บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเภทและคุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยว โดยทั่วไปหมายถึง ขนมกรอบ (direct expanded snacks) หรือขนมพองกรอบ เป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปที่มีขนาดเล็กบริโภคได้ทันที หรือก่อนนำมาบริโภคต้องผ่านกรรมวิธีเล็กน้อย อาจเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการปรุงแต่งกลิ่นรสเท่านั้น เช่นมันฝรั่งทอด ถั่ว ข้าวโพดหรือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) โดยนิยมรับประทาน เป็นอาหารว่าง (snack food) และรู้จักกันโดยทั่วไป ซึ่งความหมายของอาหารว่างนั้นคือ อาหารหรือขนมที่รับประทานระหว่างอาหารมื้อหลักหรือรับประทานระหว่างการเดินทาง ดูภาพยนตร์ พฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยวนั้นมักจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆ เป็นอาหารว่างประเภทหนึ่งที่มีผู้นิยมรับประทานมาก โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กและวัยรุ่น ทำให้มีผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวออกจำหน่ายสู่ตลาดอย่างกว้างขวาง (เพียงฤทัย และเสาร์มณี, 2535) และผลิตภัณฑ์มาความหลากหลาย แตกต่างกันตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งตลาดของขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยในปี 1995 จากข้อมูลการสำรวจของบริษัทดีมาร์ จำกัด พบว่า มีมูลค่า 5,820 ล้านบาท จากยอดขายทั้งหมดนี้ ร้อยละ 40 เป็นขนมที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (อภิรักษ์, 2539) ขนมขบเคี้ยวประเภทพองกรอบในปัจจุบันนั้นได้รับความนิยมมีการบริโภคมากโดยเฉพาะเด็กไทย พบว่านิยมบริโภคขนมขบเคี้ยวเพิ่มขึ้นมีมูลค่าเป็นตัวเลขถึง 170,000 ล้านบาทต่อปี และมีการผลิตอย่างแพร่หลาย มีการนำข้าวมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยวประเภทอบพองหลายชนิด โดยใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน จากการสำรวจพบว่านักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 3 วิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงใหม่นิยมบริโภคขนมพองกรอบ และถั่วชนิดต่าง ๆ (อัจฉรา, 2544) นักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ชอบขนมขบเคี้ยว ที่ทำจากมันฝรั่งมากที่สุด ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ชอบน้อยที่สุดคือถั่วชนิดต่างๆ (จินตนา, 2543) ขนมขบเคี้ยวจึงกลายเป็นขนมที่สะดวกซื้อและมีขายอยู่ทั่วไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1 ประเภทของขนมขบเคี้ยว

ปฏิมา (2548) แบ่งประเภทของขนมขบเคี้ยวออกเป็นหลายรูปแบบ โดยแบ่งตามส่วนประกอบ ออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มข้าว และแป้ง เช่น ขนมอบกรอบชนิดแผ่นหรือสอดไส้ (รสหวาน และเค็ม) และข้าวเกรียบ

2. กลุ่มข้าว แป้ง และไขมัน เช่นมันฝรั่งทอดกรอบ ข้าวโพดอบกรอบ

3. กลุ่มที่มีแหล่งโปรตีน เช่น ปลาเส้น ปลาอบกรอบ

4. กลุ่มที่เป็นแหล่งโปรตีน และไขมัน เช่น ถั่วอบกรอบ ถั่วทอด

กรมอนามัย (2548) แบ่งลักษณะของขนมคบเคี้ยวที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่จัดเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวบรรจุในซอง หรือกล่องปิดสนิทผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยมีวิธีการทำขนมซึ่งผ่านกรรมวิธีในการทำลาย หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อนก่อนการบรรจุหรือปิดผนึก ขนมประเภทนี้มีการบรรจุใส่ภาชนะที่ปิดสนิท เช่น กระป๋องที่เป็นโลหะ ถุงพลาสติกหรือวัสดุอื่น ๆ ที่สามารถป้องกันไม่ให้อากาศจากภายนอกผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุได้

2. กลุ่มขนมประเภทที่ทำขึ้นใหม่ๆ ที่ต้องรับประทานในสภาพสด ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน เช่น ขนมปัง ขนมแบบไทย ๆ เช่น ขนมปัง ขนมแบบไทย ๆ เช่น ขนมชั้น วุ้นกะทิ ฝอยทอง เม็ดขนุน เป็นต้น โดยอาจมีการห่อด้วยใบตอง ถุงพลาสติก หรือถุงกระดาษโดยมากทำในระดับครัวเรือน

กองบรรณาธิการ (2547) แบ่งผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็น 4 รูปแบบคือ ขนมทั่วไปไม่เคลือบน้ำตาล ขนมเคลือบน้ำตาล ขนมน้ำตาล หรือขนมเหนียวต่างๆ ขนมเนื้อสัตว์อบแห้ง ซึ่งขนมไม่เคลือบน้ำตาลหมายถึงขนมขบเคี้ยว

คณาจารย์ภาควิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร (2540) แบ่ง ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็น 5 กลุ่ม คือ

1. ผลิตภัณฑ์จากมันฝรั่ง มันฝรั่งทอดกรอบเป็นผลิตภัณฑ์ใช้มันฝรั่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตผ่านกรรมวิธีต่างๆ และที่มีผู้นิยมรับประทานมากที่สุด

2. ขนมประเภทอบพอง หรือพองกรอบ ผลิตภัณฑ์ในประเภทนี้ มีความหลากหลายของชนิดมากที่สุด และยังมีหลายรูปแบบ เช่น เป็นชิ้นรูปร่างต่าง ๆ แบบแผ่น แบบแท่ง มีการปรุงรสหลายรสชาติ เน้นรสหวาน รสเค็ม บางชนิดเป็นแบบสอดไส้ บางชนิดต้องผ่านกรรมวิธีการทอด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในน้ำมันเกิดการพองมีลักษณะดี และขนมประเภทพองกรอบโดยส่วนมากจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์วัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ ปลายข้าวหรือข้าวท่อนและข้าวโพดบดหยาบ (corn grit) (ประชา, 2537ก)

3. ขนมประเภทปลาเส้น และถั่วชนิดต่าง ๆ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 มีลักษณะที่คงรูปลักษณ์ของวัตถุดิบตั้งต้นอยู่มาก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์จากถั่ว และอาจทำมาจากถั่วหลายชนิดเช่น ถั่วลิสง เม็ดมะม่วงหินมพานต์ ถั่วจากต่างประเทศเช่น อัลมอนด์ พิสตาชิโอเป็นต้น โดยจะนำมาผ่านกระบวนการอบ คั่วหรือทอด และนำมาผสมเกลือหรือเครื่องปรุงรส ส่วนปลาเส้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากปลา ปลาหมึก และปูอัด นำมาผ่านกรรมวิธีต่างๆจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

4. เยลลี่พร้อมบริโภคมีทั้งชนิดบรรจุถ้วยขนาดเล็กพอคำ และแบบถ้วยขนาดใหญ่ โดยมีส่วนประกอบที่ให้ลักษณะของเยลลี่ ที่ทำด้วยส่วนผสมที่สกัดจากส่วนของพืชบางชนิดหรือสาหร่าย ซึ่งส่วนผสมเหล่านี้ทำให้เกิดมีคุณสมบัติในการเกิดวุ้นหรือเจลเมื่อผสมกับน้ำ ในบางชนิดอาจมีการผสมน้ำตาลเพื่อการเกิดเจลที่ดี ซึ่งในส่วนของวุ้นหรือเจล ไม่มีสารอาหารที่ดี แต่อาจมีพวกเส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นการรับประทานเยลลี่อาจได้เพียงแต่น้ำตาลหรือน้ำผลไม้ที่ผมลงไปบ้าง และมีการแต่งกลิ่นสี รสชาติเพิ่มเติมเลียนแบบรสชาติผลไม้ต่างๆ

5. ลูกอมทั้งแบบอมและแบบเคี้ยวชนิดที่เป็นเม็ดแข็งหรือแบบเคี้ยวหนึบ ส่วนประกอบหลักของลูกอม คือน้ำตาลส่วนมากมีไม่น้อยกว่า ร้อยละ 90 อาจเป็นน้ำตาลทรายหรือมีการใช้ร่วมกับน้ำตาลลักษณะอื่น เช่นน้ำเชื่อม เป็นต้น

ต้องจิตร (2534) แบ่งชนิดของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

1. ผลิตภัณฑ์แป้งปรุงรส หรือขนมขึ้นรูป เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่สามารถผลิตขนมขบเคี้ยวได้หลายรูปแบบแตกต่างกันมีลักษณะเป็นแท่ง เกรียว หรือแผ่น วัตถุดิบที่ใช้มีความแตกต่างกัน เช่นแป้งสาลี แป้งข้าวโพด มีการปรุงรสต่างๆ ตามความต้องการของผู้บริโภค

2. ผลิตภัณฑ์จากมันฝรั่ง ใช้มันฝรั่งสดเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยมีกรรมวิธีเริ่มจากการล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นและนำไปล้างทำให้แห้งโดยการใช้ลม และนำไปทอด ปรุงแต่งกลิ่นรสและบรรจุในซองปิดสนิท ตามวิธีและวัตถุประสงค์ของผู้ผลิต เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีผู้นิยมรับประทานมากที่สุด (คณาจารย์ภาควิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540)

3. ผลิตภัณฑ์ทำจากเนื้อปลา เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อปลา หรือปลาหมึก มีรูปแบบของขนมแตกต่างกัน เช่น ปลาเส้น ปลาหมึกเส้น หรือปลาหมึกอบกรอบ มีลักษณะเป็นแผ่นมีการปรุงแต่งรสต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ผลิตภัณฑ์จากข้าวโพด เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวโพด นำมาอบให้เกิดการสุกพอง และนำมาเคลือบคาราเมล หรือน้ำตาลอาจเพื่อให้รสหวาน และอาจมีการปรุงแต่งกลิ่นรสอื่นๆตามความต้องการ

5. ผลิตภัณฑ์ทำจากถั่ว เป็นผลิตภัณฑ์คงรูปเดิม ผลิตจากถั่วหลายชนิดเช่น ถั่วลันเตา ถั่วลิสง เม็ดมะม่วงหิมพานต์ ถั่วอัลมอน ผ่านกรรมวิธีอบ คั่ว หรือทอด และปรุงรสด้วยเกลือ หรือเครื่องปรุง

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2543ข) แบ่งประเภทของขนมขบเคี้ยว (ขนมกรอบ) ที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น เป็น 2 ชนิดคือ

1. ขนมขบเคี้ยว ที่ผ่านกระบวนการอัดพองแล้วแต่ยังไม่สุกพอง เรียกว่าเพลเลท (pellet) หรือตัวดิบ หรือ 3 จี (indirect expanded snacks) ต้องนำไปอบแห้งแล้วทอดที่อุณหภูมิสูงอีกครั้งจึงจะสุกพองรับประทานได้ วัตถุดิบหลักที่ใช้ได้แก่ แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด แป้งสาลี และแป้งมันเป็นต้น

2. ขนมขบเคี้ยว ที่ผ่านกระบวนการอัดพองแล้วสุกพองทันที จึงเรียกว่าขนมกรอบ (direct expanded snacks) วัตถุดิบหลักที่ใช้ทำ ส่วนมากเป็นข้าวโพดเกล็ด ส่วนข้าวท่อนหรือปลายข้าวนั้น ในโรงงานอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวหรือขนมกรอบยังมีการใช้กันน้อยมาก เมื่อเทียบกับข้าวโพดเกล็ด

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่จะมีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก จึงเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตของร่างกายถ้าหากมีการทอดในน้ำมันก็จะได้รับปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นด้วย และมีส่วนน้อยที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นเมื่อรับประทานขนมขบเคี้ยวจะได้พลังงานจากแป้งและไขมันเท่านั้น โดยไขมันส่วนใหญ่เป็นไขมันปาล์มซึ่งมีกรดไขมันอิ่มตัวค่อนข้างสูงไม่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย และทำให้ไม่ได้รับสารอาหารอย่างอื่นอย่างเพียงพอ เกิดสภาวะการบกพร่องทางโภชนาการและโรคไขมันในเลือดสูงได้ เมื่อพิจารณาสัดส่วนของการกระจายพลังงานที่ได้รับจากขนมขบเคี้ยวพบว่าเป็นพลังงานที่ได้จากไขมัน และคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก โดยขนมบางชนิดพบว่าให้สัดส่วนของไขมันอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 60 เป็นการกระจายพลังงานที่ไม่มีความเหมาะสมต่อการบริโภค อาจทำให้ร่างกายได้รับไขมันมากเกินไป จากข้อกำหนดของสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน ควรจะได้รับพลังงานจากไขมันคุณภาพดีมากกว่าร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมด ซึ่งปกติแล้วความต้องการพลังงานของวัยรุ่นขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตของร่างกาย และการเผาผลาญอาหารในร่างกายและกิจกรรมที่ทำ ใน 1 วันควรได้รับพลังงานประมาณ 1,700-1,850 กิโลแคลอรี่ ในวัยรุ่นหญิง และ 1,850-2,400 กิโลแคลอรี่ ในวัยรุ่นชาย ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากแป้ง และไขมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อยละ 50-60 ส่วนความต้องการโปรตีนพบว่าในวัยเด็กต้องการโปรตีนที่มีคุณภาพสมบูรณ์เพื่อช่วยในการเจริญเติบโต ร้อยละ 10-15 ซึ่งมากกว่าในวัยผู้ใหญ่ (กรมอนามัย, 2541 และอัจฉรา, 2544) ขนมขบเคี้ยวนั้นมีหลากหลายบางชนิดไม่มีคุณค่าทางโภชนาการเลย เช่น เมี่ยง หมากพลู ส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารบ้างโดยเฉพาะพลังงาน เช่น คุกกี้ ข้าวโพดคั่ว ข้าวเกรียบ (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543ข) ขนมขบเคี้ยวที่จำหน่ายในท้องตลาดนั้นให้คุณค่าทางโภชนาการต่ำ แต่ให้พลังงานสูง เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรต และไขมันเป็นองค์ประกอบ โดยอาจมีโปรตีนในปริมาณร้อยละ 3.3-8.3 ขึ้นกับส่วนผสมที่นำมาผลิต (Onanong *et al*., 2002) ซึ่งจากการสำรวจเด็กอายุ 7-18 ปี ในกรุงเทพมหานคร พบว่าเด็กจำนวนร้อยละ 51.3 บริโภคขนมขบเคี้ยวทุกวัน ร้อยละ 18.8 บริโภค ทุก 2-3 วัน และมีเพียงร้อยละ 5 ที่ไม่บริโภคเลย ดังนั้นจากผลการสำรวจจึงสรุปได้ว่าเด็กบริโภคขนมขบเคี้ยวในความถี่ และปริมาณที่สูงมาก และการบริโภคขนมขบเคี้ยวที่ให้พลังงานสูงแต่คุณค่าต่ำมากเกินไป อาจทำให้เด็กเกิดโรคอ้วนและนำไปสู่โรคอื่นๆได้ เช่นกัน (Boonyasirikool and Chanuruch, 2000a)

ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งได้รับความนิยมมากในผู้บริโภค เนื่องจากมีความหลากหลายในด้านลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ แต่ยังมีคุณค่าทางโภชนาการไม่ดีพอพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากคาร์โบไฮเดรตในธัญชาติ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก แต่มีคุณค่าต่ำ เนื่องจากในผลิตภัณฑ์ จะมีแป้ง น้ำมันที่ใช้ทอด น้ำมันที่ใช้เคลือบรสชาติ เป็นแหล่งของพลังงาน แต่มีสารอาหารที่จำเป็นเช่นโปรตีนต่ำ (ร้อยละ 3.30-8.30 และ 2.44 -11.06) และน้ำมันที่ใช้ทอดหรือเคลือบกลิ่นรสสูง (ร้อยละ 8.00-34.00 และ 7.06-36.65 ตามลำดับ) (Boonyasirikool *et al*., 1986; Tangkanakul *et al*., 1999) ซึ่งในประเทศไทยพบว่าประชากร ร้อยละ15-20 เกิดสภาวะการบกพร่องทางโภชนาการ ดังนั้นจะทำให้เด็กที่บริโภคเป็นประจำเกิดการขาดสารอาหารที่จำเป็นเกิดการขาดสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโต แต่ได้รับสารอาหารเช่นแป้งและไขมันมากเกินไปทำให้เกิดโรคอ้วน และเกิดโรคอื่นๆตามมาได้เช่นไขมันในเลือดสูง ภาวะทุโภชนาการ (malnutrition and over nutrition) (ไกรสิทธ์, 2539) เนื่องจากการรับประทานขนมขบเคี้ยว ไม่สามารถทดแทนมื้ออาหารได้ หากต้องการทานเพื่อสามารถทดแทนอาหารบางส่วนก็ ควรมี โปรตีน 2.5-3.0 g/100Kcal คืออย่างน้อย ร้อยละ 10-12 ของแคลอรีทั้งหมด ต้องได้มาจากโปรตีน (Autret, 1969) หรือถ้าสามารถบริโภคขนมขบเคี้ยวแล้วได้สัดส่วน แป้ง ไขมัน โปรตีน อยู่ในช่วงร้อยละ 50-65 ร้อยละ 20-30 และ ร้อยละ 10-15 ของพลังงานทั้งหมด ตามลำดับ (กรมอนามัย, 2532 และสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 การผลิตขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

2.2.1 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion process)

กระบวนการผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน และการพัฒนากระบวนการผลิตและตัวเครื่องนั้น เกิดขึ้นควบคู่กับโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆเริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2340 Joseph Barmah ชาวอังกฤษได้ประดิษฐ์เครื่องมือ อัด และขึ้นรูป ใช้ทำท่อตะกั่วไม่มีรอบเย็บ ต่อมาได้ได้ในกระบวนการทำสบู่และอาหารเส้น ต่อมาได้พัฒนาเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ให้มีการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous process) และใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตมักกะโรนีเป็นครั้งแรก เป็นการใช้ในการขึ้นรูปอาหารแล้วจะเป็นต้องนำไปผ่านกระบวนการผลิตอื่นๆอีก จึงจะสุกและรับประทานได้ ต่อมาได้มีการนำคอลเลตเอ็กซ์ทรูเดอร์ (collet extruder) มาผลิตข้าวโพดพองกรอบ (expanded corn curls or collet) หลังจากที่ผ่านการเคลือบรสแล้วสามารถรับประทานได้ทันที (ready to eat snack or direct expanded snack) เป็นที่นิยมบริโภคมากในเด็กทั่วไป

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เป็นวิธีการที่รวมหลายๆกระบวนการเข้าด้วยกัน เช่น การผสม การต้ม การนวด การเฉือน การขึ้นรูป โดยเครื่องจะอัดอาหารให้ออกมาในรูปกึ่งเหลว อาหารนี้จะถูกอัดผ่านหน้าแปลน (die) ที่อยู่ปลายเกรียวสกรู ถ้ามีการให้ความร้อนแก่อาหารด้วยจะเรียกกระบวนการนี้ว่า การดันผ่านเกลียวอัดโดยใช้ความร้อน (extrusion cooking) การใช้เทคนิคนี้มีข้อดีมากมาย โดยเฉพาะทำให้กระบวนการขึ้นรูปง่ายขึ้น พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆ โดยการทำงานของเครื่องเอง คือขณะที่วัตถุดิบเคลื่อนที่ผ่านเครื่องจะได้รับพลังงานเชิงกลและความร้อนในเวลาอันสั้น แต่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของอาหาร จึงมีการประยุกต์ใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น เพื่อผลิตอาหารต่างๆมากมาย นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมรูปร่าง และลักษณะรวมทั้งคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยมีวัตถุประสงค์หลักของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันคือ การเพิ่มความหลากหลายของอาหาร เพื่อเพิ่มชนิดของอาหารจากส่วนผสมพื้นฐานให้มี รูปร่าง สี กลิ่น รส แบบต่างๆ กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นโดยใช้ความร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงในระยะเวลาสั้น จึงช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และลดปริมาณน้ำอิสระในอาหารได้

Nibedita *et al*,. (2003) ได้ศึกษาถึงการใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันในการยับยั้งสารบางชนิดในงาที่สามารถต้านการดูดซึมสารอาหาร (anti – nutritional) รวมถึงการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และฆ่าจุลินทรีย์ซึ่งปรากฏอยู่ในอาหารที่ทำจากพืชเมล็ดน้ำมัน โดยที่สมบัติทางกายภาพและทางเคมีจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นเจลของแป้ง การเสื่อมสภาพของโปรตีนภายใต้ความดันเกิดแรงเฉือนมากทำให้เกิดเป็นโครงสร้างเส้นใย ซึ่งในเมล็ดพืชน้ำมันพบว่ามีโปรตีนอยู่มากแต่ก็มีสารที่เป็นสารต้านการดูดซึมสารอาหาร ทำให้โปรตีนถูกใช้ประโยชน์ได้จำกัด เช่น แทนนิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(tannin) เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิก (phenolic) ซึ่งเกิดขึ้นเป็นสารไกลโคไซด์ (glycoside) ในสภาวะปกติ และจะเกิดการจับรวมตัวกับโปรตีนทำให้ไม่สามารถย่อยโปรตีนได้ ซึ่งผลปรากฏว่าพบสารที่เป็นสารต้านการดูดซึมอาหารในงา ดังนั้นในการทดลองจึงได้ใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยใช้ความร้อนมาลดปริมาณแทนนินที่อยู่ในอาหารทำด้วยงาโดยใช้แบบสกรูเดี่ยว พบว่าการใช้ขบวนการนี้สามารถลดแทนนินในอาหารที่ทำมาจากงาได้

Alonso *et al*,. (1998) ได้ศึกษาผลของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นต่อโปรตีน และสารต้านการดูดซึมสารอาหาร ในเมล็ดถั่วลันเตา ซึ่งสารเหล่านี้จะลดสารอาหารที่มีคุณค่าของโปรตีน พบว่าการใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นสามารถลด กรดไฟติก (phytic acid) แทนนิน (tannin) โพลีฟีนอล (polyphenol) ทริปซินอินฮิบิเตอร์ (trypsin inhibitor) คีโมทริปซินอินฮิบิเตอร์ (chymotrypsin inhibitor) และอัลฟาอะไมเลสอินฮิบิเตอร์ (alfa-amylase inhibitor) และ แลกติน (lactin) ได้หลังจากผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยมี ความเร็วรอบสกรู 100 รอบต่อนาที ความชื้นร้อยละ 25 อุณหภูมิท้ายสุด 148 องศาเซลเซียส ดังนั้นกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น จึงสามารถปรับปรุงคุณภาพสารอาหารในถั่วลันเตาได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเป็นที่นิยมมากเนื่องจาก ทำให้เกิดความหลายหลายในผลิตภัณฑ์ได้โดยการเปลี่ยนส่วนผสมของอาหารหรือ เปลี่ยนสภาวะการทำงานของเครื่อง กระบวนการมีความยืดหยุ่นสูง สามารถดัดแปลงให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ๆซึ่งตรงกับความต้องการของผู้บริโภคได้ ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่น อัตราการผลิตสูง ผลิตได้ต่อเนื่องแบบอัตโนมัติ ความสามารถในการผลิตขนมขบเคี้ยวสูง และไม่มีของเสียจากกระบวนการ ซึ่งเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวเป็นเครื่องที่ใช้มากในอุตสาหกรรมจนถึงปัจจุบันส่วนแบบเกลียวคู่ได้รับความนิยมมากขึ้นใน 20 ปีที่ผ่านมา ซึ่งเครื่องเอ็กซทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวใช้แรงเฉือนสูงจะใช้ผลิตขนมขบเคี้ยวและอาหารเช้า (วิไล, 2545)

ปัจจุบันผู้ผลิตหันมานิยมใช้เอ็กซทรูเดอร์แบบสกรูคู่กันมากขึ้น เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยกว่าแต่ทุนสูงกว่า แต่สามารถสร้างความหลายหลายได้มากกว่า และมียืดหยุ่นในด้วยพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตต่างๆเช่น อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วสกรู ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน อัตราการไหล ให้คุณภาพสม่ำเสมอ ซึ่งในแบบเครื่องเอ็กซทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวทำได้น้อย สามารถผลิตขนมขบเคี้ยวที่มีรูปร่างไม่เป็นมิติ ที่ไม่ต้องการสีสันมากนักได้ โดยการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันพร้อมให้ความร้อน คล้ายคลึงกับการผลิตผลิตภัณฑ์ธัญพืชพร้อมรับประทานมาก ต่างกันที่การผลิตขนมขบเคี้ยวใช้วัตถุดิบความชื้นต่ำ เพื่อให้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนมขบเคี้ยวที่มีลักษณะสุกพองมาก ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสละลายในปากมีผู้ให้ความสนใจในการผลิตขนมขบเคี้ยวเช่นเกล็ดข้าวโพด โดยใช้เครื่องแบบสกรูคู่น้อยมากเนื่องจากมีต้นทุนสูงแล้วมีความสามารถในการผลิตต่ำถึงปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องแบบสกรูเดี่ยว และยังมีค่าดูแลที่สูงกว่า (วิไล, 2545)

กระบวนการผลิตโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) หรือกระบวนการผลิตอาหารโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เป็นกระบวนการทำให้เกิดรูปร่างโดยการบังคับให้วัตถุดิบอาหารที่อ่อนตัว หรือหลอมเหลวเคลื่อนที่ไปตามพื้นที่อันจำกัด แล้วผ่านเข้าไปในรูเปิดหน้าแปลนที่เรียกว่า ไดย (die) ออกมาด้วยการหมุนตัวของสกรู และความดันที่เกิดขึ้นภายในเอ็กซ์ทรูเดอร์ระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์อาหาร จึงเป็นเครื่องมือที่ในการทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และรูปลักษณ์ของวัตถุดิบอาหาร ปัจจัยหลักที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือสภาวะการทำงานของเครื่อง และสมบัติทางรีโอโลจี (rheology) ของอาหาร ซึ่งรีโอโลจีนี้ หมายถึงวิทยาการของการเปลี่ยนสถานะภาพ และการไหลของสสาร ในกระบวนการผลิตโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชันนี้ คือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและลักษณะบางประการของสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว (dough) ภายใต้อิทธิพลของแรงเฉือน โดยตัวบ่งชี้ที่สำคัญที่สุดของการเดินเครื่อง คือ อุณหภูมิ ซึ่งได้มาจากอุณหภูมิของบาเรล ความเร็วรอบของสกรู (ทำให้เกิดแรงเฉือน และการเสียดสีจนเกิดเป็นความร้อน) ความดัน (ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปลักษณ์ องศาลาดเอียงของเส้นสกรู บาเรล และหน้าแปลน) และอัตราการป้อนวัตถุดิบ ส่วนคุณสมบัติของวัตถุดิบก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และสีของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องที่เรียกว่า เอ็กซ์ทรูเดท (extrudate) โดยมีปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ความชื้นขนาดของวัตถุดิบ และองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ โดยเฉพาะชนิด และปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมัน และน้ำตาลตลอดจนส่วนผสมอย่างอื่น ที่มีปริมาณเล็กน้อยที่เติมลงไปเพื่อช่วยในกระบวนการผลิต (ประชา, 2544; วิไล, 2545)

การเพิ่มความชื้นในอาหาร ทำได้โดยการเติมน้ำในระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันอาหารประเภทแป้ง เช่น เม็ดข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า โดยใช้ความร้อนด้วย อาหารจะได้รับแรงเฉือนอย่างรุนแรง เม็ดแป้งจะบวม ดูดน้ำ และกลายเป็นเจลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โครงสร้างของโมเลกุลแป้งซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่จะเปิดออกและกลายเป็นมวลที่มีความหนืดสูง และเกิดคุณสมบัติแบบพลาสติก (Mercier, 1980) แป้งจะละลายน้ำได้แต่ไม่ถูกย่อย การวัดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิและอัตราการเฉือนต่างๆ ทำได้โดยการวัดดรรชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index, WAI) และสมบัติการละลายน้ำ (water solubility characteristic, WSC) โดยทั่วไปค่า WAI ของผลิตภัณฑ์จากธัญพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความรุนแรงของกรรมวิธี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และมีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส ค่า WSC ลดลงเมื่อค่า WAI สูงขึ้น มีการวัดค่าความหนืดของแป้งบดในระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากธัญพืช เพื่อหาความรุนแรงของกระบวนการ หรือเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในโรงงานจำลองเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการการผลิตจริง (วิไล, 2545)

สำหรับกลไกลการพองตัวของขบเคี้ยวแบบพองกรอบเกิดการพองจากแรงอัดที่อุณหภูมิสูงด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งในปัจจุบันมีการนำ กระบวนการนี้มาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย การพองตัวของแป้งเกิดจากการที่แป้งได้รับความร้อน และความดันสูงจากการขับเคลื่อนของแท่งเกลียวทำให้แป้งและองค์ประกอบของอาหารเกิดการหลอมตัว เมื่อแป้งเหลวนี้เคลื่อนที่ออกจากเครื่องสู่บรรยากาศ เป็นผลให้ความดันลดลงกะทันหันไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหลวจะกระจายระเหยออกทันที และดันก้อนแป้งให้เกิดรูพรุนกระจายทั่ว เมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้ (งามชื่น, 2547)

สำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันอาหารประเภทโปรตีน เช่น ถั่วเหลืองบด และแป้งถั่วเหลืองหลังการสกัดน้ำมัน โครงสร้างแบบทุติยภูมิของโปรตีนจะเปิดออกในสภาพร้อนชื้นทำให้เกิดมวลที่มีความหนืดสูง และมีคุณสมบัติคล้ายพลาสติก โปรตีนจะกลายเป็นโพลิเมอร์ที่เกาะเกี่ยวกัน (cross-linked) จัดเรียงตัวกันใหม่และเกิดโครงสร้างเส้นใยของโปรตีนพืช (texturized vegetable protein, TVB) ค่าดรรชนีความสามารถในการละลายของไนโตรเจน (nitrogen solubility index) จะเป็นค่าที่ใช้วัดระดับการเสียสภาพของโปรตีน ค่านี้จะลดลงระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้ความร้อน ดังนั้นวัตถุดิบจึงควรมีโปรตีนที่ยังไม่เสียสภาพในปริมาณสูง (วิไล, 2545)

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์นิยมใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร เนื่องจากมีข้อดี คือ (ประชา, 2537ก; รุ่งนภา, 2544)

1. อเนกประสงค์ (versatility) สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลากหลาย เพียงเปลี่ยนวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบ และปรับสภาวะของกระบวนการผลิตให้เหมาะสม รูปทรงของผลิตภัณฑ์ (product shapes) สามารถทำได้หลายแบบ เพียงเปลี่ยนแบบรูปทรงของรูเปิดพิเศษตรงหน้าแปลน)

2. อัตราการผลิตสูง (high productivity) เป็นเครื่องจักรแบบต่อเนื่อง และมีอัตราการผลิตได้มากกว่าระบบอื่น ๆ เช่น อัตราการผลิตของขนมขบเคี้ยวสูงถึง 315 กิโลกรัมต่อชั่วโมงของธัญชาติความหนาแน่นต่ำ 1,200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และของอาหารสัตว์ที่พองและแห้ง 9,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (Mans, 1982)

3. ต้นทุนการผลิตต่ำ (low cost) จำนวนคนงานและพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันต่อหนึ่งหน่วยการผลิตนั้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีอื่น เช่น ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การผลิตอาหารเช้าธัญชาติด้วยวิธีดั้งเดิมเทียบกับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน พบว่า สามารถประหยัดพลังงาน (ร้อยละ 100) การลงทุน (ร้อยละ 44) วัตถุดิบ (ร้อยละ 19) และแรงงาน (ร้อยละ 14) และเนื่องจากการทำให้สุกของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันทำที่ความชื้นต่ำ จึงต้องการพลังงานในการอบแห้งน้อยลง (Darrington, 1987)

4. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีมาก (high product quality) คุณภาพสูง อันเนื่องมาจากเป็นระบบ HTST

5. มีการสูญเสียของแข็งน้อยมาก ซึ่งจะลด BOD ของน้ำทิ้งจากโรงงานที่ทำการแปรรูป

2.2.2 ประเภทของเอ็กซ์ทรูเดอร์

ประเภทของเครื่องเอ็กซทรูเดอร์ สามารถแบ่งได้ ดังนี้ (ประชา, 2539)

1) แบ่งตามความเกี่ยวข้องกับพื้นฐานหน้าที่ สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา (functional characteristics)

1.1) Pasta extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทที่มีแรงเฉือนต่ำ มีพื้นผิวผนังบาเรลเรียบ ความเร็วรอบของสกรูต่ำ เกลียวสกรูลึก เพื่อให้เกลียวสกรูทำหน้าที่นวด บด อัด ผลักพาแป้งที่ชื้นนุ่มให้เคลื่อนที่ไปทางข้างหน้า แล้วอัดผ่านรูเปิดบนหน้าแปลนออกมาเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ถึงกับสุกพอง ต้องใช้ขั้นตอนของกรรมวิธีการผลิตอาหารวิธีอื่นเข้ามาช่วย เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นสุกพร้อมที่จะนำไปรับประทานต่อไป เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้มักใช้เป็นเครื่องผสมและขึ้นรูปแบบต่อเนื่องสำหรับทำอาหารหรือทำแป้งอบกรอบ (pastry) เช่น พาย (pie) ทาร์ท (tart) พัฟ (puff) คุกกี้ เนื้อสำเร็จรูป (processed meat) และขนมหวาน

1.2) High-pressure forming extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทที่มีแรงเฉือนต่ำ ผนังบาเรลเป็นร่องตรงหรือเป็นเกลียวสว่าน (grooved barrels) เพื่อมิให้การไหลลื่นเกิดขึ้นที่ผนังบาเรล และสกรูเป็นชนิดที่มีอัตราส่วนการอัด (compressing screw) มาก เพื่อช่วยให้ความดันเกิดขึ้นสูงในบริเวณหลังหน้าแปลน เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้ใช้อัดวัตถุดิบที่เป็นโด หรือแป้งพวกธัญชาติที่เปลี่ยนสภาพเป็นเจลมาแล้ว อัดผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน แล้วตัดเป็นชิ้นตามขนาดและรูปทรงที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ยังไม่สุกพอง เนื่องจากการปล่อยน้ำเข้าไปหมุนเวียนในรูกลวงสกรู หรือที่ช่องว่างระหว่างผนังสองชั้นของบาเรล เพื่อลดอุณหภูมิของความร้อนที่เกิดขึ้นมากเกินไปให้ต่ำลง จากนั้นนำไปผ่านขั้นตอนการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งเรียกว่า ตัวดิบ (pellet) หรือ 3 จี (3 G) ขั้นตอนต่อไป คือ การนำไปทำให้สุกพอง โดยวิธีการทอดในน้ำมัน อบ หรือคั่วก่อน ขนมขบเคี้ยวที่มีจำหน่ายกันโดยทั่วไป ส่วนมากมาจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3) Low-shear cooking extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้เป็นประเภทที่เกิดแรงเฉือนปานกลาง ผนังบาเรลเป็นร่องตรง ๆ ส่วนสกรูเป็นชนิดที่มีอัตราส่วนการอัดสูง (compression screw) เพื่อเพิ่มการนวด ผสม ได้ดียิ่งขึ้น ความร้อนจะส่งผ่านมาทางบาเรล หรือทางสกรู เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ร้อนหรือสุก และยังเพื่อใช้ทำลายแบคทีเรีย ยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ ทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติเปลี่ยนเป็นแป้งดิบให้เป็นแป้งสุก (gelatinize starch) ขณะเดียวกันก็ป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์สุกพองในขณะผ่านพ้นรูเปิดของหน้าแปลนออกมา

1.4) Collet extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้เป็นประเภทที่เกิดแรงเฉือนสูง พื้นผิวผนังบาเรลเป็นร่องเกลียว และร่องเกลียวสกรูตื้น มีหลากหลายขนาด มีความยาวของตัวสกรูต่อเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยมาก ประมาณ 3:1 (L/D = 3:1 เรียกว่า short screw) วัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ คอร์นกริต ที่แยกเอาน้ำมันออกแล้ว และมีความชื้นต่ำน้อยกว่าร้อยละ 12 ความร้อนเกือบทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้มาจากการเสียดสี แล้วทำให้วัตถุดิบหรือคอร์นกริตนั้นร้อนถึง 175 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็ว ทำให้แป้งกลายเป็นเจล และบางส่วนเปลี่ยนเป็นเด็กซ์ตริน (dextrin) ด้วยการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็วจากภายในตัวเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่มีความดันสูงมาก มาสู่ภายนอกที่มีความดันต่ำ (ความดันบรรยากาศ) ทำให้น้ำภายในเอ็กซ์ทรูเดท เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำระเหยลอยตัวออกไป ในขณะเดียวกันก็ถูกตัดด้วยใบมีดแล้วคงตัวเป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่สุกและพองกรอบ วัตถุดิบที่ใช้ทำขนมขบเคี้ยวได้ดี เช่น คอร์นเคริล (corn curl) หรือข้าวโพดพองกรอบ หรือคอร์นพัพ นอกจากคอร์นกริตแล้ว ข้าวท่อน (ปลายข้าว) ก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ด้วยเครื่องคอลเลทเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้ดีพอกัน

1.5) High-shear cooking extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้เป็นประเภทที่เกิดแรงเฉือนสูง ออกแบบมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พวกที่สุกเพียงบางส่วน หรือกึ่งสำเร็จรูป หรือพวกที่ผ่านความร้อนสูง แล้วมีการจัดโครงสร้างในโมเลกุลใหม่ เช่น โปรตีนเกษตร (texture vegetable protein) เดิมได้ประยุกต์นำเอาเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทำด้วยพลาสติก ที่มีอัตราส่วนของความยาวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) = 15-20:1 เป็นชนิดที่เกิดแรงอัดสูง มีบาเรลยาว แต่ก็สามารถทำให้เอ็กซ์ทรูเดท ร้อน หรือเย็นได้ โดยใช้แหล่งความร้อนความเย็นจากภายนอก โดยผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างผนังบาเรล เอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ใช้กับวัตถุดิบได้หลายชนิด และในช่วงความชื้นได้ต่าง ๆ กัน และสามารถควบคุมสภาวะต่าง ๆ ในการผลิตได้ เช่น ควบคุมการสุกพอง อุณหภูมิ ความแน่นของเนื้อสัมผัส เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ได้แก่ อาหารสัตว์เลี้ยง อาหารเช้าซีเรียล อาหารจากธัญชาติพร้อมรับประทาน (ready to eat cereals) โปรตีนเกษตร และอาหารขบเคี้ยว หรือขนมกรอบ high shear cooking extruder จัดอยู่ใน HTST ส่วนมากวัตถุดิบที่นำมาใช้ก่อนป้อนเข้าเครื่อง ควรให้ความร้อนก่อนซึ่งจะเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไอน้ำหรือน้ำร้อนก็ได้ แล้วป้อนเข้าไปในเครื่อง เพื่อทำให้วัตถุดิบนี้เปลี่ยนเป็นเจล หรือปรับโครงสร้างภายในโมเลกุลของวัตถุดิบเสียใหม่ และการอุ่นนั้นจะช่วยให้วัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้สุก และเย็นตัวลงเกือบทันทีเมื่อผลิตภัณฑ์โผล่พ้นหน้าแปลนออกมา เวลาที่ใช้ในการหุงต้มนี้ต้องสั้นมาก (short residence time)

2) แบ่งตามการเคลื่อนที่ของความร้อน (thermodynamic characteristics)

2.1) Autogenous extruder ความร้อนทั้งหมดที่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้รับ (input to the extruder) นั้น มาจากการเสียดสี (friction) คือเปลี่ยนมาจากพลังงานกล และมีเพียงปริมาณเล็กน้อย หรือไม่มีเลยของความร้อนที่เพิ่มขึ้น หรือระบายออกไปจากบาเรล collet extruders และ high-shear cooking extruders บางชนิดที่จัดเป็น autogenous extruder เนื่องมาจากอุณหภูมิภายในของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้จะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไป และการจัดรูปแบบของสกรู ดังนั้นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบ autogenous นี้จึงไม่ค่อยคล่องตัวในการที่จะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด และยังยากต่อการควบคุมการทำงานของเครื่องอีกด้วย

2.2) Isothermal extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้ มีระบบการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากันเป็นระยะตลอดความยาวของบาเรล forming extruders ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ เพื่อคงสภาพความร้อนให้เท่ากันโดยตลอดความร้อนจะถูกระบายผ่านทางช่องว่าง (jacket) ระหว่างผนังสองชั้นของบาเรลที่อยู่รอบสกรู

2.3) Polytropic extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แทบทุกชนิดเป็นประเภท polytropic คือ จะได้รับความร้อนจากทั้ง 2 ทางคือ ความร้อนที่เกิดจากพลังงานกล และความร้อนที่ได้มาจากแหล่งความร้อนภายนอกที่ส่งผ่านมาทางช่องว่างของบาเรล

3) แบ่งตามปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่ป้อน (moisture characteristics)

3.1) ความชื้นต่ำ (low moisture) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทที่ใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 20 พลังงานส่วนใหญ่เกิดจากแรงเสียดทานของวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความแห้งมาก และมีลักษณะที่พองมาก ทำให้กำหนดรูปร่างของผลิตภัณฑ์ได้ยาก

3.2) ความชื้นปานกลาง (intermediate moisture) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทที่ใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นในช่วงร้อยละ 20-28 พลังงานความร้อนครึ่งหนึ่งได้จากแรงเสียดทานที่เหลือได้จากการให้ความร้อนจากแหล่งภายนอก เช่น จาก steam jacket หรือจากการพ่นไอน้ำเข้าไปผสมโดยตรงกับวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นพอควร ต้องผ่านการอบแห้งอีกครั้ง เพื่อให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการ การพองของผลิตภัณฑ์เกิดเพียงเล็กน้อย เนื้อค่อนข้างแน่น ทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูปร่างของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3) ความชื้นสูง (high moisture) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทที่ใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 28 ขึ้นไป พลังงานความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานในแบบนี้จะน้อยมาก ส่วนใหญ่ได้ความร้อนจากแหล่งภายนอก เช่น การพ่นไอน้ำไปผสมกับวัตถุดิบโดยตรง หรือเป็นความร้อนแพร่ผ่านมาทางผนังกระบอกเหล็กสองชั้น โดยการนำจากไอน้ำ ขดลวดไฟฟ้า หรือของเหลวร้อนที่อยู่ในช่องว่างของผนังกระบอกเหล็ก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักจะไม่ค่อยพอง ทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย หลากหลายรูปแบบ แต่ผลิตภัณฑ์นี้มีความชื้นสูง ต้องผ่านขั้นตอนการอบแห้งก่อนที่จะผ่านกระบวนการอื่น ๆ ต่อไป

4) แบ่งตามโครงสร้างของเครื่อง (structure characteristics)

4.1) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (single screw extruder) ประกอบด้วย สกรู 1 อัน วางยาวตลอดภายในตัวเครื่อง เมื่อสกรูหมุนจะเกิดการผสมของวัตถุดิบ และพาวัตถุดิบเคลื่อนไปตามตัวเครื่อง ความร้อนที่ส่งผ่านให้วัตถุดิบเกิดจากอุณหภูมิที่ตั้งไว้ภายในเครื่อง และแรงเฉือนระหว่างสกรูกับวัตถุดิบ ความดันภายในเครื่องจะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะบริเวณใกล้หน้าแปลน ซึ่งเป็นทางออกสู่สภาพบรรยากาศสภาวะปกติ สกรูที่พาดยาวภายในตัวเครื่อง ประกอบด้วย ส่วนที่ส่งวัตถุดิบเข้าไป เพื่ออัดวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนนวด เพื่อการบีบนวด ส่วนผสม และเฉือนเนื้ออาหารที่มีคุณสมบัติคล้ายพลาสติก และมีส่วนของการให้ความร้อนในเครื่องที่ใช้แรงเฉือนสูงด้วย การส่งวัตถุดิบผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวนี้ทำให้โดยอาศัยความฝืดที่ผิวของบาเรล วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการทำงานของเกลียวสกรู และมีบางส่วนเคลื่อนที่ในทางกลับกัน (pressure flow และ leakage flow) ซึ่งเป็นการไหลเนื่องจากแรงดันที่เกิดด้านหลังหน้าแปลน และการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบระหว่างสกรูและบาเรล การใช้ผ้าแบบพิเศษหุ้มภายในบาเรลจะช่วยลดการลื่นไหลได้ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวใช้เงินลงทุน และค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องและความชำนาญในการควบคุมดูแลเครื่องน้อยกว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (กมลวรรณ, 2541; วิไล, 2545)

ปัญหาที่มักเกิดขึ้น ในการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวคือ ปัญหาการลื่นไหล (slippage) และเกิดการสะอึก (surging) ปัญหาการลื่นไหลมักจะเกิดขึ้นในสภาวะที่ความดันภายในบาเรลสูง ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการลื่นไหลระหว่างสกรูและผนังบาเรล ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารไม่ได้รับความร้อนเพียงพอ หรือผ่านกระบวนการผลิตไม่สมบูรณ์ ส่วนปัญหาการสะอึกซึ่งมีลักษณะคือ ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นช่วง ๆ ไม่ต่อเนื่อง มักจะเกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สม่ำเสมอ ความดันจะเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารพ่นออกมาเป็นฝอย หรือชิ้นเล็ก ๆ เมื่อผ่านพ้นหน้าแปลนออกมาโดยไม่สามารถควบคุมได้ (วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (twin screw extruder) มีสกรู 2 สกรูวางข้าง ๆ กัน โดยสกรูจะหมุนเป็นรูปเบอร์ 8 อยู่ในบาเรล ประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบนี้แบ่งได้ตามทิศทางของการหมุน และลักษณะที่สกรูจะหมุนเจอกัน สกรูแบบที่หมุนไปในทิศทางเดียวกันเป็นแบบที่นิยมใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร การหมุนของสกรูทำให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ไปตามเกลียวของเครื่อง การหมุนเจอกันช่วยในการผสม และป้องกันการหมุนของวัตถุดิบในบาเรล (วิไล, 2545)

ข้อดีของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่เปรียบเทียบกับเครื่องเอ็กซ์ทรูเดรอ์แบบสกรูเดี่ยว

1. ผลผลิตที่ได้ไม่ขึ้นกับอัตราการส่งวัตถุดิบเข้ามา สามารถควบคุมความไม่แน่นอนของอัตราการผลิตได้โดยการปรับการทำงานของเกลียวสกรู ในขณะที่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวจะต้องมีการเติมวัตถุดิบให้เต็มเสมอเพื่อการทำงานให้มีประสิทธิภาพ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการควบคุมการถ่ายเทความร้อนดีกว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

2. สามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความมัน เหนียว หรือเปียกมากหรือลื่นมาก ข้อจำกัดสำหรับเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวและสกรูคู่ตามลำดับดังนี้ ไขมันร้อยละ 4 และ 20 น้ำตาลร้อยละ 10 และ 40 ความชื้นร้อยละ 30 และ 65 (Fellows, 1993) จะเห็นได้ว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบสกรูคู่มีความยืดหยุ่นในการทำงานดีกว่า

3. ใช้การลำเลียงวัตถุดิบไปข้างหน้าหรือย้อนกลับเพื่อความคุมความดันภายในบาเรล เช่น ในการผลิตกับผลไม้ อาหารถูกให้ความร้อนและอัดโดยการลำเลียงไปข้างหน้า มีการลดความดันเพื่อลดความชื้นส่วนเกินหรือเพื่อเพิ่มส่วนผสมของอาหารโดยการลำเลียงย้อนกลับ แล้วอาหารจะถูกอัดใหม่ต่อไป

4. มีส่วนดิสชาร์จสั้น ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดความดันสำหรับการอัดได้ ดังนั้นจึงทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องเกิดการสึกหรอน้อยกว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

5. อาจใช้ส่วนผสมของขนาดวัตถุดิบตั้งแต่ละเอียดเป็นผงถึงขนาดเมล็ดถั่ว ในขณะที่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวเหมาะกับขนาดอนุภาคที่เป็นเม็ด

2.2.3 ขั้นตอนกระบวนการผลิตโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน

เริ่มจากการชั่งวัตถุดิบตามสูตรส่วนผสม ผสมให้เข้ากันดีในเครื่องผสม เสร็จแล้วนำออกมาจากเครื่องผสมบรรจุลงในถุงพลาสติก หรือภาชนะที่ใช้บรรจุ จากนั้นนำไปป้อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบส่วนประกอบต่างๆเข้าด้วยกันแล้ว ป้อนวัตถุดิบผสมเข้าไปตรงส่วนที่รับวัตถุดิบ (feed port) วัตถุดิบจะถูกพาเข้าสู่ช่วงของการผลิต ซึ่งแบ่งได้ 3 ช่วง ดังนี้ (ประชา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) ช่วงการป้อนและการผสม (Feeding and mixing zone)

วัตถุดิบผสมนี้จะถูกพาให้เคลื่อนที่ไปทางข้างหน้าอย่างต่อเนื่อง เคลื่อนที่ไปตามร่องเกลียวสกรูและช่องว่างระหว่างสันเกลียวสกรูกับผนังบาเรลด้านใน ดังนั้นความลาดเอียง องศาความตื้นลึกของเส้น (ร่อง) เกลียวและความสูงของสันเกลียว ตลอดจนความเร็วรอบของสกรูนั้น จึงมีบทบาทสำคัญมาก ทั้งนี้เนื่องจากสกรูนอกจากจะมีหน้าที่ในการขนถ่าย ผลักพา หรือขับเคลื่อนให้วัตถุดิบผสมเคลื่อนที่ไปแล้ว ยังทำหน้าที่ผสม นวด บด อัด ด้วยการทำงานของสกรูเช่นนี้ จึงก่อให้เกิดงานและความร้อนขึ้นบ้าง สกรูที่ใช้ในช่วงแรกนี้ทำหน้าที่หลัก ได้แก่ ขนถ่าย ผลักพาให้วัตถุดิบผสมเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างรวดเร็ว สกรูที่ใช้ในช่วงแรกที่เรียกว่า สกรูป้อนนี้ ต้องเป็นชนิดที่ร่องเกลียวสกรูลึก มุมลาดเอียงของเส้นเกลียวสกรูต้องลาดชัน และความกว้างระหว่างเกลียวสกรูต้องมากกว่าสกรูช่วงอื่น ๆ เมื่อสกรูส่วนนี้รับส่วนผสมของวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แล้ว วัตถุดิบผสมนี้จะถูกผลักพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการหมุนตัวของสกรู และแรงเสียดทานวัตถุดิบผสมในช่วงนี้เปรียบเสมือนถูกลดขนาดลงในขณะที่ถูกผลักดัน อัดให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตลอดเวลา ขณะเดียวกันการผลักพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้านั้นทำได้ช้าลง ทั้งที่วัตถุดิบผสมนี้ถูกป้อน อัด เข้ามาด้วยอัตราและปริมาณเท่าเดิม เนื่องจากทางออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีหน้าแปลนที่มีรูเปิดกว้างอันจำกัดปิดไว้ กอปรกับพื้นที่ของช่องว่างระหว่างผนังบาเรลด้านในกับผนังบาเรลลดลง เนื่องจากร่องเกลียวสกรูในช่วงถัดไปตื้นขึ้น จึงทำให้วัตถุดิบผสมในช่วงป้อนนี้ถูกแรงอัด ผลักดันให้รวมตัวเข้ามาชิดกันได้ดียิ่งขึ้นจนเกือบเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ขนม หรือปริมาตราของวัตถุดิบผสมนี้ลดลง

2) ช่วงการนวด (Kneading zone)

วัตถุดิบผสมยังคงถูกบด อัด นวด ผลักดัน เฉือน เสียดสี เหมือนเดิมแต่มากกว่า เนื่องจากสกรูของส่วนนี้ออกแบบให้เป็นสกรูที่มีร่องเกลียวและความลึกที่แคบและตื้นกว่าสกรูช่วงแรก หรืออาจใช้วิธีการที่ทำให้ความสามารถในการขนถ่ายหรือผลักพาของสกรูลดลง เพื่อช่วยทำให้เกิดแรงอัดมากขึ้น ส่วนผสมของอาหารจะหมุนตัวในช่องว่างที่เป็นร่องเกลียวสกรุกับผนังบาเรลด้านใน และในขณะเดียวกันก็เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการเคลื่อนที่ ที่เกิดขึ้นจากการหมุนตัวของสกรูที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่ กำลังแรงม้าสูงเป็นตัวขับเคลื่อนหมุนสกรู จึงทำให้เกิดความร้อนขึ้น เป็นความร้อนที่ได้มาจากการเปลี่ยนพลังงานกล (ที่มาจากการเสียดสีและเฉือน) และความร้อนนี้จะแพร่เข้าไปในส่วนผสมของวัตถุดิบที่ยังเป็นแป้งชิ้น ๆ ที่เคลื่อนที่มาจากช่วงป้อนซึ่งมีผลทำให้ส่วนผสมช่วงนี้มีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วทำให้ส่วนผสมของอาหารนี้เปลี่ยนเป็นแป้งเหนียวหยุ่น มีลักษณะเหนียว หนืด ยืดหยุ่นได้เหมือนกับโด (dough) ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปยังช่วงที่ 3 ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ช่วงการหุงต้ม หรือช่วงที่ทำให้ร้อนจนสุก (Final cooking zone)

สกรูส่วนนี้จะออกแบบพิเศษ เช่น ร่องเกลียวต้องตื้น มุมลาดเอียง องศาของเส้นเกลียวจะมีความชันน้อยลง มีรอยตัดหรือบากที่เส้นเกลียว หรือฝังหมุด จำนวนเส้นเกลียวมีมากขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มแรงเฉือน และช่วยให้การผสมดียิ่งขึ้น สกรูที่มีลักษณะพิเศษนี้จึกทำให้แป้งเหนียว หนืด หยุ่นนี้เปลี่ยนแปลงสถานะไปเป็นของเหลวที่ไม่มีรูปพรรณสัณฐาน เป็นของเหลวไหลได้ที่เรียกว่า เจล (gel) หรือแป้งสุก เมื่อถูกอัดผ่านพ้นหน้าแปลนออกมา และด้วยความแตกต่างของความดันบรรยากาศที่ภายนอกกับความดันสูงที่เกิดขึ้นภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์จะทำให้น้ำที่อยู่ในส่วนผสมอาหารที่หลอมเหลวเป็นเจล ระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยตัวออกไปพร้อมกับดึงเอาส่วนโครงสร้างที่เป็นแป้งเหลวสุกนี้ยืดขยายตัวออก และคงสภาพความพองไว้ที่อุณหภูมิบรรยากาศภายนอก ขณะเดียวกันก็ถูกตัดเป็นชิ้นหรือท่อน ตามขนาดที่ต้องการด้วยใบมีด จากนั้นนำไปอบแห้งแล้วเคลือบกลิ่นรสตามแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำ (ประชา, 2544)

2.2.4 ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ตัวแปรแรกเป็นส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ได้แก่ แบบของตัวเครื่อง แบบของสกรู และแบบของหน้าแปลน ตัวแปรที่ 2 เป็นกระบวนการผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้แก่ อุณหภูมิของเครื่อง ความเร็วรอบของสกรู รูปแบบการจัดเรียงของสกรู และอัตราการป้อนวัตถุดิบสู่เครื่อง เป็นต้น ส่วนตัวแปรสุดท้าย เป็นองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน แป้ง ไขมัน เส้นใย น้ำ น้ำตาล และเกลือ เป็นต้น ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันว่าการใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นค่อนข้างสูง (ร้อยละ 18-22) ที่อุณหภูมิปานกลาง (88-104 องศาเซลเซียส) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะค่อนข้างแข็ง โครงสร้างเซลเล็ก และลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียว หากวัตถุดิบมีความชื้นต่ำ (ร้อยละ 10-14) ที่อุณหภูมิสูง (93-121 องศาเซลเซียส) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พอง ลักษณะเบาและมีโครงสร้างเซลล์เปิดกว้าง เมื่อนำไปอบแห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกรอบนุ่ม แต่หากอุณหภูมิในการเอ็กซ์ทรูชันค่อนข้างต่ำ (65-80 องศาเซลเซียส) ปริมาณความชื้นจะไม่มีผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันมากนัก แต่จะมีผลเมื่ออุณหภูมิเอ็กซ์ทรูชันสูง (95-110 องศาเซลเซียส) ความชื้นที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อย่างพอเหมาะ จะทำให้เกิดความดันไอขึ้นในเนื้ออาหาร เมื่อได้รับความร้อนจึงเกิดการพองตัว มีลักษณะเป็นรูพรุนทั่วอาหาร โดยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์คือ ร้อยละ 13 ดังนั้น ถ้าความชื้นสูงเกินไป จะทำให้อัตราส่วนการพองตัวลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไปทำให้ไอน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบ ไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็วทีผ่านผลิตภัณฑ์ผ่านพ้นหน้าแปลน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จึงทำให้น้ำเหลืออยู่ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่มีรอยร้าวที่ผิวซึ่งตัวแปรทั้งสาม และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบ ซึ่งส่งผลไปถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในระหว่างกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เช่น ความร้อน ความดัน และแรงเฉือนที่เกิดจากตัวแปรต่าง ๆ โดยมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลของอาหาร (แป้ง โปรตีน ไขมัน) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางโภชนาการของอาหาร (Chiang and Johnson, 1977 และ กมลวรรณ, 2541) เช่นเดียวกับการศึกษาผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวจากถั่วเขียวโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ ของประชา และคณะ (2539) ได้แปรค่าปริมาณถั่วเขียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักตั้งแต่ร้อยละ 50-100 ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมด้วยวิธี Response Surface Methodogy (RSM) โดยศึกษาตัวแปรคือ ความชื้นของวัตถุดิบส่วนผสม ความเร็วรอบสกรู และอุณหภูมิสุดท้าย แต่ละปัจจัยบางออกเป็น 3 ระดับพบว่า อัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตคือส่วนผสมของถั่วเขียว : แป้งข้าวเจ้า (70 : 30) ร้อยละ 91.5 แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มร้อยละ 7.5 และวิตามินผสมร้อยละ 1 สภาวะในการผลิตที่ดีควรเลือกที่ความชื้นของวัตถุดิบส่วนผสมร้อยละ 16 ความเร็วรอบสกรู 300 รอบต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 135 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ขณะผ่านรูเปิดของหน้าแปลน (melt temperature) 150-153 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนวัตถุดิบ 16.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง รูเปิดของหน้าแปลน 3 มิลลิเมตร มีอัตราการพองตัว 4.03 ความหนาแน่น 0.059 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แรงตัด 0.9 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การยอมรับทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

นอกจากนี้ ตัวแปรของกระบวนการผลิต โดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ สามารถปรับให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ตามปัจจัยต่างๆ ซึ่งจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ดังนี้ คือ

1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ตลอดความยาวของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ถ้าอุณหภูมิทางออกของเครื่องมากกว่า 100 องศาเซลเซียสจะได้ผลิตภัณฑ์ที่พองทันทีหลังออกจากเครื่อง เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไม่พองทันทีหลังออกมาจากเครื่อง เกิดเนื่องจากการลดอุณหภูมิช่วงใกล้ทางออกลงต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการพองตัวของผลิตภัณฑ์แต่จะพองหลังจากให้ความร้อน เช่น โดยวิธีการทอด หรือ อบเป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ความเร็วรอบของสกรู (Screw speed)

ความเร็วรอบของสกรูมีผลต่อการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่อง ช่วงเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่อง (residence time) และแรงเฉือน การเพิ่มแรงเฉือนใกล้ทางออกของเครื่องจะเพิ่มการสูญเสียโครงสร้างของโมเลกุลแป้ง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่พอง มีลักษณะรูพรุนเล็ก และความทนต่อแรงกดลดลง

3) รูปแบบของสกรู (Screw configuration)

ชิ้นส่วนของสกรูที่ใช้ และตำแหน่งชิ้นส่วนของสกรูมีผลต่อรูปแบบของสกรูโดยเฉพาะกับเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ ซึ่งมีผลต่อการผสมของวัตถุดิบ เวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่อง แรงเฉือน พลังงานกลที่ให้กับวัตถุดิบ และอุณหภูมิของโดภายในเครื่อง

4) อัตราการป้อนวัตถุดิบ (Feed rate)

การเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบสู่เครื่อง จะมีการเพิ่มความดันที่หน้าแปลน ลดพลังงานกลที่ป้อนเข้า และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่อง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะมีผลต่อคุณภาพที่ได้

2.2.5 การประยุกต์ใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ในอุตสาหกรรม

1) ผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก

1.1) ขนมขบเคี้ยว (Snack) การผลิตขนมขบเคี้ยวใช้ความชื้นต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 15) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกพองมาก ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสละลายในปาก เกิดแรงเค้นสูง และใช้อุณหภูมิสูง ทำให้สตาร์ชเกิดความเสียหาย

1.2) ขนมปังกรอบ (Biscuit) การผลิตขนมปังกรอบด้วยเครื่องเอ็กซทรูเดอร์แบบเกลียวคู่ได้สร้างกระบวนการใหม่ในการผลิตขนมขบเคี้ยวที่มีแคลอรี่ต่ำ และได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง (Linko *et al*., 1983) ส่วนผสมจะถูกอัดผ่านเกลียวที่อุณหภูมิและความดันสูง ขนมปังกรอบจะผ่านการปิ้งย่าง เพื่อลดความชื้นและทำให้ผิวผลิตภัณฑ์เป็นสีน้ำตาลต่อไป จะประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 66 เมื่อเปรียบเทียบกับการอบด้วยเตาอบ เนื่องจากต้องกำจัดความชื้นออกไปอีกในปริมาณที่น้อยกว่า สามารถประหยัดเงินลงทุน และพื้นที่ในการดำเนินการถึงร้อยละ 60 เนื่องจากไม่ต้องใช้เตาอบขนาดใหญ่ (Vincent, 1984)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3) ผลิตภัณฑ์ธัญพืชพร้อมรับประทาน (Instant cereal products) กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ธัญพืชพร้อมรับประทาน และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เนื่องจากสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบประเภทแป้งและธัญพืช ให้ผลิตภัณฑ์ที่พองกรอบ มีรูปร่าง และเนื้อสัมผัสที่หลากหลาย ให้ความร้อนและขึ้นรูปได้ในการแปรรูปขั้นตอนเดียว ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ

ผลิตภัณฑ์ธัญพืชกรอบพองผลิตจากส่วนผสมของแป้งธัญพืช และสตาร์ชผสมกับส่วนผสมอื่น เช่น มอล์ต ไขมัน น้ำตาล อิมัลซิไฟเออร์ และเกลือ การให้ความร้อนทำที่ความชื้นค่อนข้างสูง (มากกว่าร้อยละ 20) โดยใช้ไอน้ำในขั้นตอนปรับสภาพเบื้องต้น และให้ความร้อนที่บาเรล การให้ความชื้นสูงจะช่วยชะลอความเสียหายของสตาร์ช และให้กลิ่นรสจากการให้ความร้อนวัตถุดิบอย่างเต็มที่ ใช้ใบมีดในการตัดผลิตภัณฑ์กรอบพอง และนำไปอบแห้งในเครื่องอบลมร้อนจนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 4 และนำไปย่างเป็นเวลาสั้น ๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส เพื่อให้กลิ่นรสและลักษณะสัมผัสตามต้องการ และอาจตามด้วยการเคลือบกลิ่นรส น้ำตาล วิตามินและเกลือแร่ (วิไล, 2545)

1.4) คอร์นเฟลค (Cornflakes) เดิมกรรมวิธีการผลิตคอร์นเฟลคใช้เม็ดข้าวโพด ขนาดของข้าวโพดแต่ละเม็ดจะเป็นตัวกำหนดผลิตภัณฑ์ เริ่มจากการให้ความร้อนเม็ดข้าวโพดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนมีความชื้นร้อยละ 21 แล้วบ่มไว้ 2 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นกระจายได้ทั่วถึง แล้วจึงทำให้เป็นแผ่น นำไปปิ้ง และฉีดพ่นด้วยสารละลายวิตามิน รวมแล้วใช้เวลากว่า 5 ชั่วโมง แต่ปัจจุบันสามารถผลิตเม็ดแป้งข้าวโพดด้วยเอ็กซ์ทรูเดอร์ความดันต่ำ ขนาดของเม็ดแป้งจะกำหนดขนาดของคอร์นเฟลค โดยเม็ดแป้งจะถูกทำให้เป็นแผ่น และพ่นวิตามินเช่นกัน ซึ่งสามารถลดค่าวัตถุดิบ เนื่องจากสามารถใช้เม็ดข้าวโพดได้ทุกขนาด ลดการใช้พลังงาน ลดเงินลงทุน และค่าแรง (Darrington, 1987)

1.5) ขนมขบเคี้ยวที่ยังไม่สุกพองทันที (Indirect expanded snacks) ขนมขบเคี้ยวที่ยังไม่สุกพองทันที หรือขนมกรอบ หมายถึง ขนมขบเคี้ยว หรือขนมกรอบกึ่งสำเร็จรูป (haft products หรือ intermediate products) ซึ่งต้องผ่านการทำให้สุกด้วยการทอด อบ หรือคั่ว

ลักษณะภายนอกของขนมขบเคี้ยวประเภทนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่พอง เมื่ออัดผ่านรูเปิดหน้าแปลนออกมา จึงต้องมีกระบวนการแปรรูปอีกครั้งจึงจะรับประทานได้ ซึ่งขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นมานี้จะทำให้เกิดรูปร่างลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวนี้ น้ำหนักของเพลเลตรูปแบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับรูปร่าง โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของการขึ้นรูป และการตัดเมื่อนำไปทอด ขนาดของเพลเลตจะขยายตัวขึ้นเป็น 6-8 เท่า โดยอาหารจะสูญเสียความชื้น แต่ดูดซับน้ำมันในขั้นตอนการทอด ความชื้นโดยเฉลี่ยของขนมขบเคี้ยวทอดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 3 โดยมีไขมันปริมาณร้อยละ 30

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันโดยให้ความร้อนเพื่อผลิตเพลเลตของขนมขบเคี้ยว ซึ่งมีแป้งเป็นองค์ประกอบ ขั้นตอนการอบแห้งเพลเลตเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ต้องควบคุมการกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (หลังทอด) มีคุณภาพดี ทั้งนี้ทำได้โดยควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และเวลาที่อาหารอยู่ในเครื่อง การทำแห้งเพลเลตจะทำให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการนำไปทอด ระดับความชื้นสุดท้ายจะถูกปรับในระหว่างการปรับสภาพในถุงขนาดใหญ่ คล้ายกระสอบ หรือภาชนะอื่น ๆ ในห้องที่ไม่มีการปรับอากาศ (อุณหภูมิประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40-60 (วิไล, 2545)

1.6) มักกะโรนี (Macaroni) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวได้เข้ามาแทนเครื่องอัดพาสต้า โดยใช้ระบบไฮโดรลิก เครื่องจะทำหน้าที่ผสมแป้งเซโมไลนา (semolina flour) น้ำ และส่วนผสมอื่น เพื่อทำให้เกิดโดที่มีความชื้นร้อยละ 31 และดันวัตถุดิบผ่านรูหน้าแปลนให้เกิดรูปร่างของพาสต้าตามต้องการ การใช้สกรูที่มีร่องลึก แรงเค้นต่ำ และผิวบาเรลเรียบ จะทำให้เกิดความร้อน หรือการทำให้สุกเบื้องต้น จากนั้นต้องนำผลิตภัณฑ์ที่อัดได้ไปอบในเครื่องอบขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำโดยไม่มีรอยแตกหรือหัก (Harper, 1981)

2) ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดและขนมหวาน

การผลิตลูกกวาดและขนมหวาน ในปัจจุบัน นิยมผสมส่วนผสม และต้มในหม้อต้มที่หุ้มด้วยสตีมแจ็คเก็ตโดยมีไอน้ำไหลผ่านท่อในเครื่อง หรือใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีขูดผิว นอกจากนั้นยังมีการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ในการผลิต เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิสำหรับวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน และการผสมไขมัน นมผง ถั่ว สี กลิ่นรสเข้าด้วยกัน การใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ที่มีอัตราส่วน L/D (25:1) ค่อนข้างสูง จะให้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมกับการใช้งาน ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดที่ใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ในการผลิตได้แก่ ท๊อฟฟี่ คาราเมล ถั่วกระจก ไวน์กัม (wine gum) และริโคไรซ์ (licorice) (วิไล, 2545) โดยไวน์กัม และริโคไรซ์ ทำจากการให้ความร้อนส่วนผสมต่าง ๆ เช่น แป้ง น้ำตาล น้ำเชื่อม ข้าวโพด และกัม (ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส) การควบคุมการให้ความร้อนแป้งในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเกลียวคู่ทำได้อย่างเที่ยงตรง ทำให้สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก จึงช่วยลดต้นทุน และเวลาในการบ่มได้ (Rice, 1984)

การนำส่วนผสมของน้ำตาลซูโครส กลูโคส และแป้งมาอัดด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตด้วย จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เหนียว ความร้อนจะทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ น้ำตาลละลาย และไล่ไอน้ำส่วนเกินออกไป มีการเติมกลิ่นรสลงไปในส่วนผสม สามารถปรับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ยืดหยุ่นได้โดยการปรับส่วนผสม และควบคุมสภาวะการผลิตของเครื่อง หรือปรับรูปร่างได้โดยการใช้หน้าแปลนที่มีรูปร่างต่าง ๆ (วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

3.1) อาหารสัตว์เลี้ยงแบบแห้ง ประกอบด้วย ส่วนผสมของธัญพืช โปรตีนจากพืช ผลิตผลพลอยได้จากเนื้อสัตว์ กระดูกบด ไขมัน เกลือ สี สารปรุงแต่งกลิ่นรส วิตามินและเกลือแร่ มีการให้ความร้อนส่วนผสม เพื่อทำให้สุกด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ที่ความชื้นประมาณร้อยละ 25 และทำให้แห้งเหลือความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 บางครั้งจะมีการเคลือบไขมันหรือสารปรุงแต่งกลิ่นรสอื่น ๆ บนผิวของผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มรสชาติ และลักษณะเฉพาะตัว อย่างไรก็ตามมีการประยุกต์ใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ในการผลิตอาหารสัตว์น้อยมาก เนื่องจากต้องใช้ความชื้นค่อนข้างสูง รวมทั้งสูตรส่วนผสมทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องเสียหายเร็วและใช้เงินลงทุนสูง

3.2) อาหารสัตว์เลี้ยงแบบกึ่งเปียก (semi-moist) อาหารสัตว์เลี้ยงแบบกึ่งเปียกมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 30 จึงมีลักษณะนุ่ม มีการเติมสารดูดความชื้นเช่น กลีเซอรอล ซิอลบิทอล โพรพิลีนไกลคอนหรือน้ำตาล เพื่อควบคุมวอเตอร์แอคติวิตี และเติมสารยับยั้งการเน่าเสีย เช่น กรดเกลือซอร์เบท จำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะการผลิตอย่างเข้มงวด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ และต้องให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิพาสเจอไรซ์การใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่โดยควบคุมเวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องให้สั้นจะช่วยปรับปรุงลักษณะการผสม และเหมาะสำหรับอาหารสัตว์กึ่งเปียกนี้ อุณหภูมิที่ใช้โดยทั่วไปจะต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้กับอาหารสัตว์เลี้ยงแบบแห้ง

3.3) โปรตีนจากพืชและสัตว์ มีการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ในการสร้างลักษณะสัมผัสของถั่วเหลือง Harper (1986) ได้อธิบายไว้ว่า กระบวนการแปรรูปโดยใช้แป้งถั่วเหลืองคุณภาพสูงซึ่งกำจัดไขมันออกไปแล้ว และมีดัชนีการละลายได้ของไนโตรเจนมากกว่าร้อยละ 50 หลังจากปรับความชื้นจากวัตถุดิบโดยใช้น้ำและไอน้ำให้ได้ความชื้นประมาณร้อยละ 33 แล้วจะเป็นขั้นตอนการเอ็กซ์ทรูชั่นที่อุณหภูมิ 155 องศาเซลเซียส การเกิดพันธะข้าม (cross linking) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน จะทำให้เกิดโครงสร้างคล้ายเนื้อสัตว์ สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำแห้ง หรือใช้แทนเนื้อสัตว์ในอาหารชนิดต่างๆ ได้ การควบคุมลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายขึ้นกับการออกแบบหน้าแปลนเฉพาะ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะโครงสร้าง และความหนาแน่นที่ต้องการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.6 ผลของการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ต่อคุณภาพของอาหาร

1) ลักษณะทางประสาทสัมผัส กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นทำในสภาวะ HTST มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อสี กลิ่น และรสชาติตามธรรมชาติของอาหาร อย่างไรก็ตามอาหารหลายชนิดจะมีการเติมสีสังเคราะห์ลงไป สีของผลิตภัณฑ์อาหารจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ ได้รับความร้อนสูงเกินไป หรือทำปฏิกิริยากับโปรตีน น้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar)

หรืออิออนของโลหะ นอกจากนี้อาจมีปัญหาในเรื่องของการเติมสารปรุงแต่งกลิ่นการทำ cold extrusion ซึ่งกลิ่นรส ดังกล่าวจะหายไป เมื่อนำผลิตภัณฑ์ออกมาจากแม่พิมพ์ การใช้สารปรุงแต่งกลิ่นที่ห่อหุ้มอยู่ในแคปซูลเล็ก ๆ จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าได้ แต่มีราคาแพง ดังนั้นสารปรุงแต่งกลิ่นที่นิยมใช้กับผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์ มักอยู่ในรูปของอิมัลชันหรือของเหลวข้นหนืด เมื่อเติมลงไปแล้วอาจทำให้เกิดความเหนียวเหนอะที่ผิวด้านนอกผลิตภัณฑ์บางชนิด จึงต้องอบให้แห้งอีกครั้ง

2) คุณค่าทางโภชนาการ การสูญเสียวิตามินในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตโดยการเอ็กซ์ทรูชันจะมากหรือน้อย ผันแปรตามชนิดของวัตถุดิบ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการผลิต อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วจะสูญเสียวิตามินเพียงเล็กน้อยในการทำ cold extrusion เป็นสภาวะของ HTST ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น และการทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วทันทีที่นำออกจากแม่พิมพ์จะทำให้วิตามิน และกรดอะมิโนจำเป็นสูญเสียค่อนข้างน้อย ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้อุณหภูมิในเอ็กซ์ทรูเดอร์ 145 องศาเซลเซียส จะสูญเสียวิตามินบีหนึ่งเพียงร้อยละ 5 เท่านั้น ส่วนการสูญเสียวิตามินซี และวิตามินเอจะสูงถึงร้อยละ 50 ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการผลิตเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Harper, 1979) การสูญเสียกรดอะมิโนไลซีน ซีสติน และเมไธโอนีนในผลิตภัณฑ์จากข้าว ผันแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 50-90 ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการผลิต (Seiler, 1984) สำหรับการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในแป้งถั่วเหลือง (soy flour) จะขึ้นอยู่กับสูตรและกระบวนการแปรรูป การใช้อุณหภูมิสูงและมีน้ำตาลจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (millard browning) และทำให้คุณภาพของโปรตีนลดลง การใช้อุณหภูมิต่ำ และลดความเข้มข้นของน้ำตาลให้น้อยลงจะช่วยให้สามารถในการย่อยของโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนมีการเรียงตัวของโครงสร้างใหม่ ส่วนกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันในผลิตภัณฑ์จากถั่ว ความร้อนจะช่วยทำลายสารต้านโภชนาการ และสารพิษถั่วตามธรรมชาติ เช่น ทำลายสารต้านการทำงานของเอนไซม์ทริพซิน ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในถั่วเพิ่มขึ้น

2.2.7 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยว

โดยทั่วไปขนมขบเคี้ยวส่วนมากที่มาจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน จะผลิตจากข้าวโพดเกล็ด ซึ่งผลิตจากข้าวโพดที่แยกเอารำ (pericarp or barn) และคัพภะ (germ) ออก และจะนำไปโม่ให้มีลักษณะเป็นเกล็ดหยาบ (corn grit) หรือโม่ละเอียดเป็นฟลาวร์ (corn flour) (Elaine, 1998) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในส่วนนี้ยังมี โปรตีน เกลือแร่สูง เหมาะสำหรับใช้ประกอบอาหารในอุตสาหกรรม (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) ซึ่งข้าวโพดเกล็ดใช้ในการผลิตขนมขบเคี้ยวที่เป็นลักษณะสุกพองทันทีโดยวิธีการเอ็กซ์ทรูชันเพราะลักษณะของข้าวโพดจะมีสีเหลือง มีกลิ่นเป็นเอกลักษณ์และให้คุณสมบัติการพองตัวที่ดี แต่คุณภาพของข้าวโพดในไทยมีความแตกต่างจากต่างประเทศ และมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความไม่เหมาะสมในด้านการเคลือบกลิ่นรส (Boonyasirikool and Chanuruch, 2000b) ข้าวโพดเกล็ด จึงเป็นวัตถุดิบหลักที่เหมาะสมที่สุด แต่สำหรับในประเทศไทยแป้งข้าวโพดยังไม่มีการใช้กันมาก เนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นการผลิตขนมขบเคี้ยวได้มีการพัฒนาใช้วัตถุดิบท้องถิ่นในประเทศที่มีราคาถูกกว่า แต่คงคุณค่าทางโภชนาการสูงเช่นข้าวหรือ ธัญพืชชนิดอื่นร่วมในการผลิต เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และวัตถุดิบในประเทศ

1) ข้าวโพดเกล็ด (Corn Grit) ข้าวโพด *(Zea mays)* โดยทั่วไปนิยมแปรรูปเป็นอาหารว่าง และขนมขบเคี้ยว ส่วน ข้าวโพดเกล็ด เป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากข้าวโพดโดยการโม่ข้าวโพดแบบแห้ง (dry milling) เป็นการบดส่วนต่าง ๆ รวมกัน หรืออาจแยกคัพภะออกจากแป้งเพื่อรักษาคุณภาพแป้งให้มีอายุการเก็บที่นานขึ้นหรือ เพื่อแยกคัพภะนำไปสกัดน้ำมันข้าวโพด ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดที่ได้จากการโม่แบบแห้งนี้จะมีลักษณะและขนาดต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับระบบการโม่ข้าวโพดนั้น เช่น เม็ดข้าวโพดหยาบ (coarse grits) ปานกลาง (medium grits) และละเอียด (fine grits) แป้งข้าวโพด (corn flour) คัพภะ (germ) หรือรำ (hominy feed) เป็นต้น (จิตธนา และอรอนงค์, 2543) และส่วนมากข้าวโพดเกล็ดที่ผลิตได้ นิยมนำมาทำเป็นขนมกรอบหรือขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการอัดพอง (ด้วยเครื่อง Collet extruder) จะเรียกว่าข้าวโพดพองกรอบ (corn curl) ผลิตขึ้นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1946 โดยบริษัท Adams Corp. ประเทศสหรัฐอเมริกา (Harper, 1981) และมีการพัฒนาต่อมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งลักษณะพิเศษของข้าวโพด คือ มีสีเหลืองออกส้ม กลิ่นหอม และมีรสชาติของข้าวโพด การพองตัวดี แต่ข้าวโพดไทยมีสีและกลิ่นไม่หอม ไม่มีรสชาติของข้าวโพดทำให้การเคลือบกลิ่นรสบนขนมขบเคี้ยวทำได้ไม่มากนัก (ประชา และจุฬา ลักษณ์, 2543ข) โดยคุณลักษณะและคุณภาพ ของข้าวโพดเกล็ดหรือข้าวโพดบดหยาบที่ใช้นั้นมีอิทธิพลโดยตรงต่อเนื้อสัมผัส และความรู้สึกขณะรับประทาน เช่นขนมขบเคี้ยวที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบนุ่มและเซลล์โครงสร้างเล็กละเอียด (soft frothy texture) นั้น ทำมาจากข้าวโพดเกล็ดที่มีโปรตีนประมาณร้อยละ 6.75 ไขมันร้อยละ 0.91 เถ้าร้อยละ 0.36 และความชื้นร้อยละ 13 ส่วนขนาดของข้าวโพดเกล็ดนั้นอยู่ระหว่าง 50 เมช และ 60 เมช แต่ถ้าเป็นขนมขบเคี้ยวที่มีเนื้อสัมผัสที่กรอบแข็ง เนื้อแน่น เซลล์โครงสร้างใหญ่ รูอากาศโต ขนาดของข้าวโพดเกล็ดต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนของข้าวโพดเกล็ดก็เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 7.62 ไขมันร้อยละ 0.72 เถ้าร้อยละ 0.29 และความชื้นร้อยละ 12.7 (ประชา, 2537 ข)

ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจะมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8-10 จึงจำเป็นต้องอบไล่ความชื้นอีกเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งและกรอบ ความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งแล้วจะเหลืออยู่ร้อยละ 1-2 ซึ่งจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบที่คงทน จากนั้นจึงสามารถนำไปเคลือบกลิ่นรสต่อไป ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดมักนิยมเคลือบกลิ่นรส (flavor coating) โดยใช้เนยแข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เชดด้า (cheddar cheese) วิธีการเคลือบมีอยู่ 2 วิธีคือ วิธีเคลือบแห้ง และวิธีเคลือบเปียก วิธีเคลือบแห้งทำโดยการฉีดพ่นด้วยน้ำมันพืชแล้วโรยผงกลิ่นรส ลงไปเคลือบทับบนตัวผลิตภัณฑ์ ส่วนวิธีเคลือบเปียกทำได้โดยนำเอาน้ำมันพืช กลิ่นรส และเครื่องเทศมาผสมรวมกันแล้วฉีดพ่นสารละลายกลิ่นรสนี้เคลือบลงบนผลิตภัณฑ์ที่หมุนอยู่ในถังเคลือบกลิ่นรส (ประชา, 2537 ข)

จิรจิต และคณะ (2541) ได้ศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวโดยใช้ ข้าวโพดเกล็ดเป็นส่วนผสมหลัก และใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรู เดี่ยวขนาดห้องปฏิบัติการ (Brabender 20 DN) มีการเติมเนื้อไก่บด และอบแห้ง เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน ศึกษาปริมาณโปรตีนในระดับร้อยละ 6 10 20 และ 30 ตามลำดับ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผสมเนื้อไก่ที่ระดับโปรตีนร้อยละ 6 และ 10 มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในขณะที่การผสมเนื้อไก่ที่ระดับโปรตีนมากขึ้นคือร้อยละ 20 และ 30 ให้ผลิตภัณฑ์ที่ขาดการพองตัวที่ดี

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2543ข) ได้พัฒนาขนมขบเคี้ยวที่มีข้าวโพดเกล็ด-ปลายข้าวเป็นองค์ประกอบหลักด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยปรับสูตรส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีข้าวโพดเกล็ดเป็นองค์ประกอบทั่วไปให้มีเนื้อสัมผัสที่กรอบ นุ่ม ด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและน้ำมันพืช เพื่อใช้เป็นสูตรส่วนผสมพื้นฐานทำขนมขบเคี้ยว แคลเซียมคาร์บอเนตเป็น nucleating agent ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้ฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวของอาหารในขณะที่ไอน้ำระเหยลอยตัวออกไป หากมีในปริมาณที่พอเหมาะ จะทำให้เกิดฟองอากาศในขนาดและปริมาณที่พอดีกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อขนมขบเคี้ยวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยว กรอบนุ่มเป็นโครงสร้างละเอียด (Guy, 1994) ส่วนน้ำมันพืชร้อยละ 0.5-1.0 จะช่วยในการลื่นไหลของแป้งส่วนผสมในกระบวนการผลิตที่มีอุณหภูมิ ความดันสูง และความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 25 ได้ดีขึ้น ทำให้คุณภาพการสัมผัสขณะรับประทานของขนมขบเคี้ยวดีขึ้นด้วย เพราะน้ำมันจะไปแทรกอยู่ระหว่างอณูของแป้ง โปรตีน แล้วทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งไม่แข็งกระด้าง (Guy, 1994) ซึ่งจะได้สูตรส่วนผสมที่ประกอบด้วยข้าวโพดเกล็ด น้ำตาลทราย น้ำมันพืช แคลเซียมคาร์บอเนต และวิตามินเกลือแร่ผสม ร้อยละ 93 3 2 1 และ 1 ตามลำดับ ขนมขบเคี้ยวที่ได้มีอัตราการพองตัว 3.90 ความหนาแน่น 70 กรัมต่อลิตร และแรงกดแตก 7.06 กิโลกรัม แต่มีความโปร่งเบา และกรอบนุ่มมากเกินไปมีสีเหลืองส้ม และไม่มีกลิ่นหอม จึงได้มีการนำเอาปลายข้าวเจ้า มาแทนที่ข้าวโพดร้อยละ 10-80 และเคลือบกลิ่นไก่ย่าง โดยใช้ปลายข้าวเสริมเข้าไปแทนที่ข้าวโพดเกล็ดในส่วนผสมพื้นฐาน ซึ่งสามารถใช้ปลายข้าวเสริมได้ในอัตราส่วนร้อยละ 50 นั้นจะมีอัตราการพองตัว 3.70 ความหนาแน่น 76.60 กรัมต่อลิตร และแรงกดแตก 9,838 กรัม บ่งชี้ได้ว่า เป็นขนมขบเคี้ยวที่มีเนื้อสัมผัสกรอบ แน่น นุ่ม ดีที่สุด และได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสทุกลักษณะที่ดีกว่าขนมขบเคี้ยว ที่ทำมาจากการใช้ข้าวโพดเกล็ดเป็นองค์ประกอบหลักแต่เพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากข้าวโพดเกล็ดจะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตขนมขบเคี้ยวแล้ว ยังได้มีงานวิจัยในการใช้ข้าวโพดเกล็ดในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติ โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และปรับปรุงลักษณะสัมผัสของผลิตภัณฑ์เพื่อการยอมรับของผู้บริโภค

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2540) ได้พัฒนาอาหารเช้าธัญชาติที่มีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลักด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ เพื่อหาปริมาณแป้งถั่วเหลืองที่เสริมลงไปแทนที่ข้าวโพดเกล็ดแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสดี มีคุณค่าทางโภชนาการสูง คุณค่าของโปรตีนสูง ราคาถูก ที่สภาวะการผลิตที่เหมาะสม พบว่าสามารถเสริมแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันร้อยละ 16 ในข้าวโพดเกล็ดร้อยละ 77 น้ำตาลร้อยละ 5 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 1 วิตามินและเกลือแร่ร้อยละ 1 โกโก้ผงร้อยละ 2 ของส่วนประกอบทั้งหมด โดยสภาวะการผลิตที่เหมาะสมคือ ใช้ความเร็วรอบสกรู 350 รอบต่อนาที ผลิตภัณฑ์เคลือบด้วยน้ำเชื่อมรสช็อกโกแลต อบแห้งแล้วมีความหนาแน่น 119.7 กรัมต่อลิตร อัตราการพองตัว 3.42 มีปริมาณโปรตีน 3.16 กรัมต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของอาหารที่กำหนดไว้

2) ข้าวหอมมะลิ (Jasmine rice) ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย และไทยส่งออกข้าวมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก สามารถสร้างรายได้เข้าประเทศได้ปีละประมาณ 60,000-70,000 ล้านบาท ในแต่ละปีมีการผลิตข้าวได้ 19-20 ล้านตัน ปัจจุบันตลาดการส่งออกข้าวมีการแข่งขันกันสูงขึ้น โดยที่เวียดนามและพม่ากลายเป็นผู้ส่งออกข้าวแข่งขันกับไทย (วิจิตรา, 2546) โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิซึ่งข้าวหอมมะลิมะลิ หมายถึงข้าวที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza Sativa L.* ข้าวหอมมะลิเป็นชื่อที่ผู้บริโภคนิยมเรียก เพี้ยนมาจากคำว่า ข้าวดอกมะลิ มีชื่อเป็นทางการว่า ข้าวดอกมะลิ 105 หมายถึงข้าวพันธุ์นี้จัดอยู่ในประเภทข้าวขาวเนื่องจากมีเปลือกสีขาวหรือสีฟาง และมีกลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิ ส่วนหมายเลข 105 หมายถึงขั้นตอนการปรับปรุงพันธ์ (สุนทร, 2539) จัดเป็นข้าวพื้นเมืองถิ่นเดิมอยู่ที่ จังหวัดฉะเชิงเทรา สามารถปลูกได้ทั่วประเทศ เป็นข้าวที่มีคุณสมบัติคือ เป็นข้าวหอมชนิดเรียวยาว (long gain rice) ขาว ใส เป็นเงาแกร่ง มีท้องไข่น้อย เก็บเกี่ยวได้เร็ว คุณภาพการขัดสีดี ได้ขนาดมาตรฐานข้าวชั้นหนึ่ง ถ้าเป็นข้าวที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ๆ จะมีกลิ่นหอมมาก เมื่อหุงเป็นข้าวสุก จะได้ข้าวลักษณะเม็ดเลื่อมมัน อ่อนนุ่มและเหนียว มีกลิ่นหอมรับประทานมีรสชาติดี ถ้าเก็บเป็นข้าวเก่า เมื่อนำมาหุงต้มก็ยังคงความนุ่ม แต่ความเหนียวและกลิ่นหอมอาจลดลง และมีอะไมโลสต่ำ (เกษตรวิจัย, 2541; สถานีทดลองข้าวสันป่าตอง, 2547)

ข้าวเมล็ดเต็ม (whole kernels) หมายถึงเมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใดหักและรวมถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9 ส่วนขึ้นไป ส่วนปลายข้าว หรือข้าวหัก (broken) เป็นเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไปแต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าวและรวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อเหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตร และอาหารแห่งชาติ, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปลายข้าว หรือข้าวหัก (brokens) เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไปแต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกที่เป็นซีกที่มีเนื้อเหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546)

โดยทั่วไปมีการใช้ประโยชน์จากข้าวทั้งการบริโภคโดยตรง และการนำปลายข้าวหักไปแปรรูปเป็นแป้ง พบว่าปลายข้าวหักมีองค์ประกอบเบื้องต้นคือ แป้งร้อยละ 79.2 โปรตีนร้อยละ 7.0 ไขมันร้อยละ 0.4 เถ้าร้อยละ 0.5 ความชื้นร้อยละ 12 ส่วนที่เหลือร้อยละ 0.5 (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) โดยที่แป้งข้าวเจ้ามีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากมาย ส่วนใหญ่จะเป็นข้าวประเภทที่มีอะไมโลสสูงเพราะเมื่อนำไปประกอบอาหารเช่นทอด จะให้ความกรอบแข็ง หรือนำไปนึ่ง เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดแผ่นฟิล์ม เช่น ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ ดังนั้นปลายข้าวหอมมะลิจึงไม่นิยมนำไปแปรรูปในอุตสาหกรรมแป้ง และในกลุ่มประเทศตะวันตกไม่นิยมใช้ข้าวในการทำขนมขบเคี้ยวแต่ใช้ข้าวโพดเป็นหลัก ส่วนในประเทศญี่ปุ่นกลับมีการใช้ข้าวหรือแป้งข้าวในการทำขนมขบเคี้ยว (Elaine, 1998) เมื่อนำข้าวมาผลิตเป็นขนมขบเคี้ยวพบว่า ข้าวมีลักษณะให้การพองตัวที่ดี สีขาว ไม่มีรสชาติเหมาะแก่การใช้เป็นองค์ประกอบหลักของตัวผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเคลือบกลิ่นรสต่างๆได้ (Moore, 1994) และเมื่อใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการอัดพอง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสที่กรอบแน่นนุ่ม ใกล้เคียงกับกับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวโพดเกล็ด นอกจากนี้ยังให้สีที่อ่อนกว่า กลิ่นรสที่อ่อนนุ่มกว่า มีความคงตัวในการเก็บที่ดีกว่า (Matz, 1984; รุ่งนภา และประชา, 2541) โดยมีคุณค่าทางโภชนาการไม่น้อยไปกว่าข้าวโพดเกล็ด แม้ว่าข้าวจะมีโปรตีนร้อยละ 8.5 ซึ่งต่ำกว่าข้าวโพดเกล็ดที่มี ร้อยละ 9.97 แต่เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดีกว่าข้าวโพดเกล็ด (พิจารณาจาก Chemical score) (สมชาย ประชา และจุฬาลักษณ์, 2539) และยังมีราคาถูกโดยเฉพาะปลายข้าวหรือข้าวหักที่มีความสามารถในการนำไปแปรรูปต่ำ ดังนั้นหากนำข้าวมาเสริมในส่วนผสมขนมขบเคี้ยวได้ จะเป็นการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสความแน่น ความพองตัว และสี ของขนมขบเคี้ยวได้หลายหลาย ขนมขบเคี้ยวที่ได้สามารถนำไปปรุงรสอื่นๆได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543ก)

Ding *et al.* (2005) ได้ศึกษาผลของสภาวะการผลิตด้วยกระบวนเอ็กซ์ทรูชันต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากข้าวโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ โดยศึกษาปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนวัตถุดิบ ความชื้นของวัตถุดิบที่ป้อน อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูพบว่า เมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความพองมากขึ้น ดังชะนีการละลายน้ำลดลง และให้ความแข็งมากขึ้น เมื่อวัตถุดิบมีความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่นสูงขึ้น ความพองลดลง ดัชนีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ดัชนีการละลายน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลดลง มีความแข็งมากขึ้น และความกรอบลดลง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ส่วนความเร็วรอบของสกรูนั้น ไม่มีผลทางสถิติต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2543ก) ทำการพัฒนาขนมขบเคี้ยวเพิ่มคุณค่าโภชนาการด้วยแป้งถั่วเหลืองโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน การพัฒนาสูตรขนมขบเคี้ยวโดยการใช้ข้าวโพดเกล็ด ปลายข้าว และน้ำมันถั่วเหลือง เป็นองค์ประกอบหลักโดยศึกษาแทนที่ด้วย แป้งถั่วเหลืองร้อยละ 18 เสริมกรดอะมิโนไลซีนอีกร้อยละ 0.25 ของส่วนประกอบทั้งหมด พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ได้จากการทดลองมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าขนมที่ไม่ใช้แป้งถั่วเหลืองถึงร้อยละ 58.68 มีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นทุกตัวในปริมาณมากกว่าร้อยละ 82 ของค่ามาตรฐานที่แนะนำโดย FAO/WHO ได้พลังงานจากโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 8.60 35.97 และ 55.43 ตามลำดับ อีกทั้งยังเป็นแหล่งของวิตามินบี แคลเซียม โซเดียม และไอโอดีน

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2543ข) พบว่าการพัฒนาขนมขบเคี้ยวที่มีข้าวโพดเกล็ดและปลายข้าวเป็นองค์ประกอบหลักด้วยกระบวนการ เอ็กซ์ทรูชันนั้นสามารถใช้ปลายข้าวเสริมเข้าไปแทนที่ข้าวโพดเกล็ด ในสูตรส่วนผสมมาตรฐานพื้นฐานทำขนมขบเคี้ยวที่มีข้าวโพดเกล็ดเป็นองค์ประกอบหลักได้ถึง 50 % การเพิ่มปลายข้าวลงไปในส่วนผสมจะช่วยให้ขนมขบเคี้ยวมีเนื้อสัมผัสที่กรอบแน่นมีสีสันสวยมากยิ่งขึ้น และยังได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

ในบางกรณีมีการผลิตอาหารเช้าแบบแผ่นโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เช่น การพัฒนาอาหารเช้าชนิดแผ่นจากแป้งข้าว โดยใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ซึ่งมีปริมาณอะไมโลต่ำเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปโดยใช้เครื่องเอ็กซทรูดเดอร์ สูตรการผลิตที่เหมาะสม ได้แก่ แป้งข้าวร้อยละ 68.55 แป้งถั่วเหลืองร้อยละ 12 น้ำตาลร้อยละ 11 เลซิตินร้อยละ 0.06 เกลือร้อยละ 2.39 และโปรตีนนมร้อยละ 6 โดยใช้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบเป็น ร้อยละ 13 ส่วนปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเท่ากับร้อยละ 3.14 ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีโปรตีนร้อยละ 16.7 มีค่าความแข็ง 14.24 นิวตัน ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยในการบริโภคผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ (จิราภา, 2539)

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2542) ได้พัฒนาอาหารเช้าธัญพืชพร้อมบริโภคที่มีปลายข้าวเจ้าเป็นองค์ประกอบโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น พบว่าเมื่อเสริมปลายข้าวเจ้าบดร้อยละ 75 แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันร้อยละ 10 แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มร้อยละ 6 น้ำตาลร้อยละ 5 โกโก้ผงร้อยละ 2.5 วิตามินเกลือแร่รวมร้อยละ 1 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.5 และกรดอะมิโนไลซีนร้อยละ 0.25 จากการวิเคราะห์ทางโภชนาการลงในสูตรอาหารเช้าที่ผลิต พบว่ามีองค์ประกอบของสารอาหารต่างๆที่สูงกว่าอาหารเช้าธัญพืชประเภทเดียวกันในท้องตลาด 10 ตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ศิราพร และคณะ (2534) ได้พัฒนาอาหารเช้าพร้อมบริโภคโดยใช้ปลายข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบหลักในการแปรรูปด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (extruder, Brabender model 19/20 DN) พบว่าน้ำตาลที่ใช้มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลและการพองของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อใช้น้ำตาลมากขึ้น น้ำตาลจะเข้าไปแย่งจับกับโมเลกุลน้ำ ทำให้น้ำเข้าไปในโมเลกุลแป้งได้ลดลง ดังนั้น แป้งจึงดูดน้ำได้น้อยลง มีผลให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลงไปด้วย และพบว่าเมื่อปริมาณอะไมโลสลดลงจะทำให้โครงสร้างสามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วขึ้นและพองตัวได้ดีขึ้น ส่วนความชื้นของโดก่อนผ่านเข้าไปในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์เป็นร้อยละ 13 ถ้าปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 13 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแห้งบ เปราะมีสีที่ไม่สม่ำเสมอ ถ้าปริมาณความชื้นมากกว่าร้อยละ 13 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะพองตัวไม่เต็มที่และเหนียวเกินไป สูตรที่ได้จากการพัฒนาคือ ใช้ปลายข้าวเจ้าร้อยละ 60 แป้งข้าวโพดร้อยละ 40 น้ำตาลร้อยละ 15 เกลือร้อยละ 1 และผงโกโก้ร้อยละ 0.2 ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ร้อยละ 5.6 กระบวนการผลิตที่เหมาะสมคือ โซนที่ 1 ของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (feed section) ใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โซนที่ 2 ของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (compression section) ใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โซนที่ 3 ของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (compression section) ใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ขนาดหน้าแปลน 2 มิลลิเมตร ความเร็วรอบของสกรู 200 รอบต่อนาที ความเร็วมอเตอร์สำหรับการป้อนวัตถุดิบ 40 รอบต่อนาที คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.63 และ ปริมาณไขมันร้อยละ 2.2 และผู้ทดสอบชิมยอมรับในผลิตภัณฑ์

สุลาลักษณ์ (2549) ได้ศึกษาผลของส่วนผสมและสภาวะการผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูเดี่ยว ต่อคุณภาพของอาหารเช้าธัญชาติเสริมฟักทองผงโดยศึกษาปริมาณฟักทองผงที่เสริมทดแทนส่วนผสมของข้าวโพดเกล็ดต่อปลายข้าวหอมมะลิบด (1: 1 โดยน้ำหนักที่) เมื่อปรับความชื้นส่วนผสมเป็นร้อยละ 13.1 ผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ความเร็วรอบสกรู 248 รอบต่อนาที อุณหภูมิสุดท้ายเป็น 156 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถเสริมฟักทองผงได้สูงสุดร้อยละ 10 ของส่วนผสม ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสดีเมื่อนำไปเคลือบคาราเมล ร้อยละ 50 มีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีนสูง มีโปรตีน เส้นใยและ ไขมันสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า2ชนิด เป็นที่ยอมรับของผู้ชิมอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก

นอกจากการใช้ข้าวโพดเกล็ดและปลายข้าว อาจมีการใช้วัตถุดิบอื่นมาร่วมเป็นส่วนผสมของขนมขบเคี้ยวอีกได้เช่น Sacchetti *et al.* (2004) ศึกษาผลของอุณหภูมิและส่วนผสมของวัตถุดิบต่อคุณภาพทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยว จากแป้งข้าวเจ้าผสมเกาลัดแห้งพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเกาลัดมากขึ้นจะมีผลต่อการเกิดเลาติไนเซชัน และอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากแป้งเกาลัด มีปริมาณน้ำตาลที่ค่อนข้างมาก และหากมีอุณหภูมิที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูงขึ้นเข้ามาร่วมด้วยก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล หากผสมแป้งเกาลัดในปริมาณร้อยละ 30 เข้ากับแป้งข้าวเจ้า และใช้อุณหภูมิในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่ 120 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเจลาติไนเซชัน และอัตราการพองตัวที่ดี เป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัสมากขึ้น

ประชา (2544) ได้ศึกษาแนวโน้มการทำขนมขบเคี้ยวจากถั่วลันเตา ด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูเดอร์เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน เช่น กรดอะมิโนไลซีน และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้ได้ขนมขบเคี้ยวที่มีเนื้อสัมผัสกรอบนุ่มแน่นแข็ง ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค และมีความหลากหลาย

2.2.8 การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบในระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเกี่ยวข้องกับการทำให้ส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนสุกทำหเกิดรูปร่างเนื้อสัมผัส และเกิดการพองอย่างเต็มที่ กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแตกต่างจากกระบวนการอื่น ๆ คือ ขั้นตอนต่าง ๆ ของการแปรรูปเหล่านี้เกิดขึ้นที่ความร้อนค่อนข้างต่ำ ภายในสภาวะที่อุณหภูมิและแรงเฉือนสูงมากเป็นเวลาสั้น ๆ ซึ่งภายใต้สภาวะเช่นนี้ แป้งและโปรตีน ที่ยังมีลักษณะตามธรรมชาติ จะมีการเปลี่ยนรูปเพื่อให้ได้อาหารที่มีโครงสร้างใหม่

1) แป้ง (starch) แป้งเป็นส่วนผสมหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยว และอาหารพวกธัญชาติที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน กริทของธัญชาติที่สกัดเอาเจิมออกแล้ว จะใช้เป็นวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มากกว่าการใช้แป้งบริสุทธิ์เพื่อให้โปรตีน ไขมัน และเส้นใยบางส่วนยังมีอยู่ในส่วนผสมของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง

แป้งเป็นไบโอโพลิเมอร์ของกลูโคสที่ใหญ่มาก โดยทั่วไปกลูโคส 1 โมเลกุลจะเชื่อมปลายด้านหนึ่งกับปลายอีกด้านหนึ่งของกลูโคสอีกหน่วยหนึ่งไปเรื่อย ๆ เกิดเป็นอะไมโลสของแป้ง เมื่อลักษณะการต่อของกลูโคสเป็นกิ่งก้าน จะเรียกโมเลกุลของแป้งนี้ว่าอะไมโลเพคติน ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับพุ่มไม้ที่หนาทึบ แป้งเป็นธัญชาติส่วนใหญ่มักจะมีอะไมโลสอยู่ร้อยละ 25-30 ส่วนที่เหลือจะเป็นอะไมโลเพคติน แป้งในรูปที่เป็นธรรมชาติ โมเลกุลของแป้งมักเป็นผลึก และอยู่ในรูปของกรานูลทรงกลม แต่ถ้ามีการทำให้สุกที่ความชื้นสูง แป้งในกรานูลเหล่านี้จะขยายตัว ดูดซับและจับโมเลกุลของน้ำไว้จำนวนมาก เกิดเป็นเพสท์ที่ข้น

ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นต่ำที่ใช้สำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น การเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งขึ้นกับผลของความร้อน และแรงเฉือนทางกลร่วมกัน เม็ดแป้งจะถูกเฉือนขณะที่ผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ การกระทำทางกลนี้จะเปิดกรานูลภายในของแป้งออก การไหลของส่วนผสมต่าง ๆที่เหนียวในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ต้องอาศัยพลังงานทางกลจำนวนมากเพื่อใช้หมุนสกรู ซึ่งจะปล่อยออกมาเป็นความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลแป้งที่ใหญ่กว่าบางโมเลกุลจะแตกออกเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โมเลกุลที่เล็กลง เนื่องจากการเฉือน และแสดงความสามารถในการละลายน้ำได้มากกว่าผลของการเจลาติไนเซชันและเดกซ์เจอร์ไรเซชันคือ ได้โดที่เหนียว หรือโดที่หลอมซึ่งสามารถเอ็กซ์ทรูดผ่านได เพื่อขึ้นรูป และเมื่อความชื้นภายในที่มีอุณหภูมิสูงเปลี่ยนไปเป็นไอน้ำหลังจากออกจากหน้าแปลนแล้ว

ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ขึ้นกับปริมาณของการเปลี่ยนรูปของแป้งระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันผลิตภัณฑ์ที่มีเมทริกซ์ที่แข็งกว่า เงากว่า และมีขนาดของรูใหญ่กว่า เป็นลักษณะเฉพาะของการทำให้สุกด้วยการเฉือนที่ต่ำภายใต้สภาวะความชื้นที่สูงกว่า ความเสียหายของแป้งจะลดลงเมื่อให้พลังงานกลแก่ผลิตภัณฑ์น้อยลง และให้ปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นโดยการพ่นไอน้ำ หรือถ่ายเทความร้อนผ่านผนังบาเรล ผลิตภัณฑ์ที่นุ่มและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มีแนวโน้มที่จะเหนียวติดฟัน เมื่อรับประทานจะมีขนาดของรูภายในเอ็กซ์ทรูเดทที่เล็กกว่าและผนังเซลบางกว่า และเป็นลักษณะเฉพาะของการผลิตในสภาวะที่มีการเฉือนสูงซึ่งพลังงานกลจำนวนมากกระจายออกมา (รุ่งนภา, 2544)

2) โปรตีน (protein) โปรตีนถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้ว สามารถเปลี่ยนให้มีโครงสร้างใหม่ของโมเลกุลโปรตีนไปเป็นมวลที่มีไขว้ (cross linked) เป็นชั้น ๆ ที่ต้านทานต่อการแตก เมื่อมีการให้ความร้อนต่อไป โปรตีนถั่วเหลืองจะมีความชื้นร้อยละ 33-45 และได้รับความร้อนและการเฉือนในการหมุนช่วงต้นของสกรูของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ทำให้โปรตีนที่เป็นธรรมชาติเปลี่ยนไปเป็นโมเลกุลที่ไม่มีการพับซ้อน ด้วยการทำละลายพันธะเคมีที่ยึดโครงสร้างตติยภูมิที่เป็นธรรมชาติ โมเลกุลโปรตีนที่ไม่ได้พับซ้อนนี้ จะเรียงเป็นเส้นตรงเองในทิศทางไหลของร่องเกลียวของสกรูและช่องว่างหลังได การไหลเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้โมเลกุลนี้มีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรง และเนื่องจากอุณหภูมิทีเพิ่มขึ้นเป็น 140-160 องศาเซลเซียส การไขว้กันทางเคมีจะเกิดขึ้นอีกเพื่อให้โครงสร้างที่เป็นเส้นใย และเป็นชั้นซึ่งเลียนแบบเนื้อ (รุ่งนภา, 2544)

2.3 งา (Sesame)

งา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum* เป็นพืชล้มลุกชอบอากาศร้อนและแดดจัด ลำต้นสูง 3-5 ฟุต ขึ้นอยู่กับสายพันธ์ ลำต้นเป็นเหลี่ยม มีร่องตามยาวของลำต้น มีขนปกคลุมลำต้น เป็นพืชใบเดี่ยวเรียงหรือตรงข้ามกัน ลักษณะใบเป็นรูปไข่หรือรูปหอกกว้างประมาณ 2-5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 6-10 เซนติเมตร ออกดอกเดี่ยวที่ซอกใบกลีบดอกสีขาว ชมพู ขาวม่วง ผลเป็นผลแห้งเมล็ดแบบรูปไข่ มีหลายพันธุ์ ใช้เวลาปลูกจนเก็บเกี่ยวได้เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่างาที่พบในประเทศไทย มี 4 ชนิดคือ งาดำ งาขาว งาแดง และงาเมล็ดกลม หรือที่เรียกว่างาหม่น (งาเมือง หรือ นิโซ ในภาษากะเหรี่ยง) (สมยศ และมรุต, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.1 ประเภท และชนิดของงา

1.) งาดำ *(Sesamum indicum L.)* เป็นพืชในวงศ์ *Papilioneae* เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก สูงไม่เกิน 4 ฟุตใบเรียวสีเขียว มีขนเล็กน้อย ดอกสีขาวอมม่วงคล้ายระฆัง มีฝักยาวแยกออกตามลำลักษณะคล้ายผลโกโก้ มีเมล็ดสีดำขนาดเล็กอยู่ภายใน เมล็ดงามีรสฝาด ขม หวาน มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบร้อยละ 35-57 โดยทั่วไปนิยมปลูก 4 สายพันธุ์ คือ งาดำบุรีรัมย์ งาดำนครสวรรค์ งาดำ มป.2 และงาดำ มก.18 โดยเฉพาะพันธุ์มก. 18 มีการส่งเสริมให้ปลูกมากในจังหวัดนครราชสีมา และกาญจนบุรี เพื่อส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีความต้องการงาพันธุ์นี้สูงถึงปีละ 10,000-30,000 ตันต่อปี

2.) งาขาว *(Sesamum Orientle L.)* เป็นพืชอยู่ในวงศ์ *Papilioneae* ลักษณะต้นเหมือนงาดำ แต่ต่างกันที่เมล็ดเป็นสีขาว มีปลูกทั่วไป 6 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เมืองเลย พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์ชัยบาดาลหรือสมอทอด พันธุ์ร้อยเอ็ด 1 พันธุ์มข. 1 และพันธุ์มหาสารคาม 60

3.) งาหม่น หรือ งาเมือง *(Sesamum spp.)* เป็นพืชอยู่ในวงศ์ *Pedaliaceae* ลำต้นสูง 4-6 ฟุต ดอกเป็นช่อเล็กคล้ายข้าวฟ่างมีเมล็ดกลมเล็ก ดอกสีน้ำตาลอ่อนมีกลิ่นหอมและกรอบ นิยมปลูกมากในพื้นที่ทางภาคเหนือ ปลูกได้เฉพาะฤดูหนาว ชอบภูมิอากาศค่อนข้างเย็น จึงไม่เป็นที่นิยมของคนทั่วไป และไม่เป็นที่รู้จักของผู้บริโภค

4.) งาแดง *(Sesamum spp.)* เป็นพืชอยู่ในวงศ์ *Papilioneae* ลักษณะของต้นเหมือนงาดำและงาขาว แต่เมล็ดภายในมีสีน้ำตาล และมีขนาดเล็กหรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า งาเกษตร นิยมปลูก 3 พันธุ์ได้แก่ พันธุ์พื้นเมืองพิษณุโลก พันธุ์พื้นเมืองสุโขทัย งาแดงอุบลราชธานี 1 และงาแดงพันธุ์ มข. 3 (สมยศ และมรุต, 2547)

โดยทั่วไป ผลผลิตงาประมาณร้อยละ 65 ส่งออกขายต่างประเทศ คิดเป็นมูลค่าปีละ 700-900 ล้านบาท ในปี 2544 ตลาดภายใน และต่างประเทศมีความต้องการงาสูงมาก ผลผลิตมีไม่เพียงพอ เกษตรกรขายงาได้ราคาสูง ประมาณกิโลกรัมละ 20-25 บาท ปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นมีความต้องการงาดำปีละ 12,000 ตัน และงาขาวอีก 90,000 ตัน โดยให้ราคาสูงกว่าราคาในประเทศเกือบเท่าตัว ประเทศคู่แข่งของไทยได้แก่ พม่า และจีน โดยพบว่าในปี 2541 ประเทศไทยมีการผลิตงาแดงมากที่สุดคือร้อยละ 63 ของปริมาณงาทั้งหมดที่ผลิตได้ งาดำมีการผลิตรองลงคือร้อยละ 30 ส่วนงาขาวมีการผลิตน้อยที่สุดเพียงคือร้อยละ 7 ของปริมาณงาที่ผลิตได้ แต่งาขาวเมล็ดโตเป็นเมล็ดงาที่ตลาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้องการมากทั้งภายในและต่างประเทศ จากสถิติการส่งออกของกรมการค้าต่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2541 ปรากฏว่าประเทศไทยส่งออกงาขาวรวมทั้งงาขัดเปลือกมากที่สุด งาดำมีปริมาณการส่งออกน้อยกว่างาขาว แต่งาแดงไม่มีรายงายการส่งออก เพราะต่างประเทศจะรับประทานเฉพาะงาดำ และงาขาวเท่านั้น (สายสุนีย์ และคณะ , 2545)

2.3.2 คุณค่าทางโภชนาการของงา และการใช้ประโยชน์

เนื่องจากงาเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะวิตามิน บี1 บี2 บี3 บี5 บี6 และ บี9 มีสารอื่นๆเช่น ไบโอติน (biotin) ไอโนสิตอล (inositol) โคลิน (colin) และพาราอะมิโนเบนโซอิก (para-aminobenzoic) เลซิทิน (lecithin) แต่ไม่มีวิตามิน บี12 นอกจากนี้ในเมล็ดงายังประกอบไปด้วยกรดไขมันคุณภาพดีที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential fatty acids) คือ กรดไขมันโอเลอิก (oleic acid) กรดไขมันลิโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว และสารแอนตี้ออกซิเดนท์ (antioxidant) จากธรรมชาติ โดยกรดไขมันลิโนเลอิก มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย ให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวหนัง และมีส่วนช่วยลดโคเลสเตอรอล นอกจากนี้ในเมล็ดงายังประกอบด้วยโปรตีนประมาณร้อยละ 20 เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่ครบ โดยเฉพาะเมไธโอนิน และซิสตีน ซึ่งมีอยู่น้อยในถั่วเหลือง แต่มีมากในงา ดังนั้นผู้ที่บริโภคมังสวิรัติ ซึ่งร่างกายได้รับโปรตีนจากธัญพืช จึงต้องรับประทานเมล็ดงาร่วมด้วยจึงจะได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังพบว่ามีแคลเซียมและฟอสฟอรัส โดยมีปริมาณแคลเซียมมากกว่าในผัก 40 เท่า และอาจมีปริมาณสูงกว่าในนม พบว่างาดำมีแคลเซียมและฟอสฟอรัสมากกว่างาขาว (มรุต, 2547) เมล็ดงามีไขมันประมาณร้อยละ 35-57 และมีโปรตีนประมาณร้อยละ 17-25 เมื่อเปรียบเทียบงากับถั่วเหลือง และไข่แล้วพบว่า งามีไขมันสูงกว่าถั่วเหลืองประมาณ 3 เท่า และสูงกว่าไข่ ประมาณ 4 - 6 เท่า มีโปรตีนสูงกว่าไข่ประมาณร้อยละ 5 แต่ต่ำกว่าถั่วเหลืองประมาณ 2 เท่า (ตารางที่ 2.1 และ 2.2) นอกจากนี้ โปรตีนในงา ยังแตกต่างจากพืชตระกูลถั่วและพืชให้น้ำมันอื่นๆ เพราะมีกรดอะมิโนที่จำเป็น ซึ่งพืชดังกล่าวขาดแคลนเช่น เมไทโอนีน และซีสติน แต่งามีไลซีนต่ำ ดังนั้น อาจใช้งาเสริมอาหารถั่ว ธัญพืช และอาหารแป้งอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี (อภิชาติ, 2547 และHaper, 1981)

กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential amino acids) คือกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้หรือสร้างได้แต่ไม่มีความเพียงต่อต่อร่างกาย จะได้รับจากอาหารเท่านั้น ร่างกายจะขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นตัวใดตัวหนึ่งไม่ได้ จะทำให้ไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตได้ โดยกรดอะมิโนที่จำเป็นมีอยู่ 8 ชนิดได้แก่ เมไทโอนีน (methionine) ซึ่งมีอยู่มากในงา ไอโซลิวซีน (isoleucine) ลิวซีน (leucine) ไลซีน (lycine) ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ทรีโอนีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(threonine) ทริฟโตเฟรน (tryptophan) และเวลีน (valine) ส่วนในเด็กต้องการเพิ่มอีก1 ชนิดคือ ฮิสติดีน (histidine) ส่วนกรดอะมิโนซิสตีน (cystine) ที่อยู่ใน งา ถือว่าเป็นกรดอะมิโนกึ่งจำเป็น (semi-essential amino acids) เนื่องจากเปลี่ยนมาจากกรดอะมิโนที่จำเป็นคือ เมไทโอนีน แต่ซิสทีนไม่สามารถเปลี่ยนกลับเป็นเมไทโอนีนได้ เช่นเดียวกันกับฟีนิลอะลานีนเปลี่ยนเป็นไทโรซีน (tyrosine)ได้ แต่ไทโรซีนไม่สามารถเปลี่ยนเป็นฟีนิลอะลานีนได้ เพราะฉะนั้นความต้องการเมไทโอนีน และฟีนิลอะลานีนจะน้อยลงถ้าหากมี ซีสตีน และไทโรซีนในอาหาร ดังนั้นกรดอะมิโน 2 ชนิดนี้จึงเป็นกรดอะมิโนกึ่งจำเป็น (สุนีย์, 2543)

น้ำมันงาประกอบด้วยกรดไขมันอิสระ ร้อยละ 1.3 โดยประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดโอเลอิกประมาณ ร้อยละ 37-49 กรดลิโนเลอิกประมาณ ร้อยละ 35-47 และกรดไขมันชนิดอิ่มตัวร้อยละ 12-15 ประกอบด้วยกรดปาลมิติค ร้อยละ9 กรดสเตียริกร้อยละ 5 และกรดไขมันชนิดอิ่มตัวอื่นๆร้อยละ 1 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอื่นๆ ร้อยละ 1 พบว่า ไตรกรีเซอร์ไรด์ในน้ำมันงาเป็นชนิด triunsaturated ประมาณร้อยละ 60 diunsaturated ประมาณร้อยละ 40 และเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวทั้งหมด ร้อยละ 1 นอกจากนี้น้ำมันงายังไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่างคือมีสารที่ซาพอนนิไฟด์ไม่ได้สูง ส่วนใหญ่เป็นสเตอรอลและสารอื่นๆ ซึ่งไม่สามารถแยกออกด้วยการรีไฟน์ และสารที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่างนี้ ยังมีสารประกอบอื่นๆ เช่น เสสามิน (sesamim) เสสาโมลิน (sesamoline) และสารฟีนอลิกคือ เสสามอล (sesamol) ซึ่งเป็นสารที่ไม่พบในน้ำมันชนิดอื่น สารนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีให้สารที่มีสีได้ จึงใช้เป็นวิธีทดสอบน้ำมันงาเรียกว่า Baudouin's test และ Villavecchia test การทดสอบสามารถทำได้แม้น้ำมันจะถูกไฮโดรจิเนชั่นแล้วก็ตาม สารฟีนอลในงายังทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชั่นธรรมชาติ ทำให้น้ำมันจากงามีความคงตัวต่อการออกซิเดชั่นได้ดีกว่าน้ำมันชนิดอื่น เนื่องจากในงามีสารเสสามอล และ bound sesamol คือ เสสาโมลินซึ่งทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชั่นธรรมชาติให้แก่น้ำมันงา น้ำมันงาที่ผ่านการรีไฟน์ด้วยด่างจะมีปริมาณเสสามอลน้อยลง แต่การฟอกสี (bleaching clay) จะช่วยเปลี่ยนเสสามอลหรือ bound sesamol ให้เป็นเสสามอลอิสระได้ ดังนั้นน้ำมันงาที่มีเสสามอลสูงจึงมีความคงตัวสูง (นิธิยา, 2541) มีผู้วิจัยพบว่า สารสีดำที่อยู่ที่ผิวนอกเมื่อสกัดออกมา สามารถใช้ยับยั้ง ปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชั่นได้เทียบเท่ากับ สาร butylated hydroxyanisole (BHA) ทำให้ไม่ต้องมีการเติมสารต้านแอนตี้ออกซิแดนในน้ำมันงา หรือผลิตภัณฑ์ที่มีงาเป็นส่วนประกอบหรืออาจทำให้ใช้สารต้านแอนตีออกซิแดนน้อยลงด้วย (Juan *et al*., 2004 และนิธิยา, 2541) และพบว่าสารเสสามอลที่อยู่ในงามีฤทธิ์ช่วยบำรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้แก่ตับ ซึ่งเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่กำจัดสารพิษออกจากร่างกาย ลดความดันโลหิต สร้างภูมิคุ้มกันและเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี (มรุต, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

งาจัดว่าเป็นพืชที่ผูกพันกับวิถีชีวิตชาวตะวันออกมาช้านาน ชาวจีนมีการนำมาปรุงอาหารทั้งคาวหวาน โดยเฉพาะขนมหวาน ขนมต่างๆใช้ในพิธีมงคลสำคัญ ชาวอินเดียนำงานมาใช้ทำอาหารและเป็นส่วนผสมของขนม ส่วนยาบำรุงต่างๆ ในตำรายาแผนโบราณจะมีงา และน้ำมันงา เกี่ยวข้องอยู่หลายตำหรับ มีการสกัดน้ำมันงาจากเมล็ดงา โดยวิธีการบีบอัด ผลิตมากในประเทศจีน อินเดีย พม่า แอฟริกา แมกซิโก อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ โดยน้ำมันงาจะมีคุณสมบัติพิเศษไม่แข็งตัวและไม่ขุ่นถึงแม้อุณหภูมิจะลดลงถึง 0 องศาเซลเซียส จึงสามารถใช้น้ำมันงาทำเป็นน้ำมันสลัดได้โดยไม่ต้องทำ Winterization ภายหลังจากการรีไฟน์ (refine) แล้วน้ำมันที่ได้จะมีสีเหลืองอ่อนสามารถใช้เป็นน้ำมันปรุงอาหาร เนยเทียมและเนยขาวได้ (นิธิยา, 2541)

ปัจจุบันงาได้ถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มากมายในรูปของน้ำมันงาและเมล็ดงา เช่น ผลิตน้ำมันงา งาแผ่น (sesame bar) ซึ่งจะมีงาเป็นตัวหลักแต่จะมีส่วนผสมเพื่อนำมาให้มีรสชาติแตกต่างกันเช่นงาแผ่นน้ำอ้อย งาดำน้ำขิง งาแครอท และงาตะไคร้ เป็นต้น โดยเฉพาะงาดำจะเป็นที่นิยมของผู้บิรโภคมากกว่า นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปงาดำโดยบริษัท โปร-แครี่ เป็นผลิตภัณฑ์ซุปงาดำแช่แข็ง งาดำคั่วปรุงสำเร็จ นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปเป็นแยมงาดำ และงาดำนมสด ภายใต้ยี่ห้อ คิมเบอร์ลี่ (สมยศ และมารุต, 2547) ส่วนในด้านการใช้งามาเป็นวัตถุดิบในการผลิตขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน นั้นจะเป็นเพียงการใช้เสริมเข้าไปเท่านั้นดังการวิจัยของ เนตนภิส และคณะ (1998) ได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างพลังงานต่ำ และใยอาหารสูงจากข้าวกล้องพองกรอบ โดยเครื่องเอ็กซทรูเดอร์สกรูชนิดหมุนตามกัน ผสมกับงาคั่ว และถั่วลิสงคั่วหรือเมล็ดทานตะวันหรือฟักทอง หรือถั่วเขียว ปรากฏว่าข้าวกล้องพองสูตรผสมข้าวโพดได้รับการยอมรับมากที่สุด แต่มีลักษณะที่แข็งจึงได้เสริมข้าวสาร ร้อยละ 25 ทำให้กรอบนุ่มขึ้น โดยที่ข้าวพองกรอบผสมถั่วเขียวมีพลังงานต่ำสุดคือ 65.9 แคลอรี่ ต่อ 15 กรัม และข้าวกล้องสูตรผสมงาพบว่ามีเยื่อใยอาหารสูงที่สุดคือ ร้อยละ 8.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของงาเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองและไข่ไก่

องค์ประกอบทางโภชนาการ (ร้อยละ)	งาดำ	งาขาว	ถั่วเหลือง	ไข่ไก่
ความชื้น	5.26	5.87	8.42	71.28
ไขมัน	48.10	51.26	17.78	11.5
คาร์โบไฮเดรต	21.25	20.18	32.32	0.48
เยื่อใย	6.01	4.36	4.06	-
เถ้า	7.04	6.01	5.86	0.94
โปรตีน	17.62	16.84	35.6	12.93
แคลเซียม	0.71	0.84	0.24	0.06
ฟอสฟอรัส	0.54	0.66	0.55	0.22

ที่มา : สมยศ และมารุต (2547)

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดงาที่ผลิตจากภาคต่างๆของประเทศไทย

องค์ประกอบทางโภชนาการ (ร้อยละ)	ภาคกลาง		ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		ภาคเหนือ	
	งาขาว	งาดำ	งาขาว	งาดำ	งาขาว	งาดำ
ความชื้น	6.82	6.07	5.81	6.91	6.11	6.42
ไขมัน	52.86	50.43	52.41	49.86	53.18	51.82
เถ้า	6.38	7.02	6.04	7.31	6.11	6.83
เยื่อใย	3.10	4.88	3.24	5.06	2.94	3.84
โปรตีน	23.68	21.42	22.86	20.13	24.18	22.19
แคลเซียม	1.04	1.26	1.14	1.34	1.10	1.18
ฟอสฟอรัส	0.74	0.91	0.68	0.79	0.68	0.76

ที่มา : เยาวมาลย์ (2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved