

บทที่ 1 บทนำ

ตลาดอาหารว่างประเภทขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมีการขยายตัวค่อนข้างสูง มีการพัฒนา รูปแบบและรสชาติแปลกใหม่อยู่เสมอ (Moir, 2001) พบว่าตลาดของขนมขบเคี้ยวในปี พ.ศ. 2544 มีการเติบโตเพิ่มถึงร้อยละ 17 แบ่งเป็น ตลาดอาหารขึ้นรูป ร้อยละ 38.5 (เติบโตร้อยละ 29.74) มันฝรั่ง ร้อยละ 28.5 (เติบโตร้อยละ 7.9) ขนมขบเคี้ยวจากปลา ร้อยละ 10.4 (เติบโตร้อยละ 8.01) ปลาหมึก ร้อยละ 8.9 (เติบโตร้อยละ 7.34) ถั่ว ร้อยละ 8.8 (เติบโตร้อยละ 20.66) ปลาเส้น ร้อยละ 3.6 (เติบโตร้อยละ 33.16) และข้าวโพด ร้อยละ 1.3 (เติบโตร้อยละ 7.04) (ฐานเศรษฐกิจ, 2545) จะเห็นได้ว่าตลาดอาหาร ขบเคี้ยวขึ้นรูปมีสัดส่วนและการเติบโตที่สูง จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพที่ดี อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก ปัจจุบันผู้บริโภคมีแนวโน้มหันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวเสริมคุณค่าทาง โภชนาการจึงเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์หนึ่งที่น่าสนใจ

ปัจจุบันภาวะการขาดสารอาหารถือเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของ ประเทศ อีกทั้งตลาดของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วและมีมูลค่าทางการตลาด ที่ค่อนข้างสูง และยังได้รับความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคซึ่งส่วนใหญ่เป็นเด็ก วัยรุ่นจำนวนมาก และยัง กระจายตัวไปยังกลุ่มของคนวัยทำงาน โดยทั่วไปอาหารที่มีการเสริมสารอาหารลงไปผู้บริโภคจะคำนึงถึง ความคุ้มค่า และต้องเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค (Mehansho และคณะ, 2003) ซึ่งจากการสำรวจของ สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรมพบว่า ในปัจจุบันผู้บริโภคมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารเพื่อ สุขภาพสำเร็จรูปมากขึ้น และขนมขบเคี้ยวแปรรูปจากข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโอกาสขยายตัวในอัตราสูง เนื่องจากปริมาณความต้องการใช้เป็นอาหารใน ชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการขยายตัวของ ผู้บริโภค วิถีชีวิตที่เร่งรีบ ผู้บริโภคนิยมเลือกรับประทานอาหารที่หาซื้อได้ง่าย และสะดวก แต่ยังคง คุณค่าทางโภชนาการ

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะในประเทศไทยที่นิยมรับประทานข้าวเป็นอาหาร หลักอีกทั้งยังผลิตข้าวได้ถึง 31.6 ล้านตันในปี 2011-2012 ตามรายงานของสมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย (2012) ซึ่งในกระบวนการสีข้าวจะมีเมล็ดข้าวบางส่วนหักเสียหายเรียกว่าปลายข้าว โดยปลายข้าวจะมี โปรตีน ไขมันและใยอาหารต่ำจึงทำให้มีราคาถูก นิยมนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ เพื่อ เป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงมีการผสมข้าวกลองลงไป ซึ่งข้าวกลอง ก็คือเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีหรือผ่านการขัดสีแค่บางส่วน จึงทำให้มีปริมาณของสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร เกลือแร่ (แมกนีเซียม, เหล็ก, สังกะสี และฟอสฟอรัส) และวิตามิน (วิตามินบี หนึ่ง, วิตามินบีสอง และวิตามินบีหก) มากกว่าข้าวขัดขาว

ปลายข้าวสารถือเป็นแหล่งโปรตีนและแคลเซียมที่มีคุณภาพ มีขนาดเล็ก พบมากในภาค ตะวันออกของประเทศไทยนิยมนำมาแปรรูปเพื่อบริโภค (กรมประมง, 2546) ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้าง มูลค่าเพิ่มให้กับปลายข้าวจึงมีความสนใจที่จะนำเอาปลายข้าวซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีอยู่มาก

มาแปรรูปเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยการเสริมด้วยข้าวกล้องและปลาข้าวสาร เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว
- 2) เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร
- 3) เพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร

สมมติฐาน

- 1) อัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องมีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว
- 2) สูตรที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสารจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น

ขอบเขตการวิจัย

- 1) ในการศึกษาที่ใช้วัตถุดิบข้าว 3 ชนิด ได้แก่ ปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้อง โดยทำการผสมวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนต่างๆ
- 2) อัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องที่ใช้ทดลองในการผลิตอาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว คือ 50:50:0, 33.33:33.33:33.33, 30:30:40, 20:20:60, 40:40:20 และ 10:10:80
- 3) ในการศึกษาที่ใช้เครื่องเอ็กสตรูเดอร์ชนิดเกลียวคู่แบบหมุนไปทางเดียวกัน (Twin-Screw Extruder)
- 4) การเตรียมตัวอย่างควบคุมให้อัตราเร็วในการเคลือบส่วนผสมเท่ากับ 70 รอบต่อนาที อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 80 °C ใช้เวลาเคลือบตัวอย่าง 5 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 10 นาที

คำสำคัญ

ปลายข้าว อาหารขบเคี้ยว เอ็กสตรูชัน ปลาข้าวสาร

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร

2.1 ขนมขบเคี้ยว

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวหรืออาหารว่างเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันทั่วไปในระหว่างมื้อของอาหาร ลักษณะรูปร่างขนาดเล็ก อาจเป็นของหวานหรือของเคี้ยว โดยที่ผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้วพร้อมบริโภคได้ทันที หรือมีการเตรียมเพียงเล็กน้อย บริโภคขณะร้อนหรือเย็นในรูปของแข็งหรือของเหลวก็ได้ อาหารขบเคี้ยวส่วนใหญ่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม มีการพัฒนารูปแบบและรสชาติใหม่ๆ ออกสู่ตลาดอยู่ตลอดเวลา เพื่อขยายฐานการตลาดให้กว้างขวางขึ้น เนื่องจากสภาพการแข่งขันในปัจจุบันที่รุนแรง ภาวะการตลาดของขนมขบเคี้ยวภายในประเทศ และต่างประเทศ มีดังต่อไปนี้

การตลาดของขนมขบเคี้ยวภายในประเทศ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งบริษัทศูนย์วิจัยไทยพาณิชย์ จำกัด (วิลาสินี, 2554) ได้จำแนกประเภทของขนมขบเคี้ยวที่มีในตลาดส่วนใหญ่เป็น 7 ประเภทหลัก ได้แก่

- 1.) มันฝรั่งทอด / อบเนย ทั้งชนิดแผ่นและแท่ง (stick)
- 2.) ปลาเส้น ปลาแผ่นปรุงรสต่างๆ
- 3.) ขนมขึ้นรูป ได้แก่ ขนมอบกรอบที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทแป้ง

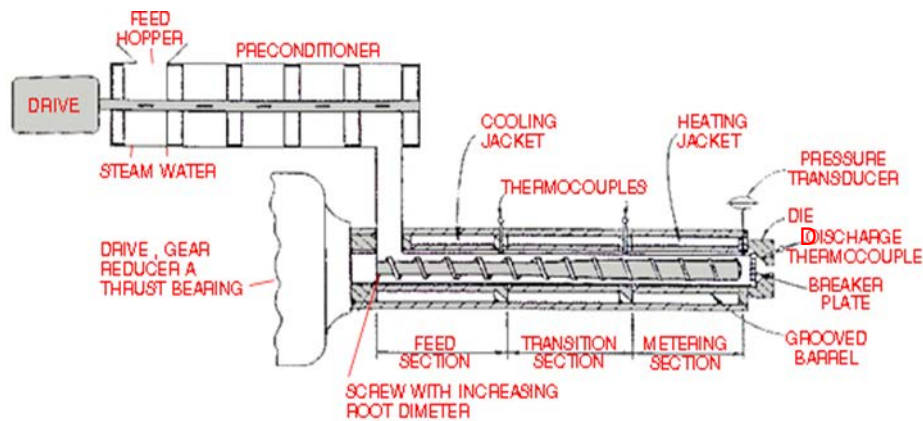
อาทิ แป้ง ข้าวโพดและส่วนผสมอื่น ขึ้นรูปเพื่อให้มีรูปร่างต่างๆ กัน

- 4.) ถั่วประเภทต่างๆ
- 5.) ข้าวเกรียบ (กึ่ง ปลา และอื่นๆ)
- 6.) ข้าวโพดอบเนย
- 7.) ปลาหมึกปรุงรส

2.2 หลักการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

2.2.1 กระบวนการเอกซ์ทรูชัน

เนื่องจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการทำให้เกิดรูปร่างโดยการบังคับสารที่อ่อนตัวหรือหลอมเหลวผ่านรูหรือได (die) ด้วยความดัน เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในอาหาร (ภาพที่ 1) จึงเป็นเครื่องมือสำหรับการทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างและรูปร่างของอาหาร ปัจจัยหลักที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือ สภาวะการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ และคุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหาร พารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดของการเดินเครื่องคือ อุณหภูมิ ความดัน เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดของไดและอัตราการเฉือน (shear rate) โดยที่อัตราการเฉือนขึ้นกับการออกแบบภายในของสกรู ความเร็วและรูปร่างของสกรู ส่วนคุณสมบัติของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่เครื่องก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของเอกซ์ทรูเดต (extrudate: ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์) ปัจจัยที่สำคัญที่สุดได้แก่ ความชื้น ขนาดของสาร และองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะปริมาณและชนิดของแป้ง โปรตีน ไขมันและน้ำตาล (วิลโล, 2545)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

ที่มา: <http://cw.rmuti.ac.th/source/unit1602.html>

สกรูเป็นหัวใจของกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยลักษณะของสกรูและความเร็วของการหมุนมีผลต่อการทำงานของเอกซ์ทรูชัน การเคลื่อนที่ของส่วนผสมของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เกิดขึ้นจากเกลียวที่อยู่ตามแนวแกนความยาวของสกรู โดยขณะที่สกรูหมุน เกลียวจะผลักให้ส่วนผสมต่างๆ ของอาหารเคลื่อนไปข้างหน้า ผันของบาร์เรลมักทำเป็นร่องเพื่อเพิ่มความฝืดและลดความลื่น เนื่องจากส่วนผสมที่ติดจากผันบาร์เรลมักจะลื่นและหมุนตามสกรู สกรูทำหน้าที่ 3 อย่าง คือ

(1) การขนถ่าย สกรูในส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนมักจะมีลักษณะสันเกลียวที่ลึกซึ่งจะรับส่วนผสมของอาหารที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง ส่วนผสมของวัตถุดิบมีลักษณะเป็นอนุภาคหรือลักษณะเป็นเม็ดๆ และผ่านการปรับความชื้นแล้ว สกรูจะพาส่วนผสมเหล่านี้เคลื่อนที่ไปตามความยาวของสกรู ขณะที่ส่วนผสมเคลื่อนที่ไปตามสกรูก็จะได้รับการอัดเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมอาหารเหล่านี้บรรจุลงในช่องว่างที่มีอยู่ระหว่างเกลียวสกรู

(2) ก่อให้เกิดงานและความร้อน ส่วนนี้ของสกรูจะเป็นช่วงของการอัดหรือการเปลี่ยน โดย สกรูมีความสูงของเกลียวหรือสันเกลียวลดลงหรืออาจใช้วิธีการอื่นที่ทำให้ความสามารถในการขนถ่ายของสกรูลดลงซึ่งมีผลให้เกิดการอัดมากขึ้น ส่วนผสมของอาหารจะหมุนอยู่ในช่องว่างของสกรูขณะที่เคลื่อนไปข้างหน้าและเกิดเป็นมวลที่ต่อเนื่อง พลังงานที่ทำให้ส่วนผสมที่หนืดนี้ไหลได้จากมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่หมุนสกรู และเงื่อนไขระหว่างกระบวนการไหลจะทำให้พลังงานกลหมดไป โดยเพิ่มอุณหภูมิของส่วนผสมและเปลี่ยนส่วนผสมของอาหารไปเป็นมวลที่หลอมเหลว

(3) การผสม สกรูออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่ผสมส่วนผสมของอาหารที่หลอมเหลวนี้ สันเกลียวที่ตื้นขึ้นจะเพิ่มแรงเฉือนและช่วยให้การผสมดีขึ้นเพื่อให้เกิดโดที่มีอุณหภูมิและความดันสูงสม่ำเสมอ (วิลโล, 2545)

2.2.2 การทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

ส่วนผสมที่เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยธัญชาติที่ผ่านการบดสตาร์ช และโปรตีนที่ได้จากพืช นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นๆ ที่เป็นวัตถุดิบรอง ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล

เกลือ กรดหรือด่าง สารอิมัลซิไฟเออร์ สี และกลิ่นรส น้ำจะเติมเข้าไปเพื่อปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นอยู่ในระดับ 10-40% พลังงานต่างๆที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นั้นทำให้อุณหภูมิของฟีดที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขณะที่เคลื่อนที่ผ่านไปเครื่อง แหล่งพลังงานต่างๆเหล่านี้ การเพิ่มพลังงานทางกลโดยการหมุน สกรูเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดคิดเป็น 50-100% ของพลังงานทั้งหมดที่มี โดยความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังบาร์เรลที่ร้อนหรือเย็น หรือพลังงานที่เกิดจากการส่งไอน้ำเข้าไปผสมโดยตรงกับอาหารภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็นส่วนที่สำคัญน้อยกว่า ในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน อุณหภูมิที่สูงที่สุดนี้จะคงอยู่น้อยกว่า 20 วินาทีไม่เช่นนั้นจะทำให้ไหม้และเกิดกลิ่นรสแปลกปลอมขึ้น ความดันในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่สูงทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่คล้ายกับของหม้อต้มความดัน ซึ่งจะป้องกันการฟุ้งกระจายของไอน้ำจนกว่าความดันจะถูกปล่อยออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากได เมื่อไดออกจากได ความดันถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้เกิดการพองตัวอย่างทันทีที่อุณหภูมิสูง การพองตัวนี้ส่วนใหญ่เกิดจากไอน้ำในผลิตภัณฑ์ถูกทำให้ร้อนขึ้น การสูญเสียความชื้นและความร้อนในผลิตภัณฑ์ร่วมกับการพองตัวทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เอกซ์ทรูเดอร์ที่ขยายตัวจะมีโครงสร้างของเซลล์ที่แต่ละเซลล์ถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรนของแป้งหรือโปรตีน ขนาดของเซลล์เหล่านี้จะควบคุมลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เอกซ์ทรูเดอร์เหล่านี้มักจะถูกตัดที่ผิวหน้าของไดด้วยใบมีดที่หมุน แล้วอบแห้งต่อในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนให้มีความชื้น 2-12% ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการอาจเคลือบด้วยสี กลิ่นรส น้ำมันและ/หรือน้ำตาล การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปส่วนใหญ่ขึ้นกับปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน อุณหภูมิที่จุดออกจากเครื่องระดับหรือปริมาณของความเสียหายของส่วนผสมที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไหล และลักษณะรูปร่างของได

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

สามารถแบ่งได้ 3 ปัจจัย ดังนี้

2.2.3.1 ปัจจัยที่เกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ที่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดอร์ มีดังนี้

- Feed Hopper เป็นส่วนที่รับวัตถุดิบ มีรูปร่างเป็นกรวยแบบง่าย ๆ ถ้าวัตถุดิบมีความหนืด ในช่วงนี้จะมีการควบคุมอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบเพื่อป้องกันการเกิดการติดขัดในเครื่อง
- บาร์เรล (Barrel) เป็นตัวลดการสั่นไหวของวัตถุดิบขณะที่วัตถุดิบเคลื่อนที่อยู่ภายในและยังเพิ่มแรงดันและแรงเฉือนในกับผลิตภัณฑ์ด้วย
- Jacket เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิขณะใช้เครื่องบางช่วงอาจใช้น้ำเย็น บางช่วงอาจใช้น้ำร้อนเพื่อการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ หากไม่มีตัวควบคุมอาจทำให้เอกซ์ทรูเดอร์มีคุณลักษณะไม่ตรงตามที่ต้องการ
- สกรู (Screw) หน้าที่ของสกรูในการทำงาน คือ รับและขนถ่ายวัตถุดิบ กดดัน และเพิ่มแรงเฉือนให้แก่วัตถุดิบทำให้เกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอ

- หน้าแปลน (Die) เป็นตัวที่ทำให้เอกซ์ทรูเดตเปลี่ยนให้มีรูปร่างต่างๆให้เป็นไปตามต้องการเมื่อเอกซ์ทรูเดตผ่านออกมาจากช่องนี้ ยังมีบทบาทสำคัญต่อการพองของเอกซ์ทรูเดต เนื่องจากน้ำระเหยกลายเป็นไอ เพราะความดันลดลงอย่างรวดเร็วเกิดเนื้อสัมผัสและรูพรุนมาก ยิ่งขึ้น

- ใบมีด (Knife) เป็นส่วนที่กำหนดความยาวของเอกซ์ทรูเดตที่ออกมาจากหน้าแปลน โดยทำการตัดให้เอกซ์ทรูเดตมีขนาดสั้นหรือยาวตามต้องการ

2.2.3.2 ปัจจัยเกี่ยวกับสภาวะของการทำงาน (Operating condition)

ปัจจัยสภาวะของการทำงานหลักที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ มีดังนี้

- เวลา (Time) กระบวนการเอกซ์ทรูชันมีลักษณะเป็น Equilibrium Process ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะต่างๆ ต้องอาศัยเวลาในการปรับตัวให้เข้าสู่สมดุล ตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการตัวหนึ่ง คือ เวลาซึ่งผลิตภัณฑ์ถูกกระทำ หรือ residence time หรือเวลาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและขนาดของอุปกรณ์ และ ในกระบวนการที่อุณหภูมิสูง เวลานานอาจเกิดการไหม้ของผลิตภัณฑ์ได้

- อุณหภูมิ (Temperature) มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ในช่วงสุดท้าย เนื่องจากปฏิกิริยาหลักของกระบวนการนี้ คือการเกิดเจล (Gelatinization) โดยคุณสมบัติของกลีมัน ซี รวมทั้งเนื้อสัมผัสมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิทั้งสิ้น หากต้องการให้เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ และน้ำในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นไอเมื่อผ่านแม่พิมพ์ (die) ถ้ามีอุณหภูมิที่สูงเพียงพอในการทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลเม็ดแป้ง จะพองตัวอย่างเห็นได้ชัด

- อัตราการเฉือน (Shear rate) เป็นตัววัดค่าการผสมกันของวัตถุดิบว่าอยู่ในระดับใด (mixing intensity) โดยวัตถุดิบจะสัมผัสกับบาร์เรลที่อยู่กับที่กับสกรูที่เคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่สลับไหลออกจากกัน โดยอัตราเฉือนจะแปรเปลี่ยนตามความเร็วที่เปลี่ยนไป ซึ่งอัตราการเฉือนจะมี ค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสกรู หรือลดความลึกของร่องเกลียว

- ความเร็วรอบสกรู (Screw speed) สกรูส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนมักจะมีลักษณะสันเกลียวที่ลึกซึ่งจะรับส่วนผสมของอาหารที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง ส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นเม็ดๆ และผ่านการปรับ ความชื้นแล้ว สกรูจะพาเอาส่วนผสมเหล่านี้เคลื่อนที่ไปตามความยาวของสกรู ขณะที่ส่วนผสมเคลื่อนไปตามสกรูก็จะได้รับการอัดเพิ่มมากขึ้น ทำให้ส่วนผสมของอาหารเหล่านี้บรรจุลงในช่องว่างที่มีอยู่ระหว่างเกลียวสกรู (channel) ส่วนที่ 2 ของสกรูเป็นช่วงการอัดหรือการเปลี่ยน โดยสกรูมีความสูงของเกลียวหรือสันเกลียวลดลง หรืออาจใช้วิธีการอื่นที่ทำให้ความสามารถในการขนถ่ายของสกรูลดลง ซึ่งมีผลทำให้เกิดการอัดมากขึ้น ส่วนผสมของอาหารจะหมูนอยู่ในชั้นเนลของสกรูขณะที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า และเกิดเป็นมวลที่ต่อเนื่องพลังงานที่ทำให้ส่วนผสมที่หนืดนี้ไหลได้จากมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่หมุนสกรู การอัดที่เกิดขึ้นระหว่างการไหลจะทำให้พลังงานหมดไปโดยเพิ่มอุณหภูมิของส่วนผสมและเปลี่ยนส่วนผสมของอาหารไปเป็นโด โดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์หากต้องการให้พองมากควรปรับความเร็วรอบที่ต่ำสูง ความเร็วรอบนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความชื้น แต่ส่งผลต่อเวลา อุณหภูมิ และอัตราเฉือน

2.2.3.3 ปัจจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัตถุดิบ

เนื่องจากปฏิกิริยาในกระบวนการเอกซ์ทรูชันมีทั้งการเปลี่ยนแปลงทางด้านความร้อนและความดัน ซึ่งส่งผลให้วัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ ดังนั้นความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับชนิดและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของวัตถุดิบจะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้วัตถุดิบในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะที่ดีตามต้องการ ดังนี้

ธัญพืช (cereals) เป็นกลุ่มวัตถุดิบหลัก ได้แก่

- ข้าวโพด นิยมใช้มากและประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย ราคาถูก พองตัวได้ดี และมีกลิ่นรสที่ดี
- ข้าว พองตัวได้ดี มีสีเหลือง รสจัดเป็นธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลดีต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเติมรสชาติอื่นๆ
- ข้าวสาลี จะพองตัวได้ยากขึ้น เนื่องจากปริมาณกลูเตนในแป้งสาลีมีมากกว่าข้าวโพดและข้าว มีกลิ่นรสมันๆ
- ข้าวโอ๊ต เป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนจากธัญพืช มีไขมันสูงซึ่งยากต่อการสุกและพองมักนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารสชาติ
- พืชหัว (root crop) ที่นิยมนำมาใช้มี 2 ชนิด คือ มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง

2.3 ชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Food extruder types)

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มักแบ่งตามวิธีการทำงาน (เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบเย็นหรือคูกกึ่งเอกซ์ทรูเดอร์) และแบ่งตามวิธีการสร้างประกอบเครื่อง (เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวหรือแบบสกรูคู่) ทุกชนิดมีหลักการทำงานคล้ายกัน อย่างไรก็ตาม ส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่บาร์เรลของเครื่องมักอยู่ในรูปที่เป็นเม็ดๆ (granular) จากนั้นสกรูจะทำหน้าที่ขนถ่ายส่วนผสมของอาหารเหล่านี้และอัดเพื่อให้เกิดงาน (ด้วยการเฉือนหรือการนวด) เพื่อเปลี่ยนฟีดที่เป็นเม็ดๆเหล่านี้ให้เป็นมวลที่หลอมเหลวกึ่งแข็ง จากนั้นอาหารก็จะถูกอัดผ่านไดที่สามารเปลี่ยนแปลงได้และถูกตัดที่ผิวหน้าของไดไม่ว่าจะด้วยใบมีดที่หมุนหรืออาจตัดด้วยวิธีการคล้ายกับการตัดกระดาษในภายหลังเพื่อให้เกิดรูปร่างต่างๆ เช่น แท่ง ทรงกลม โดนัท ท่อ เป็นต้น

2.3.1 การแบ่งชนิดของเครื่องตามวิธีการทำงาน

2.3.1.1 เครื่องคูกกึ่งเอกซ์ทรูเดอร์ (cooking extruder)

อาหารจะถูกทำให้ร้อนในเครื่องคูกกึ่งเอกซ์ทรูเดอร์ด้วยสกรู หรือบาร์เรลที่หุ้มด้วยสตีลแจ็คเก็ต ในเครื่องบางชนิดอาจใช้ตัวให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าเพื่อทำให้บาร์เรลร้อนขึ้นโดยตรง ความร้อนอาจเกิดจากการอัดหรือความเสียดทานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเกิดขึ้นจากสกรูและรอยคว้านด้านในของบาร์เรล การเพิ่มแรงอัดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์กระทำได้จาก การเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู และลดเกลียวของสกรู และการใช้บาร์เรลที่เร็วซึ่งอาจมีเกลียวของสกรูคงที่หรือลดลง

ความดันและรูเปิดของไดมีผลต่อลักษณะของเอกซ์ทรูเดตที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความพอง (ความหนาแน่นต่ำ) หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นสูงซึ่งจะทำให้พองต่อมาด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น การทอด เป็นต้น ความดันย้อนกลับที่เพิ่มขึ้นก็เกิดจากได โดยความดันสูงและไดที่มีขนาดเล็กจะใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่มีความพอง เนื่องจากความดันที่ลดลงอย่างรวดเร็วขณะที่อาหาร

ผ่านออกกจากไค ทำให้เกิดการขยายตัวของอน้ำและแก๊สในส่วนผสมที่เป็นมวลหลอมเหลวทันที เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นต่ำ และความชื้นสูญเสียไปด้วยการระเหย ความดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นี้สามารถควบคุมปริมาณการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดตและคุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหารได้ ส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยว ขนมปังกรอบ อาหารเข้าธัญพืช ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สามารถลดความชื้นต่อไปได้อีกโดยการอบแห้งในภายหลัง ความดันต่ำหรือรูเปิดของไดขนาดใหญจะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปหรือผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยที่ไดของมวลวัตถุดิบที่ผ่านการเจลาติไนซ์แล้วออกจากไค จากนั้นจึงเอาไปอบแห้งเพื่อให้เกิดเป็นชิ้นแข็งเล็กๆเหมาะสำหรับขนส่งไปยังสถานประกอบการแปรรูปอื่นๆและยังเป็นการยืดอายุการเก็บเนื่องจากผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปนี้มีความชื้นต่ำ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะได้จากการทอด การคั่วหรือการทำให้พอง (puffing) ซึ่งผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปนี้เมื่อถูกทำให้ร้อนในอากาศหรือน้ำมันก็จะอ่อนตัวและขยายหรือพองตัว ความชื้นที่เหลืออยู่ในชิ้นอาหารจะเปลี่ยนไปเป็นไอน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ขยายตัวอย่างรวดเร็ว กระบวนการคูกึงเอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้น ซึ่งจะลดการสูญเสียสารอาหารและการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ มีอายุการเก็บที่ยาวนานขึ้นเนื่องจากมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่ต่ำ (0.1-0.4)

2.3.1.2 กระบวนการเอกซ์ทรูชันที่เย็น (cold extrusion)

ผลิตภัณฑ์จะถูกเอกซ์ทรูตผ่านไดออกไปเป็นชิ้นยาวๆจึงนิยมใช้ในการทำให้เกิดรูปร่างโดยไม่มีการทำให้สุกหรือไม่มีการขยายตัว เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้จะมีเกลียวของสกรูที่ลึกซึ่งหมุนด้วยความเร็วต่ำในบาร์เรลที่ผิวด้านในเรียบ เพื่อบดและเอกซ์ทรูตวัตถุดิบด้วยแรงเสียดทานเพียงเล็กน้อยมักใช้ในการทำพาสต้า ฮอตดอก ไค และคอนเฟลชันนารีบางชนิด

2.3.2 การแบ่งชนิดของเครื่องตามวิธีการสร้างประกอบเครื่อง

2.3.2.1 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (single-screw extruder)

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวไม่ว่าจะใช้สำหรับการอัดหรือดันให้ไคของอาหารผ่านไคเพื่อขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่มีการพอง หรือใช้สำหรับการทำให้สุกและขึ้นรูปด้วยการให้ความร้อนอย่างรุนแรงแล้วผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว

ในกรณีแรกที่ใช้เพื่อการขึ้นรูป สกรูต้องมีเกลียวที่ลึกและหมุนช้าๆเพื่อให้ปริมาณพลังงานกลถูกปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการเฉือนน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น การทำมัคกะโรนีหรือ
หมากฝรั่ง ส่วนในกรณีหลัง เครื่องคูกึงเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ทำให้สุก จะมีสกรูสำหรับการอัดโดยลดความลึกของเกลียว สกรูหมุนด้วยความเร็วสูงเพื่อเพิ่มแรงเฉือนหรือพลังงานกลสำหรับการให้ความร้อน ส่วนผสมอาจได้รับความร้อนจากการเติมไอน้ำก่อนที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการผลิต

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เหล่านี้สามารถแบ่งตามระดับตามระดับการเฉือนที่กระทำต่ออาหารได้ดังนี้

- 1) แรงเฉือนที่สูง เช่น อาหารเข้าธัญชาติ ขนมขบเคี้ยว

2) แรงเฉือนปานกลาง เช่น ขนมปังต่างๆ อาหารสัตว์ที่ค่อนข้างชื้น

3) แรงเฉือนต่ำ เช่น พาสต้า ผลิตภัณฑ์เนื้อต่างๆ

สกรูจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนที่พืดเข้าสู่เครื่อง ส่วนที่นิวตถึงการอัด และส่วนคุกกิ้ง การขนถ่ายของส่วนผสมต่างๆผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ขึ้นกับความเสียดทานที่ผิวของบาร์เรล วัตถุดิบจะเคลื่อนไปข้างหน้า เนื่องจากแรงกระทำของสกรู เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวมีราคาและต้นทุนการเดินเครื่องต่ำกว่า และต้องการความชำนาญในการเดินเครื่องน้อยกว่าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่

ช่องซัลเนลของสกรูต้องมีการใส่หรืออัดวัตถุดิบให้เต็ม เพื่อให้เกิดการนิวตและการเฉือนการผสม และการอัดส่วนผสม ความดันที่เพิ่มขึ้นหลังใดทำให้ผลผลิตสุทธิที่ออกมาอย่างต่อเนื่อง (throughput) ลดลงเนื่องจากเกิดการไหลของความดันย้อนกลับขึ้นตามแนวซัลเนลของสกรูอย่างต่อเนื่อง

ลักษณะเฉพาะในการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ขึ้นกับความดันที่อยู่หลังใด ความสิ้นบนผนังบาร์เรล (ส่วนใหญ่ควบคุมด้วยอุณหภูมิบาร์เรลและการที่มีรอยหยักหรือช่องเจาะที่ผนังบาร์เรล) ความยาวของสกรูที่ถูกอัดเต็มไปด้วยผลิตภัณฑ์ (ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการป้อนและความเร็วของสกรู) และลักษณะเฉพาะของโดที่ขึ้นกับชนิดของส่วนผสม ความชื้นและอุณหภูมิ (Harper, 1978) อัตราการไหลระหว่างปัจจัยเหล่านี้จะจำกัดช่วงและความยืดหยุ่นของการปฏิบัติงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

2.3.2.2 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (twin screw extruder)

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มีสองสกรูซึ่งวางข้างๆกัน โดยมีเกลียวอินเตอร์เมสกันและกัน และหมุนในลักษณะ ตัวเลข 8 ในบาร์เรล เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มีแบ่งตามทิศทางการหมุนและลักษณะที่สกรูเป็นอินเตอร์เมสกัน (intermeshing) สกรูที่อินเตอร์เมสแบบหมุนตามกันพบมากในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร การหมุนจะทำให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ และการอินเตอร์เมสช่วยให้การผสมของวัตถุดิบในบาร์เรลดีขึ้น ส่วนต้นของสกรูออกแบบมาเพื่อขนถ่ายส่วนผสมที่เป็นเม็ดเล็กๆความสามารถในการขนถ่ายของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ที่เพิ่มขึ้นทำให้ใช้กับส่วนผสมที่เหนียวได้ดีกว่าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว สกรูที่คู่ขนานนี้จะถูกันเอง (self-wiping) เมื่อเกลียวที่ซ้อนบนสกรูหนึ่งเซ็ดหรือถูด้านล่างของช่องว่างของอีกสกรูที่อยู่ติดกัน จานนวด (kneading disks) จะช่วยกระจายพลังงานกลระหว่างการขนถ่ายมากขึ้น โดยส่วนผสมของวัตถุดิบต่างๆจะเคลื่อนที่จากจานหนึ่งไปยังอีกจานหนึ่งซึ่งทำให้การผสมเกิดขึ้น การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังบาร์เรลและกระจายพลังงานกลมากขึ้นเมื่อส่วนต่างๆเหล่านี้มีส่วนผสมของอาหารบรรจุอยู่เต็ม

2.3.3 การเปรียบเทียบชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

1) ผลผลิตที่ได้ออกมาอย่างต่อเนื่องไม่ขึ้นกับอัตราการป้อน ส่วนเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวต้องเติมส่วนผสมให้เต็มซัลเนลของสกรูเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวทำงานโดยใช้แรงเสียดทาน แล้วทำให้เกิดการไหลแบบลาก (drag flow) เนื่องจากการหมุนของสกรูภายในบาร์เรลที่อยู่หนึ่ง ทำให้อัตราการไหลเป็นสัดส่วนกับความเร็วของสกรู

2) เครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูสามารถใช้กับส่วนผสมที่มีน้ำมัน หรือส่วนผสมที่เหนียวหรือแฉะมาก โดยองค์ประกอบของส่วนผสมที่เป็นข้อจำกัดในการใช้กับเครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูเดี่ยวกับสกรูคือ ไขมันร้อยละ 4 และร้อยละ 20, น้ำตาลร้อยละ 10 และร้อยละ 40, ความชื้นร้อยละ 30 และร้อยละ 65 ตามลำดับ จะเห็นว่าแบบสกรูมีความยืดหยุ่นในการทำงานได้มากกว่า และบางครั้งยังสามารถเติมองค์ประกอบต่างๆ ในระหว่างการผลิตได้ด้วย เช่น การให้กลิ่นรส (flavor) เป็นต้น

3) การขนถ่ายทั้งชนิดไปด้านหลังหรือชนิดย้อนกลับจะใช้ในการควบคุมความดันภายในบาร์เรล ตัวอย่างเช่น ในการผลิตกัมผลไม้ (fruit gums) อาหารจะถูกทำให้ร้อนขึ้นและถูกอัดด้วยการขนถ่ายไปด้านหลัง ความดันจะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อระบายความชื้นที่มากเกินไปหรือเพื่อเพิ่มส่วนผสมที่เติมเข้าไปด้วยการขนถ่ายย้อนกลับ แล้วอาหารจึงถูกอัดอีกครั้งสำหรับกระบวนการเอกซ்தูชัน

4) ส่วนที่ปล่อยออก (discharge) ของเครื่องแบบสกรู ทำให้เกิดความดันที่ต้องใช้การเอกซ்தูชันและทำให้ส่วนของเครื่องมีการสึกน้อยกว่าในเครื่องแบบสกรูเดี่ยว

5) เครื่องแบบสกรูสามารถใช้กับของผสมที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ จากผงละเอียดไปเป็นเม็ดๆ ขณะที่เครื่องแบบสกรูเดี่ยวใช้ได้กับช่วงของอนุภาคที่เป็นเม็ดๆ ช่วงหนึ่ง

ในการเปรียบเทียบต้นทุน จำเป็นต้องพิจารณาต้นทุนของเครื่องมือสำหรับกระบวนการเอกซ்தูชันร่วมกับต้นทุนของระบบทั้งหมด เครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูมีราคาแพงกว่าเนื่องจากการออกแบบสกรูที่ค่อนข้างซับซ้อน รวมทั้งความซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบบาร์เรลและแจ็คเก็ตสำหรับการถ่ายเทความร้อน แต่ต้นทุนของเครื่องมือที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถชดเชยด้วยการที่เครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูสามารถใช้แปรรูปส่วนผสมที่ความชื้นต่ำกว่าเพื่อให้การอบแห้งในผลิตภัณฑ์สุดท้ายน้อยลง

ในเครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูเดี่ยว ส่วนผสมมีการปรับสภาพด้วยไอน้ำหรือน้ำก่อน โดยให้ความร้อนเพื่อทำให้สุกหรือแปรรูปประมาณครึ่งหนึ่ง ส่วนที่เหลือได้มาจากพลังงานกลที่ใส่เข้าไป ในเครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูความร้อนที่ได้จากพลังงานที่ใส่เข้าไปจะมีสัดส่วนมากกว่า ขณะที่ส่วนที่เหลือได้จากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านแจ็คเก็ตของผนังบาร์เรล

ดังกล่าวมาแล้วเครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูจะให้ข้อได้เปรียบหลายอย่างเนื่องจากลักษณะเฉพาะของสกรู อย่างแรกคือความสามารถในการขนถ่ายส่วนผสมที่สูงกว่าของเครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูเดี่ยวทำให้เครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูสามารถใช้ได้กับส่วนผสมต่างๆ ที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการป้อนเข้าสู่เครื่องที่เกิดขึ้นเมื่อใช้กับเครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูเดี่ยว

เครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูเดี่ยวค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนต่ำจากแจ็คเก็ตที่อยู่รอบๆ บาร์เรล เนื่องจากการผสมที่เกิดขึ้นในช่องชั้นเนลของเครื่องไม่ดี ส่วนเครื่องเอกซ்தูเตอร์แบบสกรูมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่ามากเนื่องจากการปรับปรุงการผสมทางกลซึ่งทำให้ช่วงของการใช้กว้างขึ้นไม่ว่าจะเป็นการให้ความร้อนหรือความเย็นแก่เฟสที่เหนียว หรือสารละลายที่เหนียว นอกจากนี้ในเครื่องแบบสกรูอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ของการแปรรูปก็น้อยกว่าของเครื่องแบบสกรูเดี่ยว (วิล, 2545)

2.4 การเปลี่ยนโครงสร้างของไบโอพอลิเมอร์

กระบวนการเอกซ์ทรูชันเกี่ยวข้องกับการทำให้ส่วนผสมคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนสุก ทำให้เกิดรูปร่าง เนื้อสัมผัส และเกิดการพองตัวอย่างเต็มที่ (puffing) หรือเกิดการขยายตัว กระบวนการเอกซ์ทรูชันแตกต่างจากกระบวนการอื่นๆ คือ ขั้นตอนต่างๆของการแปรรูปเหล่านี้เกิดขึ้นที่ความชื้นค่อนข้างต่ำ ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิและแรงเฉือนสูงมากเป็นเวลานานๆ ซึ่งภายใต้สภาวะเช่นนี้ แป้งและโปรตีนที่ยังมีลักษณะตามธรรมชาติ จะมีการเปลี่ยนรูปเพื่อให้ได้อาหารที่มีโครงสร้างใหม่

2.4.1 แป้ง (starch) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

แป้งเป็นส่วนผสมหลักในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผ่านการเอกซ์ทรูชันและในรัฐชาติที่พร้อมรับประทาน (ready-to-eat: RTE) ในหลายผลิตภัณฑ์ กริทของธัญชาติที่สกัดเอาเจมออก (degermed cereal grits) แล้ว จะใช้เป็นวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มากกว่าการใช้แป้งบริสุทธิ์เพื่อให้โปรตีน ไขมัน และเส้นใยบางส่วนยังมีส่วนผสมของฟีดที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง

แป้งเป็นไบโอพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ใหญ่มาก โดยทั่วไปกลูโคส 1 โมเลกุลจะเชื่อมปลายด้านหนึ่งกับปลายอีกด้านหนึ่งของกลูโคสอีกหน่วยหนึ่งไปเรื่อยๆเกิดเป็นอะไมโลสของแป้ง เมื่อลักษณะการต่อของกลูโคสเป็นกึ่งกัน จะเรียกโมเลกุลของแป้งนี้ว่าอะไมโลเพกทิน แป้งในรัฐชาติส่วนใหญ่มีอะไมโลสอยู่ 25-30% ส่วนที่เหลือจะเป็นอะไมโลเพกทิน แป้งในรูปที่เป็นธรรมชาติ โมเลกุลของแป้งมักเป็นผลึกและอยู่ในรูปของกรานูลทรงกลม แต่ถ้ามีการทำให้สุกที่ความชื้นสูง แป้งในกรานูลเหล่านี้จะขยายตัว ดูดซับและจับโมเลกุลของน้ำไว้จำนวนมาก เกิดเป็นเพสต์ที่ข้น ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นต่ำที่ใช้สำหรับกระบวนการเอกซ์ทรูชัน การเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งขึ้นกับผลของความชื้นและแรงเฉือนทางกลร่วมกัน เม็ดแป้งจะถูกเฉือนขณะที่ผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ การกระทำทางกลนี้จะเปิดกรานูลภายในของแป้งออก การไหลของส่วนผสมต่างๆที่เหนียวในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ต้องอาศัยพลังงานทางกลจำนวนมากเพื่อให้สุกนุ่ม ซึ่งจะปล่อยออกมาเป็นความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลแป้งที่ใหญ่กว่าบางโมเลกุลจะแตกออกเป็นโมเลกุลที่เล็กลงหรือที่เรียกว่าเดกซ์เจอร์ไรเซชัน (dextrinization) เนื่องจากการเฉือนและแสดงความสามารถในการละลายน้ำได้มากกว่า ผลของการเจลาติไนเซชันและเดกซ์เจอร์ไรเซชัน คือ ได้โด้ที่เหนียวหรือโด้ที่หลวมซึ่งสามารถเอกซ์ทรูผ่านไดเพื่อขึ้นรูปและพองเมื่อความชื้นภายในที่มีอุณหภูมิสูงเปลี่ยนไปเป็นไอน้ำหลังจากออกจากไดแล้ว

ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันขึ้นกับปริมาณของการเปลี่ยนรูปของแป้งระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ผลิตภัณฑ์ที่มีเมทริกซ์ที่แข็งแกร่งกว่า และเงากว่า และมีขนาดของรูที่ใหญ่กว่าเป็นลักษณะเฉพาะของการทำให้สุกด้วยการเฉือนที่ต่ำภายใต้สภาวะความชื้นที่สูงกว่า ความเสียหายของแป้งจะลดลงเมื่อให้พลังงานแก่ผลิตภัณฑ์น้อยลงและให้ปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นโดยการพ่นไอน้ำหรือการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของบาร์เรล ผลิตภัณฑ์ที่นุ่มและมีความสามารถอุ้มน้ำได้ (hydratable) มีแนวโน้มที่จะเหนียวติดพื้นเมื่อรับประทานจะมีขนาดของรูภายในเอกซ์ทรูเดอร์ที่เล็กกว่า และผนังเซลล์บางกว่า และเป็นลักษณะเฉพาะของการคุกกึ่งในสภาวะที่มีการเฉือนสูงซึ่งพลังงานกลจำนวนมากกระจายออกมา ความก้าวหน้าของกระบวนการเอกซ์ทรูชันสามารถควบคุมสภาวะของการเฉือนระหว่างกระบวนการคุกกึ่งเพื่อให้ได้ความหนาแน่น ลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อชิมและลักษณะปรากฏ

ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การควบคุมสภาวะการเดือด/คูกัง เป็นผลจากการออกแบบสกรูต่างๆ อัตราส่วนความยาว/เส้นผ่านศูนย์กลาง ความเร็วสกรู แหล่งของความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของ ผลิตภัณฑ์แบบของไค และความชื้นของส่วนผสมของอาหาร

2.4.2 โปรตีน (protein)

โปรตีนถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้ว สามารถเปลี่ยนให้มีโครงสร้างใหม่ในเครื่อง เอกซ์ทราเตอร์ เพื่อให้เกิดโครงสร้างที่คล้ายเนื้อเป็นชั้นๆ เช่น โปรตีนถั่วเหลืองที่เรียกว่า textured soy protein (TSP) ผลิตจากแป้งถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออก และมีโปรตีนประมาณร้อยละ 50 การทำให้เกิด เนื้อสัมผัส (texturization) เกี่ยวข้องกับการปรับโครงสร้างใหม่ของโมเลกุลโปรตีนไปเป็นโมเลกุลที่ เชื่อมต่อแบบไขว้ (crosslinked) เป็นชั้นๆที่ต้านทานต่อการแตก เมื่อมีการให้ความร้อน (การแปรรูป) ต่อไป โปรตีนถั่วจะมีความชื้น 33-45% และได้รับความร้อนและการเคี้ยวในการหมุนช่วงต้นของสกรู ของเครื่องเอกซ์ทราเตอร์ ทำให้โปรตีนที่เป็นธรรมชาติ (native globular) เปลี่ยนไปเป็นโมเลกุลที่คลาย ตัว (unfold) ด้วยการทำลายพันธะที่ยึดโครงสร้างตติยภูมิที่เป็นธรรมชาติ โมเลกุลโปรตีนที่คลายตัวนี้จะ จัดเรียงเป็นเส้นตรงในทิศทางทางไหลของช่องว่างของสกรูและช่องว่างหลังไค การไหลเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อให้โมเลกุลนี้มีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรง (alignment) และเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็น 140-160 องศาเซลเซียส การครีโอลิงทางเคมีก็เกิดขึ้นอีกเพื่อให้เกิดโครงสร้างที่เป็นเส้นใยและเป็นชั้นซึ่งมี ลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ (วิล, 2545)

2.5 ส่วนประกอบทางเคมีและทางกายภาพของวัตถุดิบ

- 1) โปรตีน นิยมใช้แป้งถั่วเหลืองโดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ในกรณีของขนมขบเคี้ยวและอาหาร เข้าัญชาติชนิดกรอบพอง โปรตีนจะลดการพองตัวของวัตถุดิบของโปรตีนอากาศ เพิ่มความหนาแน่น และ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสกรอบแข็งมากยิ่งขึ้น
- 2) ความชื้น ในการผลิตจะต้องมีการเพิ่มความชื้นโดยการเติมน้ำลงไปในส่วนผสม เพื่อลด อุณหภูมิ พร้อมกับคลายเป็นตัวหล่อลื่นให้ผลิตภัณฑ์ไหลไปข้างหน้า และเป็นส่วนสำคัญในการเกิดเจลเมื่อแปรรูป ความชื้นจะทำให้เกิดการพองตัว ทำให้น้ำเข้าไปได้มากขึ้น ถ้ามีการกวนที่แรงเพียงพอหรืออุณหภูมิที่ เพียงพอ หากความชื้นไม่สม่ำเสมอจะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดเจลของอาหารไม่สม่ำเสมอ เป็นผลทำให้ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่ได้คุณภาพ
- 3) แป้งหรือสตาร์ช ถ้าแป้งมีการทำให้สุกในที่สูง ความชื้นสูง โครงสร้างของสตาร์ชจะขยายตัวดูดซับ โมเลกุลของน้ำไว้จำนวนมาก ทำให้เกิดเจลลิตไนซ์ มีลักษณะข้นคล้ายพลาสติก การเปลี่ยนแปลงของ สตาร์ชเมื่อใช้อุณหภูมิและแรงเคี้ยวต่างกัน จะทำได้โดยการวัดค่าดัชนี การดูดน้ำ (WAI) และดัชนีการ ละลายน้ำ (WSI) โดยค่า WAI จะสูงขึ้นเมื่อความรุนแรงของสภาวะที่ใช้เพิ่มขึ้นส่วนค่า WSI จะลดลงเมื่อ ค่า WAI เพิ่มขึ้น
- 4) ไขมัน ทำหน้าที่เหมือนตัวหล่อลื่น ลดความเหนียวหนืดของส่วนผสมทำให้ถูกผลึกพาได้ง่าย ถ้าไขมัน สูงจะให้ผลิตภัณฑ์เนื้อแน่น ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความพองปริมาณไขมันควรต่ำกว่า 2 % แต่ สำหรับผลิตภัณฑ์สแนคเฟลเลท หรืออาหารสัตว์ที่ความชื้นสูง ซึ่งต้องการเนื้อแน่นปริมาณไขมันใช้ได้

- ตั้งแต่ 1-10 % สำหรับสกรูเดี่ยว ในกระบวนการผลิตนั้น วัตถุดิบจำเป็นต้องมีไขมันอยู่ในช่วง 12-17 % db เพราะหากวัตถุดิบมีไขมันมากกว่านั้นจะทำให้แรงเสียดทานภายในบาร์เรลดลง ทำให้พลังงานที่จะเปลี่ยนสภาพทำอาหารให้สุกมีค่าลดลง แต่สกรูคู่ วัตถุดิบต้องมีไขมันอยู่ในช่วง 18-22% db
- 5) น้ำตาล มักใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเข้ารัฐชาติเป็นส่วนใหญ่ น้ำตาลจะหลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 250 °F จะช่วยลดความข้นหนืดของส่วนผสม ทำให้ผลึกพาสต้าผสมได้ง่าย แต่อัตราที่น้อยกว่าน้ำและไขมัน ให้รสหวานและสี หากอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเกิดการaramel เป็นสีน้ำตาล
- 6) อิมัลซิไฟเออร์ ใช้ในปริมาณน้อย น้อยกว่า 1% จะมีผลต่อเนื้อสัมผัส ขนาดของโพรงอากาศและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่มีการพอง เช่น การใช้ lecithin 0.5-1% จะควบคุม เนื้อสัมผัสและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ใช้ glycerol monostearate (GMS) 0.3-0.5% จะช่วยลดการติดฟัน (stickiness) และช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์สามารถจับกับอะไมโลสของแป้งทำให้เกิดการสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อเคี้ยวถูกน้ำลายในปากจึงไม่ติดฟัน
- 7) เส้นใย มีผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพราะ fiber จะทำหน้าที่เหมือน solid filler ทำให้ลักษณะการพองของโมเลกุลของแป้งพองตัวยากขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นถ้ามีไฟเบอร์มากขึ้น
- 8) ขนาดของวัตถุดิบ เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเพราะส่วนใหญ่ส่วนผสมหรืออาหารที่ป้อนเข้าสู่บาร์เรลมักอยู่ในรูปที่เป็นผงหรือเป็นเม็ดเล็กๆ เนื่องจากจะทำให้ง่ายต่อการขนถ่ายส่วนผสมเพื่ออัดด้วยการเนียนและนวด อีกทั้งยังทำให้ส่วนผสมรับความร้อนได้ทั่วถึง เพราะพื้นที่สัมผัสมาก จะหลอมเหลว สุก และขึ้นรูปขยายตัวได้ง่าย

2.6 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร

2.6.1 ข้าว (rice)

ข้าว ถือได้ว่าเป็นพืชที่นิยมปลูกมากในเอเชียเป็นรัฐพืชที่ประชากรโลกนิยมบริโภคซึ่งจัดได้ว่าเป็นอาหารสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย ซึ่งทุกคนต่างเรียนรู้มาตั้งแต่เด็กว่าในแต่ละวันมนุษย์จำเป็นต้องทานอาหารให้ครบ 5 หมู่ สำหรับนำไปใช้สร้างพลังงานให้แก่วัยร่างกาย สร้างเนื้อเยื่อใหม่ ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ เป็นต้น สารอาหาร 5 หมู่ ซึ่งประกอบไปด้วยโปรตีน ไขมัน เกลือแร่ วิตามิน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งข้าวจัดได้ว่าเป็นอาหารที่ให้พลังงานในรูปคาร์โบไฮเดรต โดยองค์ประกอบของข้าวหรือเมล็ดข้าว (rice fruit, rice grain, rice seed) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1.) ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว หรือผล เรียกว่า แกลบ (hull, husk) ซึ่งจะประกอบด้วย

1.1) เปลือกขนาดใหญ่ ที่ห่อหุ้มเปลือกด้านท้อง โดยจะมีลักษณะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้นเปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กไว้ทั้ง 2 ด้านในลักษณะขบอยู่ด้านบนอย่างสนิทแน่น ประมาณ 2/3 ของเปลือกทั้งหมด

1.2) เปลือกขนาดเล็ก เป็นเปลือกที่หุ้มเนื้อผลด้านหลัง มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ 1/3 จากเปลือกทั้งหมดจะขบอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวยาวทำให้เปลือกทั้ง 2 ติดกันสนิท

1.3) ขน จะชั้นที่เปลือกใหญ่และเปลือกเล็กเป็นส่วนใหญ่อาจมีบางพันธุ์ไม่มีขนแต่เป็นส่วนน้อย โดยขนจะทำหน้าที่ลดการระเหยน้ำ ป้องกันอันตรายต่อเมล็ดจากสภาวะภายนอกเมล็ดและส่วนในการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ

1.4) หาง เป็นส่วนปลายของเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเกินตำแหน่งยอดดอกทำหน้าที่ในการกระจายพันธุ์คล้ายขน

1.5) ขั้วเมล็ด เป็นก้านสั้นอยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่ และยังติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก

1.6) กลีบรองเมล็ดเป็นกลีบเล็ก 2กลีบ อยู่ตรงข้าม ใต้สุดของเมล็ด

2.) ส่วนเนื้อผล หรือผลแท้ (true fruit, caryopsis grain) ประกอบด้วย

2.1) เยื่อหุ้มผล เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอก มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มผลอยู่ด้านใน มีลักษณะเป็นเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวมีสีต่างกันออกไป นอกจากนี้ยังมี โปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบสำคัญ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชั้น

2.1.1) เอพิคาร์พ หรือ เอกโซคาร์พ (epicarp, exocarp) เป็นผิวหรือเปลือกที่อยู่นอกสุด มีลักษณะเรียบ เหนียว และเป็นมัน

2.1.2) เมโซคาร์พ หรือ ไฮพอเดิร์ม (mesocarp, hypoderm) เป็นผนังผลชั้นกลาง

2.1.3) เอนโดคาร์พ (endocarp) เป็นเยื่อชั้นใน

2.2) เยื่อหุ้มเมล็ด อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้ามา ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้น รูปยาว เรียงตามขวาง และมีผนังบางกัน ภายในเซลล์มีไขมันและสารสี

2.3) นิวเซลลัส (nucellus) เป็นเซลล์ที่อยู่ติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ แต่มีพื้นที่ระหว่างนิวเซลลัสกับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่น จึงแยกจากกันได้ง่าย

2.4) เยื่อหุ้มแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น และมีลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนาจะมีความแตกต่างกันตามพันธุ์ของข้าว

2.4.1) คัพภะ จะอยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ ส่วนท้องของเมล็ดมีส่วนประกอบของรากอ่อน ต้นอ่อน เยื่อหุ้มรากอ่อน เยื่อหุ้มต้นอ่อน ท่อน้ำท่ออาหาร ใบเลี้ยง ซึ่งจะเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงมีปริมาณโปรตีนและไขมันมาก

2.4.2) เนื้อเมล็ด มีปริมาณมากที่สุด ในเมล็ดข้าว แบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนชั้นชั้นแอลิวโรเป็นเซลล์ 2 ชั้น อยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรน และส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อของเมล็ด

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าว

ผลการทำวิเคราะห์องค์ประกอบของเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการกระเทาะเปลือก ขัดขาว และขัดมัน พบว่าแต่ละส่วนมีองค์ประกอบทางเคมี คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใย หยาบ ถั่ว คาร์โบไฮเดรต ที่ร่างกายย่อยได้ เส้นใยอาหาร แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14 %

ส่วนของข้าว	โปรตีน (ก.)	ไขมัน (ก.)	เส้นใย (ก.)	ถั่ว (ก.)	คาร์โบไฮเดรต (ก.)	เส้นใย อาหาร (ก.)
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	2.9-5.2	6.4-19.2	16.4-19.2
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	73.0-87.0	2.9-3.9
ข้าวสาร	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	77.0-89.0	0.7-2.3
รำข้าว	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	6.6-9.9	34.0-62.0	24.0-29.0
แกลบ	2.0-2.8	0.3-0.8	34.5-45.9	13.2-21.0	22.0-34.0	66.0-74.0

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของข้าว

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณวิตามินได้แก่ ไทอะมิน (วิตามินบี 1) ไรโบเฟลวิน (วิตามินบี 2) ไนอะซิน (กรดนิโคตินิก) และแอลฟา-ทอโคเฟอรอล (วิตามินอี) และแร่ธาตุได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เหล็ก และสังกะสี ของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้ จากการแปรรูป แสดงดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณวิตามินของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14 %

ส่วนของข้าว	ไทอะมิน (มก.)	ไรโบเฟลวิน (มก.)	ไนอะซิน (มก.)	แอลฟา-ทอโคเฟอรอล (มก.)
ข้าวเปลือก	0.26-0.33	0.06-0.11	2.9-5.6	0.9-2.0
ข้าวกล้อง	0.29-0.61	0.04-0.14	3.5-5.3	0.9-2.5
ข้าวสาร	0.02-0.11	0.02-0.06	1.2-2.4	7.5-10.3
รำข้าว	1.2-2.4	0.18-0.43	26.7-49.9	2.6-13.3
แกลบ	0.09-0.21	0.05-0.07	1.6-4.2	0

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

ตารางที่ 3 ปริมาณเกลือแร่ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้น 14%

ส่วนของข้าว	แคลเซียม (มก.)	ฟอสฟอรัส (มก.)	โพแทสเซียม (มก.)	เหล็ก (มก.)	สังกะสี (มก.)
ข้าวเปลือก	10-800	0.17-0.39	0.18-0.21	1.4-6.0	1.7-3.1
ข้าวกล้อง	10-500	0.17-0.43	0.13-0.27	0.2-5.2	0.6-2.8
ข้าวสาร	10-300	0.08-0.15	0.02-0.07	0.2-2.8	0.6-2.3
รำข้าว	30-120	1.1-2.5	0.9-2.2	8.6-4.3	4.3-25.8
แกลบ	60-130	0.03-0.07	0	3.9-9.5	0.9-0.4

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

2.6.2 ข่า (Galanga)

ข่า (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Alpinia galanga* SW.) เป็นพืชในวงศ์ Zingiberaceae ข่าเป็นพืชล้มลุกที่มีลำต้นเป็นกอ มีเหง้าอยู่ใต้ดิน เหง้ามีสีน้ำตาลอมแดงมีเส้นแบ่งข้อเป็นช่วงสั้นๆ เนื้อในเหง้ามีสีขาวรสเผ็ดร้อนแต่ไม่เผ็ดเหมือนกับขิงมีกลิ่นฉุน ข่าเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ใบยาวปลายใบมนขอบใบเรียบก้านใบยาวเป็นกาบหุ้มซ้อนกันดอกเป็นช่อสีขาวนวล ข่าเป็นพืชในเขตเมืองร้อน ปัจจุบันข่าใช้เป็นเครื่องเทศในประเทศไทยและอินโดนีเซียมากกว่าที่อื่น เหง้าสดมีน้ำมันหอมระเหย (Volatile oil) ซึ่งประกอบไปด้วย สารเมทิล-ซินนามेट (Methyl-cinnamate) ซีนีโอล (Cineol) การบูร (Camphor) และยูจีนอล (Eugenol) สรรพคุณ ใช้รักษาโรคผิวหนัง กลากเกลื้อนและแก้ลมพิษ แก้ท้องอืดท้องเฟ้อ ท้องเดิน ท้องร่วง ฆ่าเชื้อบิด และช่วยย่อยอาหาร ส่วนประกอบที่ใช้ประกอบอาหาร คือ เหง้าและลำต้นอ่อน ดอก

2.6.3 ตะไคร้ (Lemongrass)

ตะไคร้ (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.) เป็นพืชในวงศ์ Graminae ตะไคร้เป็นพืชล้มลุก ขึ้นรวมกันเป็นกอแน่น โดยมีเหง้าอยู่ใต้ดิน ใบเรียวยาวขนานแคบปลายใบแหลมตามขอบใบมีขนเล็กน้อย ลำต้นยาวตรงทรงกระบอกมีไขสีขาวปกคลุม เหง้าและใบมีกลิ่นหอม ออกดอกเป็นช่อ ก้านช่อดอกยาว ผลมีขนาดเล็ก เหง้าและกาบใบพบน้ำมันหอมระเหย (Volatile oil) ประกอบไปด้วยสารซิทรัล (Citral) ยูจีนอล (Eugenol) เจอรานิโอล (Geraniol) ซิโตรเนลลอล (Citronellol) เมอร์ซีน (Myrcene) การบูร (Camphor) เป็นต้น ตะไคร้มีฤทธิ์อุ่น รสเผ็ด ช่วยลดความดันโลหิตสูง ขับเหงื่อ แก้หวัดลมเย็น ปวดศีรษะ แก้อาการขับเบา ช่วยขับปัสสาวะ แก้ปัสสาวะเป็นเลือด ระวังอาการปวดเกร็งตามร่างกาย ส่วนที่นำมาประกอบอาหารคือ เหง้า ลำต้น โคนใบ

2.6.4 พริกชี้ฟ้า (Cayenne pepper)

พริกชี้ฟ้า (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Capsicum annuum* Linn. var *acuminatum* Fingerh.) เป็นพืชวงศ์ Solanaceae พริกชี้ฟ้า เป็นพืชทรงพุ่ม ใบเป็นใบเดี่ยวคล้ายรูปไข่สีเขียวเข้ม ออกแบบสลับกัน ออกดอกเป็นช่อหรือดอกเดี่ยว ดอกมีสีขาวอมเขียวหรือสีขาวผลมีลักษณะยาวใหญ่ ผิวเป็นมัน มีสีเขียว เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีแดงสดมีรสเผ็ดพอประมาณ ส่วนสำคัญที่มีอยู่ในบริเวณไส้ของผลพริก คือ แคปไซซิน (Capsaicin) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้พริกมีรสเผ็ดและมีกลิ่นฉุน ส่วนสำคัญที่ทำให้พริกมีสีส้มหรือสีแดง คือ แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งประกอบไปด้วย สารแคโรทีน (Carotene) แคปแซนทีน (Capsanthin) แคปซารูบิน (Capsarubin) ลูทีโอลิน (Luteolin) ส่วนในเมล็ดพริกมีสารโซลานีน (Solanine) และโซลานิดีน (Solanidine) นอกจากนี้พริกยังมีสารอาหารมากมาย เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไฟเบอร์ แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส วิตามิน วิตามินบี1, 2, 3 และวิตามินซี เป็นต้น พริกช่วยกระตุ้นการทำงานของกระเพาะอาหารทำให้ระบบการย่อยอาหารดีขึ้น ช่วยเจริญอาหาร บำรุงธาตุ ขับเหงื่อ ขับลม ขับเสมหะ แก้อาเจียน แก้อึดถี่ แก้อ่อน ลดความดันโลหิตได้เพราะทำให้หลอดเลือดอ่อนตัว และช่วยให้ระบบการไหลเวียนของเลือดเป็นไปได้อย่างดี การรับประทานพริกเป็นประจำช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งและป้องกันการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดดลอีกเสบ นอกจากนี้พริกยังใช้เป็นช่วยผสมในยาธาตุ ยาแก้ปวดท้อง เพราะสารสกัด Capsaicin จากพริกจะช่วยกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์บางชนิดซึ่งทำให้กระเพาะอาหารและลำไส้บีบตัวและคลายตัว ส่วนที่นำมาประกอบอาหารคือผล

2.6.5 มะกรูด (Kaffir, Leech Lime, Mauritrus papeda, Porcupine Orange)

มะกรูด (ชื่อทางวิทยาศาสตร์: *Citrus hystrix* DC.) เป็นพืชวงศ์ Rutaceae มะกรูดเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กมีลักษณะเป็นพุ่มตามลำต้นมีหนามแหลม ก้านใบแผ่ออกเป็นครีบลายแผ่ใบ จึงทำให้เห็นใบเป็น 2 ตอนติดกัน ใบมีสีเขียวแก่และมีกลิ่นหอม ดอกมีสีขาว ผลค่อนข้างกลม ลักษณะของผลมีรูปร่างแตกต่างกันไปแล้วแต่พันธุ์ ผิวของผลขรุขระ มีจุดที่หัวและท้ายของผลในผิวมะกรูดมีน้ำมันหอมระเหยซึ่งประกอบด้วยสารหลัก คือ เบต้า-ไพเนน (β -Pinene) ลิโมนีน (Limonene) ซาบีเนน (Sabinene) และในใบมีน้ำมันหอมระเหยประกอบด้วย ซิโตรเนลลาล (Citronellal) ไอโซพูลิจอล (Isopulegol) ลิโนลูลอล (Linalool) เป็นสารหลัก ส่วนในน้ำของผลมะกรูดประกอบด้วยตัวกรดซิตริก (Citric acid) วิตามินซี และกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ น้ำมันมะกรูดช่วยให้เจริญอาหาร แก้อาการท้องอืดท้องเฟ้อ ช่วยขับและละลายเสมหะ บรรเทาอาการไอ ใบมะกรูดช่วยรักษาอาการจุกเสียดและขับลมในลำไส้ ส่วนที่นำมาประกอบอาหารคือ ใบ ผล ผิวของผล และน้ำมันมะกรูด

2.6.6 หอมแดง (Shallot)

หอมแดง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Allium ascalonicum* Linn.) เป็นพืชในวงศ์ Alliaceae หอมแดงเป็นพืชล้มลุกมีลำต้นหรือหัวอยู่ใต้ดิน หัวมีลักษณะกลมสีม่วงอมแดงประกอบด้วยหัวเล็กๆอยู่รวมกันหลายหัว มีเปลือกบางๆห่อหุ้มอยู่ภายนอกใบยาวกลวง ออกดอกเป็นช่อ ช่อหนึ่งประกอบด้วยดอกเล็กๆจำนวนมากดอกมีสีขาวหรือสีม่วงอ่อน ในหัวหอมมีน้ำมันหอมระเหย ประกอบด้วยสารกำมะถัน และแร่ธาตุหลายชนิด เช่น เหล็ก ฟอสฟอรัส แคลเซียม และกาบไพบและโบสดมีสารเคอควีทิน (Quercetin) และสปีโรไซด์ (Spiraeoside) หัวหอมช่วยทำให้เจริญอาหาร ช่วยลดความร้อนในร่างกาย แก้อึด ขับ

ลมในลำไส้ แก้วปวดท้อง ท้องอืด โดยรับประทานหัวแก๊จจัด ส่วนที่ใช้ประกอบอาหาร คือ หัว ใบหรือต้นสด (สุพจน์, 2543)

2.6.7 น้ำตาลทราย

น้ำตาลทรายมีลักษณะเป็นเม็ดผลึกสีขาวบริสุทธิ์เป็นเงา ซึ่งรูปร่างของน้ำตาลจะแตกต่างกันไปตามสภาพของอ้อยที่นำมาผลิต เช่น อ้อยอ่อน อ้อยที่มีคาร์ดิอ์สูง อ้อยสด เป็นต้น ผลึกน้ำตาลที่ดีต้องมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋า ไม่มีสี โปร่งแสง มีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.35 เซนติเมตร โดยน้ำตาลบริสุทธิ์จะมีรูปผลึกอยู่ในรูป มอโนเคลนิก (Monoclenic) หรือรูปเพรนอยดอล คริสตอล (Prenoidal Crystal) น้ำตาลเป็นสารให้ความหวานกับประสาทสัมผัส แต่ละชนิดมีโครงสร้างสูตรทางเคมีเป็นคาร์โบไฮเดรต เซลลูโลส แอลกอฮอล์ เมธานอล ภายในคาร์โบไฮเดรตจะมีสารให้ความหวาน คือ ซูโครส

2.6.8 กลูโคสไซรัป

จัดเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตลูกกวาดทุกชนิดรองลงมาจากน้ำตาล หน้าที่ของกลูโคสไซรัป คือ ทำให้น้ำตาลที่อยู่ในสภาวะสารละลายอิมัลชันยวดยิ่งไม่ตกผลึกออกมา หรือเกิดผลึกขาลงหรือน้อยลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อรสชาติและอายุการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับว่ากลูโคสไซรัปนั้นมีองค์ประกอบอย่างไร และถูกใช้ในสัดส่วนเท่าใด โดยกลูโคสไซรัปที่จำหน่ายจะมีค่า DE แตกต่างกันไปตามกรรมวิธีการผลิต ดังนั้นในการใช้งานจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

2.6.9 ปลาข้าวสาร

ปลาข้าวสารเป็นลูกของปลาจำพวกปลากะตัก (www.nicaonline.com)

เป็นปลาทะเลในวงศ์ *Engraulidae Stolephorus* (<https://th.wikipedia.org>) จัดเป็นปลาทะเลในผิวน้ำขนาดเล็กที่มีการแพร่กระจายกว้างขวางอาศัยอยู่ตามชายฝั่งทะเลและหมู่เกาะต่างๆ ในมหาสมุทรซึ่งคุณค่าทางโภชนาการของปลาข้าวสารมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 35 ซึ่งมากกว่าเมื่อเทียบกับปลาชนิดอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณโปรตีนของปลาชนิดต่างๆ

Type	Protein (%)
Anchovies (canned)	35
Herring (grilled)	17
Kippers (baked)	18
Mackerel (fried)	19
Pilchards	19
Salmon (steamed)	20
Sardines in tomato sauce	18
Sardines in oil	24
Tuna in oil	26

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Bower และคณะ (2000)

2.6.10 ถั่วลิสง

ถั่วลิสงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Arachis Hypogea* L. จัดเป็นพืชล้มลุกตระกูลถั่ว มีถิ่นกำเนิดบริเวณเขตร้อนของอเมริกาใต้ มีลักษณะเด่นที่แตกต่างจากพืชตระกูลเดียวกัน คือ ออกดอกเหนือดิน แต่มีฝักอยู่ใต้ดินซึ่งฝักของถั่วลิสงอาจจะขึ้นเดี่ยวๆหรือเป็นกลุ่ม เมื่อฝักแก่เปลือกของฝักจะแข็งและเปราะมีลายเส้นที่เปลือกฝัก ฝักมีสีขาวนวลหรือน้ำตาลอ่อน ใน 1 ฝักมี 1-4 เมล็ด ในเมล็ดมีเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat หรือ Testa) บางๆ มีสีม่วงแดง และขาวนวลขึ้นอยู่กับพันธุ์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2522)

ถั่วลิสงเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เมล็ดถั่วลิสงจัดว่ามีคุณค่าทางอาหารสูงโดยมีโปรตีนประมาณร้อยละ 25 ไขมันประมาณร้อยละ 50 และให้พลังงานประมาณ 607 แคลอรีต่อ 100 กรัม นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยเกลือแร่ และวิตามินรวมทั้งสารที่ให้สีและกลิ่นมีรสด้วยเหตุผลนี้จึงมีการนำเอาเมล็ดถั่วลิสงมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ (http://www.healthtoday.net/thailand/dietary/dietary_97.html)

คุณค่าทางโภชนาการ

ถั่วลิสงเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งของอาหารประเภทโปรตีนและพลังงาน เพราะมีโปรตีนประมาณร้อยละ 25-30 ไขมันร้อยละ 45-50 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 20 ส่วนประกอบ 2 ชนิดหลักเป็นแหล่งที่ให้พลังงานสูง คือให้พลังงานประมาณ 585 แคลอรีต่อ 100 กรัม โปรตีนในถั่วลิสงมีปริมาณเทียบเท่ากับถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วดำ แต่ต่ำกว่าถั่วเหลือง และมีกรดอะมิโน ไลซีน ไทโอนีน และเมทไทโอนีน ที่จำเป็นต่อร่างกายต่ำกว่าที่ต้องการโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำให้สุกปริมาณจะยิ่งน้อยลง การใช้ความร้อนสูงตั้งแต่ 145 องศาเซลเซียสขึ้นไปมีแนวโน้มทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง แต่การทำให้สุกก่อนมีความจำเป็นเพราะความร้อนจะช่วยทำลาย trypsin inhibitor การใช้ความร้อนขึ้น เช่น ต้มหรือหนึ่งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส หรือการใช้ความร้อนแห้ง เช่น การคั่วหรืออบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จะทำลาย trypsin inhibitor ได้เช่นกัน

2.6.11 ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

ข้าวพอง (Puffed snacks หรือ Expanded snacks) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวหรือแป้งมีลักษณะพองเบา มีรูพรุน และกรอบ ซึ่งข้าวพองอาจเตรียมได้จากข้าวทั้งเมล็ดหรือเตรียมได้จากแป้ง โดยข้าวที่ใช้ในการทำใหพองตัวควรมีอะไมโลสค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในช่วงร้อยละ 5-20 และในการทำใหเกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์เริ่มต้นจากที่มีการใช้เทคนิคในการผลิตผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปแบบแห้ง เมื่อต้องการจึงนำมาทอดหรืออบให้พองตัว ซึ่งการพัฒนาในระยะต่อมาเป็นการทำให้พองตัวโดยตรงโดยไม่ผ่านขั้นตอนการทำแห้ง การพองตัวนั้นมีหลักการโดยสรุปได้ 2 แบบ คือ

1) เป็นการทำให้พองตัวในบรรยากาศโดยทำให้น้ำที่มีอยู่ระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว

2) เป็นการลดความดันของอาหารร้อนให้ต่ำลง จนทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไป

การผลิตข้าวพองทุกชนิดมีขั้นตอนที่เหมือนกัน คือ การทำให้แป้ง การปรับความชื้น และการทำให้พองตัว ซึ่งการปรับความชื้นจะทำก่อนและหลังการทำให้สุก การปรับความชื้นก่อนทำให้สุก เป็นการทำให้

แป้งสุกได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน ส่วนการปรับความชื้นหลังการทำให้สุกช่วยให้แป้งพองตัวได้มากเมื่อนำไปทอดหรืออบ การปรับความชื้นจะทำเพียงครั้งเดียวในการผลิตแบบเอกซ์ทรูชัน ซึ่งเป็นการทำให้สุกและพองตัวพร้อมกัน

การแบ่งกลุ่มข้าวพองตามวิธีการพองตัว

(1) ข้าวพองที่ผลิตโดยการอัดด้วยความดันสูง เป็นการผลิตโดยใช้เครื่อง

เอกซ์ทรูชันที่มีการใช้แรงอัดและความร้อนสูง โดยควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้เหมาะสม แรงดันที่เกิดจากไอน้ำจะดันให้แป้งพองตัว การที่ไอน้ำระเหยอย่างรวดเร็วพร้อมกับการลดอุณหภูมิสูงทำให้แป้งที่พองตัวแล้วแข็งตัวและรักษารูปทรงไว้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูพรุนและมีขนาดเล็ก มีเนื้อนุ่ม ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ควรประมาณร้อยละ 2-4 ไม่ควรอบให้แห้งเกินไป เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบ ร่วนและหืนได้ง่าย

(2) ข้าวพองที่ผลิตโดยการอัดแบ่งไว้ระหว่างแผ่นโลหะร้อน เป็นวิธีการนำแป้งที่ผสมแล้วมาวางบนแผ่นโลหะร้อนแล้วกดด้วยแผ่นโลหะอีกแผ่นหนึ่ง การกดแผ่นโลหะทำให้เกิดแรงอัดลงบนแป้ง และแรงอัดจะมีมากขึ้นเมื่อน้ำในแป้งกลายเป็นไอน้ำอยู่ภายในแป้งนั้น เมื่อยกแผ่นโลหะบนออก ความดันในน้ำจะลดลงทันทีเนื่องจากไอน้ำที่ดันแป้งที่หลอมละลายให้พองตัวออกไป เมื่อไอน้ำระเหยไปหมดและอุณหภูมิของแป้งลดลง จะทำให้แป้งแข็งตัวและรักษารูปทรงไว้ได้ สำหรับการผลิตวิธีนี้ควรใช้แรงกด 100-1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิระหว่าง 150-370 องศาเซลเซียส และกดนาน 1-30 วินาที ส่วนความชื้นที่เหมาะสม คือ ช่วงร้อยละ 8-16

(3) ข้าวที่พองโดยใช้ลมร้อน เป็นวิธีการใช้ลมร้อนทำให้พองตัวได้ 1.5-3 เท่า โดยก่อนแป้งจะต้องมีความชื้นระหว่างร้อยละ 22-27 โดยนำส่วนผสมที่ปั่นเป็นก้อนใส่ลงในหม้อหนึ่ง ความดันด้วยไอน้ำที่ความดัน 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 6-30 นาที นำแป้งมานวดและหั่นเป็นแผ่นบางๆทำให้ผิวแห้งแข็งโดยใช้ลมเป่าจนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 16-21 นำมารีดเป็นแผ่นบาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 177-400 องศาเซลเซียส นาน 8-35 วินาที ข้าวที่พองตัวแล้วจะมีความชื้นเหลือร้อยละ 3-7 อาจทำให้ลดลงได้อีกโดยนำไปอบหรือคั่วที่อุณหภูมิ 107-290 องศาเซลเซียส นาน 2-10 วินาที

(4) ข้าวที่พองตัวโดยใช้สุญญากาศ เริ่มจากการทำให้ข้าวอยู่ในสภาพที่เหนียวแข็งก่อน แล้วจึงใส่ตัวสุญญากาศเพื่อให้พองตัว โดยในขั้นแรกเตรียมสารละลายเข้มข้นจากน้ำตาล และชั้นที่สองเตรียมของผสมของส่วนที่เป็นของแข็งแล้วนำมาผสมให้เข้ากัน นวดเป็นก้อนเหนียวแข็งแล้วจึงนำไปรีดเป็นแผ่นและทำให้เย็น ตัดเป็นชิ้นเล็กๆใส่ลงในตัวสุญญากาศ โดยวางไว้บนโลหะที่รักษาอุณหภูมิไว้ที่ 62 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงเดินเครื่องสุญญากาศและรักษาระดับไว้ที่ 29 นิ้ว แป้งจะพองตัวเป็นก้อนกลมและแห้งสนิท

(5) ข้าวที่พองโดยใช้ไมโครเวฟ การพองตัวโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ น้ำที่ใส่ลงไปในนั้นจะต้องกระจายตัวสม่ำเสมอ ปริมาณความชื้นควรควบคุมอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 12-26 โดยน้ำหนัก เมื่อนำไปเข้าเครื่องไมโครเวฟน้ำที่อยู่ในส่วนผสมจะระเหยออกไปทันที และทำให้แป้งพองตัว ถ้าอาหารนั้นอยู่ในสุญญากาศการพองตัวจะดีขึ้น

(6) ข้าวที่พองโดยใช้เตาอบ เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับแป้งสุกผงที่ทำจากพืชหัวหรือพืชอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน แป้งที่ใช้ควรมีค่า granule swelling powder มากกว่า 44 การใช้แป้งสุก จะช่วยให้ค่านี้สูงขึ้น ญี่ปุ่นได้นำวิธีนี้ไปใช้ทำข้าวเกรียบเซมเบ้และอาราเร่ โดยส่วนผสมมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 25 นำมาตัดแท่งหรือรูปกลมด้วยเครื่องแรงอัดสูง นำไปอบที่อุณหภูมิ 150-260 องศาเซลเซียส นาน 3-15 นาที

(7) ข้าวที่พองโดยการทอด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีนี้มีหลายชนิด ข้าวพองในกลุ่มนี้ที่รู้จักกันดีคือ ข้าวเกรียบต่างๆโดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆผสมเข้ากันดี มีการจับตัวกันเป็นก้อนและอัดเป็นรูปร่างได้ นำไปนึ่งให้สุก ลดความชื้นให้เหลือร้อยละ 8 ก่อนนำไปทอดให้พองตัวหรือเก็บไว้ทอดเมื่อต้องการรับประทาน

2.7 สารอาหารที่พบในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว

2.7.1 โปรตีน

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต เพราะเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะต้องมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในไซโทพลาสซึม คำว่า โปรตีน เป็นภาษากรีก หมายถึง “สิ่งแรก” นั่นคือ ไม่มีสิ่งที่มีชีวิตใดที่ปราศจากโปรตีน

โมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยธาตุต่างๆโดยประมาณ คือ ธาตุคาร์บอนร้อยละ 50-55 ออกซิเจนร้อยละ 20-23 ไนโตรเจนร้อยละ 12-19 ไฮโดรเจนร้อยละ 6-7 และกำมะถันร้อยละ 0.2-0.3 โปรตีนบางชนิดมีฟอสฟอรัสบ้างเล็กน้อย หน่วยเล็กที่สุดในโมเลกุลของโปรตีน เรียกว่า กรดอะมิโน (amino acid) โปรตีนจึงเป็นพอลิเมอร์ของกรดอะมิโนที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bond) เป็นสายยาว เรียกว่า สายพอลิเพปไทด์ (polypeptide chain) พันธะเพปไทด์จัดเป็นพันธะเอไมด์ชนิดหนึ่ง

มนุษย์ได้รับสารอาหารประเภทโปรตีนจากพืชและสัตว์ พืชสามารถสังเคราะห์โปรตีนได้เองโดยอาศัยการใช้ประโยชน์จากแหล่งไนโตรเจนอินทรีย์ เช่น แอมโมเนีย ไนเตรต และ ไนไตรต์ เปลี่ยนให้เป็นไนโตรเจนอินทรีย์ สำหรับคนและสัตว์ชั้นสูงโปรตีนจะสังเคราะห์ขึ้นภายในเซลล์โรโบโซม โดยต้องอาศัยกรดอะมิโนที่ได้รับจากอาหาร

2.7.2 ลิพิด

ลิพิดเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอะโพลาร์ (apolar) เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ และชนิดที่เป็นโพลาร์เล็กน้อย (slightly polar) เช่น แอลกอฮอล์ และแอซีโตน ยกเว้นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น กรดบิวทริก จะละลายได้ในน้ำ

ลิพิดเป็นส่วนประกอบทางเคมีอีกชนิดหนึ่งที่พบได้ในอาหารทั้งที่ได้มาจากพืชและสัตว์เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูง 9 กิโลแคลอรีต่อกรัม อาหารที่คนเรบริโภคในแต่ละวันควรมีลิพิดประมาณร้อยละ 20-30 ของพลังงานทั้งหมดที่ได้รับ ลิพิดในอาหารามีหน้าที่ช่วยละลายวิตามินบางชนิด ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค นอกจากนั้นยังให้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันที่

จำเป็นต่อร่างกาย ร่างกายสังเคราะห์เองไม่ได้ ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ได้แก่ กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก และกรดอะราคิโดนิก ไขมันเป็นแหล่งสะสมพลังงานของร่างกายซึ่งเก็บสะสมไว้ในรูปเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) ใต้ผิวหนัง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนและความเย็นให้แก่ร่างกาย ลิพิดบางชนิดเป็นส่วนประกอบของเซลล์อแกเนลล์ เช่น เซลล์เมมเบรน ไมโทครอนเดรีย และไซโทพลาซึม ลิพิดที่สำคัญในร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิพิด สเตอรอยด์ และกรดไขมัน

2.7.3 สตาร์ช

สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสและเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืชที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชเก็บสะสมสตาร์ชไว้ตามส่วนต่างๆ เช่น หัว ราก เมล็ด ลำต้น และผล โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) ที่อาจมีหรือไม่มีเมมเบรนหุ้มก็ได้ เรียกว่า อะไมโลพลาสต์ (amyloplast) สตาร์ชเป็นอาหารที่ให้พลังงานสำคัญที่สุดแก่มนุษย์ สตาร์ชส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดของธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง และบางส่วนได้มาจากหัวและรากพืช เช่น มันเทศ มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง สตาร์ชที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีโครงสร้างทางเคมีโมเลกุลแตกต่างกัน และเม็ดสตาร์ชจะมีขนาดรูปร่าง และสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันด้วย

2.7.3.1 ลักษณะของเม็ดสตาร์ช

รูปร่างของเม็ดสตาร์ชที่มาจากพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน จึงใช้เป็นตัวบ่งชี้ชนิดของสตาร์ชได้ ตัวอย่างเช่น เม็ดสตาร์ชมันฝรั่ง มีรูปร่างเป็นวงรีคล้ายไข่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 15-100 ไมโครเมตร เม็ดสตาร์ชมันฝรั่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 0.06-0.1 เนื่องจากมีหมู่ฟอสเฟตเอสเทอร์อยู่บนโมเลกุลของอะไมโลเพกทิน ซึ่งทำให้มีประจุลบ จึงดูดน้ำพองตัวได้ง่าย สารละลายที่ได้มีลักษณะใส มีความหนืดสูง และเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) ในอัตราที่ต่ำ เม็ดสตาร์ชของข้าวโพดมีขนาดเล็ก มีรูปร่างทั้งกลม รูปร่างหลายแบบผสมกันทั้งที่เป็นรูปกลมหรือรูปเหลี่ยมรวมกัน เม็ดสตาร์ชของข้าวโพดถึงจะมาจากแหล่งเดียวกันก็ตาม แต่จะมีลักษณะรูปร่างหลายแบบผสมกันทั้งที่เป็นรูปกลมหรือรูปเหลี่ยม ส่วนเม็ดสตาร์ชข้าวสาลีมีรูปแบบกลมคล้ายเลนส์มีขนาดต่างๆ กัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผันแปรอยู่ในช่วง 2-35 ไมโครเมตร สำหรับเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้ามีขนาดค่อนข้างเล็ก ตรงกันข้ามกับเม็ดสตาร์ชของมันฝรั่งมีขนาดใหญ่กว่ามาก มีความหนาแน่นน้อยทำให้สุกได้ง่าย ในเม็ดสตาร์ชยังมีแร่ธาตุ ลิพิด และโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่บ้างเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อนำแป้ง (flour) ไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชที่ปรากฏจะสามารถชี้บ่งได้ว่าเป็นแป้งที่มาจากพืชชนิดใด ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากพืชบางชนิด เม็ดสตาร์ชของมันฝรั่งจะอยู่ในรูปอิสระภายในแวคิวโอล (vacuoles) ทำให้แยกออกได้ง่ายโดยการสกัดด้วยน้ำ แล้วปล่อยให้เม็ดสตาร์ชตกตะกอนก่อนนำไปทำให้แห้ง สำหรับเม็ดสตาร์ชที่มาจากพืชส่วนใหญ่มีลิพิดเป็นองค์ประกอบบ้างเล็กน้อย อาจเป็นกรดไขมันอิสระและไลโซฟอสโฟลิพิด ซึ่งในเม็ดสตาร์ชข้าวโพดจะเป็นไลโซฟอสฟาติดิโคลีนประมาณร้อยละ 89 ของฟอสโฟลิพิดทั้งหมด อัตราส่วนของกรดไขมันอิสระและไลโซฟอสโฟลิพิด

จะผันแปรตามชนิดของธัญพืช ดังนั้นสตาร์ชที่ได้จากธัญพืชจะแยกเม็ดสตาร์ชออกได้ยาก เพราะส่วนที่เป็นสตาร์ชจะอยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ที่ห่อหุ้มไว้ด้วยลิโปโปรตีน

2.7.3.2 โครงสร้างของเม็ดสตาร์ช

ภายในเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์กลูแคน 2 ชนิด ผสมกัน คือ อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์สายยาวของ α -(1,4) กลูแคนและอะไมโลเพกทิน (amylopectin) เป็นสายแขนงที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ต่อกันด้วยพันธะ α -(1,4) เป็นสายตรงและมีพันธะ α -(1,6) เป็นสายแขนง อะไมโลสและอะไมโลเพกทิน ที่เป็นองค์ประกอบในเม็ดสตาร์ชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่น้ำหนักโมเลกุล degree of polymerization ของแต่ละสายตำแหน่งที่อยู่ในเม็ดสตาร์ช และสัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกทิน ดังนั้นสมบัติของสตาร์ชที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน จึงมีความสามารถในการทำหน้าที่ (functionality) ได้แตกต่างกัน เนื่องจากสัดส่วนขององค์ประกอบและหรือโครงสร้างขององค์ประกอบดังกล่าว เม็ดสตาร์ชส่วนใหญ่จะมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบอยู่ในเม็ดสตาร์ชประมาณร้อยละ 20-39 และมีอะไมโลเพกทินประมาณร้อยละ 70-80 แต่สตาร์ชจากถั่วและข้าวโพดบางสายพันธุ์มีอะไมโลสสูงร้อยละ 50-80 เรียกว่า amylo maize และมีข้าวโพดบางสายพันธุ์ที่เม็ดสตาร์ชประกอบด้วยอะไมโลเพกทิน 100 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความอะไมโลสเลยเรียกว่า waxy millet

2.7.3.3 การเกิดเจลลิตในเซชัน

เม็ดสตาร์ชมีสมบัติเป็น optical birefringence คือ จะปรากฏเป็นแสงเมื่อส่องดูด้วยกล้องไมโครสโคปชนิด polarizing สมบัตินี้ซึ่งบ่งว่าสตาร์ชมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (order orientation) หรืออยู่ในผลึกเม็ดสตาร์ชที่สมบูรณ์ ไม่ถูกทำลายขณะแปรรูปจะไม่ละลายในน้ำเย็นและสามารถดูดน้ำเย็นได้เพียงเล็กน้อย ความสามารถในการดูดน้ำของเม็ดสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อละลายอยู่ในน้ำอุ่นเม็ดสตาร์ชจะค่อยๆดูดน้ำและพองตัวออก (swelling) ได้ และการพองตัวนี้สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ เพราะเม็ดสตาร์ชสามารถหดตัวลงได้เมื่อนำไปอบไล่ไอน้ำออกหรือทำให้แห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นเรื่อยๆ เม็ดสตาร์ชจะพองตัวมากขึ้นจนมีขนาดใหญ่และจะแตกออก ได้เป็นสารละลายข้นหนืด เรียกกระบวนการนี้ว่า เจลลิตในเซชัน (gelatinization) สารละลายข้นหนืดที่ได้จะเป็นส่วนผสมของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน กระบวนการนี้ทำให้คืนกลับไม่ได้ ดังนั้นเม็ดสตาร์ชจะสูญเสีย birefringence และโครงสร้างที่เป็นผลึก และจะมีโมเลกุลของอะไมโลสหลุดออกมาอยู่นอกเม็ดสตาร์ชได้บางส่วน ช่วงอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลิตในเซชันจนสมบูรณ์ จะผันแปรได้ตามวิธีที่ใช้วัด และอัตราส่วนของสตาร์ชต่อน้ำ ชนิดของเม็ดสตาร์ชและความไม่สม่ำเสมอ ภายในเม็ดสตาร์ชในแต่ละระยะของการเกิดเจลลิตในเซชันจะใช้กล้องไมโครสโคปชนิด polarizing ส่องดูได้ และอาจเห็นการหายไปของ birefringence ในช่วงต้น

เม็ดสตาร์ชที่ได้รับความร้อนในภาวะที่มีปริมาณน้ำมาก เม็ดสตาร์ชจะพองตัวออกมากและมีอะไมโลสส่วนที่ละลายน้ำได้หลุดออกมามากด้วย หากมีความดันหรือแรงเฉือนที่ทำให้เม็ดสตาร์ชถูกทำลาย จะทำให้ได้สารละลายที่มีลักษณะข้นซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ละลายได้ของอะไมโลสหรือบางส่วนของอะไมโลเพกทิน และเมื่อปล่อยให้สารละลายสตาร์ชเย็นลงอาจมีลักษณะข้นหนืด (viscoelastic) หรือมีลักษณะเป็นเจล

เมื่อปล่อยให้สารละลายของเม็ดสตาร์ชที่เกิดเจลลิตในเซชันแล้วเย็นลง โมเลกุลของสตาร์ชบางส่วนโดยเฉพาะโมเลกุลของอะไมโลส จะมาเกาะรวมกันตะกอนหรือเกิดเป็นเจล เรียกว่า กระบวนการ รีโทรกราเดชัน สำหรับเจลที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งหรืออ่อนขึ้นอยู่กับการเกิด junction zone ซึ่งยังผันแปรไปตามองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ไขมัน โปรตีน น้ำตาล กรด และปริมาณน้ำที่อยู่ในสารละลายนั้น

2.7.3.4 อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายยาวของน้ำตาลกลูโคส ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสหรือหน่วยแอลฟา-ดี-กลูโคไพราโนซิล ประมาณ 250-2000 หน่วย เรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α -D(1,4) จึงเป็นหน่วยที่ซ้ำๆ กันของน้ำตาลมอลโทสด้วย จึงจัดว่าโมเลกุลของอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสสายยาวที่มีขนาดใหญ่มาก มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 106 ดาลตัน อะไมโลสในสตาร์ชบางชนิดอาจมีพันธะ α -D(1,6) บ้างเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 0.3-0.5 ของพันธะทั้งหมด

สตาร์ชที่ได้จากข้าวโพด ข้าวสาลี และมันฝรั่ง จะมีอะไมโลสประมาณร้อยละ 10-30 ส่วนสตาร์ชที่ได้จากข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวเจ้าบางสายพันธุ์ไม่มีอะไมโลสเลย เรียกว่า waxy starch อะไมโลสไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อเติมน้ำลงไป อะไมโลสจะเกาะตัวกันเป็นตะกอนที่ไม่ละลาย และเนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสเป็นสายยาว จึงมีโอกาที่จะจับคู่กับอะไมโลสอีกโมเลกุลหนึ่ง เป็นสายยาวคู่ขนาน เกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนกลายเป็นตาข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงและตกตะกอนได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า รีโทรกราเดชัน และตะกอนที่ได้เรียกว่า retrograded starch แต่ waxy starch ซึ่งไม่มีอะไมโลสเลย หรือมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบน้อยมาก จะไม่เกิดรีโทรกราเดชัน อะไมโลสสามารถจับกับไอโอดีน โดยพันธะเป็นเกลียวรอบๆ ไอโอดีน ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อน amylose-iodine complex มีสีน้ำเงิน สีที่เกิดขึ้นจะผันแปรตามความยาวของสายอะไมโลส และจำนวนเกลียวของสายอะไมโลส นอกจากนั้นอะไมโลสยังรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้อีก เช่น กรดไขมัน surfactants และ polar agent อื่นๆ เช่น บิวทิลแอลกอฮอล์ เอมีลแอลกอฮอล์ ไทมอล และไนโตรพาราฟิน) โดยเฉพาะการรวมตัวของอะไมโลสกับไนโตรพาราฟิน ใช้เป็นวิธีแยกอะไมโลสออกจากอะไมโลเพกตินได้

2.7.3.5 อะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกตินเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ที่องค์ประกอบอยู่ในเม็ดสตาร์ช ประมาณร้อยละ 70-100 (เฉลี่ยประมาณร้อยละ 75) มีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีสายแขนงแยกออกมา ซึ่งแต่ละแขนงจะมีน้ำตาลกลูโคสประมาณ 20-35 หน่วย ดังนั้นในโมเลกุลของอะไมโลเพกตินจึงมีทั้งพันธะ α -(1,4) และ α -(1,6) โดยจุดแยกของสายแขนงมีประมาณร้อยละ 4-5 ของพันธะทั้งหมด โดยปกติอะไมโลเพกตินมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าอะไมโลสมาก มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 106- 5x108 ดาลตัน และทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนได้สารประกอบเชิงซ้อนมีสีแดง

ความแตกต่างของสมบัติระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลเพกติน ที่เป็นองค์ประกอบของเม็ดสตาร์ช ทราบแต่เพียงว่าเป็นสารที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่มาก และมี degree of polymerization เป็นจำนวนหลาย ล้านหน่วยของน้ำตาลกลูโคสไดอะแกรมที่เป็นตัวแทนส่วนของโมเลกุลอะไมโลเพกติน

2.7.4 เส้นใย

เส้นใยเป็นส่วนประกอบอยู่ในอาหารบางชนิด สมัยก่อนเรียกว่า crude fiber หมายถึง สารที่เหลืออยู่ภายหลังการย่อยด้วยกรดและด่างแล้ว ซึ่งก็คือ เซลลูโลส และลิกนินเท่านั้น ต่อมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับคาร์โบไฮเดรตมากขึ้น ทำให้ทราบว่าคาร์โบไฮเดรตมีผลดีต่อสุขภาพ จึงให้ชื่อใหม่เป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ซึ่งหมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารมนุษย์ คือ เอนไซม์ที่ไม่สามารถย่อยสลายพันธะไกลโคไซด์ในโมเลกุลของสารประกอบเหล่านี้ได้ เส้นใยอาหารประกอบด้วยเซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เพนโทแซน กัม และเพกติน ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ปริมาณของเส้นใยอาหารจึงมีค่ามากกว่า crude fiber ประมาณ 2-16 เท่า แหล่งที่พบเส้นใยอาหารมาก คือ ธัญพืช โดยเฉพาะส่วนผิวชั้นนอกของเมล็ดที่เป็นรำ (bran) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวสาลีทั้งเมล็ด (whole wheat flour) มีเส้นใยอาหาร 11 เปอร์เซ็นต์ แต่มี crude fiber 2.3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ขณะที่แป้งข้าวสาลีชนิดสีขาว (white wheat flour) มีเส้นใยอาหารและ crude fiber 3.6 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นแหล่งของเส้นใยอาหารที่ดี คือ ส่วนรำของข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวเจ้า ถั่วต่างๆ และเซลลูโลสบริสุทธิ์ ปัจจุบันเส้นใยอาหารแบ่งออกได้ 3 กลุ่ม คือ

2.7.4.1 Structural polysaccharides คือ เส้นใยอาหารที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ และทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์พืช ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกตินบางส่วน

2.7.4.2 Structural non-polysaccharides คือ เส้นใยอาหารที่ไม่ใช่พอลิแซ็กคาไรด์ แต่ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์พืช ได้แก่ ลิกนิน

2.7.4.3 Non-structural polysaccharides คือ เส้นใยอาหารที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ แต่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ได้แก่ กัมต่างๆ และมิวซิเลจ กัมและเพกตินเป็นเส้นใยอาหาร ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี และไม่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารจึงเหลืออยู่ในลำไส้ใหญ่ ช่วยเพิ่มปริมาณเนื้ออุจจาระและทำให้อุจจาระนิ่ม จึงช่วยขับถ่ายของเสียออกจากร่างกายได้สะดวก ทำให้ร่างกายมีสุขภาพดี (นิธิยา, 2545)

2.7.5 วิตามิน

วิตามินเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายคล้ายเอนไซม์และฮอร์โมน ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในร่างกาย ปัจจุบันพบว่าวิตามินและฮอร์โมนมีองค์ประกอบและหน้าที่สัมพันธ์ใกล้ชิดกัน และมีวิตามินหลายตัวเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ อยู่ในลักษณะของโคเอนไซม์ (co-enzyme) วิตามินมีหน้าที่สำคัญในการจัดระเบียบและควบคุมการปฏิบัติงานของอวัยวะต่างๆในร่างกาย ควบคุมการใช้กำลังงาน ทำให้ร่างกายมีความสามารถในการต้านทานโรค ควบคุมระบบประสาท ส่งเสริมการเจริญเติบโตของร่างกาย ร่างกายต้องการวิตามินในปริมาณน้อย แต่จะขาดไม่ได้ถ้าขาดวิตามินหรือบกพร่องไป จะเกิดโรคขาดวิตามินและจะปรากฏอาการให้เห็น วิตามินเป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงานแก่ร่างกายจึงไม่ให้อ้วน วิตามินบางชนิดสังเคราะห์ขึ้นได้ในร่างกายบางชนิดสังเคราะห์ไม่ได้หรือ

สังเคราะห์ได้แต่ไม่เพียงพอ จำเป็นต้องได้รับเพิ่มจากอาหาร ถ้าร่างกายได้รับไม่เพียงพอจะขาดวิตามิน การขาดวิตามินเรียกว่า avitaminosis (vitamin deficiency disease) ถ้าขาดวิตามินจะทำให้เป็นโรคต่างๆ แต่ถ้าร่างกายสะสมวิตามินมากเกินไปในร่างกายเรียกว่า hypervitaminosis

2.7.5.1 กรดนิโคตินิก (Nicotinic acid, Vitamin B5)

คุณสมบัติ

- 1) เป็นผลึกรูปเข็มสีขาว ทนต่อความร้อน กรด ต่าง และแสงสว่าง
 - 2) ละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์เล็กน้อย (ประมาณ 1 กรัมใน 100 มล.) ไม่ละลายในอีเทอร์ และอะซีโตน ถ้าอยู่ในรูปของ amide จะละลายในน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีกว่ากรดนิโคตินิก (ในน้ำประมาณ 1 .กรัมใน 1 มล.)
 - 3) เป็นสารที่มีคุณสมบัติป้องกันและรักษาโรคเพลลากราได้ ฉะนั้นบางครั้งจะเรียกว่าวิตามิน PP หรือ PP-factor ซึ่งย่อมาจาก Pellagra preventive factoren
- หน้าที่ในร่างกาย

ความต้องการของกรดนิโคตินิกมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวและแคลอรีที่ใช้ ปริมาณต่ำสุดที่มนุษย์ควรจะได้รับเพื่อป้องกันมิให้เกิดโรคเพลลากราคือ 4.4 มิลลิกรัมต่อ 1000 กิโลแคลอรี หรือประมาณ 6-18 มิลลิกรัมต่อวัน ในกรณีที่ต้องการกรดนิโคตินิกเป็นพิเศษจะต้องได้รับเพิ่มขึ้น เช่น การย่อยบกพร่อง ผู้ป่วยมีไข้ ระยะกำลังเติบโต ทำงานหนัก ตั้งครรภ์หรือให้นมบุตร

บักเตอรีในลำไส้สามารถสังเคราะห์กรดนิโคตินิกได้จากการดอะมิโนทริปโตเฟน แต่ปริมาณ ทริปโตเฟนที่จะนำไปสังเคราะห์กรดนิโคตินิกนี้ไม่แน่นอนขึ้นกับกรดอะมิโนจำเป็น เช่น ลิวซีน ไอโซลิวซีน ทรีโอนีน และไลซีน และขึ้นกับวิตามินบางตัว เช่น วิตามินบีหนึ่ง บีหก และไบโอติน เป็นต้น ถ้าหากกรดอะมิโนจำเป็นดังกล่าวมีในอาหารปริมาณน้อย จะทำให้ร่างกายนำทริปโตเฟนไปสังเคราะห์โปรตีนน้อยลง ดังนั้นทริปโตเฟนที่เหลือที่จะใช้ในการสังเคราะห์กรดนิโคตินิกได้มากขึ้น โดยปกติในการคำนวณมักจะถือว่าทริปโตเฟนในอาหาร 60 มิลลิกรัมมีค่าเทียบเท่ากับกรดนิโคตินิก 1 มิลลิกรัม

ผลที่เกิดจากการขาดกรดนิโคตินิก

การขาดกรดนิโคตินิกจะทำให้เป็นโรคเพลลากรา (Pellagra) เกิดความผิดปกติ แบ่งเป็น 3 พวก คือ

- 1) อาการทางผิวหนัง คือ ผิวหนังบริเวณที่ถูกแดด เช่น แขน ขา คอ หน้า จะเป็นผื่นแดง สีน้ำตาลเข้ม หรือหลุดลอกออกเกิดเป็นแผลได้
- 2) มีการเปลี่ยนแปลงในอวัยวะของระบบทางเดินอาหาร เช่น ปากลิ้นอักเสบ รวมไปถึงกระเพาะอาหาร และลำไส้
- 3) มีอาการผิดปกติทางประสาท เช่น ปวดศีรษะ หงุดหงิด กังวล ความจำเสื่อม และสับสน นอนไม่หลับ ซึมเศร้า

การขาดวิตามินนี้จะพบในคนที่การดูดซึมไม่ปกติ ไม่กินอาหารประเภทเนื้อสัตว์ หรือผิดปกติใน tryptophane metabolism ทำให้มีการสังเคราะห์กรดนิโคตินิกจากทริปโตเฟนได้น้อยลง คน

ที่ขาดวิตามินบีหก (pyridoxine) มักจะขาดกรดนิโคตินิกด้วย เพราะการสังเคราะห์กรดนิโคตินิกจากทริปโตเฟนต้องการเอนไซม์ที่มี pyridoxal phosphate เป็นโคเอนไซม์

แหล่งอาหารมีมากในเนื้อสัตว์ เนื้อปลา ถั่ว ข้าว ข้าวโพด ส่วนน้ำมันและไข่มีทริปโตเฟนซึ่งจะเปลี่ยนเป็นกรดนิโคตินิกได้ ผักและผลไม้มีน้อย กรดนิโคตินิกและนิโคตินาไมด์ในอาหารถ้าอยู่ในสภาพรวมกับสารอื่นที่ร่างกายสลายไม่ได้ ก็จะไม่สามารถดูดซึมไปใช้ได้ ทำให้ร่างกายขาดวิตามินนี้ได้เหมือนกัน

2.7.5.2 วิตามินบีหนึ่ง

วิตามินบีหนึ่ง หรือไทอะมิน มีหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ในเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต จึงพบได้ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ รูปที่ทำงานของวิตามินบีหนึ่ง คือ ไทอะมินไพโรฟอสเฟต หรือไทอะมินไดฟอสเฟต ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ทรานส์คีโตเลส ฟอสโฟคีโตเลส พิวเวเตดีไฮโดรจีเนส และแอลฟา-คีโต-กลูตาเรตดีไฮโดรจีเนส ซึ่งบางครั้งอาจเรียกว่า โคคาร์บอกซิเลส

อาหารส่วนใหญ่ทั้งที่มาจากพืชและสัตว์ จะมีปริมาณวิตามินบีหนึ่งด้วย แหล่งของวิตามินบีหนึ่งในอาหารได้แก่ ธัญพืชทั้งเมล็ด ข้าวซ้อมมือ เครื่องในสัตว์ (ตับ ไต และหัวใจ) เนื้อหมู และไข่ ความต้องการวิตามินบีหนึ่งของร่างกายจะผันแปรผันตามปริมาณพลังงานที่ร่างกายจำเป็นต้องใช้ คือ ต้องการวิตามินบีหนึ่งประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อพลังงาน 2000 กิโลแคลอรี คนที่ทำงานหนักร่างกายต้องการพลังงานมาก ทำให้มีความต้องการวิตามินบีหนึ่งเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งรวมทั้งหญิงมีครรภ์ และหญิงให้นมบุตร

วิตามินบีหนึ่งไม่ค่อยคงตัว ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน ฟีเอชที่เป็นกลางและเป็นด่าง แต่ไม่ถูกทำลายด้วยแสง การหุงต้มอาหารและการเก็บรักษาในภาวะที่เป็นกลาง และเป็นด่างสามารถทำลายวิตามินบีหนึ่งได้ เช่น การหุงต้มในน้ำกลั่นจะไม่สูญเสียวิตามินบีหนึ่ง การหุงต้มด้วยน้ำประปาสูญเสียวิตามินบีหนึ่งร้อยละ 10 และการหุงต้มข้าวด้วยน้ำบอสุญเสียวิตามินบีหนึ่งร้อยละ 36 การที่วิตามินบีหนึ่งละลายได้ดีในน้ำจะถูกชะล้างออกไปจากอาหารได้ง่าย โดยเฉพาะระหว่างการแปรรูปอาหารในขั้นตอนการล้าง การลวก และการหุงต้ม เช่น การข้าวขาวจะสูญเสียวิตามินบีหนึ่งประมาณร้อยละ 24 การสูญเสียวิตามินบีหนึ่งเนื่องจากความร้อนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ระยะเวลาที่ใช้ และพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับความร้อน การรักษาเมล็ดธัญพืชจะมีการสูญเสียวิตามินบีหนึ่ง ปริมาณการสูญเสียผันแปรตามความชื้นของเมล็ดเป็นปัจจัยสำคัญ เช่น ความชื้นของเมล็ดร้อยละ 12 เมื่อเก็บรักษาไว้ 5 เดือน วิตามินบีหนึ่งจะสูญเสียร้อยละ 12 ถ้าความชื้นของเมล็ดร้อยละ 17 จะสูญเสียวิตามินบีหนึ่งร้อยละ 30

2.7.5.3 วิตามินบีสอง

วิตามินบีสอง หรือไรโบฟลาวิน ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโคเอนไซม์ฟลาวินโมโนนิวคลีโอไทด์ (FMN) และฟลาวินอะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (FAD) ทำหน้าที่เป็นตัวพาอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำตาลกลูโคส กรดไขมัน กรดอะมิโน และพิวรีน

อาหารที่มีปริมาณวิตามินบีสองมากได้แก่ น้านมปละผลิตภัณฑนม เนื่อวัว เนื่อหมู เนื่อไก่ ตับ ไต ไข่ มะเขือเทศ ผักใบเขียว และยีสต์แห้ง ความต้องการวิตามินบีสองของร่างกายขึ้นอยู่กับพลังงานที่ร่างกายจำเป็นต้องใช้ ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 1-3 มิลลิกรัมต่อวัน

วิตามินบีสองที่พบในอาหารส่วนใหญ่จะรวมตัวอยู่กับสารอื่น (bound form) ยกเว้นวิตามินบีสองในน้านมจะอยู่ในรูปอิสระ

วิตามินบีสองมีความคงตัวต่อออกซิเจนและภาวะที่เป็นกรด แต่ไม่คงตัวในภาวะที่เป็นกลาง สลายตัวอย่างรวดเร็วในภาวะที่เป็นด่าง และถูกทำลายได้ง่ายเมื่อถูกแสง อัตราการถูกทำลายด้วยแสงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อพีเอชและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ภายใต้ภาวะที่มีแสงและพีเอชเป็นด่างวิตามินบีสองจะถูกเปลี่ยนเป็นลูมิฟลาวิน (lumiflavin) ซึ่งไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายสารนี้สามารถเรืองแสงสีเขียวอมเหลือง (yellowish-green fluorescence) แต่เมื่อพีเอชเป็นกรดวิตามินบีสองจะถูกเปลี่ยนเป็นลูมิโครม (lumichrome) ซึ่งเรืองแสงสีน้ำเงิน (blue fluorescence) และไรบิทอล (ribitol) ซึ่งอาจพบสารทั้งสองนี้ได้เล็กน้อยในน้านม

การใช้ความร้อนร่วมกับภาวะที่เป็นกรดจะไม่ทำลายวิตามินบีสอง แต่วิตามินบีสองจะถูกทำลายได้ง่ายเมื่อถูกแสง ทำให้อาหารมีการสูญเสียวิตามินบีสองได้ง่าย สมบัติทางเคมีของไรโบฟลาวินมีได้หลายรูป และแต่ละรูปก็อยู่ได้หลาย oxidation state เป็นรูป multiple ion ไรโบฟลาวินทั้งที่อยู่ในรูปวิตามินอิสระและรูปโคเอนไซม์ นอกจากนี้ยังมีอยู่ในรูปอื่นๆอีก แต่มีปริมาณน้อย

2.7.5.4 วิตามินบีหก

วิตามินบีหกเป็นกลุ่มของสารประกอบ 2-เมทิล-3-ไฮดรอกซี-5-ไฮดรอกซีเมทิลไพริดีน ซึ่งมี vitamin activity เหมือนไพริดอกซิน และมีอนุพันธ์อีก 2 ชนิดที่เป็นแอลดีไฮด์และเอมีนและทั้ง 3 รูปยังถูกเติมหมู่ฟอสเฟตที่ตำแหน่ง 5'-ไฮดรอกซีเมทิลได้เป็นไพริดอกซิน 5'-ฟอสเฟตและไพริดอกซาล 5'-ฟอสเฟต หรือไพริดอกซามีน 5'-ฟอสเฟต ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ของปฏิกิริยาต่างๆ มากกว่า 100 ปฏิกิริยาซึ่งเกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของกรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรต ลิพิด และสารส่งถ่ายสัญญาณประสาท (neurotransmitter) ปัจจุบันนิยมเรียกวิตามินบีหก แต่ไม่เรียกในชื่อของไพริดอกซินและไพริดอกซอลอีกต่อไป

วิตามินบีหกทั้ง 3 รูปคือ ไพริดอกซิน (pyridoxine) ไพริดอกซาล (pyridoxal) และไพริดอกซามีน (pyridoxamine) วิตามินบีหกทั้ง 3 รูปนี้จะพบได้ในรูปของเกลือ รูปที่ทำงานของวิตามินบีหก คือ ไพริดอกซาล-5-ฟอสเฟต วิตามินบีหกทั้ง 3 รูปมีคุณค่าทางชีวภาพเท่ากัน วิตามินบีหกพบอยู่ทั่วไปในอาหารชนิดต่างๆ ความต้องการวิตามินบีหกขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนที่ร่างกายได้รับ ถ้าร่างกายจำเป็นต้องได้รับโปรตีนมากขึ้น ความต้องการวิตามินบีหกจะเพิ่มขึ้นด้วย ในแต่ละวันคนปกติควรได้รับวิตามินบีหกประมาณ 2 มิลลิกรัม วิตามินบีหกที่พบในเนื้อสัตว์อยู่ในรูปของไพริดอกซาลและไพริดอกซามีน หรืออยู่ในรูปฟอสเฟต แต่ที่พบในพืชอยู่ในรูปไพริดอกซิน ไพริดอกซินมีความคงตัวต่อความร้อน กรดแก่ และด่างแก่ แต่สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง โดยเฉพาะแสงอัลตราไวโอเลต ส่วนไพริดอกซาลและไพริดอกซามีนจะถูกทำลายได้อย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ ความอากาศ ความร้อน

และแสง ซึ่งทำให้สูญเสียได้ง่ายเนื่องจากกระบวนการแปรรูปไฟรดอกซามีนยังถูกทำลายได้ในกระบวนการแปรรูปอาหารอีกด้วย จึงทำให้เป็นการยากที่จะวิเคราะห์หาปริมาณที่แน่นอนของวิตามินบีหกในผักผลไม้และธัญพืชจะมีอนุพันธ์ของวิตามินบีหกในรูปไฟรดอกซิน-5'-บีตา-ดี-กลูโคไซด์ ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 5-75 ของวิตามินบีหกทั้งหมดในพืช หรือประมาณร้อยละ 15-20 ของวิตามินบีหกในอาหารที่บริโภค สารนี้เมื่อถูกไฮโดรไลซ์แยกเอาโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสออกไปด้วยเอนไซม์ บีตา-กลูโคซิเดสในลำไส้เล็ก จะทำให้ร่างกายได้รับวิตามินบีหกเพิ่มมากขึ้น

ความคงตัวของวิตามินบีหก

เนื่องจากวิตามินบีหกละลายได้ในน้ำ จึงสูญเสียได้ง่ายในขณะทำการล้าง การลวก และการสูญเสียน้ำออกจากอาหาร (drip loss) วิตามินบีหกเมื่อถูกแสงจะสลายตัวได้เป็นอนุพันธ์กรด 4-ไฟรดอกซิก จากไฟรดอกซามีน ซึ่งไม่มี vitamin activity และกรด 4-ไฟรดอกซิก-5'-ฟอสเฟต ไฟรดอกซาล-5'-ฟอสเฟต และไฟรดอกซามีน -5'-ฟอสเฟต

วิตามินบีหกที่อยู่ในรูปไฟรดอกซินคงตัวได้ดีที่อุณหภูมิช่วง 40-60 องศาเซลเซียส ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย พีเอช 4-7 ความคงตัวของอนุพันธ์วิตามินบีหกแต่ละชนิดจะผันแปรตามอุณหภูมิและพีเอชด้วย

การศึกษาความคงตัวของวิตามินบีหกในอาหารทำได้ยาก เพราะมีอยู่หลายรูป และการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาต่างๆ รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างอนุพันธ์ด้วย นอกจากนี้วิตามินบีหกยังสามารถเปลี่ยนเป็นสารที่ไม่มีคุณค่าทางชีวภาพโดยทำปฏิกิริยากับไฟรดอกซินที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ไฮดรอกซีไฟรดอกซิน เป็นต้น

2.7.5.5 วิตามินอี (Tocopherol, Antisterility factor, vitamin E)

เป็นพวก unsaturated alcohols มีอนุพันธ์อยู่ 8 ชนิด แต่ α -tocopherol นับว่าตัวเป็นตัวที่สำคัญที่สุด

คุณสมบัติของวิตามินอี

- 1) เป็นน้ำมันเหนียวหนืด สีเหลืองอ่อน
 - 2) ไม่ละลายในน้ำ ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ ตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำมัน
 - 3) ถูกออกซิไดซ์ได้เร็วมาก จึงใช้เป็น Antioxidation ได้
 - 4) ทนต่อความร้อนและกรด แต่ถูกทำลายง่ายเมื่อถูกด่าง และรังสีอัลตราไวโอเลต
- หน้าที่ในร่างกายและผลที่เกิดจากการขาดวิตามินอี

หน้าที่ที่แท้จริงในร่างกายยังไม่ทราบแน่นอน แต่จากการทดลองในสัตว์พบว่าวิตามินอีน่าจะมีบทบาทเกี่ยวกับ

- 1) การสืบพันธุ์ การขาดวิตามินอีทำให้การฝังตัวของรกไม่ดี แม้จะตั้งครรภ์ได้แต่ลูกมักจะตายในครรภ์ ส่วนสัตว์ตัวผู้จะทำให้เป็นหมัน โดยลดการสร้าง sperm และทำให้เนื้อเยื่อในการสร้าง sperm เสื่อมแห้งลง
- 2) การทำงานของกล้ามเนื้อต่างๆ เพราะการขาดวิตามินอีทำให้เกิด muscular

dystrophy (กล้ามเนื้อลีบ) และมีความผิดปกติอื่นๆ หลายอย่างของกล้ามเนื้อเกิดขึ้น และในที่สุดอาจจะตายจากหัวใจวายได้

3) ทำหน้าที่เป็น Antioxidant ป้องกันไม่ให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายเมื่อทดลองโดยใช้

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นตัวออกซิไดซ์ โดยไปยับยั้งฤทธิ์ของเอนไซม์ออกซิเดสในฮีโมโกลบิน และป้องกันไม่ให้ unsaturated fatty acid ภายในเซลล์ถูกออกซิไดซ์ นอกจากนี้ยังป้องกันวิตามินเอไม่ให้เสียสภาพเพราะวิตามินเอเป็นสารที่ถูกทำลายง่ายโดยออกซิเจน

4) ทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ในขบวนการ cell respiration และเกี่ยวกับการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิกด้วย กลไกการทำงานยังไม่ทราบแน่ชัดความต้องการ

ผู้ใหญ่ต้องการวันละ 30 หน่วยสากล หญิงมีครรภ์และผู้สูงอายุต้องการมากกว่าขึ้นเป็น 2 เท่า เด็กทารกต้องการวันละ 5-10 หน่วยสากล แต่ในกรณีที่ร่างกายได้รับ unsaturated fatty acid ในอาหารมากขึ้นความต้องการวิตามินอีสูงขึ้นด้วย

1 หน่วยสากล = 1 มิลลิกรัมของ di- α -Tocopheryl acetate เมตาบอลิซึมของวิตามินอี

วิตามินอีจะถูกดูดซึมในลำไส้เล็กโดยอาศัย bile salt เข้าสู่กระแสโลหิตและถูกพาไปโดย α -lipoprotein เนื้อเยื่อที่มีการเก็บวิตามินอีมากคือ adipose tissue และตับ ถ้าหากร่างกายได้รับวิตามินอีมากจะพบว่าขับถ่ายออกมาทางอุจจาระ แต่จะมีในปัสสาวะน้อยมาก แหล่งอาหาร

มีในพืชมากกว่าในสัตว์ ในพืชพบในน้ำมันต่างๆ เช่น น้ำมันรำ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดฝ้าย และในพืชใบสีเขียวเกือบทุกชนิด เช่น ผักกาดหอม ต้นหอม ในสัตว์พบในเนื้อสัตว์ ไข่ นม ตับ

2.7.6 เกลือแร่

เกลือแร่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการทำหน้าที่ต่างๆของเซลล์ และมีบทบาทในการเสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่ร่างกาย และช่วยรักษาสภาพแวดล้อมและไอออนที่เหมาะสมภายในและภายนอกเซลล์ การควบคุมสภาวะทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อเยื่อภายในเซลล์ ร่างกายของคนมีเกลือแร่อยู่ประมาณ 4% ของน้ำหนักร่างกาย บางชนิดจะอยู่รวมกับสารอินทรีย์ เช่น เหล็กในฮีโมโกลบิน หรือรวมอยู่กับสารอินทรีย์ เช่น แคลเซียมฟอสเฟตในกระดูก เกลือแร่แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ

2.7.6.1 แคลเซียม (Calcium)

แคลเซียมเป็นเกลือแร่ที่มีมากที่สุดในร่างกายประมาณ 1.5-2% ของน้ำหนักตัว (22 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม) ร้อยละ 99 ของแคลเซียมในร่างกายอยู่ที่กระดูกและฟัน อีกร้อยละ 1 อยู่ที่เซลล์ น้ำภายในและภายนอกเซลล์

หน้าที่ของแคลเซียมในร่างกาย

1) สร้างกระดูกและฟัน การสร้างกระดูกต้องมีโครงซึ่งมีลักษณะอ่อนและเหนียว

เรียกว่า bone matrix ประกอบด้วยอินทรีย์สารคือ collagen เรียงตัวคล้ายตาข่ายฝังอยู่ในสารพวก mucopolysaccharide ต่อมาจะมีอินทรีย์สารมาจับส่วนใหญ่เป็นผลึก 6 เหลี่ยม คือ hydroxyl apatite

แล้ว cation พวก Na, Mg กับ anion พวก PO_4^{2-} , CO_3^{2-} มาแทรกอยู่ระหว่างผลึก apatite หรือเข้าแทนที่ Ca และ OH^-

2) จำเป็นในการกล้ามเนื้อทำงานของกล้ามเนื้อ การที่กล้ามเนื้อหดตัวได้ต้องมีความเข้มข้นของ ion ที่เหมาะสม เช่น H^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} และ Ca^{2+} ถ้ามีชนิดหนึ่งชนิดใดมากหรือน้อยไปจะทำให้การทำงานไม่ดี เช่น ถ้าแคลเซียมในเลือดน้อยทำให้กล้ามเนื้อไวต่อการกระตุ้นและทำให้เกิดการชักแบบ tetany ได้เมื่อแคลเซียมใน serum ลดลงถึง 3.5 mEq/litre หรือน้อยกว่าและในทางตรงข้ามถ้าหากมีแคลเซียมมากไปจะกีดการทำงานของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจทำให้หัวใจหยุดเต้น กลไกในการทำงานของกล้ามเนื้อจำเป็นต้องใช้แคลเซียมโดยที่แคลเซียมจะรวมอยู่กับ tubular reticulum ซึ่งอยู่ขนานข้างกับ muscle fibre ที่ชื่อว่า myofibrils และ myofibril นี้ประกอบด้วย muscle protein ชื่อ myosin และ actin เมื่อสัญญาณเกี่ยวกับการยึดตัวมาถึงแคลเซียมจะถูกปล่อยออกมาทันทีในรูปของ ionized form ซึ่ง free Ca^{2+} นี้จะกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีระหว่าง actin และ myosin ซึ่งปล่อยพลังงานจำนวนมากมาจาก ATP และทำให้เกิดการยึดตัวหลังจากนั้นแคลเซียมจะกลับไปรวมอยู่กับ reticulum อีกทำให้เกิดการหดตัว ธาตุอื่น เช่น Mg^{2+} , K^+ ก็เกี่ยวข้องใน process นี้ด้วย ซึ่งสำคัญมากในการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ

3) Nerve transmission แคลเซียมจำเป็นในการส่งสัญญาณประสาทเพราะแคลเซียมไอออนเป็นส่วนประกอบของ extracellular fluid ที่ neuromuscular junction ที่จะทำหน้าที่กระตุ้นการปล่อยสาร acetylcholine ที่ผ่านเยื่อต่างๆที่ประสาท และกระตุ้น muscle fiber

4) cell wall permeability แคลเซียมที่อยู่ในรูปไอออน จะควบคุมการผ่านไปมาของของเหลวผ่าน cell wall โดยมีผลต่อ cell wall permeability ซึ่งเนื่องจากการที่แคลเซียมไปมีผลต่อการกระจายของ intercellular cement substance นั้นเอง

5) เป็นตัวเร่งหรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่นเร่ง ATPase (adenosine triphosphatase) ในการปล่อยพลังงานสำหรับการยึดตัวของกล้ามเนื้อและ active transport ของแคลเซียม การกระตุ้นการทำงานของ lipase สำหรับย่อยลิพิด แต่ยับยั้งการทำงานของ Dipeptidase สำหรับย่อยโปรตีน เป็นต้น

6) จำเป็นในการแข็งเป็นลิ่มของเลือด ในการแข็งเป็นลิ่มของเลือดจำเป็นต้องอาศัย Ca^{2+} ช่วยเปลี่ยน Prothrombin ให้เป็น Thrombin ซึ่งจะช่วยให้เปลี่ยน Fibrinogen ให้เป็น Fibrin อีกต่อหนึ่ง ดังนั้นจึงใช้ oxalate, EDTA, citrate, Fluoride เป็นสารกันเลือดแข็งได้ เพราะสารเหล่านี้จะไปจับกับ Ca^{2+} ทำให้กระบวนการแข็งเป็นลิ่มของเลือดเกิดขึ้นไม่ได้

7) ช่วยในการย่อยโปรตีนของนม (Casein)

ความสามารถในการดูดซึมแคลเซียมในแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ข้อสำคัญคือการดูดซึมจะเกิดที่ลำไส้เล็กในรูปของเกลือแคลเซียมที่ละลายน้ำได้ ในกรณีที่กับอาหารที่มีโปรตีนสูง พบว่าร้อยละ 15 ของแคลเซียมในอาหารจะถูกดูดซึม กรณีที่กับอาหารที่มีโปรตีนต่ำหรือมี Phytic acid (ร้อยละ 5) ในพืชผลไม้ด้วย จะถูกรบกวนการดูดซึมของแคลเซียมโดยเกิดเป็น insoluble calcium phytate ในลำไส้

นอกจาก phytic acid แล้ว oxalate ก็สามารถรบกวนการดูดซึมแคลเซียมได้ ส่วนประกอบอื่นๆที่มีผลต่อการดูดซึมแคลเซียมมีดังนี้

- 1) วิตามินดี ซึ่งกระตุ้นให้มีการสร้างโปรตีนที่จะทำหน้าที่เป็นตัวพาแคลเซียม เรียกว่า calcium binding protein และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Ca^{2+} -ATPase ที่ช่วยในกระบวนการดูดซึมแคลเซียมแบบ active transport
- 2) pH ถ้าทางเดินอาหารเป็นกรด การดูดซึมแคลเซียมจะเกิดได้ดี ความเป็นกรดของทางเดินอาหารเกิดจาก HCl , lactic acid และ citric acid หรือกินอาหารที่เป็นกรดพวกนี้มาก จะทำให้แคลเซียมดูดซึมได้ดี
- 3) อัตราส่วนของแคลเซียม : ฟอสฟอรัส ควรจะเป็น 1:1 หรือ 2:1 การดูดซึมจึงจำเกิดได้ดีทั้งแคลเซียมและฟอสฟอรัสถ้าอัตราส่วนของธาตุทั้งสองต่างไปจากนี้จะเกิดเป็น calcium phosphatase ซึ่งละลายยากและดูดซึมได้ยาก
- 4) น้ำตาลแลคโตส ช่วยให้แคลเซียมดูดซึมได้ดี เพราะน้ำตาลแลคโตสจะถูกเปลี่ยนให้ lactic acid โดยแบคทีเรียได้ ทำให้ทางเดินอาหารเป็นกรด
- 5) Phytic acid จะขัดขวางการดูดซึมของแคลเซียมโดยเกิดเป็น insoluble calcium phytate ดังกล่าวแล้ว
- 6) Oxalate จะขัดขวางการดูดซึมของแคลเซียมเช่นเดียวกับ Phytic acid โดยเกิดเป็น insoluble calcium oxalate
- 7) กรดอะมิโนและกรดไขมัน กรดอะมิโนไลซีน อาร์จินีน ซีรีน จะช่วยในการดูดซึม กรดไขมันจะขัดขวางการดูดซึมโดยเกิดเป็นสบู่แคลเซียมที่ไม่ละลายดังนั้นในคนที่มีการดูดซึมไขมันได้ดี จะทำให้ร่างกายขาดแคลเซียมได้

แหล่งอาหาร

- 1) นมหรือนมวัวจะมีแคลเซียมประมาณ 118 มก. /100 มล.ส่วนนมคนจะมี แคลเซียม 30 มก. /100 มล. ถึงแม้ว่านมคนจะมีแคลเซียมน้อยกว่านมวัว แต่อัตราส่วนแคลเซียม: ฟอสฟอรัส ที่เหมาะสมและปริมาณแลคโตสที่สูงกว่าในนมคน จะทำให้แคลเซียมดูดซึมได้ดีขึ้น
- 2) ผลิตภัณฑ์จากนม ได้แก่ เนยแข็ง ไอศกรีม โยเกิร์ต เนยแข็งแต่ละชนิดมีปริมาณแตกต่างกันออกไป โดยเฉลี่ยแล้วจะอยู่ระหว่าง 200-900 มก. / 100 กรัม
- 3) กระดูกที่กินได้ เช่นปลากระป๋อง ปลาทู ปลาทูน่า ปลากรอบ
- 4) พืชผักผลไม้ จะมีแคลเซียมประมาณ 30-120 มก./ 100 กรัม
- 5) ไข่มีแคลเซียม 50-80 มก./100 กรัม

ความต้องการสำหรับผู้ใหญ่ต้องการวันละ 0.5 กรัม เด็ก 1 กรัม หญิงมีครรภ์และให้นมบุตร 1.5-2 กรัมการได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอจะทำให้กระดูกอ่อนแอและกระดูกไม่ดีทำให้อวัยวะบางอย่างมีความสามารถในการทำงานลดลงเพราะร่างกายรักษาปริมาณแคลเซียมใน extracellular fluid ให้คงที่อยู่เสมอ มิฉะนั้นอาจจะทำให้เกิดภาวะ Hypocalcemia และการชัก (tetany) ขึ้นได้ โรคที่เกี่ยวข้องกับแคลเซียม

มี Tetany (ชัก) , Ricket (กระตุคอ่อน) , Renal calculi (นิ่ว) , Hyperparathyroidism และ Hypoparathyroidism

2.7.6.2 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นเกลือแร่ที่มีความสัมพันธ์กับแคลเซียมอย่างมากในทางโภชนาการของมนุษย์ เช่น เป็นส่วนประกอบที่มีมากในน้ำนม ทำหน้าที่สร้างกระดูกและฟัน การดูดซึมเกี่ยวข้องกับวิตามินดี เมตาบอลิซึมของมันควบคุมโดย parathyroid hormone และมีสัดส่วนจำเพาะกับแคลเซียมในเลือดแต่ถึงกระนั้น ฟอสฟอรัสก็มีความแตกต่างไปจากแคลเซียมหลายอย่างซึ่งต้องคำนึงถึง

การกระจายฟอสฟอรัสในร่างกาย

ฟอสฟอรัสจะมีในร่างกายประมาณ 0.8-1.1% ของน้ำหนักร่างกาย หรือประมาณ 12 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม 90% ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในร่างกายจะอยู่ที่กระดูกและฟันและอีก 10 % อยู่ที่เนื้อเยื่ออื่นๆ ผู้ใหญ่มีฟอสฟอรัสในซีรัมประมาณ 3-4.5 มก./100 มล.และเด็กมีฟอสฟอรัสในซีรัม 4-7 มก./100 มล. ฟอสฟอรัสในเลือดมีประมาณ 36 มก./100 มล. ส่วนที่อยู่ในเม็ดเลือดแดงอยู่ในสภาพ organic phosphorus แต่ส่วนที่อยู่ในพลาสมาจะเป็น unorganic phosphorus ซึ่งอยู่ในรูป Na_2HPO_4 และ $\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_4$

หน้าที่ของฟอสฟอรัสในร่างกาย

- 1) เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน
- 2) เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในร่างกาย เช่น DNA, RNA, AMP, ADP, ATP, Phospholipid, Phosphoprotein creatine phosphate และระบบ phosphate buffer
- 3) มีความสำคัญในการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ไลปิด และโปรตีน

แหล่งอาหาร

ฟอสฟอรัสพบมากในเนื้อสัตว์ ไข่แดง ถั่ว งา พืชผักและผลไม้ต่างๆ

ความต้องการ

ผู้ใหญ่ประมาณวันละ 1 กรัม เด็กวันละ 1.8 กรัม หญิงมีครรภ์และให้นมบุตรวันละ 2 กรัม

2.7.6.3 แมกนีเซียม (Magnesium)

การกระจายของแมกนีเซียมในร่างกาย แมกนีเซียมในร่างกายประมาณ 25 กรัม หรือประมาณ 0.5 กรัม ต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม จากจำนวนนี้ร้อยละ 60 จะอยู่ในกระดูกและฟันในส่วนของ bone crystal ในรูปของ $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ และส่วนน้อยจะอยู่ในส่วนของ bone matrix และอีกร้อยละ 40 จะอยู่ในเนื้อเยื่อต่างๆ และ body fluid แมกนีเซียมจะพบมากในเซลล์ของกล้ามเนื้อ (16 mEq/litre) และในเม็ดเลือดแดง (4-6 mEq/litre) ส่วนในพลาสมาจะมีประมาณ 1.5-2.1 mEq/litre แมกนีเซียมในอวัยวะและพลาสมาจะพบในสภาพอิสระรวมอยู่กับโปรตีน และสารประกอบเชิงซ้อนในเปอร์เซ็นต์ประมาณ 55, 32 และ 13 ตามลำดับ ใน cerebrospinal fluid จะมีแมกนีเซียมมากกว่าพลาสมาคือ ประมาณ 2.5 mEq/litre

2.7.6.4 เหล็ก (Iron)

เป็นธาตุที่มีอยู่ทั่วไปในร่างกาย ในร่างกายจะมีเหล็กอยู่ประมาณ 3-5 กรัม ซึ่งอยู่ในส่วนต่างๆ คือ ส่วนใหญ่ประมาณ 55-60% อยู่ในเลือดในฮีโมโกลบิน ในกล้ามเนื้อสภาพของไมโอโกลบิน ประมาณ 3% ในตับ ไชกระดูก ในม้าม 25-30% นอกจากนั้นก็จะอยู่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์บางชนิดหน้าที่ของเหล็ก เป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีน (heme) คือฮีโมโกลบิน และไมโอโกลบิน ซึ่งเป็นตัวนำออกซิเจนที่สำคัญของร่างกายและเอนไซม์หลายชนิดมีเหล็กเป็น prosthetic groups เช่น เอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส ซึ่งเร่งปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนเป็นน้ำโดยรับอิเล็กตรอนจากอาหาร เหล็กในเอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส จะเปลี่ยนเป็นสองสภาพคือ ferrous (Fe^{2+}) และ (Fe^{3+}) ถ้าร่างกายขาดธาตุเหล็กจะไม่สามารถสร้างฮีโมโกลบินได้ จะทำให้ขาดตัวนำออกซิเจน ร่างกายจำเป็นต้องใช้เหล็กในการสร้างเม็ดเลือดตลอดเวลา เพราะเม็ดเลือดที่อยู่ในร่างกายจะมีอายุจำกัดเพียง 120 วัน เมื่อครบกำหนดจะสลายตัว ร่างกายต้องสร้างเม็ดเลือดขึ้นมาใหม่แทนหมุนเวียนกันไป ซึ่งการสลายตัวของเม็ดเลือดนั้นร่างกายพยายามรักษาเหล็กจากฮีโมโกลบินไว้ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างเม็ดเลือดใหม่แต่อาจจะรักษาไว้ไม่ได้หมด จึงต้องได้รับเพิ่มเติมจากอาหารเพื่อนำไปทดแทนส่วนที่เสียไป เหล็กในอาหารที่รับประทานเข้าไปจะถูกดูดซึมที่ส่วนบนของลำไส้เล็ก แต่ดูดซึมไม่หมด 100% เหล็กในอาหารจะถูกดูดซึมจริงๆ ประมาณ 5-10% เท่านั้น ร่างกายต้องการประมาณ 0.6-1.2 มิลลิกรัมต่อวัน ฉะนั้นต้องกินอาหารที่มีเหล็ก 12 มิลลิกรัม เหล็กจะถูกดูดซึมได้เฉพาะเมื่ออยู่ในรูปของ ferrous (Fe^{2+}) เท่านั้น การดูดซึมและการขับออกเกิดขึ้นได้ช้าๆ อยู่ภายใต้การควบคุมของแฟคเตอร์หลายชนิด โดยปกติแล้วคนมักจะไม่ค่อยขาดธาตุเหล็ก นอกจากเด็กที่กำลังเจริญเติบโต หญิงที่มีประจำเดือนมีการสูญเสียโลหิตเป็นประจำ การขาดธาตุเหล็กทำให้เป็นโรคโลหิตจาง เหล็กพบในอาหารหลายชนิดในปริมาณที่ไม่เท่ากัน และในรูปต่างกัน มีมากในตับ เนื้อสัตว์ (แต่ในนมมีน้อยมาก) มันฝรั่ง มะเขือเทศ ผลไม้สีเหลือง เหล็กในเนื้อสัตว์จะถูกดูดซึมได้ดีที่สุด แต่เหล็กในพืชถูกดูดซึมได้ยาก และปริมาณเหล็กที่ควรได้รับต่อวันแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณเหล็กที่ควรได้รับประจำวัน

เพศ-วัย			ปริมาณที่ควรได้รับ (มิลลิกรัม)
ทารก			1 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม
เด็ก	1-3	ปี	8
	3-6	ปี	10
	6-9	ปี	12
	9-18	ปี	15
ชาย			10
สตรี	18-55	ปี	15
	55-75	ปี	10
หญิงมีครรภ์			เพิ่มจากปกติ 5 มิลลิกรัม
ระยะให้นมบุตร			เพิ่มจากปกติ 5 มิลลิกรัม

ที่มา: กุลยา (2533)

2.7.6.5 สังกะสี (Zinc)

แร่สังกะสีมีมากกว่าสารพวก trace elements ชนิดอื่นในร่างกายคือประมาณ

2.2 กรัม เป็นแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ชนิดต่างๆเกือบร้อยชนิด พบมากในดีไฮโดรจีเนส ต่างๆที่ต้องการ NAD⁺ และ NADP⁺ เป็นหมู่พรอสเทติกและเกี่ยวข้องกับการโยกย้ายไฮโดรต์ไอออน (hydrideion) ตัวอย่าง เช่น เอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสในเซลล์ที่ตับเร่งปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน ของเอทานอลเป็นอะเซทัลดีไฮด์จะมีสังกะสีสองอะตอมในโมเลกุล ทำหน้าที่เชื่อม NAP⁺ โคเอนไซม์กับ บริเวณเร่งของเอนไซม์ สังกะสียังจำเป็นสำหรับเอนไซม์ RNA และ DNA พอลิเมอเรส และเข้าร่วมใน ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลอกและแปลผลข้อความทางพันธุกรรม สังกะสียังเป็นส่วนประกอบ ของเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส (carbonic anhydrase) ซึ่งเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันของ CO₂ เป็น H₂CO₃ เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์คาร์บอกซีเปปทิเดส (carboxy peptidase) อินซูลิน (insulin) ถูกสะสมในรูปที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสี บทบาทของสังกะสีที่น่าสนใจคือทำหน้าที่ เกี่ยวกับกลืนและรสของตัวรับที่ช่องจุมูกและลิ้นก็มีสังกะสีเข้าไปเกี่ยวข้อง การขาดสังกะสีทำให้เป็นโรค โลหิตจาง การเจริญของระบบสืบพันธุ์ช้า ทำให้ร่างกายแคระแกร็น เบื่ออาหารปริมาณที่ควรได้รับต่อวัน คณะกรรมการอาหารและโภชนาการของสภาวิจัยแห่งสหรัฐอเมริกา ได้เสนอปริมาณของสังกะสีที่ควร ได้รับดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณสังกะสีที่ควรได้รับประจำวัน

กลุ่ม-อายุ (ปี)	ปริมาณที่ควรได้รับ (มิลลิกรัม)
ทารก	3-5
เด็ก	10
ผู้ใหญ่	15
หญิงมีครรภ์	20
หญิงระยะให้นมบุตร	25

ที่มา: กุลยา (2533)

แหล่งอาหารที่มีสังกะสี ได้แก่ พวกรัษฎพืช ข้าวที่ขัดสีแต่น้อย ขนมปัง ถั่วเหลือง ไข่แดง นม เนื้อสัตว์ต่างๆ หอย เช่น หอยนางรม มันฝรั่ง ในผลไม้และผักใบเขียวจะมีสังกะสีต่ำ

พิษของสังกะสี เกิดจากการที่ร่างกายได้รับสังกะสีมากเกินไป ที่พบบ่อยคือ จากน้ำดื่ม หรือ อาหารที่ใส่ภาชนะสังกะสีหรือภาชนะโลหะสังกะสี โดยที่สังกะสีละลายลงมาได้บ้าง ยิ่งถูกกรดมากก็ยิ่งละลายได้มาก ถ้าดื่มน้ำที่มีสังกะสีเจือปน 50 มิลลิลิตร ต่อ 100 มิลลิลิตร เพียง 400 มิลลิลิตร จะทำให้มีอาการปวดท้อง แน่นท้อง อาเจียน ท้องเดิน นอกจากนี้คนที่ทำงานในเหมืองแร่ที่มี ZnO_2 อยู่ในอากาศมาก หรือจากควันที่เกิดจากการเผา ZnO_2 จะมีอาการหนาวสั่น มีไข้ ไอ อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ น้ำลายไหล การแก้พิษสังกะสีต้องรีบให้ EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid) เพื่อช่วยเร่งการขับถ่ายสังกะสีออกจากร่างกาย (กุลยา, 2533)

2.8 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว

ปิยมาศ (2546) ได้ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสต้าข้าวเจ้าที่ได้จากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยใช้แป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ คือ ข้าวเหลืองประทิว 123 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวชาวนาธิภี มาทำการศึกษาในสภาวะที่แตกต่างกัน คือ ระดับความชื้นของแป้ง อุณหภูมิ บารेल และความเร็วยรอบของสกรู จากการศึกษพบว่าเมื่ออุณหภูมิของบารेल และความเร็วยรอบของสกรู เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เอกซ์ทรูเดตที่ได้มีอัตราการพองตัวเพิ่มสูงขึ้น และถ้าเพิ่มปริมาณความชื้นเริ่มต้น จะทำให้เอกซ์ทรูเดตมีการพองตัวลดลงที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ช่วยหล่อลื่นระบบภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ทำให้ลดการเสียดสีและความดันลง ดังนั้นเมื่อได้ออกมาจากหน้าแปลน และเข้าสู่สภาวะความดัน ปกติแรงดันภายในของโดที่เกิดจากไอน้ำจึงน้อยกว่าโดที่มีน้ำน้อยทำให้อัตราการพองตัวลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิบารेल จะทำให้ความดันไอน้ำของโดและความสามารถในการระเหยของไอน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เอกซ์ทรูเดตเกิดการพองตัว เช่นเดียวกับกรณีการเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูจะส่งผลให้เกิดแรงเฉือน และความดัน ในบารेलเพิ่มมากขึ้น เอกซ์ทรูเดตมีการพองตัวแต่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากแรงเฉือนมีผลกระทบต่อโครงสร้างของเม็ดแป้ง

สิริมาศ (2548) ได้ศึกษาผลของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 มันเทศและปลาป่นต่อคุณภาพอาหารขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่าอาหารขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

จากแป้งมันเทศซึ่งได้จากมันเทศ 4 รูปแบบ คือ ปอกเปลือกและลวก ปอกเปลือกและไม่ลวก ไม่ปอกเปลือกและลวก และไม่ปอกเปลือกและไม่ลวก พบว่าผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในทุกคุณลักษณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การลวกมีผลทำให้อาหารขบเคี้ยวมีสีเหลือง และความแข็งมากขึ้น การปอกเปลือกทำให้ความแข็งลดลง และจากการศึกษาอัตราส่วนที่ใสของส่วนผสม พบว่าเมื่อปริมาณแป้งมันเทศ และปริมาณปลาป่นเพิ่มขึ้นทำให้อาหารขบเคี้ยวมีค่าความหนาแน่น และความแข็งเพิ่มขึ้น แต่อัตราการพอง ตัวลดลง การเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (ร้อยละ 0, 0.5 และ 1.0) ทำให้อัตราพองตัวลดลงแต่ความหนาแน่นและความแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏลดลง

Bo และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันในอาหารขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวเป็นหลัก โดยกำหนดอัตราการป้อน (20-32%) ความชื้นเริ่มต้น (14-22%) ความเร็วรอบของสกรู (180-320 rpm) และอุณหภูมิบาร์เรล (100-140 °C) โดยศึกษาคูณลักษณะของเอกซ์ทรูเดตที่ได้ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น การขยายตัว ค่า WAI และ WSI และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือ ความแข็ง (Hardness) กับความกรอบ (Crispness) โดย TA-XT2 texture analyzer พบว่าเมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้นทำให้เอกซ์ทรูเดตมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น ค่า WSI ลดลง ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เอกซ์ทรูเดตที่ได้มีความหนาแน่นสูงขึ้น การขยายตัวลดลง ค่า WAI, WSI และความแข็งสูงขึ้น ในขณะที่ความกรอบลดลงเนื่องจากการเพิ่มความชื้นจะทำให้รูปร่างโมเลกุลของอะไมโลเพกตินในวัตถุดิบเปลี่ยนไปหรือเสียโครงสร้าง ทำให้ไม่เกิดการพองตัวและแตกตัว ค่าที่ได้จึงได้ผลดังกล่าว และเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลสูงขึ้นทำให้เอกซ์ทรูเดตมีค่าการขยายตัว ค่า WSI และความกรอบเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นลดลง ส่วนความเร็วรอบของสกรูนั้นมีผลกระทบต่อความหนาแน่นของเอกซ์ทรูเดตเพียงเล็กน้อยสำหรับในงานวิจัยนี้

Paraman และคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการเสริมสารอาหารโปรตีน สารอาหารพองกรอบด้วยโปรตีนจากถั่วเหลือง และรำข้าว โดยผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันพบว่าปริมาณโปรตีน และ dietary fiber เพิ่มขึ้น แต่คาร์โบไฮเดรตและพลังงานมีค่าลดลง อัตราการขยายตัวและความกรอบ (วัดจากจำนวน peak) ลดลง ความแข็งเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าโมดูลัสการบีบอัดสูงขึ้น เมื่อศึกษาปริมาณของแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์พองกรอบเสริมสารอาหารก่อนและหลังผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันพบว่าผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันปริมาณของ Fe มีค่าเพิ่มขึ้นและยังมากกว่าปริมาณที่ควรได้รับในแต่ละวัน แต่ปริมาณของ Zn มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย และมีการสูญเสียวิตามินเอ และซีลงเกือบ 50% ทั้งนี้ปริมาณที่สูญเสียขึ้นยังขึ้นกับกระบวนการทำแห้งหลังกระบวนการการเอกซ์ทรูชัน จะเห็นว่าเมื่อทำแห้งด้วยวิธี freeze drying จะสูญเสียวิตามินน้อยกว่าการทำแห้งด้วยวิธีอบแห้งด้วยลมร้อน

Sharif และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการเสริมสารอาหารโปรตีนสารอาหารพองกรอบด้วยโปรตีนจากถั่วเหลือง โดยผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันพบว่า การเพิ่มระดับของการเสริมสารอาหารมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี โดยช่วยปรับปรุงปริมาณของโปรตีน และใยอาหาร แต่ปริมาณ

คาร์โบไฮเดรตลดลง ด้านกายภาพทำให้ piece density, bulk density, ความแข็ง และปริมาณน้ำอิสระมีค่ามากขึ้น แต่ลดอัตราการขยายตัวและความกรอบลง

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1. วัตถุดิบ

- 3.1.1 ปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้อง จากโรงสีลิ้มใจเอี่ยม จ. นครปฐม
- 3.1.2 ถั่วลิสง
- 3.1.3 ปลาข้าวสาร
- 3.1.4 หอมเจียว
- 3.1.5 ใบมะกรูดอบแห้ง
- 3.1.6 ข้าว
- 3.1.7 ตะไคร้
- 3.1.8 พริก
- 3.1.9 น้ำมันาว
- 3.1.10 น้ำตาลทราย
- 3.1.11 กลูโคสไซรัป
- 3.1.12 น้ำมัน
- 3.1.13 น้ำ

3.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการแปรรูป

- 3.2.1 มีด
- 3.2.2 เขียง
- 3.2.3 ถ้วย
- 3.2.4 ทัพพี
- 3.2.5 ช้อน
- 3.2.6 กระทะ
- 3.2.7 ไม้พาย
- 3.2.8 ถาดสเตนเลส
- 3.2.9 เครื่องบดยี่ห้อ RONIC รุ่น Junior
- 3.2.10 เครื่องอบลมร้อนยี่ห้อ OTTO
- 3.2.11 เครื่อง coating pan
- 3.2.12 เครื่องเอกซ์ทูเตอร์แบบสกรูคู่ยี่ห้อ Berstoff (Germany)
- 3.2.13 ตู้แช่เย็นยี่ห้อ INTERCOOL

3.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 3.3.1 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รุ่น TA.XT2
- 3.3.2 เครื่องวัดวอเตอร์แอกติวิตีรุ่น Thermocoanstanter

- 3.3.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 3.3.4 เครื่องแก้วต่างๆ
- 3.3.5 ตู้อบลมร้อน (hot air oven, memmert รุ่น W350, Germany)
- 3.3.6 ชุดวิเคราะห์โปรตีน (buchi ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, Switzerland, distillation unit รุ่น B-324, Switzerland, scrubber รุ่น B-414, Switzerland)
- 3.3.7 Soxtherm gerhard (รุ่น S-226, Germany)
- 3.3.8 เตาเผา (muffle furnace, carbolite รุ่น CWF 1200, England)
- 3.3.9 เครื่อง Rapid visco analyzer (RVA)
- 3.3.10 อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 3.3.11 เครื่องปั่นเหวี่ยง
- 3.3.12 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, MeterLab, Germany)
- 3.3.13 เครื่องวัดสี (Colormiter)

3.4. สารเคมี

- 3.4.1 กรดซัลฟูริกเข้มข้น (A.R. grade)
- 3.4.2 สารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.1 N
- 3.4.3 สารละลายกรดบอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 4% (w/v)
- 3.4.4 Anhydrous CuSO_4 และ Anhydrous K_2SO_4
- 3.4.5 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 35% (w/v)
- 3.4.6 สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยผสมสารละลาย methylene blue 0.2% ในแอลกอฮอล์ แล้วกรอง 25 มิลลิลิตร กับสารละลาย methyl red 0.2% ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร
- 3.4.7 ปีโตรเลียมอีเทอร์
- 3.4.8 เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

3.5. โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล

- 3.5.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 16 (2008, An IBM Company, USA)
- 3.5.2 โปรแกรมคำนวณผล Microsoft Excel 2010 (2010, Microsoft Company, USA)

3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 การสำรวจผู้บริโภค

ทำการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคจำนวน 64 คน เพื่อกำหนดแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าว โดยแบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก จ. วิเคราะห์ผลโดยการคำนวณเป็นค่าร้อยละของค่าความถี่ของจำนวนผู้บริโภค

3.6.1 การเตรียมวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว

นำปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องไปโม่ให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบด FITZ MILL Model M5 Serial 1871 ที่ความเร็วรอบมอเตอร์เท่ากับ 1,450 RPM ความเร็วรอบเครื่องจักรเท่ากับ 4,350 RPM ปริมาณการบดเท่ากับ 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และใช้ตะแกรงในการกำหนดความละเอียดขนาด 40 mesh

นำปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องที่ไม่ละเอียดที่กรองผ่านตะแกรงผสมโดยการทดลองแบบผสม (mixture design) ตามอัตราส่วนต่าง ๆ คือ 50:50:0, 33.33:33.33:33.33, 30:30:40, 20:20:60, 40:40:20 และ 10:10:80

3.6.2 การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวโดยผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

นำปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องที่ไม่ละเอียดผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด ป้อนเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ยี่ห้อ Berstoff (Germany) โดยสภาวะการผลิตกำหนดมาจากการทดสอบเบื้องต้นมาก่อนหน้านี้ รายละเอียดแสดงขั้นตอนการเตรียมดังแสดงในภาคผนวก ก โดยวัตถุดิบมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 12.42 % กำหนดให้ screw speed เท่ากับ 350 rpm อัตราการป้อนแป้ง (% speed) เท่ากับ 3.5 หรือ 12.402 kg/hr อัตราการป้อนน้ำ 1.007 kg/hr หน้าไดกว้าง 3 มิลลิเมตร เพื่อให้ความชื้นของวัตถุดิบเท่ากับ 19.00% นำข้าวพองที่ได้หลังจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันไปลดความชื้นโดยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เวลา 15 นาที จากนั้นนำข้าวพองออกจากเครื่องอบลมร้อนทิ้งไว้ให้เย็นบรรจุลงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์เก็บไว้ที่ตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C ก่อนนำไปทดลองต่อไป

3.5.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว

วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวโดยการวิเคราะห์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- วิเคราะห์การเกิดเจลลาติไนซ์และสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ตามวิธีของ กล้านรงค์และเกื้อกุล (2543) ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.1

- ความแข็ง วัดด้วยเครื่อง Texture analyser รุ่น TA.XT2 ใช้หัวกดแบบ Cylinder probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ใช้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ลงและขึ้นของหัวกดเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ต่อ นาที ด้วยระยะทางการกดบนตัวอย่าง 70% ของความสูงตัวอย่าง ทำการทดสอบตัวอย่าง

ครั้งละ 1 ชิ้น โดยวัดค่าตัวอย่างละ 50 ซ้ำ ทำการบันทึกค่าความแข็ง (Hardness, N) ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข. 2

- อัตราการขยายตัว (expansion ratio) ตามวิธีของ Alvarez-Martinez et al. (1988) โดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดตัวอย่างละ 70 ซ้ำ คำนวณอัตราการขยายตัวจากอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว ดังสมการ (1) โดยเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิดหน้าแปลน (die) ขนาด 3 มิลลิเมตรแล้วหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข. 3

$$\text{อัตราการพองตัว} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางผลิตภัณฑ์}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิดหน้าแปลน}} \dots\dots\dots(1)$$

- ความหนาแน่น (Bulk density) โดยการแทนที่น้ำโดยใช้ภาชนะมาเติมจนให้เต็ม แล้วนำลงในภาชนะทั้งหมดไปชั่งน้ำหนัก และหาปริมาตรภาชนะ โดยการเติมน้ำให้เต็มภาชนะแล้วนำน้ำในภาชนะไปเติมใส่กระบอกตวง คำนวณความหนาแน่นดังสมการ (2) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.4

$$\text{ความหนาแน่น} (\text{กรัม/ลูกบาศก์เมตร}) = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมด (กรัม)}}{\text{ปริมาตรน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)}} \dots\dots(2)$$

น้ำที่เติมภาชนะทั้งหมด นำไปใช้ทำการหาความหนาแน่นตัวอย่างโดยการเอาตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ลงไปในภาชนะแทนที่น้ำ ชั่งน้ำหนักที่เกินออกมาแต่ละครั้ง คำนวณความหนาแน่นของตัวอย่างดังสมการ (3) ทำการทดลองจำนวน 10 ซ้ำ

$$\text{ความหนาแน่นรวม} (\text{กรัม/ลูกบาศก์เมตร}) = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักรวมที่เกินภาชนะ (กรัม) / ความหนาแน่นน้ำ (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)}} \dots\dots(3)$$

- ค่า Water Absorption Index (WAI) และ ค่า Water Solubility Index (WSI) ตามวิธีของกล้าณรงค์และเกื้อกูล (2546) ซึ่งดัดแปลงจาก Schoch (1964) คำนวณดังสมการ (4) และ (5) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.5

$$\text{Water solubility index (WSI, \%)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนใสหลังระเหยแห้ง} \times 100 (\%)}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}} \dots\dots(4)$$

$$\text{Water absorption index (WAI, กรัม/กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักระง่อนแห้งหลังการปั่นเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}} \dots\dots(5)$$

- ปริมาณน้ำอิสระ (A_w) วัดด้วยเครื่องวัดค่า A_w รุ่น Thermoconstanter โดยวัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ทำการบันทึกค่า A_w ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.6

- ปริมาณความชื้น (ดัดแปลงจาก AOAC, 2000) การหาปริมาณความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัมใส่ลงใน moisture can ที่ผ่านการอบแห้ง จดน้ำหนักที่แน่นอนเป็นทศนิยม 4 ตำแหน่งแล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบลมร้อน ปล่อยให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำหลายครั้งจนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นดังสมการ (6) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.7

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}} \quad (6)$$

- การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ฟองกรอบหลังผ่านกระบวนการเอกซเรย์ทูลูชันจากการส่องด้วย Scanning Electron Microscopy (SEM) ยี่ห้อ CAMSCAN MX 2000 โดยใช้การส่องแบบ Back scatter electron image

- การวัดค่าสีระบบ colour view ดัดแปลงจาก Nollet (1996) นำตัวอย่างไปวัดค่าสี (colotimeter) โดยใช้ D65 เป็นแหล่งกำเนิดแสง (illuminant) เพื่อหาค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) โดยใช้อุปกรณ์เทียบมาตรฐาน (black and white reference) เป็นตัวเทียบมาตรฐานค่าสี ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.8

3.5.4 คัดเลือกอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร

นำผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวที่มีอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้อง แตกต่างกันทั้งหมด 6 สูตร คือ 50:50:0, 33.33:33.33:33.33, 30:30:40, 20:20:60, 40:40:20 และ 10:10:80 มาทำการปรุงรส และนำมาทดสอบความชอบโดยการเรียงลำดับตามความชอบ ซึ่งใช้วิธี Ranking ที่มี rating scale 1-6 ดังแสดงในภาคผนวก ง. 1 ซึ่ง คะแนน 1 หมายถึงชอบน้อยที่สุด และคะแนน 6 หมายถึง ชอบมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบทั้งหมดจำนวน 70 คน

ทำการคัดเลือกสูตรของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวที่ได้คะแนนความชอบสูงที่สุดมา 2 อันดับ มาทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการปรุงรสและเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร

3.5.5 การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร

สำหรับส่วนผสมในการปรุงรส จัดแปลงมาจากสูตรขนมขบเคี้ยวขึ้นรูปอัดแท่ง ซึ่งได้ทำการศึกษามาก่อน ดังแสดงในรายงานการประชุมวิชาการในภาคผนวก ค. (Puttasanguanporn et al., 2012) โดยมีขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์ตัวอย่างดังนี้

- 1) เตรียมส่วนผสม (แห้ง) ซึ่งประกอบด้วย เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ปลาข้าวสาร หอมเจียว ใบมะกรูด ข่า ตะไคร้ และพริก ดังแสดงในภาคผนวก ค. นำไปบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดยี่ห้อ RONIC รุ่น Junior และอบให้แห้ง โดยใช้เครื่องอบลมร้อน OTTO อุณหภูมิ 100 °C 10 นาที
- 2) ละลายเบะแซ น้ำตาลทรายและน้ำ ให้เข้มข้น 65 °Brix และผสมกรดซิตริกร้อยละ 2.9 ลงไป
- 3) นำข้าวพองใส่ในเครื่อง coating pan ผสมส่วนผสม(แห้ง)และน้ำเชื่อมให้เข้ากัน อัตราเร็ว 70 รอบต่อนาที ลมร้อนเท่ากับ 80 °C ใช้เวลาเคลือบตัวอย่าง 5 นาที
- 4) นำไปอบโดยใช้เครื่องอบลมร้อนยี่ห้อ OTTO อุณหภูมิ 100°C เวลา 10 นาที
- 5) นำผลิตภัณฑ์พองกรอบเสริมโปรตีนจากปลายข้าวสารออกจากเตาอบลมร้อน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนผลิตภัณฑ์เย็น
- 6) นำผลิตภัณฑ์บรรจุลงถุงอูมิเนียมพอยล์

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาทดสอบความชอบโดยวิธี 9-point hedonic scale (ภาคผนวก ง.2) คะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุดในด้านกลิ่นรสปลา กลิ่นสมุนไพร ลักษณะปรากฏ สี ความกรอบและความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบทั้งหมดจำนวน 50 คน

วิเคราะห์ราคาต้นทุนของวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องที่เหมาะสมที่มีต้นทุนต่ำที่สุด

3.5.6 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวก่อนและหลังการเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร

วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสารในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกถึงความเสี่ยงต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ทางจุลินทรีย์และทางเคมี วัดด้วยเครื่องวัดค่า a_w รุ่น Thermoconstanter โดยวัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ทำการบันทึกค่า a_w

- ความแข็ง วัดด้วยเครื่อง Texture analyser รุ่น TA.XT2 ใช้หัวกดแบบ Cylinder probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ใช้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ลงและขึ้นของหัวกดเท่ากับ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้วยระยะทางการกดบนตัวอย่าง 70% ของความสูงตัวอย่าง ทำการวัดตัวอย่างอาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวครั้งละ 1 ชิ้น โดยวัดค่าตัวอย่างละ 50 ซ้ำ ทำการบันทึกค่าความแข็ง (Hardness, N)

- การวัดค่าสีระบบ colour view จัดแปลงจาก Nollet (1996) นำตัวอย่างไปวัดค่าสี (colotimeter) โดยใช้ D65 เป็นแหล่งกำเนิดแสง (illuminant) เพื่อหาค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสี

แดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) โดยใช้อุปกรณ์เทียบมาตรฐาน (black and white reference) เป็นตัวเทียบมาตรฐานค่าสี ดังแสดงในภาคผนวกที่ ข. 8

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวก่อนและหลังการเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสารในด้านต่างๆดังนี้ (ดังแสดงในภาคผนวก จ.)

- ความชื้น (ดัดแปลงจาก AOAC, 2000) (ภาคผนวก ข.7)
- โปรตีน (ตามวิธี AOAC, 2000)
- ไขมัน (ตามวิธี AOAC, 1990)
- ไยอาหาร (ตามวิธี AOAC, 1995)
- เถ้า (ตามวิธี AOAC, 2000)
- คาร์โบไฮเดรต (ตามวิธี AOAC, 2000)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการสำรวจผู้บริโภค

จากการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคจำนวน 64 คน เพื่อกำหนดแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าว ได้ผลดังนี้

กลุ่มผู้บริโภคที่ทำการสำรวจ เป็นผู้บริโภคที่รับประทานอาหารว่าง แบ่งเป็น เพศชาย 39% และเพศหญิง 61% โดยส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 10-15 ปี (46.7%) รองลงมา ได้แก่กลุ่มวัยรุ่น ช่วงอายุ 16-20 ปี (26.6%) และ ผู้มีอายุ 21-25 ปี (14%) ตามลำดับ ส่วนใหญ่เป็นนักเรียน หรือนักศึกษา (92.2%) มีรายได้ต่อเดือนต่ำกว่า 3,000 บาท (50%) รองลงมา มีรายได้ 3,000 – 5,000 บาท (20.3%)

จากการสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคอาหารว่างจากข้าว พบว่า ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวประเภทที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานเป็นประจำ ได้แก่ ข้าวเกรียบกุ้ง/ปลา (73.4%) ข้าวอบกรอบปรุงรส (56.3%) ข้าวตัง (40.6%) ขนมขบเคี้ยวขึ้นรูปอัดพอง (29.7%) และ ข้าวแต่น/ข้าวนางเล็ด (29.7%) ตามลำดับ

ยี่ห้อขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวที่ผู้บริโภครับประทานเป็นประจำ ได้แก่ โตโตะ (79.7%) ชินมัย (60.9%) ทวิสดี (53.1%) คาราตา (34.4%) สีน้า OTOP (15.6%) และโอเซน (10.9%)

ผู้บริโภคส่วนมากรับประทานขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวบ่อยครั้ง (43.8%) รองลงมา 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ (20.3%) 3-4 ครั้งต่อสัปดาห์ (20.3%) มากกว่า 6 ครั้งต่อสัปดาห์ (7.8%) 5-6 ครั้งต่อสัปดาห์ (6.3%) ตามลำดับ

ผู้บริโภคมักซื้อขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวในแต่ละครั้งเพียง 1-2 ซอง (81.3%) มีส่วนน้อยที่ซื้อครั้งละหลายซอง คือ 3-4 ซอง (7.8%) 5-6 ซอง (6.3%) และมากกว่า 6 ซอง (4.7%) ส่วนใหญ่จึงหาซื้อตามร้านสะดวกซื้อ/มินิมาร์ท (7- eleven, 108 Shop) (67.2%) รองลงมาได้แก่ห้างสรรพสินค้า (โลตัส บิ๊กซี) (31.3%) ร้านจำหน่ายของชำทั่วไป (26.6%) ซูเปอร์มาเก็ต (23.4%) และร้านขายของฝาก (7.8%) ตามลำดับ

เหตุผลส่วนใหญ่ในการเลือกซื้อขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวคือ ความอร่อยถูกปาก รองลงมาคือโฆษณา การลดราคา ความสวยงาม และมีประโยชน์ต่อร่างกาย ตามลำดับ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เหตุผลของผู้บริโภคในการเลือกซื้อขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าว

เหตุผล	ร้อยละ
1. เลือกซื้อเพราะอร่อยถูกปาก	96.9
2. เลือกซื้อเพราะมีประโยชน์ต่อร่างกาย	34.4
3. เลือกซื้อเพราะมีรูปแบบ/สีสันสวยงาม	35.9
4. เลือกซื้อตามเพื่อน	23.4
5. เลือกซื้อเพราะได้ของแถม	21.9
6. เลือกซื้อเพราะมีการลดราคา/ราคาถูก	45.3
7. เลือกซื้อเพราะเห็นโฆษณาทางทีวี	46.9
8. เลือกซื้อเพราะดูหรูหรา/มีราคาแพง	7.8

ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวในปัจจุบัน (ตารางที่ 8) ส่วนใหญ่คิดว่าขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวในปัจจุบันควรมีการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ (เห็นด้วยถึงเห็นด้วยอย่างยิ่ง 68.3%) นอกจากนี้ยังเห็นว่ากลิ่นรสของขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวควรมีให้เลือกมากกว่าที่มีอยู่ในปัจจุบัน มีเพียงส่วนน้อยที่เห็นว่าขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวในปัจจุบันมีประโยชน์ต่อร่างกาย ดังนั้น การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากข้าวให้มีรสชาติที่แตกต่างจากที่มีอยู่ในท้องตลาดและมีคุณค่าทางโภชนาการจึงมีศักยภาพสูงที่จะตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในตลาดประเทศไทย

จากผลการสำรวจผู้บริโภคทำให้สามารถกำหนดแนวคิดผลิตภัณฑ์ได้คร่าวๆ คือ ผลิตภัณฑ์ควรมีรสชาติที่แตกต่างจากที่มีอยู่ในท้องตลาด และให้ประโยชน์แก่ร่างกาย ซึ่งพบว่าข้าวเกรียบปลาและกุ้งเป็นที่คุ้นเคยและนิยมของผู้บริโภค รวมถึงให้ประโยชน์แก่ร่างกายคือ โปรตีน การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกการเสริมโปรตีนจากเนื้อปลา ในขนมขบเคี้ยวขึ้นรูป แต่ควรพัฒนาให้มีลักษณะและรสชาติที่แตกต่างจากข้าวเกรียบปลาและข้าวเกรียบกุ้ง ซึ่งการพิจารณาถึงความง่ายในการผลิต ความแปลกใหม่ ต้นทุน และวัตถุดิบ จึงเลือกพิจารณาผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปที่เสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนและแคลเซียม และปรุงรสตั๋ยม้าเพื่อลดกลิ่นคาวของปลา และเป็นรสชาติที่แสดงเอกลักษณ์ของอาหารไทย เป็นที่รู้จักและคุ้นเคยสำหรับผู้บริโภคทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มคุณค่าจากสมุนไพรอีกด้วย โดยก่อนปรุงรสตั๋ยม้าและผสมกับปลาข้าวสาร ได้ทำการพัฒนาส่วนของแป้งขึ้นรูปก่อน โดยทำเป็นรูปทรงกลมเนื่องจากง่ายต่อการเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (coating pan) ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือชนิดและอัตราส่วนของปลายข้าวและข้าวกล้องในการผ่านเครื่อง extruder เพื่อขึ้นรูปเป็นชั้นขนมกรอบ ก่อนนำไปปรุงรสและเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสารต่อไป

ตารางที่ 8 ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าว

ความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็นที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าว (%)				
	เห็นด้วยอย่างยิ่ง	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง
1. กลิ่นรสของขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าว ควรมากกว่าในปัจจุบัน	7.9	39.7	33.3	12.7	3.2
2. ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวในปัจจุบันมีประโยชน์ต่อร่างกาย	15.9	12.7	42.9	23.8	1.6
3. รูปแบบขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวควรมีหลากหลายกว่าในปัจจุบัน	0	12.7	49.2	23.8	11.1
4. ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวควรเปลี่ยนรูปแบบหีบห่อ/บรรจุภัณฑ์	0	28.6	46	15.9	6.3
5. ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวในปัจจุบันควรมีการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ	31.8	36.5	19	7.9	1.6

4.2 ผลของอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องต่อพฤติกรรม ด้านความหนืดของแป้งในอัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่อนำแป้งที่มีอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องทั้ง 6 สูตรมาวิเคราะห์พฤติกรรมทางด้านความหนืดโดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่าอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Pasting Temperature) หรืออุณหภูมิต่ำสุดที่ต้องใช้ในการทำให้แป้งสุกของแป้งที่อัตราส่วน 33.33:33.33:33.33 (สูตรที่ 2) มีค่าแตกต่างกับอัตราส่วนในสูตรที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.5$) คือมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 95.38 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทำให้แป้งสุกต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของแป้งในการจับตัวกับน้ำและแรงที่ต้องใช้ในการกวนหรือผสมในอาหาร พบว่าที่อัตราส่วน 33.33:33.33:33.33 (สูตรที่ 2) มีค่าความหนืดสูงสุดสูงที่สุด และใกล้เคียงกับที่อัตราส่วน 50:50:0 (สูตรที่ 1) ในขณะที่อัตราส่วน

30:30:40 (สูตรที่ 3) และ 40:40:20 (สูตรที่ 5) มีค่าความหนืดสูงสุดระดับปานกลาง และที่อัตราส่วน 20:20:60 และ 10:10:80 มีค่าน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาถึงค่าความหนืดต่ำสุด (trough) ซึ่งจะบอกถึงค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งที่เกิดจากการให้ความร้อน และแรงกวนที่ใช้ในการผสม พบว่าที่อุณหภูมิและแรงกวนที่เท่ากันของอัตราส่วน 33.33:33.33:33.33 (สูตรที่ 2) จะให้ค่าความหนืดต่ำสุดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่อัตราส่วนอื่นๆ และที่อัตราส่วน 20:20:60 (สูตรที่ 4) นั้นมีค่าความหนืดต่ำสุดต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาถึงค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดต่ำสุด (breakdown) ซึ่งจะบอกถึงความสามารถในการคงทนต่อ อุณหภูมิ และการกวนที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในหลายกระบวนการผลิต พบว่าที่อัตราส่วน 20:20:60 (สูตรที่ 4) และ 40:40:20 (สูตรที่ 5) มีค่าผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดต่ำสุดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่อัตราส่วนอื่นๆ นั้นแสดงว่าที่อัตราส่วน 20:20:60 (สูตรที่ 4) และ 40:40:20 (สูตรที่ 5) มีความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิ และการกวนต่ำที่สุด แป้งที่มีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนดีในระดับปานกลาง คือ แป้งที่อัตราส่วน 50:50:0 (สูตรที่ 1), 30:30:40 (สูตรที่ 3) และ 10:10:80 (สูตรที่ 6) ตามลำดับ แป้งที่มีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนดีที่สุด คือ แป้งที่อัตราส่วน 33.33:33.33:33.33 (สูตรที่ 2) เมื่อพิจารณาถึงค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการบอกถึงคุณภาพของแป้ง และเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะของแป้งหรือผลิตภัณฑ์ว่ามีลักษณะเป็นแป้งเปียกหรือเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อน และทำให้เย็น พบว่าแป้งที่มีอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องทั้ง 6 สูตรมีค่าความหนืดสุดท้ายมากกว่าค่าความหนืดต่ำสุด นั้นแสดงว่าแป้งทั้ง 6 อัตราส่วน เมื่อผ่านการให้ความร้อน และทำให้เย็นจะมีลักษณะเป็นเจล โดยแป้งที่ให้ลักษณะเจลที่แข็งที่สุดคือ แป้งที่อัตราส่วน 10:10:80 (สูตรที่ 6) และเจลที่มีลักษณะแข็งน้อยที่สุด คือ แป้งที่อัตราส่วน 50:50:0 (สูตรที่ 1) เมื่อพิจารณาค่าการคืนตัว (setback viscosity) สามารถวิเคราะห์ได้จากผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback from trough) หรือค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (Setback from peak) ซึ่งค่าการคืนตัวนี้จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยถ้ามีค่าการคืนตัวมากจะมีลักษณะการเกิดโรโทรกราเดชันได้ดี และมีแนวโน้มที่จะให้เจลแป้งที่แข็งมาก จากผลการทดลองพบว่าระดับการคืนตัวของแป้งที่มากที่สุด คือ แป้งที่อัตราส่วน 30:30:40 (สูตรที่ 3) และแป้งที่อัตราส่วน 10:10:80 (สูตรที่ 6) ระดับการคืนตัวของแป้งที่น้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

ตารางที่ 9 พฤติกรรมด้านความหนืดของแป้งในอัตราส่วนต่างๆ

Sample	RVA					Peak	Pasting
	Peak visco	Trough	Breakdown	Final Visco	Setback	Time	Temp
1	221.25±2.50 ^{ab}	208.31±3.78 ^b	12.94±1.40 ^b	495.64±5.20 ^c	287.33±2.67 ^c	6.98±0.04 ^a	88.00±0.00 ^b
2	225.47±6.68 ^a	220.98±8.42 ^a	4.53±1.78 ^d	526.25±8.62 ^b	305.31±1.40 ^b	6.95±0.08 ^a	95.38±0.19 ^a
3	208±5.63 ^c	198.03±5.51 ^{bc}	10.22±0.13 ^c	505.25±8.73 ^c	307.22±3.23 ^b	7.00±0.00 ^a	88.30±0.39 ^b
4	198±5.50 ^d	181.08±6.73 ^d	16.92±1.56 ^a	537.97±8.41 ^{ab}	356.89±4.33 ^a	7.00±0.00 ^a	89.08±0.89 ^b
5	215.83±2.8 ^{bc}	199.22±4.06 ^b	16.61±1.26 ^a	505.36±1.77 ^c	306.14±2.89 ^b	7.00±0.00 ^a	87.98±0.83 ^b
6	197.5±1.88 ^d	188.53±2.92 ^{cd}	8.97±1.28 ^c	544.58±6.96 ^a	356.05±8.94 ^a	7.00±0.00 ^a	88.82±0.83 ^b

หมายเหตุ ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยวิธี Duncan Multiple Ranging Test (DMRT) โดยอัตราส่วนปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้อง สูตรที่ 1 คือ 50:50:0, สูตรที่ 2 คือ 33.33:33.33:33.33, สูตรที่ 3 คือ 30:30:40, สูตรที่ 4 คือ 20:20:60, สูตรที่ 5 คือ 40:40:20 และ สูตรที่ 6 คือ 10:10:80

4.2 ผลของอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว

จากการศึกษา จะเห็นได้ว่าลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

คุณลักษณะ	ผลิตภัณฑ์ (อัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง: ปลายข้าวหอมมะลิ: ข้าวกล้อง)					
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
	(50:50:0)	(33.33:33.33:33.33)	(30:30:40)	(20:20:60)	(40:40:20)	(10:10:80)
ความแข็ง(N)	4.67±2.22 ^c	5.32±1.03 ^{bc}	5.61±1.37 ^b	5.62±1.16 ^b	4.69±1.14 ^c	7.30±1.27 ^a
อัตราการขยายตัว	3.39±0.70 ^b	3.39±0.78 ^b	3.31±0.64 ^c	3.54±0.68 ^a	3.39±0.69 ^b	3.43±0.72 ^b
ความหนาแน่น	0.14±0.01 ^a	0.14±0.01 ^a	0.13±0.00 ^a	0.11±0.01 ^b	0.14±0.01 ^a	0.14±0.01 ^a
ค่าการดูดซับน้ำ	9.03±1.72 ^a	9.90±1.42 ^a	8.60±1.04 ^a	9.18±1.10 ^a	10.14±1.84 ^a	7.88±0.40 ^a
ค่าการละลาย	13.31±5.86 ^a	12.84±4.41 ^a	17.42±6.12 ^a	14.21±5.25 ^a	14.08±5.88 ^a	14.86±2.10 ^a
ปริมาณน้ำอิสระ	0.17±0.00 ^a	0.13±0.00 ^d	0.14±0.00 ^c	0.14±0.00 ^b	0.12±0.00 ^d	0.13±0.00 ^d
ปริมาณความชื้น	6.07±0.08 ^a	4.88±0.72 ^{bc}	5.17±0.26 ^b	4.81±0.65 ^{bc}	4.11±0.29 ^c	4.48±0.21 ^{bc}

หมายเหตุ ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยวิธี Duncan Multiple Ranging Test (DMRT)

เมื่อพิจารณาความแข็งของผลิตภัณฑ์พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวสูตรที่ 6 มีความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ 4, 3 และ 2 ตามลำดับ และสูตรที่ 1 มีค่าความแข็งน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่า setback ดังแสดงในตารางที่ 9 โดยค่า setback ที่มากขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวมีความแข็งมากขึ้นตามไปด้วย

เมื่อวัดอัตราการขยายตัวจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวสูตรที่ 4 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3.54 สูตรที่ 1, 2, 5 และ 6 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และสูตรที่ 3 มีอัตราการขยายตัวน้อยที่สุด

ค่าความหนาแน่นแสดงถึงรูพรุนของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวสูตรที่ 4 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดเท่ากับ 0.11 g/cm³ กลับมีอัตราการขยายตัวมากที่สุดเท่ากับ 3.54 ส่วนสูตรอื่นๆมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยช่องว่างหรือรูพรุนภายในผลิตภัณฑ์มีผลมาจากกระบวนการผลิตและวัตถุดิบ เมื่อความหนาแน่นมีค่ามากผลิตภัณฑ์จะขยายตัวได้น้อย และการขยายตัวของผลิตภัณฑ์พองกรอบที่

มากขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณสตาร์ชในวัตถุดิบ ซึ่งในแป้งข้าวจะมีปริมาณสตาร์ชอยู่มาก (Sharif และคณะ, 2014)

เมื่อพิจารณาค่าการดูดซับน้ำจะเห็นได้ว่าสูตรที่ 6 มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด และสูตรที่ 5 มีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด ส่วนค่าการละลายสูตรที่ 3 มีค่าการละลายสูงที่สุด และสูตรที่ 2 มีค่าการละลายต่ำที่สุด ซึ่งค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) โดยสูตรที่มีการดูดซับน้ำสูงจะมีค่าความหนืดสูง ดังแสดงในตารางที่ 9 ซึ่งค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายน้ำของแป้งมีผลมาจากองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในแป้งที่ทำหน้าที่ดูดซับน้ำ โดยเฉพาะใยอาหารซึ่งมีสมบัติตามธรรมชาติที่สามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าการละลายน้ำ จึงทำให้มีค่าการดูดซับน้ำสูง แต่ค่าการละลายน้ำต่ำ (Leach และคณะ, 1959) ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองเนื่องจากสูตรที่ 6 มีอัตราส่วนของข้าวกล้องซึ่งมีใยอาหารสูงแต่กลับมีค่าการดูดซับน้ำต่ำ ซึ่งอาจเนื่องมาจากข้าวกล้องมีใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายและไม่ละลายน้ำอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายของตัวอย่างทั้ง 6 สูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

เมื่อวัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวสูตรที่ 1 มีปริมาณน้ำอิสระมากที่สุด ส่วนสูตรที่ 5 มีปริมาณน้ำอิสระน้อยที่สุด โดยจะสอดคล้องกับปริมาณความชื้น

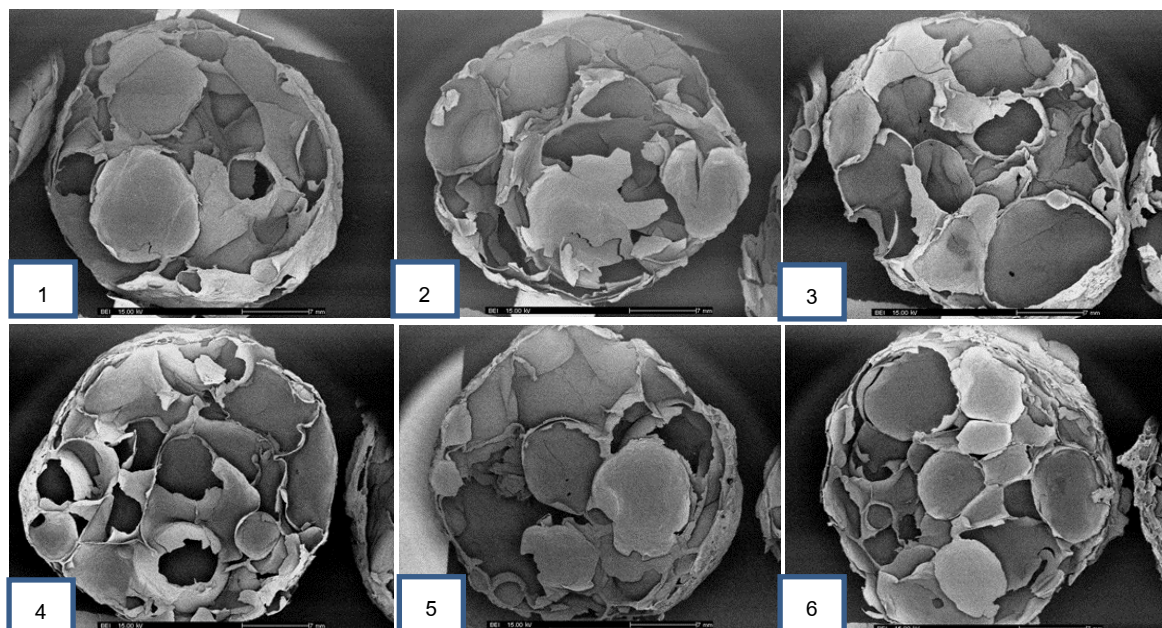
เมื่อทำการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์พองกรอบ ดังแสดงในตารางที่ 11 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของข้าวกล้อง จะทำให้ค่า L^* ลดลง a^* เพิ่มขึ้น ส่วน b^* มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยสูตรที่ 1 มีค่า L^* สูงที่สุด แต่มีค่า a^* น้อยที่สุด ส่วนสูตรที่ 6 มีค่า L^* ต่ำที่สุด แต่มีค่า a^* มากที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวสูตรที่ 1 ไม่มีส่วนประกอบของข้าวกล้องจึงให้ลักษณะสีขาวสว่าง 07' ส่งผลให้ค่า L^* มากกว่าสูตรที่มีการผสมข้าวกล้อง สำหรับค่า a^* ซึ่งมีค่าเป็นบวก ซึ่งเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีน้ำตาลอ่อน สำหรับค่า b^* ที่มีค่าเป็นบวกแสดงถึงค่าสีเหลืองซึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวสูตรที่ 1 และ 6 มีค่าแตกต่างจากสูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานวิจัยของวริพัทธ์ และคณะ (2550) ที่พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของแป้งข้าวกล้องมันปูทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น

ตารางที่ 11 ค่าสีของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

น้ำหนัก (g/100g)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
สูตรที่ 1 (50:50:0)	86.60±0.48a	7.29±0.26b	14.52±0.21a
สูตรที่ 2 (33.33:33.33:33.33)	74.71±0.45b	11.48±0.82a	13.90±0.19b
สูตรที่ 3 (30:30:40)	73.04±0.91c	11.74±0.51a	13.87±0.56b
สูตรที่ 4 (20:20:60)	70.69±0.63c	12.27±0.93a	14.30±0.16ab
สูตรที่ 5 (40:40:20)	79.38±0.67b	10.70±0.83a	13.74±0.10b
สูตรที่ 6 (10:10:80)	68.90±0.83c	12.29±0.90a	14.54±0.43a

หมายเหตุ ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยวิธี Duncan Multiple Ranging Test (DMRT)

เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านบริเวณด้านตัดขวางของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของข้าวกล้อง จะทำให้ขนาดของโพรงอากาศและการขยายตัวลดลงเป็นผลให้ความแข็งเพิ่มขึ้น โดยสูตรที่ 6 จะมีขนาดของรูอากาศเล็กที่สุด รองลงมา คือสูตรที่ 4, 3, 2, 5 และ 1 ตามลำดับ เนื่องจากข้าวกล้องมีปริมาณใยอาหาร โปรตีน และไขมันมากกว่าปลายข้าว ซึ่งใยอาหารจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวน้อยและไม่สม่ำเสมอ รูปพรุนมีขนาดเล็ก อีกทั้งไขมันจะลดการพองตัวของเม็ดแป้งเนื่องจากจะมีผลต่อการดูดซึมน้ำของแป้ง (สิงหนาท และคณะ, 2550) นอกจากนั้นปริมาณโปรตีนในเม็ดแป้งจะยับยั้งความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อน (กล้านรงค์ และเกื้อกุล, 2543)



ภาพที่ 2 ลักษณะโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวหลังผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยอัตราส่วนปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้อง สูตรที่ 1 คือ 50:50:0, สูตรที่ 2 คือ 33.33:33.33:33.33, สูตรที่ 3 คือ 30:30:40, สูตรที่ 4 คือ 20:20:60, สูตรที่ 5 คือ 40:40:20 และ สูตรที่ 6 คือ 10:10:80

4.3 ผลการคัดเลือกผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวที่เหมาะสมโดยใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัส เตรียมตัวอย่างโดยนำผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปที่เตรียมจากส่วนผสมปลายข้าวและข้าวกล้องทั้ง 6 สูตรไปปรุงรสต้มยำและเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร นำไปทดสอบความชอบของบริโภค โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 70 คน โดยใช้วิธีการทดสอบแบบเรียงลำดับตามความชอบ (ranking for preference) พบว่าสูตรผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวอัตราส่วนที่เหมาะสมคือปลายข้าวนาปรังต่อปลายข้าวหอมมะลิต่อข้าวกล้องเท่ากับ 40 : 40 : 20 และ 10 : 10 : 80 ดังแสดงในตารางที่ 12 ซึ่งอัตราส่วนของข้าว 2 สูตรดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 12 คะแนนความชอบจากการทดสอบแบบ Ranking

Sample	อัตราส่วนของปลายข้าวนาปรังต่อปลายข้าวหอมมะลิต่อข้าวกล้อง	Rank sum
1	50:50:0	a 178
2	33.3:33.3:33.3	ab 207
3	30:30:40	a 183
4	20:20:60	a 175
5	40:40:20	bc 234
6	10:10:80	c 274

หมายเหตุ ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยวิธี Duncan Multiple Ranging Test (DMRT)

เนื่องจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีเรียงลำดับตามความชอบของอัตราส่วนของข้าวสูตรที่ 5 และ 6 ไม่แตกต่างกันทางสถิติจึงนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9 point hedonic scale และ Just about right scale โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน พบว่าคะแนนรวมกลิ่นรสปลา กลิ่นสมุนไพร ลักษณะปรากฏ สี ความกรอบและความชอบโดยรวมของอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวสูตรที่ 5 และ 6 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์พองกรอบ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	สูตรที่ 5 (40:40:20)	สูตรที่ 6 (10:10:80)
กลิ่นรสปลา	^a 6.06±1.33	^a 6.12±1.38
กลิ่นสมุนไพร	^a 6.22±1.31	^a 6.44±1.09
ลักษณะปรากฏ	^a 6.28±1.09	^a 5.80±1.14
สี	^a 6.34±1.21	^{ab} 5.62±1.38
ความกรอบ	^a 6.76±1.19	^a 6.84±1.08
ความชอบโดยรวม	^a 6.66±1.12	^a 6.52±0.95

หมายเหตุ: หมายเหตุ ตัวเลขที่มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยวิธี Duncan Multiple Ranging Test (DMRT)

4.4 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากอัตราส่วนของข้าวสูตรที่ 5 และ 6 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงใช้ต้นทุนวัตถุดิบในการพิจารณาคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดพบว่าต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสารที่ใช้อัตราส่วนของปลายข้าวนาปรังต่อปลายข้าวหอมมะลิต่อข้าวกล้องเท่ากับ 40 : 40 : 20 (สูตรที่ 5) มีต้นทุนวัตถุดิบต่ำกว่าสูตรที่ 6 ซึ่งมีอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรังต่อปลายข้าวหอมมะลิต่อข้าวกล้องเท่ากับ 10 : 10 : 80 เล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 14 จึงนำตัวอย่างสูตรที่ 5 ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและคุณค่าทางโภชนาการต่อไป

ตารางที่ 14 ต้นทุนในการผลิตข้าวพอง

สูตร	อัตราส่วนข้าวที่ใช้ผลิต			ราคาวัตถุดิบ (1 กิโลกรัม)
	ปลายข้าวนาปรัง (14 บาทต่อ 1 kg)	ปลายข้าวหอมมะลิ (18 บาทต่อ 1 kg)	ข้าวกล้อง (17 บาทต่อ 1 kg)	
5	0.4	0.4	0.2	16.2 บาท
6	0.1	0.1	0.8	16.8 บาท

หมายเหตุ: อัตราส่วนปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้อง สูตรที่ 5 คือ 40:40:20 และ สูตรที่ 6 คือ 10:10:80

4.5 การศึกษาผลของการปรุงรสดต่อคุณสมบัติทางกายภาพ

จากการศึกษาผลของการปรุงรสดของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสารสูตรที่ 5 พบว่า ปริมาณน้ำอิสระ ความแข็งและความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 0.43 5.90 และ 13.78 ตามลำดับ โดยการเสริมสารอาหารมีผลทำให้ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น และความแข็งเพิ่มขึ้น (Sharif และคณะ, 2014) และ (Paraman และคณะ, 2012) ค่าสีของผลิตภัณฑ์หลังปรุงมีค่าสีในช่วง L^* และ b^* เพิ่มขึ้นเท่ากับ 64.54 และ 21.66 แต่ค่าสีในช่วง a^* ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวก่อนปรุงรสด ดังแสดงในตารางที่ 15 โดยค่า L^* และ b^* ที่เพิ่มขึ้นเกิดเนื่องมาจากส่วนประกอบที่เติมลงไป เช่น ข้าว ตะไคร้ ถั่วลิสง หอมเจียว และปลาข้าวสาร เป็นต้น ส่วนค่า a^* ที่ลดลงเกิดจากสีของใบมะกรูดที่เติมลงไป

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างผลิตภัณฑ์ฟองกรอบสูตร 5 ก่อนปรุงรสดและหลังปรุงรสด

คุณลักษณะทางกายภาพ	ก่อนปรุงรสด	หลังปรุงรสด
a_w	0.32±0.17	0.43±0.05
Moisture (%)	4.11±0.29	5.90±0.58
ความแข็ง (N)	4.69±1.14	13.78±2.21
สี		
L^*	79.38±0.67	64.54±0.133
a^*	10.70±0.83	9.51±0.21
b^*	13.74±0.10	21.66±0.63

4.6 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร

เมื่อทำการศึกษาการเสริมโปรตีนและปรุงรสดจากปลาข้าวสารในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปที่มีอัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องเท่ากับ 40:40:20 พบว่าการเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้เติมปลาข้าวสารและปรุงรสดจะปรับปรุงปริมาณโปรตีนให้เพิ่มขึ้นร้อยละ 53.58 ไขมันเพิ่มขึ้น ร้อยละ 96 โยอาหารเพิ่มขึ้นร้อยละ 37.31 และถั่วเพิ่มขึ้น ร้อยละ 82.19 แต่ในทางกลับกันการเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร จะส่งผลให้ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตมีค่าลดลงร้อยละ 18.49 ดังแสดงในตารางที่ 16 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสูตรเสริมโปรตีนถั่วเหลือง

ในผลิตภัณฑ์ฟองกรอบ (Sharif และคณะ, 2014) พบว่าการเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสารมีปริมาณร้อยละของโปรตีน ไขมัน โยอาหาร และเถ้าที่เพิ่มขึ้นต่ำกว่าการเสริมโปรตีนจากถั่วเหลือง

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการระหว่างผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวที่ อัตราส่วนเท่ากับ 40:40:20 ก่อนและหลังปรุงรส

องค์ประกอบทางเคมี	ก่อนปรุงรส (%)	หลังปรุงรส (%)
โปรตีน	8.85±0.36	19.06±0.16
ไขมัน	0.04±0.02	1.12±0.01
คาร์โบไฮเดรต	85.37±0.21	69.58±0.21
โยอาหาร	1.19±0.09	1.89±0.06
เถ้า	0.44±0.27	2.44±0.12

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

เมื่ออัตราส่วนของปลายข้าวนาปรัง : ปลายข้าวหอมมะลิ : ข้าวกล้องเท่ากับ 20:20:60 พบว่า มีอัตราการขยายตัวสูงที่สุด และมีค่า bulk density ต่ำที่สุด และที่อัตราส่วน 10:10:80 นั้นจะมีความแข็งและค่าการละลายสูงที่สุด แต่มีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด เนื่องจากปริมาณไฟเบอร์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ลักษณะการพองของโมเลกุลของแป้งพองตัวยากขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นถ้ามีไฟเบอร์มากขึ้น

อัตราส่วนเมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบโดยรวมของปลายข้าวนาปรัง: ปลายข้าวหอมมะลิ : ข้าวกล้องที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร คือ 40:40:20

สูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซึ่งมีปริมาณปลาข้าวสารเท่ากับ ร้อยละ 12.48 จะทำให้โปรตีนเพิ่มสูงขึ้นเป็น ร้อยละ 53.58 ไขมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 96 โยอาหารเพิ่มขึ้นร้อยละ 37.31 และถ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 82.19 แต่ในทางกลับกันการเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร จะส่งผลให้ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตมีค่าลดลงร้อยละ 18.49 เมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ผ่านการปรุงรส

บรรณานุกรม

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. สำนักพิมพ์เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- กุลยา จันทร์อรุณ. 2533. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โรงพิมพ์การศาสนา. กรุงเทพฯ.
- ฐานเศรษฐกิจ. 2550. ตลาดข้าวแปรรูปแนวโน้มสดใสบางกอกอินเทอร์เน็ตผู้ผลิตสนอง. แหล่งที่มา: <http://www.thannews.th.com/detailNews.php>. 13/8/2550.
- นิธยา รัตนพานนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.
- ปิยมาศ มหาบุญญานนท์. 2546. คุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสต้าข้าวเจ้าที่ได้จากการอัดพองโดยใช้ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ [ปริญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต]. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วรพัทธ์ อารีกุล, สิริยาภรณ์ ไกรมาก, สาวิตรี เพ็ชรเกลี้ยง และรินดา รัชพร. 2550. การปรับปรุงกระบวนการผลิตที่เหมาะสมของขนมอบกรอบจากข้าวกล้องมันปู. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร.
- วิลาสินี ดีปัญญา. 2554. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเคลือบปรุงแต่งกลิ่นรส. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- วิไล รัชดาทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.
- สถาบันอาหารกระทรวงอุตสาหกรรม, (2556). "สำรวจข้อมูลพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพสำเร็จรูป". ระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2556.
- สมชาย ประภาวัต. 2524. ผลิตภัณฑ์อาหารถั่วเหลืองที่เหมาะสม. วารสารอาหาร. 13(3): 157-170.
- สิงหนาท พวงจันทร์แดง, ศุภชัย ภูลายดอก, เกษม นันทชัย, วิเชียร วรพุทธพร, สุนันทา ทองทา และ วีระ สุวรรณศรี. 2550. อิทธิพลของแป้งธัญชาติชนิดต่างๆต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของผลิตภัณฑ์พองตัวที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 12(4): 431-441.
- สิริมาศ อุสาธิต. 2548. การศึกษาผลของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 มันเทศและปลาป่นต่อคุณภาพอาหารขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สุพจน์ คิลานเกสซ์. 2537. สมุนไพร เครื่องเทศและพืชปรุงแต่งกลิ่นรส. พิมพ์ครั้งแรก. กรุงเทพฯ.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Bo Ding Q., Ainsworth P., Tucker G. and Marson H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, Journal of Food Engineering, 66, 283–289.

- Bower, J. A. and Whitten, R. 2000. Sensory characteristics and consumer liking for cereal bar snack foods. *Journal of Sensory Studies*. 15, 327–345.
- Chaiyakul, S., Jangchud K., Jangchud A., Wuttijumnong P. and Ray, W. (2008). Effect of Protein Content and Extrusion Process on Sensory and Physical Properties of Extruded High-Protein, Glutinous Rice-Based Snack. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 42, 182– 190.
- Della Valle, G., Vergnes, B., Collona, P. and Patria, A. (1997). Relations between rheological properties of molten starches and their expansion behavior in extrusion expansion. *Journal of Food Engineering* 31 (3), 277–296
- Leach, H.W., L.D. McCowenand T.J.Schoch. 1959. Structure of the starch granule I . Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.* 36:534-544.
- Macrae, R., Robinson, R. K. and Sadler, M. J. *Encyclopaedia of food science food technology and nutrition*. 4th ed. Academic Press: USA, 1993.
- Mahansho, H., Mellican, R., Hughes, D., Compton, D. and Walter, T. 2003. Multiple micronutrient fortification technology development and evaluation: from lab to market. *Food and Nutrition Bulletin*, 24(4), 111-119.
- Mendonca, S., Grossmann, M.V.E., Verhe, R., 2000. Corn bran as a fiber source in expanded snacks. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. Food Science and Technology*. 33 (1), 2–8.
- Moir, H. 2001. Have a Snack. *The World of Food Ingredients*. Sep:12-14.
- Paraman, I., Wagner, M.E. and Rizvi, S.S.H. (2012). Micronutrient and protein fortified whole grain puffed rice made by supercritical fluid extrusion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 11188-11194.
- Puttasanguanporn, T., Pornwivatthada, P. and Siriwongwilaichat, P. 2012. Development of Protein Enriched Rice Snack Bar from Enchovy. The 14th FOOD INNOVATION ASIA CONFERENCE, 14th -15th June 2012, BITEC Bangna, Bangkok, Thailand (Poster Presentation).
- Sharif, M.K., Rizvi, S.S.H. and Paraman, I. (2014). Characterization of supercritical fluid extrusion processed rice-soy crisps fortified with micronutrient and soy protein. *LWT-Food Science and Technology*, 56, 414-420.
- Snyder, H. E. and Kwon, T. W. *Soy bean utilisation*. AVI Publishing: New York, 1987.
- Tuley, L. Healthy outlook for soya proteins. *International Journal of Food Science and Technology*, 5, 24-28, 1996.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การเตรียมผลิตภัณฑ์อาหารخبเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว

1. ส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารخبเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าว

- 1.1 ปลายข้าวนาปรัง
- 1.2 ปลายข้าวหอมมะลิ
- 1.3 ข้าวกล้อง

2. วิธีการ

2.1 นำปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องไปโม่ให้ละเอียด



ปลายข้าวนาปรัง



ปลายข้าวหอมมะลิ



ข้าวกล้อง

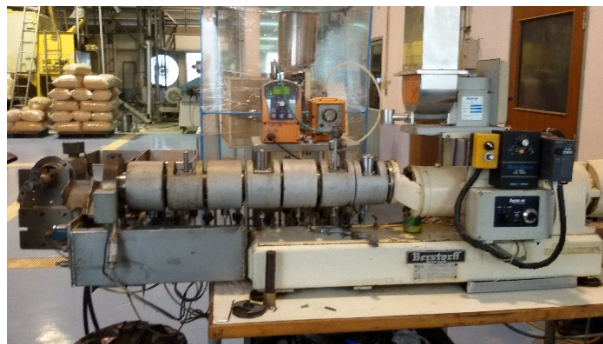
2.2 นำปลายข้าวนาปรัง ปลายข้าวหอมมะลิ และข้าวกล้องที่ไม่ละเอียดผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด
(อัตราส่วนของปลายข้าวนาปรังต่อปลายข้าวหอมมะลิต่อข้าวกล้อง)



Sample	อัตราส่วนของปลายข้าวนาปรังต่อปลายข้าวหอมมะลิต่อข้าวกล้อง
1	50:50:0
2	33.3:33.3:33.3
3	30:30:40
4	20:20:60
5	40:40:20
6	10:10:80

2.3 ป้อนเข้าเครื่องเอกซทรีเตอร์แบบสกรูคู่ยี่ห้อ Berstoff (Germany)

โดยกำหนด Screw speed เท่ากับ 350 rpm อัตราการป้อนแป้ง (% speed) เท่ากับ 3.5 หรือ 12.402 kg/hr อัตราการป้อนน้ำ (% stroke) เท่ากับ 40 หรือ 1.007 kg/hr หน้าไต่กว้าง 3 มิลลิเมตร



2.4 นำข้าวพองที่ได้หลังจากกระบวนการเอกซทรีชันไปเข้าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เวลา 15 นาที



2.5 นำข้าวพองออกจากเครื่องอบลมร้อนทิ้งไว้ให้เย็นบรรจุลงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์เก็บไว้ที่ตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C



ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ข.1 การวิเคราะห์การเกิดเจลลิตีไนซ์และสมบัติทางด้านความหนืดด้วยเครื่อง **Rapid Visco Analyzer** ตามวิธีของ กล้าณรงค์และเกื้อกุล (2543)

อุปกรณ์

1. เครื่อง rapid visco analyzer (RVA) พร้อมถ้วยบรรจุตัวอย่าง (can) และใบพัด (paddle)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ให้นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่องและปรับสภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA
ดังนี้

Profile: STD1

อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 นาที

อุณหภูมิ 50-95 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3.75 นาที

อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2.5 นาที

อุณหภูมิ 95-50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3.75 นาที

อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 นาที

รวมระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด 13 นาที

ความเร็วรอบของการกวน 0-10 วินาทีแรก 960 รอบต่อนาที หลังจากนั้นจะลดลงมาที่ 160 รอบต่อนาทีจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

อัตราการให้ความร้อน 12 องศาเซลเซียสต่อนาที

2. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 24.00 ± 0.1 มิลลิลิตร (สำหรับตัวอย่างที่มีความชื้นร้อยละ 9) ใส่ลงใน can ของ RVA

3. ชั่งตัวอย่าง 3.00 ± 0.01 กรัม ใส่ลงใน can ที่มีน้ำอยู่แล้ว น้ำหนักตัวอย่างนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดตัวอย่างต่อไป

4. ใส่ใบพัด (paddle) ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างหมุนใบพัดกวนไปมาแรงๆและดึงขึ้นเพื่อ กวนตัวอย่างแรงๆประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดที่ใบพัดกวนให้ทำซ้ำอีกครั้ง

5. นำ can ที่ใส่ใบพัดไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้เครื่อง RVA ทำงานเสร็จแล้วนำถ้วยตัวอย่างออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ (หน่วย RVU) ดังนี้

5.1 เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็น นาที

5.2 อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรือมีความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

5.3 อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

5.4 ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น RVU

5.5 ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU

5.6 ความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วยเป็น RVU

5.7 ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด trough (set back from trough) มีหน่วยเป็น RVU

ตัวอย่างการคำนวณน้ำหนักแป้ง

กำหนดให้เตรียมแป้งความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณ 25 กรัม และแป้งข้าวมีความชื้นร้อยละ 6.87

ต้องการเตรียมแป้งความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนักแห้งปริมาณ 25 กรัม นั่นคือ สารละลาย (แป้ง+น้ำ) 100 กรัม จะมีแป้ง (โดยน้ำหนักแห้ง) 12 กรัม

หากต้องการสารละลาย 25 กรัม จะต้องชั่งแป้ง (โดยน้ำหนักแห้ง) $(12 \times 25) / 100 = 3$ กรัม

เนื่องจากแป้งข้าวที่ใช้มีความชื้นร้อยละ 6.87 (หมายความว่าแป้ง 100 กรัม มีน้ำ 6.87 กรัม ดังนั้นจะมีส่วนของของแข็ง (น้ำหนักแห้ง) $100 - 6.87 = 93.13$ กรัม

จึงสามารถคำนวณน้ำหนักแป้งที่ต้องชั่งได้ดังนี้

ถ้าต้องการน้ำหนักแห้งของแป้งจำนวน 93.13 กรัม ต้องชั่งแป้ง 100 กรัม

หากต้องการน้ำหนักแห้งของแป้งจำนวน 3 กรัม ต้องชั่งแป้ง 3.22 กรัม

ดังนั้นสารละลายทั้งหมด 25 กรัม ต้องชั่งแป้ง 3.22 กรัม และน้ำ $25 - 3.22 = 21.78$ กรัม

ข.2 การวัดเนื้อสัมผัสแบบ TPA (Texture Profile Analysis)

วิธีใช้เครื่อง

1. เปิดเครื่องและเข้าไปที่ icon Texture Expert เข้ามาที่หน้าจอ กดปุ่ม OK
2. เข้ามาที่หน้าจอโปรแกรมแล้วเลือก T.A. แล้วเลือก calibration force
3. เข้ามาที่หน้าจอ Force calibration แล้วกดปุ่ม OK แล้วเครื่องจะบอกให้นำตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัมวางบนตำแหน่ง calibration platform แล้วกด OK เครื่องจะทำการ calibrate ชักตุ้มหนึ่งเมื่อ calibrate เสร็จเรียบร้อย กดปุ่ม OK

4. ต่อหัว probe ขนาดที่ต้องการเข้ากับขาต่อ (probe adapter) และต่อขาเข้ากับแขนสำหรับต่อหัววัดของเครื่อง texture analyser ทำการ calibration probe กดเลือกแถบเมนู T.A. และเลือก calibration probe เครื่องจะปรากฏหน้าต่าง probe height calibration เครื่องจะให้กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่กลับของหัววัดเมื่อหัววัดสัมผัสกับฐานเครื่องแล้ว โดยใช้ความสูงของตัวอย่างที่ต้องการวัดเป็นเกณฑ์ (ให้ระยะทางมากกว่าความสูงของตัวอย่างเล็กน้อย) เช่น ถ้าตัวอย่างสูง 5 เซนติเมตร กำหนดเป็น 55 มิลลิเมตร เป็นต้น จากนั้นตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีตัวอย่างหรือสิ่งของวางทิ้งไว้ที่ฐานเครื่อง กดปุ่ม Fast และ ปุ่ม ↓ ที่คีย์บอร์ดของเครื่อง texture analyser เพื่อเลื่อนตำแหน่ง

ของหัววัดให้มาอยู่ใกล้กับฐานเครื่อง กดปุ่ม OK รอให้หัววัดเคลื่อนลงสัมผัสกับฐานวางตัวอย่างแล้วเคลื่อนกลับขึ้นไปเป็นระยะทางเท่ากับกำหนดไว้

5. กดเลือกแถบเมนู T.A. และเลือก T.A. setting เครื่องจะปรากฏหน้าต่าง Texture Profile Analysis ไว้สำหรับกำหนดตัวแปรเพื่อสั่งงานเครื่องโดยมีดังนี้

5.1 ช่อง Test option เลือกเป็น Texture Profile Analysis (Compression)

5.2 ช่อง Parameters กำหนดในช่อง Pre Test Speed เท่ากับ 10 mm/s Test Speed เท่ากับ 2 mm/s และ Post Test Speed เท่ากับ 10 mm/s

5.3 ช่อง Distance คือช่องเลือก % ของความสูงที่หัว probe เข้าไปสัมผัสในชั้นอาหาร เช่น ความสูงของอาหารเท่ากับ 5 เซนติเมตร กำหนด % Distance เป็น 50 หัว probe จะลดลงไปในชั้นอาหารจากจุดที่สูงที่สุดเป็นระยะทาง 2.5 เซนติเมตร

5.4 ช่อง Break Detect เลือก Off

เมื่อทำการกำหนดตัวแปรต่างๆ เรียบร้อยแล้วกดที่ปุ่ม update

6. กดเลือกหน้าจอ Project 1 กดปุ่ม Restart

7. กดที่แถบเมนู T.A. และเลือก Run a Test จะปรากฏหน้าจอสำหรับระบุรายละเอียดในการวัดตัวอย่าง

7.2 กดเครื่องหมาย x ในช่อง Auto save

7.3 ช่อง Fild Id พิมพ์ชื่อตัวอย่าง ช่อง Fild No คือจำนวนซ้ำ

7.3 ช่อง Drive เลือกตำแหน่งใดก็ได้ที่ใช้เก็บข้อมูล

7.4 ช่อง Probe and Product Data ให้เลือกขนาดของหัว Probe ที่ใช้งาน เช่น ใช้ Probe ขนาดเท่ากับ P/20 เลือก 2 mm Dia Cylinder aluminium

8. เมื่อระบุรายละเอียดเรียบร้อยแล้วนำตัวอย่างมาวางที่ฐานใต้หัว Probe ที่ต่อกับแขนของเครื่อง texture analyser วางตัวอย่างให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางหัว Probe กดปุ่ม OK

9. หัววัดจะเคลื่อนที่และกดลงบนตัวอย่างตาม % Distance ที่กำหนดไว้หัววัดจะเคลื่อนที่ออกจากตัวอย่างแล้วกลับสู่ตำแหน่งเดิม

10. เมื่อการวัดเสร็จสิ้นลง จะปรากฏเส้นกราฟขึ้น เมื่อต้องการวัดตัวอย่างซ้ำอีกครั้งกดแถบเมนู T.A. และเลือก Quick test run หรือกด Ctrl และ Q พร้อมกันที่แป้นคีย์บอร์ดเส้นกราฟจะปรากฏขึ้นในแกนกราฟเดิม

ข.3 อัตราการขยายตัว (expansion ratio) (Alvarez-Martinez et al., 1988)

อัตราการขยายตัว (expansion ratio) โดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดตัวอย่างละ 70 ซ้ำ คำนวณอัตราการขยายตัวจากอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวและเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิดหน้าแปลน (die) ขนาด 3 มิลลิเมตรแล้วหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อัตราการพองตัว = $\frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางผลิตภัณฑ์}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิดหน้าแปลน}}$

ข.4 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) (Im และคณะ, 2003)

โดยการแทนที่น้ำโดยใช้ภาชนะมาเติมน้ำให้เต็ม แล้วนำภาชนะทั้งหมดไปชั่งน้ำหนัก และหาปริมาตรภาชนะ โดยการเติมน้ำให้เต็มภาชนะแล้วนำน้ำในภาชนะไปเติมใส่กระบอกตวง คำนวณความหนาแน่น

$$\text{ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมด (กรัม)}}{\text{ปริมาตรน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)}}$$

น้ำหนักที่เติมภาชนะทั้งหมด นำไปใช้ในการหาความหนาแน่นตัวอย่างโดยการเอาตัวอย่างใส่ลงไปในภาชนะแทนที่น้ำ ชั่งน้ำหนักที่เกินออกมาแต่ละครั้ง ทำการทดลองจำนวน 10 ซ้ำ คำนวณความหนาแน่น

$$\text{ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักที่เกินภาชนะ (กรัม) / ความหนาแน่นน้ำ (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)}}$$

ข.5 การหาค่าการอุ้มน้ำและค่าการละลายน้ำ (Water absorption index (WAI), water solubility index (WSI)) ตามวิธีของกลัณรงค์และเกื้อกุล (2546) ซึ่งดัดแปลงจาก Schoch (1964)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.5 กรัม (คิดต่อน้ำหนักแป้งแห้ง) ลงในหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยง (ที่ทราบน้ำหนักหลอดเริ่มต้นแล้ว)
2. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดปริมาตร 6 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน
3. จากนั้นแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาที
4. นำตัวอย่างมาเหวี่ยงแยกส่วนใส่ออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ความเร็ว 3000 g/นาที เป็นเวลา 10 นาที
5. แยกส่วนใสที่ได้ลงในจานระเหยที่ทราบน้ำหนักแล้ว และชั่งน้ำหนักส่วนใสก่อนทำการระเหยแห้ง ส่วนตะกอนแป้งที่ก้นหลอดให้นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการหาความสามารถในการดูดซับน้ำของแห้ง
6. ระเหยส่วนใสบนอ่างน้ำเดือดจนแล้วและจึงนำไปอบที่ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
7. แล้วจึงนำจานระเหยเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ประมาณ 1-2 ชั่วโมง
8. นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการคำนวณหาส่วนที่สามารถละลายได้ ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{Water solubility index (WSI, \%)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนเสีหลังระเหยแห้ง} \times 100 (\%)}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}}$$

$$\text{Water absorption index (WAI, กรัม/กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนแห้งหลังการปั่นเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}}$$

ข.6 การวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, A_w)

วิธีใช้เครื่อง

1. เปิดเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระจากนั้นเปิดฝาด้านนอก
2. เปิดฝาด้านในสำหรับใส่ตัวอย่าง นำ cup a_w ที่บรรจุซิลิกา เจลออกจากเครื่อง
3. นำตัวอย่างใส่ใน cup a_w ประมาณ 2/3 ของถ้วย ใส่ cup a_w ที่บรรจุตัวอย่างแล้วลงไป
ในเครื่อง
4. ปิดฝาชั้นในและชั้นนอก
5. รอผลค่า a_w โดยดูที่เครื่องหมายถึงสามเหลี่ยมด้านบนของช่องบอกอุณหภูมิ รอให้มี
เครื่องหมายสามเหลี่ยมครบ 4 อัน รอจนกระทั่งครบ 10 ชั่วโมง จึงจะสามารถอ่านค่า a_w ได้

ข.7 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ดัดแปลงจาก AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven, memmert รุ่น W350, Germany)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (mettler toledo รุ่น AB204, Switzerland)
4. โถดูดความชื้น

วิธีทดลอง

1. อบ moisture can ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นใน
โถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างใส่ใน moisture can ประมาณ 5 กรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งตัวอย่าง
3. นำไปอบอีกครั้งที่สภาวะเดิม ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักทำซ้ำจนกว่า
น้ำหนักจะคงที่
4. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}}$$

ข.8 การวัดค่าสีระบบ colour view ดัดแปลงจาก Nollet (1996)

วิธีทดลอง

นำตัวอย่างไปวัดค่าสี (colotimeter) โดยใช้ D65 เป็นแหล่งกำเนิดแสง (illuminant) เพื่อหาค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) โดยใช้อุปกรณ์เทียบมาตรฐาน (black and white reference) เป็นตัวเทียบมาตรฐานค่าสี

ภาคผนวก ค
การเตรียมผลิตภัณฑ์สำหรับทดสอบทางประสาทสัมผัส

ค.1 ส่วนประกอบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสาร

1.1 ข้าวพอง	26.7 %
1.2 เม็ดมะม่วงหิมพานต์	1.07%
1.3 ปลาข้าวสาร	12.48 %
1.4 หอมเจียว	1.07 %
1.5 ใบมะกรูด	1.80 %
1.6 ข่า	1.07 %
1.7 ตะไคร้	1.07 %
1.8 พริก	0.3 %
1.9 กรดซิตริก	2.9 %
1.10 น้ำตาลทราย	10.7 %
1.11 กลูโคสไซรัป	12.5 %
1.12 น้ำ	17.8 %

ค.2 วิธีการ

2.1 เตรียมส่วนผสม(แห้ง) นำไปบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดยี่ห้อ RONIC รุ่น Junior และอบให้แห้ง โดยใช้เครื่องอบลมร้อน OTTO อุณหภูมิ 100 °C 10 นาที



2.2 ละลายเบะแซ น้ำตาลทรายและน้ำ ให้เข้มข้น 65 °Brix และผสมกรดซิตริกลงไป



2.3 นำข้าวพองใส่ในเครื่อง coating pan ผสมส่วนผสม(แห้ง)และน้ำเชื่อมให้เข้ากัน อัตราเร็ว 70 รอบต่อนาที ลมร้อนเท่ากับ 80 °C ใช้เวลาเคลือบตัวอย่าง 5 นาที



2.4 นำไปอบโดยใช้เครื่องอบลมร้อนยี่ห้อ OTTO อุณหภูมิ 100°C เวลา 10 นาที



2.5 นำผลิตภัณฑ์พองกรอบเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสารออกจากเตาอบลมร้อน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนผลิตภัณฑ์เย็น





2.6 นำผลิตภัณฑ์บรรจุลงถุงอลูมิเนียมฟอยล์



ภาคผนวก ง

แบบสอบถามสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ง. 1 แบบเรียงลำดับความชอบ

ชื่อ..... เพศ หญิง ชาย อายุ.....ปี
ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสารชุดที่..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างต่อไปนี้อย่างต่อเนื่องตามลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วเรียงลำดับตามความชอบโดย

1 = ชอบน้อยที่สุด 6 = ชอบมากที่สุด ตามลำดับ

รหัสตัวอย่าง
.....

คำแนะนำ

.....
.....
.....
.....

ขอบคุณค่ะ

ง.2 9-point hedonic scale

ชื่อ..... เพศ ☐ หญิง ☐ ชาย อายุ.....ปี
ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวเสริมโปรตีนจากปลาข้าวสารชุดที่..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างต่อไปนี้อย่างระมัดระวังจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนตามความรู้สึกของท่าน
โดย

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก
9 = ชอบมากที่สุด

กรุณาป้อนปากก่อนชิมตัวอย่างทุกครั้ง

	รหัสตัวอย่าง		
ลักษณะปรากฏ			
สี			
กลิ่นรสปลา			
กลิ่นสมุนไพร			
ความกรอบ			
ความชอบโดยรวม			

คำแนะนำ

.....
.....
.....
.....

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก จ. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

จ.1 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์โปรตีน (buchi ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, Switzerland, distillation unit รุ่น B-324, Switzerland, scrubber รุ่น B-414, Switzerland)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (mettler toledo รุ่น AB204, Switzerland)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (A.R. grade)
2. สารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.1 N
3. สารละลายกรดบอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 4% (w/v)
4. Anhydrous CuSO_4 และ Anhydrous K_2SO_4
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 35% (w/v)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยผสมสารละลาย methylene blue 0.2% ในแอลกอฮอล์ แล้วกรอง 25 มิลลิลิตร กับสารละลาย methyl red 0.2% ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.5-1 กรัมใส่ลงใน Kjeldahl flask เติม anhydrous CuSO_4 0.1 กรัม anhydrous Na_2SO_4 2 กรัม และ conc. H_2SO_4 25 มิลลิลิตรใส่ antibumping chip 2-3 เม็ดลงใน Kjeldahl flask
2. ตั้งอุณหภูมิของเครื่องย่อยไว้ที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 20 นาทีและเปลี่ยนระดับอุณหภูมิเป็น 380 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงหรือจนกว่าสารละลายสีทิ้งให้สารละลายเย็น
3. ติดตั้งเครื่องมือกลั่นให้ปลายของ condenser จุ่มลงในสารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร หยดเมทิลเรด 2-3 หยด
4. เติม NaOH ร้อยละ 50 ปริมาตร 50-70 มิลลิลิตร ลงใน Kjeldahl flask โดยขั้นตอนนี้ NaOH ถูกเติมโดยเครื่องกลั่น
5. เก็บสารละลายที่กลั่นได้จากนั้นไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน HCl เข้มข้น 0.1 N จนได้จุดยุติเป็นสีชมพู
6. คำนวณร้อยละของไนโตรเจนในตัวอย่าง แล้วใช้ conversion factor เท่ากับ 6.25 หาร้อยละของโปรตีนในตัวอย่าง

$$\text{ร้อยละของไนโตรเจน} = \frac{(\text{มิลลิลิตร HCl} - \text{มิลลิลิตร Blank}) \times \text{Normality of HCl} \times 14.007 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)}}$$

$$\text{ร้อยละของโปรตีน} = \text{ร้อยละของไนโตรเจน} \times 6.25$$

หมายเหตุ ใช้น้ำกลั่นเป็น Blank ซึ่งน้ำหนักให้ใกล้เคียงกับตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน HCl ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐาน 0.1 N NaOH โดยมี phenolphthaleine เป็น indicator

จ.2 การวิเคราะห์ไขมัน (AOAC, 1990)

อุปกรณ์

1. Soxhlet apparatus (รุ่น S-226, Germany)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างใส่ thimble ประมาณ 2-5 กรัม แล้วนำทั้ง thimble นั้นไปใส่ในเครื่อง Soxhlet extractor
2. ชั่งน้ำหนักของ extraction cup แล้วเติมตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปใส่ในเครื่อง extraction unit
3. ทำการสกัด (boiling) นาน 90 นาที และทำการชะล้าง (rinsing) นาน 180 นาที
4. นำ extraction cup ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นนาน 30 นาทีเพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป
5. นำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นและนำมาชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ร้อยละของไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

จ.3 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (1995)

อุปกรณ์

1. Crucible (crucible)
2. เตาเผา (muffle furnace, carbolite รุ่น CWF 1200, England)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (mettler toledo รุ่น AB204, Switzerland)
4. โถดูดความชื้น (desiccators)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25% (w/v)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25% (w/v)

3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

จ.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ดัดแปลงจาก AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furnace, carbolite รุ่น CWF 1200, England)
2. ครุฑีเบิล (crucible)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (mettler toledo รุ่น AB204, Switzerland)
4. โถดูดความชื้น

วิธีทดลอง

1. เเผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องชั่งน้ำหนักทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ในแต่ละซ้ำต่างกันไม่เกิน 3 มิลลิกรัม) บันทึกผล
2. ชั่งตัวอย่างละเอียดประมาณ 2 กรัมลงในถ้วยกระเบื้องเผาบนเตาฟ้าจนหมดควัน
3. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจนกระทั่งได้เถ้าสีขาวสม่ำเสมอ นำออกจากเตาเผาเก็บไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องชั่งน้ำหนักทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ในแต่ละซ้ำต่างกันไม่เกิน 3 มิลลิกรัม)
4. คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนที่เหลือจากการเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

จ.5 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

วิธีคำนวณ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต = 100 – ร้อยละ (ความชื้น+โปรตีน+เถ้า+เส้นใย+ไขมัน)

7. ขนมอบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวเยื่อใดที่คุณบริโภคเป็นประจำ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- 1) ☐ ชินมัย 2) ☐ โตโตะ 3) ☐ โอเซน
 4) ☐ ทวิสตี้ 5) ☐ คาราดา 6) ☐ เซมเป้
 7) ☐ อะราเร่ 8) ☐ สินค้าOTOP 9) ☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

8. คุณบริโภคขนมอบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวเฉลี่ยกี่ครั้งต่อสัปดาห์

- 1) ☐ นานๆครั้ง 2) ☐ 1-2 ครั้ง
 3) ☐ 3-4 ครั้ง 4) ☐ 5-6 ครั้ง
 5) ☐ มากกว่า 6 ครั้ง 6) อื่นๆ โปรดระบุ.....

9. ปริมาณการซื้อขนมอบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวในแต่ละครั้ง

- 1) ☐ 1-2 ซอง 2) ☐ 3-4 ซอง
 3) ☐ 5-6 ซอง 4) ☐ มากกว่า 6 ซอง
 5) ☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

10. ปกติคุณซื้อขนมอบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวจากที่ไหนมากที่สุด

- 1) ☐ ร้านสะดวกซื้อ/มินิมาร์ท (7- eleven, 108 Shop)
 2) ☐ ซูเปอร์มาเก็ต
 3) ☐ ห้างสรรพสินค้า (โลตัส บิ๊กซี)
 4) ☐ ร้านจำหน่ายของชำทั่วไป
 5) ☐ ร้านขายของฝาก
 6) ☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

11. เหตุผลในการเลือกซื้อขนมอบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวของคุณ

เหตุผล	ใช่	ไม่ใช่
9. เลือกซื้อเพราะอร่อยถูกปาก		
10. เลือกซื้อเพราะมีประโยชน์ต่อร่างกาย		
11. เลือกซื้อเพราะมีรูปแบบ/สีสันสวยงาม		
12. เลือกซื้อตามเพื่อน		
13. เลือกซื้อเพราะได้ของแถม		
14. เลือกซื้อเพราะมีการลดราคา/ราคาถูก		
15. เลือกซื้อเพราะเห็นโฆษณาทางทีวี		
16. เลือกซื้อเพราะดูหรูหรา/มีราคาแพง		

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นของผู้บริโภค

12. ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าว

ความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็นที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าว				
	เห็นด้วย อย่างยิ่ง	เห็นด้วย	เฉยๆ	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย อย่างยิ่ง
1. กลิ่นรสของขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าว ควรมีมากกว่าในปัจจุบัน					
2. ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวในปัจจุบันมีประโยชน์ต่อร่างกาย					
3. รูปแบบขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวควรมีหลากหลายกว่าในปัจจุบัน					
4. ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวควรเปลี่ยนรูปแบบหีบห่อ/บรรจุภัณฑ์					
5. ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากข้าวในปัจจุบันควรมีการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ					

13. ข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณ

ภาคผนวก ข. ผลงานที่มีการเผยแพร่ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวขึ้นรูปเสริมคุณค่าทางโภชนาการจากปลายข้าว

As. J. Food Ag-Ind. 2009, 2(02), 166-170

**Asian Journal of
Food and Agro-Industry**

ISSN 1906-3040

Available online at www.ajofai.info

Research Paper

Effect of drying and frying time on textural and sensory characteristics of popped rice

Samatcha Phanitcharoen, Anon Maliket and Prasong Siri Wongwilaichat*

Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000 Thailand.

*Author to whom correspondence should be addressed, email: siriwong@su.ac.th

This paper was originally presented at Food Innovation Asia 2009, Bangkok, Thailand, June 2009.

Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of drying time and frying time on the textural and sensory characteristics of popped rice to be used as an ingredient base for snack bars. The broken sticky rice was steam-cooked before drying at 65°C for 2, 3 and 4 hours. The popped rice was then prepared by deep fat frying the dried rice at 210°C for 5, 10 and 15 seconds. The product quality was evaluated for moisture content, water activity, colour, texture and sensory perceptions. It was found that the drying time significantly affected the product colour ($p < 0.05$). However, the effect of frying time on final product quality was not significant at any given drying time ($p > 0.05$). The colour of the fried product obtained from cooked broken sticky rice dried for 2 hours was significantly lighter than that dried for 3 and 4 hours. The hardness of product measured as peak compression force increased with increasing drying time. Sensory evaluation indicated that the product obtained from drying cooked sticky rice for 3 hours, followed by deep fat frying for 10 seconds was the most acceptable.

Keywords: snack food, popped rice, drying, frying, textural characteristics, Thailand

Introduction

Sticky or glutinous rice is produced and widely consumed in Thailand. Its lack of amylase provides good properties for producing various porous textured products, such as popped, fried or baked snacks [1]. Nevertheless, the broken sticky rice has not been fully developed for value added products. Popped rice is one of the most well known puffed snacks in Thailand. It could be also used as an ingredient base for various snack bars, thus considered for this study. The main process of popped rice preparation includes steaming, drying and frying [2]. Initial moisture content of rice before frying is a major factor influencing final product quality. With lower initial moisture content, the lower oil content is absorbed inside the fried product [3]. Thus, pre-fry drying is a significant process determining the final product quality [4]. Frying time and temperature also influence the product characteristics, especially texture and colour [5, 6, 7]. It has been reported that increasing frying time and temperature causes deep fried rice crackers to become harder [1].

The objective of this study was to investigate the effect of drying time and frying time on the textural and sensory characteristics of popped rice to be used as an ingredient base for snack bars.

Materials and Methods

Materials

Broken sticky rice, Palm oil, Sucrose, Salt, Water

Equipment

Thermometer, Deep fat fryer, Tray dryer, Texture analyzer (TA-XT2i, New York, USA), Colour-view Spectrophotometer, Water activity meter (thermoconstanter), hot air oven.

Methods

For each treatment, sticky rice of 200 g was washed and soaked in water for 1 h, then drained before steaming at 100°C for 30 min. The steamed rice was dried in a tray dryer at 65°C followed by frying at 210°C. Two variables, drying time and frying time, were included in this study. Drying time was varied at 2, 3, and 4 h. Frying time was varied at 5, 10 and 15 s, respectively using 3² factorial design. Two replications were performed for each experiment. The fried popped rice was evaluated for moisture content, water activity, colour, texture (probe p/100, compression plate, loading speed of 1.5 mm/s, with a 25 kg load cell) and sensory perceptions. For sensory evaluation, popped rice bar was prepared using binding syrup comprising 2 g of salt, 175 g of sucrose and 175 g of glucose syrup with 650 g of popped rice. Out of six treatments, the top three samples were selected using a ranking test with 40 untrained panelists as tasters. Hedonic scale (from 1-extremely dislike to 9-extremely like) was also applied with 40 untrained panelists as tasters for product acceptance evaluation. The product colour, biting hardness, crispiness and overall liking were evaluated.

Results and Discussion

Rice Steaming and Drying Preparation

Steamed rice was prepared and dried before frying to obtain popped rice. During drying, samples were collected at 2, 3 and 4 hours for moisture content determination. The results are presented in Table 1. Rice moisture content decreased with increased drying time. The samples with varied levels of moisture content were then used for frying experiments.

Table 1. Moisture content of dried rice.

Drying time at 65°C (h)	Moisture content (% dry basis) (mean±s.d.)
2	9.85±0.02
3	5.45±0.01
4	3.47±0.01

Rice Frying

Rice frying experiments were conducted to examine the effect of initial moisture content of rice before frying and frying time on popped-rice characteristics. After frying, the product's water

activity varied between 0.3-0.4. It was found that the colour of popped rice as indicated by L*, a*, and b* (Table 2) became a darker yellow when initial moisture content of rice was lower (longer drying time). However, only popped rice dried for 2 hours with the highest initial moisture content gave significantly different colour from that of rice dried for 3 and 4 hours (p<0.05).

Table 2. Effect of drying and frying time on popped rice colour.

Drying time (h)	Frying time (S)	Colour ¹ (mean $\pm$ s.d.)		
		L*	a*	b*
2	5	74.12 $\pm$ 4.21 ^a	2.49 $\pm$ 1.61 ^b	20.33 $\pm$ 2.10 ^c
	10	72.96 $\pm$ 2.00 ^a	2.96 $\pm$ 1.63 ^b	22.86 $\pm$ 2.58 ^c
	15	72.73 $\pm$ 3.52 ^a	3.94 $\pm$ 1.84 ^b	22.57 $\pm$ 2.02 ^{bc}
3	5	65.16 $\pm$ 0.26 ^b	8.51 $\pm$ 0.91 ^a	26.97 $\pm$ 0.22 ^a
	10	64.94 $\pm$ 1.59 ^b	7.29 $\pm$ 0.58 ^a	24.57 $\pm$ 0.61 ^{ab}
	15	64.44 $\pm$ 0.45 ^b	8.05 $\pm$ 0.87 ^a	26.79 $\pm$ 1.01 ^a
4	5	62.69 $\pm$ 0.56 ^b	8.47 $\pm$ 0.85 ^a	26.92 $\pm$ 0.98 ^a
	10	62.38 $\pm$ 0.04 ^b	7.96 $\pm$ 0.44 ^a	27.33 $\pm$ 0.69 ^a
	15	61.234 $\pm$ 0.58 ^b	8.04 $\pm$ 0.68 ^a	27.025 $\pm$ 1.02 ^a

Note: ¹Letters a, b, and c indicate significantly different mean values in the same column.

Texture of popped rice was measured as peak compression force as shown in Figure 1. The results indicated that at a given drying time, the peak compression force of fried product tended to reach the maximum at 10 minutes of frying. However, the peak compression force increased with increasing drying time or when the initial rice moisture content was lower. This was in agreement with the results reported by Sukumar *et al* [8], that the hardness of fried chickpea flour-based snack increased at the lower moisture content of the pre-fried product.

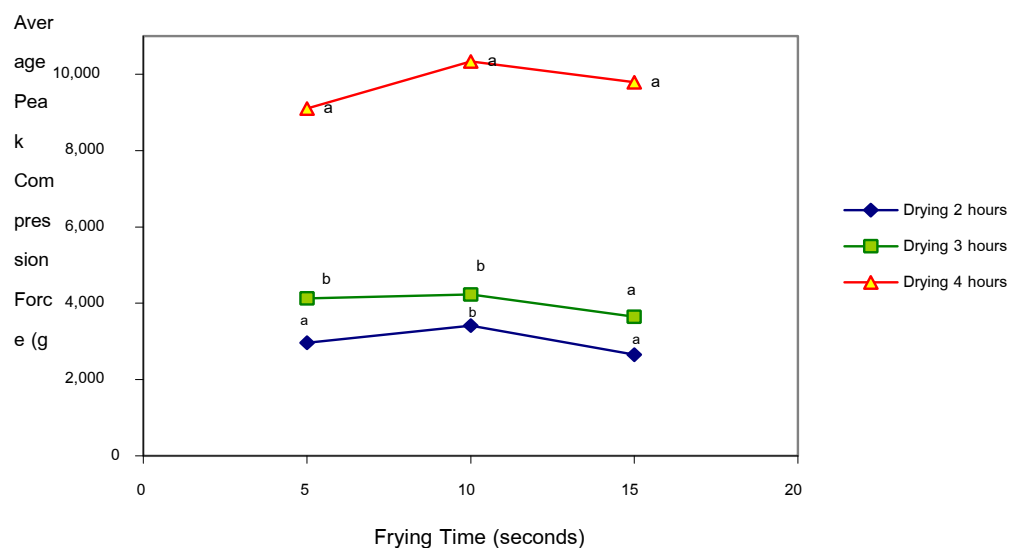


Figure 1. Effect of rice drying and frying time on popped rice hardness.

Note: Letters a and b indicate significant difference in mean values of the same line.

Three product treatments including drying 2 hours, frying 10 seconds, drying 2 hours, frying 15 seconds and drying 3 hours, frying 10 seconds were chosen by ranking preference test. To evaluate the consumer's preference of the popped rice, plain rice snack bar was prepared. Hedonic score was employed.

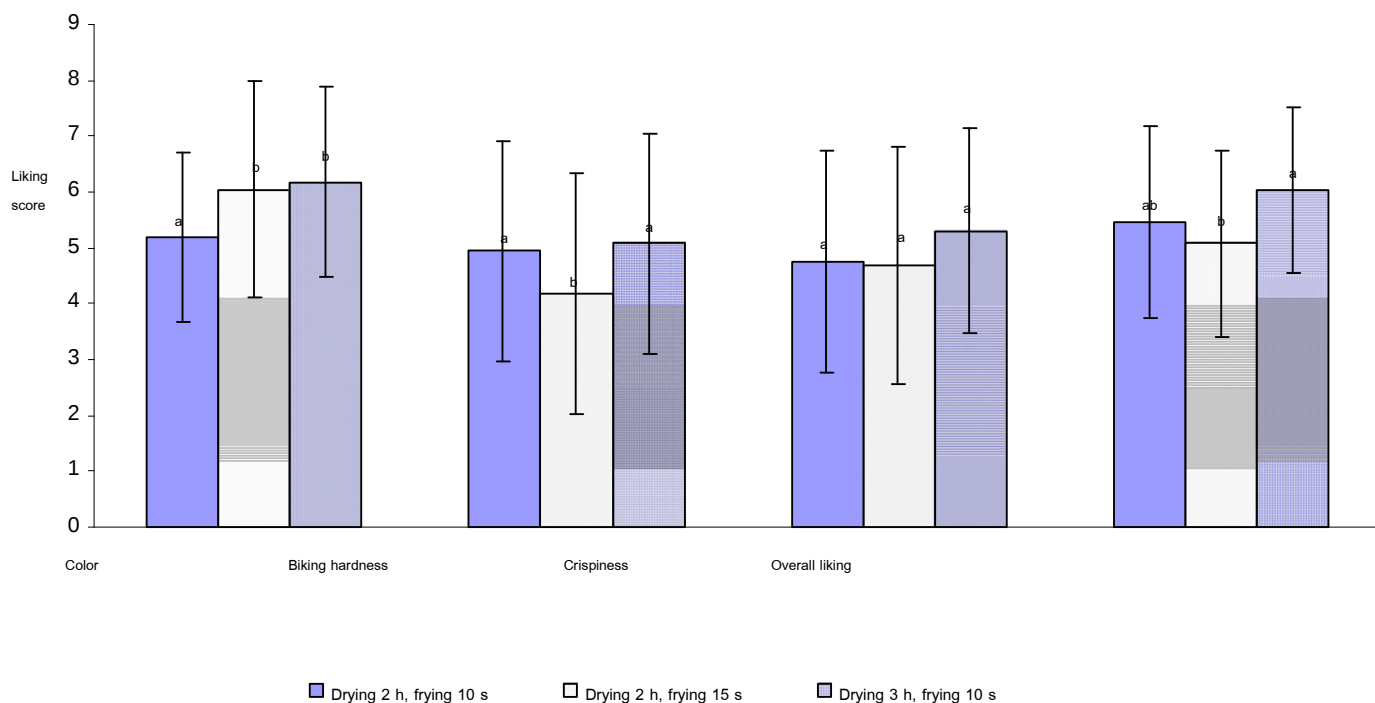


Figure 3. Preference score of popped rice snack bar.

The results shown in Figure 2 indicate that the product prepared from 3 hours of drying, followed by 10 seconds of frying, received the highest overall liking score ($p < 0.05$). It was noticed that the most acceptable product also provided the highest colour and texture liking scores. Nevertheless, the crispiness liking scores of all samples were not significantly different ($p > 0.05$).

Conclusions

The experimental results showed that popped rice characteristics were associated with the initial moisture content prior to frying and frying time. According to this study, drying cooked rice for 3 hours (moisture content of about 3.47% d.b.) followed by 10 seconds of deep-fat frying was the best condition for popped rice preparation.

Acknowledgement

This research was sponsored by the Research and Development Institute, Silpakorn University, Thailand.

References

1. Maneerote, J., Noomhorm, A. and Takhar, P.S. (2009). Optimization of processing conditions to reduce oil uptake and enhance physico-chemical properties of deep fried rice crackers. **LWT-Food Science and Technology**, 42, 805-812.
2. Niyomwit, N. (1989). Rice processing. (Lecture). Seminar on Food Processing and Consulting Clinic; 27-28 June, 1989; Industrial Development Center, Department of Industrial Promotion, Bangkok, Thailand, pp. 1-13.
3. Sharma, S.K., Mulvancy, S.J. and Rizvi, S.S.H. (2000). Food Processing Engineering Theory and Laboratory Experiment. John Wiley & Sons, Canada, p. 259-265.

4. Debnath, S.; Bhat, K.K.; Rastogi, N.K. (2003). Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. **LWT-Food Science and Technology**, 36, 91-98.
5. Varela, G. W. (1998). Current Facts about the Frying of Food.” In *Frying Of Food: Principle, Changes, New Approach*, Edited by Varela, G., Bender, A.E. and Morton, I.D., Chichester, Ellis Horwood, pp. 9-25.
6. Math, R.G.; Velu, V., Nagender, A. and Rao, D.G. (2004). Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of padpad. **Journal of Food Engineering**, 64, 429-434.
7. Kita, A., Linsinska, G. and Golubowska, G. (2007). The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. **Food Chemistry**, 102, 1-5.
8. Sukumar, D., Bhat, K.K. and Rastogi, N.K. (2003). Effect of pe-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. **LWT-Food Science and Technology**, 36, 91-98.

14th -15th June 2012

BITEC Bangna, Bangkok, Thailand

PG-45

Development of Protein Enriched Rice Snack Bar from Enchovy*Tunyarat Puttasanguanporn¹, Pichaya Pornwiwatthada¹,**Prasong Siriwongwilaichat^{1,*}*

¹ Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University,
Amphur Mueng, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

* Corresponding author: deersong1@yahoo.com

Abstract

Most snacks are usually regarded as unhealthy and high calories foods. Nevertheless, growth in this category's market and consumers' demand for nutritious products leading to nutritional snack product development opportunity for the Thai market. Such products are mostly developed as cereal based snack bars which are convenient for consumption, handling and storage. The aim of this study was, therefore, to develop rice snack bar from anchovy which is high not only in protein but also minerals. Central composite design was employed to optimize the amounts of fried red onion (range of 1.07-2.85%) and fried anchovy (range of 12.48-16.04%) with other fixed ingredients (crispy rice, cashew nut, dried kaffir lime leaves, sucrose, glucose syrup and water). Nine product recipes created from these two variables combinations were obtained by Design Expert program (version 6.0). The products were then evaluated by 50 untrained panels for sensory liking score using 9-point hedonic scale. Product attributes evaluated for liking score included onion flavour, fish flavour and overall, respectively. According to regression analysis, it was found that onion flavour liking score was positively associated with overall liking score. On the other hand negative relationship with overall liking score was found for fish flavour liking score. With regard of overall liking score and cost consideration, the optimized recipe was chosen as a product prototype which was rated as like slightly (average overall liking score of 6.60). The optimized combination of prototype recipe contained 12.48% of fried anchovy and 1.07% of fried red onion giving a product with 16.9% protein content,

hardness of 70.82 N and Aw of 0.228. The result provided useful formulation information for further industrial scale production. *Keywords: rice, snack bar, anchovy, fish, protein*

Introduction

Snack bar is a product usually eaten between the meals. Its main ingredients include dried materials (such as cereals, nuts, and dehydrated fruits) and binding agents such as syrup which not only sweetens the product but also helps combine all dried ingredients to form the product. Some minor ingredients such as milk powder and yoghurt powder might be added to improve nutritional value. Adding any other ingredients would impart product characteristics such as texture and flavour (Booth, 1990; Lasekan et al., 1996; Ding et al., 2005; Saeleaw et al., 2012).

In the Thai market, snack bar is not a large category and limited to healthy items. However, increase in consumers' demand for nutritious foods leads to nutritional snack product development opportunity for the Thai market.

Anchovy (*Stolephorus spp.*) is a high protein fish (52%) (Muhammadar et al., 2011) and rich of minerals such as calcium and phosphorous. It is therefore a good materials for development of nutrients enriched food products. In the Thai market, anchovy commonly eaten as snack which is mostly found in the form of either dried or fried whole fish seasoned with salt, sugar, herbs and spices. There are few commercial crispy snacks using ground anchovy as an ingredient and some are still limited to the research scale. Nevertheless, there were previous studies on fish and high protein rice-based snack but they were focused mainly on processing variables (Pansawat et al., 2008, Chaiyakul, 2009). There was little information on the formulation to obtain specific nutritional value of such products.

According to the study of Bower and Whitten (2000), 'taste' was ranked as the most important characteristic influencing consumers' purchase intent, followed by textural features, 'price' and 'appearance', respectively. The purpose of this study was consequently to formulate the rice snack bar enriched with protein from anchovy to meet consumers' satisfaction of the product taste. Response surface methodology (RSM) based on central composite design was employed for the product formulation (Hu, 1999).

Materials and Methods

Ingredients for developing rice snack bar comprised puffed rice, cashew nut, anchovy, fried red onion, dried kaffir lime leaves, sugar, glucose syrup, salt and water. The preliminary product formulation was carried out to determine the key variables for further development.

Product preparation: Glucose syrup, sugar and water were mixed and heated to obtain the concentration of 75-79 °Brix. The dried ingredients were then added, mixed well before forming in the square shaped tray with aiding of kneading roll. The tray containing the formed products was then baked at 80 degree Celsius for 10 minutes followed by cutting into square-shaped pieces (approx. 2.5x1.5x8.0 cm³). The product was allowed to cool down to atmospheric temperature before packing and stored for further analysis.

The primary trial product was sensorial tested by 100 untrained panels using 9-point hedonic scale for overall liking with Just-About-Right scale for product attributes evaluation including color, onion flavour, fish odor, sweetness, saltiness and hardness. Onion and anchovy were significant variables contributing to product acceptance. Therefore, the subsequent experiment was conducted using response surface methodology (RSM) based on central composite design (CCD). According to the preliminary product study, range of onion amount in the product recipe was set at 1.07-2.85% whilst that of anchovy was 12.4816.04%. Based on these pre-determined variables, nine product recipes were generated by Design-Expert version 6.0.5. All experimental products were then evaluated for hardness (Texture analyzer, TA.XT2, cylinder probe diameter of 5.0 cm., speed 20 mm/s, pressing at 60% of sample height, sample size of 15x15x15 mm³), water activity and sensory liking score (9-point-hedonic scale by 50 untrained panelists). The final product prototype was tasted by 60 panelists. Protein content in the optimized product was analyzed (AOAC, 2000). All mean values were compared using Duncan's New Multiple Range Test at 95% confidence.

Results and Discussions

According to the sensory evaluation of the preliminary product, it was found that the product was rated as "like slightly" (average hedonic score = 6.45±1.05). JAR test of product attributes as shown in Figure 1 indicated that onion flavor and fish odor require further improvement.

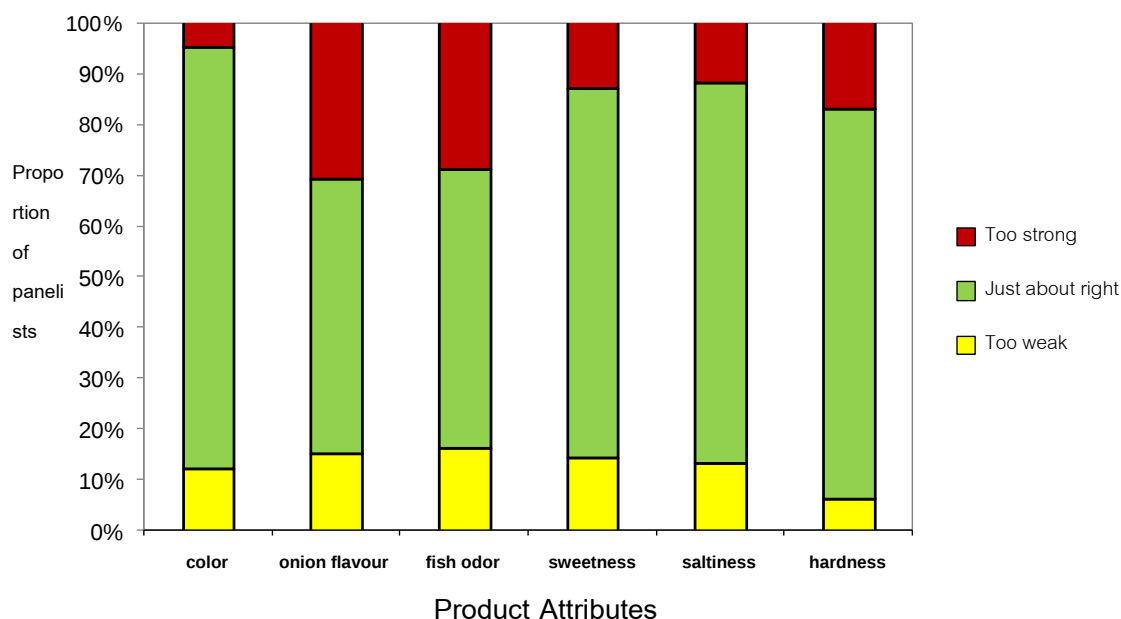


Figure 1 Attributes intensity of preliminary product as evaluated by 100 untrained panelists using JAR.

Thus, amounts of fried red onion and fried anchovy were variables of interest for product formulation. Central composite design with two factors including fried red onion range of 1.07-2.85%w/w and fried anchovy range of 12.48-16.04 %w/w was generated by Design-Expert version 6.0.5, to obtain 9 product recipes one of which was a center point. The products were then sensory evaluated by 50 panelists using 9-point hedonic scale. The result is presented in Table 1. All products had similar hardness (0.711-0.731 N) and A_w (0.2280.278). It could be observed that product recipe 1, 2, 4, 8 and 9 were not significant different in liking score ($p>0.05$). The similar results were found for onion flavor liking score and fish odor liking score. Regression analysis provided the following relationship.

$$\text{Liking score} = 6.33 + 0.050(\text{onion liking flavour score}) - 0.33(\text{fish orodor liking score}); R^2 = 0.69$$

The influence of fried anchovy and fried red onion on overall liking score, onion flavour liking score and fish odor liking score could be graphically exhibited in Figure 2-4, respectively. It was noticed that increasing anchovy led to lower overall and fish odor liking scores, possibly due to too strong fish odor (Figure 2 and 4). On the other hand, fried red onion seemed to impart positive effect on overall liking scores. Onion flavour liking score was not associated to amount of fried anchovy and fried red onion (Figure 3). According to the prediction by Design-Expert, the recipe, containing fried red onion amounting 2.85%w/w and fried anchovy amounting 12.48%w/w, which was incidentally being recipe 1, was found optimum.

Table 1 Liking scores, physical and chemical attributes of products containing different proportions of fried red onion and fried anchovy formulated according to central composite design.

Product recipe	Ingred (%w/w)		Attributes liking scores			Physical attributes	Chemical attributes
	Fried red onion	Fried anchovy	Overall	Onion flavour	Fish odor	Hardness (N)	Aw
1	2.85	12.48	6.5 ^{ab}	5.9abcd	6.3 ^{ab}	0.715	0.243
2	3.22	14.26	6.4 ^{ab}	6.0abcd	6.3 ^{ab}	0.711	0.251
3	2.85	16.04	6.0 ^{bc}	5.5 ^d	5.7 ^b	0.729	0.260
4	0.7	14.26	6.5 ^{ab}	5.9abcd	6.0 ^{ab}	0.715	0.278
5	1.96	14.26	6.3 ^c	5.8 ^{bcd}	5.8 ^b	0.729	0.270
6	1.07	16.04	5.5 ^b	5.6 ^{cd}	5.8 ^b	0.712	0.264
7	1.96	16.78	6.2 ^b	6.2 ^{abc}	6.0 ^{ab}	0.72	0.235
8	1.96	11.74	7.0 ^a	6.4 ^{ab}	6.8 ^a	0.731	0.250
9	1.07	12.48	6.5 ^{ab}	6.5 ^a	6.3 ^{ab}	0.723	0.228

Note: The superscript letters indicate significant differences in mean liking scores amongst products at 95% confidence.

DESIGN-EXPERT Plot
Overall liking
X = A: Onion
Y = B: Anchovy

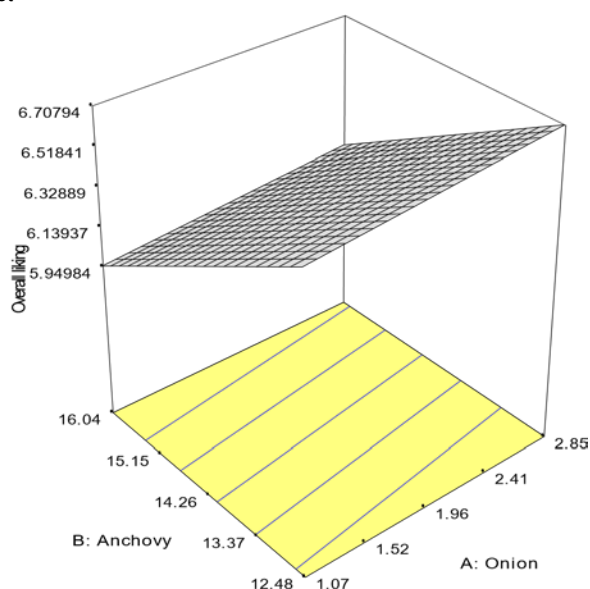


Figure 2 Effect of anchovy and onion on overall liking score.

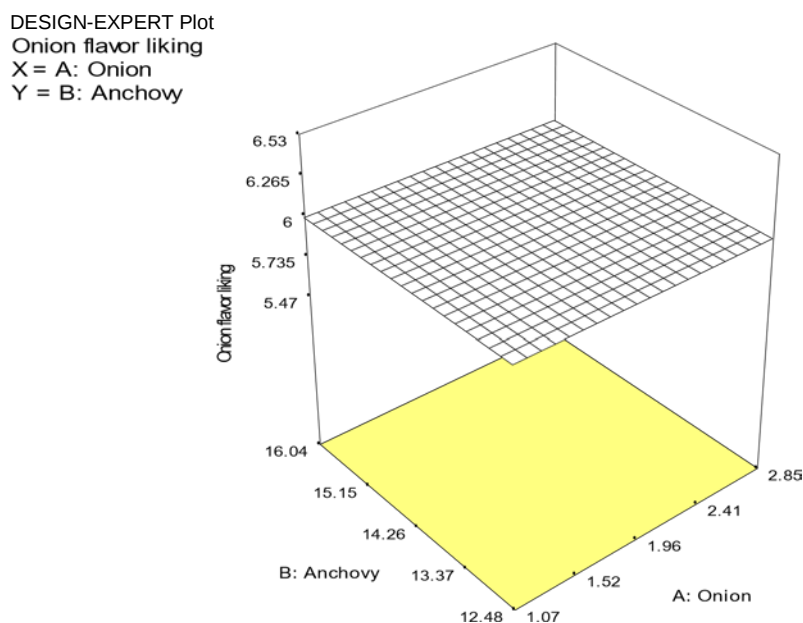


Figure 3 Effect of anchovy and onion on onion flavour liking score.

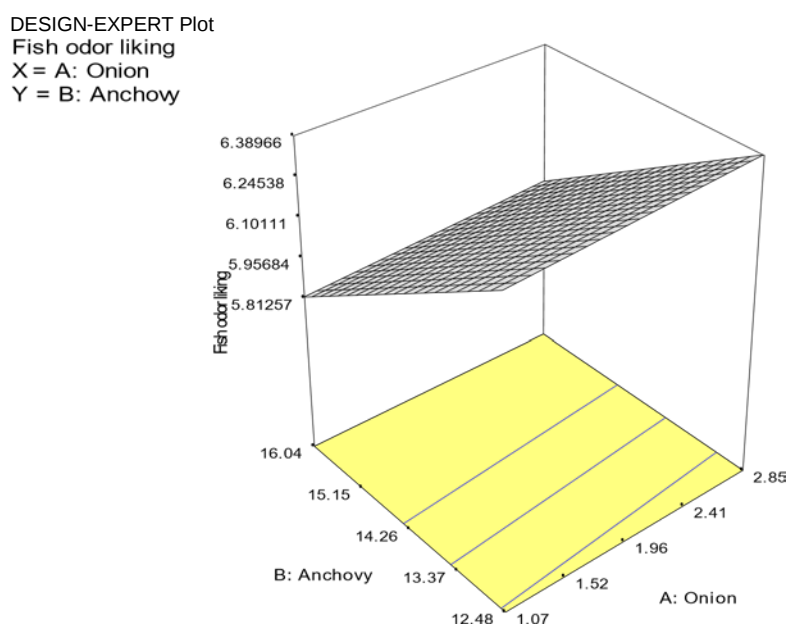


Figure 4 Effect of anchovy and onion on fish odor liking score.

In order to validate the predicted recipe, the subsequent experiment was conducted to repeat the recipe 1 and 9 as justified by overall liking score, cost and protein content. Sensory evaluation using 9-point hedonic scale was carried out to examine the product characteristics including appearance, color, fried anchovy flavour, fried red onion flavour and overall liking. The results are presented in Table 2. It was found that there was no significant difference between

the two recipes in all attributes ($p>0.05$). Thus, recipe 9 was chosen as a product prototype because it gave lower cost. It contained protein approximately 16.9%.

Table 2 Liking scores of validated products selected from the CCD experiment.

Product recipe	Protein (%w/w)	Raw materials Cost (Bahts/100g)	Ingredients (%w/w)				Attribute scores		
			Fried	Fried	Appeara	Color	Fried	Fried red	Overall ^{ns}
			red anchovy	onion	n	ns	anchovy flavour ^{ns}	onion flavour ^{ns}	
1	16.3	14.85	2.85	12.48	6.3	6.3	6.5	6.9	6.8
9	16.9	14.59	1.07	12.48	6.8	6.7	6.1	6.4	6.6

Note: The 'ns' is designated as not significant different.

Acknowledgements

This research was financially supported by Silpakorn University Research and Development Institute (SURDI).

References

- AOAC. 2000. Association of official analytical chemists: Official Methods of Analysis. 16th Edition. Washington, DC.
- Booth, RB. 1990. Snack Food. New York: AVI, 409 p.
- Bower, JA, Whitten, R. 2000. Sensory characteristics and consumer liking for cereal bar snack foods. *Journal of Sensory Studies*, 15(3): 327–345.
- Chaiyakul, S, Jangchud, K, Jangchud, A, Wuttijumnong, A, 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(3):781–787.
- Ding, Q, Ainsworth, P, Tucker, G, Marson, H. 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks Original. *Journal of Food Engineering*, 66(3):283-289.
- Hu, R. 1999. Food Product Design: A Computer Aided Statistical Approach. U.S.A.: Technomic Publishing Co., Inc. 225 p.
- Lasekan, OO, Lasekan, W, Idowu, MA, Ojo, OA. 1996. Effect of Extrusion Cooking Conditions on the Nutritional Value, Storage Stability and Sensory Characteristics of a Maize-Based Snack Food. *Journal of Cereal Science*, 24(1):79-85.

Muhammadar, AA, Mazlan, AG, Samat, A, Muchlisin, ZA, Simon, KD. 2011. Crude protein and amino acids content in some common feeds of tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) juvenile. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 4(4): 499.

Pansawata, N, Jangchuda, K, Jangchuda, A, Wuttijumnonga, P, Saaliac, FK, Eitenmillerb, RR, Phillipsc, RD. 2008. Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks. *LWT - Food Science and Technology*, 41(4): 632–641.

Saeleaw, M, Dürschmid, K, Schleining, G. 2012. The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering*, 110(4):532-540.

ประวัติและผลงานวิจัยที่สำคัญของนักวิจัย

ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

ตอนที่ 1 ประวัติทั่วไป

1. ชื่อ – สกุล นายประสงค์ สิริวงศ์วิไลชาติ

Mr. Prasong Siriwongwilaichat

2. วัน เดือน ปีเกิด 2 กรกฎาคม 2510 (เพื่อเก็บในฐานข้อมูลนักวิจัย)

3. หมายเลขประจำตัวประชาชน (ต้องระบุ) 3 7105 00119 62 5

4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน

☐ ข้าราชการ

☐ พนักงาน

o อาจารย์

o ชำนาญการ

o ผู้ช่วยศาสตราจารย์

o เชี่ยวชาญ

o รองศาสตราจารย์

o เชี่ยวชาญพิเศษ

o ศาสตราจารย์

o อื่นๆ (โปรดระบุ).....

5. สถานที่ทำงาน

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ม. ศิลปากร

โทรศัพท์ 034 219361 โทรสาร 034219361 e-mail address: deersong1@yahoo.com

ที่อยู่ปัจจุบัน

บ้านเลขที่.....49/5 ม. 6.....ซอย/ถนน.....-.... ตำบล.....ลำพญา.....

อำเภอเมือง.....จังหวัด.....นครปฐม.....

โทรศัพท์.....0818661068.....โทรสาร.....034219361.....

6. ประวัติการศึกษา

- ปริญญาตรีสาขา.....พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร.....สถาบัน..ม.

เกษตรศาสตร์

ปีที่จบ.....2532.....

- ปริญญาโทสาขา.....Post Harvest Technology.....สถาบัน.....AIT.....

ปีที่จบ.....2536.....

- ปริญญาเอกสาขา.....Food Technology.....สถาบัน.....Massey University, New

Zealand.... ปีที่จบ.....2544.....

7. วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา (ชื่อเรื่อง/ปีที่ดำเนินการ ทั้งระดับปริญญาโทและปริญญาเอก)

- ระดับปริญญาโท

ชื่อเรื่อง The Effect of Processing Parameters on the Quality of Tamarind
Concentrate ปีที่ดำเนินการ 2536
- ระดับปริญญาเอก
ชื่อเรื่อง Technical Information Capture for Food Product Innovation in Thailand

ตอนที่ 2 ผลงานทางวิชาการ

1. Apichartsarangkool, A., Suwannakarn, S., **Siriwongwilaichat, P.**, Raweeyan, P. and Ratchatanapun. 1994. The Study of Trend and Potential of Commercial Vegetarian Food Production. Research funded by Thailand Research Institute of Science and Technology.
2. **Siriwongwilaichat, P.**, Penroj, P. and Mahayothee, B. 1995. Development of Salad Oil from Soybean and Corn Oil. Research funded by Cheer (Thailand) Co.,Ltd.
3. **Siriwongwilaichat, P.** Winger, R.J., Kirkpatrick, K., and Haruthaithanasan, V. 2001. Technical Sources for Branded Food Product Development in Thailand. In 11th World Congress of Food Science and Technology: Abstract, Seoul, Korea, p. 242.
4. **Siriwongwilaichat, P.** and Moughan, P.J. 2002. The APEC Food System: Linking international technology and the food industry. FMCG,8(3):64, 86.
5. **Siriwongwilaichat, P.** 2002. Environment of Food Product Innovation in Thailand. A Presentation at THAIFEX & THAIMEX 2002: Thai Food for Country Development and Export. Bangkok, Thailand.
6. Winger, R.J., Wilkinson, B. and **Siriwongwilaichat, P.** 2001. A Review of the Food Product Innovation Process. Overview and Report for Meat and Livestock Australia, Institute of Food. Nutrition and Human Health, Massey University, New Zealand.
7. Udomkun, P., Tantipasvasin, S. and **Siriwongwilaichat, P.** 2003. Textural characteristics of dietary added fiber rice cracker. A poster presentation at THAIFEX & THAIMEX 2003: Innovation of Health Food Products, Bangkok, Thailand.
8. **Siriwongwilaichat, P.** and Winger, R.J. 2004. Technical knowledge for food product innovation in Thailand. Agribusiness: An International Journal, 20(3):p. 233-252 (July).

9. Palakajornsak, Y. and **Siriwongwilaichat, P.** 2004. Anthocyanins Extraction from Mangosteen Peel. The 6th Agro-Industrial Conference: Food Safety, Thai Strategies Towards the World's Kitchen. 28-29 May, Bangkok, Thailand.
10. ขวัญฤดี คุ่มเจริญ, นฤชยา โพธิ์เทศ และ **ประสงค์ ศิริวงศ์ไธชาติ.** 2546. ผลของการใช้ชาเขียวต่อคุณลักษณะของครีมสลัดระหว่างการเก็บรักษา: การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 6 อาหารปลอดภัย พัฒนาไทยสู่ครัวโลก 28-29 พ.ค. 2547, ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุมอิมแพ็ค เมืองทองธานี กรุงเทพฯ. (Poster Presentation)
11. จิตราพร มีกุล รจนา นุชนุ่ม ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ และ **ประสงค์ ศิริวงศ์ไธชาติ.** 2548. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากผลมะกรูด. รวบรวมผลงานที่ได้รับทุน IRPUS. ประจำปี 2547. น. 116-117. (Poster Presentation)
12. ธิดาวรรณ ชำอูรัมย์ และ **ประสงค์ ศิริวงศ์ไธชาติ.** 2549. อิทธิพลของขนาดอนุภาคของสารปรุงรสต่อการรับรสของมันฝรั่งแผ่นทอด. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 8 นวัตกรรมทางอาหาร ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพฯ. (Poster Presentation)
13. จินัญญา ชกจิตัน อัมพิกา ชุกิตติกุล **ประสงค์ ศิริวงศ์ไธชาติ** และสินี หนองเต่าดำ. 2549. การตรวจสอบวัตถุเจือปนอาหารและสารปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ประมง. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 8 นวัตกรรมทางอาหาร ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพฯ. (Poster Presentation)
14. ประวิตร วินิจกุลชัย ปุยมะยม เข็มรุ่งโรจน์ **ประสงค์ ศิริวงศ์ไธชาติ** และสินี หนองเต่าดำ. 2549.ฤทธิ์ของสารสกัดจากใบชะมวงในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคในอาหารทะเล. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 8 นวัตกรรมทางอาหาร ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพฯ. (Poster Presentation)
15. Palakajornsak , Y and **Siriwongwilaichat, P.** 2006. Stability of anthocyanins extract from mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) peel. 4th International Congress on Pigments in Food, Oct. 9-12, Stuttgart-Hohenheim, Germany. (Poster Presentation)
16. Phanitcharoen, S., Maliket, A. and **Siriwongwilaichat, P.** 2007. Effects of Drying and Frying Process on Characteristics of Popped Rice. The 9th Agro-Industrial Conference: Food Innovation Asia. Bangkok, Thailand.
17. Phuangsinnoun, P., Harnkham, S. and **Siriwongwilaichat, P.** 2007. Cloud Stabilizing Properties of Pectin from Pomelo Peel in Carrot Juice. The 9th Agro-Industrial Conference: Food Innovation Asia. Bangkok, Thailand.

18. สาวิตรี วิริยะจารี บุศรากรณ์ มหาโยธี และ**ประสงค์ ศิริวงศ์ไโลชาติ**. 2550. การปรับปรุงกระบวนการล้างเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพของผักกาดแก้ว. รวบรวมผลงานที่ได้รับทุน IRPUS. ประจำปี 2549. น. 244. (Poster Presentation)
19. บุศรากรณ์ มหาโยธี อรุณศรี ลีจรรย์เนียร เอกพันธ์ แก้วมณีชัย ปริญญา เพ็ญโรจน์ ปราโมทย์ คุวิจิตรจาร์ บัณฑิต อินดวงศ์ วิญญู โชครุ่งกาญจน์ สินี หนองเต่าดำ **ประสงค์ ศิริวงศ์ไโลชาติ** และสุเชษฐ์ สมุหเสนีย์โต. 2550. เทคโนโลยีการผลิตกล้วยตากด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบกรีนเฮาส์และการเพิ่มมูลค่าให้แก่กล้วยตากตากเกรด. ศิลปการวิจัย ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม. (Oral Presentation)
20. รจนา นุชนุ่ม เอกพันธ์ แก้วมณีชัย โสภาค สอนไว และ**ประสงค์ ศิริวงศ์ไโลชาติ**. 2550. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว (ฟูริคาเกะ) จากพลาสติก. ศิลปการวิจัย ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม. (Poster Presentation)
21. เบญจมาศ โกมล วิยะดา แสงงาม **ประสงค์ ศิริวงศ์ไโลชาติ** และสินี หนองเต่าดำ. 2550. ผลของแป้งชนิดต่างๆต่อคุณลักษณะของขึ้นจากปลานิล. ศิลปการวิจัย ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม. (Poster Presentation)
22. ประวิตร วินิจกุลชัย สินี หนองเต่าดำ และ**ประสงค์ ศิริวงศ์ไโลชาติ**. 2550. ฤทธิ์ของสารสกัดจากเปลือกมังคุดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและการเสื่อมเสียของอาหาร. ศิลปการวิจัย ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม. (Poster Presentation)
23. **Siriwongwilaichat, P.**, Keowmaneechai, E., and Penroj, P. 2008. The Effect of Pectin from Pomelo Peel on Oil in Water Emulsion Stability. Food Innovation Asia Conference 2008: Healthy Food For All. BITEC, Bangkok, Thailand. (Poster Presentation)
24. **Siriwongwilaichat, P.**, Keowmaneechai, E., Sornwai, S., and Nuchnoon, R. 2008. Influence of particle size, sugar and salt on sensory perceptions of rice seasoning from Sepat-Siam (*Trichogaster pectoralis*). Food Innovation Asia Conference 2008: Healthy Food For All. BITEC, Bangkok, Thailand. (Poster Presentation)
25. วิไลวรรณ อางนันทน์ **ประสงค์ ศิริวงศ์ไโลชาติ** และนิรยา รัตนปนนท์. 2551. ศึกษาการสกัดสารจากเปลือกมังคุดและทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ. ศิลปการวิจัย ครั้งที่ 2 18-19 ธันวาคม 2551. มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม. (Poster Presentation)

26. Phuangsinnoun, P., Harnkham, S. and **Siriwongwilaichat, P.** 2008. Cloud stabilizing properties of pectin from pomelo peel in carrot juice. *Asian Journal of Food and Agro-industry*, 1(1), 37-42.
27. Phanitcharoen, S., Maliket, A. and **Siriwongwilaichat, P.** 2009. Effect of drying and frying time on textural and sensory characteristics of popped rice. *Asian Journal of Food and Agro-industry*, 2(2), 166-170.
28. Pengboon, N., Punsuwan, S. and **Siriwongwilaichat, P.** 2009. Formulation of flour based peanut snack using mixture design. *Proceedings: Food consumer insights in Asia, Current issues and Future, Vietnam, August 7-9, 2009.* 90-94.
29. Porntewabancha, D., Manacheewin, L. and **Siriwongwilaichat, P.** 2009. Effect of ripening acceleration on quality and shelf-life stability of fresh-cut papaya. 11th Agro-Industrial Conference, Value Creation through Innovation in Food Technology, June 18-19, 2009, BITEC, Bangkok, Thailand (Poster presentation).
30. Boonsit, S. and **Siriwongwilaichat, P.** 2010. Influence of coconut milk mixing proportion on sensory characteristics of frozen sweet sticky rice (Kao Naew Moon). *Food Innovation Asia Conference 2010: Indigenous Food Research and Development to Global Market*, June 17-18 2010, BITEC, Bangkok, Thailand (Poster presentation).
31. Porntewabancha, D. and **Siriwongwilaichat, P.** 2010. The effect of pre-treatments on drying characteristics and color of dried lettuce leaves. *Food Innovation Asia Conference 2010: Indigenous Food Research and Development to Global Market*, June 17-18 2010, BITEC, Bangkok, Thailand (Poster presentation).
32. Yuphongphithak, C., Wiriakittikun, A., Rattanapanone, N. and **Siriwongwilaichat, P.** 2010. Comparison of solvents for mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) peel extract and its antioxidant capacity in lard. *Food Innovation Asia Conference 2010: Indigenous Food Research and Development to Global Market*, June 17-18 2010, BITEC, Bangkok, Thailand (Poster presentation).
33. Huble, W. and **Siriwongwilaichat, P.** 2010. Effect of nutrient function claims labeling on consumers' purchase intention for functional drink. *Food Innovation Asia Conference 2010: Indigenous Food Research and Development to Global Market*, June 17-18 2010, BITEC, Bangkok, Thailand (Poster presentation).

34. Pumklam, R. and **Siriwongwilaichat, P.** 2011. The effect of particle size on antioxidant capacity of mangosteen peel extract. ASEAN FOOD CONFERENCE 2011: Food Innovation: Key to Creative Economy, 16-18 June, 2011, Bangkok, Thailand (Poster presentation).
35. เจนจิรา อยู่พะเนียด **ประสงค์ ศิริวงศ์ไฉชาติ** และ ดวงใจ ถิรธรรมถาวร. 2554. การประเมินค่าโครงการผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงเคลือบกรอบจากข้อมูลทางประสาทสัมผัส. ศิลปการวิจัยครั้งที่ 4 “บูรณาการศาสตร์และศิลป์ คือ ศิลปากร” 19-21 มกราคม 2554 มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม (oral presentation).
36. ทิพย์ตนยา ทิพนาศิริสกุล และ **ประสงค์ ศิริวงศ์ไฉชาติ**. 2554. ผลของวิตามินอี ออกซิเจนและแสงที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์น้ำสลัด ญี่ปุ่นและอิตาลี. นเรศวรวิจัย 7. 29-30 กรกฎาคม 2554 มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก.
37. ทิพย์ตนยา ทิพนาศิริสกุล และ **ประสงค์ ศิริวงศ์ไฉชาติ**. 2555. ผลของ สัดส่วนวัตถุดิบต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของมายองเนสลดไขมันชนิดอิมัลชันเชิงซ้อน. 2555. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ. 1st Annual Meeting of Thailand Sensory Science and Consumer Research Network 2012. 20-21 ธันวาคม 2555. ณ โรงแรมดิอิมพีเรียลแม่ปิง อ. เมือง จ. เชียงใหม่. (Poster Presentation).
38. Khuwijitjaru, P., Sayputikasikorn, N., Samuhaseneetoo, S., Penroj, P., **Siriwongwilaichat, P.**, Adachi, S. 2012. Subcritical water extraction of flavoring and phenolic compounds from cinnamon bark (*Cinnamomum zeylanicum*). Journal of Oleo Science, 61(6): 349-355.
39. **Siriwongwilaichat P.** , Angnanon, W. and and Rattanapanone' N. 2012. The Effect of Processing Variables on Antioxidative Capacity of Mangosteen Peel (*Garcinia mangostana* L.) Extract . Journal of Agricultural Science and Technology A2, 2(4), 529-536.
40. Pumklam, P. and **Siriwongwilaichat, P.** 2013. The effect of cinnamon bark extract on antioxidative rancidity in lard and soybean oil. . The 15th Food Innovation Asia Conference 2013, 14-15 June 2013. (Poster Presentation).
41. Thaokruemat, R., Pitakand, S. and **Siriwongwilaichat, P.** 2013. The Effect of Corn and Pineapple Meals Fortification on Characteristics of Dietary Fiber Supplemented Tart. การประชุมวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2-3 ธันวาคม 2556. ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ. เมือง จ. นครปฐม. (Poster Presentation).

42. **Siriwongwilaichat, P.**, Thongart, K. and Thaisakornphan, P. 2014. The effect of blanching on textural and color of frozen young coconut meat. International Conference on Food and Applied Bioscience. 6-7 February. The Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand. (Poster Presentation).
43. **Siriwongwilaichat, P.**, Thongart, K. and Thaisakornphan, P. 2014. The effect of blanching on texture and color of frozen young coconut meat. Food and Applied Bioscience Journal, 2 (2): 142-150.
44. กานต์รวี กลีบแก้ว และ ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ. 2558. ผลของสตาร์ชดัดแปรต่อลักษณะทางกายภาพของทับทิมกรอบ. รายงานรวมบทความวิจัยและงานสร้างสรรค์จากการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยสร้างสรรค์ระดับชาติและนานาชาติ “ศิลปการวิจัยและสร้างสรรค์ ครั้งที่ 8: บูรณาการศาสตร์และศิลป์”. นำเสนอภาคบรรยาย. O-235-O-242.
45. **Siriwongwilaichat, P.**, Sripakdee, C., Ornlah, C. and Manayingchareon, A. 2015. The effect of coconut meal fortification on physical properties of bread. International Conference on Coconut Oil, 17-19 March, BITEC, Bangkok, Thailand. (Poster presentation).
46. Sawaengwutthipan W. and **Siriwongwilaichat P.** 2015. The effect of gac fruit preparation addition on characteristics of yoghurt. Journal of Food Science and Agricultural Technology, 1(1): 93-98.
47. Patcharaporn Yooyuen, Waritha Ploynampon and Prasong Siriwongwilaichat 2015. Evaluation of sensory and physical characteristics of commercial green starched jelly noodles in Thailand. FIAC 2015: Innovative ASEAN Food Research towards the World. 18-19 June, BITEC Bangna, Bangkok, Thailand. (Poster presentation).
48. Busarakorn Mahayothee, Intira Koomyart, Pramote Khuwijitjaru, **Prasong Siriwongwilaichat**, Marcus Nagle, Joachim Müller. 2015. Phenolic compounds, antioxidant activity, and medium chain fatty acids profiles of coconut water and meat at different maturity stages. International Journal of Food Properties.

การจดทรัพย์สินทางปัญญา

อนุสิทธิบัตร ข้าวเหนียวมูนสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง และกรรมวิธีการผลิต (ผู้ประดิษฐ์/ออกแบบ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ถิธรรมถาวร, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ, นางสาว ศกวรรณ พ่อธานี, นางสาวศุภางค์ บุญสิทธิ์) เลขที่สิทธิบัตร : 9745 วันที่จดทะเบียน : 03 Apr 2558

ผลงานที่ได้รับรางวัล

รางวัลชมเชย จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ “ลูกอมเปลือกส้มโอเคลือบช็อคโกแลต (Spicy Chocolate Pomelo Candy)” จากการประกวดนวัตกรรมผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ประเภทนิสิต นักศึกษา ครั้งที่ 2 ภายใต้หัวข้อ “ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อผู้บริโภคที่พัฒนาจากของเหลือใช้หรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมประเภพืช” ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ เมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 (ทีม “CANDY CAN DO” ซึ่งประกอบด้วย นางสาวแคทลียา ชาติไทย นางสาว ละอองดาว เทศจันทิก นางสาวจรัสวรรณ องค์กรเพลลิด และนางสาวชนาพร ภัทรพงศ์โอพาร โดยมี ผศ.ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา)

ผู้ร่วมวิจัย

ผศ. ดร. ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย) นายชัยยงค์ เตชะไพโรจน์
(ภาษาอังกฤษ) Mr. CHAIYONG TAECHAPAIROJ
2. วัน เดือน ปีเกิด 25 เมษายน 2508 (เพื่อเก็บในฐานะข้อมูลนักวิจัย)
3. รหัสประจำตัวผู้วิจัยของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ถ้ามี) -
4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน ☐ ข้าราชการ • พนักงาน
• อาจารย์ • ชำนาญการ
☐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ •เชี่ยวชาญ
• รองศาสตราจารย์ •เชี่ยวชาญพิเศษ
• ศาสตราจารย์ • อื่นๆ (โปรดระบุ)
5. สถานที่ทำงาน
ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ. เมือง จ. นครปฐม โทรศัพท์ 034 219360 โทรสาร 034 219360
e-mail address: chaiyong_t@yahoo.com
ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 219/215 หมู่ 4 ซอยเทพโพธิ์ระนิมิต ถนน แจ้งวัฒนะ
ตำบล ตลาดบางเขน อำเภอ หลักสี่ จังหวัด กรุงเทพฯ โทรศัพท์ - โทรสาร -
6. ประวัติการศึกษา
- ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการอาหาร
สถาบัน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีที่จบ พ.ศ. 2530
- ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเคมี
สถาบัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีที่จบ พ.ศ. 2535
- ปริญญาเอก ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขา เทคโนโลยีอุณหภาพ
สถาบัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีที่จบ พ.ศ. 2546

7. วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา (ชื่อเรื่อง/ปีที่ดำเนินการ ทั้งระดับปริญญาโทและปริญญาเอก)

- ระดับปริญญาโท

The Comparative Built-in Storage Solar Water Heaters

ปีที่ดำเนินการ 2535

- ระดับปริญญาเอก

Fluidised-bed Paddy Drying Using Superheated steam

ปีที่ดำเนินการ 2546

8. สาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) โปรดระบุแขนงวิชา และแนวเรื่องย่อยด้วย (ถ้ามี)

สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา

กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร แขนงวิชาการ เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

กลุ่มวิชาวิศวกรรมศาสตร์ แขนงวิชาการ เทคโนโลยีพลังงาน

9. ผลงาน

Peer-Reviewed Article

Rewthong, O., Soponronnarit, S., Taechapairoj, C., Tungtrakul, P., and Prachayawarakorn. S., 2011. Effects of cooking, drying and pretreatment methods on texture and starch digestibility of instant rice, J. Food Engineering, 103(3), 258-264.

Soponronnarit, S., Chiawwet, M., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P., and Taechapairoj, C., 2008. Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice, J. Food Engineering 85(2), 268-276.

Taechapairoj, C., Prachayawarakorn, S., and Soponronnarit, S., 2006. Modelling of parboiled rice in superheated-steam fluidized bed, J. Food Engineering 76(3), 411-419..

Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A., and Taechapairoj, C., 2006. Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique, J. Food Engineering 75(3), 423-432.

Taechapairoj, C., Prachayawarakorn, S., and Soponronnarit, S., 2004. Characteristic of Rice Dried in Superheated-Steam fluidised bed, Drying Tech., 22(4), 719-743.

Taechapairoj, C., Dhuchakallaya, I., Soponronnarit, S., Wetchacama, S., and Prachayawarakorn, S., 2003. Superheated steam fluidised bed paddy drying, J. Food Engineering 58, 67-73.

ผลงานวิจัยในรูปแบบบทคัดย่อ/Proceeding ในการประชุมวิชาการ

1. Taechapairoj, C., Noppamas, N. and Kaewyot, K., (2014) Effects of drying on germinated mung bean by fluidization technique", The 26 th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference. November, 26-29, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.
2. Changboonmee,P., Khuwijitjaru,P., and Taechapairoj, C., 2012, "EFFECTS OF GERMINATION AND ROASTING ON THE ISOFLAVONES CONTENT AND UREASE ACTIVITY OF SOYBEAN", The 38th Congress on Science and Technology of Thailand, October 17-19, Empress Convention Centre, Chiang Mai, Thailand.
3. กฤตชัย แก้วยศ และ ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์, 2555, อิทธิพลของการอบแห้งของข้าวเปลือกเริ่มงอกต่อสารต้านอนุมูลอิสระโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน",การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8, 2-4 พฤษภาคม,มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, จ.มหาสารคาม
4. ศิริวัฒน์ สินประเสริฐ, ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์, สมเกียรติ ปรัชญาวารากร และสมชาติ โสภณธนฤทธิ์ , 2549, "การศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อข้าวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน", การประชุมวิชาการครั้งที่ 7 ประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 23-24 มกราคม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, จ.มหาสารคาม, หน้า 473-48
5. ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์, สมเกียรติ ปรัชญาวารากร, พัชรี ตั้งตระกูล, พยุงศักดิ์ ท่าไม้สุข และสมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2548, "ผลของการอบแห้งต่อสมบัติของข้าวกล้องสำเร็จรูป", การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 "วิศวกรรมเกษตรนำไทยสู่ครัวโลก", 30-31 มีนาคม, โรงแรมมิราเคิลแกรนด์, กรุงเทพฯ, หน้า 491-498.
6. ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์, ศิริวัฒน์ สินประเสริฐ, สมเกียรติ ปรัชญาวารากร และสมชาติ โสภณธนฤทธิ์ , 2548, "อิทธิพลของชนิดตัวกลางในการอบแห้งที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของการลดความชื้นและคุณภาพของเนื้อข้าว", วารสารราชบัณฑิตยสถาน, ปีที่ 30, ฉบับที่ 4, ตุลาคม-ธันวาคม, หน้า 970
7. เฉลิมพร เอี่ยมมี, พัชรี ตั้งตระกูล, ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์ และสมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2547, "การรวมกระบวนการผลิตของการนึ่งและการอบแห้งข้าวหนึ่งสำหรับข้าวหอม", วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, มกราคม-ธันวาคม, หน้า 24-33

บทความวิชาการ

1. Prachayawarakorn, S., Taechapairoj, C., Nathakaranakule, A., Devahastin, S, and Soponronnarit, S., Drying of Rice, Handbook of Industrial Drying, 4th ed. Mujumdar, A.S., Ed., CRC Press, New York, USA.