บทที่ 2
สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อาหารเช้าธัญชาติ (Breakfast cereals)

อาหารเช้าจากธัญชาติมาจากภาษาอังกฤษว่า Breakfast cereals เมื่อแยกพิจารณาเป็นคำคือ

1) Breakfast (อาหารเช้า) ประกอบด้วยคำว่า break และ fast ในที่นี้คำว่า fast หมายถึง การอดอาหาร หรือไม่ได้รับประทานอาหารมาตลอดคืนหลังจากมื้อเย็นหรือมื้อค่ำ ส่วนคำว่า break หมายถึง การหยุดอาหาร โดยจะรับประทานอาหารมื้อเช้า เมื่อรวมคำเข้าด้วยกันเป็น breakfast จึงหมายถึง อาหารเช้านั่นเอง (อรอนงค์ และลินดา, 2536; Honey, 1986)

2) Cereals (ธัญชาติ) หมายถึง เมล็ดจากธัญพืชวงศ์หญ้า (*Gramineae*) ซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีหลายชนิด ได้แก่ ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง ข้าวไรย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวมิตเลต และลูกเดือย มีคำที่เกี่ยวข้องกับธัญชาติ อีก 2 คำ คือ ธัญญาหาร หมายถึง อาหารจากข้าว และธัญพืช หมายถึง พืชข้าวกล้า เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น อธิบายได้ว่า ธัญพืช หมายถึงต้นข้าวทั้งหมด ธัญชาติ คือ เมล็ดของธัญพืช และธัญญาหาร คืออาหารที่ทำจากธัญชาติ (อรอนงค์, 2542) ธัญชาติมีคุณค่าทางอาหารด้านพลังงานสูง เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบทางเคมีเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีโปรตีน และไขมันมากกว่าพืชอย่างอื่น เมล็ดที่แก่เต็มที่แล้วจะประกอบด้วยสารอาหารหลักคือ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 77-87 โปรตีนร้อยละ 9-16 ไขมันร้อยละ 1-5 เส้นใยร้อยละ 2-10 และแร่ธาตุร้อยละ 1-7 (ตารางที่ 2.1) (จิตธนา และอรอนงค์, 2543)

เมื่อนำทั้ง 2 คำมารวมกัน breakfast cereals จึงหมายถึง อาหารเช้าที่ผลิตจากเมล็ดธัญชาติ ความหมายที่กระชับ และเข้าใจกันโดยทั่วไปคือ อาหารเช้าธัญชาติ (อรอนงค์ และลินดา, 2536)

2.1.1 ประเภทของอาหารเช้าธัญชาติ

อาหารเช้าธัญชาติสามารถแบ่งเป็นกลุ่มตามลักษณะต่างๆ ได้ 4 ลักษณะ ได้แก่ วิธีการทำให้สุกก่อนการบริโภค ลักษณะของผลิตภัณฑ์ ชนิดของวัตถุดิบ และกลุ่มผู้บริโภค ดังนี้

1) อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามวิธีการทำให้สุกก่อนการบริโภค

ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติที่แบ่งตามวิธีการทำให้สุกก่อนการบริโภค สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้ (อรอนงค์ และลินดา, 2536)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของธัญชาติบางชนิด

ธัญชาติ	ปริมาณ (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)				
	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	แร่ธาตุ	คาร์โบไฮเดรต
ข้าวสาลี	16.0	2.9	2.6	1.8	74.1
ข้าวบาร์เลย์	11.8	1.8	5.3	3.1	78.1
ข้าวโอ๊ต	11.6	5.2	10.4	2.9	69.8
ข้าวไรย์	13.4	1.8	2.6	2.1	80.1
ข้าวทริติเคลี	15.0	1.7	2.6	2.0	78.7
ข้าว	9.1	2.2	10.2	7.2	71.2
ข้าวโพด	11.1	4.9	2.1	1.7	80.2
ข้าวฟ่าง	12.4	3.6	2.7	1.7	79.7

ที่มา : จิตธนา และอรอนงค์ (2543)

1.1) ประเภทดั้งเดิม (old fashion) ต้องทำให้สุกโดยใช้เวลาต้มก่อนการบริโภค 5-10 นาที เช่น ข้าวสารหักเป็นชิ้นเล็กๆ เมื่อต้มสุกเรียกว่า โจ๊ก โอ๊ตมิล (oatmeal) ได้จากการบดข้าวโอ๊ตทั้งเมล็ดแบบหยาบ หรือโม่ข้าวสาลีอย่างหยาบเรียกว่า ฟาริน่า (farina) หรือบดข้าวโพดอย่างหยาบเรียกว่า กริท (grit) ธัญชาติบดเหล่านี้ต้องต้มหลายนาทีจึงจะสุก และบริโภคได้

1.2) ประเภทต้มเร็ว (quick cooking) ใช้เวลาต้มเพียง 1 นาที เช่น ข้าวโอ๊ตบด (rolled oats) นำข้าวโอ๊ตมาบดหยาบ แล้วผ่านเข้าสู่ลูกกลิ้งบดที่ร้อนด้วยไอน้ำภายในลูกกลิ้ง ทำให้ข้าวโอ๊ตแบน และสุกหนึ่งในสามส่วน เมื่อจะนำไปบริโภคก็ต้มต่อด้วยเวลาไม่นานก็สุกทั้งหมดรับประทานได้

1.3) ประเภทสุกทันที (instant cooking) สามารถบริโภคได้ทันทีเมื่อเติมลงในน้ำเดือด เช่น นำข้าวบดหยาบมาทำให้สุก ปรุงรส อบแห้งเป็นโจ๊กสำเร็จรูป หรือการนำฟาริน่าจากการโม่ข้าวสาลีอย่างหยาบมาทำให้สุกด้วยการอบหรือวิธีอื่นๆ แล้วทำให้เย็น เมื่อต้องการบริโภคก็เติมลงในน้ำเดือด รับประทานได้ทันที เรียกว่า ฟาริน่ากึ่งสำเร็จรูป (instant farina)

จรูญ (2541) พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้ากึ่งสำเร็จรูปประเภทสุกทันทีจากถั่วเขียว สูตรการแปรรูปที่พัฒนาได้เป็นดังนี้ ถั่วเขียวร้อยละ 21.34 แป้งสาลีร้อยละ 9.60 และแป้งข้าวโพดร้อยละ 6.40 แต่งรสด้วยผงโกโก้ และผงวานิลลา นำส่วนผสมทั้งหมดมาต้ม และเคี่ยวรวมกันจนสามารถปั้นเป็นก้อนได้ โดที่ได้มีความชื้นประมาณร้อยละ 50-60 จากนั้นแปรรูปโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ลูกกลิ้ง อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเป็น 135 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.33 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.009 นิ้ว ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้นร้อยละ 4.21 โปรตีนร้อยละ 15.45 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 73.63 ลักษณะการบริโภคของผลิตภัณฑ์คือ เมื่อบริโภคใช้ผลิตภัณฑ์ 1 ซอง ซึ่งบรรจุ 50 กรัม นำมาเติมน้ำร้อน 250 มิลลิลิตร ชงให้เข้ากัน และบริโภคทันที ผู้ทดสอบชิมชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

1.4) ประเภทอาหารเช้าพร้อมบริโภค (ready to eat cereals) ได้รับความนิยมสูงที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถบริโภคได้ทันที แต่อาจมีการเติมน้ำ หรือนม หรือโยเกิร์ตลงไปด้วยก็ได้ อาหารเช้าประเภทนี้เป็นธัญพืชที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยนำเมล็ดธัญพืชมาทำให้สุกและมีการดัดแปลงรูปร่างให้มีความเหมาะสม (วิมลศิริ, 2539; จรูญ, 2541; Malz, 1970)

พลอยพิม และรุจิเรศ (2548) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติประเภทอาหารเช้าพร้อมบริโภคจากข้าวหอมมะลิ โดยมีส่วนผสมหลักคือข้าวหอมมะลิ ส่วนผสมรองคือ แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง ข้าวโอ๊ต กล้วยหอม น้ำตาลทราย เกลือ และเนยขาว อัตราส่วนร้อยละ 25.0, 5.0 5.0, 35.0, 38.0, 1.65 และ 5.61 ตามลำดับ โดยส่วนผสมรองจะคิดเทียบเป็นร้อยละของส่วนผสมหลัก นำส่วนผสมทั้งหมดมาผสมรวมกัน จากนั้นนำมารีดเป็นแผ่น นำไปนึ่งโดยใช้หม้อนึ่งความดันที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที นำมาตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 1x1 เซนติเมตร แล้วนำไปอบโดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความชื้นร้อยละ 1.94 โปรตีนร้อยละ 3.79 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 87.51 ไขมันร้อยละ 5.31 เส้นใยร้อยละ 1.12 และเถ้าร้อยละ 0.23 การยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

จากการศึกษาความคงตัวในน้ำนมระหว่างแผ่นข้าวโพดอบกรอบ แผ่นข้าวสาลีอบกรอบ และแผ่นข้าวอบกรอบพร้อมบริโภค โดยวิเคราะห์แรงต้านการเจาะทะลุ พบว่า แผ่นข้าวโพดอบกรอบ และแผ่นข้าวสาลีอบกรอบมีความคงตัวในน้ำนมนานเท่ากันคือ 4 นาที ส่วนแผ่นข้าวอบกรอบมีความคงตัวในน้ำนมเพียง 2 นาที (Burrington and Kimberlee, 2001) แต่วิจิตรา (2546) ได้ศึกษาความคงตัวในน้ำนมของแผ่นข้าวอบกรอบที่เคลือบคาราเมล พบว่า แผ่นข้าวอบกรอบมีความคงตัวในน้ำนม 4 นาที และการเคลือบน้ำตาลลงบนแผ่นข้าวอบกรอบจะทำให้แผ่นข้าวอบกรอบมีรสหวาน และมีสีน้ำตาลทองมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามลักษณะของผลิตภัณฑ์

อาหารเช้าธัญชาติมีอยู่หลายลักษณะทำให้การแบ่งประเภทตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ไม่ชัดเจน แต่อาจแบ่งได้เป็น 5 ลักษณะ ดังนี้ (อรอนงค์ และลินดา, 2536)

2.1) ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น (flaked products) นิยมใช้ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวเป็นวัตถุดิบ กระบวนการผลิตมี 2 วิธีได้แก่ วิธีดั้งเดิม (conventional method) และวิธีเอกซ์ทรูชัน (extrusion method) การผลิตโดยวิธีดั้งเดิมเริ่มจากการทำความสะอาดวัตถุดิบ ปรับความชื้นให้เหมาะสมในการบดให้แตกด้วยลูกกลิ้งผิวเรียบคู่หนึ่ง เพื่อให้ความชื้นซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ง่ายขึ้น นำเมล็ดที่แตกไปต้มโดยใช้ความดัน เมื่อสุกแล้วนำไปทำแห้งจนมีความชื้นเหลือร้อยละ 15-20 และพักไว้ในถังปรับสภาพนาน 24-27 ชั่วโมง จากนั้นทำการบีบอัดระหว่างคู่ของลูกกลิ้งผิวเรียบ ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นแผ่นแบน ผ่านไปยังเครื่องทำให้แห้ง และผ่านไปยังเตาปิ้ง (toaster) จนเหลือง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 3 นำผลิตภัณฑ์ที่เย็นแล้วมาเคลือบน้ำตาล หรือน้ำเชื่อมก่อนบรรจุ สำหรับวิธีเอกซ์ทรูชัน เริ่มจากการนำวัตถุดิบมาทำความสะอาด และผสมกับส่วนผสมอื่น เช่น เกลือ น้ำตาล วิตามิน มอล์ต เคซีน เป็นต้น แล้วนำไปผ่านเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ทำให้แห้ง และปล่อยไว้ให้เย็น แล้วนำไปผ่านลูกกลิ้งผิวเรียบโดยปรับแรงอัดให้เหมาะสม จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นแผ่นบาง อาจนำไปเคลือบด้วยน้ำตาล สารปรุงแต่งกลิ่นรสก่อนบรรจุ (Roger, 1974)

2.2) ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพองกรอบ (puffed product) วัตถุดิบที่ใช้เป็นเมล็ดข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวโพด หรือข้าวบาร์เลย์ เตรียมได้โดยการทำความสะอาดเมล็ด ปรับสภาพความชื้นปริมาณร้อยละ 30-35 โดยการคลุกเคล้ากับน้ำในถังที่หมุนวน ซึ่งช่วยในการขัดผิวของเมล็ดได้ด้วย แล้วนำมาเติมน้ำตาล เกลือ และไขมัน ต้มด้วยความดัน 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากนั้นนำมาทำให้แห้งจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 14-16 จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเม็ด แล้วทำให้สุกพองโดยนำไปบรรจุลำกล้องเป็นท่อทรงกระบอก 2 ชั้น ชั้นนอกเป็นส่วนให้ความร้อนจากไอน้ำเดือดที่ฉีดผ่านเข้ามาโดยรอบชั้นนอก หรืออาจใช้ความดันจากเตาแก๊สโดยตรง ทำให้ภายในมีความดันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วลดความดันทันที ซึ่งจะมีผลทำให้สกรูดันเมล็ดข้าวที่สุกผ่านหัวอัดออกมาในลักษณะที่สุกและพอง จากนั้นนำไปทำให้แห้งจนมีความชื้นเหลือร้อยละ 3 ทำให้เย็นแล้วอาจนำมาเคลือบด้วยน้ำเชื่อมให้มีน้ำตาลเคลือบอยู่ร้อยละ 2-5 แล้วจึงทำให้เย็น และแห้งอีกครั้ง ก่อนบรรจุลงในภาชนะบรรจุ

2.3) ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นชิ้น (shredded product) ทำได้โดยนำเมล็ดข้าวสาลีมาทำความสะอาด ต้มกับน้ำโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำเดือดรอบชั้นนอกของหม้อต้ม จนได้เมล็ดที่นิ่ม และเหนียวเป็นยาง มีความชื้นประมาณร้อยละ 43 เม็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนซ์เซชัน (gelatinization) เต็มที่แล้วจึงทำให้เมล็ดข้าวสาลีสุกนี้เย็นลง และพักไว้ในถังปรับสภาพความชื้นนาน 18 ชั่วโมง จึงส่งเข้าเครื่องขูดเป็นชิ้น ซึ่งตัวเครื่องประกอบด้วยลูกกลิ้งหลายคู่ แต่ละคู่มีลูกกลิ้งผิวเรียบอยู่ด้านบน และลูกกลิ้งผิวฟันเลื่อยแบบโค้งอยู่ด้านล่าง ทำให้เกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การขูดเป็นชิ้นอย่างเท่าๆ กัน ส่งไปเตาอบอุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นจึงทำให้แห้งจนมีความชื้นเพียงร้อยละ 1 ทำให้เย็น และบรรจุ

2.4) ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเม็ด (granular product) สามารถแปรรูปได้จากแป้งสาลีบดทั้งเมล็ด หรือแป้งสาลีคุณภาพต่ำ หรือแป้งข้าวบาร์เลย์ผสมกับน้ำ เกลือ และยีสต์ หมักให้เป็นโดนาน 6 ชั่วโมง ปั้นเป็นก้อนขนมปังขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักประมาณ 10 ปอนด์ อบให้สุกและนำมาบดให้เป็นเม็ด หรือเกล็ด ทำให้แห้ง และร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดต่างๆ ตามต้องการ

2.5) ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยน้ำตาล (sugar-coated product) ทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติที่มีลักษณะเป็นแผ่น หรือพองกรอบมาเคลือบด้วยน้ำตาล หรือน้ำเชื่อม โดยใช้น้ำตาลซูโครสผสมกับน้ำผึ้ง เพื่อให้การเคลือบมีลักษณะใส และแห้ง ไม่เหนียวเยิ้มเมื่อถูกความชื้น ผลิตภัณฑ์เคลือบน้ำตาลจะมีน้ำตาลเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 7 เป็นร้อยละ 43 และจากร้อยละ 2 เป็นร้อยละ 51 สำหรับคอร์นเฟลก (corn flake) และพัฟวีต (puffed wheat) (ปริศนา, 2538; Malz, 1970) ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบคาราเมลจะมีความมันวาว มีกลิ่นหอมของเนย และรสชาติที่ดีกว่าเนื่องจากน้ำตาล และเนยในตัวกลิ่นคาราเมลที่เคลือบผลิตภัณฑ์ (พัชรินทร์ และสุจิรา, 2542)

3) อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามชนิดวัตถุดิบ

อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามชนิดของวัตถุดิบได้แก่ ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าว หรืออาจทำจากรำของธัญชาติชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือรวมกันหลายชนิด (อรอนงค์ และลินดา, 2536)

จากการพัฒนาอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง โดยใช้วัตถุดิบเป็นธัญชาติ 3 ชนิดผสมกัน และเติมกลิ่นสับปะรด สูตรที่พัฒนาแล้วประกอบด้วย ถั่วลิสงคั่วร้อยละ 20 เมล็ดทานตะวันคั่วร้อยละ 18 ข้าวเม่าคั่วร้อยละ 15 แบะแซร้อยละ 3.2 แยมสับปะรดร้อยละ 15 กล้วยน้ำว้าฉาบ นมผงขาดมันเนย น้ำตาลมะพร้าว และน้ำร้อยละ 5 น้ำผึ้งร้อยละ 4.3 กลิ่นสับปะรดและเกลือร้อยละ 0.5 แปรรูปโดยใช้เตาอบแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็ง 62.82 นิวตัน วอเตอร์แอคติวิตี 0.37 ความชื้นร้อยละ 5.96 ไขมันร้อยละ 25.21 เถ้าร้อยละ 1.80 โปรตีนร้อยละ 12.59 เส้นใยร้อยละ 38.11 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 60.40 การยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบปานกลาง (วิมลศิริ, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามกลุ่มผู้บริโภค

4.1) อาหารเช้าธัญชาติประเภทพื้นฐาน (basic) เป็นอาหารเช้าธัญชาติประเภทรสจืด กลุ่มเป้าหมายคือ ผู้บริโภคที่อยู่เป็นครอบครัวหลัก

4.2) อาหารเช้าธัญชาติประเภทรสชาติสำหรับเด็ก (child taste) เป็นอาหารเช้าธัญชาติที่มีรสหวาน โดยมีการปรุงแต่งรส เช่น ผสมน้ำผึ้ง รสชอคโกแลต หรือกลิ่นแอปเปิ้ล เป็นต้น กลุ่มเป้าหมายคือ กลุ่มเด็ก

4.3) อาหารเช้าธัญชาติประเภทเพื่อสุขภาพ (health) เป็นอาหารเช้าธัญชาติที่มุ่งเน้นคุณค่าทางโภชนาการเพื่อสุขภาพ กลุ่มเป้าหมายคือ ผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก และต้องการคุณค่าทางโภชนาการสูง

4.4) อาหารเช้าธัญชาติผสมผลไม้อบแห้ง เป็นอาหารเช้าจากธัญชาติที่ผสมผลไม้อบแห้ง เช่น มะละกอ แอปเปิ้ล หรือกีวีอบแห้ง เป็นต้น และอาหารเช้าธัญชาติประเภทนี้เป็นประเภทที่กำลังเริ่มทำตลาดอาหารเช้าธัญชาติ ซึ่งพบว่าได้รับความสนใจจากผู้บริโภคอาหารเช้าธัญชาติพอสมควร (จรูญ, 2541)

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารเช้าธัญชาติ

เนื่องจากกลุ่มผู้บริโภคอาหารเช้าธัญชาติส่วนใหญ่เป็นกลุ่มเด็ก ผู้ผลิตจึงต้องคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการเป็นสำคัญ เด็กที่มีอายุ 2-12 ปี ต้องการคุณค่าทางโภชนาการร้อยละ 91 เด็กที่มีอายุ 13-18 ปี ต้องการคุณค่าทางโภชนาการร้อยละ 75 และอายุมากกว่า 18 ปี ต้องการคุณค่าทางโภชนาการร้อยละ 61 ของปริมาณที่แนะนำต่อวัน (จิตธนา และคณะ, 2540) ดังนั้นอาหารเช้าธัญชาติจึงเหมาะสมสำหรับเด็ก และบุคคลทั่วไป เพราะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีไขมันและคอเลสเตอรอลต่ำ มีวิตามินโดยเฉพาะกลุ่มของวิตามินบี และแร่ธาตุ เช่น เหล็ก แมกนีเซียมและสังกะสีมาก แต่ธัญชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเช้ามักขาดกรดอะมิโนประเภทไลซีน การบริโภคอาหารเช้าธัญชาติร่วมกับนมจะทำให้ปัญหาดังกล่าวหมดไป เพราะนมเป็นแหล่งของไลซีนที่ดี นอกจากนี้การรับประทานอาหารเช้าธัญชาติร่วมกับนมจะทำให้ร่างกายได้รับคุณค่าทางอาหารที่ดี และเหมาะสม ทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น เนื่องจากสารอาหารบางชนิดมีมากในธัญชาติ เช่น วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี และธาตุเหล็ก ในขณะที่นมมีปริมาณสารเหล่านี้น้อยกว่า แต่มีปริมาณโปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินดีสูง (สุลาลักษณ์, 2549)

กระบวนการผลิตอาหารเช้าธัญชาติ มีผลทำให้คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ลดลง การผลิตอาหารเช้าพร้อมบริโภคจากธัญชาติประเภทพองกรอบ และประเภทแผ่นบางจะสูญเสียกรดไฟติกไปปริมาณร้อยละ 70 และ 30 ตามลำดับ และสูญเสียแร่ธาตุ และวิตามินบางตัวด้วย วิตามินบีหนึ่งจะสูญเสียไปในกระบวนการผลิตอาหารเช้าจากข้าวสาลีแบบชิ้นร้อยละ 50 ส่วนวิตามินบีหนึ่งในอาหารเช้าประเภทพองกรอบ และแบบแผ่นบางจะสูญเสียไปทั้งหมด โดยวิตามินบีหนึ่งจะสูญเสียโดยความร้อน และมีความคงตัวไม่ดีที่สภาวะเป็นกลาง และค่าความเป็นกรดสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนไรโบฟลาวิน และไนอะซีนจะสูญเสียบ้างเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์โดยทั่วไป ดังนั้นการผลิตอาหารเช้าธัญชาติจึงมักมีการเติมแร่ธาตุ และวิตามินลงไประหว่างการผลิต เพื่อชดเชยการสูญเสีย และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์ (สุลาลักษณ์, 2549) สภาวะต่างๆ เช่น ความร้อน และความดันมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการสูญเสียของแร่ธาตุ ส่วนวิตามินเป็นตัวที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามสภาวะต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการถูกทำลายของวิตามิน วิตามินที่ละลายน้ำได้ เช่น วิตามินซี จะถูกทำลายโดยความร้อนได้ง่ายที่สุด และยังถูกทำลายได้ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกด้วย ส่วนวิตามินที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามินเอ และอี จะเกิดการสูญเสียเนื่องจากเกิดปฏิกิริยากับสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) หรือสารอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน อัตราความเร็วของการถูกทำลายของวิตามินจะลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นการป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเป็นการช่วยให้วิตามินถูกทำลายน้อยลง (จรูญ, 2541)

2.2 กระบวนการเอกซ์ทรูชัน (Extrusion process)

กระบวนการผลิตโดยวิธีเอกซ์ทรูชัน (extrusion) หรือการระบวนการผลิตอาหารโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เป็นกระบวนการทำให้เกิดรูปร่างโดยการบังคับให้วัตถุดิบอาหารที่อ่อนตัวหรือหลอมเหลวเคลื่อนที่ไปตามพื้นที่อันจำกัด แล้วผ่านเข้าไปในรูเปิดหน้าแปลนที่เรียกว่า ไดย (die) ออกมาด้วยการหมุนตัวของสกรู และความดันที่เกิดขึ้นภายในเอกซ์ทรูเดอร์ระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และรูปลักษณ์ของวัตถุดิบอาหาร ปัจจัยหลักที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือ สภาวะการทำงานของเครื่อง และสมบัติทางรีโอโลจี (rheology) ของอาหาร ซึ่งรีโอโลจีนี้หมายถึง วิทยาการของการเปลี่ยนสถานะภาพ และการไหลของสสาร ในกระบวนการผลิตโดยวิธีเอกซ์ทรูชันนี้คือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และลักษณะบางประการของสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว (dough) ภายใต้อิทธิพลของแรงเฉือนโดยตัวบ่งชี้ที่สำคัญที่สุดของการเดินเครื่องคือ อุณหภูมิ ซึ่งได้มาจากอุณหภูมิของบาร์เรล ความเร็วรอบของสกรู (ทำให้เกิดแรงเฉือน และการเสียดสีจนเกิดเป็นความร้อน) ความดัน (ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปลักษณ์ องศาลาดเอียงของเส้นสกรู บาร์เรลและหน้าแปลน) และอัตราการป้อนวัตถุดิบ ส่วนคุณสมบัติของวัตถุดิบก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องที่เรียกว่า เอกซ์ทรูเดต (extrudate) โดยปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ความชื้น ขนาดของวัตถุดิบ และองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ โดยเฉพาะชนิด และปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมัน และน้ำตาล ตลอดจนส่วนผสมอย่างอื่นที่มีปริมาณเล็กน้อยที่เติมลงไปเพื่อช่วยในกระบวนการผลิต (ประชา, 2544; วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเพิ่มความชื้นในอาหาร ทำได้โดยการเติมน้ำระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชันอาหารประเภทแป้ง เช่น เม็ดข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า โดยใช้ความร้อนด้วย อาหารจะได้รับแรงเฉือนอย่างรุนแรง เม็ดแป้งจะบวม ดูดน้ำ และกลายเป็นเจลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โครงสร้างของโมเลกุลแป้งซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่จะเปิดออก และกลายเป็นมวลที่มีความหนืดสูง และเกิดคุณสมบัติแบบพลาสติก (Mercier, 1980) แป้งจะละลายน้ำได้แต่ไม่ถูกย่อย การวัดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิและอัตราการเฉือนต่างๆ ทำได้โดยการวัดดรรชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index, WAI) และสมบัติการละลายน้ำ (water solubility characteristic, WSC) โดยทั่วไปค่า WAI ของผลิตภัณฑ์จากธัญพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความรุนแรงของกรรมวิธี และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส ค่า WSC ลดลงเมื่อค่า WAI สูงขึ้น มีการวัดค่าความหนืดของแป้งบดในระหว่างการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากธัญพืช เพื่อหาความรุนแรงของกระบวนการ หรือเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในโรงงานจำลองเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง (วิไล, 2545)

สำหรับกระบวนการเอกซ์ทรูชันอาหารประเภทโปรตีน เช่น ถั่วเหลือบด และแป้งถั่วเหลืองหลังการสกัดน้ำมัน โครงสร้างแบบทุติยภูมิของโปรตีนจะเปิดออกในสภาพร้อนชื้น ทำให้เกิดมวลที่มีความหนืดสูง และมีคุณสมบัติคล้ายพลาสติก โปรตีนจะกลายเป็นโพลิเมอร์ที่เกาะเกี่ยวกัน (cross-linked) จัดเรียงตัวกันใหม่ และเกิดโครงสร้างเส้นใยของโปรตีนพืช (texturized vegetable protein, TVP) ค่าดรรชนีความสามารถในการละลายของไนโตรเจน (nitrogen solubility index, NSI) จะเป็นค่าที่ใช้วัดระดับการเสียสภาพของโปรตีน ค่านี้จะลดลงระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชันโดยใช้ความร้อน ดังนั้นวัตถุดิบจึงควรมีโปรตีนที่ยังไม่เสียสภาพในปริมาณสูง (วิไล, 2545)

การที่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เข้ามามีบทบาทต่อกระบวนการผลิตอาหารสมัยใหม่ ช่วยให้การขยายงานด้านอุตสาหกรรมการผลิตอาหารกว้างขวางยิ่งขึ้น เพราะโดยตัวของระบบหรือเอกซ์ทรูเดอร์นั้นมีคุณลักษณะพิเศษหลายประการ ดังนี้ (ฤทัยพันธ์, 2537; ประชา, 2537ก; รุ่งนภา, 2541)

1) อเนกประสงค์ (versatility) สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลากหลายเพียงเปลี่ยนวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบ และปรับสภาวะของกระบวนการผลิตให้เหมาะสม

2) อัตราการผลิตสูง (high productivity) เป็นเครื่องจักรแบบต่อเนื่อง และมีอัตราการผลิตได้มากกว่าระบบอื่นๆ เช่น อัตราการผลิตของขนมขบเคี้ยวสูงถึง 315 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ของธัญชาติความหนาแน่นต่ำ 1,200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และของอาหารสัตว์ที่พองและแห้ง 9,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (Mans, 1982)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ต้นทุนการผลิตต่ำ (low cost) จำนวนคนงาน และพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชันต่อหนึ่งหน่วยการผลิตนั้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีอื่น เช่น ในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติด้วยวิธีดั้งเดิมเทียบกับกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่า สามารถประหยัดพลังงาน (ร้อยละ 100) การลงทุน (ร้อยละ 44) วัตถุดิบ (ร้อยละ 19) และแรงงาน (ร้อยละ 14)

4) รูปทรงของผลิตภัณฑ์ (product shapes) สามารถทำได้หลายแบบเพียงเปลี่ยนแบบรูปทรงของรูเปิดพิเศษตรงหน้าแปลน

5) ประหยัดพลังงาน (energy efficient) ระบบเอกซ์ทรูชันสามารถทำงานได้ที่วัตถุดิบความชื้นต่ำทำให้ลดปริมาณความร้อนในการหุงต้ม และการอบแห้งผลิตภัณฑ์

6) คุณภาพของผลิตภัณฑ์สูง (high product quality) คุณภาพสูงอันเนื่องมาจากเป็นระบบ high temperature short time (HTST)

7) ทำผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ (product of new foods) ระบบเอกซ์ทรูชันสามารถแปรสภาพแป้ง โปรตีนจากพืช และอาหารประเภทอื่นเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ได้หลายชนิด

8) มีการสูญเสียของแข็งน้อยมากซึ่งจะลด BOD ของน้ำทิ้งจากโรงงานที่ทำการแปรรูป

2.2.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

1) Extrusion drive ในส่วนประกอบนี้ที่สำคัญ ได้แก่ มอเตอร์ขับเคลื่อนเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ทำหน้าที่หมุนเพลา และสกรู มอเตอร์ที่ใช้มีขนาดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับอัตราการผลิต

2) Feed assembly ในส่วนนี้เรียกว่า ระบบการป้อน ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ทำหน้าที่แตกต่างกัน เช่น ทำหน้าที่ป้อน (feed hopper) ทำหน้าที่ผสม (mixer) ปรับสภาพวัตถุส่วนผสม (preconditioner)

3) Extrusion screw คือ ส่วนที่เรียกว่า สกรู เป็นส่วนประกอบที่อยู่ตรงกลางของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ทำหน้าที่หมุนตัวลำเลียง หรือขนส่งวัตถุอาหารผสมที่ป้อนเข้าเคลื่อนที่ไปข้างหน้าผ่านแผ่นรูเปิดหน้าแปลนปิดกั้นอยู่ผ่านออกไป สกรูภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งชื่อเรียกสกรูของแต่ละส่วนนั้นจะมีความสัมพันธ์กับหน้าที่ของสกรู

3.1) feed section เป็นสกรูป้อนที่คอยรับเอาวัตถุอาหารผสมมาจาก feed port มีเกลียวลึก มีความยาวประมาณร้อยละ 10-20 ของความยาวสกรูทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2) compression section หรือ transition section อยู่ระหว่างสกรูป้อนและสกรูที่ทำให้สุก ความห่างของเกลียวสกรูจะแคบลง และตื้นขึ้นทีละน้อยจากปากทางเข้าไปสู่ปลายทางออก

3.3) metering section เป็นสกรูที่อยู่ใกล้กับหน้าแปลนมากที่สุด มีร่องตื้นมากที่สุด ทำให้เกิดแรงเฉือนมากที่สุด

4) Extruder barrel มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกผนังสองชั้น บาร์เรลนี้แบ่งออกเป็นท่อนๆ (section) ยึดกันด้วย clamp พื้นที่ผิวด้านในของบาร์เรลส่วนมากมีร่องเล็กๆ ไว้เพื่อป้องกันการไหลของวัตถุอาหาร ที่ใช้มีอยู่ 2 แบบคือ เป็นแบบร่องตรง และเป็นแบบร่องเกลียว

5) Extruder discharge เป็นส่วนเปิดที่ยอมให้วัตถุอาหารออกมาจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้คือ รูเปิดหน้าแปลน ใบมีดพร้อมตัวหมุน และส่วนที่เป็นสายพานนำส่ง รูเปิดหน้าแปลน หรือแม่พิมพ์เป็นชิ้นส่วนสุดท้ายของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ต่อจากบาร์เรล บนรูเปิดหน้าแปลนมีรูที่มีรูปร่างเรียวเล็ก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ถูกอัด บีบ รีดออกมามีลักษณะเป็นท่อเดียว แต่ตามปกติรูเปิดหน้าแปลนจะเจาะรูหลายรู และมีรูปแบบหลายแบบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ (ฤทัยพันธ์, 2537)

สกรูเป็นหัวใจของกระบวนการเอกซ์ทรูชัน โดยลักษณะของสกรู และความเร็วของการหมุนมีผลต่อการเอกซ์ทรูชัน การเคลื่อนที่ของส่วนผสมของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เกิดขึ้นจากเกลียวที่อยู่ตามแนวแกนความยาวของสกรู โดยขณะที่สกรูหมุน เกลียวจะผลักให้ส่วนผสมต่างๆ ของอาหารเคลื่อนไปข้างหน้า ผนังของบาร์เรลมักทำเป็นร่องเพื่อเพิ่มความฝืดและลดความลื่น เนื่องจากส่วนผสมที่ถัดจากผนังบาร์เรลมักจะลื่น และหมุนตามสกรู (รุ่งนภา, 2541)

สกรูทำหน้าที่ 3 อย่างคือ (1) การขนถ่าย (2) ก่อให้เกิดงานและความร้อน และ (3) การผสม สกรูในส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนมักจะมีลักษณะสันเกลียวที่ลึกซึ่งจะรับส่วนผสมของอาหารที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง ส่วนผสมของวัตถุดิบมีลักษณะเป็นอนุภาค หรือลักษณะเป็นเม็ดๆ และผ่านการปรับความชื้นแล้ว สกรูจะพาส่วนผสมเหล่านี้เคลื่อนไปตามความยาวของสกรู ขณะที่ส่วนผสมเคลื่อนที่ไปตามสกรูก็จะได้รับการอัดเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมอาหารเหล่านี้บรรจุลงในชันเนล (channel) หรือช่องว่างที่มีอยู่ระหว่างเกลียวสกรู

ส่วนที่สองของสกรูจะเป็นช่วงของการอัด หรือการเปลี่ยน โดยสกรูมีความสูงของเกลียวหรือสันเกลียวลดลง หรืออาจใช้วิธีการอื่นที่ทำให้ความสามารถในการขนถ่ายของสกรูลดลง ซึ่งมีผลให้เกิดการอัดมากขึ้น ส่วนผสมของอาหารจะหมุนอยู่ในชันเนลของสกรูขณะที่เคลื่อนไปข้างหน้า และเกิดเป็นมวลที่ต่อเนื่อง พลังงานที่ทำให้ส่วนผสมที่หนืดนี้ไหลได้มาจากมอเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนาดใหญ่ที่หมุนสกรู การเฉือนระหว่างกระบวนการไหลจะทำให้พลังงานกลหมดไป โดยทำให้อุณหภูมิของส่วนผสมเพิ่มขึ้น และเปลี่ยนส่วนผสมของอาหารไปเป็นมวลที่หลอมเหลว

ส่วนต่อมาของสกรูจะออกแบบมา เพื่อทำหน้าที่ผสมส่วนผสมของอาหารที่หลอมเหลวนี้ สันเกลียวที่ตื้นขึ้นจะเพิ่มแรงเฉือน และช่วยให้การผสมดีขึ้นเพื่อให้เกิดโดที่มีอุณหภูมิ และความดันสูงสม่ำเสมอ (รุ่งนภา, 2541)

2.2.2 การทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (extruder operation)

ส่วนผสมที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยธัญชาติที่ผ่านการบด สตาร์ช และโปรตีนที่ได้จากพืช นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นๆ ที่เป็นวัตถุดิบรอง ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล เกลือ กรดหรือด่าง สารอิมัลซิไฟเออร์ สี และกลิ่นรส น้ำจะเติมเข้าไปเพื่อปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นอยู่ในระดับร้อยละ 10-40

พลังงานต่างๆ ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นั้นทำให้อุณหภูมิของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขณะที่เคลื่อนผ่านไปในเครื่อง ในบรรดาแหล่งพลังงานต่างๆ เหล่านี้ การเพิ่มพลังงานทางกลโดยการหมุนสกรูเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด และคิดเป็นร้อยละ 50-100 ของพลังงานทั้งหมดที่มี โดยความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังบาร์เรลที่ร้อนหรือเย็น หรือพลังงานที่เกิดจากการส่งไอน้ำเข้าไป และผสมโดยตรงกับอาหารภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็นส่วนที่สำคัญน้อยกว่า

ในการทำให้สุกด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน อุณหภูมิของส่วนผสมอาหารหลังจากที่ถูกอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปเป็น 150-200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงที่สุดนี้จะคงอยู่น้อยกว่า 20 วินาที ไม่เช่นนั้นจะทำให้ไหม้ และเกิดกลิ่นรสแปลกปลอมขึ้น ความดันในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่สูงทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่คล้ายกับของหม้อต้มความดัน (pressure cooker) ซึ่งจะป้องกันการพุ่งกระจายของไอน้ำจนกว่าความดันจะถูกปล่อยออกมาเมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากรูเปิดหน้าแปลน

เมื่อโดออกจากรูเปิดหน้าแปลน ความดันถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้เกิดการพองตัว (puffing) อย่างทันทีที่อุณหภูมิสูง การพองตัวนี้ส่วนใหญ่เกิดจากไอน้ำที่ออกจากน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ถูกทำให้ร้อนขึ้น การสูญเสียความชื้น และความร้อนในผลิตภัณฑ์ ร่วมกับการพองตัวทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส

เอกซ์ทรูเดตที่ขยายตัวจะมีโครงสร้างของเซลล์เปิดซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่แต่ละเซลล์ถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรนของแป้ง หรือโปรตีน ขนาดของเซลล์เหล่านี้จะควบคุมลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์คือ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เอกซ์ทรูเดตเหล่านี้มักจะถูกตัดที่ผิวหน้าของรูเปิดหน้าแปลนด้วยใบมีดที่หมุน แล้วอบแห้งต่อในเครื่องอบแห้งแบบลม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อนให้มีความชื้นร้อยละ 2-12 ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการอาจเคลือบด้วยสี กลิ่น รส น้ำมัน และ/หรือน้ำตาล

การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปส่วนใหญ่ขึ้นกับปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการเอกซ์ทรูชัน อุณหภูมิที่จุดออกจากเครื่อง ระดับหรือปริมาณของความเสียหายของส่วนผสมที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไหล และลักษณะรูปร่างของรูเปิดหน้าแปลน (รุ่งนภา, 2541)

2.2.3 ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สามารถแบ่งได้ ดังนี้ (ประชา, 2539)

1) แบ่งตามความเกี่ยวข้องกับพื้นฐานหน้าที่ สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา (functional characteristics)

1.1) Pasta extruders เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทที่มีแรงเฉือนต่ำ มีพื้นผิวผนังบาร์เรลเรียบ ความเร็วรอบของสกรูต่ำ เกลียวสกรูลึก เพื่อให้เกลียวสกรูทำหน้าที่นวด บด อัด ผลัก พาแป้งที่ชื้นนุ่มให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แล้วอัดผ่านรูเปิดบนหน้าแปลนออกมาเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ถึงกับสุกพอง ต้องใช้ขั้นตอนของกรรมวิธีการผลิตอาหารวิธีอื่นเข้ามาช่วยเพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นสุกพร้อมที่จะรับประทานต่อไป เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้มักใช้เป็นเครื่องผสมและขึ้นรูปแบบต่อเนื่องสำหรับทำอาหาร หรือทำแป้งอบกรอบ (pastry) เช่น พาย (pie) ทาร์ท (tart) พัฟ (puff) คุกกี้ เนื้อสำเร็จรูป (processed meat) และขนมหวาน

1.2) High-pressure forming extruders เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทที่มีแรงเฉือนต่ำ ผนังบาร์เรลเป็นร่องตรง หรือเป็นเกลียวสว่าน (grooved barrels) เพื่อมิให้การไหลลื่นเกิดขึ้นที่ผนังบาร์เรล และสกรูเป็นชนิดที่มีอัตราส่วนการอัด (compressing screw) มาก เพื่อช่วยให้ความดันเกิดขึ้นสูงในบริเวณหลังรูเปิดหน้าแปลน เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้ใช้อัดวัตถุดิบที่เป็นโด หรือแป้งพวกธัญชาติที่เปลี่ยนสภาพเป็นเจลมา แล้วอัดผ่านรูเปิดพิเศษบนรูเปิดหน้าแปลนแล้วตัดเป็นชิ้นตามขนาด และรูปทรงที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ยังไม่สุกพอง เนื่องจากการปล่อยน้ำเข้าไปหมุนเวียนในรูกลวงสกรู หรือมีช่องว่างระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรล เพื่อลดอุณหภูมิของความร้อนที่เกิดขึ้นมากเกินไปให้ต่ำลง จากนั้นนำไปผ่านขั้นตอนการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งเรียกว่า ตัวดิบ (pellet) หรือ 3 จี (3 G) ขั้นตอนต่อไป คือ การนำไปทำให้สุกพองโดยวิธีการทอดในน้ำมัน อบ หรือคั่วก่อน ขนมขบเคี้ยวที่มีจำหน่ายกันโดยทั่วไปส่วนมากมาจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3) Low-shear cooking extruders เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้เป็นประเภทที่เกิดแรงเฉือนปานกลาง ผนังบาร์เรลเป็นร่องตรงๆ ส่วนสกรูเป็นชนิดที่มีอัตราส่วนการอัดสูง (compression screw) เพื่อเพิ่มการนวด ผสม ให้ดียิ่งขึ้น ความร้อนจะส่งผ่านมาทางบาร์เรลหรือทางสกรูเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ร้อนหรือสุก และยังเพื่อใช้ทำลายแบคทีเรีย ยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ ทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติเปลี่ยนแป้งดิบให้เป็นแป้งสุก (gelatinize starch) ขณะเดียวกันก็ป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์สุกพองในขณะผ่านพ้นรูเปิดหน้าแปลนออกมา

1.4) Collet extruders เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้เป็นประเภทที่เกิดแรงเฉือนสูง พื้นผิวผนังบาร์เรลเป็นร่องเกลียว และร่องเกลียวสกรูตื้น มีหลากหลายขนาด มีความยาวของตัวสกรูต่อเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยมาก ประมาณ 3:1 (L/D = 3:1 เรียกว่า short screw) วัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ คอร์นกริทที่แยกเอาน้ำมันออกแล้ว และมีความชื้นต่ำน้อยกว่าร้อยละ 12 ความร้อนเกือบทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้มาจากการเสียดสี แล้วทำให้วัตถุดิบ หรือคอร์นกริทนั้นร้อนถึง 175 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็ว ทำให้แป้งกลายเป็นเจล และบางส่วนเปลี่ยนเป็นเดกซ์ตริน (dextrin) ด้วยการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็วจากภายในตัวเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่มีความดันสูงมากมาสู่ภายนอกที่มีความดันต่ำ (ความดันบรรยากาศ) ทำให้น้ำภายในเอกซ์ทรูเดตเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำระเหยลอยตัวออกไป ในขณะเดียวกันก็ถูกตัดด้วยใบมีดแล้วคงตัวเป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่สุกและพองกรอบ วัตถุดิบที่ใช้ทำขนมขบเคี้ยวได้ดี เช่น คอร์นเคริล (corn curl) หรือข้าวโพดพองกรอบ หรือคอร์นพัฟ นอกจากคอร์นกริทแล้วพวกข้าวท่อน (ปลายข้าว) ก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวด้วยเครื่องคอลเลทเอกซ์ทรูเดอร์ได้ดีพอๆ กัน

1.5) High-shear cooking extruders เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้เป็นประเภทที่เกิดแรงเฉือนสูง ออกแบบมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พวกที่สุกเพียงบางส่วนหรือกึ่งสำเร็จรูป หรือพวกที่ผ่านความร้อนสูง แล้วมีการจัดโครงสร้างในโมเลกุลใหม่ เช่น โปรตีนเกษตร (texture vegetable protein) เดิมได้ประยุกต์นำเอาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทำด้วยพลาสติกที่มีอัตราส่วนของความยาวสกรูต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (L/D) = 15-20:1 เป็นชนิดที่เกิดแรงอัดสูง มีบาร์เรลยาว แต่ก็สามารถทำให้เอกซ์ทรูเดตร้อนหรือเย็นได้ โดยใช้แหล่งความร้อน ความเย็นจากภายนอกโดยผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างผนังบาร์เรล เอกซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ใช้กับวัตถุดิบได้หลายชนิด และในช่วงความชื้นได้ต่างๆ กัน และสามารถควบคุมสภาวะต่างๆ ในการผลิตได้ เช่น ควบคุมการสุกพอง อุณหภูมิ ความแน่นของเนื้อสัมผัส เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ ได้แก่ อาหารสัตว์เลี้ยง อาหารเช้าซีเรียล อาหารจากธัญชาติพร้อมรับประทาน (ready to eat cereals) โปรตีนเกษตร และอาหารขบเคี้ยว หรือขนมกรอบ high shear cooking extruder จัดอยู่ใน HTST ส่วนมากวัตถุดิบที่นำมาใช้ก่อนป้อนเข้าเครื่อง ควรให้ความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก่อนซึ่งจะเป็นไอน้ำ หรือน้ำร้อนก็ได้ แล้วป้อนเข้าไปในเครื่อง เพื่อทำให้วัตถุดิบนี้เปลี่ยนเป็นเจล หรือปรับโครงสร้างภายในโมเลกุลของวัตถุดิบเสียใหม่ และการอุ่นนั้นจะช่วยให้วัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้สุก และเย็นตัวลงเกือบทันทีเมื่อผลิตภัณฑ์โผล่พ้นรูเปิดหน้าแปลนออกมา เวลาที่ใช้ในการหุงต้มนี้ต้องสั้นมาก (short residence time)

2) แบ่งตามการเคลื่อนที่ของความร้อน (thermodynamic characteristics)

2.1) Autogenous extruder ความร้อนทั้งหมดที่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ได้รับ (input to the extruder) นั้นมาจากการเสียดสี (friction) คือการเปลี่ยนมาจากพลังงานกล และมีเพียงปริมาณเล็กน้อย หรือไม่มีเลยของความร้อนที่เพิ่มขึ้น หรือระบายออกไปจากบาร์เรล collet extruders และ high-shear cooking extruders บางชนิดที่จัดเป็น autogenous extruder เนื่องมาจากอุณหภูมิภายในของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้จะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไป และการจัดรูปแบบของสกรู ดังนั้นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบ autogenous นี้จึงไม่ค่อยคล่องตัวในการที่จะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด และยังยากต่อการควบคุมการทำงานของเครื่องอีกด้วย

2.2) Isothermal extruders เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้มีระบบการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากันเป็นระยะตลอดความยาวของบาร์เรล forming extruders ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ เพื่อคงสภาพความร้อนให้เท่ากันโดยตลอดความร้อนจะถูกระบายผ่านทางช่องว่าง (jacket) ระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรลที่อยู่รอบสกรู

2.3) Polytropic extruders เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แทบทุกชนิดเป็นประเภท polytropic คือ จะได้รับความร้อนจากทั้ง 2 ทางคือ ความร้อนที่เกิดจากพลังงานกล และความร้อนที่ได้มาจากแหล่งความร้อนภายนอกที่ส่งผ่านมาทางช่องว่างของบาร์เรล

3) แบ่งตามปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่ป้อน (moisture characteristics)

3.1) ความชื้นต่ำ (low moisture) เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทที่ใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 20 พลังงานส่วนใหญ่เกิดจากแรงเสียดทานของวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ที่จะได้มีความแห้งมาก และมีลักษณะที่พองมาก ทำให้กำหนดรูปร่างของผลิตภัณฑ์ได้ยาก

3.2) ความชื้นปานกลาง (intermediate moisture) เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทที่ใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นในช่วงร้อยละ 20-28 พลังงานความร้อนครึ่งหนึ่งได้จากแรงเสียดทาน ที่เหลือได้จากการให้ความร้อนจากแหล่งภายนอก เช่น จาก steam jacket หรือจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การพ่นไอน้ำเข้าไปผสมโดยตรงกับวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นพอควร ต้องผ่านการอบแห้งอีกครั้งเพื่อให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการ การพองของผลิตภัณฑ์เกิดเพียงเล็กน้อย เนื้อค่อนข้างแน่น ทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูปร่างของผลิตภัณฑ์

3.3) ความชื้นสูง (high moisture) เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทที่ใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 28 ขึ้นไป พลังงานความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานในแบบนี้จะน้อยมาก ส่วนใหญ่ได้รับความร้อนจากแห่งภายนอก เช่น การพ่นไอน้ำไปผสมกับวัตถุดิบโดยตรง หรือเป็นความร้อนแพร่ผ่านมาทางผนังกระบอกเหล็กสองชั้น โดยการนำจากไอน้ำ ขดลวดไฟฟ้า หรือของเหลวร้อนที่อยู่ในช่องว่างของผนังกระบอกเหล็ก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักจะไม่ค่อยพอง ทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย หลากหลายรูปแบบ แต่ผลิตภัณฑ์นี้มีความชื้นสูง ต้องผ่านขั้นตอนการอบแห้งก่อนที่จะผ่านกระบวนการอื่นๆ ต่อไป

4) แบ่งตามโครงสร้างของเครื่อง (structure characteristics)

4.1) เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (single screw extruder) ประกอบด้วยสกรู 1 อัน วางยาวตลอดภายในเครื่อง เมื่อสกรูหมุนจะเกิดการผสมของวัตถุดิบและพาวัตถุดิบเคลื่อนไปตามตัวเครื่อง ความร้อนที่ส่งผ่านให้วัตถุดิบเกิดจากอุณหภูมิที่ตั้งไว้ภายในเครื่อง และแรงเฉือนระหว่างสกรูกับวัตถุดิบ ความดันภายในเครื่องจะเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะบริเวณใกล้รูเปิดหน้าแปลน ซึ่งเป็นทางออกสู่สภาพบรรยากาศสภาวะปกติ สกรูที่พาดยาวภายในตัวเครื่องประกอบด้วย ส่วนที่ส่งวัตถุดิบเข้าไปเพื่ออัดวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนนวด เพื่อการบีบนวด ส่วนผสม และเฉือนเนื้ออาหารที่มีคุณสมบัติคล้ายพลาสติก และมีส่วนของการให้ความร้อนในเครื่องที่ใช้แรงเฉือนสูงด้วย การส่งวัตถุดิบผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวนี้ทำได้โดยอาศัยความฝืดที่ผิวของบาร์เรล วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการทำงานของเกลียวสกรู และมีบางส่วนเคลื่อนที่ในทางกลับกัน (pressure flow และ leakage flow) ซึ่งเป็นการไหลเนื่องจากแรงดันที่เกิดขึ้นด้านหลังรูเปิดหน้าแปลน และการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบระหว่างสกรูและบาร์เรล การใช้ผ้าแบบพิเศษหุ้มภายในบาร์เรลจะช่วยลดการลื่นไหลได้ เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวใช้เงินลงทุน และค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง และความชำนาญในการควบคุมดูแลเครื่องน้อยกว่าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (กมลวรรณ, 2541; วิไล, 2545)

ปัญหาที่มักเกิดขึ้นในการใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวคือ ปัญหาการลื่นไหล (slippage) และเกิดการสะอึก (surging) ปัญหาการลื่นไหลมักจะเกิดขึ้นในสภาวะที่ความดันภายในบาร์เรลสูง ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการลื่นไหลระหว่างสกรูและผนังบาร์เรล ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารไม่ได้รับความร้อนเพียงพอ หรือผ่านกระบวนการผลิตไม่สมบูรณ์ ส่วนปัญหาการสะอึก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่อง) มักจะเกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สม่ำเสมอ ความดันจะเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารพ่นออกมาเป็นฝอย หรือชิ้นเล็กๆ เมื่อผ่านพ้นรูเปิดหน้าแปลนออกมาโดยไม่สามารถควบคุมได้ (วิไล, 2545)

4.2) เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (twin screw extruder) มีสกรู 2 สกรูวางข้างๆ กันโดยสกรูจะหมุนเป็นรูปเบอร์ 8 อยู่ในบาร์เรล ประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบนี้แบ่งได้ตามทิศทางของการหมุน และลักษณะที่สกรูจะหมุนเจอกัน สกรูแบบที่หมุนไปในทิศทางเดียวกันเป็นแบบที่นิยมใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร การหมุนของสกรูทำให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ไปตามเกลียวของเครื่อง การหมุนเจอกันช่วยในการผสม และป้องกันการหมุนของวัตถุดิบในบาร์เรล (วิไล, 2545)

2.2.4 ขั้นตอนกระบวนการผลิตโดยวิธีเอกซ์ทรูชัน

เริ่มจากการชั่งวัตถุดิบตามสูตรส่วนผสม ผสมให้เข้ากันดีในเครื่องผสมเสร็จแล้วนำออกมาจากเครื่องผสมบรรจุลงในถุงพลาสติก หรือภาชนะที่ใช้บรรจุ จากนั้นนำไปป้อนเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันแล้ว ป้อนวัตถุดิบผสมเข้าไปตรงส่วนที่รับวัตถุดิบ (feed port) วัตถุดิบจะถูกพาเข้าสู่ช่วงของการผลิต ซึ่งแบ่งได้ 3 ช่วง ดังนี้ (ประชา, 2544)

1) ช่วงการป้อนและการผสม (feeding and mixing zone) วัตถุดิบผสมนี้จะถูกพาให้เคลื่อนที่ไปทางข้างหน้าอย่างต่อเนื่อง เคลื่อนที่ไปตามร่องเกลียวสกรู และช่องว่างระหว่างสันเกลียวสกรูกับผนังบาร์เรลด้านใน ดังนั้นความลาดเอียง องศาความตื้นลึกของเส้น (ร่อง) เกลียว และความสูงของสันเกลียว ตลอดจนความเร็วรอบของสกรูนั้น จึงมีบทบาทสำคัญมาก ทั้งนี้เนื่องจากสกรูนอกจากจะทำหน้าที่ในการขนถ่าย ผลักพา หรือขับเคลื่อนให้วัตถุดิบผสมเคลื่อนที่ไปแล้วยังทำหน้าที่ผสม นวด บด อัด ด้วยการทำงานของสกรูเช่นนี้ จึงก่อให้เกิดงาน และความร้อนขึ้นบ้าง สกรูที่ใช้ในช่วงแรกนี้ทำหน้าที่หลัก ได้แก่ ขนถ่าย ผลักพาให้วัตถุดิบผสมเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างรวดเร็ว สกรูที่ใช้ในช่วงแรกที่เรียกว่า สกรูป้อนนี้ต้องเป็นชนิดที่ร่องเกลียวสกรูลึก มุมลาดเอียงของเส้นเกลียวสกรูต้องลาดชัน และความกว้างระหว่างเกลียวสกรูต้องมากกว่าสกรูช่วงอื่นๆ เมื่อสกรูส่วนนี้รับส่วนผสมของวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แล้ว วัตถุดิบผสมนี้จะถูกผลักพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการหมุนตัวของสกรู และแรงเสียดทานวัตถุดิบผสม ในช่วงนี้เปรียบเสมือนถูกลดขนาดลงในขณะที่ถูกผลักดัน อัดให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตลอดเวลา ขณะเดียวกันการผลักพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้านั้นทำได้ช้าลงทั้งที่วัตถุดิบผสมนี้ถูกป้อน อัด เข้ามาด้วยอัตรา และปริมาณเท่าเดิม เนื่องจากทางออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีรูเปิดหน้าแปลนที่มีรูเปิดกว้างอันจำกัดปิดไว้ กอปรกับพื้นที่ของช่องว่างระหว่างผนังบาร์เรลด้านในกับผนังบาร์เรลลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากร่องเกลียวสกรูในช่วงถัดไปตื้นขึ้นจึงทำให้วัตถุดิบผสมในช่วงป้อนนี้ถูกแรงอัดผลักดันให้รวมตัวเข้ามาชิดกันได้ดียิ่งขึ้นจนเกือบเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ขนม หรือปริมาตรของวัตถุดิบผสมนี้ลดลง

2) ช่วงการนวด (kneading zone) วัตถุดิบผสมยังคงถูกบด อัด นวด ผลักดัน เฉือน เสียดสี เหมือนเดิมแต่มากกว่าเนื่องจากสกรูของส่วนนี้ออกแบบให้เป็นสกรูที่มีร่องเกลียว และความลึกที่แคบ และตื้นกว่าสกรูช่วงแรก หรืออาจใช้วิธีการที่ทำให้ความสามารถในการขนถ่ายหรือผลักพาของสกรูลดลง เพื่อช่วยทำให้เกิดแรงอัดมากขึ้น ส่วนผสมของอาหารจะหมุนตัวในช่องว่างที่เป็นร่องเกลียวสกรูกับผนังบาร์เรลด้านใน ในขณะเดียวกันก็เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นจากการหมุนตัวของสกรูที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่ กำลังแรงม้าสูงเป็นตัวขับเคลื่อนหมุนสกรู จึงทำให้เกิดความร้อนขึ้น เป็นความร้อนที่ได้มาจากการเปลี่ยนพลังงานกล (ที่มาจากการเสียดสีและเฉือน) และความร้อนนี้จะแพร่เข้าไปในส่วนผสมของวัตถุดิบที่ยังเป็นแป้งชิ้นๆ ที่เคลื่อนที่มาจากช่วงป้อนซึ่งมีผลทำให้ส่วนผสมช่วงนี้มีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วทำให้ส่วนผสมของอาหารนี้เปลี่ยนเป็นแป้งเหนียวหยุ่น มีลักษณะเหนียว หนืด ยืดหยุ่นได้เหมือนกับโด (dough) ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปยังช่วงที่ 3 ต่อไป

3) ช่วงการหุงต้มหรือช่วงที่ทำให้ร้อนจนสุก (final cooking zone) สกรูส่วนนี้จะออกแบบพิเศษ เช่น ร่องเกลียวต้องตื้น มุมลาดเอียง องศาของเส้นเกลียวจะมีความชันน้อยลง มีรอยตัด หรือบากที่เส้นเกลียว หรือฝังหมุด จำนวนเส้นเกลียวมีมากขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มแรงเฉือนและช่วยให้การผสมดียิ่งขึ้น สกรูที่มีลักษณะพิเศษนี้จักทำให้แป้งเหนียว หนืด หยุ่นนี้เปลี่ยนแปลงสถานะไปเป็นของเหลวที่ไม่มีรูปพรรณสัณฐานเป็นของเหลวไหลได้ที่เรียกว่าเจล (gel) หรือแป้งสุก เมื่อถูกอัดผ่านพ้นรูเปิดหน้าแปลนออกมา และด้วยความแตกต่างของความดันบรรยากาศที่ภายนอกกับความดันสูงที่เกิดขึ้นภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ จะทำให้น้ำที่อยู่ในส่วนผสมอาหารที่หลอมเหลวเป็นเจลระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยตัวออกไปพร้อมกับดึงเอาส่วนโครงสร้างที่เป็นแป้งเหลวสุกนี้ยืดขยายตัวออก และคงสภาพความพองไว้ที่อุณหภูมิบรรยากาศภายนอก ขณะเดียวกันก็ถูกตัดเป็นชิ้น หรือท่อนตามขนาดที่ต้องการด้วยใบมีด จากนั้นนำไปอบแห้งแล้วเคลือบกลิ่นรสตามแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.5 ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ตัวแปรแรกเป็นส่วนประกอบของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ได้แก่ แบบของตัวเครื่อง แบบของสกรู และแบบของรูเปิดหน้าแปลน ตัวแปรที่ 2 เป็นกระบวนการผลิตโดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ได้แก่ อุณหภูมิของ

เครื่อง ความเร็วรอบของสกรู รูปแบบการจัดเรียงของสกรู และอัตราการป้อนวัตถุดิบสู่เครื่อง เป็นต้น ส่วนตัวแปรสุดท้ายเป็นองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน แป้ง ไขมัน เส้นใย น้ำ น้ำตาล และเกลือ เป็นต้น (กมลวรรณ, 2541)

ตัวแปรทั้งสาม และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบซึ่งส่งผลไปถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในระหว่างกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เช่น ความร้อน ความดัน และแรงเฉือน ที่เกิดจากตัวแปรต่างๆ โดยมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลในอาหาร (แป้ง โปรตีน ไขมัน) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และทางโภชนาการของอาหาร ตัวแปรของกระบวนการผลิตโดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สามารถปรับให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ ซึ่งจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ดังต่อไปนี้ (กมลวรรณ, 2541)

1) อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิที่ตั้งไว้ตลอดความยาวของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถ้าอุณหภูมิทางออกของเครื่องมากกว่า 100 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พองทันทีหลังออกจากเครื่องเนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไม่พองทันทีหลังออกมาจากเครื่องเกิดเนื่องจากการลดอุณหภูมิช่วงใกล้ทางออกลงต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการพองตัวของผลิตภัณฑ์แต่จะพองหลังจากให้ความร้อน เช่น โดยวิธีการทอด หรืออบ

2) ความเร็วรอบของสกรู (screw speed) ความเร็วรอบของสกรูมีผลต่อการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่อง ช่วงเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่อง (residence time) และแรงเฉือน การเพิ่มแรงเฉือนใกล้ทางออกของเครื่องจะเพิ่มการสูญเสียโครงสร้างของโมเลกุลแป้ง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่พองมีลักษณะรูพรุนเล็ก และความทนต่อแรงกดลดลง

3) รูปแบบของสกรู (screw configuration) ชิ้นส่วนของสกรูที่ใช้ และตำแหน่งชิ้นส่วนของสกรูมีผลต่อรูปแบบของสกรูโดยเฉพาะกับเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ ซึ่งมีผลต่อการผสมของวัตถุดิบ เวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่อง แรงเฉือน พลังงานกลที่ให้กับวัตถุดิบ และอุณหภูมิของโดภายในเครื่อง

4) อัตราการป้อนวัตถุดิบ (feed rate) การเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องจะมีการเพิ่มความดันที่รูเปิดหน้าแปลน ลดพลังงานกลที่ป้อนเข้า และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่อง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะมีผลต่อคุณภาพที่ได้

จากการวิจัยผลิตอาหารขบเคี้ยวจากถั่วเขียวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ ประชา และคณะ (2539) ได้แปรค่าปริมาณถั่วเขียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักตั้งแต่ร้อยละ 50-100 ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมด้วยวิธี Response Surface Methodology โดยศึกษาตัวแปรคือ ความชื้นของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัตถุดิบส่วนผสม (ร้อยละ 14, 16 และ 18) ความเร็วรอบของสกรู (250, 300 และ 350 รอบต่อนาที) และอุณหภูมิสุดท้าย (120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส) พบว่า อัตราส่วนวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตคือ ส่วนผสมของถั่วเขียว : แป้งข้าวเจ้า (70:30) ร้อยละ 91.5 แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มร้อยละ 7.5 และวิตามินผสมร้อยละ 1 สภาวะในการผลิตที่ดีควรเลือกที่ความชื้นวัตถุดิบส่วนผสมร้อยละ 16 ความเร็วรอบของสกรู 300 รอบต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 135 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ขณะผ่านรูเปิดหน้าแปลน (melt temperature) 150-153 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนวัตถุดิบ 16.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง รูเปิดหน้าแปลนขนาด 3 มิลลิเมตร มีอัตราการพองตัว 4.03 ความหนาแน่น 0.059 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แรงตัด 0.9 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การยอมรับทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

Chiang and Johnson (1977) ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิในกระบวนการเอกซ์ทรูชันว่าการใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นค่อนข้างสูง (ร้อยละ 18-22) ที่อุณหภูมิปานกลาง (88-104 องศาเซลเซียส) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะค่อนข้างแข็ง โครงสร้างเซลล์เล็กและลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียว หากวัตถุดิบมีความชื้นต่ำ (ร้อยละ 10-14) ที่อุณหภูมิสูง (93-121 องศาเซลเซียส) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พอง ลักษณะเบาและมีโครงสร้างเซลล์เปิดกว้าง เมื่อนำไปอบแห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกรอบนุ่ม แต่หากอุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชันค่อนข้างต่ำ (65-80 องศาเซลเซียส) ปริมาณความชื้นจะไม่มีผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันมากนัก แต่จะมีผลเมื่ออุณหภูมิเอกซ์ทรูชันสูง (95-110 องศาเซลเซียส) ความชื้นที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสมจะทำให้เกิดความดันไอขึ้นในเนื้ออาหาร เมื่อได้รับความร้อนจึงเกิดการพองตัว มีลักษณะเป็นรูพรุนทั่วอาหาร โดยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์คือ ร้อยละ 13 ดังนั้นถ้าความชื้นสูงเกินไปจะทำให้อัตราส่วนการพองตัวลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไปทำให้ไอน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็วที่ผลิตภัณฑ์ผ่านพ้นรูเปิดหน้าแปลนจึงทำให้น้ำเหลืออยู่ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก การพองตัวไม่สามารถเกิดได้ดี ถ้าความชื้นต่ำเกินไปจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรอยร้าวที่ผิว

Ding *et al*. (2005) ได้ศึกษาผลของสภาวะการผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมกรอบจากข้าวโดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่โดยศึกษาปัจจัย 4 ปัจจัยได้แก่ ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความชื้นของวัตถุดิบที่ป้อน อุณหภูมิ และความเร็วรอบของสกรู พบว่า เมื่อความเร็วของการป้อนวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความพองมากขึ้น ดัชนีการละลายน้ำลดลง และให้ความแข็งมากขึ้น เมื่อวัตถุดิบมีความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่นสูงขึ้น ความพองลดลง ดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ดัชนีการละลายน้ำลดลง มีความแข็งมากขึ้น และความกรอบลดลง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะพองมากขึ้น แต่ความหนาแน่นจะลดลง ดัชนีการละลายน้ำ และความกรอบของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ส่วนความเร็วรอบของสกรูนั้นไม่มีผลทางสถิติต่อคุณภาพทางกายภาพทางเคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

2.2.6 การประยุกต์ใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในอุตสาหกรรม

1) ผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก (วิไล, 2545)

1.1) ขนมขบเคี้ยว (snack) การผลิตขนมขบเคี้ยวใช้ความชื้นต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 15) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกพองมาก ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสละลายในปาก เกิดแรงเค้นสูง และใช้อุณหภูมิสูงทำให้สตาร์ชเกิดความเสียหาย

1.2) ขนมปังกรอบ การผลิตขนมปังกรอบด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบเกลียวคู่ได้สร้างกระบวนการใหม่ในการผลิตขนมขบเคี้ยวที่มีแคลอรี่ต่ำ และได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง (Linko *et al*., 1983) หลังจากผสมวัตถุดิบให้เข้ากันแล้ว ส่วนผสมจะถูกอัดผ่านเกลียวที่อุณหภูมิ และความดันสูง ขนมปังกรอบจะผ่านการปิ้งย่างเพื่อลดความชื้น และทำให้ผิวผลิตภัณฑ์เป็นสีน้ำตาลต่อไป วิธีนี้ประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 66 เมื่อเปรียบเทียบกับการอบด้วยเตาอบ เนื่องจากต้องกำจัดความชื้นออกไปอีกในปริมาณที่น้อยกว่า สามารถประหยัดเงินลงทุน และพื้นที่ในการดำเนินการถึงร้อยละ 60 เนื่องจากไม่ต้องใช้เตาอบขนาดใหญ่ (Vincent, 1984)

1.3) ผลิตภัณฑ์ธัญพืชพร้อมรับประทาน กระบวนการเอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ธัญพืชพร้อมรับประทานและผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เนื่องจากสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบประเภทแป้ง และธัญพืช ให้ผลิตภัณฑ์ที่พองกรอบ มีรูปร่างและเนื้อสัมผัสที่หลากหลาย ให้ความร้อน และขึ้นรูปได้ในการแปรรูปขั้นตอนเดียว ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ

ผลิตภัณฑ์ธัญพืชกรอบพองผลิตจากส่วนผสมของแป้งธัญพืช และสตาร์ชผสมกับส่วนผสมอื่น เช่น มอล์ต ไขมัน น้ำตาล อิมัลซิไฟเออร์ และเกลือ การให้ความร้อนทำที่ความชื้นค่อนข้างสูง (มากกว่าร้อยละ 20) โดยใช้ไอน้ำในขั้นตอนปรับสภาพเบื้องต้น และให้ความร้อนที่บาร์เรล การให้ความชื้นสูงจะช่วยชะลอความเสียหายของสตาร์ช และให้กลิ่นรสจากการให้ความร้อนวัตถุดิบอย่างเต็มที่ ใช้ใบมีดในการตัดผลิตภัณฑ์กรอบพอง และนำไปอบแห้งในเครื่องอบลมร้อนจนมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 4 และนำไปย่างเป็นเวลาสั้นๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียสเพื่อให้กลิ่นรสและลักษณะสัมผัสตามต้องการ และอาจตามด้วยการเคลือบกลิ่นรส น้ำตาล วิตามิน และเกลือแร่

1.4) คอร์นเฟลค (cornflakes) เดิมกรรมวิธีการผลิตคอร์นเฟลคใช้เม็ดข้าวโพด ขนาดของข้าวโพดแต่ละเม็ดจะเป็นตัวกำหนดผลิตภัณฑ์ เริ่มจากการให้ความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เม็ดข้าวโพดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนมีความชื้นร้อยละ 21 แล้วบ่มไว้ 2 ชั่วโมงเพื่อให้ความชื้นกระจายได้ทั่วถึงแล้วจึงทำให้เป็นแผ่น นำไปปิ้ง และฉีดพ่นด้วยสารละลายวิตามิน รวมแล้วใช้เวลา 5 ชั่วโมง แต่ปัจจุบันสามารถผลิตเม็ดแป้งข้าวโพดด้วยเอกซ์ทรูเดอร์ความดันต่ำ ขนาดของเม็ดแป้งจะกำหนดขนาดของคอร์นเฟลคโดยเม็ดแป้งจะถูกทำให้เป็นแผ่น และพ่นวิตามินเช่นกัน ซึ่งสามารถลดค่าวัตถุดิบเนื่องจากสามารถใช้เม็ดข้าวโพดได้ทุกขนาด ลดการใช้พลังงาน ลดเงินลงทุน และค่าแรง (Darrington, 1987)

1.5) ขนมขบเคี้ยวที่ยังไม่สุกพองทันที (indirect expanded snacks) ขนมขบเคี้ยวที่ยังไม่สุกพองทันทีหรือขนมกรอบ หมายถึง ขนมขบเคี้ยวหรือขนมกรอบกึ่งสำเร็จรูป (haft products หรือ intermediate products) ซึ่งต้องผ่านการทำให้สุกด้วยการทอด อบ หรือคั่ว

ลักษณะภายนอกของขนมขบเคี้ยวประเภทนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่พองเมื่ออัดผ่านรูเปิดหน้าแปลนออกมาจึงต้องมีกระบวนการแปรรูปอีกครั้งจึงจะรับประทานได้ซึ่งขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นมานี้จะทำให้เกิดรูปร่างลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวนี้ น้ำหนักของเพลเลตรูปแบบต่างๆ ขึ้นอยู่กับรูปร่างโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของการขึ้นรูปและการตัด เมื่อนำไปทอด ขนาดของเพลเลตจะขยายตัวขึ้นเป็น 6-8 เท่าโดยอาหารจะสูญเสียความชื้นแต่ดูดซับน้ำมันในขั้นตอนการทอด ความชื้นโดยเฉลี่ยของขนมขบเคี้ยวทอดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 3 โดยมีไขมันปริมาณร้อยละ 30

กระบวนการเอกซ์ทรูชันโดยให้ความร้อนเพื่อผลิตเพลเลตของขนมขบเคี้ยวซึ่งมีแป้งเป็นองค์ประกอบ ขั้นตอนการอบแห้งเพลเลตเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ต้องควบคุมการกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (หลังทอด) มีคุณภาพดี ทั้งนี้ทำได้โดยควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และเวลาที่อาหารอยู่ในเครื่อง การทำแห้งเพลเลตจะทำให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการนำไปทอด ระดับความชื้นสุดท้ายจะถูกปรับในระหว่างการปรับสภาพในถุงขนาดใหญ่คล้ายกระสอบ หรือภาชนะอื่นๆ ในห้องที่ไม่มีการปรับอากาศ (อุณหภูมิประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40-60

1.6) มักกะโรนี (macaroni) เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวได้เข้ามาแทนเครื่องอัดพาสต้าโดยใช้ระบบไฮโดรลิก เครื่องจะทำหน้าที่ผสมแป้งเซโมไลนา (semolina flour) น้ำ และส่วนผสมอื่น เพื่อทำให้เกิดโดที่มีความชื้นร้อยละ 31 และดันวัตถุดิบผ่านรูเปิดหน้าแปลนให้เกิดรูปร่างของพาสต้าตามต้องการ การใช้สกรูที่มีร่องลึก แรงเค้นต่ำ และผิวบาร์เรลเรียบจะทำให้เกิดความร้อน หรือการทำให้สุกเบื้องต้น จากนั้นต้องนำผลิตภัณฑ์ที่อัดได้ไปอบในเครื่องอบขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำโดยไม่มีรอยแตก หรือหัก (Harper, 1981)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดและขนมหวาน (วิไล, 2545)

การผลิตลูกกวาดและขนมหวาน ในปัจจุบันนิยมผสมส่วนผสม และต้มในหม้อต้มที่หุ้มด้วยสตีมแจ็คเก็ตโดยมีไอน้ำไหลผ่านท่อในเครื่อง หรือใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิว นอกจากนั้นยังมีการใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ในการผลิตเนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิสำหรับวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน และการผสมไขมัน นมผง ถั่ว สี กลิ่นรสเข้าด้วยกัน การใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ที่มีอัตราส่วน L/D (25:1) ค่อนข้างสูงจะให้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมกับการใช้งาน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกกวาดที่ใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิต ได้แก่ ท๊อฟฟี่ คาราเมล ถั่วกระจก ไวน์กัม (wine gum) และริโคไรซ์ (licorice)

ไวน์กัม และริโคไรซ์ ทำจากการให้ความร้อนส่วนผสมต่างๆ เช่น แป้ง น้ำตาล น้ำเชื่อม ข้าวโพด และกัม (ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส) การควบคุมการให้ความร้อนแป้งในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบเกลียวคู่ทำได้อย่างเที่ยงตรง ทำให้สามารถผลิตได้ทีละมากๆ จึงช่วยลดต้นทุนและเวลาในการบ่มได้ (Rice, 1984)

การนำส่วนผสมของน้ำตาลซูโครส กลูโคส และแป้งมาอัดด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตด้วยจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เหนียว ความร้อนจะทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ น้ำตาลละลาย และไล่ไอน้ำส่วนเกินออกไป มีการเติมกลิ่นรสลงไปในส่วนผสม สามารถปรับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ยืดหยุ่นได้โดยการปรับส่วนผสม และควบคุมสภาวะการผลิตของเครื่อง หรือปรับรูปร่างได้โดยการใช้รูเปิดหน้าแปลนที่มีรูปร่างต่างๆ

3) ผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก (วิไล, 2545)

3.1) อาหารสัตว์เลี้ยงแบบแห้ง ประกอบด้วย ส่วนผสมของธัญพืช โปรตีนจากพืช ผลิตผลพลอยได้จากเนื้อสัตว์ กระดูกบด ไขมัน เกลือ สี สารปรุงแต่งกลิ่นรส วิตามิน และเกลือแร่ มีการให้ความร้อนส่วนผสมเพื่อทำให้สุกด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ที่ความชื้นประมาณร้อยละ 25 และทำให้แห้งเหลือความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 บางครั้งจะมีการเคลือบไขมันหรือสารปรุงแต่งกลิ่นรสอื่นๆ บนผิวของผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มรสชาติ และลักษณะเฉพาะตัว อย่างไรก็ตามมีการประยุกต์ใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ในการผลิตอาหารสัตว์น้อยมาก เนื่องจากต้องใช้ความชื้นค่อนข้างสูง รวมทั้งสูตรส่วนผสมทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องเสียหายเร็ว และใช้เงินลงทุนสูง

3.2) อาหารสัตว์เลี้ยงแบบกึ่งเปียก (semimoist) อาหารสัตว์เลี้ยงแบบกึ่งเปียก มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 30 จึงมีลักษณะนุ่ม มีการเติมสารดูดความชื้น เช่น กลีเซอรอล ซอลบิทอล โพรพิลีนไกลคอล หรือน้ำตาล เพื่อควบคุมวอเตอร์แอคติวิตี และเติมสารยับยั้งการเน่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เสีย เช่น กรด เกลือ ซอร์เบท จำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะการผลิตอย่างเข้มงวดเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ และต้องให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิพาสเจอไรส์ การใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่โดยควบคุมเวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องให้สั้นจะช่วยปรับปรุงลักษณะการผสม และเหมาะสำหรับอาหารสัตว์กึ่งเปียกนี้ อุณหภูมิที่ใช้โดยทั่วไปจะต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้กับอาหารสัตว์แบบแห้ง

3.3) โปรตีนจากพืชและสัตว์ มีการใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวในการสร้างลักษณะสัมผัสของถั่วเหลือง Harper (1981) ได้อธิบายไว้ว่า กระบวนการแปรรูปโดยใช้แป้งถั่วเหลืองคุณภาพสูงซึ่งกำจัดไขมันออกไปแล้ว และมีดัชนีการละลายได้ของไนโตรเจนมากกว่าร้อยละ 50 หลังจากปรับความชื้นของวัตถุดิบโดยใช้น้ำ และไอน้ำให้ได้ความชื้นประมาณร้อยละ 33 แล้วจะเป็นขั้นตอนการเอกซ์ทรูชันที่อุณหภูมิ 155 องศาเซลเซียส การเกิดพันธะข้าม (cross-linking) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนจะทำให้เกิดโครงสร้างคล้ายเนื้อสัตว์ สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำแห้ง หรือใช้แทนเนื้อสัตว์ในอาหารชนิดต่างๆ ได้ การควบคุมลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายขึ้นกับการออกแบบรูเปิดหน้าแปลนเฉพาะเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะโครงสร้าง และความหนาแน่นตามที่ต้องการ

2.2.7 ผลกระทบของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ต่อคุณภาพของอาหาร

1) ลักษณะทางประสาทสัมผัส (วิไล, 2545)

กระบวนการเอกซ์ทรูชันทำในสภาวะ HTST มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อสี กลิ่น และรสชาติตามธรรมชาติของอาหาร อย่างไรก็ตามอาหารหลายชนิดจะมีการเติมสีสังเคราะห์ลงไป สีของผลิตภัณฑ์อาหารจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ หรือได้รับความร้อนสูงเกินไป หรือทำปฏิกิริยากับโปรตีน น้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) หรืออิออนของโลหะ นอกจากนี้อาจมีปัญหาในเรื่องของการเติมสารปรุงแต่งกลิ่นก่อนการทำ cold extrusion ซึ่งกลิ่นรสดังกล่าวจะระเหยหายไปเมื่อนำผลิตภัณฑ์ออกมาจากแม่พิมพ์ การใช้สารปรุงแต่งกลิ่นที่ห่อหุ้มอยู่ในแคปซูลเล็กๆ (microencapsulated) จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้แต่มีราคาแพง ดังนั้นสารปรุงแต่งกลิ่นที่นิยมใช้กับผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์มักอยู่ในรูปของอิมัลชัน หรือของเหลวข้นหนืด (viscous slurries) เมื่อเติมลงไปแล้วอาจทำให้เกิดความเหนียวเหนอะที่ผิวด้านนอกในผลิตภัณฑ์บางชนิดจึงต้องอบให้แห้งอีกครั้ง

2) คุณค่าทางโภชนาการ (วิไล, 2545)

การสูญเสียวิตามินในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตโดยการเอกซ์ทรูชันจะมากหรือน้อยผันแปรตามชนิดของวัตถุดิบ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการผลิต อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วจะสูญเสียวิตามินเพียงเล็กน้อยในการทำ cold extrusion ส่วนสภาวะของ HTST

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน และการทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วทันทีที่นำออกจากแม่พิมพ์จะทำให้วิตามิน และกรดอะมิโนจำเป็นสูญเสียค่อนข้างน้อย ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้อุณหภูมิในเอกซ์ทรูเดอร์ 145 องศาเซลเซียส จะสูญเสียวิตามินบีหนึ่งเพียงร้อยละ 5 เท่านั้น ส่วนวิตามินบีสอง วิตามินบีหก ไนอะซิน หรือกรดโฟลิคที่มีอยู่ในธัญพืชจะสูญเสียเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนการสูญเสียวิตามินซี และวิตามินเอจะสูงถึงร้อยละ 50 ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการผลิตเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การสูญเสียกรดอะมิโนไลซีน ซีสตีน และเมไธโอนีนในผลิตภัณฑ์จากข้าว ผันแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 50-90 ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการผลิต สำหรับการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในแป้งถั่วเหลือง (soy flour) จะขึ้นอยู่กับสูตร และกระบวนการแปรรูป การใช้อุณหภูมิสูง และมีน้ำตาลจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Maillard browning) และทำให้คุณภาพของโปรตีนลดลง การใช้อุณหภูมิต่ำ และลดความเข้มข้นของน้ำตาลให้น้อยลงจะช่วยให้ความสามารถในการย่อย (digestibility) ของโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนมีการเรียงตัวของโครงสร้างใหม่ ส่วนกระบวนการเอกซ์ทรูชันในผลิตภัณฑ์จากถั่ว ความร้อนจะช่วยทำลายสารต้านโภชนาการ และสารพิษถั่วตามธรรมชาติ เช่น ทำลายสารต้านการทำงานของเอนไซม์ทริพซินทำให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในถั่วเพิ่มขึ้น

2.3 เส้นใยอาหาร (dietary fiber)

2.3.1 ความหมายของเส้นใยอาหาร

เส้นใยเป็นส่วนประกอบอยู่ในอาหารบางชนิด สมัยก่อนเรียกว่า crude fiber หมายถึง สารที่เหลืออยู่ภายหลังการย่อยด้วยกรดและด่างแล้ว ซึ่งก็คือ เซลลูโลส และลิกนิน เท่านั้น (นิธิยา, 2543)

ต่อมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับคาร์โบไฮเดรตมากขึ้น ทำให้ทราบว่าคาร์โบไฮเดรตมีผลดีต่อสุขภาพ จึงให้ชื่อใหม่เป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ซึ่งหมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ เอนไซม์ไม่สามารถย่อยสลายพันธะไกลโคไซด์ในโมเลกุลของสารประกอบเหล่านี้ได้ เส้นใยอาหารประกอบด้วยเซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เพนโตแซน กัม และเพคติน ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ปริมาณของเส้นใยอาหาร จึงมีค่ามากกว่า crude fiber ประมาณ 2-16 เท่า (นิธิยา, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 แหล่งของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารสามารถพบในอาหารจากพืชเท่านั้น ในพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณเส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งแหล่งของเส้นใยอาหารได้ดังนี้ (ปาริชาติ, 2540)

1) ธัญพืช (cereal) เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด และข้าว เป็นต้น ซึ่งธัญพืชจัดเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร โดยเฉพาะธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสีจะมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าธัญพืชที่ผ่านการขัดสี ปริมาณเส้นใยอาหารของธัญพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูป

2) พืชตระกูลถั่ว (legumes) เช่น ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วเหลือง เป็นต้น พืชตระกูลถั่วทั้งหลายจัดเป็นแหล่งของอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง

3) ผัก (vegetables) ผักเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร นอกจากผักต่างชนิดกันจะมีปริมาณเส้นใยอาหารแตกต่างกันแล้ว ยังพบว่าปริมาณเส้นใยอาหารในผักยังขึ้นกับส่วนต่างๆ ของผัก พันธุ์ ฤดูกาล ความแก่อ่อน ปริมาณน้ำในผัก และการแปรรูป

4) ผลไม้ (fruits) ปกติผลไม้มักจะมีปริมาณน้ำ และน้ำตาลสูง ส่งผลให้มีปริมาณเส้นใยอาหารต่ำ สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลไม้ได้โดยใช้กระบวนการกำจัดน้ำส่วนต่างๆ ของผลไม้ เช่น เปลือก แกน เมล็ด ฯลฯ เป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง และมักเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมซึ่งถือเป็นแหล่งเส้นใยอาหารที่มีศักยภาพ

แหล่งที่พบเส้นใยอาหารมากคือ ธัญพืช โดยเฉพาะส่วนผิวชั้นนอกของเมล็ดที่เป็นรำ (bran) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวสาลีทั้งหมด (whole wheat flour) มีเส้นใยอาหารร้อยละ 11 แต่มี crude fiber เพียงร้อยละ 2.3 เท่านั้น ขณะที่แป้งข้าวสาลีชนิดสีขาว (white wheat flour) มีเส้นใยอาหารและ crude fiber ร้อยละ 3.6 และ 0.3 ตามลำดับ ดังนั้นแหล่งของเส้นใยอาหารที่ดีคือ ส่วนรำของข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวเจ้า ถั่วต่างๆ และเซลลูโลสบริสุทธิ์ ปัจจุบันเส้นใยอาหารแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ (นิธิยา, 2543)

1) structural polysaccharides คือ เส้นใยอาหารที่เป็นโพลีแซคคาไรด์และทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์พืช ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคตินบางส่วน

2) structural non-polysaccharide คือ เส้นใยอาหารที่ไม่ใช่โพลีแซคคาไรด์ แต่ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์พืช ได้แก่ ลิกนิน

3) non-structural polysaccharide คือ เส้นใยอาหารที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ แต่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ได้แก่ พวกกัม และมิวซิเลจส์

ปริมาณเส้นใยอาหารของอาหารบางชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 ปริมาณเส้นใยในอาหารบางชนิด (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)

ชื่ออาหาร	ปริมาณเส้นใยอาหาร		
	เส้นใยอาหารทั้งหมด	เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
ข้าวบาร์เลย์ (barley)	12.25	5.02	7.05
รำข้าวโอ๊ต (oat bran)	16.92	7.17	9.73
รำถั่วเหลือง (soy bran)	67.14	6.90	60.53
แอพริคอต (apricot)	1.12	0.53	0.59
ลูกพรุน (prunes)	9.29	5.07	4.17
ลูกเกด (raisins)	3.13	0.73	2.37
แครอท (carrot)	3.93	1.10	2.81
ถั่วพุ่ม (green bean)	2.89	1.02	2.01
พาร์สเลย์ (parsley)	2.66	0.64	2.37

ที่มา : Sullivan and Carpenter (1993)

2.3.3 ประเภทของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารที่พบในพืช สามารถแบ่งตามความสามารถในการละลายน้ำได้เป็น 2 ประเภท คือ (สุภาพร, 2546; ธนิกานต์, 2549)

1) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) คือ เส้นใยอาหารส่วนที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำ เส้นใยอาหารชนิดนี้มักจะปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช ได้แก่ กัม เพคติน และมิวซิเลจส์ เส้นใยอาหารชนิดนี้สามารถรวมตัวกับน้ำได้ในปริมาณมาก เกิดการกระจายโครงสร้างที่อัดแน่นทำให้สามารถดูดซับสารได้หลายอย่าง เช่น น้ำตาล คอเลสเตอรอล และเกลือแร่บางชนิด เป็นต้น (ดวงจันทร์, 2545) ดังนั้นจึงมีผลชะลอ และลดการดูดซึมของสารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย (สุรัตน์, 2534) ตัวอย่างของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ มีดังนี้

1.1) กัมและมิวซิเลจส์ ที่ใช้ในอาหารได้มาจากหลายแหล่งทั้งได้จากธรรมชาติ และเป็นสารสังเคราะห์ (Dziezak, 1991) กัมเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นพอลิเมอร์สายยาว และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (นิธิยา, 2543) เมื่อจับกับน้ำจะอุ้มน้ำ และเกิดความข้นหนืดได้สารที่คล้ายวุ้น (ปาริชาติ, 2540) ให้คุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะเพื่อเป็นการปรับปรุง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพในการบริโภคของอาหาร นอกจากนั้นยังใช้เพิ่มปริมาณเส้นใยอาหาร ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร (Prosky and Devries, 1992)

1.2) เพคติน พบใน middle lamellae ของผนังเซลล์พืชโดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน เพคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid) สารประกอบเพคตินที่สกัดได้จากธรรมชาติยังมีน้ำตาลชนิดอื่นปนอยู่ด้วย เช่น น้ำตาลไซโลส กาแลคโทส อะราบิโนส และแรมโนส โดยโมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่เป็นสายแขนง เพคตินละลายน้ำได้ ความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับ degree of esterification ของกรดกาแลคทูโรนิก เพคตินมีความสามารถในการเกิดเจล และมีความสามารถในการเพิ่มความหนืด ทำให้มีการนำเพคตินไปใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เพคตินพบมากในผลไม้ตระกูลส้มและแอปเปิ้ล (Prosky and Devries, 1992)

2) เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) เป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีความสามารถดูดซับสารต่างๆ ได้น้อย แต่จะจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัวในน้ำ ลักษณะคล้ายฟองน้ำ พบมากในผักและเมล็ดธัญพืชต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรำข้าว ดังนั้นเมื่อบริโภคเข้าไปแล้วขับถ่ายจะทำให้มีมวลอุจจาระเพิ่มขึ้น เนื้ออุจจาระนิ่ม ส่งผลให้ขับถ่ายได้สะดวก และลดระยะเวลาที่กากอาหารอยู่ในลำไส้ (สุรัตน์, 2534) ตัวอย่างของเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ มีดังนี้

2.1) เซลลูโลส เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุดในโลกเพราะเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่ในผนังเซลล์พืช โดยรวมตัวอยู่กับพวกไซแลน และลิกนิน เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรดและด่างที่เจือจาง ถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์เซลลูโลส โมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์เป็นสายยาวไม่มีสายแขนง สายยาวจะมาเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลน้ำตาลกลูโคส ซึ่งทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นพอลิคริสตัลไลน์ (polycrystalline) ที่แข็งแรง ยึดเกาะกันเป็นเส้นใย และเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสในแต่ละหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสยังมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ซึ่งจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของพอลิเมอร์ ทำให้บางส่วนของโครงสร้างเป็นผลึก ส่วนที่เกิดผลึกนี้จะมีความหนาแน่นมากกว่า จึงทนทานต่อการถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ และสารเคมีมากกว่าส่วนที่ไม่เป็นผลึก (noncrystalline หรือ amorphous) นอกจากนี้ส่วนที่เป็นผลึกยังดูดน้ำได้น้อยกว่าด้วย ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ สำหรับส่วนโมเลกุลเซลลูโลสที่ไม่เป็นผลึก หรือไม่มีรูปร่าง โมเลกุลจะเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบ และจับตัวกันอย่างหลวมๆ ทำให้สามารถดูดซับน้ำไว้ได้มาก และเกิดการพอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวออกมีผลทำให้กากอาหารมีลักษณะนิ่ม เซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบไม้ ลำต้นพืช แกลบ เปลือกผลไม้ และเปลือกต้นไม้ เป็นต้น

2.2) เฮมิเซลลูโลส เป็นกลุ่มของเฮเทอโรพอลิแซคคาไรด์ ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2-4 ชนิดขึ้นไป มีทั้งน้ำตาลเฮกโซส และเพนโทส น้ำตาลที่พบมากคือ น้ำตาลไซโลส และอะราบิโนส นอกจากนั้นยังพบน้ำตาลแมนโนส กาแลกโทส และกรดกลูคูโรนิกอีกด้วย (Prosky and Devries, 1992) เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยรวมอยู่กับลิกนิน และเซลลูโลส มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายด่าง (นิธิยา, 2543)

2.3) ลิกนิน ประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ พืชจะผลิตเมื่อมีอายุมาก (Southgate *et al*., 1990) ลิกนินทนต่อการทำลาย และต้องการสภาวะที่เหมาะสมในการทำลายลิกนิน ลิกนินจะเคลือบผนังเซลล์พืชให้มีความแข็งแรง ทำให้เอนไซม์เข้าไปย่อยเซลลูโลสได้ยากขึ้น และแบคทีเรียในลำไส้ไม่สามารถย่อยลิกนินได้ ประกอบกับลิกนินมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในกรดและด่าง จึงไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ในร่างกายมนุษย์ ลิกนินพบมากในพืชค่อนข้างแก่ และผลไม้สุกมีลิกนินมากกว่าผลไม้ดิบ (Southgate and Englyst, 1976)

2.4) องค์ประกอบอื่นๆ ที่จัดว่าเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ คิวตินและไข พบรวมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช หรืออยู่บนผิวนอกของพืช โดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในปริมาณที่น้อย (Prosky and Devries, 1992)

2.3.4 ประโยชน์ของเส้นใยอาหาร

1) ประโยชน์ทางด้านการแพทย์ (Prosky and Devries, 1992; ไพโรจน์และเบญจวรรณ, 2539; วัญเพ็ญ, 2541)

เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยอาหารมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ และมีประจุไฟฟ้าอยู่ด้วย จึงสามารถยึดจับกับสารอาหาร กรดน้ำดี สารพิษ และสารก่อมะเร็งต่างๆ ได้ดี โดยสามารถยึดเกาะได้ในขณะที่เส้นใยอาหารนี้เคลื่อนตัวไปตามระบบทางเดินอาหาร ระบบดูดซึม และย่อยอาหารของร่างกาย โดยเฉพาะในส่วนของระบบลำไส้ คุณประโยชน์ของเส้นใยอาหารที่มีต่อสุขภาพร่างกายมนุษย์ เช่น

- สร้างเสริมและปรับปรุงระบบการทำงานของลำไส้ในการย่อย ดูดซึมและขับถ่าย โดยช่วยทำให้ลำไส้ใหญ่ทำหน้าที่ได้ดีขึ้น เนื่องจากอาหารที่มีเส้นใยอาหารมีผลทำให้ลำไส้ใหญ่ลด transit time เพิ่มน้ำหนักอุจจาระ และระบายบ่อยขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ป้องกันและบำบัดรักษาอาหารโรคท้องผูก

- ปรับสภาพการทำงานของระบบลำไส้ เพื่อเหมาะแก่การเจริญและการดำรงสภาพของจุลินทรีย์ในลำไส้ ทำให้การเตรียมสารสำหรับถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่เป็นไปโดยปกติ

- ยับยั้งและดูดซึมความเป็นพิษของสารพิษในระบบการย่อยและดูดซึมอาหาร ทำให้ช่วยเจือจางปริมาณสารพิษในลำไส้ใหญ่

- ป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่ และการเกิดถุงตันที่ลำไส้ใหญ่ เนื่องจากการบริโภคเส้นใยอาหารน้อย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในระบบย่อยอาหาร ลดการรวมตัวของกรดน้ำดี เพิ่มเวลาของอาหารที่ตกค้างในลำไส้ใหญ่ ลดน้ำหนัก และปริมาณอุจจาระ ตลอดจนลดความถี่ของการขับถ่ายอุจจาระ จุลินทรีย์จะถูกกระตุ้นโดยอาหารที่มีเส้นใยอาหารต่ำ ทำให้เกิดการรวมตัวของสารก่อมะเร็ง จุลินทรีย์เหล่านี้อาจจะช่วยป้องกัน หรือทำลายสารก่อมะเร็งได้ ถ้ามีเส้นใยอาหารอยู่มากพอในอาหาร

- ส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย

- ควบคุมระดับน้ำตาลในกระแสเลือด โดยการบริโภคเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำจะลดระดับน้ำตาล และอินซูลินในเลือดหลังการบริโภคอาหาร

- ป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน

- ควบคุมระดับของไขมันในกระแสเลือด

- ป้องกันการเกิดโรคอ้วน และภาวะโภชนาการผิดปกติ เนื่องจากเส้นใยอาหารทำให้เกิด bulky ในกระเพาะอาหาร จึงมีที่ว่างในกระเพาะอาหารน้อยลงที่จะบริโภคอาหารตามปกติ เพราะเส้นใยอาหารจะเข้าไปพองในกระเพาะอาหารจึงรับประทานอาหารได้น้อยลง เป็นเหตุให้น้ำหนักตัวลดลง

- ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด เฉพาะเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ เพคติน กัมชนิดต่างๆ เช่น กัวกัม การบริโภคเส้นใยอาหารที่เป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น รำข้าวโอ๊ต หรือบาร์เลย์ ถั่ว และผัก ซึ่งมีผลลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้สูงถึงร้อยละ 25 แต่เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำไม่สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้

- ลดการนำไปใช้ประโยชน์ของสารอาหาร เนื่องจากเส้นใยอาหารสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์จากตับอ่อนที่ใช้ย่อยคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ประโยชน์ทางด้านอาหารและโภชนาการ (Prosky and Devries, 1992; ไพโรจน์ และเบญจวรรณ, 2539; วัญเพ็ญ, 2541)

การนำเส้นใยอาหารไปใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารและโภชนาการ ขึ้นอยู่กับประเภท และชนิดของอาหาร จุดประสงค์ในการใช้ประโยชน์จากเส้นใยอาหาร และคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารที่นำไปใช้ (ไพโรจน์ และเบญจวรรณ, 2539) นอกจากนั้นยังควรใช้ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับด้วย เนื่องจากการเติมเส้นใยอาหารถึงแม้จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น แต่อาจมีผลกระทบทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้อยลง อาจมีการเปลี่ยนแปลงในด้านขนาด รูปร่าง สี กลิ่น รสชาติ หรือลักษณะเนื้อสัมผัส จนอาจทำให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง (Sehneeman, 1987) จากการศึกษาของเพลินใจ และคณะ (2538) พบว่า การเติมวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของเส้นใยอาหาร ได้แก่ ถั่วแดงหลวง รำข้าวเจ้า กากถั่วเหลือง งาขาว กากมะพร้าว เห็ดหูหนู จมูกข้าวสาลี และเมล็ดทานตะวัน ลงในส่วนผสมของขนมปัง จะมีผลต่อปริมาตรขนมปัง วัตถุดิบบางชนิดทำให้ขนมปังมีปริมาตรลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรปกติ เนื้อสัมผัสมีความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนคุกกี้ที่ได้จะมีความหนาแน่นลดลง การขยายตัวของคุกกี้จะเพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรปกติ และผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าสูตรปกติ

นอกเหนือจากการบริโภคธัญพืช ผักและผลไม้โดยตรงแล้ว ร่างกายยังได้รับเส้นใยอาหารจากการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติมเส้นใยอาหารเพิ่มลงไปด้วย (Thebeudin *et al*., 1997) เส้นใยอาหารเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีบทบาทในการพัฒนา และเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้เพราะว่าเส้นใยอาหารมีความสำคัญ และให้ประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงทำให้มีการนำเส้นใยอาหารมาเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งจุดมุงหมายโดยทั่วไปของการเติมเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารคือ ใช้เป็น functional ingredients เพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร และยังใช้ทดแทนส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ (Southgate *et al*., 1990; ธนิกานต์, 2549)

เส้นใยอาหารที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ แบ่งเป็นเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำซึ่งมักใช้เติมในอาหารว่าง อาหารเช้าจากธัญพืช ขนมขบเคี้ยว และผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง คุกกี้ พิซซา เป็นต้น แหล่งของเส้นใยอาหารที่นิยมใช้ในวงการอุตสาหกรรม ได้แก่ รำข้าวสาลี รำข้าวโอ๊ต รำข้าวโพด รำถั่วเหลือง เป็นต้น ส่วนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมักใช้เติมในอาหารที่มีลักษณะเหลว เช่น เครื่องดื่ม น้ำสลัด ไอศกรีม เป็นต้น แหล่งของเส้นใยอาหารประเภทนี้ ได้แก่ เพคติน กัม คาราจีแนน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.5 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภคต่อวัน

เนื่องจากเส้นใยอาหารมีบทบาทที่สำคัญต่อสุขภาพ ดังนั้นหน่วยงานต่างๆ จึงได้แนะนำและกำหนดปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภค ดังนี้ (Prosky and Devries, 1992)

1) The Nation Research Council ได้แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารทั้งชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในปริมาณ 20-35 กรัมต่อวัน

2) The Nordisk Ministerrad Standing Nordic Committee on Food แนะนำปริมาณการบริโภคเส้นใยอาหารในคนปกติ ควรบริโภคในอัตราส่วนวันละ 12 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี

3) The Federation of American Societies for Experimental Biology แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารวันละ 10-13 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี

4) The British National Advisory Committee on Nutrition Education (NACNE) แนะนำให้คนทั่วไปบริโภคเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น โดยปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่ควรได้รับคือ 30 กรัมต่อวัน

5) The HCF Diabetes Foundation กำหนดปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภคในรูปของปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด 20-358 กรัมต่อวันสำหรับคนปกติ (10-13 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี) และ 35-50 กรัมต่อวันสำหรับผู้ที่อยู่ในความควบคุมของแพทย์ (20-25 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี)

6) The American Diabetes Association แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารวันละ 25 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี

7) The National Cancer Institute แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารวันละ 20-30 กรัม โดยเน้นให้บริโภคอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนจากผลไม้ ผัก และธัญพืชที่ไม่ขัดสี

สำหรับประเทศไทย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้แนะนำปริมาณสารอาหารที่คนไทยควรบริโภคในแต่ละวัน โดยได้กำหนด Thai Recommended Daily Intakes (Thai RDI) ซึ่งเป็นค่าสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยโดยทั่วไปที่มีอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป โดยเป็นค่าอ้างอิงสำหรับคำนวณในการแสดงคุณค่าทางโภชนาการบนฉลากของอาหาร ดังตารางที่ 2.3

กำหนดให้ค่าความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรีซึ่งเป็นระดับที่คนไทย (ผู้ใหญ่) ส่วนใหญ่ที่มีสภาวะทางสุขภาพปกติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยทั่วไป

ลำดับที่ (no.)	สารอาหาร (nutrient)	ปริมาณที่แนะนำต่อวัน (Thai RDI)	หน่วย (unit)
1	ไขมันทั้งหมด (total fat)	น้อยกว่า 65	กรัม (g)
2	ไขมันอิ่มตัว (saturated fat)	น้อยกว่า 20	กรัม (g)
3	คอเลสเตอรอล (cholesterol)	น้อยกว่า 300	มิลลิกรัม (mg)
4	โปรตีน (protein)	50	กรัม (g)
5	คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (total carbohydrate)	300	กรัม (g)
6	ใยอาหาร (dietary fiber)	25	กรัม (g)
7	โซเดียม (sodium)	น้อยกว่า 2,400	มิลลิกรัม (mg)
8	วิตามินเอ (vitamin A)	800	ไมโครกรัม อาร์ อี

ที่มา : กรมอนามัย (2008)

ปริมาณเส้นใยอาหารที่มีอยู่หรือถูกเติมลงไปในอาหารสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้ (Anderson *et al*., 2005)

1) อาหารที่มีเส้นใยอาหารสูง (high fiber) คือ อาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารตั้งแต่ 5 กรัมขึ้นไปต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

2) อาหารที่เป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่ดี (good source of fiber) คือ อาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารอยู่ระหว่าง 2.5-4.9 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

แม้ว่าการบริโภคเส้นใยอาหารจะมีผลดีต่อสุขภาพ แต่การบริโภคมากเกินไปก็อาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจทำให้ร่างกายขาดวิตามินและเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเส้นใยอาหารจะมีผลไปขัดขวางการดูดซึมเกลือแร่ เช่น สังกะสี แคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียม (Eastwood, 1997) นอกจากนั้นยังอาจทำให้เกิดกรดและก๊าซในลำไส้ ทำให้อึดอัดไม่สบายท้อง (สมใจ, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.6 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร

เนื่องจากมีการใช้เส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ เช่น สารเพิ่มความหนืด (thickener) สารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) และอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติของเส้นใยอาหารจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อเพิ่มการนำเส้นใยอาหารไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น (Sangnark and Noomhorm, 2003) ซึ่งเส้นใยอาหารมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในอาหารที่สำคัญ ดังนี้

1) ความหนืด (viscosity) เป็นการวัดแรงต้านการไหลของของไหล ความหนืดเป็นอัตราส่วนระหว่าง shearing stress ต่อ shear rate พอลิแซคคาไรด์เป็นสารที่มีความเหมาะสมในการใช้เพื่อเพิ่มความหนืดให้แก่อาหาร เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อควบคุมลักษณะรีโอโลจี (rheology) ด้านการละลายและการกระจายตัว เนื่องจากเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้นั้นมีมวลโมเลกุลสูง มีพันธะที่ซับซ้อน และสามารถเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างพอลิเมอร์กับตัวทำละลายได้

2) การก่อเจล การเกิดเจลของพอลิแซคคาไรด์จะเกี่ยวข้องกับส่วนของเส้นพอลิเมอร์ที่บริเวณ junction zones ในการเกิดเจลนั้นเส้นพอลิเมอร์ต้องมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบ และสภาวะการก่อเจลต้องเหมาะสม เช่น ในกรณีของเพคติน การเกิดตาข่ายพอลิเมอร์ 3 มิติที่บริเวณ junction zones จะถูกเหนี่ยวนำ และทำให้คงตัวโดยแคลเซียมอิออน ซึ่งจะก่อพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นพอลิเมอร์ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้พวกเพคติน กัม มิวซิเลจส์และเฮมิเซลลูโลสบางชนิด มีความสามารถจับกับน้ำได้ ทำให้พองตัว เกิดความหนืด และเกิดเจล ในขณะที่เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่ไม่ก่อเจล

3) การอุ้มน้ำ คุณสมบัติในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ปริมาณน้ำที่มีในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จะส่งผลต่อความนุ่มเนื้อและความฉ่ำน้ำ (Riaz, 1993) เส้นใยอาหารมีองค์ประกอบเป็นพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งพอลิแซคคาไรด์เป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมากซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังนั้นเส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำจึงสามารถอุ้มน้ำได้ (Spiller, 2001) ในการวัดความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างของเส้นใยอาหาร พบว่า เส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำสามารถดูดซับน้ำได้เป็นปริมาณมาก Sosulski and Cadden (1982) พบว่า เส้นใยอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูง ซึ่งได้แก่ เพคตินและมิวซิเลจส์ จะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูง แต่เส้นใยอาหารที่มีองค์ประกอบที่เป็นสตาร์ชสูงจะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำนั้นเมื่อดูดซับน้ำจะทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นและบางครั้งอาจก่อเจลได้ด้วยถ้าสภาวะเหมาะสม ในขณะที่เส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำถึงแม้จะไม่สามารถก่อเจลได้แต่ก็สามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างได้เป็นปริมาณมาก

ความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใยอาหารนั้นขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างและขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหาร

4) ความคงตัวของอิมัลชัน สารพวกพอลิแซคคาไรด์มีความสามารถในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชัน (stabilization of emulsions) ดังนั้นจึงมีการใช้พอลิแซคคาไรด์ในการเพิ่มความคงตัวให้กับอาหารประเภทอิมัลชัน ตัวอย่างของพอลิแซคคาไรด์เหล่านี้ เช่น อัลจิเนต กัวกัม และเพคติน เป็นต้น (Riaz, 1993)

2.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติ

วัตถุดิบที่นิยมใช้ผลิตอาหารเช้าธัญชาติ ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวเจ้า และข้าวสาลี อาจมีการผสมผลไม้แช่อิ่ม และถั่วบางประเภทด้วย อาหารเช้าธัญชาติโดยทั่วไปแล้วจะมีคุณสมบัติที่กรอบแข็ง (crunchy) โพรงอากาศเล็ก ดูดซับน้ำนมได้ช้า มีความพองตัวดี และความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าขนมกรอบ (snack) และควรมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเพียงพอกับความต้องการของร่างกายเมื่อรับประทานร่วมกับนมและผลไม้ หรือรับประทานแต่เพียงอย่างเดียว ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว ข้าวโพดเกล็ด (corn grit) จึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุด (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2540) แต่สำหรับในประเทศไทย แป้งข้าวโพดยังไม่มีการใช้กันมาก เนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติควรได้มีการพัฒนาโดยใช้วัตถุดิบท้องถิ่นในประเทศที่มีราคาถูกกว่าแต่คงคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ธัญพืช และพืชผักชนิดต่างๆ เพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับตัวผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบท้องถิ่นในประเทศ (สุลาลักษณ์, 2549)

2.4.1 ข้าวหอมมะลิ (jasmine rice)

ข้าวหอมมะลิ หมายถึง ข้าวที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. ข้าวหอมมะลิเป็นชื่อที่ผู้บริโภค และผู้ประกอบการค้าข้าวนิยมเรียก เพี้ยนมาจาก “ข้าวดอกมะลิ” มีชื่อเป็นทางการว่า “ข้าวดอกมะลิ 105” ความหมายคือ ข้าวพันธุ์นี้จัดอยู่ในประเภทข้าวขาว เพราะข้าวเปลือกมีสีขาวหรือสีฟาง และมีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นดอกมะลิ สำหรับหมายเลข 105 หมายถึง ขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ (สุนทร, 2539) ข้าวหอมมะลิพันธุ์ดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าที่มีคุณภาพเมล็ดดีมาก เมล็ดข้าวสารเรียวยาว ขาว ใส และมีเงาแกร่ง คุณภาพการขัดสีดี เมื่อหุงเป็นข้าวสุกจะได้ข้าวที่มีความเลื่อมมัน มีกลิ่นหอม และอ่อนนุ่ม เก็บเกี่ยวได้เร็ว (เกษตรวิจัย, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์ประกอบทางเคมีของข้าว มีผลมาจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยวและกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสาร การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) เพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมี หรือสารอาหารหลักที่มีในข้าวคือ โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ให้คุณค่าทางอาหารและโภชนาการ ได้แก่ วิตามิน แร่ธาตุ และปริมาณกรดอะมิโนที่มีในโปรตีนของข้าว (อรอนงค์, 2547)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ความชื้นร้อยละ 14

ส่วนของข้าว	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เส้นใย (กรัม)	เถ้า (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	เส้นใยอาหาร (กรัม)	พลังงาน (กิโลแคลอรี)
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	2.9-5.2	64-73	16.4-19.2	378
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	73-87	2.9-3.9	363-385
ข้าวสาร	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	77-89	0.7-2.3	349-373

ที่มา : ดัดแปลงจากอรอนงค์ (2547)

ข้าวเต็มเมล็ด (whole kernels) หมายถึง เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใดหัก และให้รวมถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9 ส่วนขึ้นไป (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546)

ปลายข้าวหรือข้าวหัก (brokens) เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไปแต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อเหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546)

ข้าวที่ใช้ในกระบวนการผลิตแป้งข้าวเจ้าจะใช้ข้าวหัก หรือข้าวเกรดสองที่ไม่เหมาะต่อการบริโภคโดยตรง ข้าวหักมีองค์ประกอบดังตารางที่ 2.5 ในการผลิตแป้งข้าวเจ้าในประเทศไทย ถึงจะเป็นการโม่แบบเปียกแต่โปรตีนกับสิ่งแปลกปลอมส่วนใหญ่ยังติดอยู่กับแป้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นประเภทฟลาวร์ (rice flour) นิยมใช้ข้าวที่มีอะไมโลสสูง ทั้งนี้เพราะเมื่อนำไปประกอบอาหาร เช่น ทอด จะให้ความกรอบแข็ง หรือนำไปนึ่ง เมื่อเย็นลงจะเกิดแผ่นฟิล์ม เช่น ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวหอมมะลิที่บริโภคไม่เหมาะสมใช้ผลิตฟลาวร์เพราะมีปริมาณอะไมโลสต่ำ ส่วนการผลิตแป้งสตาร์ช (rice starch) คือการสกัดเอาโปรตีน และสิ่งแปลกปลอมในแป้งฟลาวร์ออกจนเกือบหมด (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวหัก

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	12.0
แป้ง	79.2
โปรตีน	7.0
ไขมัน	0.4
เถ้า	0.5
ส่วนที่เหลือ	0.9

ที่มา : กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2546)

อาหารเช้าธัญชาติที่ผลิตขึ้นจากข้าวและแป้งข้าวแบบพร้อมรับประทานได้ทันที เป็นชนิดที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากที่สุด อาหารเช้าจากข้าวและแป้งข้าวนี้สามารถแปรรูปได้ 3 ลักษณะ คือ อาหารเช้าจากข้าวและแป้งข้าวแบบพองกรอบ (puffed rice) อาหารเช้าจากข้าวและแป้งข้าวแบบเอกซ์ทรูด (extruded rice) และอาหารเช้าจากข้าวและแป้งข้าวแบบชิ้น (shredded rice) และแบบแผ่นบาง (flaked rice) (Catharina *et al*., 1999)

จิราภา (2539) ได้พัฒนาอาหารเช้าชนิดแผ่นจากแป้งข้าวเจ้าโดยทำการคัดเลือกชนิดข้าวและสูตรที่เหมาะสมโดยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที พบว่า ข้าวหอมมะลิพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสต่ำ มีความเหมาะสมที่สุด และสูตรควรประกอบด้วยแป้งข้าว แป้งถั่วเหลือง น้ำตาล เลซิทิน เกลือ และโปรตีนนม คิดเป็นร้อยละ 68.55, 12, 11, 0.06, 2.39 และ 6 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้นนำสูตรที่พัฒนาได้มาศึกษาการผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ พบว่า การผลิตอาหารเช้าจากข้าวควรใช้ปลายข้าวบดหยาบที่ความชื้นร้อยละ 13 เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีสีน้ำตาลอ่อน มีความแข็ง 14.24 นิวตัน วอเตอร์แอคติวิตี 0.24 ความชื้นร้อยละ 3.14 โปรตีนร้อยละ 16.70 วิตามินเอ 241.76 IU วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง ไนอะซิน และเหล็กเท่ากับ 0.63, 0.70, 6.68 และ 7.18 มิลลิกรัมต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

100 กรัม ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยในการบริโภคโดยพบว่าจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับในผลิตภัณฑ์

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2542) ได้พัฒนาอาหารเช้าธัญชาติพร้อมบริโภคที่มีปลายข้าวเจ้าบดเป็นองค์ประกอบหลักโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันโดยใช้แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน และ/หรือ แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มเสริมเข้าไปแทนที่ปลายข้าวบดกับน้ำตาลร้อยละ 5 ผงโกโก้ร้อยละ 2.5 วิตามินเกลือแร่ร้อยละ 1 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.5 และกรดอะมิโนไลซีน 0.25 ของส่วนประกอบทั้งหมด พบว่า สามารถแทนที่ปลายข้าวบดด้วยแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันและแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มได้ร้อยละ 10 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสดี มีความหนาแน่น 166 กรัมต่อลิตร อัตราการพองตัว 3.0 และวัดแรงกดแตกได้ 4,700 กรัม คุณค่าทางโภชนาการสูง มีปริมาณและคุณภาพของโปรตีนที่ดี จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่า ใน 100 กรัม มีโปรตีนร้อยละ 11.8 หรือ 3.02 กรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี เส้นใย 3.6 กรัม วิตามินเอ 254 มิลลิกรัม (838 IU) วิตามินบีสิบสอง 1.2 ไมโครกรัม แคลเซียม 600 มิลลิกรัม และไอโอดีน 197 ไมโครกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าในอาหารเช้าธัญชาติประเภทเดียวกันที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ศิราพร และคณะ (2534) ได้พัฒนาอาหารเช้าพร้อมบริโภคโดยใช้ปลายข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบหลักในการแปรรูปด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (extruder; Barbender model 8 23500) พบว่า น้ำตาลที่ใช้มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล และการพองของผลิตภัณฑ์โดยเมื่อใช้น้ำตาลมากขึ้น น้ำตาลจะเข้าไปแย่งจับกับโมเลกุลน้ำทำให้น้ำเข้าไปในโมเลกุลแป้งได้ลดลง ดังนั้นแป้งจึงดูดน้ำได้ลดลง มีผลให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลงไปด้วย และพบว่า เมื่อปริมาณอะไมโลสลดลงจะทำให้โครงสร้างสามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วขึ้น และพองตัวได้ดีขึ้น ส่วนความชื้นของโดก่อนผ่านเข้าไปในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็นร้อยละ 13 ถ้าปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 13 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแห้ง เปราะ และมีสีที่ไม่สม่ำเสมอ ถ้าปริมาณความชื้นมากกว่าร้อยละ 13 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะพองตัวไม่เต็มที่และเหนียวเกินไป สูตรที่ได้จากการพัฒนาคือ ใช้ปลายข้าวเจ้าร้อยละ 60 แป้งข้าวโพดร้อยละ 40 น้ำตาลร้อยละ 15 เกลือร้อยละ 1 และผงโกโก้ร้อยละ 0.2 ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ร้อยละ 5.6 กระบวนการผลิตที่เหมาะสมคือ โซนที่ 1 ของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (feed section) ใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โซนที่ 2 ของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (compression section) ใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โซนที่ 3 ของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (metering section) ใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส รูเปิดหน้าแปลนขนาด 2 มิลลิเมตร ความเร็วรอบของสกรู 200 รอบต่อนาที ความเร็วมอเตอร์สำหรับการป้อนวัตถุดิบ 40 รอบต่อนาที คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.63 และปริมาณไขมันร้อยละ 2.2 และผู้ทดสอบชิมยอมรับในผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2 รำข้าว (rice bran)

รำข้าว คือ เยื่อสีน้ำตาลอ่อนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้องซึ่งเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยวิตามินอี และโอไรซานอลอันเป็นสารธรรมชาติที่ช่วยลดโคเลสเตอรอล และช่วยต้านอนุมูลอิสระ รำข้าวที่ได้จากการขัดสีข้าวกล้องนั้นประกอบด้วย เปลือกหุ้มผล (pericarp) เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) ชั้นเยื่อโปร่งใส (nucellus) ชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) คัพภะ (germ) และส่วนที่อยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรน (subaleurone layer) ของเนื้อเมล็ด และยังมีส่วนของแกลบและปลายข้าวปะปน ซึ่งปริมาณของส่วนประกอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับวิธีการ และระดับของการขัดสีข้าว (จันทร์สม, 2546) โดยทั่วไปจากข้าวกล้องจะสีได้รำข้าวประมาณร้อยละ 10 หรือถ้าเป็นข้าวเปลือกจะได้รำข้าวประมาณร้อยละ 5-8 โดยน้ำหนัก (Juliano, 1985)

1) ชนิดของรำข้าว

รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว สามารถแบ่งแยกออกได้หลายชนิด เช่น รำหยาบ รำละเอียด นอกจากนี้ยังมีการนำรำละเอียดไปทำการสกัดน้ำมันรำข้าว กากที่เหลือเรียกว่า กากรำ หรือรำสกัดน้ำมัน (พิเชษฐ์ และอนุรักษ์, 2549)

1.1) รำหยาบ มีส่วนของเปลือกนอกติดกับเมล็ดข้าว (bran) ส่วนของจมูกข้าว (germ) ส่วนของปลายข้าว (broken rice) ส่วนของเมล็ดข้าว (endosperm) และอาจมีส่วนของแกลบปนมาบ้าง รำหยาบมีเส้นใย และซิลิกาค่อนข้างสูง มียอดโภชนะย่อยได้ประมาณร้อยละ 72 มีโปรตีนรวมประมาณร้อยละ 7-8 เส้นใยประมาณร้อยละ 13 และมีไขมันประมาณร้อยละ 10

1.2) รำละเอียด ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว ปลายข้าว และมีแกลบปนเล็กน้อย มียอดโภชนะย่อยได้ประมาณร้อยละ 86 มีโปรตีนรวมประมาณร้อยละ 12 มีไขมันค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 12-13

1.3) รำสกัดน้ำมัน ได้จากการนำรำละเอียดหรือรำสดไปสกัดน้ำมันด้วยสารเคมี กากรำที่ได้มีโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 14-15 เส้นใยร้อยละ 13-15 ยอดโภชนะย่อยได้ประมาณร้อยละ 61

2) องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

ปัจจัยที่มีผลต่อชนิด และปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว ได้แก่ ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับเมล็ดข้าวคือ พันธุ์ข้าว ความหนาแน่นของชั้นด้านนอก (anatomical outer layers) รูปร่างของเมล็ดข้าว และความทนทานต่อการแตกหักของเมล็ดข้าว ส่วนปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขัดสีคือ วิธีการ เครื่องมือ และสภาวะในการขัดสี (ยุวดี, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบและรำละเอียด

องค์ประกอบทางเคมี (คิดที่ความชื้นร้อยละ 14)	รำหยาบ	รำละเอียด
โปรตีน (%Nx6.25)	12.0-15.6	11.8-13.0
ไขมัน (%)	15.0-19.7	10.1-12.4
เส้นใย (%)	7.0-11.4	2.3-3.2
คาร์โบไฮเดรต (%)	34.1-52.3	51.1-55.0
เถ้า (%)	6.6-9.9	5.2-7.3
แคลเซียม (มิลลิกรัม/กรัม)	0.3-1.2	0.5-0.7
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม/กรัม)	5-13	6-7
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/กรัม)	11-25	10-22
ไฟทิน ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/กรัม)	9-22	12-17
ซิลิกา (มิลลิกรัม/กรัม)	6-11	2-3
สังกะสี (มิลลิกรัม/กรัม)	43-258	17-60
วิตามิน		
ไทอะมิน (บี 1) (ไมโครกรัม/กรัม)	12.24	3-19
ไรโบเฟลวิน (บี 2) (ไมโครกรัม/กรัม)	1.8-4.3	1.7-2.4
ไนอะซิน (ไมโครกรัม/กรัม)	267-499	224-389

ที่มา : Luh *et al*., 1991

โดยรำหยาบจะมีโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า แร่ธาตุบางชนิด และวิตามินบางชนิดมากกว่ารำละเอียด ยกเว้นคาร์โบไฮเดรต ดังนั้นจึงมีการนำรำข้าวไปสกัดน้ำมัน สกัดโปรตีน และสารอาหารอื่นที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นได้จากเดิมที่ใช้เป็นอาหารสัตว์เท่านั้น (Luh *et al*., 1991)

รำข้าวนอกจากจะประกอบด้วยสารอาหาร เช่น โปรตีน ไขมัน เส้นใย แร่ธาตุที่จำเป็นและวิตามินหลายชนิดแล้ว ยังประกอบด้วยเอนไซม์ จุลินทรีย์ แมลง และสิ่งเจือปนที่ไม่พึงประสงค์อีกมากมายหลายชนิด ยิ่งถ้ากระบวนการแปรรูปไม่มีการควบคุมที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนที่ได้รำข้าวออกมา และเมื่อนำไปรวมกับส่วนอื่นๆ แล้วก็ยิ่งทำให้ได้รำข้าวที่มีสิ่งเจือปนมากขึ้นไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามรำข้าวก็ยังมีคุณค่าทางอาหารมากสำหรับการใช้เป็นอาหารสัตว์ (Luh *et al*., 1991)

ในรำข้าวมีน้ำมัน (ไขมัน) อยู่ประมาณร้อยละ 20 ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อร่างกายประเภทกรดไขมันไม่อิ่มตัว และกรดไขมันที่จำเป็นในปริมาณมาก เช่น กรดโอเลอิก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อยละ 42.5 ลิโนเลอิกร้อยละ 39.1 และปาล์มิติกร้อยละ 15 ส่วนกรดไขมันที่มีน้อย เช่น กรดสเตียริกร้อยละ 1.9 ลิโนเลนิกร้อยละ 1.1 ไมรีสติกร้อยละ 0.2 และบีเฮนิกร้อยละ 0.2 (อรอนงค์, 2547)

ในการนำรำข้าวมาแปรรูป หรือเสริมในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่า รำข้าวทำให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมพองกรอบที่ทำจากข้าวโพดลดลง (suksomboon *et al.*, 2001) เช่นเดียวกับการศึกษาในแป้งข้าวเจ้าลดลง (Grenus, Hsieh and Huff, 1993) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวที่มีเส้นใยสูงจากข้าวกล้องและฟางข้าวโพด (ร้อยละ 5-20) หรือข้าวกล้องและฝักถั่วเหลือง (ร้อยละ 5-20) ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ พบว่า การเติมฟางข้าวโพดและฝักถั่วเหลืองทำให้ใยอาหารเพิ่มขึ้น และมีผลทำให้ความหนาแน่นโดยรวมเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากขึ้น และได้รับการยอมรับน้อยลงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้เฉพาะข้าวกล้อง (Suksom *et al*., 2003)

Grenus, Hsieh and Huff (1993) ศึกษาผลของการเติมรำข้าว (ร้อยละ 10, 20 และ 30) และความเร็วของสกรู (200 และ 300 รอบต่อนาที) ต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ข้าวพองกรอบ พบว่า การเติมรำข้าวทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้น SME และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงตามปริมาณรำข้าว และความเร็วของสกรูที่เพิ่มขึ้น การพองตัวตามขวาง และตามยาวเพิ่มขึ้นเมื่อเติมรำข้าวร้อยละ 10 และลดลงเมื่อปริมาณรำข้าวเพิ่มขึ้น

สุจินดา และคณะ (2549) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวเสริมโปรตีน และเส้นใยอาหาร โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว พบว่า สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วย ปลายข้าวบดร้อยละ 52.1 โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 21.7 กัวกัมร้อยละ 8.7 รำข้าวกล้องหอมมะลิร้อยละ 10.9 น้ำตาลร้อยละ 3.3 เกลือร้อยละ 2.2 และแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 1.1 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคือ ความชื้นส่วนผสมเริ่มต้นร้อยละ 10.0 ของส่วนผสมทั้งหมด อุณหภูมิของบาร์เรลโซนที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 120, 150 และ 170 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนวัตถุดิบเท่ากับ 90 รอบต่อนาที และความเร็วรอบของสกรู 230 รอบต่อนาที ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับชอบน้อยถึงชอบปานกลาง

2.4.3 แป้งข้าวโพด (corn flour)

ได้จากการสกัดเอาแป้งจากเมล็ดข้าวโพดที่แก่และแห้งแล้วโดยการโม่แยกส่วนคัพภะและเปลือกออกเหลือเอนโดสเปิร์มซึ่งเป็นส่วนของเนื้อแป้งไว้ แป้งข้าวโพดที่ได้มี 3 ลักษณะคือ ชนิดหยาบ เรียกว่า corn grit ค่อนข้างละเอียด เรียกว่า corn meal และชนิดละเอียด เรียกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แป้งข้าวโพด (corn flour) นอกจากนั้นยังมีผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งข้าวโพดในรูปแบบต่างๆ เช่น เป็นอาหารเช้า และขนมปังข้าวโพด ใช้เป็นแป้งชุบทอด (ขวัญชนก และจารุพันธ์, 2548)

สำหรับประเทศไทย นิยมใช้แป้งข้าวโพดน้อยมากเนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพง สามารถใช้แป้งมันสำปะหลังที่มีราคาถูกกว่าในการประกอบอาหารที่ต้องการความข้นหนืดและเหนียวแทน ถึงแม้ว่าความหนืดจะไม่คงตัวหรือคืนตัวง่ายกว่าที่ใช้แป้งข้าวโพดก็ตาม

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดแป้ง	ความชื้นที่ 20°C 65% RH	%ไขมัน	%โปรตีน	%เถ้า	%ฟอสฟอรัส
แป้งข้าวโพด	13	0.60	0.35	0.10	0.015
แป้งมันฝรั่ง	19	0.05	0.06	0.40	0.08
แป้งสาลี	14	0.80	0.40	0.15	0.06
แป้งมันสำปะหลัง	13	0.10	0.10	0.20	0.01
แป้งข้าวโพด-ข้าวเหนียว	-	0.20	0.25	0.07	0.007
แป้งข้าวเจ้า	-	0.80	0.45	0.50	0.10

ที่มา : ขวัญชนก และจารุพันธ์, 2548

2.4.4 กัวกัม (guar gum)

กัวกัม สกัดได้จากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดจากต้นกัว (guar, *Cyamopsis tetragonolobus*) มีคุณสมบัติไม่ทำให้เกิดเจล แต่กระจายตัว และอุ้มน้ำได้ดีในน้ำเย็น สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง และจะให้ความหนืดสูงสุดภายหลังนาน 2 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะอุ้มน้ำได้มากขึ้น และมีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย จึงทำหน้าที่หลักในการเป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว และช่วยอุ้มน้ำ ความหนืดของสารละลายที่เกิดจากการใช้กัวกัมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ พีเอช เวลา ความเข้มข้น การคน และขนาดของอนุภาค เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากกัวกัมเป็นสารที่ไม่แตกตัวเป็นอิออน และทนต่อพีเอชได้ช่วงกว้างคือ พีเอช 4-10 โดยที่ความหนืดไม่เปลี่ยนแปลง จึงทำให้สามารถเติมอีเลคโทรไลต์ได้เป็นจำนวนมาก แต่ถ้ามีความเข้มข้นของอีเลคโทรไลต์สูงกว่าร้อยละ 5 จะมีผลต่อการอุ้มน้ำและการเกิดเจล กัวกัมมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงสุดที่พีเอช 7.5-9.0 (นิธิยา, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นิยมใช้กัวกัมในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ได้แก่ ขนมหวาน ซุป ซอส ไอศกรีม น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และใช้เป็นส่วนผสมของเกรวีน้ำสลัด และซุปที่อยู่ในรูปผง เป็นต้น (นิธิยา, 2543)

2.4.5 ผงโกโก้ (cocoa powder)

โกโก้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเมล็ดของต้นคาเคา (cacao, *Theobroma cacao*) โกโก้จะให้สีน้ำตาลใช้เป็นสีผสมอาหาร โดยนำเมล็ดโกโก้มาคั่ว เอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก บดละเอียด บีบน้ำมันออก เนื้อโกโก้จะเกาะกันเป็นแท่ง ๆ นำมาบดให้แตกเป็นผงอีกครั้ง ใส่รวมกับแป้ง แต่ที่เราใช้นั้นใช้ผงโกโก้ที่ชงเครื่องดื่มนำมาผสมกับแป้งทำขนม เมล็ดโกโก้ถูกนำมาใช้เป็นอาหารเสริมอย่างดีในชื่อ “Food of the gods” โดยนำผลโกโก้มาหมักแล้วแยกเมล็ดออกมา ทำความสะอาด ย่างไฟแล้วกระเทาะเปลือกออกจะได้เนื้อในเมล็ดที่นำไปใช้ได้ ในทางยาใช้น้ำต้มจากรากเป็นยาขับระดู ส่วนเนื้อในเมล็ดในรูปของผงโกโก้ใช้เป็นอาหารเสริม ผสมชอกโกแลต ส่วนน้ำมันโกโก้ใช้เป็นสารแต่งกลิ่นและรสในอาหาร ยา และเครื่องดื่มหลายชนิด สารสำคัญคือ alkaloid Theobromine จากโกโก้มีโครงสร้างคล้าย Caffeine มาก แต่จะมีฤทธิ์อ่อนกว่า จะมีฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง กระตุ้นหัวใจ ขับปัสสาวะ ขยายเส้นเลือด คลายกล้ามเนื้อเรียบ และแก้หืดหอบคล้ายกับฤทธิ์ของ Theophylline และถ้ากินเมล็ดมาก ๆ ใช้เป็นสารเสพติดได้ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2543)

2.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัตถุดิบในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

กระบวนการเอกซ์ทรูชันเกี่ยวข้องกับการทำให้ส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนสุก ทำให้เกิดรูปร่าง เนื้อสัมผัส และเกิดการพองอย่างเต็มที่ (puffing) หรือเกิดการขยายตัว กระบวนการเอกซ์ทรูชันแตกต่างจากกระบวนการอื่นๆ คือ ขั้นตอนต่างๆ ของการแปรรูปเหล่านี้เกิดขึ้นที่ความชื้นค่อนข้างต่ำภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ และแรงเฉือนสูงมากเป็นเวลาสั้นๆ ซึ่งภายใต้สภาวะเช่นนี้ แป้ง และโปรตีนที่ยังมีลักษณะตามธรรมชาติ (raw) จะมีการเปลี่ยนรูปเพื่อให้ได้อาหารที่มีโครงสร้างใหม่ (รุ่งนภา, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 แป้ง (starch)

แป้งเป็นส่วนผสมหลักในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว และอาหารธัญชาติพร้อมรับประทาน (ready-to-eat : RTE) ที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน กริทของธัญชาติที่สกัดเอาเจิมออก (degermed cereal grits) แล้วจะใช้เป็นวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มากกว่าการใช้

แป้งบริสุทธิ์เพื่อให้โปรตีน ไขมัน และเส้นใยบางส่วนยังมีอยู่ในส่วนผสมของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง

แป้งเป็นไบโอพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ใหญ่มาก โดยทั่วไปกลูโคส 1 โมเลกุลจะเชื่อมปลายด้านหนึ่งกับปลายอีกด้านหนึ่งของกลูโคสอีกหน่วยหนึ่งไปเรื่อยๆ เกิดเป็นอะไมโลสของแป้ง เมื่อลักษณะการต่อของกลูโคสเป็นกิ่งก้าน จะเรียกโมเลกุลของแป้งนี้ว่าอะไมโลเพคตินซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับพุ่มไม้ที่หนาทึบ แป้งในธัญชาติส่วนใหญ่มักจะมีอะไมโลสอยู่ร้อยละ 25-30 ส่วนที่เหลือจะเป็นอะไมโลเพคติน แป้งในรูปที่เป็นธรรมชาติ โมเลกุลของแป้งมักเป็นผลึก และอยู่ในรูปของกรานูล (granule) ทรงกลม แต่ถ้ามีการทำให้สุกที่ความชื้นสูง แป้งในกรานูลเหล่านี้จะขยายตัว ดูดซับ และจับโมเลกุลของน้ำไว้จำนวนมาก เกิดเป็นเพสท์ที่ข้น

ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นต่ำที่ใช้สำหรับกระบวนการเอกซ์ทรูชัน การเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งขึ้นกับผลของความร้อน และแรงเฉือนทางกลร่วมกัน เม็ดแป้งจะถูกเฉือนขณะที่ผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ การกระทำทางกลนี้จะเปิดกรานูลภายในของแป้งออก (Mercier, 1980) การไหลของส่วนผสมต่างๆ ที่เหนียวในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ต้องอาศัยพลังงานทางกลจำนวนมากเพื่อใช้หมุนสกรูซึ่งจะปล่อยออกมาเป็นความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลแป้งที่ใหญ่กว่าบางโมเลกุลจะแตกออกเป็นโมเลกุลที่เล็กลง (dexturization) เนื่องจากการเฉือน และแสดงความสามารถในการละลายน้ำได้มากกว่า ผลของการเจลาติไนซ์เซชันและเดกซ์เจอร์ไรเซชันคือ ได้โดที่เหนียวหรือโดที่หลอมซึ่งสามารถเอกซ์ทรูดผ่านรูเปิดหน้าแปลนเพื่อขึ้นรูปและพองเมื่อความชื้นภายในที่มีอุณหภูมิสูงเปลี่ยนไปเป็นไอน้ำหลังออกจากรูเปิดหน้าแปลนแล้ว

ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันขึ้นกับปริมาณของการเปลี่ยนรูปของแป้งระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ผลิตภัณฑ์ที่มีเมทริกซ์ที่แข็งกว่า เงากว่า และมีขนาดของรูใหญ่กว่า เป็นลักษณะเฉพาะของการทำให้สุกด้วยการเฉือนที่ต่ำภายใต้สภาวะความชื้นที่สูงกว่า ความเสียหายของแป้งจะลดลงเมื่อให้พลังงานกลแก่ผลิตภัณฑ์น้อยลง และให้ปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นโดยการพ่นไอน้ำ หรือการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังบาร์เรล ผลิตภัณฑ์ที่นุ่ม และมีความสามารถอุ้มน้ำได้ (hydratable) มีแนวโน้มที่จะเหนียวติดฟันเมื่อรับประทานจะมีขนาดของรูภายในเอกซ์ทรูเดตที่เล็กกว่า และผนังเซลล์บางกว่า และเป็นลักษณะเฉพาะของการผลิตในสภาวะที่มีการเฉือนสูงซึ่งพลังงานกลจำนวนมากกระจายออกมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความก้าวหน้าของกระบวนการเอกซ์ทรูชันสามารถควบคุมสภาวะของการเฉือนระหว่างกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ความหนาแน่น ลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อชิม และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การควบคุมสภาวะการเฉือน/การผลิต เป็นผลจากการออกแบบสกรูต่างๆ อัตราส่วนความยาว/เส้นผ่าศูนย์กลาง ความเร็วสกรู แหล่งของความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ แบบของรูเปิดหน้าแปลน และความชื้นของส่วนผสมของอาหาร

2.5.2 โปรตีน (protein)

โปรตีนถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้ว สามารถเปลี่ยนให้มีโครงสร้างใหม่ในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เพื่อให้เกิดโครงสร้างที่คล้ายเนื้อเป็นชั้นๆ เช่น โปรตีนถั่วเหลืองที่เรียกว่า textured soy protein (TSP) ผลิตจากแป้งถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออก และมีโปรตีนประมาณร้อยละ 50

การทำให้เกิดเนื้อสัมผัส (texturization) เกี่ยวข้องกับการปรับโครงสร้างใหม่ของโมเลกุลโปรตีนไปเป็นมวลที่มีไขว้ (cross linked) เป็นชั้นๆ ที่ต้านทานต่อการแตก เมื่อมีการให้ความร้อน (การแปรรูป) ต่อไป โปรตีนถั่วจะมีความชื้นร้อยละ 33-45 และได้รับความร้อน และการเฉือนในการหมุนช่วงต้นของสกรูของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ทำให้โปรตีนที่เป็นธรรมชาติ (native globular) เปลี่ยนไปเป็นโมเลกุลที่ไม่มีการพับซ้อน (unfold) ด้วยการทำลายพันธะเคมีที่ยึดโครงสร้างตติยภูมิที่เป็นธรรมชาติ

โมเลกุลโปรตีนที่ไม่ได้พับซ้อนนี้จะจัดเรียงเป็นเส้นตรงเองในทิศทางการไหลของร่องเกลียวของสกรู และช่องว่างหลังรูเปิดหน้าแปลน การไหลเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้โมเลกุลนี้มีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรง (alignment) และเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็น 140-160 องศาเซลเซียส การไขว้กันทางเคมีก็เกิดขึ้นอีกเพื่อให้เกิดโครงสร้างที่เป็นเส้นใย และเป็นชั้นซึ่งเลียนแบบเนื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved