# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ประเภทและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเช้าธัญชาติ

อาหารเช้าธัญชาติมาจากภาษาอังกฤษว่า breakfast cereals เมื่อแยกพิจารณาเป็นคำ คือ

1) breakfast (อาหารเช้า) ประกอบด้วยคำว่า break และ fast ในที่นี้คำว่า fast หมายถึง การที่อดอาหารหรือไม่ได้รับประทานอาหารมาตลอดคืนหลังจากมื้อเย็นหรือมื้อค่ำ ส่วนคำว่า break หมายถึง การหยุดอดอาหารโดยจะรับประทานอาหารมื้อเช้า เมื่อรวมคำเข้าด้วยกัน เป็น breakfast จึงหมายถึง อาหารเช้า นั่นเอง (อรอนงค์ และลินดา, 2536; Honey, 1936)

2) cereals (ธัญชาติ) หมายถึง เมล็ดจากธัญพืชวงศ์หญ้า (*Gramineae*) ซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีหลายชนิด ได้แก่ ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง ข้าวไรย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวมิตเลต และลูกเดือย มีคำที่เกี่ยวข้องกับธัญชาติ อีก 2 คำ คือ ธัญญาหาร หมายถึงอาหารจากข้าว และธัญพืช หมายถึงพืชข้าวกล้า เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น อธิบายได้ว่า ธัญพืช หมายถึง ต้นข้าวทั้งหมด ธัญชาติ คือ เมล็ดของธัญพืช และธัญญาหาร คือ อาหารที่ทำจากธัญชาติ (อรอนงค์, 2542) ธัญชาติมีคุณค่าทางอาหารด้านพลังงานสูง เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบทางเคมีเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีโปรตีนและไขมันมากกว่าพืชอย่างอื่น เมล็ดที่แก่เต็มที่แล้วจะประกอบด้วยสารอาหารหลักคือ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 77-87 โปรตีนร้อยละ 9-16 ไขมันร้อยละ 1-5 เยื่อใยหยาบร้อยละ 2-10 และแร่ธาตุร้อยละ 1-7 (ตารางที่ 2.1) (จิตธนา และอรอนงค์, 2543)

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

### 2.1.1 ประเภทของอาหารเช้าธัญชาติ

อาหารเช้าธัญชาติแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะได้แก่ อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามวิธีการทำให้สุกก่อนการบริโภค ลักษณะของผลิตภัณฑ์ ชนิดของวัตถุดิบ และกลุ่มผู้บริโภคดังนี้

**1) อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามวิธีการทำให้สุกก่อนการบริโภค**

ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติที่แบ่งประเภทตามวิธีการทำให้สุกก่อนการบริโภค สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ (อรอนงค์ และลินดา, 2536)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 2.1** องค์ประกอบทางเคมีของธัญชาติบางชนิด

| ธัญชาติ | ปริมาณ (กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | โปรตีน | ไขมัน | เยื่อใยหยาบ | 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 หรือโม่ข้าวสาลีอย่างหยาบ เรียกว่า ฟารินา (farina) หรือบดข้าวโพดอย่างหยาบ เรียกว่า กริท (grit) ธัญชาติบดหยาบเหล่านี้ต้องต้มหลายนาทีจึงจะสุกและบริโภคได้

1.2) ประเภทต้มเร็ว (quick cooking) ใช้เวลาต้มเพียง 1 นาที เช่น ข้าวโอ๊ตบด (rolled oats) นำข้าวโอ๊ตมาบดหยาบแล้วผ่านเข้าสู่ลูกกลิ้งบดที่ร้อนด้วยไอน้ำภายในลูกกลิ้ง ทำให้ข้าวโอ๊ตแบนและสุกหนึ่งในสามส่วน เมื่อจะนำไปบริโภคก็ต้มต่อด้วยเวลาไม่นานก็สุกทั้งหมดรับประทานได้

1.3) ประเภทสุกทันที (instant cooking) สามารถบริโภคได้ทันทีเมื่อเติมลงในน้ำเดือด เช่นนำข้าวบดหยาบมาทำให้สุก ปรุงรส อบแห้งเป็นโจ๊กสำเร็จรูป หรือการนำฟารินาจากการโม่ข้าวสาลีอย่างหยาบมาทำให้สุกด้วยการอบหรือวิธีอื่นๆ แล้วทำให้เย็น เมื่อต้องการบริโภคก็เติมลงในน้ำเดือด รับประทานได้ทันที เรียกว่า ฟารินากึ่งสำเร็จรูป (instant farina)

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้ากึ่งสำเร็จรูปจากถั่วเขียว สูตรการแปรรูปที่พัฒนาได้เป็นดังนี้ ถั่วเขียวร้อยละ 21.34 แป้งสาลีร้อยละ 9.60 และแป้งข้าวโพดร้อยละ 6.40 แต่งรสด้วยผงโกโก้และผงวานิลลา นำส่วนผสมทั้งหมดมาต้มและเคี่ยวรวมกันจนสามารถปั้นเป็นก้อนได้ โดที่ได้มีความชื้นประมาณร้อยละ 50-60 จากนั้นแปรรูปโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง อุณหภูมิที่ผิวของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ลูกกลิ้งเป็น 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 ชงให้เข้ากันและบริโภคทันที ผู้ทดสอบชิมชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง (จรูญ, 2541)

1.4) ประเภทอาหารเช้าพร้อมบริโภค (ready to eat cereals) ได้รับความนิยมสูงที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถบริโภคได้ทันที แต่อาจมีการเติมน้ำหรือนมหรือโยเกิร์ตลงไปด้วยก็ได้ อาหารเช้าประเภทนี้เป็นธัญพืชที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยนำเมล็ดธัญพืชมาทำให้สุก และมีการดัดแปลงรูปร่างให้มีความเหมาะสม (วิมลศิริ, 2539; จรูญ, 2541; Malz, 1970)

จากการศึกษาความคงตัวในน้ำนมระหว่างแผ่นข้าวโพดอบกรอบ แผ่นข้าวสาลีอบกรอบ และแผ่นข้าวอบกรอบพร้อมบริโภค โดยวิเคราะห์แรงต้านการเจาะทะลุ พบว่าแผ่นข้าวโพดอบกรอบและแผ่นข้าวสาลีอบกรอบมีความคงตัวในน้ำนมนานเท่ากันคือ 4 นาที ส่วนแผ่นข้าวอบกรอบมีความคงตัวในน้ำนมเพียง 2 นาที (Burrington and Kimberlee, 2001) แต่วิจิตรา (2546) ได้ศึกษาความคงตัวในน้ำนมของแผ่นข้าวอบกรอบที่เคลือบคาราเมล พบว่า แผ่นข้าวอบกรอบมีความคงตัวในน้ำนม 4 นาที และการเคลือบน้ำตาลลงบนแผ่นข้าวอบกรอบจะทำให้แผ่นข้าวอบกรอบมีรสหวานและมีสีน้ำตาลทองมากขึ้น

**2) อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามลักษณะของผลิตภัณฑ์**

อาหารเช้าธัญชาติมีอยู่หลายลักษณะทำให้การแบ่งประเภทตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ไม่ชัดเจน แต่อาจแบ่งได้เป็น 5 ลักษณะ ดังนี้ (อรอนงค์ และลินดา, 2536)

2.1) ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น (flaked products) นิยมใช้ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวเป็นวัตถุดิบ กระบวนการผลิตมี 2 วิธี ได้แก่ วิธีดั้งเดิม (conventional method) และวิธีเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion method) การผลิตโดยวิธีดั้งเดิมเริ่มจากการทำความสะอาดวัตถุดิบ ปรับความชื้นให้เหมาะสมในการบดให้แตกด้วยลูกกลิ้งผิวเรียบคู่หนึ่ง เพื่อให้ความชื้นซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ง่ายขึ้น นำเมล็ดที่แตกไปต้มโดยใช้ความดัน เมื่อสุกแล้วนำไปทำแห้งจนมีความชื้นเหลือร้อยละ 15-20 และพักไว้ในถังปรับสภาพนาน 24-27 ชั่วโมง จากนั้นทำการบีบอัดระหว่างคู่ของลูกกลิ้งผิวเรียบ ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นแผ่นแบน ผ่านไปยังเครื่องทำให้แห้งและผ่านไปยังเตาปิ้ง (toaster) จนเหลือง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 3 นำผลิตภัณฑ์ที่เย็นแล้วมาเคลือบน้ำตาลหรือน้ำเชื่อมก่อนบรรจุ สำหรับวิธีเอ็กซ์ทรูชัน เริ่มจากการนำวัตถุดิบมาทำความสะอาด และผสมกับส่วนผสมอื่น เช่น เกลือ น้ำตาล วิตามิน มอล์ต เคซีน เป็นต้น แล้วนำไปผ่านเข้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ทำให้แห้งและปล่อยไว้ให้เย็นแล้วนำไปผ่านลูกกลิ้งผิวเรียบโดยปรับแรงอัดให้เหมาะสม จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นแผ่นบาง อาจนำไปเคลือบด้วยน้ำตาล สารปรุงแต่งกลิ่นรส ก่อนบรรจุ (Roger, 1974)

2.2) ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพองกรอบ (puffed product) วัตถุดิบที่ใช้ เป็นเมล็ดข้าวสาลี 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 ปอนด์ต่อตารางนิ้วแล้วลดความดันทันที ซึ่งจะมีผลทำให้สกรูดันเมล็ดข้าวที่สุกผ่านหัวอัดออกมาในลักษณะที่สุกและพอง จากนั้นนำไปทำให้แห้งจนมีความชื้นเหลือร้อยละ 3 ทำให้เย็นแล้วอาจนำมาเคลือบด้วยน้ำเชื่อมให้มีน้ำตาลเคลือบอยู่ร้อยละ 2-5 แล้วจึงทำให้เย็นและแห้งอีกครั้ง ก่อนบรรจุลงในภาชนะบรรจุ

2.3) ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นชิ้น (shredded product) ทำได้โดยนำเมล็ดข้าวสาลีมาทำความสะอาด ต้มกับน้ำโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำเดือดรอบชั้นนอกของหม้อต้ม จนได้เมล็ดที่นิ่มและเหนียวเป็นยาง มีความชื้นประมาณร้อยละ 43 เม็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนซ์เซชัน (gelatinization) เต็มที่แล้วจึงทำให้เมล็ดข้าวสาลีสุกนี้เย็นลง และพักไว้ในถังปรับสภาพความชื้นนาน 18 ชั่วโมง จึงส่งเข้าเครื่องขูดเป็นชิ้น ซึ่งตัวเครื่องประกอบด้วยลูกกลิ้งหลายคู่ แต่ละคู่มีลูกกลิ้งผิวเรียบอยู่ด้านบนและลูกกลิ้งผิวฟันเลื่อยแบบโค้งอยู่ด้านล่าง ทำให้เกิดการขูดเป็นชิ้นอย่างเท่าๆ กัน ส่งไปเตาอบอุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นจึงทำให้แห้งจนมีความชื้นเพียงร้อยละ 1 ทำให้เย็นและบรรจุ

2.4) ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเม็ด (granular product) สามารถแปรรูปได้จากแป้งสาลีบดทั้งเมล็ดหรือแป้งสาลีคุณภาพต่ำหรือแป้งข้าวบาร์เลย์ผสมกับน้ำ เกลือ และยีสต์หมักให้เป็นโดนาน 6 ชั่วโมง ปั้นเป็นก้อนขนมปังขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักประมาณ 10 ปอนด์ อบให้สุกและนำมาบดให้เป็นเม็ดหรือเกล็ด ทำให้แห้งและร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดต่างๆ ตามต้องการ

2.5) ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยน้ำตาล (sugar-coated product) ทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติที่มีลักษณะเป็นแผ่นหรือพองกรอบมาเคลือบด้วยน้ำตาล หรือน้ำเชื่อมโดยใช้น้ำตาลซูโครสผสมกับน้ำผึ้ง เพื่อให้การเคลือบมีลักษณะใสและแห้ง ไม่เหนียวเยิ้มเมื่อถูกความชื้น ผลิตภัณฑ์เคลือบน้ำตาลจะมีน้ำตาลเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 7 เป็นร้อยละ 43 และจากร้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ละ 2 เป็นร้อยละ 51 สำหรับคอร์นเฟลก (corn flake) และพัฟวีต (puffed wheat) (Malz, 1970) ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบคาราเมลจะมีความมันวาว มีกลิ่นหอมของเนยและรสชาติที่ดีกว่าเนื่องจากน้ำตาลและเนยในตัวกลิ่นคาราเมลที่เคลือบผลิตภัณฑ์ (พัชรินทร์ และสุจิรา, 2542) การเคลือบน้ำตาลลงบนแผ่นข้าวอบกรอบ จะทำให้แผ่นข้าวอบกรอบมีรสหวานและมีสีน้ำตาลทองมากยิ่งขึ้น

**3) อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามชนิดวัตถุดิบ**

อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามชนิดของวัตถุดิบได้แก่ ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าว หรืออาจทำจากรำของธัญชาติชนิดใดชนิดหนึ่งหรือรวมกันหลายชนิด (อรอนงค์ และลินดา, 2536)

จากการพัฒนาอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบผสมชนิดแท่ง โดยใช้วัตถุดิบเป็นธัญชาติ 3 ชนิดผสมกันและเติมกลิ่นสับปะรด 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 เยื่อใยหยาบร้อยละ 38.11 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 60.40 การยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบปานกลาง (วิมลศิริ, 2539)

**4) อาหารเช้าธัญชาติแบ่งตามกลุ่มผู้บริโภค**

4.1) อาหารเช้าธัญชาติประเภทพื้นฐาน (basic) เป็นอาหารเช้าจากธัญชาติประเภทรสจืด กลุ่มเป้าหมายคือผู้บริโภคที่อยู่เป็นครอบครัวหลัก

4.2) อาหารเช้าธัญชาติประเภทรสชาติสำหรับเด็ก (child taste) เป็นอาหารเช้าจากธัญชาติที่มีรสหวานโดยมีการปรุงแต่งรส เช่น ผสมน้ำผึ้ง รสชอกโกแลต หรือกลิ่นแอปเปิ้ล เป็นต้น กลุ่มเป้าหมายคือ กลุ่มเด็ก

4.3) อาหารเช้าธัญชาติประเภทเพื่อสุขภาพ (health) เป็นอาหารเช้าจากธัญชาติที่มุ่งเน้นคุณค่าทางโภชนาการเพื่อสุขภาพ กลุ่มเป้าหมายคือ ผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและต้องการคุณค่าทางโภชนาการสูง

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารเช้าธัญชาติ**

กลุ่มผู้บริโภคอาหารเช้าธัญชาติโดยมากเป็นกลุ่มเด็ก จึงต้องคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการเป็นสำคัญ เด็กที่มีอายุ 2-12 ปี ต้องการคุณค่าทางโภชนาการร้อยละ 91 เด็กที่มีอายุ 13-18 ปี ต้องการคุณค่าทางโภชนาการร้อยละ 75 และอายุมากกว่า 18 ปี ต้องการคุณค่าทางโภชนาการร้อยละ 61 ของปริมาณที่แนะนำต่อวัน อาหารเช้าจากธัญชาติเป็นอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง มีไขมันและคอเลสเตอรอลต่ำ มีวิตามินโดยเฉพาะกลุ่มของวิตามินบี และแร่ธาตุ เช่น เหล็ก แมกนีเซียมและสังกะสีมาก (จิตธนา และคณะ, 2540) ดังนั้นอาหารเช้าธัญชาติจึงเหมาะสมสำหรับเด็กและบุคคลทั่วไป เพราะมีคุณค่าทางอาหารสูง (ตารางที่ 2.2) ธัญชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเช้า มักขาดกรดอะมิโนประเภทไลซีน การบริโภคอาหารเช้าร่วมกับนมจะทำให้ปัญหาดังกล่าวหมดไป เพราะนมเป็นแหล่งของไลซีนที่ดี สารอาหารบางชนิดจะมีมากในธัญชาติ เช่น วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี และธาตุเหล็ก แต่ในนมมีปริมาณสารเหล่านี้น้อยกว่า แต่นมมีปริมาณโปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัสและวิตามินดีอยู่สูง ดังนั้นการรับประทานอาหารเช้าธัญชาติร่วมกับนมจึงได้คุณค่าทางอาหารที่ดีและเหมาะสม ทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น (Kent, 1984; จรูญ, 2541)

กระบวนการผลิตอาหารเช้าธัญชาติ มีผลทำให้คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ลดลง การผลิตอาหารเช้าพร้อมบริโภคจากธัญชาติประเภทพองกรอบ และประเภทแผ่นบางจะสูญเสียกรด ไฟติกไปประมาณร้อยละ 70 และ 30 ตามลำดับ และสูญเสียแร่ธาตุและวิตามินบางตัวด้วย วิตามินบีหนึ่งจะสูญเสียไปในกระบวนการผลิตอาหารเช้าจากข้าวสาลีแบบชิ้นร้อยละ 50 ส่วนวิตามินบีหนึ่งในอาหารเช้าประเภทพองกรอบและแบบแผ่นบางจะสูญเสียไปทั้งหมด (Kent, 1984) โดยวิตามินบีหนึ่งจะสูญเสียโดยความร้อน และมีความคงตัวไม่ดี ที่สภาวะเป็นกลางและค่าความเป็นด่างสูง (วิมลศิริ, 2539) ส่วนไรโบฟลาวินและไนอะซีนจะสูญเสียบ้างเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์ (Malz, 1970) โดยทั่วไป อาหารเช้าจากธัญชาติมักมีการเติมแร่ธาตุและวิตามินลงไประหว่างการผลิต เพื่อชดเชยการสูญเสียและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์ (Kent, 1984) สภาวะต่างๆ เช่น ความร้อนและความดันมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการสูญเสียของแร่ธาตุ ส่วนวิตามินเป็นตัวที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามสภาวะต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการถูกทำลายของวิตามิน วิตามินที่ละลายน้ำได้ เช่น วิตามินซี จะถูกทำลายโดยความร้อนได้ง่ายที่สุด และยังถูกทำลายได้ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกด้วย ส่วนวิตามินที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามินเอและอี จะเกิดการสูญเสียเนื่องจากเกิดปฏิกิริยากับสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) หรือสารอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน อัตราความเร็วของการถูกทำลายของวิตามินจะลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นการป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเป็นการช่วยให้วิตามินถูกทำลายน้อยลง (จรูญ, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 2.2** คุณค่าทางโภชนาการของอาหารเช้าธัญชาติที่จำหน่ายในทางการค้า

| ผลิตภัณฑ์ | ปริมาณ (ร้อยละ) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความชื้น | โปรตีน[1/] | ไขมัน | เถ้า | เยื่อใยหยาบ | คาร์โบไฮเดรต |
| คอร์นเฟลก | 3.8 | 7.9 | 0.2 | 0.7 | 0.7 | 84.6 |
| พัฟคอร์น | 3.6 | 8.1 | 4.2 | 0.4 | 0.4 | 80.4 |
| เชดโอ๊ต[2/] | 3.9 | 18.8 | 2.1 | 3.2 | 1.8 | 70.2 |
| พัฟโอ๊ต | 1.9 | 6.7 | 3.4 | 2.4 | 0.7 | 84.9 |
| ไรซ์เฟลก | 3.2 | 5.9 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 87.7 |
| พัฟไรซ์ | 3.7 | 5.9 | 0.4 | 2.9 | 0.6 | 89.5 |
| วีตเฟลก | 3.5 | 10.2 | 1.6 | 4.2 | 1.6 | 78.9 |
| พัฟวีต | 3.4 | 15.0 | 1.5 | 1.6 | 2.0 | 76.5 |
| เชดวีต | 6.6 | 9.9 | 2.0 | 1.6 | 2.3 | 77.6 |
| บรานเฟลก | 3.0 | 10.2 | 1.8 | 4.4 | 3.6 | 77.0 |
| ฟารินา | 10.0 | 11.4 | 0.9 | 0.4 | 0.4 | 76.6 |
| โอ๊ตมีล | 8.3 | 14.2 | 7.4 | 1.9 | 1.2 | 67.0 |
| โรลวีต | 10.1 | 9.9 | 2.0 | 1.8 | 2.2 | 74.0 |

**หมายเหตุ:** 1/ การหาปริมาณโปรตีนที่ได้โดยการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แล้วคูณด้วยค่าโปรตีนแฟกเตอร์ของธัญชาติแต่ละชนิด เช่น ข้าวโพดใช้ 6.25 ข้าวโอ๊ตใช้ 5.83 ข้าวใช้ 5.95 และข้าวสาลีใช้ 5.70

2/ หมายถึง ผลิตภัณฑ์เสริมโปรตีน

ที่มา : Leslis *et al*. (1971)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.2 การผลิตอาหารเช้าธัญชาติโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน**

**2.2.1 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน**

กระบวนการผลิตโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) หรือกระบวนการผลิตอาหารโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เป็นกระบวนการทำให้เกิดรูปร่างโดยการบังคับให้วัตถุดิบอาหารที่อ่อนตัว หรือหลอมเหลวเคลื่อนที่ไปตามพื้นที่อันจำกัด แล้วผ่านเข้าไปในรูเปิดหน้าแปลนที่เรียกว่า ได (die) ออกมาด้วยการหมุนตัวของสกรู และความดันที่เกิดขึ้นภายในเอ็กซ์ทรูเดอร์ระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์อาหาร จึงเป็นเครื่องมือที่ในการทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลง

โครงสร้าง และรูปลักษณ์ของวัตถุดิบอาหาร ปัจจัยหลักที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือ สภาวะการทำงานของเครื่อง และสมบัติทางรีโอโลจี (rheology) ของอาหาร ซึ่งรีโอโลจีนี้หมายถึง วิทยาการของการเปลี่ยนสถานะภาพ และการไหลของสสาร ในกระบวนการผลิตโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชันนี้ คือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและลักษณะบางประการของสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว (dough) ภายใต้อิทธิพลของแรงเฉือน โดยตังบ่งชี้ที่สำคัญที่สุดของการเดินเครื่อง คือ อุณหภูมิ ซึ่งได้มาจากอุณหภูมิของบาเรล ความเร็วรอบของสกรู (ทำให้เกิดแรงเฉือน และการเสียดสีจนเกิดเป็นความร้อน) ความดัน (ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปลักษณ์ องศาลาดเอียงของเส้นสกรู บาเรล และหน้าแปลน) และอัตราการป้อนวัตถุดิบ ส่วนคุณสมบัติของวัตถุดิบก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และสีของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องที่เรียกว่า เอ็กซ์ทรูเดท (extrudate) โดยมีปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ความชื้น ขนาดของวัตถุดิบ และองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ โดยเฉพาะชนิด และปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมัน และน้ำตาล ตลอดจนส่วนผสมอย่างอื่นที่มีปริมาณเล็กน้อยที่เติมลงไปเพื่อช่วยในกระบวนการผลิต (ประชา, 2544; วิไล, 2545)

การเพิ่มความชื้นในอาหาร ทำได้โดยการเติมน้ำในระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันอาหารประเภทแป้ง เช่น เม็ดข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า โดยใช้ความร้อนด้วย อาหารจะได้รับแรงเฉือนอย่างรุนแรง เม็ดแป้งจะบวม ดูดน้ำ และกลายปีนเจลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โครงสร้างของโมเลกุลแป้งซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่จะเปิดออกและกลายเป็นมวลที่มีความหนืดสูง และเกิดคุณสมบัติแบบพลาสติก (Mercier, 1980) แป้งจะละลายน้ำได้แต่ไม่ถูกย่อย การวัดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิและอัตราการเฉือนต่างๆ ทำได้โดยการวัดดรรชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index, WAI) และสมบัติการละลายน้ำ (water solubility characteristic, WSC) โดยทั่วไปค่า WAI ของผลิตภัณฑ์จากธัญพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความรุนแรงของกรรมวิธี และมีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส ค่า WSC ลดลงเมื่อค่า WAI สูงขึ้น มีการวัดค่าความหนืดของแป้งบดในระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากธัญพืช เพื่อหาความรุนแรงของกระบวนการ หรือเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในโรงงานจำลองเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง (วิไล, 2545)

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้ความร้อน ดังนั้นวัตถุดิบจึงควรมีโปรตีนที่ยังไม่เสียสภาพในปริมาณสูง (วิไล, 2545)

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

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

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

3. ต้นทุนการผลิตต่ำ (low cost) จำนวนคนงานและพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันต่อหนึ่งหน่วยการผลิตนั้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีอื่น เช่น ในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติด้วยวิธีดั้งเดิมเทียบกับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน พบว่า สามารถประหยัดพลังงาน (ร้อยละ 100) การลงทุน (ร้อยละ 44) วัตถุดิบ (ร้อยละ 19) และแรงงาน (ร้อยละ 14) และเนื่องจากการทำให้สุกของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันทำที่ความชื้นต่ำ จึงต้องการพลังงานในการอบแห้งน้อยลง (Darrington, 1987)

4. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีมาก (high product quality) คุณภาพสูง อันเนื่องมาจากเป็นระบบ HTST

5. มีการสูญเสียของแข็งน้อยมาก ซึ่งจะลด BOD ของน้ำทิ้งจากโรงงานที่ทำการแปรรูป

**1) ประเภทของเอ็กซ์ทรูเดอร์**

ประเภทของเครื่องเอ็กซทรูเดอร์ สามารถแบ่งได้ ดังนี้ (ประชา, 2539)

**1.1) แบ่งตามความเกี่ยวข้องกับพื้นฐานหน้าที่ สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา (functional characteristics)**

1.1.1) pasta extruders เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทที่มีแรงเฉือนต่ำ มีพื้นผิวผนังบาเรลเรียบ ความเร็วรอบของสกรูต่ำ เกลียวสกรูลึก เพื่อให้เกลียวสกรูทำหน้าที่นวด บด อัดผลักพาแป้งที่ชื้นนุ่มให้เคลื่อนที่ไปทางข้างหน้า แล้วอัดผ่านรูเปิดบนหน้าแปลนออกมาเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ถึงกับสุกพอง ต้องใช้ขั้นตอนของกรรมวิธีการผลิตอาหารวิธีอื่นอีกเข้ามาช่วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นสุกพร้อมที่จะรับประทานต่อไป เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้มักใช้เป็นเครื่องผสมและขึ้นรูปแบบต่อเนื่องสำหรับทำอาหารหรือทำแป้งอบกรอบ (pastry) เช่น พาย (pie) ทาร์ท (tart) พัฟ (puff) คุกกี้ เนื้อสำเร็จรูป (processed meat) และขนมหวาน

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

1.1.3) low-shear cooking extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้เป็นประเภทที่เกิดแรงเฉือนปานกลาง ผนังบาเรลเป็นร่องตรงๆ ส่วนสกรูเป็นชนิดที่มีอัตราส่วนการอัดสูง (compression screw) เพื่อเพิ่มการนวด ผสม ให้ดียิ่งขึ้น ความร้อนจะส่งผ่านมาทางบาเรล หรือทางสกรู เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ร้อนหรือสุก และยังเพื่อใช้ทำลายแบคทีเรีย ยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ ทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติเปลี่ยนแป้งดิบให้เป็นแป้งสุก (gelatinize starch) ขณะเดียวกันก็ป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์สุกพองในขณะผ่านพ้นรูเปิดของหน้าแปลนออกมา

1.1.4) collet extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้เป็นประเภทที่เกิดแรงเฉือนสูง พื้นผิวผนังบาเรลเป็นร่องเกลียว และร่องเกลียวสกรูตื้น มีหลากหลายขนาด มีความยาวของตัวสกรูต่อเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยมาก ประมาณ 3:1 (L/D = 3:1 เรียกว่า short screw) วัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ คอร์นกริตที่แยกเอาน้ำมันออกแล้ว และมีความชื้นต่ำน้อยกว่าร้อยละ 12 ความร้อนเกือบทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้มาจากการเสียดสี แล้วทำให้วัตถุดิบหรือคอร์นกริตนั้นร้อนถึง 175 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็ว ทำให้แป้งกลายเป็นเจล และบางส่วนเปลี่ยนเป็นเด็กซ์ตริน (dextrin) ด้วยการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็วจากภายในตัวเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่มีความดันสูงมาก มาสู่ภายนอกที่มีความดันต่ำ (ความดันบรรยากาศ) ทำให้น้ำภายในเอ็กซ์ทรูเดท เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำระเหยลอยตัวออกไป ในขณะเดียวกันก็ถูกตัดด้วยใบมีดแล้วคงตัวเป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่สุกและพองกรอบ วัตถุดิบที่ใช้ทำขนมขบเคี้ยวได้ดี เช่น คอร์นเคริล (corn curl) หรือข้าวโพดพอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรอบ หรือ คอร์นพัฟ นอกจากคอร์นกริตแล้ว พวกข้าวท่อน (ปลายข้าว) ก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ด้วยเครื่องคอลเลทเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้ดีพอๆ กัน

1.1.5) high-shear cooking extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้เป็นประเภทที่เกิดแรงเฉือนสูง ออกแบบมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พวกที่สุกเพียงบางส่วน หรือกึ่งสำเร็จรูป หรือพวกที่ผ่านความร้อนสูง แล้วมีการจัดโครงสร้างในโมเลกุลใหม่ เช่น โปรตีนเกษตร (texture vegetable protein) เดิมได้ประยุกต์นำเอาเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทำด้วยพลาสติก ที่มีอัตราส่วนของความยาวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) = 15-20:1 เป็นชนิดที่เกิดแรงอัดสูง มีบาเรลยาว แต่ก็สามารถทำให้เอ็กซ์ทรูเดท ร้อน หรือเย็นได้ โดยใช้แหล่งความร้อนความเย็นจากภายนอกโดยผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างผนังบาเรล เอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ใช้กับวัตถุดิบได้หลายชนิด และในช่วงความชื้นได้ต่างๆ กัน และสามารถควบคุมสภาวะต่างๆ ในการผลิตได้ เช่น ควบคุมการสุกพอง อุณหภูมิ ความแน่นของเนื้อสัมผัส เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ได้แก่ อาหารสัตว์เลี้ยง อาหารเช้าซีเรียล อาหารจากธัญชาติพร้อมรับประทาน (ready to eat cereals) โปรตีนเกษตร และอาหารขบเคี้ยว หรือขนมกรอบ high shear cooking extruder จัดอยู่ใน HTST ส่วนมากวัตถุดิบที่นำมาใช้ก่อนป้อนเข้าเครื่อง ควรให้ความร้อนก่อนซึ่งจะเป็นไอน้ำหรือน้ำร้อนก็ได้ แล้วป้อนเข้าไปในเครื่อง เพื่อทำให้วัตถุดิบนี้เปลี่ยนเป็นเจล หรือปรับโครงสร้างภายในโมเลกุลของวัตถุดิบเสียใหม่ และการอุ่นนั้นจะช่วยให้วัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้สุก และเย็นตัวลงเกือบทันทีเมื่อผลิตภัณฑ์โผล่พ้นหน้าแปลนออกมา เวลาที่ใช้ในการหุงต้มนี้ต้องสั้นมาก (short residence time)

**1.2) แบ่งตามการเคลื่อนที่ของความร้อน (thermodynamic characteristics)**

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

1.2.2) isothermal extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้ มีระบบการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากันเป็นระยะตลอดความยาวของบาเรล forming extruders ก็จัดอยู่ในประเภท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นี้ เพื่อคงสภาพความร้อนให้เท่ากันโดยตลอดความร้อนจะถูกระบายผ่านทางช่องว่าง (jacket) ระหว่างผนังสองชั้นของบาเรลที่อยู่รอบสกรู

1.2.3) polytropic extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แทบทุกชนิดเป็นประเภท polytropic คือ จะได้รับความร้อนจากทั้ง 2 ทางคือ ความร้อนที่เกิดจากพลังงานกล และความร้อนที่ได้มาจากแหล่งความร้อนภายนอกที่ส่งผ่านมาทางช่องว่างของบาเรล

**1.3) แบ่งตามปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่ป้อน (moisture characteristics)**

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

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

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**1.4) แบ่งตามโครงสร้างของเครื่อง (structure characteristics)**

1.4.1) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (single screw extruder) ประกอบด้วยสกรู 1 อัน วางยาวตลอดภายในตัวเครื่อง เมื่อสกรูหมุนจะเกิดการผสมของวัตถุดิบ และพาวัตถุดิบเคลื่อนไปตามตัวเครื่อง ความร้อนที่ส่งผ่านให้วัตถุดิบเกิดจากอุณหภูมิที่ตั้งไว้ภายในเครื่อง และแรงเฉือนระหว่างสกรูกับวัตถุดิบ ความดันภายในเครื่องจะเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะบริเวณใกล้หน้าแปลน ซึ่งเป็นทางออกสู่สภาพบรรยากาศสภาวะปกติ สกรูที่พาดยาวภายในตัวเครื่อง ประกอบด้วย ส่วนที่ส่ง

วัตถุดิบเข้าไป เพื่ออัดวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนนวด เพื่อการบีบนวด ส่วนผสม และเฉือนเนื้ออาหารที่มีคุณสมบัติคล้ายพลาสติก และมีส่วนของการให้ความร้อนในเครื่องที่ใช้แรงเฉือนสูงด้วย การส่งวัตถุดิบผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวนี้ทำได้โดยอาศัยความฝืดที่ผิวของบาเรล วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการทำงานของเกลียวสกรู และมีบางส่วนเคลื่อนที่ในทางกลับกัน (pressure flow และ leakage flow) ซึ่งเป็นการไหลเนื่องจากแรงดันที่เกิดด้านหลังหน้าแปลน และการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบระหว่างสกรูและบาเรล การใช้ผ้าแบบพิเศษหุ้มภายในบาเรลจะช่วยลดการลื่นไหลได้ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องและความชำนาญในการควบคุมดูแลเครื่องน้อยกว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (กมลวรรณ, 2541; วิไล ,2545)

ปัญหาที่มักเกิดขึ้นในการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว คือปัญหาการลื่นไหล (slippage) และเกิดการสะอึก (surging) ปัญหาการลื่นไหลมักจะเกิดขึ้นในสภาวะที่ความดันภายในบาเรลสูง ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการลื่นไหลระหว่างสกรูและผนังบาเรล ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารไม่ได้รับความร้อนเพียงพอ หรือผ่านกระบวนการผลิตไม่สมบูรณ์ ส่วนปัญหาการสะอึก (ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่อง) มักจะเกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สม่ำเสมอ ความดันจะเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารพ่นออกมาเป็นฝอย หรือชิ้นเล็กๆ เมื่อผ่านพ้นหน้าแปลนออกมาโดยไม่สามารถควบคุมได้ (วิไล,2545)

