัด P50 สภาวะที่ใช้ทดสอบ คือ ความเร็วก่อนทดสอบ (pre-test speed) 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วขณะทดสอบ (test speed) 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วหลังทดสอบ (post-test speed) 10 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกดหัววัดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทางร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่าง รายงานหน่วยเป็นนิวตัน (N) วัดค่าซ้ำ 10 ครั้ง

1.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่

1.2.1 ปริมาณโปรตีนของเอกซ์ทราคต ตามวิธีการของ AOAC (2010) วัดค่าซ้ำ 3 ครั้ง

1.2.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร สารมาตรฐาน คือ Gallic acid รายงานผลเป็นหน่วย mg GAE/100g sample คัดแปลงตามวิธีการของ Chalermchaiwat et al. (2015) วัดค่าซ้ำ 3 ครั้ง

1.2.3 การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี Diphenyl-picrylhydrazyl radical scavenging assay (DPPH) วัด

ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร สารมาตรฐาน คือ Trolox รายงานผลเป็นหน่วย mg TE/100 g sample และวิธี Ferric ion reducing antioxidant power assay (FRAP) วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร สารมาตรฐาน คือ FeSO₄ รายงานผลเป็นหน่วย mg FeSO₄/100g sample ดัดแปลงตามวิธีการของ Chalermchaiwat et al. (2015) วัดค่าซ้ำ 3 ครั้ง

1.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9 - point hedonic scale) กับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน ในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น ความกรอบ รสตกค้างในปาก และความชอบโดยรวม

2. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำผลมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนส่งผลต่อลักษณะปรากฏและคุณภาพของเอกซ์ทรูเดต เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิบาร์เรลที่เพิ่มขึ้นจาก 140 องศาเซลเซียส เป็น 160 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นของตัวอย่างป้อนเดียวกัน พบว่าเอกซ์ทรูเดตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น แสดงดัง Figure 1 ค่าความหนาแน่นของเอกซ์ทรูเดตลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิบาร์เรลสูงขึ้นทำให้น้ำในอาหารถูกเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำระเหยออกไปได้มากขึ้นโดยอัตราการพองตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิบาร์เรลสูงขึ้น และมีความหนาแน่นลดลง Ding et al. (2006)

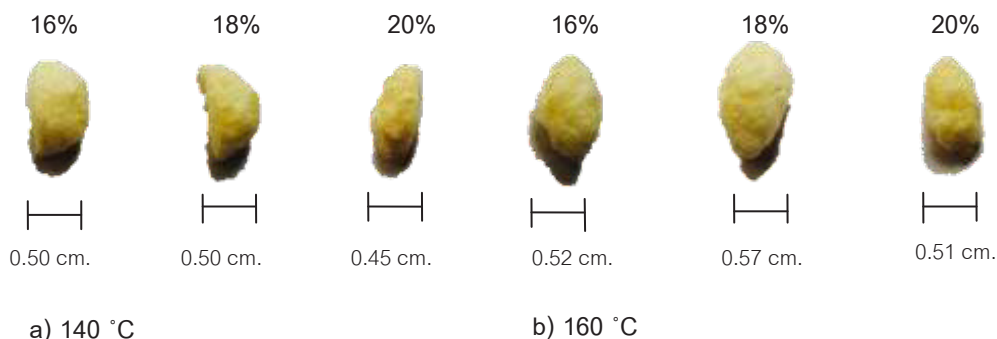


Figure 1 Extrudates by various barrel temperature 140 °C (a) 160 °C (b) and feed moisture 16%, 18% and 20%, respectively.

ที่อุณหภูมิบาร์เรล 140 องศาเซลเซียส การเพิ่มปริมาณความชื้นของตัวอย่างป้อนจาก ร้อยละ 16 เป็น 20 มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จาก 0.26 กรัม/ลบ.ซม. เป็น 0.32 กรัม/ลบ.ซม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น จาก 14.60 นิวตัน เป็น 15.46 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิบาร์เรล 160 องศาเซลเซียส การเพิ่มปริมาณความชื้นของตัวอย่างป้อนจาก ร้อยละ 16 เป็น 20 มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จาก 0.26 กรัม/ลบ.ซม. เป็น 0.27 กรัม/ลบ.ซม. แสดงดัง Table 1

Table 1 Physical properties of extrudates as affected by various feed moisture and barrel temperature.

Feed moisture (%)	Barrel temperature (°C)	Bulk density (g/cm ³)	Expansion ratio (fold)	Hardness (N)	Color		
					L*	a*ns	b*ns
16	140	0.26±0.02cd	2.02±0.46b	14.60±0.38b	79.07±0.83a	4.45±0.20	24.25±0.49
18	140	0.28±0.01b	2.01±0.06b	14.66±0.40b	78.47±0.61a	4.39±0.20	24.30±0.41
20	140	0.32±0.01a	1.82±0.10c	15.46±0.51a	77.41±0.95b	4.46±0.19	24.11±0.42
16	160	0.26±0.02cd	2.06±0.25b	14.51±0.21b	79.07±0.93a	4.47±0.21	24.31±0.40
18	160	0.25±0.01d	2.20±0.13a	12.78±0.23c	79.18±0.60a	4.45±0.10	24.40±0.40
20	160	0.27±0.02c	2.04±0.93b	14.54±0.27b	78.91±0.77a	4.41±0.10	24.33±0.45

a-d Means ± SD of ten measurements with different superscript letters in each column are significantly different ($P \leq 0.05$).

ns Means within the same column are not significantly different ($P > 0.05$).

การเพิ่มปริมาณความชื้นของตัวอย่างป้อนส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อความชื้นของตัวอย่างป้อนสูงขึ้น จะทำให้สภาวะในกระบวนการเอกซ์ทรูชันนั้นมีค่าพลังงานจำเพาะทางกลลดลงจึงเป็นผลให้ ค่ามอเตอร์ทอร์ค อุณหภูมิของตัวอย่าง และความดันหน้าแปลนลดลงด้วย สภาวะดังกล่าวนี้ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และการพองตัวของเอกซ์ทรูเดตลดลง (Chalermchaiwat *et al.*, 2015) อีกทั้งปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้ไอน้ำในเอกซ์ทรูเดตไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็วขณะที่เอกซ์ทรูเดตได้ผ่านพื้นจากหน้าแปลนทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูง มีการพองตัวที่ต่ำ ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Keawpeng *et al.* (2014) ที่ศึกษาสภาวะการผลิตเอกซ์ทรูเดตในแป้งข้าวสังข์หยดและ Chanlat *et al.* (2011) ที่ศึกษาสภาวะการผลิตเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้อง ที่ล้วนแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณความชื้นของตัวอย่างป้อน ส่งผลให้เอกซ์ทรูเดตมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและมีการพองตัวที่ลดลง สภาวะการผลิตที่อุณหภูมิบาร์เรล 160 องศาเซลเซียส ระดับความชื้นของตัวอย่างป้อนเท่ากับร้อยละ 18 ให้เอกซ์ทรูเดตมีค่าการพองตัวสูงสุด (2.20 เท่า) มีค่าความหนาแน่น (0.25 กรัม/ลบ.ซม.) และค่าความแข็งน้อยที่สุด (12.78 นิวตัน) สภาวะการผลิตที่มีปริมาณความชื้นของตัวอย่างป้อนสูงสุด (ร้อยละ 20) ร่วมกับการใช้อุณหภูมิต่ำสุด (140 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) มีค่าต่ำสุด เนื่องจากความชื้นตัวอย่างป้อนสูงในอุณหภูมิต่ำทำให้เอกซ์ทรูเดตมีความหนาแน่นสูงทำให้มีสีเข้มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของนิพนธ์และคณะ (2555) ที่ศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันจากข้าวและถั่วของไทยแล้วพบว่า เมื่อเพิ่มความชื้นของตัวอย่างป้อนส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลงเช่นกัน แต่ไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นสีแดง (a*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิบาร์เรล และปริมาณความชื้นของตัวอย่างป้อนที่เพิ่มขึ้นที่ไม่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีนของเอกซ์ทรูเดต โดยยังคงมีปริมาณโปรตีน เท่ากับร้อยละ 11 ซึ่งไม่แตกต่างกับปริมาณโปรตีนในแป้งเริ่มต้นก่อนกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เอกซ์ทรูเดตที่ได้จากสภาวะการผลิตนี้ ยังคงเป็นเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูงเนื่องจากมีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) สอดคล้องกับการศึกษาของ อโนชา (2545) ที่ศึกษาผลของโปรตีนไอโซเลตจากถั่วเหลืองและรำข้าวต่อผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมโปรตีนและเส้นใยอาหารแบบกรอบพองด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนที่ได้จากการคำนวณส่วนผสมดิบและปริมาณโปรตีนที่ได้จากเอกซ์ทรูเดตมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน กระบวนการเอกซ์ทรูชันทำให้เกิดความร้อนส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในโปรตีน ทำให้โปรตีนย่อยได้ง่ายขึ้นแต่ปริมาณโปรตีนยังคงมีปริมาณเท่า

เดิม (Day and Swanson, 2013) เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจะทำให้โครงสร้างโมเลกุลแบบตติยภูมิและจตุรภูมิ ซึ่งมีการม้วนพับซ้อนกันโดยมีแรงต่าง ๆ ชนิดที่ยึดเหนี่ยวให้มีเสถียรภาพแตกออกเนื่องจากความร้อนไปทำลายพันธะเหล่านั้น โดยพันธะเพปไทด์ยังไม่ถูกทำลาย จึงทำให้โมเลกุลมีการคลายตัวออกอย่างไม่มีระเบียบ อุณหภูมิที่ทำให้โปรตีนส่วนใหญ่มีการแปลงสภาพจากธรรมชาติคือ ช่วง 55 ถึง 75 องศาเซลเซียส ยกเว้น เมธไธโอนีนและซิสเตอีน (กัญญา, 2554) ดังนั้นความชื้นของตัวอย่างป้อนและอุณหภูมิบาร์เรลไม่ได้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนหรือระดับซิสเตอีนและเมธไธโอนีน แต่มีผลต่อโปรตีนที่ไม่ใช่ไนโตรเจน (Prudencio - Ferreira *et al.*, 1993 ; Chaiyakul *et al.*, 2009) ซึ่งการหาปริมาณโปรตีนนั้นใช้การคำนวณปริมาณไนโตรเจน จึงส่งผลให้ปริมาณโปรตีนที่ได้จากการคำนวณไม่เปลี่ยนแปลง

Table 2 Protein content and antioxidant activity as affected by various feed moisture and barrel temperature.

Feed moisture (%)	Barrel temperature (°C)	Protein (%) ns	Total phenolic contents (mg GAE/ 100 g sample)	Antioxidant activity	
				DPPH (mg TE/ 100 g sample)	FRAP (mg FeSO4/ 100 g sample)
KDML 105 brown rice flour mix with protein powder before extrusion					
		11.57±0.25	112.09±0.15	79.37±0.27	927.47±0.40
16	140	11.55±0.18	43.53±0.20c	54.50±0.37b	454.02±1.99b
18	140	11.51±0.09	43.40±0.30c	54.37±0.33b	453.15±3.11b
20	140	11.54±0.09	43.15±0.42d	54.34±0.51b	446.74±2.47b
16	160	11.57±0.08	45.41±0.58a	55.43±0.11a	485.23±2.41a
18	160	11.55±0.11	45.31±0.20a	55.40±0.27a	478.67±2.31a
20	160	11.55±0.10	44.30±0.20b	55.36±0.58a	475.29±2.62a

a-d Means ± SD of triplicate measurements with different superscript letters in each column are significantly different ($P \leq 0.05$). ns Means within the same column are not significantly different ($P > 0.05$).

GAE = Gallic acid equivalent, TE = Trolox equivalent, FeSO₄ = Ferrous sulfate

จากผลของอุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนที่แตกต่างกันในกระบวนการเอกซ์ทรูชันส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวผสมผงโปรตีนก่อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณ 112.09 mg GAE/100 g sample ลดลงร้อยละ 60 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH มีปริมาณ 79.37 mg TE/100 g sample ลดลงร้อยละ 30 และวิธี FRAP มีปริมาณ 927.47 mg FeSO₄/100 g sample ลดลงร้อยละ 48 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Huihui *et al.* (2015) ที่ศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อสารทางพฤกษเคมีในข้าว พบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องเมื่อเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชันนั้นลดลงร้อยละ 71.2 อุณหภูมิสูงในกระบวนการเอกซ์ทรูชันทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสลายตัวหรือเปลี่ยนโครงสร้างที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส (Brennan *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นจากสภาวะการผลิตด้วย

กระบวนการเอกซทูลูชันที่ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ดังรายงานของ Zeng *et al.* (2016) ที่ศึกษาผลของกระบวนการเอกซทูลูชันต่อสารประกอบฟีนอลิกในข้าวกล้อง พบว่าความเร็วรอบสกรูต่ำส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องเมื่อเข้าสู่กระบวนการเอกซทูลูชันนั้นลดลงร้อยละ 76.18 ซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อความเร็วรอบของสกรูต่ำ ทำให้เกิดสภาวะความดันสูงและแรงเฉือนต่ำ ทำให้วัตถุดิบอยู่ในกระบวนการเอกซทูลูชันนานขึ้น วัตถุดิบสัมผัสกับอุณหภูมิบาร์เรลนานขึ้นจึงส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง สภาวะการผลิตที่มีปริมาณความชื้นของตัวอย่างป้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงเนื่องจากการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดทำให้ความสามารถในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกออกมานั้นลดลง (Xu *et al.*, 2016) จึงทำให้วัตถุดิบได้ปริมาณน้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chalermchaiwat *et al.* (2015) ที่ศึกษาคุณภาพของเอกซทูลูเตข้าวกล้องอกพบว่า การเพิ่มปริมาณความชื้นของตัวอย่างป้อนในกระบวนการเอกซทูลูชันทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง และเมื่อพิจารณาการเพิ่มของอุณหภูมิบาร์เรลเป็น 160 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดส่วนมากมักถูกตรึงไว้กับ เซลลูโลส ลิกนิน และโปรตีน เช่น เพอร์ลูคิก แอซิด ซึ่งพบมากในข้าว เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่ถูกตรึง (bound from) มากถึงร้อยละ 93 ของปริมาณทั้งหมด และอีกร้อยละ 7 เป็นสารประกอบฟีนอลิกในรูปอิสระ (free from) กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยการให้ความร้อนสูง สามารถทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่ถูกตรึงอยู่หลุดออกมาได้ (อนุชิตา, 2555) จึงส่งผลให้การวัดค่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ปริมาณเพิ่มขึ้น

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น ความกรอบ รสชาติตกค้างในปาก และความชอบโดยรวมของเอกซทูลูเตโปรตีนสูง ที่อุณหภูมิบาร์เรล และความชื้นตัวอย่างป้อน ระดับต่างๆ แสดงผลดัง Table 3 พบว่า คุณลักษณะด้านสี ความกรอบ รสชาติตกค้างในปากและความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ความชอบด้านสีพบว่า เอกซทูลูเตที่ได้จากความชื้นตัวอย่างป้อนสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 20 มีคะแนนความชอบด้านสีต่ำสุด เนื่องจากที่สภาวะนี้เอกซทูลูเตมีค่าความหนาแน่นสูงสุดและมีค่าความสว่างต่ำสุด (Table 1) ดังนั้นเอกซทูลูเตที่มีสีที่เข้มที่สุดส่งผลให้คะแนนความชอบด้านสีต่ำสุด ด้านความกรอบ พบว่าเมื่อความชื้นตัวอย่างป้อนสูงขึ้นส่งผลให้เอกซทูลูเตมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น (Table 1) ความแข็งที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้คะแนนความชอบด้านความกรอบลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chalermchaiwat *et al.* (2015) ที่รายงานว่าการเอกซทูลูเตที่มีการพองตัวลดลงและมีความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบด้านความกรอบลดลงเช่นกัน และการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าเมื่อความชื้นตัวอย่างป้อนสูงขึ้นที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านรสตกค้างในปากลดลง เนื่องจากเอกซทูลูเตมีความแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้มีระยะเวลาในการเคี้ยวนานยิ่งขึ้นจึงทำให้ได้รับรสขมจากผงโปรตีน เนื่องจากในโปรตีนจะมีกรดอะมิโนที่ให้รสขม ได้แก่ อาร์จินีน ฮิสทีดีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน และ ฟีนอลอะลานีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น ที่มีอยู่ในโปรตีนจากเนื้อสัตว์ จึงทำให้เอกซทูลูเตมีรสขม ด้านความชอบโดยรวม พบว่า เอกซทูลูเตที่ผลิตที่อุณหภูมิบาร์เรล 160 องศาเซลเซียสและมีความชื้นของตัวอย่างป้อน ร้อยละ 18 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดเท่ากับ 8.04 อยู่ในระดับชอบมาก ด้านกลิ่น พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เนื่องจากเอกซทูลูเตที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ มีสัดส่วนระหว่างแป้งข้าวต่อผงโปรตีนที่เท่ากัน จึงไม่ส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่น

Table 3 Sensory scores of extrudates as affected by various feed moisture and barrel temperature.

Feed moisture (%)	Barrel temperature (°C)	Attributes				Overall liking
		Color	Odor ns	Crispness	Aftertaste	
16	140	6.78±0.54b	7.16±0.79	7.06±0.61b	7.08±0.75ab	7.12±0.32b
18	140	7.34±0.51a	7.08±0.85	7.02±0.55b	6.94±0.73b	7.26±0.44b
20	140	6.46±0.57c	7.04±0.80	6.60±0.69c	6.92±0.98b	6.60±0.60c
16	160	7.48±0.54a	7.28±0.78	7.08±0.75b	7.14±0.94ab	7.30±0.46b
18	160	7.56±0.55a	7.32±0.89	8.00±0.67a	7.40±0.53a	8.04±0.44a
20	160	6.64±0.82bc	7.08±0.77	6.88±0.68b	7.00±0.78b	7.18±0.59b

a-c Means within a column with different letter are significantly different ($P \leq 0.05$).

ns Means within the same letter are not significantly different ($P > 0.05$).

สรุปผลการทดลอง

อุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนมีอิทธิพลร่วมต่อคุณภาพ ด้านความหนาแน่น อัตราการพองตัว ค่าความแข็ง สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ อุณหภูมิบาร์เรลที่ 160 องศาเซลเซียสส่งผลให้ความหนาแน่นของเอกซ์ทรูเดตลดลง ในขณะที่อัตราการพองตัว สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นของตัวอย่างป้อนที่สูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของเอกซ์ทรูเดตเพิ่มขึ้น แต่อัตราการพองตัว สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง อุณหภูมิบาร์เรลและความชื้นของตัวอย่างป้อนที่ทำการศึกษามิส่งผลต่อค่าโปรตีนและยังจัดเป็นเอกซ์ทรูเดตโปรตีนสูง โดยสภาวะการผลิตเอกซ์ทรูเดตที่อุณหภูมิบาร์เรล 160 องศาเซลเซียสและความชื้นของตัวอย่างป้อนร้อยละ 18 ให้ค่าอัตราการพองตัวสูงสุด และผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะสูงสุด โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบมาก สภาวะนี้สามารถนำไปผลิตเอกซ์ทรูเดตเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการพัฒนาอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งโปรตีนสูงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทศูนย์วิทยาศาสตร์เบทาโกร จำกัด สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยในโครงการ การพัฒนาขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งโปรตีนสูง

เอกสารอ้างอิง

- กษแก้ว สุริยะ และ ชวกร วรสุวรรณรักษ์. 2559. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โปรตีนบาร์จากข้าวกล้องและเวย์โปรตีน ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์. Food Science and Technology Division, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University. แหล่งที่มา : <http://www.agro.cmu.ac.th>, 22 มีนาคม 2560.
- กัญญา บุตรราช. 2554. สารชีวโมเลกุล. แหล่งที่มา: <http://www.science.mju.ac.th>, 18 พฤศจิกายน 2560.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2551. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์โอ.เอส.พรินติ้ง เฮาส์. กรุงเทพฯ. 487 น.
- นิพนธ์ ลิ้มสงวน, จุฬาลักษณ์ จารุณ, พิสุทธิ บุตรสุวรรณ, งามจิตร์ โสวิฑูร และ กษมาพร ปัญตะบุตร. อิทธิพลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อคุณสมบัติทางกายภาพเคมีและสุขภาพจากข้าวและถั่วของไทย. 2555. แหล่งที่มา : <http://www.rdi.ku.ac.th>, 1 พฤศจิกายน 2559.

- นิภาร ว่างม่วง. 2557. พฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยวของวัยรุ่นนักศึกษาในสถานศึกษาสุศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน. ปริญญาศึกษาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 23 น.
- นิรันดร์ จันทร์ลาด. 2555. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมกรอบพองจากแป้งข้าวกล้องงอกผสมสมุนไพร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 171 น.
- ศูนย์วิจัยสภาพเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. 2559. แหล่งที่มา: <http://www.fic.nfi.or.th>., 22 มีนาคม 2560.
- สุนทรี เจริญพร. 2555. ข้าวขึ้นรูปโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 66น.
- อนุชิตา มุ่งงาม. 2555. แอนติออกซิแดนทีในธัญพืช. พิมพ์ครั้งแรก. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- อนินชา สุขสมบูรณ์. 2545. ผลของโปรตีนไฮโดรเลตจากถั่วเหลืองและรำข้าวต่อผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมโปรตีนสูงและเส้นใยอาหารแบบกรอบพองด้วยการเอกซ์ทรูชัน. วิทยานิพนธ์ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 186 น.
- Anton, A.A., Fulcher, R.G. and Arntfield S.D. 2009. Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. Food Chemistry. 113: 989-996.
- AOAC. 2010. Official methods of analysis. Association of official analytical chemist. 17th ed. Gaithersburg, Maryland, U.S.A.
- Brennan, C., Brennan, M.A., Derbyshire, E. and Tiwari, B.K. 2011. Effect of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. Trend in Food Science and Technology. 22: 570-575.
- Chaiyakul, S., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P. and Winger, R. 2009. Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. LWT-Food Science and Technology. 42: 781-787.
- Chalermchaiwat, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Charunuch, C. and Prinyawiwatkul, W. 2015. Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process. LWT-Food Science and Technology. 64: 490-496.
- Chanlat, N., Songsermpong, S., Charunuch, C. and Naivikul, O. 2011. Twin-screw extrusion of pre-germinated brown rice: physicochemical properties and γ -aminobutyric acid content (GABA) of extruded snacks. International Journal of Food Engineering. 7(4): 1-15.
- Chaiyakul, S., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P. and Winger, R. 2009. Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. LWT-Food Science and Technology. 42: 781-787.
- Day, L. and Swanson, G. B., 2013. Functionality of Protein-Fortified Extrudates. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 12: 546-564.
- Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G. and Marson, H. 2006. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. Journal of Food Engineering. 73: 142-148.
- Hegazy, S. H., El-Bedawey, A. A., Rahma, H. E. and Gaafar, M. A. 2017. Effect of Extrusion Processes on Nutritional, Functional Properties and Antioxidant Activity of Germinated Chickpea Incorporated Corn Extrudates. American Journal of Food Science and Nutrition Research. 4(1): 59-66.
- Huihui, T., Ruifen, Z., Mingwei, Z., Zhencheng, W., Jianwei, C., Yuanyuan, D. and Yan, Z. 2015. Effect of extrusion on phytochemical profiles in milled fractions of black rice. Food Chemistry. 178: 186-194.
- Keawpeng, I., Charunuch, C., Roudaut, G. and Meenune, M. 2014. The optimization of extrusion condition of Phatthalung Sungyod rice extrudate: a preliminary study. International Food Research Journal. 21(6): 2399-2304.
- Liang, Y., Hosahalli, S. and Ramaswamy, J. B. 2013. Protein rich extruded products prepared from soy protein isolate-corn flour blends. LWT-Food Science and Technology. 50: 279-289.

- Pastor-Cavada, E., Drago, S.R., González, R.J., Juan, R., Pastor, J.E., Alaiz, M. and Vioque, J. 2011. Effects of the addition of wild legumes (*Lathyrus annuls* and *Lathyrus clymenum*) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice. Food Chemistry. 128(4): 961-967.
- Prudencio-Ferreira, S.H. and Areas, J. A. G. 1993. Protein-protein interactions in the extrusion of soya at various temperatures and moisture contents. Journal of Food Science. 58: 378–381.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Pena, J., Kallio, H. and Salminen, S. 2009. Dietary fiber and other functional components in to varieties of crude and extruded kiwicha (*Aranthus caudatus*). Journal of Cereal Science. 49: 219-224.
- Singh, S., Gamlath, S. and Wakelin, L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. International Journal of Food Science and Technology. 42: 916-929.
- Sumargo, F., Gulati, P., Weier, S.A., Clarke, J. and Rose, D. 2016. Effects of processing moisture on the physical properties and in vitro digestibility of starch and protein in extruded brown rice and pinto composite flours. Food Chemistry. 15: 726-733.
- Xu, E., Pan, X., Wu, Z., Long, J., Li, J., Xu, X., Jin, Z. and Jia, A. 2016. Response surface methodology parameter and antioxidant capacity of rice flour modified by enzymatic extrusion. Food Chemistry. 212: 146-154.
- Zeng, Z., Liu, C., Luo, S., Chen, J., and Gong, E. 2016. The Profile and Bioaccessibility of Phenolic Compounds in Cereals Influenced by Improved Extrusion Cooking Treatment. (Available Source) : <http://journals.plos.org>, 14 November 2017.