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

ข้อดีของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่

1. ผลผลิตที่ได้ไม่ขึ้นกับอัตราการส่งวัตถุดิบเข้ามา สามารถควบคุมความไม่แน่นอนของอัตราการผลิตได้โดยการปรับการทำงานของเกลียวสกรู ในขณะที่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวจะต้องมีการเติมวัตถุดิบให้เต็มเสมอเพื่อการทำงานให้มีประสิทธิภาพ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และการควบคุมการถ่ายเทความร้อนดีกว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

2. สามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความมัน เหนียวหรือเปียกมากหรือลื่นมาก ข้อจำกัดสำหรับเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวและสกรูคู่ตามลำดับดังนี้ ไขมันร้อยละ 4 และ 20 น้ำตาลร้อยละ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

10 และ 40 ความชื้นร้อยละ 30 และ 65 (Fellows, 1993) จะเห็นได้ว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มีความยืดหยุ่นในการทำงานดีกว่า

3. ใช้การลำเลียงวัตถุดิบไปข้างหน้าหรือย้อนกลับเพื่อความคุมความดันภายในบาเรล เช่น ในการผลิตกัมผลไม้ อาหารถูกให้ความร้อนและอัดโดยการลำเลียงไปข้างหน้า มีการลดความดันเพื่อลดความชื้นส่วนเกินหรือเพื่อเพิ่มส่วนผสมของอาหารโดยการลำเลียงย้อนกลับ แล้วอาหารจะถูกอัดใหม่ต่อไป

4. มีส่วนดิสชาร์จสั้นๆ ซึ่งจะทำให้เกิดความดันสำหรับการอัดได้ ดังนั้นจึงทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องเกิดการสึกหรอน้อยกว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

5. อาจใช้ส่วนผสมของขนาดวัตถุดิบตั้งแต่ละเอียดเป็นผงถึงขนาดเมล็ดถั่ว ในขณะที่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวเหมาะกับขนาดอนุภาคที่เป็นเม็ด

**2) ขั้นตอนกระบวนการผลิตโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน**

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

2.1) ช่วงการป้อนและการผสม (feeding and mixing zone) วัตถุดิบผสมนี้จะถูกพาให้เคลื่อนที่ไปทางข้างหน้าอย่างต่อเนื่อง เคลื่อนที่ไปตามร่องเกลียวสกรู และช่องว่างระหว่างสันเกลียวสกรูกับผนังบาเรลด้านใน ดังนั้นความลาดเอียง องศาความตื้นลึกของเส้น (ร่อง) เกลียว และความสูงของสันเกลียว ตลอดจนความเร็วรอบของสกรูนั้น จึงมีบทบาทสำคัญมาก ทั้งนี้เนื่องจากสกรูนอกจากจะมีหน้าที่ในการขนถ่าย ผลักพา หรือขับเคลื่อนให้วัตถุดิบผสมเคลื่อนที่ไปแล้ว ยังทำหน้าที่ผสม นวด บด อัด ด้วยการทำงานของสกรูเช่นนี้ จึงก่อให้เกิดงานและความร้อนขึ้นบ้าง สกรูที่ใช้ในช่วงแรกนี้ทำหน้าที่หลัก ได้แก่ ขนถ่าย ผลักพาให้วัตถุดิบผสมเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างรวดเร็ว สกรูที่ใช้ในช่วงแรกที่เรียกว่า สกรูป้อนนี้ ต้องเป็นชนิดที่ร่องเกลียวสกรูลึก มุมลาดเอียงของเส้นเกลียวสกรูต้องลาดชัน และความกว้างระหว่างเกลียวสกรูต้องมากกว่าสกรูช่วงอื่นๆ เมื่อสกรูส่วนนี้รับส่วนผสมของวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แล้ว วัตถุดิบผสมนี้จะถูกผลักพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการหมุนตัวของสกรูและแรงเสียดทานวัตถุดิบผสม ในช่วงนี้เปรียบเสมือนถูกลดขนาดลงในขณะที่ถูกผลักดัน อัดให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตลอดเวลา ขณะเดียวกันการผลักพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้านั้นทำได้ช้าลง ทั้งที่วัตถุดิบผสมนี้ถูกป้อน อัด เข้ามาด้วยอัตราและปริมาณเท่าเดิม เนื่องจากทางออกจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีหน้าแปลนที่มีรูเปิดกว้างอันจำกัดปิดไว้ กอปร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กับพื้นที่ของช่องว่างระหว่างผนังบาเรลด้านในกับผนังบาเรลลดลง เนื่องจากร่องเกลียวสกรูในช่วงถัดไปตื้นขึ้น จึงทำให้วัตถุดิบผสมในช่วงป้อนนี้ถูกแรงอัด ผลักดันให้รวมตัวเข้ามาชิดกันได้ดียิ่งขึ้นจนเกือบเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ขนม หรือปริมาตรของวัตถุดิบผสมนี้ลดลง

2.2) ช่วงการนวด (kneading zone) วัตถุดิบผสมยังคงถูกบด อัด นวด ผลักดัน เฉือน เสียดสี เหมือนเดิมแต่มากกว่า เนื่องจากสกรูของส่วนนี้ออกแบบให้เป็นสกรูที่มีร่องเกลียวและความลึกที่แคบและตื้นกว่าสกรูช่วงแรก หรืออาจใช้วิธีการที่ทำให้ความสามารถในการขนถ่ายหรือผลักพาของสกรูลดลง เพื่อช่วยทำให้เกิดแรงอัดมากขึ้น ส่วนผสมของอาหารจะหมุนตัวในช่องว่างที่เป็นร่องเกลียวสกรูกับผนังบาเรลด้านใน ในขณะเดียวกันก็เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นจากการหมุนตัวของสกรูที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่ กำลังแรงม้าสูงเป็นตัวขับเคลื่อนหมุนสกรู จึงทำให้เกิดความร้อนขึ้น เป็นความร้อนที่ได้มาจากการเปลี่ยนพลังงานกล (ที่มาจากการเสียดสีและเฉือน) และความร้อนนี้จะแพร่เข้าไปในส่วนผสมของวัตถุดิบที่ยังเป็นแป้งชิ้นๆ ที่เคลื่อนที่มาจากช่วงป้อนซึ่งมีผลทำให้ส่วนผสมช่วงนี้มีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วทำให้ส่วนผสมของอาหารนี้เปลี่ยนเป็นแป้งเหนียวหยุ่น มีลักษณะเหนียว หนืด ยืดหยุ่นได้เหมือนกับโด (dough) ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปยังช่วงที่ 3 ต่อไป

2.3) ช่วงการหุงต้ม หรือช่วงที่ทำให้ร้อนจนสุก (final cooking zone) สกรูส่วนนี้จะออกแบบพิเศษ เช่น ร่องเกลียวต้องตื้น มุมลาดเอียง องศาของเส้นเกลียวจะมีความชันน้อยลง มีรอยตัดหรือบากที่เส้นเกลียว หรือฝังหมุด จำนวนเส้นเกลียวมีมากขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มแรงเฉือน และช่วยให้การผสมดียิ่งขึ้น สกรูที่มีลักษณะพิเศษนี้จักทำให้แป้งเหนียว หนืด หยุ่นนี้เปลี่ยนแปลงสถานะไปเป็นของเหลวที่ไม่มีรูปพรรณสัณฐาน เป็นของเหลวไหลได้ที่เรียกว่าเจล (gel) หรือแป้งสุก เมื่อถูกอัดผ่านพ้นหน้าแปลนออกมา และด้วยความแตกต่างของความดันบรรยากาศที่ภายนอกกับความดันสูงที่เกิดขึ้นภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์จะทำให้น้ำที่อยู่ในส่วนผสมอาหารที่หลอมเหลวเป็นเจล ระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยตัวออกไปพร้อมกับดึงเอาส่วนโครงสร้างที่เป็นแป้งเหลวสุกนี้ยืดขยายตัวออก และคงสภาพความพองไว้ที่อุณหภูมิบรรยากาศภายนอก ขณะเดียวกันก็ถูกตัดเป็นชิ้นหรือท่อน ตามขนาดที่ต้องการด้วยใบมีด จากนั้นนำไปอบแห้ง แล้วเคลือบกลิ่นรสตามแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำ (ประชา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**3) ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์**

ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ตัวแปรแรกเป็นส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้แก่ แบบของตัวเครื่อง แบบของสกรู และแบบของหน้าแปลน ตัวแปรที่ 2 เป็นกระบวนการผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้แก่ อุณหภูมิของเครื่อง ความเร็วรอบของสกรู รูปแบบการจัดเรียงของสกรู และอัตราการป้อนวัตถุดิบสู่เครื่อง เป็นต้น ส่วนตัวแปรสุดท้าย เป็นองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน แป้ง ไขมัน เส้นใย น้ำ น้ำตาล และเกลือ เป็นต้น (กมลวรรณ, 2541)

ตัวแปรทั้งสามและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบ ซึ่งส่งผลไปถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในระหว่างกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เช่น ความร้อน ความดัน และแรงเฉือน ที่เกิดจากตัวแปรต่างๆ โดยมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลของอาหาร (แป้ง โปรตีน ไขมัน) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และทางโภชนาการของอาหาร ตัวแปรของกระบวนการผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ สามารถปรับให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ ซึ่งจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังต่อไปนี้

1) อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิที่ตั้งไว้ตลอดความยาวของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ถ้าอุณหภูมิทางออกของเครื่องมากกว่า 100 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พองทันทีหลังออกจากเครื่อง เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไม่พองทันทีหลังออกมาจากเครื่อง เกิดเนื่องจากการลดอุณหภูมิช่วงใกล้ทางออกลงต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการพองตัวของผลิตภัณฑ์ แต่จะพองหลังจากให้ความร้อน เช่น โดยวิธีการทอด หรือ อบ

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

3) รูปแบบของสกรู (screw configuration) ชิ้นส่วนของสกรูที่ใช้และตำแหน่งชิ้นส่วนของสกรูมีผลต่อรูปแบบของสกรูโดยเฉพาะกับเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ ซึ่งมีผลต่อการผสมของวัตถุดิบ เวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่อง แรงเฉือน พลังงานกลที่ให้กับวัตถุดิบ และอุณหภูมิของโดภายในเครื่อง

4) อัตราการป้อนวัตถุดิบ (feed rate) การเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบสู่เครื่อง จะมีการเพิ่มความดันที่หน้าแปลน ลดพลังงานกลที่ป้อนเข้า และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่อง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะมีผลต่อคุณภาพที่ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Ding *et al.* (2005) ได้ศึกษาผลของสภาวะการผลิตด้วยกระบวนเอ็กซ์ทรูชันต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมกรอบจากข้าวโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ โดยศึกษาปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนวัตถุดิบ ความชื้นของวัตถุดิบที่ป้อน อุณหภูมิ และความเร็วรอบสกรูพบว่า เมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความพองมากขึ้น ดัชนีการละลายน้ำลดลง และให้ความแข็งมากขึ้น เมื่อวัตถุดิบมีความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่นสูงขึ้น ความพองลดลง ดัชนีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ดัชนีการละลายน้ำลดลง มีความแข็งมากขึ้น และความกรอบลดลง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะพองมากขึ้นแต่ความหนาแน่นจะลดลง ดัชนีการละลายน้ำและความกรอบของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ส่วนความเร็วรอบของสกรูนั้น ไม่มีผลทางสถิติต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

Chiang and Johnson (1977) ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันว่าการใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นค่อนข้างสูง (ร้อยละ 18-22) ที่อุณหภูมิปานกลาง (88-104 องศาเซลเซียส) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะค่อนข้างแข็ง โครงสร้างเซลเล็ก และลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียว หากวัตถุดิบมีความชื้นต่ำ (ร้อยละ 10-14) ที่อุณหภูมิสูง (93-121 องศาเซลเซียส) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พอง ลักษณะเบาและมีโครงสร้างเซลล์เปิดกว้าง เมื่อนำไปอบแห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกรอบนุ่ม แต่หากอุณหภูมิในการเอ็กซ์ทรูชันค่อนข้างต่ำ (65-80 องศาเซลเซียส) ปริมาณความชื้นจะไม่มีผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันมากนัก แต่จะมีผลเมื่ออุณหภูมิเอ็กซ์ทรูชันสูง (95-110 องศาเซลเซียส) ความชื้นที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อย่างพอเหมาะ จะทำให้เกิดความดันไอขึ้นในเนื้ออาหาร เมื่อได้รับความร้อนจึงเกิดการพองตัว มีลักษณะเป็นรูพรุนทั่วอาหาร โดยปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์คือ ร้อยละ 13 ดังนั้นถ้าความชื้นสูงเกินไป จะทำให้อัตราส่วนการพองตัวลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไปทำให้ไอน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบไม่สามารถระเหยออกมาได้หมดในเวลาอันรวดเร็วที่ผลิตภัณฑ์ผ่านพ้นหน้าแปลนจึงทำให้น้ำเหลืออยู่ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก การพองตัวไม่สามารถเกิดได้ดี ถ้าความชื้นต่ำเกินไปจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรอยร้าวที่ผิว

จากการวิจัยผลิตอาหารขบเคี้ยวจากถั่วเขียวโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ ประชา และคณะ (2539) ได้แปรค่าปริมาณถั่วเขียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักตั้งแต่ร้อยละ 50-100 ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมด้วยวิธี Response Surface Methodogy โดยศึกษาตัวแปรคือ ความชื้นของวัตถุดิบส่วนผสม (ร้อยละ 14 16 และ 18) ความเร็วรอบสกรู (250 300 และ350 รอบต่อนาที) และอุณหภูมิสุดท้าย (120 130 และ 140 องศาเซลเซียส) พบว่า อัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตคือส่วนผสมของถั่วเขียว : แป้งข้าวเจ้า (70:30) ร้อยละ 91.5 แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มร้อยละ 7.5 และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

วิตามินผสมร้อยละ 1 สภาวะในการผลิตที่ดีควรเลือกที่ความชื้นของวัตถุดิบส่วนผสมร้อยละ 16 ความเร็วรอบสกรู 300 รอบต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 135 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ขณะผ่านรูเปิดของหน้าแปลน (melt temperature) 150-153 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนวัตถุดิบ 16.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง รูเปิดของหน้าแปลน 3 มิลลิเมตร มีอัตราการพองตัว 4.03 ความหนาแน่น 0.059 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แรงตัด 0.9 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การยอมรับทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

**4) การประยุกต์ใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ในอุตสาหกรรม**

**4.1) ผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก**

4.1.1) ขนมขบเคี้ยว (snack) การผลิตขบเคี้ยวใช้ความชื้นต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 15) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกพองมาก ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสละลายในปาก เกิดแรงเค้นสูง และใช้อุณหภูมิสูง ทำให้สตาร์ชเกิดความเสียหาย

จิรจิต และคณะ (2541) ได้ศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเกลียวเดี่ยวขนาดห้องปฏิบัติการ (Brabender 20 DN) ใช้ส่วนผสมหลักคือ ข้าวโพดเกล็ด และมีการเติมเนื้อไก่บด และอบแห้ง เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน ศึกษาปริมาณโปรตีนในระดับร้อยละ 6 10 20 และ 30 ตามลำดับ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผสมเนื้อไก่ที่ระดับโปรตีนร้อยละ 6 และ10 มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในขณะที่การผสมเนื้อไก่ที่ระดับโปรตีนมากขึ้นคือร้อยละ 20 และ30 ให้ผลิตภัณฑ์ที่ขาดการพองตัว

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

4.1.3) ผลิตภัณฑ์ธัญพืชพร้อมรับประทาน กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ธัญพืชพร้อมรับประทาน และผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เนื่องจากสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบประเภทแป้งและธัญพืช ให้ผลิตภัณฑ์ที่พองกรอบ มีรูปร่าง และเนื้อสัมผัสที่หลากหลาย ให้ความร้อนและขึ้นรูปได้ในการแปรรูปขั้นตอนเดียว ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

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

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

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

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

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันโดยให้ความร้อนเพื่อผลิตเพลเลตของขนมขบเคี้ยว ซึ่งมีแป้งเป็นองค์ประกอบ ขั้นตอนการอบแห้งเพลเลตเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ต้องควบคุมการกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (หลังทอด) มีคุณภาพดี ทั้งนี้ทำได้โดยควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และเวลาที่อาหารอยู่ในเครื่อง การทำแห้งเพลเลตจะทำให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อการนำไปทอด ระดับความชื้นสุดท้ายจะถูกปรับในระหว่างการปรับสภาพในถุงขนาดใหญ่คล้ายกระสอบ หรือภาชนะอื่นๆ ในห้องที่ไม่มีการปรับอากาศ (อุณหภูมิประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40-60 (วิไล, 2545)

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

**4.2) ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดและขนมหวาน**

การผลิตลูกกวาดและขนมหวาน ในปัจจุบัน นิยมผสมส่วนผสม และต้มในหม้อต้มที่หุ้มด้วยสตีมแจ็คเก็ตโดยมีไอน้ำไหลผ่านท่อในเครื่อง หรือใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิว นอกจากนั้นยังมีการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ในการผลิต เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิสำหรับวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน และการผสมไขมัน นมผง ถั่ว สี กลิ่นรสเข้าด้วยกัน การใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ที่มีอัตราส่วน L/D (25:1) ค่อนข้างสูง จะให้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมกับการใช้งาน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกกวาดที่ใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ในการผลิตได้แก่ ท๊อฟฟี่ คาราเมล ถั่วกระจก ไวน์กัม (wine gum) และริโคไรซ์ (licorice) (วิไล, 2545)

ไวน์กัมและริโคไรซ์ ทำจากการให้ความร้อนส่วนผสมต่างๆ เช่น แป้ง น้ำตาล น้ำเชื่อม ข้าวโพด และกัม (ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส) การควบคุมการให้ความร้อนแป้งในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเกลียวคู่ทำได้อย่างเที่ยงตรง ทำให้สามารถผลิตได้ทีละมากๆ จึงช่วยลดต้นทุน และเวลาในการบ่มได้ (Rice, 1984)

การนำส่วนผสมของน้ำตาลซูโครส กลูโคส และแป้งมาอัดด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตด้วยจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เหนียว ความร้อนจะทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ น้ำตาลละลาย และไล่ไอน้ำส่วนเกินออกไป มีการเติมกลิ่นรสลงไปในส่วนผสม สามารถปรับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ยืดหยุ่นได้โดยการปรับส่วนผสม และควบคุมสภาวะการผลิตของเครื่อง หรือปรับรูปร่างได้โดยการใช้หน้าแปลนที่มีรูปร่างต่างๆ (วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**4.3) ผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก**

4.3.1) อาหารสัตว์เลี้ยงแบบแห้ง ประกอบด้วย ส่วนผสมของธัญพืช โปรตีนจากพืช ผลิตผลพลอยได้จากเนื้อสัตว์ กระดูกบด ไขมัน เกลือ สี สารปรุงแต่งกลิ่นรส วิตามินและเกลือแร่ มีการให้ความร้อนส่วนผสม เพื่อทำให้สุกด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ที่ความชื้นประมาณร้อยละ 25 และทำให้แห้งเหลือความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 บางครั้งจะมีการเคลือบไขมันหรือสารปรุงแต่งกลิ่นรสอื่นๆ บนผิวของผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มรสชาติ และลักษณะเฉพาะตัว (Smith, 1970) อย่างไรก็ตาม มีการประยุกต์ใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ในการผลิตอาหารสัตว์น้อยมาก เนื่องจากต้องใช้ความชื้นค่อนข้างสูง รวมทั้งสูตรส่วนผสมทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องเสียหายเร็ว และใช้เงินลงทุนสูง

4.3.2) อาหารสัตว์เลี้ยงแบบกึ่งเปียก (semimoist) อาหารสัตว์เลี้ยงแบบกึ่งเปียก มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 30 จึงมีลักษณะนุ่ม มีการเติมสารดูดความชื้น เช่น กลีเซอรอล ซิอลบิทอล โพรพิลีนไกลคอล หรือน้ำตาล เพื่อควบคุมวอเตอร์แอคติวิตี และเติมสารยับยั้งการเน่าเสีย เช่น กรดเกลือ ซอร์เบท จำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะการผลิตอย่างเข้มงวด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ และต้องให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิพาสเจอไรซ์การใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่โดยควบคุมเวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องให้สั้นจะช่วยปรับปรุงลักษณะการผสม และเหมาะสำหรับอาหารสัตว์กึ่งเปียกนี้ อุณหภูมิที่ใช้โดยทั่วไปจะต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้กับอาหารสัตว์เลี้ยงแบบแห้ง (วิไล, 2545)

4.3.3) โปรตีนจากพืชและสัตว์ มีการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวในการสร้างลักษณะสัมผัสของถั่วเหลือง Harper (1986) ได้อธิบายไว้ว่า กระบวนการแปรรูปโดยใช้แป้งถั่วเหลืองคุณภาพสูงซึ่งกำจัดไขมันออกไปแล้ว และมีดัชนีการละลายได้ของไนโตรเจนมากกว่าร้อยละ 50 หลังจากปรับความชื้นของวัตถุดิบโดยใช้น้ำและไอน้ำให้ได้ความชื้นประมาณร้อยละ 33 แล้ว จะเป็นขั้นตอนการเอ็กซ์ทรูชันที่อุณหภูมิ 155 องศาเซลเซียส การเกิดพันธะข้าม (cross-linking) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน จะทำให้เกิดโครงสร้างคล้ายเนื้อสัตว์ สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำแห้ง หรือใช้แทนเนื้อสัตว์ในอาหารชนิดต่างๆ ได้ การควบคุมลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายขึ้นกับการออกแบบหน้าแปลนเฉพาะ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะโครงสร้าง และความหนาแน่นตามที่ต้องการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**5) ผลกระทบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ต่อคุณภาพของอาหาร**

**5.1) ลักษณะทางประสาทสัมผัส**

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันทำในสภาวะ HTST มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อสี กลิ่น และรสชาติตามธรรมชาติของอาหาร อย่างไรก็ตามอาหารหลายชนิดจะมีการเติมสีสังเคราะห์ลงไป สีของผลิตภัณฑ์อาหารจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ หรือได้รับความร้อนสูงเกินไป หรือทำปฏิกิริยากับโปรตีน น้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) หรืออิออนของโลหะ นอกจากนี้อาจมีปัญหาในเรื่องของการเติมสารปรุงแต่งกลิ่นก่อนการทำ cold extrusion ซึ่งกลิ่นรสดังกล่าวจะระเหยหายไป เมื่อนำผลิตภัณฑ์ออกมาจากแม่พิมพ์ การใช้สารปรุงแต่งกลิ่นที่ห่อหุ้มอยู่ในแคปซูลเล็กๆ (microencapsulated) จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ แต่มีราคาแพง ดังนั้นสารปรุงแต่งกลิ่นที่นิยมใช้กับผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์ มักอยู่ในรูปของอิมัลชันหรือของเหลวข้นหนืด (viscous slurries) เมื่อเติมลงไปแล้วอาจทำให้เกิดความเหนียวเหนอะที่ผิวด้านนอกในผลิตภัณฑ์บางชนิด จึงต้องอบให้แห้งอีกครั้ง

**5.2) คุณค่าทางโภชนาการ**

การสูญเสียวิตามินในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตโดยการเอ็กซ์ทรูชันจะมากหรือน้อย ผันแปรตามชนิดของวัตถุดิบ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการผลิต อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วจะสูญเสียวิตามินเพียงเล็กน้อยในการทำ cold extrusion ส่วนสภาวะของ HTST ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นและการทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วทันทีที่นำออกจากแม่พิมพ์ จะทำให้วิตามินและกรดอะมิโนจำเป็นสูญเสียค่อนข้างน้อย ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้อุณหภูมิในเอ็กซ์ทรูเดอร์ 145 องศาเซลเซียส จะสูญเสียวิตามินบีหนึ่งเพียงร้อยละ 5 เท่านั้น ส่วนวิตามินบีสอง วิตามินบีหก ไนอะซิน หรือกรดโฟลิค ที่มีอยู่ในธัญพืชจะสูญเสียเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนการสูญเสียวิตามินซีและวิตามินเอจะสูงถึงร้อยละ 50 ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการผลิตเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Harper, 1979) การสูญเสียกรดอะมิโนไลซีน ซีสตีน และเมไธโอนีนในผลิตภัณฑ์จากข้าว ผันแปรอยู่ในช่วงร้อยละ 50-90 ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการผลิต (Seiler, 1984) สำหรับการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในแป้งถั่วเหลือง (soy flour) จะขึ้นอยู่กับสูตร และกระบวนการแปรรูป การใช้อุณหภูมิสูงและมีน้ำตาลจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Maillard browning) และทำให้คุณภาพของโปรตีนลดลง การใช้อุณหภูมิต่ำ และลดความเข้มข้นของน้ำตาลให้น้อยลง จะช่วยให้ความสามารถในการย่อย (digestibility) ของโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนมีการเรียงตัวของโครงสร้างใหม่ ส่วนกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันในผลิตภัณฑ์จากถั่ว ความร้อนจะช่วยทำลายสารต้านโภชนาการ และสารพิษถั่วตามธรรมชาติ เช่น ทำลายสารต้านการทำงานของเอนไซม์ทริพซิน ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนในถั่วเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.2.2 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติ**

วัตถุดิบที่นิยมใช้ผลิตอาหารเช้าธัญชาติ ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวเจ้า และข้าวสาลี อาจมีการผสมผลไม้แช่อิ่มและถั่วบางประเภทด้วย อาหารเช้าธัญชาติโดยทั่วไปแล้ว จะมีคุณสมบัติที่กรอบแข็ง (crunchy) โพรงอากาศเล็ก ดูดซับน้ำนมได้ช้า มีความพองตัวดีและความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าขนมกรอบ (snack) และควรมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพียงพอกับความต้องการของร่างกายเมื่อรับประทานร่วมกับนมและผลไม้หรือรับประทานแต่เพียงอย่างเดียว ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว ข้าวโพดเกล็ด (corn grit) จึงเป็นวัตถุดิบหลักที่เหมาะสมที่สุด (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2540) แต่สำหรับในประเทศไทย แป้งข้าวโพดยังไม่มีการใช้กันมาก เนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติควรได้มีการพัฒนาโดยใช้วัตถุดิบท้องถิ่นในประเทศที่มีราคาถูกกว่า แต่คงคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ธัญพืช และพืชผักชนิดต่างๆ เพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับตัวผลิตภัณฑ์ และวัตถุดิบท้องถิ่นในประเทศ

**1) ข้าวโพดเกล็ด (corn grit)**

ข้าวโพดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* มักนิยมรับประทานเป็นอาหารว่างและอาหารหวาน ข้าวโพดเกล็ดเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวโพดที่ได้จากการโม่ข้าวโพดแบบแห้ง (dry milling) เป็นการบดส่วนต่างๆ รวมกัน หรืออาจแยกคัพภะออกจากแป้งเพื่อจุดประสงค์ในการรักษาแป้งให้นานขึ้น หรือเพื่อแยกคัพภะนำไปสกัดน้ำมันข้าวโพด ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดที่ได้จากการโม่แบบแห้งนี้จะมีลักษณะและขนาดต่างๆ กันขึ้นอยู่กับระบบการโม่ข้าวโพดนั้น เช่น เม็ดข้าวโพดหยาบ (coarse grits) ปานกลาง (medium grits) และละเอียด (fine grits) แป้งข้าวโพด (corn flour) คัพภะ (germ) หรือรำ (hominy feed) เป็นต้น (จิตธนา และอรอนงค์, 2543)

ขนมขบเคี้ยว หรืออาหารที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันมักมีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลัก และเป็นชนิดที่โม่แห้ง ข้อกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพ (เกรด) ของข้าวโพดเกล็ดหรือข้าวโพดบดหยาบที่ใช้นั้นมีอิทธิพลโดยตรงต่อเนื้อสัมผัสและความรู้สึกขณะรับประทาน เช่น ขนมกรอบที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบนุ่มและเซลล์โครงสร้างเล็กละเอียด (soft frothy texture) นั้นทำมาจากข้าวโพดเกล็ดที่มีโปรตีนประมาณร้อยละ 6.75 ไขมันร้อยละ 0.91 เถ้าร้อยละ 0.36 และความชื้นร้อยละ 13 ส่วนขนาดของข้าวโพดเกล็ดนั้นอยู่ระหว่าง 50 เมช (mesh) และ 60 เมช แต่ถ้าเป็นขนมกรอบที่มีเนื้อสัมผัสที่กรอบแข็ง เนื้อแน่น (hard texture) เซลล์โครงสร้างใหญ่ รูอากาศโต ขนาดของข้าวโพดเกล็ดต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนของข้าวโพดเกล็ดก็เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 7.62 ไขมันร้อยละ 0.72 เถ้าร้อยละ 0.29 และความชื้นร้อยละ 12.7 (ประชา, 2537ข)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจะมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8-10 จึงจำเป็นต้องอบไล่ความชื้นอีกเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งและกรอบ ความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งแล้วจะเหลืออยู่ร้อยละ 1-2 ซึ่งจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบที่คงทน จากนั้นจึงสามารถนำไปเคลือบกลิ่นรสต่อไป ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดมักนิยมเคลือบกลิ่นรส (flavor coating) โดยใช้เนยแข็งเชดด้า (cheddar cheese) วิธีการเคลือบมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีเคลือบแห้ง และวิธีเคลือบเปียก วิธีเคลือบแห้งทำโดยการฉีดพ่นด้วยน้ำมันพืชแล้วโรยผงกลิ่นรส (seasoning) ลงไปเคลือบทับบนตัวผลิตภัณฑ์ ส่วนวิธีเคลือบเปียกทำได้โดยนำเอาน้ำมันพืช กลิ่นรส และเครื่องเทศมาผสมรวมกันแล้วฉีดพ่นสารละลายกลิ่นรสนี้เคลือบลงบนตัวผลิตภัณฑ์ที่หมุนอยู่ในถังเคลือบกลิ่นรส ผลิตภัณฑ์ก็พร้อมที่จะบรรจุซองต่อไป (ประชา, 2537ข)

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2540) ได้พัฒนาอาหารเช้าธัญชาติที่มีข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลักด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ เพื่อหาปริมาณแป้งถั่วเหลืองที่เสริมลงไปแทนที่ข้าวโพดเกล็ดแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสดี มีคุณค่าทางโภชนาการสูง คุณค่าของโปรตีนดี ราคาถูก ที่สภาวะการผลิตที่เหมาะสม พบว่าสามารถเสริมแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันร้อยละ 16 ในข้าวโพดเกล็ดร้อยละ 77 น้ำตาลร้อยละ 5 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 1 วิตามินเกลือแร่ร้อยละ 1 และโกโก้ผงร้อยละ 2 ของส่วนประกอบทั้งหมด โดยสภาวะการผลิตที่เหมาะสม คือ ใช้ความเร็วรอบสกรู 350 รอบต่อนาที ผลิตภัณฑ์เคลือบด้วยน้ำเชื่อมรสช็อกโกแลต อบแห้งแล้วมีความหนาแน่น 119.7 กรัมต่อลิตร อัตราการพองตัว 3.42 มีปริมาณโปรตีน 3.16 กรัมต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของอาหารที่กำหนดไว้

นอกจากข้าวโพดเกล็ดจะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติแล้ว ยังได้มีงานวิจัยในการใช้ข้าวโพดเกล็ดในการผลิตขนมกรอบ โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และปรับปรุงลักษณะสัมผัสของผลิตภัณฑ์เพื่อการยอมรับของผู้บริโภค

Boonyasirikul and Churunuch (2000a) ได้พัฒนาขนมกรอบที่มีข้าวโพดเกล็ด-ปลายข้าวเป็นองค์ประกอบหลักด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยปรับสูตรส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีข้าวโพดเกล็ดเป็นองค์ประกอบทั่วไปให้มีเนื้อสัมผัสที่กรอบ นุ่ม ด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและน้ำมันพืช เพื่อใช้เป็นสูตรส่วนผสมพื้นฐานทำขนมกรอบ แคลเซียมคาร์บอเนตเป็น nucleating agent ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้ฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวของอาหารในขณะที่ไอน้ำระเหยลอยตัวออกไป หากมีในปริมาณที่พอเหมาะ จะทำให้เกิดฟองอากาศในขนาดและปริมาณที่พอดีกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อขนมกรอบอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เนื้อสัมผัสของขนมกรอบ กรอบนุ่มเป็นโครงสร้างละเอียด (Guy, 1994) ส่วนน้ำมันพืชจะช่วยในกระบวนการผลิตและปรับคุณภาพของเนื้อสัมผัสขณะรับประทาน ปริมาณน้ำมันพืชร้อยละ 0.5-1.0 จะช่วยในการไหลลื่นของแป้งส่วนผสมในกระบวนการผลิตที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิ ความดันสูง และความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 25 ได้ดีขึ้น ทำให้คุณภาพการสัมผัสขณะรับประทานของขนมกรอบดีขึ้นด้วย เพราะน้ำมันจะไปแทรกอยู่ระหว่างอณูของแป้ง โปรตีน แล้วทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งไม่แข็งกระด้าง (Guy, 1994) ซึ่งจะได้สูตรส่วนผสมที่ประกอบด้วยข้าวโพดเกล็ด น้ำตาลทราย น้ำมันพืช แคลเซียมคาร์บอเนต และวิตามินเกลือแร่ผสม ร้อยละ 93 3 2 1 และ 1 ตามลำดับ ขนมกรอบที่ได้มีอัตราการพองตัว 3.90 ความหนาแน่น 70 กรัมต่อลิตร และแรงกดแตก 7,061 กรัม ต่อมาได้พัฒนาสูตรพื้นฐานดังกล่าวใหม่เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น โดยใช้ปลายข้าวเสริมเข้าไปแทนที่ข้าวโพดเกล็ดในส่วนผสมพื้นฐาน ซึ่งสามารถใช้ปลายข้าวเสริมได้ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 80 แต่ขนมกรอบที่มีปลายข้าวเสริมเข้าไปแทนที่ข้าวโพดเกล็ดร้อยละ 50 นั้น จะมีอัตราการพองตัว 3.70 ความหนาแน่น 76.60 กรัมต่อลิตร และแรงกดแตก 9,838 กรัม บ่งชี้ได้ว่าเป็นขนมกรอบที่มีเนื้อสัมผัสกรอบ แน่น นุ่ม ดีที่สุด และได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสทุกลักษณะที่ดีกว่าขนมกรอบที่ทำมาจากการใช้ข้าวโพดเกล็ดเป็นองค์ประกอบหลักแต่เพียงอย่างเดียว

**2) ข้าวหอมมะลิ (jasmine rice)**

ข้าวหอมมะลิ หมายถึง ข้าวที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. ข้าวหอมมะลิเป็นชื่อที่ผู้บริโภคและผู้ประกอบการค้าข้าวนิยมเรียก เพี้ยนมาจาก “ข้าวดอกมะลิ” มีชื่อเป็นทางการว่า “ข้าวดอกมะลิ 105” ความหมาย คือ ข้าวพันธุ์นี้จัดอยู่ในประเภทข้าวขาว เพราะข้าวเปลือกมีสีขาว หรือสีฟาง และมีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นดอกมะลิ สำหรับหมายเลข 105 หมายถึงขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ (สุนทร, 2539) ข้าวหอมมะลิพันธุ์ดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าที่มีคุณภาพเมล็ดดีมาก เมล็ดข้าวสารเรียวยาว ขาว ใส และเป็นเงาแกร่ง คุณภาพการขัดสีดี เมื่อหุงเป็นข้าวสุกจะได้ข้าวที่มีความเลื่อมมัน มีกลิ่นหอม และอ่อนนุ่ม เก็บเกี่ยวได้เร็ว (เกษตรวิจัย, 2541)

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

ปลายข้าว หรือ ข้าวหัก (brokens) เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไปแต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อเหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546)

อาหารเช้าธัญชาติที่ผลิตขึ้นจากข้าวและแป้งข้าวแบบพร้อมรับประทานได้ทันที เป็นชนิดที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากที่สุด อาหารเช้าจากข้าวและแป้งข้าวนี้สามารถแปรรูปได้ 3 ลักษณะ คือ อาหารเช้าจากข้าวและแป้งข้าวแบบพองกรอบ (puffed rice) อาหารเช้าจากข้าวและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แป้งข้าวแบบเอ็กซ์ทรูด (extruded rice) และอาหารเช้าจากข้าวและแป้งข้าวแบบชิ้น (shredded rice) และแบบแผ่นบาง (flaked rice) (Catharina *et al*., 1999)

จิราภา (2539) ได้พัฒนาอาหารเช้าชนิดแผ่นจากแป้งข้าวเจ้า โดยทำการคัดเลือกชนิดข้าวและสูตรที่เหมาะสมโดยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที พบว่าข้าวหอมมะลิ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสต่ำ มีความเหมาะสมที่สุด และสูตรควรประกอบด้วยแป้งข้าว แป้งถั่วเหลือง น้ำตาล เลซิทิน เกลือ และโปรตีนนมคิดเป็นร้อยละ 68.55 12 11 0.06 2.39 และ 6.00 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้นนำสูตรที่พัฒนาได้มาศึกษาการผลิตด้วยเครื่องเอ็กซทรูเดอร์ พบว่า การผลิตอาหารเช้าจากข้าวควรใช้ปลายข้าวบดหยาบที่ความชื้นร้อยละ 13 เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีสีน้ำตาลอ่อน มีค่าความแข็ง 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 100 กรัม ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยในการบริโภคโดยพบว่าจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับในผลิตภัณฑ์

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2542) ได้พัฒนาอาหารเช้าธัญชาติพร้อมบริโภคที่มีปลายข้าวเจ้าบดเป็นองค์ประกอบหลักโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูเดอร์ โดยใช้แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันและ/หรือแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มเสริมเข้าไปแทนที่ปลายข้าวบด กับน้ำตาลร้อยละ 5 โกโก้ผงร้อยละ 2.5 วิตามินเกลือแร่ร้อยละ 1 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.5 และกรดอะมิโนไลซีน 0.25 ของส่วนประกอบทั้งหมด พบว่าสามารถแทนที่ปลายข้าวบดด้วยแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันและแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มได้ร้อยละ 10 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสดี มีความหนาแน่น 166 กรัมต่อลิตร อัตราการพองตัว 3.0 และวัดแรงกดแตกได้ 4,700 กรัม คุณค่าทางโภชนาการสูง มีปริมาณและคุณภาพของโปรตีนที่ดี จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่า ใน 100 กรัม มีโปรตีน ร้อยละ 11.80 หรือ 3.02 กรัมต่อ 100 กิโลแคลอรี ใยอาหาร 3.6 กรัม วิตามินเอ 254 มิลลิกรัม (838 IU) วิตามินบีสิบสอง 1.2 ไมโครกรัม แคลเซียม 600 มิลลิกรัม และไอโอดีน 197 ไมโครกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าในอาหารเช้าธัญชาติประเภทเดียวกันที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ศิราพร และคณะ (2534) ได้พัฒนาอาหารเช้าพร้อมบริโภคโดยใช้ปลายข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบหลักในการแปรรูปด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (extruder; Barbender model 8 23500) พบว่าน้ำตาลที่ใช้มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลและการพองของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อใช้น้ำตาลมากขึ้น น้ำตาลจะเข้าไปแย่งจับกับโมเลกุลน้ำ ทำให้น้ำเข้าไปในโมเลกุลแป้งได้ลดลง ดังนั้นแป้งจึงดูดน้ำได้น้อยลง มีผลให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลงไปด้วย และพบว่าเมื่อปริมาณอะไมโลสลดลงจะทำให้โครงสร้างสามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วขึ้นและพองตัวได้ดีขึ้น ส่วนความชื้นของโดก่อนผ่านเข้าไปในเครื่อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เอ็กซ์ทรูเดอร์เป็นร้อยละ 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 ของเครื่องเอ็กซทรูเดอร์ (feed section) ใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โซนที่ 2 ของเครื่องเอ็กซทรูเดอร์ (compression section) ใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โซนที่ 3 ของเครื่องเอ็กซทรูเดอร์ (metering section) ใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ขนาดหน้าแปลน 2 มิลลิเมตร ความเร็วรอบของสกรู 200 รอบต่อนาที ความเร็วมอเตอร์สำหรับการป้อนวัตถุดิบ 40 รอบต่อนาที คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.63 และปริมาณไขมันร้อยละ 2.2 และผู้ทดสอบชิมยอมรับในผลิตภัณฑ์

**2.2.3 การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบในระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน**

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเกี่ยวข้องกับการทำให้ส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนสุก ทำให้เกิดรูปร่างเนื้อสัมผัส และเกิดการพองอย่างเต็มที่ (puffing) กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแตกต่างจากกระบวนการอื่นๆ คือ ขั้นตอนต่างๆ ของการแปรรูปเหล่านี้เกิดขึ้นที่ความร้อนค่อนข้างต่ำภายในสภาวะที่อุณหภูมิและแรงเฉือนสูงมากเป็นเวลาสั้นๆ ซึ่งภายใต้สภาวะเช่นนี้ แป้งและโปรตีนที่ยังมีลักษณะตามธรรมชาติ (raw) จะมีการเปลี่ยนรูปเพื่อให้ได้อาหารที่มีโครงสร้างใหม่

**1) แป้ง (starch)**

แป้งเป็นส่วนผสมหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยว และอาหารพวกธัญชาติที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน กริทของธัญชาติที่สกัดเอาเจิมออก (degermed cereal grit) แล้ว จะใช้เป็นวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มากกว่าการใช้แป้งบริสุทธิ์เพื่อให้โปรตีน ไขมัน และเส้นใยบางส่วนยังมีอยู่ในส่วนผสมของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง

แป้งเป็นไบโอโพลิเมอร์ของกลูโคสที่ใหญ่มาก โดยทั่วไปกลูโคส 1 โมเลกุลจะเชื่อมปลายด้านหนึ่งกับปลายอีกด้านหนึ่งของกลูโคสอีกหน่วยหนึ่งไปเรื่อยๆ เกิดเป็นอะไมโลสของแป้ง เมื่อลักษณะการต่อของกลูโคสเป็นกิ่งก้าน จะเรียกโมเลกุลของแป้งนี้ว่าอะไมโลเพคติน ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับพุ่มไม้ที่หนาทึบ แป้งเป็นธัญชาติส่วนใหญ่มักจะมีอะไมโลสอยู่ร้อยละ 25-30 ส่วนที่เหลือจะเป็นอะไมโลเพคติน แป้งในรูปที่เป็นธรรมชาติ โมเลกุลของแป้งมักเป็นผลึก และอยู่ในรูปของกรานูล (granule) ทรงกลม แต่ถ้ามีการทำให้สุกที่ความชื้นสูง แป้งในกรานูลเหล่านี้จะขยายตัว ดูดซับ และจับโมเลกุลของน้ำไว้จำนวนมาก เกิดเป็นเพสท์ที่ข้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นต่ำที่ใช้สำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น การเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งขึ้นกับผลของความร้อน และแรงเฉือนทางกลร่วมกัน เม็ดแป้งจะถูกเฉือนขณะที่ผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ การกระทำทางกลนี้จะเปิดกรานูลภายในของแป้งออก (Mercier, 1980) การไหลของส่วนผสมต่างๆ ที่เหนียวในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ต้องอาศัยพลังงานทางกลจำนวนมากเพื่อใช้หมุนสกรู ซึ่งจะปล่อยออกมาเป็นความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลแป้งที่ใหญ่กว่าบางโมเลกุลจะแตกออกเป็นโมเลกุลที่เล็กลง (dexturization) เนื่องจากการเฉือนและแสดงความสามารถในการละลายน้ำได้มากกว่า ผลของการเจลาติไนเซชันและเดกซ์เจอร์ไรเซชัน คือ ได้โดที่เหนียว หรือโดที่หลอมซึ่งสามารถเอ็กซ์ทรูดผ่านได เพื่อขึ้นรูป และพองเมื่อความชื้นภายในที่มีอุณหภูมิสูงเปลี่ยนไปเป็นไอน้ำหลังออกจากหน้าแปลนแล้ว

ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ขึ้นกับปริมาณของการเปลี่ยนรูปของแป้งระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ผลิตภัณฑ์ที่มีเมทริกซ์ที่แข็งกว่า เงากว่า และมีขนาดของรูใหญ่กว่า เป็นลักษณะเฉพาะของการทำให้สุกด้วยการเฉือนที่ต่ำภายใต้สภาวะความชื้นที่สูงกว่า ความเสียหายของแป้งจะลดลงเมื่อให้พลังงานกลแก่ผลิตภัณฑ์น้อยลง และให้ปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นโดยการพ่นไอน้ำ หรือการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังบาเรล ผลิตภัณฑ์ที่นุ่มและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ (hydratable) มีแนวโน้มที่จะเหนียวติดฟัน เมื่อรับประทานจะมีขนาดของรูภายในเอ็กซ์ทรูเดทที่เล็กกว่าและผนังเซลบางกว่า และเป็นลักษณะเฉพาะของการผลิตในสภาวะที่มีการเฉือนสูงซึ่งพลังงานกลจำนวนมากกระจายออกมา (รุ่งนภา, 2544)

Sacchetti *et al*. (2004) ศึกษาผลของอุณหภูมิและส่วนผสมของวัตถุดิบต่อคุณภาพทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมกรอบจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งเกาลัด (chestnut flour) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเกาลัดมากขึ้นจะมีผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันและอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากแป้งเกาลัดมีปริมาณน้ำตาลที่ค่อนข้างมาก และหากมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเข้ามาร่วมด้วยก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Maillard reaction) หากผสมแป้งเกาลัดในปริมาณร้อยละ 30 เข้ากับแป้งข้าวเจ้า และใช้อุณหภูมิในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่ 120 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเจลาติไนเซชันและอัตราการพองตัวที่ดี เป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัสมากขึ้น

**2) โปรตีน (protein)**

โปรตีนถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้ว สามารถเปลี่ยนให้มีโครงสร้างใหม่ของโมเลกุลโปรตีนไปเป็นมวลที่มีไขว้ (cross linked) เป็นชั้นๆ ที่ต้านทานต่อการแตก เมื่อมีการให้ความร้อนต่อไป โปรตีนถั่วเหลืองจะมีความชื้นร้อยละ 33-45 และได้รับความร้อนและการเฉือนในการหมุนช่วงต้นของสกรูของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ทำให้โปรตีนที่เป็นธรรมชาติ (native globular) เปลี่ยนไปเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โมเลกุลที่ไม่มีการพับซ้อน (unfold) ด้วยการทำลายพันธะเคมีที่ยึดโครงสร้างตติยภูมิที่เป็นธรรมชาติ โมเลกุลโปรตีนที่ไม่ได้พับซ้อนนี้จะเรียงเป็นเส้นตรงเองในทิศทางการไหลของร่องเกลียวของสกรูและช่องว่างหลังได การไหลเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้โมเลกุลนี้มีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรง (alignment) และเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็น 140-160 องศาเซลเซียส การไขว้กันทางเคมีจะเกิดขึ้นอีกเพื่อให้โครงสร้างที่เป็นเส้นใย และเป็นชั้นซึ่งเลียนแบบเนื้อ (รุ่งนภา, 2544)

**2.3 ฟักทองและผลิตภัณฑ์จากฟักทอง**

ฟักทอง (*Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.) เป็นพืชที่ปลูกง่าย ใช้น้ำน้อย และสามารถเจริญเติบโตได้ในทุกภาคของประเทศไทย ฟักทองจึงเป็นพืชที่คนไทยนิยมบริโภคมาช้านาน ผลิตผลแทบทุกส่วนของต้นฟักทอง เช่น ยอด ดอก และผล สามารถใช้ปรุงอาหารคาว-หวานได้ ในประเทศไทย นิยมปลูกฟักทองพันธุ์ลูกเล็กที่ให้เนื้อหวานมัน เหมาะสำหรับทำอาหาร พันธุ์ที่ปลูกกันในประเทศไทยมีทั้งพันธุ์พื้นเมืองผิวขรุขระ เรียกว่า พันธุ์คางคก พันธุ์ลูกผสมที่บริษัทเอกชนจัดจำหน่าย เช่น พันธุ์ศรีเมือง บึงกาฬ โสภา บิ๊กโกลด์ เป็นต้น รวมถึงพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น ฟักทองสีส้ม และพันธุ์ญี่ปุ่น รายละเอียดดังต่อไปนี้ (สุปรียา และพจน์, 2546)

ฟักทองพันธุ์ศรีเมือง มีลักษณะผิวคล้ายคางคก ผลเป็นพู มีเนื้อหนา แน่น เหนียว สีเหลืองสด รสชาติหวาน มัน เมื่อปรุงสุก เนื้อจะคงรูปดี ไม่เละ ผลแก่จะเป็นสีเขียวเข้มเลื่อม ผลแก่จัดเป็นสีเขียวขึ้นนวล

ในเนื้อฟักทองมีสารเบต้า-แคโรทีน และธาตุโพแทสเซียมสูง เท่ากับ 3.1 และ 282 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (กองโภชนาการ, 2535) มีกรดยูริกต่ำ ไม่พบสารพิวรินและกรดออกซิลิค (Veljkovic, 1992) Biesalski (1996) และ Lachance and Fisher (1990) รายงานว่า สารเบต้า-แคโรทีนมีประโยชน์ต่อการทำงานของร่างกาย เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (antioxidation) โดยช่วยกำจัดอนุมูลอิสระ (free radicals) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งชนิดต่างๆ สารเบต้า-แคโรทีนเป็นสารที่พบมากที่สุด (ร้อยละ 90) ในสารประกอบแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นของวิตามินเอ (provitamin A) (Badifu *et al*., 1995) สารเบต้าแคโรทีนจะมีการเปลี่ยนแปลง 2 ลักษณะ คือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้าง (isomerization) และการเปลี่ยนแปลงในลักษณะการสลายตัว (degradation) แบบ oxidative degradation ในสภาวะที่มีออกซิเจนและความร้อนจะเกิดเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ การป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเก็บรักษาทำได้หลายวิธีเช่น การใช้ความร้อนและการใช้สารเคมี เช่น โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ butylated hydroxyl anisole (BHA) butylated hydroxyl toluene (BHT) citric acid และ ascorbic acid (Godoy and Delia, 1987; Sudhakar and Maini, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จรัสพรรณ และนาตยา (2535) ศึกษาการนำฟักทองนึ่งสุกมาผสมกับแป้งสาลีในการทำขนมปัง พบว่าสามารถผสมได้ถึงร้อยละ 20 ของน้ำหนักแป้งสาลี โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้การยอมรับในด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติและปริมาตร อยู่ในระดับความชอบปานกลาง

ลมัย และทวีศักดิ์ (2540) ได้ศึกษาคุณลักษณะบางประการของฟักทองพื้นเมืองที่มีผลต่อคุณภาพฟักทอง และการใช้ประโยชน์ในอาหารขบเคี้ยวพบว่า ขนาดของผลฟักทองมีผลต่อคุณภาพของเนื้อฟักทอง โดยพบว่าฟักทองที่มีผลหนัก 0.9-2.1 กิโลกรัม จะมีคุณภาพดีที่สุด และเมื่อนำมาทำอาหารขบเคี้ยวพบว่า การใช้เนื้อฟักทองร้อยละ 10 ในสูตรได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงสุด โดยมีปริมาณโปรตีน เถ้า และเยื่อใยหยาบ ร้อยละ 12.7 7.04 และ 3.20 ตามลำดับ

ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีการใช้ประโยชน์จากฟักทองในเชิงอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง ทำให้ตลาดของฟักทองไม่ขยายและราคาผันแปรไปตามความต้องการของตลาดสด เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีฟักทองปริมาณมาก ทำให้ราคาต่ำ อีกทั้งอายุการเก็บรักษาผลฟักทองค่อนข้างจำกัด จิรภา และคณะ (2546) จึงได้ศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพของฟักทอง และศึกษาผลของกรรมวิธีการเตรียมและการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพฟักทองผง เพื่อใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ได้สะดวกขึ้น จากการศึกษาโดยใช้ฟักทอง 20 พันธุ์ซึ่งปลูก ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พบว่าฟักทองดิบมีค่าสีในช่วง L*39.1$\pm$3.3 a*4.7$\pm$2.1 b*23.9$\pm$6.1 มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 81$\pm$2.10 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 10.10$\pm$1.56 องศาบริกซ์ ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์เฉลี่ยร้อยละ 7.29$\pm$2.14 มีคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายดูดซึมได้ร้อยละ 4.76$\pm$0.50 ประกอบด้วย สตาร์ช กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ร้อยละ 0.75$\pm$0.06 1.51$\pm$0.95 1.35$\pm$0.90 และ 1.15$\pm$0.54 ตามลำดับ มีเยื่อใยอาหารร้อยละ 2.56$\pm$0.20 ซึ่งเป็นส่วนของเยื่อใยอาหารที่ละลายได้ และเยื่อใยอาหารที่ละลายไม่ได้ร้อยละ 1.03$\pm$0.09 และ 1.53$\pm$0.42 ตามลำดับ มีปริมาณสารเบต้า-แคโรทีน 2.86$\pm$0.57 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม จากการศึกษาผลของกรรมวิธีการเตรียมและการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพฟักทองผง 6 วิธี คือ ฟักทองสับละเอียด-อบตู้อบลมร้อน ฟักทองแช่กรดซิตริก (ร้อยละ0.1 นาน 15 นาที) สับละเอียด อบตู้อบลมร้อน ฟักทองแช่สารสะลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (250 ppm นาน 10 นาที) สับละเอียด อบตู้อบลมร้อน ฟักทองลวกด้วยน้ำเดือด (นาน 1 นาที) สับละเอียด อบตู้อบลมร้อน ฟักทองสับละเอียด บีบน้ำ (ความดัน 100 บาร์) อบตู้อบลมร้อน และ ฟักทองสับละเอียด ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ผลการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี รวมทั้งต้นทุนการผลิตฟักทองผง พบว่า ฟักทองผงที่ผลิตโดยวิธีการสับละเอียด บีบน้ำที่ความดัน 100 บาร์ อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสโดยตู้อบลมร้อนใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น (12 ชั่วโมง) มีต้นทุนการผลิตต่ำสุด และให้คุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ดีกว่าตัวอย่างอื่นๆ โดยมีค่าสีเท่ากับ L*74.15 a*2.33 b*61.33 มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าดรรชนีการละลายน้ำร้อยละ 84.35 ค่าดรรชนีการดูดซึมน้ำ 3.73 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง มีอุณหภูมิการเกิดเจลที่ 95 องศาเซลเซียส และปริมาณผลผลิตที่ได้ทั้งหมดร้อยละ 14.32 ผลิตภัณฑ์มีค่าปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใยหยาบ เถ้า และปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์เท่ากับร้อยละ 5.13 1.70 2.21 3.29 3.24 และ 12.43 ตามลำดับ และมีปริมาณเบต้า-แคโรทีน 3.77 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

ต่อมา จิรภา และคณะ (2547) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากฟักทองผงที่เตรียมได้ในผลิตภัณฑ์ขนมไทยเพื่อเสริมสารเบต้า-แคโรทีน โดยใช้ฟักทองผงที่ระดับต่างๆ ของน้ำหนักแป้งในตัวแทนขนมไทย 5 ชนิด คือ ขนมชั้น ขนมเทียน ขนมน้ำดอกไม้ ขนมปุยฝ้าย และขนมปั้นขลิบทอด พบว่าขนมชั้น ขนมเทียน ขนมน้ำดอกไม้ และขนมปั้นขลิบ สามารถใช้ฟักทองผงผสมได้ร้อยละ 15 ส่วนขนมปุยฝ้ายใช้ฟักทองผงผสมได้ร้อยละ 10 ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมและผู้บริโภค และมีปริมาณวิตามินเอเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.28-1.26 ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทย โดยผู้บริโภคชอบขนมชั้นเป็นอันดับที่หนึ่งให้การยอมรับและตัดสินใจซื้อร้อยละ 96 และ 88 ตามลำดับ อันดับที่สองคือขนมเทียนให้การยอมรับผลิตภัณฑ์และตัดสินใจซื้อร้อยละ 93.9 และ 64.3 อันดับที่สามคือขนมปุยฝ้ายให้การยอมรับผลิตภัณฑ์และตัดสินในซื้อร้อยละ 92 และ 49 ส่วนอันดับสุดท้าย คือ ขนมน้ำดอกไม้และขนมปั้นขลิบทอด ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์และตัดสินใจซื้อร้อยละ 83.30 71.6 และ 55.2 54.7 ตามลำดับ เนื่องจากลักษณะปรากฏของขนมกลุ่มนี้มีคุณภาพด้อยกว่าผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมที่วางจำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งฟักทองผงจะมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์โดยค่าความสว่างของสี (L*) จะลดลงตามระดับของฟักทองผงที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มของสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มสูงขึ้น หากขนมไทยมีสูตรส่วนผสมของไขมันอยู่สูง เช่น ขนมชั้น จะให้สีเหลืองและสีแดงของสารเบต้า-แคโรทีนที่เด่นชัดเมื่อเพิ่มระดับฟักทองผง เนื่องจากสารเบต้า-แคโรทีนสามารถละลายได้ดีในไขมัน ส่วนขนมปั้นขลิบทอดนั้นพบว่ามีค่าความเข้มของสีแดงสูงที่สุด แต่มีความเข้มของสีเหลืองน้อยที่สุดซึ่งเป็นผลมาจากที่ผ่านการทอดในน้ำมันพืชร้อนซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวและมีออกซิเจน จึงมีผลทำให้เกิดการออกซิเดชั่นของเบต้า-แคโรทีน ส่วนปริมาณของสารเบต้า-แคโรทีนนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับของฟักทองผงที่เพิ่มมากขึ้น แต่พบว่าในขนมชั้นมีน้อยที่สุดซึ่งเป็นผลมาจากที่สารเบต้า-แคโรทีนละลายในไขมัน ในขั้นตอนผลิตจึงพบสารสีเหลืองละลายออกมาโดยรอบผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved