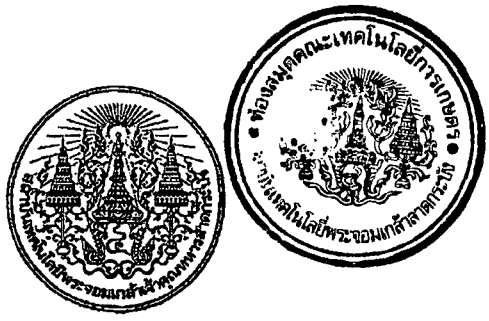


ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของข้าวเจ้ากับแป้งสาลี และข้าวเจ้ากับคอร์นกริท ในการผลิตเอกซ์ทรูเดต

(A Study of appropriate ratio of rice-wheat flour and rice-corn grit for extrudate production)

โดย

นางสาวรุจิรัตน์ แก้วเรืองฤทธิ์

นางสาวศิรินทร์ เมฆอรุณวิทยา

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 25 มี.ค. 2540 **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(รศ. จงพงษ์ ปัญญาดนตรี)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

..... ผศ.ดร.ระดิพร หาเรือนกิจ)

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 30 **เดือน** มีนาคม **พ.ศ.** 2540

ฝ่ายวิทยทรัพยากร
8 ส.ค. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14926

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของข้าวเจ้ากับแป้งสาลี และข้าวเจ้ากับคอร์นกริท ในการผลิตเอกซ์ทรูเดต

(A Study of appropriate ratio of rice-wheat flour and rice-corn grit for extrudate production)

T097113

นางสาวรุจิรัตน์ แก้วเรืองฤทธิ์
นางสาวศิรินทร์ เมฆอรุณวิทยา

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2540

ปพ.
ร661ก
2540
ฉ. 2
เลขหมู่ 97113
เลขทะเบียน
วัน.เดือน.ปี

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ศิรินทร์ เมฆอรุณวิทยา และ รุจิรัตน์ แก้วเรืองฤทธิ์, 2540 การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของข้าวเจ้ากับแป้งสาลีและข้าวเจ้ากับคอร์นกริทในการผลิตเอกซ์ทรูเดท (A Study of appropriate ratio of rice-Wheat flour and rice-corn grit for extrudate production) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร .รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ

ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสามารถใช้วัตถุดิบที่เป็นธัญพืชได้หลายชนิดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ในที่นี้จะศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างข้าวเจ้ากับแป้งสาลี และข้าวเจ้ากับคอร์นกริท โดยใช้อัตราส่วน 100:0, 80:20 , 60:40 , 40:60 , 20:80 และ 0:100 เมื่อใช้ข้าวเจ้ากับแป้งสาลี พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมคือปริมาณแป้งสาลี 20-40% และเมื่อใช้ข้าวเจ้ากับคอร์นกริท พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมคือปริมาณคอร์นกริทมากกว่า 60% เนื่องจากที่สัดส่วนนี้จะให้ค่า Degree of Gelatinization และค่า Expansion ratio สูง ส่วนค่า Water Holding Capacity, Bulk Density และPenetration force(ค่าแรงกดทะลุ) ต่ำ

รุจิรัตน์ แก้วเรืองฤทธิ์
ศิรินทร์ เมฆอรุณวิทยา ....

ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ได้สละเวลาให้ความรู้ ความเข้าใจ คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง รวมทั้งได้ตรวจแก้ไขรูปเล่มปัญหาพิเศษ จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.ประชา บุญญสิริกูล ที่สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้อำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำในการใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ทำให้การทดลองสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาหอการค้าไทยที่ได้อำนวยความสะดวกและแนะนำการใช้เครื่องมือวัดแรงกดซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการทำปัญหาพิเศษ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ธุรการ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเป็นอย่างยิ่ง ที่ได้อำนวยความสะดวกในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ อยู่ดูแลและเป็นกำลังใจตลอดการทำปัญหาพิเศษ

รุจิรัตน์ แก้วเรืองฤทธิ์

(นางสาวรุจิรัตน์ แก้วเรืองฤทธิ์)

ศิรินทร์ เมฆอรุณวิทยา

(นางสาวศิรินทร์ เมฆอรุณวิทยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	หน้า
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	
2.1 ข้าวเจ้า	3
2.2 ข้าวสาลี	4
2.3 ข้าวโพด	13
2.4 ขนมขบเคี้ยว	19
2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 วัตถุดิบ	29
3.2 อุปกรณ์	29
3.3 สารเคมี	30
3.4 ขั้นตอน และวิธีการทดลอง	32
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 ปริมาณความชื้น และปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้า แป้งสาลี และคอร์นกริท	37
4.2 คุณภาพของเอกซ์ทรูเดตที่เตรียมจากข้าวเจ้ากับ แป้งสาลี ในอัตราส่วนต่างๆ	37
4.3 คุณภาพของเอกซ์ทรูเดตที่เตรียมจากข้าวเจ้ากับ คอร์นกริท ในอัตราส่วนต่างๆ	40
5. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44
ประวัติผู้เขียน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันประเทศไทยเรามีการผลิตข้าวเป็นอาหารหลัก และยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในการนำรายได้เข้าสู่ประเทศไทยอีกด้วย ทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว โดยมีการส่งออกไปต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ในรูปของเมล็ดข้าวและในรูปของแป้งข้าว ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้ปริมาณมากในแต่ละปี ในปี พ.ศ. 2539/40 สามารถผลิตได้ 17.759 ล้านตัน นอกจากการใช้บริโภคเป็นอาหารหลักและการส่งออกแล้ว ยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นเพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร และเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการอาหารอีกด้วย

กระบวนการเอกซ์ทรูชัน นิยมใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว หรือ พวก breakfast cereal ขนมปังกรอบ เป็นต้น โดยใช้วัตถุดิบเป็นพวกธัญพืช คุณสมบัติของส่วนผสมของอาหารที่ป้อนเข้าสู่เครื่องมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และสีของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ซึ่งเรียกว่า เอกซ์ทรูเดต (extrudate) โดยปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ ความชื้น ขนาดของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ โดยลักษณะเฉพาะทางด้านเนื้อสัมผัสมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Clark และ Lee-Tuffnell, 1986)

กระบวนการเอกซ์ทรูชันเป็นเทคนิคการแปรรูปอาหารที่ใช้อุณหภูมิและความดันสูง โดยรวมเอาหน่วยปฏิบัติการหลายหน่วยเข้าด้วยกัน ได้แก่ การผสม การทำให้สุก การนวด การเฉือน และการทำให้เกิดรูปร่างโดยการบังคับส่วนผสมของวัตถุดิบที่หลอมเหลวให้ผ่านได (die) ด้วยความดัน ในปัจจุบันมีการใช้กระบวนการนี้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย กระบวนการเอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่มิได้เป็นการถนอมอาหารโดยตรง แต่มีผลต่อการถนอมอาหารเนื่องจากผลของการลดวอเตอร์แอคทิวิตี้ในอาหาร หรือเป็นผลจากการทำลายเอนไซม์หรือจุลิจทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ (รุ่งนภา,2539)

เนื่องจากอาหารขบเคี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยม รับประทานง่าย หาซื้อได้ทั่วไป โดยนิยมรับประทานในระหว่างมื้ออาหาร หรือบางครั้งในช่วงเวลารีบด่วน อาจรับประทานเป็นอาหารมื้อหนึ่ง ดังนั้นอาหารขบเคี้ยวควรมีคุณค่าทางด้านโภชนาการ จึงมีการพัฒนาการผลิตอาหารขบเคี้ยวโดยผสมแป้งสาลี และคอร์นกริท

ข้าวเจ้ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง แป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนสูง ส่วนคอร์นกริทมีปริมาณสารเยื่อใยสูง(FAO,1972) ซึ่งในการผลิตอาหารขบเคี้ยวจากวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดนี้ ต้องมีการศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเนื่องจาก ความชื้น และขนาดของอนุภาคมีผลต่อเนื้อสัมผัสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการผสมสัดส่วนของข้าวกับแป้งสาลี และข้าวเจ้ากับคอร์นกริท จะใช้ขนาดอนุภาคของข้าวเจ้าที่เล็กกว่า 50 mesh และความชื้นของวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็น 15% (วลัยลัคณ์ , 2539)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของข้าวเจ้ากับแป้งสาลีในการผลิตเอกซ์ทรูเดต
2. เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของข้าวเจ้ากับคอร์นกริทในการผลิตเอกซ์ทรูเดต

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1ข้าวเจ้า

ข้าวเจ้ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Oryza sativa L. ลักษณะของผลเป็นผลเดี่ยวแบบ covered caryopis ซึ่งมีเปลือกหุ้มเมล็ดติดอยู่แน่นข้าวเจ้าจัดอยู่ในกลุ่มของธัญพืช แบบ Milletlike cereal

ข้าวจัดอยู่ในพืชตระกูลหญ้า (Graminae) และสกุล Oryza ซึ่งมีปลูกกันมากอยู่สองชนิดคือ Oryza sativa และ Oryza gaberrima โดยที่ชนิด Oryza sativa ยังสามารถจำแนกออกได้อีก 3 ชนิด ดังนี้คือ(วุฒิชัย, 2535)

(1) อินดิคา (Indica type) เป็นข้าวเจ้าที่มีลักษณะของเมล็ดเรียวยาวค่อนข้างแบน มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (lenght/width ratio, L/W) ประมาณ 3.1-3.5 ปลูกกันมากในประเทศไทย จีน อินเดีย และฟิลิปปินส์

(2) จาปอนนิคา (Japonica type) เป็นข้าวที่มีลักษณะของเมล็ดสั้น และค่อนข้างกลม มี L/W ประมาณ 1.4-2.9 ปลูกกันมากในประเทศจีน เกาหลี ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา

(3) จาวานิคา (Javanica type) เป็นข้าวเจ้าที่มีลักษณะอยู่ระหว่างชนิดอินดิคา และชนิดจาปอนนิคา มีปลูกเฉพาะในประเทศอินโดนีเซียเท่านั้น ไม่มีความสำคัญทางการค้า

ข้าวเจ้าชนิดอินดิคา และชนิดจาปอนนิคา เป็นข้าวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เมื่อนำมาหุงจนสุก ข้าวชนิดอินดิคาจะร่วนไม่จับกันเป็นก้อน ในขณะที่ข้าวชนิดจาปอนนิคาจะเหนียวและจับกันเป็นก้อน

ส่วนของเมล็ดข้าวเจ้าที่นำมาใช้ประโยชน์

(1) แกลบ (Hull or Husk) ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ใช้เป็นวัสดุรองรับการสั่นสะเทือนในการขนส่ง ใช้เป็นสารช่วยกรอง (filter aid) ในการกรองสารบางอย่าง ในทางการเกษตรใช้เป็นอาหารสัตว์ และวัตถุบำรุงดิน ใช้ในการทำอิฐเผาสำหรับการก่อสร้างเพราะมี ซิลิกา (silica) อยู่มาก ในบางประเทศนำแกลบไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตสารประกอบเฟอร์ฟิวราล (furfural)

(2) รำข้าว (Rice bran) ปัจจุบันนำไปเป็นอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ นำไปทำเป็นอาหารของมนุษย์บ้าง โดยใช้รำข้าวละเอียด โดยใช้ผสมในการทำอาหารเด็กอ่อนในทางเภสัชกรรมจะนำรำข้าวไปสกัดวิตามินบี ออกมา เพราะว่ามี วิตามินบี 1 (thiamine) วิตามินบี 2 (riboflavin) และไนอาซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(niacin) สูง ในทางการแพทย์ใช้รำข้าวเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์สารประกอบแอลกอฮอล์ประเภท cyclic alcohol inositol เพราะรำข้าวมีสารประกอบไฟติน (phytin) สูง นอกจากนั้นในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันพืชเพื่อการบริโภค ยังได้นำรำข้าวมาเป็นวัตถุดิบในการสกัดน้ำมัน เนื่องจากรำข้าวมีน้ำมันอยู่มาก

(3) เอนโดสเปอร์ม เป็นส่วนที่มนุษย์สามารถใช้บริโภคโดยตรง หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ ในการบริโภคโดยตรงอยู่ในรูปของเมล็ดที่ผ่านการหุงต้มเป็นข้าวสุก ส่วนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นั้น มีหลายชนิด เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว Rice cake rice cracker quick-cooking rice เหล้าสาเก น้ำส้มสายชู และโจ๊กสำเร็จรูป เป็นต้น

ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ลักษณะประจำพันธุ์ของขาวดอกมะลิ 105 คือเป็นข้าวเจ้านาปี หรือข้าวไวต่อช่วงแสง ความสูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร ต้นและใบมีสีเขียวอ่อน ใบค่อนข้างแคบ และยาว ออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม รวงมีขนาดปานกลาง ระแง้ไม่ถี่และไม่ห่าง เปลือกเมล็ดมีสีฟาง เมล็ดเรียวยาว เมล็ดข้าวกล้องยาว 7.5 มม. กว้าง 2.1 มม. หนา 1.8 มม. เมล็ดข้าวสารใส เลื่อมมัน เปอร์เซนต์อะไมโลส 12-16% ข้าวสุกเป็นตัว เหนียวนุ่มมีกลิ่นหอม ไม่ต้านทานต่อโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม โรคใบหงิก เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว และหนอนกอ แต่มีความทนแล้ง ทนดินเปรี้ยว ทนดินเค็ม และยังมีความต้านทานไส้เดือนฝอยรากปมอีกด้วย(สมศักดิ์, 2538)

2.2 ข้าวสาลี

2.2.1 ประเภทของข้าวสาลี

ข้าวสาลีเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในตระกูลหญ้าในสกุล Triticum และมีมากมายหลายชนิด (species)

ก. จัดโดยพิจารณาจากจำนวนโครโมโซม (chromosome) ที่มีอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์ของแต่ละชนิด สามารถได้ทั้งหมด 3 กลุ่มย่อย ๆ ดังนี้

(1) Deploid group ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีจำนวนโครโมโซม 7 โครโมโซม จัดอยู่ใน species : moncoccum มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า Einkorn

(2) Tetraploid group เป็นกลุ่มที่มีจำนวนโครโมโซม 14 โครโมโซม มีอยู่หลาย species เช่น dicoccum durum เป็นต้น

(3) Hexaploid group เป็นกลุ่มที่มีจำนวนโครโมโซม 21 โครโมโซมมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น vulgare or aestivum compactum เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การจำแนกข้าวสาลีโดยอาศัยปริมาณของโปรตีนที่มีอยู่ในเมล็ด สามารถจำแนกได้ 3 ชนิดคือ

(1) ข้าวสาลีชนิดแข็ง (hard wheat) ส่วนใหญ่เป็นข้าวสาลีที่อยู่ในกลุ่มของ hexaploid มีปริมาณของโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 12/14 ในข้าวสาลีชนิดที่เป็น hard spring wheat และ ร้อยละ 9-13 ในข้าวสาลี hard winter wheat แป้งที่ได้จากข้าวสาลีชนิดนี้เหมาะสมสำหรับทำขนมปัง จึงเรียกอีกชื่อว่า ข้าวสาลีทำขนมปัง (bread wheat) เพราะเมื่อผสมน้ำลงในแป้งในอัตราส่วนที่พอเหมาะแล้วนวดให้เข้ากันจะได้ก้อนแป้งที่มีลักษณะเหนียวยืดหยุ่นได้ เรียกว่า โด (dough) ซึ่งมีปริมาณโปรตีนกลูเต็น (gluten) เป็นองค์ประกอบในก้อนแป้งนั้นในปริมาณที่เหมาะแก่การทำขนมปัง

(2) ข้าวสาลีชนิดอ่อน (soft wheat) เป็นข้าวสาลีที่อยู่ในกลุ่มของ hexaploid มีปริมาณของโปรตีนต่ำลงมา คือ มีประมาณร้อยละ 10 ในข้าวสาลีชนิดที่เป็น soft winter wheat และร้อยละ 8-11 ในข้าวสาลีชนิด white wheat แป้งที่ได้จากข้าวสาลีชนิดนี้เหมาะที่ใช้ทำขนมเด็ก เพราะเมื่อนำมาผสมกับน้ำแล้วนวดจะได้ก้อนแป้งที่มีกลูเต็นไม่แข็งแรง ไม่เหมาะที่จะใช้ทำขนมปัง

(3) ข้าวสาลีดูรัม (durum wheat) เป็นข้าวสาลีที่อยู่ในกลุ่ม tetraploid มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 11-14 นิยมใช้ทำมักกะโรนี สปาเก็ตตี้ เพราะแม้จะมีปริมาณโปรตีนสูง แต่เมื่อผสมกับน้ำแล้วนวดจะได้โดที่มีกลูเต็น ไม่ยืดหยุ่น ไม่เหมาะในการทำขนมปัง

ค. การจำแนกชนิดของข้าวสาลีโดยอาศัยลักษณะการปลูก

(1) ข้าวสาลีที่ปลูกในฤดูหนาว เรียกว่า Winter Wheat เป็นข้าวสาลีชนิดที่ต้องปลูกปลายฤดูใบไม้ร่วง ในพื้นที่ที่ฤดูหนาวไม่หนาวจัดมากจนหิมะปกคลุมมากจนแผ่นดินเย็นจนแข็ง และไม่มีลูกเห็บตก ในขณะที่ต้นอ่อนกำลังเจริญเติบโตอย่างช้า ๆ จากฤดูใบไม้ร่วงไปจนถึงเก็บเกี่ยวได้ในฤดูใบไม้ผลิ เช่น พื้นที่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของยุโรป และตอนกลางของประเทศสหรัฐอเมริกา

(2) ข้าวสาลีที่ปลูกในฤดูใบไม้ผลิ เรียกว่า Spring Wheat เป็นข้าวสาลีที่ต้องปลูกในต้นฤดูใบไม้ผลิและเจริญเติบโตจนถึงการเก็บเกี่ยวก่อนฤดูใบไม้ร่วง ภูมิประเทศที่เหมาะสมในการปลูกข้าวสาลีชนิดนี้ คือ พื้นที่ที่มีฝนตกหนักในฤดูใบไม้ผลิ และต้นฤดูร้อน และมีอุณหภูมิสูงในช่วงเวลากลาง และปลายฤดูร้อน ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่ปลูกในฤดูหนาวไม่ได้ เนื่องจากมีหิมะตกและอุณหภูมิต่ำมาก พื้นดินเย็นแข็ง เช่น ในที่ราบของประเทศคานาดา ตอนเหนือของประเทศสหรัฐอเมริกา และสหภาพโซเวียตรัสเซีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. การจำแนกชนิดของข้าวสาลีโดยอาศัยลักษณะสีของเปลือกหุ้มเอสโดสเปอร์ม

(1) ข้าวสาลีที่มีเปลือกหุ้มเอ็นโดสเปอร์มสีแดง เรียกว่า Red Wheat

(2) ข้าวสาลีที่มีเปลือกหุ้มเอ็นโดสเปอร์มสีทอง เรียกว่า Amber Wheat

(3) ข้าวสาลีที่มีเปลือกหุ้มเอ็นโดสเปอร์มสีขาว เรียกว่า White Wheat

(4) ข้าวสาลีที่มีเปลือกหุ้มเอ็นโดสเปอร์มสีคล้ำ เรียกว่า Drak Wheat

(5) ข้าวสาลีที่มีเปลือกหุ้มเอ็นโดสเปอร์มสีเหลือง เรียกว่า Yellow Wheat

จ. การจำแนกชนิดของข้าวสาลีโดยอาศัยลักษณะของเอนโดสเปอร์มก่อนโม่

(1) ข้าวสาลีที่มีเนื้อสัมผัสของเอนโดสเปอร์มหยาบ สากคล้ายเกล็ดแก้ว เรียกว่า Vitreous Wheat

(2) ข้าวสาลีที่มีเนื้อสัมผัสของเอนโดสเปอร์มละเอียด เป็นผงคล้ายชอล์คหรือแป้ง จะเรียกว่า Mealy Wheat

ฉ. การจำแนกชนิดของข้าวสาลีโดยอาศัยลักษณะของเอนไดสเปอร์มหลังจากการโม่หรือบด

(1) เนื้อของเอนโดสเปอร์มเมื่อบด หรือโม่ จะบดยาก เป็นผงหยาบ เพราะเอนโดสเปอร์มมีความแข็ง จะเรียกว่า Hard Wheat

(2) เนื้อของเอนโดสเปอร์มเมื่อถูกนำมาบด หรือโม่จะบดง่ายเป็นผงละเอียด เพราะ เอนโดสเปอร์มมีความนิ่ม จะเรียกว่า Soft Wheat

ช. การจำแนกชนิดของข้าวสาลีโดยอาศัยลักษณะของโดที่ได้

(1) ข้าวสาลีที่ได้แป้งซึ่งเมื่อผสมกับน้ำทำเป็นโดแล้วได้โดที่แข็งแรงจะเรียกว่า Strong Wheat

(2) ข้าวสาลีที่ให้แป้งซึ่งเมื่อผสมกับน้ำจนเป็นโดแล้ว จะได้โดที่ไม่แข็งแรง จะเรียกว่า Weak Wheat

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของเอนโดสเปอร์มนี้ โดยทั่วไปมักจะพบว่าข้าวสาลีที่มีโปรตีนสูง มักจะมีเอนโดสเปอร์มแบบ vitreous มากกว่าแบบ mealy ข้าวสาลีที่มีเอนโดสเปอร์มแบบ vitreous นี้จะมีผลกระทบต่อการโม่มากกว่า ข้าวสาลีที่มีเอนโดสเปอร์มแบบ mealy และจะได้แป้งที่เมื่อผสมกับน้ำจะเป็นโดแล้วได้โดที่แข็งแรง แต่อย่างไรก็ ตาม ลักษณะเหล่านี้ก็ไม่ได้สัมพันธ์สอดคล้องเช่นนี้เสมอไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวสาลี

(1) โปรตีน

โปรตีนที่พบในข้าวสาลีมีอยู่ 5 ชนิด ตามลักษณะความสามารถในการละลายดังแสดงในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ชนิดของโปรตีนในข้าวสาลี

ชนิดของโปรตีน	%ของโปรตีนทั้งหมด	%ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวสาลี	ความสามารถในการละลาย
อัลบูมิน (albumin)	2.5	0.3	สารละลายเกลือเจือจาง
กลอบบูลิน (globulin)	5.0	0.6-0.7	สารละลายเกลือเจือจาง
โปรตีโอส (proteose)	2.5	0.3	น้ำ
โปรลามิน (prolamin) หรือไกลอาดิน(gliadin)	40-50	4.0	แอลกอฮอล์เข้มข้น 70%
กลูติลิน (glutelin) หรือกลูตินิน (glutenin)	40-50	4.0	สารละลายกรด และด่างเจือจาง

ที่มา : Kent (1975)

(2) คาร์โบไฮเดรท

ในส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรทที่เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในเมล็ดข้าวสาลีคือมีประมาณร้อยละ 83 (คิดจากน้ำหนักแห้งทั้งหมด) คาร์โบไฮเดรทที่มีมาก คือ สตาร์ช นอกนั้นเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพนโตแซน และน้ำตาล

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรทที่สำคัญมีประมาณร้อยละ 58.5 ของเมล็ดข้าวสาลี ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ อะไมโลส และ อะไมโลเปกติน โดยมีสัดส่วนของอะไมโลสในสตาร์ชประมาณร้อยละ 23 และที่เหลือเป็นอะไมโลเปคตินร้อยละ 77

น้ำตาลอิสระที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวสาลีประมาณร้อยละ 25 ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยส่วนใหญ่จะเป็นซูโครส รองลงมา คือ เมลลิไบโอสและมอลโตสตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 น้ำตาลอิสระในแป้งสาลี

ชนิดของน้ำตาลอิสระ	ปริมาณ (%)
กลูโคส (glucose)	0.01-0.09
ฟรุคโตส (fructose)	0.02-0.08
ซูโครส (sucrose)	0.19-0.26
มอลโตส (maltose)	0.06-0.10
กาแลคโตส (galactose)	0.02
เมลลิไบโอส (melibiose)	0.20
ราฟฟิโนส (raffinose)	0.07

ที่มา : Kent (1975)

สำหรับเยื่อใย ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส นั้นมักจะอยู่ในส่วนของผนังเซลมากกว่าส่วนอื่น ๆ คือ มีในส่วนที่เป็นเปลือกหุ้ม (bran) ประมาณร้อยละ 12-14 ในเอนโดสเปอร์มเพียงร้อยละ 0.1 เมื่อรวมทั้งเมล็ดจะมีประมาณร้อยละ 2

(3) ไขมัน

ไขมันที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวสาลีประมาณร้อยละ 1.8 ยังประกอบด้วยชนิดของไขมันต่าง ๆ ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ในแต่ละส่วนของเมล็ด ดังแสดงในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ปริมาณไขมันชนิดต่าง ๆ ในแต่ละส่วนของเมล็ดข้าวสาลี

ชนิดของไขมัน	ปริมาณไขมัน (%) ในส่วนของข้าวสาลี			
	ทั้งเมล็ด	เอนโดสเปอร์ม	เปลือก	คัพภะ
ไตรกลีเซอร์ไรด์ (triglyceride)	45.9	29.4	56.1	57.0
ฟอสโฟไลปิด (phospholipid)	32.0	52.4	22.5	16.5
ไกลโคไลปิด (glycolipid)				
กรดไขมัน (fatty acid),	16.4	17.1	25.1	17.8
สตีรอล (sterols),				
โมโน และ ไดกลีเซอร์ไรด์				
(mono and diglycevides)				
ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon)	1.9	น้อยมาก	0.5	3.7
และสเตริล เอสเตอร์ (steryl ester)				

ที่มา : Inglett (1974)

จะเห็นได้ว่า ไขมันที่มีข้าวสาลีส่วนใหญ่เป็น ไตรกลีเซอร์ไรด์ ฟอสโฟไลปิด และ ไกลโคไลปิด รองลงมาก็คือพวกกรดไขมัน สตีรอล โมโนและไดกลีเซอร์ไรด์ มีพวกไฮโดรคาร์บอนและสเตริลเอสเตอร์ อยู่น้อยมาก

(4) วิตามิน

ข้าวสาลีมีวิตามินบี พวกไทอะมิน (thiamine) และไนอะซิน (niacin) เป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าธัญพืชอื่น แต่มีริโบฟลาวิน (riboflavin) ต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณวิตามินในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวสาลี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ที่ความชื้น 13 %)

ส่วนของเมล็ด	ไทอะมีน[1]	ไนอะซิน[1]	ริโบฟลาวิน[2]
เพอริคาร์ป เทสต้า และชั้นไฮยาลีน	0.06	2.0	0.1
ชั้นอัลลูโรน	1.65	61.3	1.0
เอนโดสเปอร์มชั้นนอก	0.03	1.5	0.7
เอนโดสเปอร์ชั้นใน	0.01	0.5	-
คัพภะ	0.84	5.2	1.38
เยื่อสะคิวเตลลัม	15.60	3.8	1.27

ที่มา : Inglett (1974)

หมายเหตุ 1. วิเคราะห์จากข้าวสาลีพันธุ์ English Soft Wheat

2. วิเคราะห์จากข้าวสาลีพันธุ์ Manitoba Wheat

(5) แร่ธาตุ

เมล็ดข้าวสาลีมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 1.8 โดยกระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ดังนี้ เพอริคาร์ร้อยละ 5.0 เทสต้า และชั้นไฮยาลีนร้อยละ 8.0 ชั้นอัลลูโรนร้อยละ 11.0 เอนโดสเปอร์มชั้นนอกร้อยละ 0.8 เอนโดสเปอร์มชั้นในร้อยละ 0.5 และในคัพภะ กับเยื่อสะคิวเตลลัมร้อยละ 4.5 โดยเป็นแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ได้แก่ โซเดียม โปตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง สังกะสี และฟอสฟอรัส เป็นต้นดังตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ในแป้งสาลี[1] (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ที่ความชื้น 13 %)

% การสกัดแป้ง	โซเดียม	โปตัสเซียม	แคลเซียม	แมกนีเซียม	เหล็ก[2]	ทองแดง	สังกะสี	ฟอสฟอรัส
100	3.2	312	27.6	141	3.05	0.60	3.73	350
85	4.1	146	18.5	62	2.22	-	2.16	188
80	2.9	112	15.4	54	1.65	0.27	1.63	139
75	-	87	13.1	30	1.35	0.22	1.22	109
70	2.2	82	12.8	27	1.40	0.18	1.16	97
42	1.8	71	11.1	22	0.95	0.15	1.00	82

(6) เม็ดสี (pigments)

สีของเอนโดสเปอร์มขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวสาลี ข้าวสาลีทั่วไปจะมีแป้งสีเหลืองอ่อนมาก ในขณะที่ข้าวสาลีชนิดดูรัมจะมีเนื้อแป้งสีเหลืองเข้ม เม็ดสีที่ใช้สีเหลืองนี้ ประกอบด้วย คาโรทีน (carloropyhll)

(7) เอนไซม์

ภายในเมล็ดข้าวสาลีมีเอนไซด์อยู่เป็นจำนวนมาก ที่สำคัญ มีแอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase) เบต้าอะไมเลส (beta-amylaes) โปรติเอส (protease) ไลปิดเอสเตอร์เลส (lipid esterase) ไฟเตส (phytase) เป็นต้น

2.2.3 การแปรรูปเมล็ดข้าวสาลี

(1) การโม่ หรือการบดเมล็ดข้าวสาลีให้เป็นแป้ง (milling)

ในการโม่ หรือบดเมล็ดข้าวสาลีให้เป็นแป้งนั้น ผู้ที่ทำการโม่ต้องการข้าวสาลีที่มีคุณภาพดี คือ เมล็ดไม่แตกหัก สะอาดปราศจากสิ่งปะปน ไม่ว่าจะเป็นแมลง หรือวัชพืช และโรคต่าง ๆ รวมทั้งมีปริมาณความชื้นที่พอเหมาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการโม่ หรือ บดเมล็ดข้าวสาลี มีดังนี้

1.1 การทำความสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งปะปนออกไป ซึ่งอาศัยหลักการแยกต่าง ๆ กัน คือ ขนาด รูปร่าง น้ำหนัก ความถ่วงจำเพาะ อำนาจแม่เหล็ก ความหยาบของผิว และสี

1.2 การปรับความชื้นและอุณหภูมิ เป็นการปรับสถานะทางกายภาพของเมล็ดข้าว สาลี และปริมาณความชื้นภายในเมล็ด โดยการใช้ทั้งความร้อนชื้น และความร้อนแห้ง รวมทั้งความเย็น เพื่อควบคุมคุณภาพของแป้งที่ได้ และลดปริมาณการสูญเสียในขณะโม่ (miiling lost) ปริมาณความชื้นที่เหมาะนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 15-17

1.3 การโม่เมล็ดข้าวสาลี เป็นการแยกเอนโดสเปอร์มออกจากรำ และเอมบริโอ โดยการลดขนาดของเอนโดสเปอร์มให้มีขนาดเล็กลง ในขณะที่ส่วนอื่น ยังคงมีขนาดใหญ่กว่าในโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้ โม่แบบลูกกลิ้ง (roller mill) มาก เพราะว่าในขณะโม่จะส่งทั้งแรงเค้น (Shearing force) แรงเฉือน (crushing force) และแรงกด (compression force) เมล็ดข้าวสาลีทำให้แตกเป็นผงละเอียดได้ดีกว่าโม่แบบอื่น ๆ ลักษณะการโม่แบบลูกกลิ้ง จะประกอบด้วยลูกโม่ (roller) 2 อันต่อ 1 ชุด บนผิวของลูกโม่มีลักษณะเป็นรอนลูกฟูก (flute) ในการโม่จะจัดช่องว่างระหว่างลูกโม่ห่างไม่เท่ากัน และจำนวนลูกฟูกบนผิวหน้าของลูกโม่ก็แตกต่างกันตามตำแหน่งของการโม่

เมล็ดข้าวสาลีจะถูกบดหรือย่อยขนาดที่ชุดลูกโม่หยาบ (Break roll-system) ก่อนแล้วถึงส่งต่อไปยังชุดลูกโม่ละเอียด (Reduction roll-system) เพื่อย่อยให้ละเอียดมากขึ้นต่อไป ลักษณะการโม่นั้น ลูกโม่แต่ละอันในแต่ละชุด จะหมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยลูกโม่ตัวบนหมุนในอัตราความเร็ว 350 รอบต่อนาที เร็วกว่าตัวล่าง 2.5-1 เท่าในชุดลูกโม่หยาบ และ 1.25-1 เท่าในชุดลูกโม่ละเอียด

จะเห็นความแตกต่างของขนาดเอนโดสเปอร์ม และการปะปนของเปลือกกับเอนโดสเปอร์ม ที่ถูกบดโดยลูกโม่ในชุดลูกโม่หยาบ ในการโม่เมล็ดข้าวสาลี เมื่อโม่ถึงลูกโม่ชุดที่ 4 เอนโดสเปอร์มจะหลุดออกจากเปลือก และมีขนาดเล็กมาก ลูกโม่แต่ละชุดจะมีชุดตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ กันทำด้วย ลวด ผ้าไหม หรือไนลอน ที่เรียกว่า plansifter รองรับส่วนที่ถูกโม่ เพื่อแยกขนาดของส่วนที่บดได้ ซึ่งขนาดแตกต่างกัน ส่วนที่หยาบเรียกว่า semolina รองลงมาเรียกว่า middlings และละเอียดที่สุดเรียกว่า flour ส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงเหล่านี้ถ้ามีขนาดใหญ่ และรองลงมาจะถูกส่งไปโม่ในชุดโม่หยาบใหม่ แล้วถูกส่งไปยังส่วนที่เรียกว่า purifier เพื่อแยกเอาส่วนเปลือกรำหยาบ และรำละเอียดออกจากเอนโดสเปอร์มก่อน ที่จะส่งต่อไปโม่ยังชุดลูกโม่ละเอียดเพื่อบดให้ละเอียดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เป็นเอสโคสเปอร์มที่ละเอียดที่สุด เรียกว่า แป้ง (flour) จะถูกนำมาจัดแบ่งเกรดและเรียกเกรด และเรียกชื่อ ตามปริมาณแป้งที่มีอยู่ (โดยปกติเมล็ดข้าวสาลีจะมีส่วนที่เป็นแป้งร้อยละ 75.2 ในการจัดเกระจะเทียบให้ ปริมาณแป้งร้อยละ 75.2 นี้เป็นร้อยละ 100) ดังนี้

ชื่อเรียก	ปริมาณแป้ง (%)
extra short or fancy patent flour	40 - 60
short or first patent flour	60 - 70
short patent flour	70 - 80
medium patent flour	80 - 90
long patent flour	90 - 95
straight grade flour	95 - 100

2.3 ข้าวโพด

2.3.1 การจำแนกชนิดของข้าวโพด

ก. การจำแนกชนิดของข้าวโพดโดยอาศัยลักษณะกายภาพของเมล็ด สามารถแบ่งได้ทั้งหมด 6 ชนิด และรวมข้าวโพดฝักอ่อน (pod corn) อีก 1 ชนิด ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วจะจัดแบ่งชนิดของข้าวโพดได้ 7 ชนิด ดังนี้

(1) ข้าวโพดหัวบุบ (Dent corn) เป็นข้าวโพดที่มีรอยบุบตรงส่วนบนของเมล็ด ซึ่งเกิดเนื่องจากการหดตัวของเซลล์ที่เป็นที่สะสมสตาร์ช (soft starch) ในขณะที่กำลังเจริญ และเริ่มแก่ ปลูกเป็นการค้าในสหรัฐอเมริกา

(2) ข้าวโพดหัวแข็ง (Flint corn) เป็นข้าวโพดที่ประกอบด้วยสตาร์ช ประเภทสตาร์ชชนิดแข็ง (horny starch) บริเวณส่วนบนของเมล็ด และบริเวณนี้เมื่อแก่เต็มที่จะราบเรียบเนื่องจากมีการหดตัวของเซลล์ที่สะสมสตาร์ชประเภทนี้น้อย

(3) ข้าวโพดแป้ง (Flour corn) ประกอบด้วยสตาร์ชประเภทสตร์ชชนิดอ่อน (soft starch) มากกว่าสตาร์ชชนิดแข็งมาก รูปร่างและลักษณะของผลจะเรียบเสมอกัน เนื่องจากประกอบด้วยสตาร์ชชนิดอ่อนมาก จึงเหมาะสำหรับในการนำมาทำเป็นแป้ง มีปลูกมากในสหรัฐอเมริกา

(4) ข้าวโพดหวาน (Sweet corn) เป็นข้าวโพดที่มีสัดส่วนของน้ำตาลมากกว่าสตาร์ช เมื่อเวลานำส่วนผลไปตากแห้งจะพบว่ามีรอยย่น และภายในใส มีความหวาน เนื่องจากน้ำตาลไม่สามารถที่จะเปลี่ยนไปเป็นแป้งได้หมด เหมาะสำหรับแปรรูปเป็นข้าวโพดบรรจุกระป๋อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) ข้าวโพดคั่ว (Pop corn) เป็นข้าวโพดที่ประกอบด้วยเอ็นโดสเปอร์มชนิดแข็งมากกว่า ข้าวโพดหัวแข็งแต่เมล็ดเล็กกว่า ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจะแตกออก เนื่องจากการขยายตัวของโมเลกุลของน้ำ ที่ถูกสะสมในรูปของความชื้นภายในเมล็ดอย่างรวดเร็วนั่นเอง มีปลูกมากในอเมริกาใต้

(6) ข้าวโพดข้าวเหนียว (Waxy corn) เป็นข้าวโพดที่ประกอบด้วยสตาร์ช ซึ่งมีอะไมโลเปกตินสูงประมาณร้อยละ 71-72 และที่เหลืออยู่อีกประมาณร้อยละ 28-29 เป็นอะไมโลส เมล็ดจะมีลักษณะขุ่น การที่จัดเป็นข้าวโพดข้าวเหนียว เนื่องมาจาก เมื่อนำมาหัก หรือตัดบริเวณที่เป็นเอนโดสเปอร์มจะพบว่า มีส่วนที่มีลักษณะเหนียวไหลออกมา ข้าวโพดข้าวเหนียวพบครั้งแรกที่ประเทศจีน ก่อนปี ค.ศ. 1908 และแพร่เข้าสู่อเมริกาเป็นครั้งแรก ในปัจจุบันใช้ในการผลิตแป้งข้าวเหนียว (waxy starch) ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ และอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกาว

(7) ข้าวโพดฝักอ่อน ใช้ในการผลิตเป็นข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุกระป๋อง

ข. การจำแนกชนิดข้าวโพดโดยอาศัยสีของเมล็ดข้าวโพด ดังนี้คือ

(1) ข้าวโพดเหลือง (Yellow corn) เป็นข้าวโพดที่มีสีของเมล็ดข้าวโพดที่อยู่ภายในฝักจะมีสีเหลือง ถึงแม้เมล็ดจะมีสีเหลืองออกแดงก็สามารถจัดเข้าในประเภทนี้ได้

(2) ข้าวโพดขาว (White corn) เป็นข้าวโพดที่มีสีของเมล็ดข้าวโพดที่มีอยู่ภายในฝักจะมีสีค่อนข้างขาว หรือสีฟางข้าวอ่อน หรือสีชมพูอ่อน ๆ

(3) ข้าวโพดผสม (Mixed corn) เป็นข้าวโพดที่มีสีของเมล็ดต่างจากสองชนิดแรก โดยในฝักจะมีเมล็ดที่มีสีแดงเข้ม น้ำเงินเข้ม ม่วง ปะปนกับสีเหลือง ในฝักเกินร้อยละ 5 และปะปนกับสีขาวมากกว่าร้อยละ 2 จะจัดอยู่ในข้าวโพดประเภทนี้

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพด

โดยทั่วไปเมล็ดข้าวโพดจะประกอบด้วย ความชื้นร้อยละ 13.5 โปรตีนร้อยละ 10 ไขมันหรือน้ำมันร้อยละ 4 สตาร์ชร้อยละ 61 น้ำตาลร้อยละ 1.4 เพนโตแซนร้อยละ 6 เยื่อใย (crude fiber) ร้อยละ 2.3 เถ้าร้อยละ 1.4 และสารอื่น ๆ อีกประมาณร้อยละ 0.4

(1) คาร์โบไฮเดรท

คาร์โบไฮเดรทเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ หรือมากที่สุด ซึ่งประกอบด้วย สตาร์ช น้ำตาล เพนโตแซน และเยื่อใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนที่เป็นสตาร์ชซึ่งมีมากที่สุด โดยทั่วไปจะประกอบด้วยอะไมโลเปกตินร้อยละ 78 และอะไมโลสร้อยละ 22 ยกเว้นสตาร์สของข้าวโพดข้าวเหนียวซึ่งจะประกอบด้วยอะไมโลเปกตินร้อยละ 100 พบมากที่สุดในส่วนที่เป็นเอนโดสเปอร์มร้อยละ 98 (ตารางที่ 5.1)

ในเมล็ดข้าวโพดมีส่วนของน้ำตาลอยู่ร้อยละ 1.4 ซึ่งประกอบด้วย น้ำตาลซูโครสเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นเอมบริโอและเอนโดสเปอร์มประมาณร้อยละ 70 และ 28.2

(2) โปรตีน

โปรตีนพบมากที่สุดในส่วนที่เป็นเอนโดสเปอร์มร้อยละ 73.1 และเอมบริโอร้อยละ 23.9 โปรตีนที่พบส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนโปรลามีน หรือซีอีน (Zein) ร้อยละ 47.2 ในข้าวโพดโดยทั่วไป และเป็นโปรตีนกลูตินร้อยละ 35 ในข้าวโพดทั่วไป และร้อยละ 50 ในข้าวโพด opaque-2

โปรตีนซีอีนจะพบในเอนโดสเปอร์มประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย 2 ชนิด คือ ทริปโตเฟน (tryptophane) และไลซีน (lysine) จากการศึกษาพบว่าปริมาณของซีอีนมีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง (linear relationship) กับปริมาณของโปรตีนทั้งหมด คือเมื่อประมาณของโปรตีนทั้งหมดสูงขึ้นปริมาณของซีอีนจะสูงตามไปด้วยเสมอ

โปรตีนของข้าวโพดจะแตกต่างจากโปรตีนของข้าวสาลีที่ ไม่มีส่วนที่จะก่อให้เกิดกลูเต็นได้ ดังนั้นในการทำขนมปังจากแป้งข้าวโพดจึงไม่สามารถถอาศัยกระบวนการหมักได้ ต้องใช้สารเคมี เช่น ผงฟู แทน

(3) ไขมัน และน้ำมัน

ไขมัน และน้ำมันพบมากในส่วนที่เป็นเอมบริโอและเอนโดสเปอร์ม ร้อยละ 83.2 และ 15 ตามลำดับ (ตารางที่ 2.6) เมื่อเทียบกับเมล็ดพืชชนิดอื่น ๆ แล้วมีน้อยกว่า แต่น้ำมันที่ได้มีคุณภาพดีกว่า เนื่องจากประกอบด้วยโครงสร้างของกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัว (unsatulated fatty acid) คือ กรดลิโนเลอิค (linoleic acic,ร้อยละ 59) กรดโอเลอิค (oleic acid, ร้อยละ 27) กรดปาลมิติค (palmetic acid, ร้อยละ 12) กรดเตียริค (stearic acid, ร้อยละ 2) กรดลิโนเลนิค (linolenic acid, ร้อยละ 0.8) กรดอะราชิดิค (arachidic, ร้อยละ 0.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ปริมาณร้อยละของสารอาหารที่พบในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวโพด

สารอาหาร	เอนโดสเปอร์ม	เอมบริโอ	เพอริคาร์บ	ทิปแค็ป (tip cap)
โปรตีน	73.1	23.9	2.2	0.8
น้ำมัน	15.0	83.2	1.2	0.6
น้ำตาล	28.2	70.0	1.1	0.7
สตาร์ช	98.0	1.3	0.6	0.1
เถ้า	18.2	78.5	2.5	0.8

ที่มา : Leonard และ Martin (1963)

(4) เกลือแร่

เกลือแร่หรือเถ้านี้ พบมากในส่วนที่เป็นเอมบริโอประมาณร้อยละ 78.5 รองลงมาพบในเอนโดสเปอร์ร้อยละ 18.2 (ตารางที่ 4.1) โดยส่วนใหญ่เป็นธาตุแคลเซียมประมาณร้อยละ 0.018 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.30 เหล็ก และแมงกานิส ประมาณร้อยละ 24.6 และ 55 ตามลำดับ

(5) วิตามิน

นอกจากสารอาหารดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ภายในเมล็ดยังประกอบด้วยวิตามินต่าง ๆ ที่สำคัญได้แก่ วิตามินเอ บี1 บี3 แคโรทีน กรดแพนโททินิค และวิตามินอี (ตารางที่ 5.2)

ตารางที่ 2.7 ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อปอนด์) วิตามินในเมล็ดข้าวโพด

วิตามิน	มิลลิกรัมต่อปอนด์
แคโรทีน	2.20
วิตามิน เอ	1990.00
ไทอะมีน (บี 1)	2.06
ริโบฟลาวิน (บี 2)	0.06
ไนอะซิน (บี 3)	6.40
กรดแพนโททินิค	3.36
วิตามิน อี	11.21

ที่มา : Leonard และ Martin (1963)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การแปรรูปเมล็ดข้าวโพดในระดับอุตสาหกรรม

การผลิตแป้งข้าวโพด สามารถแยกออกได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะของกระบวนการดังนี้ คือ การบด หรือโม่แบบเปียก (Wet milling) การบด หรือโม่แบบแห้ง (Dry milling) (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร 2521 และ Inglett 1970)

(1) การบดหรือโม่แบบเปียก

เป็นกระบวนการที่ใช้น้ำร่วมกับการบดหรือโม่เมล็ด สำหรับกระบวนการผลิตสตาร์ช และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ได้จากกระบวนการบดหรือโม่แบบเปียก

1.1 การแช่ (steeping) เป็นขั้นตอนที่นำเอาเมล็ดข้าวโพดที่แยกออกจากฝัก และผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว ออกจากที่เก็บ (bin) ต่อจากนั้นจะนำเมล็ดข้าวโพดเหล่านี้มาแช่ในถังไม้ หรือถังสแตนเลส ในน้ำที่มีการเติมกรดซัลฟูรัส (sulfurus acid) โดยการใช้สารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1-0.2 ต้มให้ร้อนที่ 125° ฟ. แช่เป็นเวลานาน 28-48 ชม.

1.2 การบดแยกเอาคัพภะออกจากเมล็ด (degermination and germ seperation) ในขั้นตอนนี้จะบดเมล็ดที่มีความนุ่มหรือนิ่ม ซึ่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 45 ด้วยเครื่องบดแยกคัพภะ (degerminator) ซึ่งส่วนที่เป็นคัพภะ ฉีกขาด (tear) ออกจากเมล็ด ในขั้นตอนนี้จะพบว่าของผสมที่ได้จะประกอบด้วย คัพภะ เปลือกหุ้มเมล็ด สตาร์ชและกลูเต็น ซึ่งของผสมเหล่านี้จะถูกแยกออกจากกันโดยการใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน (hydrocyclone) ที่อาศัยหลักการแยกตามความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของอนุภาพโดยส่วนที่เป็นคัพภะจะลอยออกทางด้านบนส่วนที่เป็นสตาร์ช เปลือกหุ้มเมล็ด และกลูเต็น จะออกทางด้านล่าง เนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าคัพภะ

1.3 ขั้นตอนการบด และแยกเอาเยื่อใยออก (milling and fiber recobvery) เมื่อถึงขั้นนี้ ส่วนที่เหลือส่วนใหญ่ คือ สตาร์ช กลูเต็น และเปลือกหุ้มเมล็ด ส่วนต่าง ๆ เหล่านี้จะนำมาแยกออกโดยการล้างผ่านตะแกรง อนุภาคที่หยาบ (coarse paticles) เอ็นโดสเปอร์มที่แข็งส่วนใหญ่ (primarily horny endosperm) และเปลือกหุ้มตะแกรงมาโม่ หรือบดให้ละเอียดอีกครั้ง โดยขณะโม่นี้จะมีการเติมน้ำ เพื่อแยกเอาส่วนที่เป็นสตาร์ชให้ผ่านตะแกรง (ขนาด 18-20 เมส) ส่วนที่เป็นเปลือกจะค้างและถูกแยกออกไป ของผสมเหลว (slurry) ที่มีกลูเต็นละลายอยู่จะถูกนำเข้าขั้นตอนต่อไป

1.4 ขั้นตอนการแยกสตาร์ช และกลูเต็นออกจากกัน ของเหลวที่มีกลูเต็นและสตาร์ช ผสมกันอยู่นี้จะถูกนำมาแยกเอาส่วนที่เป็นกลูเต็น และสตร์ชออกจากกันด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง (high speed centrifuges) โดยจะแบ่งออกเป็นขั้นตอนการหมุนเหวี่ยง 2 ครั้ง ครั้งแรกจะสามารถแยกเอากลูเต็นออกไปได้ดี โดยกลูเต็นที่แยกได้นี้จะประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 60-70 และมีปริมาณของแข็ง (solid content) ประมาณร้อยละ 1.5-2.0 ซึ่งกลูเต็นนี้จะถูกนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
97113

มาทำให้เข้มข้นอีกครั้งด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงอีกเครื่องหนึ่ง และทำให้แห้ง ใช้ในการผสมทำอาหารสัตว์ต่อไป

ส่วนสตาร์ชที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงครั้งแรกนี้จะประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 2-2.5 นำมาทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นโดยการหมุนเหวี่ยงครั้งที่สอง ในบางโรงงานจำนำเอาส่วนนี้ผ่านเข้าไฮโดรไซโคลนแทน หลังจากที่สตาร์ชผ่านการแยกครั้งที่สองแล้วจะนำมากรองเพื่อแยกน้ำออก และนำมาทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (tunneldrier) โดยสตาร์ชจะเคลื่อนที่ไปตามสายพานซึ่งมีลูกกลิ้งที่คอยบดให้ก้อนสตาร์ช (starch cake) มีขนาดเล็กลง

สตาร์ชที่ผลิตได้สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นได้อีกเช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเด็กซ์ตริน (dextrin) ไซรัป (corn syrup) และไซรัปแข็ง (corn syrup) น้ำตาลเด็กซโตรส (dextrose) และกากน้ำตาล

(2) การบด หรือโม่แบบแห้ง (Dry milling)

แป้งที่ผลิตจากข้าวโพด โดยวิธีการโม่แบบแห้งมี 3 แบบ คือ

2.1 แป้งข้าวโพดอย่างหยาบที่ไม่ได้แยกโปรตีนออก (corn grits)

2.2 แป้งข้าวโพดอย่างละเอียดที่ไม่ได้แยกโปรตีนออก (corn flour)

2.3 แป้งข้าวโพดที่แยกโปรตีนออกแล้ว (corn starch)

กระบวนการในการผลิตแป้งข้าวโพดทั้ง 3 แบบนี้ มีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร 2521)

1) การทำความสะอาด เป็นการนำเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นร้อยละ 13 มาแยกสิ่งที่สกปรกออกโดยผ่านตะแกรงร่อนหลาย ๆ ชุด รวมทั้งใช้ลมเป่าเพื่อแยกสิ่งที่เจือปนที่เบากว่าเมล็ดข้าวโพดออกไป

2) การปรับความชื้นภายในเมล็ดข้าวโพด จะใช้เครื่องพ่นน้ำลงบนเมล็ดข้าวโพดที่สะอาดในถังพัก จนมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 14-16 แล้วจึงปล่อยทิ้งไว้ในถังพักอีก 24-48 ชั่วโมง ก่อนนำไปโม่

3) การโม่ เมล็ดข้าวโพดที่ปรับความชื้นจากถังพักจะถูกลำเลียงด้วยสายพานผ่านเข้าไปในห้องอบไอน้ำเพื่อให้เปลือกนอกของเมล็ดนิ่มขึ้น แล้วจึงไหลเข้าเครื่องโม่บดเมล็ดข้าวโพดให้แตกออกเป็นเมล็ดหยาบ

4) การแยกแป้งละเอียด แป้งที่ได้จากการโม่จะถูกทำให้แห้งด้วยเครื่องหมุนให้แห้ง (rotary dryer) จนเหลือความชื้นเพียงร้อยละ 11 แล้วผ่านตะแกรงร่อนอย่างละเอียด ส่วนที่เป็นแป้งละเอียด (corn meal) แยกออกไปทางหนึ่ง

5) การแยกรำและคัพภะ ส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงจะถูกร่อนอีกครั้งด้วยตะแกรงขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงจะเป็นรำและคัพภะ ซึ่งให้เป็นอาหารสัตว์ ส่วนที่ผ่านตะแกรงได้ คือ แป้งหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการโม่เพื่อให้ได้แป้งข้าวโพดอย่างละเอียดที่ไม่ได้แยกโปรตีนออกนั้น คล้ายกับการทำแป้งหยาบ โดยใช้เครื่องโม่หลายชุด เพื่อที่จะโม่แป้งหยาบ (ที่แยกรำ และคัพภะออกแล้ว) และแป้งละเอียดที่แยกได้ในตอนแรกให้เป็นแป้งข้าวโพดอย่างละเอียดตามต้องการ

สำหรับแป้งข้าวโพดที่แยกโปรตีนออก ต้องเพิ่มขั้นตอนการแยกโปรตีน หลังจากปล่อยให้แป้งที่ได้จากการโม่แป้งหยาบกับน้ำในถังพักตะกอน การแยกโปรตีนออกจะให้เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง จะทำให้โปรตีนแยกออกไปอยู่ด้านบน ในขณะที่แป้ง (starch) อยู่ข้างล่างแยกเอาส่วนที่เป็นแป้งออก นำมาอบ หรือตากแดดให้แห้งก่อนบรรจุภาชนะต่อไป

2.3.4 การผลิตน้ำมันจากเมล็ดข้าวโพด

จากกระบวนการโม่เมล็ดข้าวโพดแบบเปียก เมื่อแยกเอาส่วนที่เป็นคัพภะออกจากเมล็ดนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมัน โดยส่วนใหญ่ยังใช้ตัวทำลายในการแยกเอาส่วนที่เป็นน้ำมันออกจากคัพภะ น้ำมันที่สกัดได้ใหม่ ๆ จะมีสีเข้มอยู่จึงต้องนำมาทำให้บริสุทธิ์ ฟอกสี และจำกัดกลิ่น นอกจากนี้ในน้ำมันที่สกัดได้ยังคงมีไข และสารฟอสฟาไทด์ค่อนข้างสูงกว่าน้ำมันจากพืชชนิดอื่น ทำให้ต้องมีการกำจัดไข เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตจะพบว่าสูงกว่าน้ำมันบริโภคจากแหล่งอื่น

2.4 ขนมขบเคี้ยว

ในอดีตอาหารขบเคี้ยวหรือ ขนมอบกรอบที่ได้รับความนิยมในต่างประเทศ ได้แก่ ข้าวโพดคั่ว(popcorn) มันฝรั่งทอด(potato chip) ส่วนในประเทศไทยนั้นได้แก่ ถั่วลิสงทอด กล้วยฉาบ กล้วยทอด ข้าวเกรียบชนิดต่างๆ แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตอาหารขบเคี้ยว หรือขนมอบกรอบได้พัฒนาไปไกลมากได้มีการนำเอา Steam kneader/cooker และ extrusion process(เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์) มาใช้ทำให้รูปแบบและเนื้อสัมผัส รสชาติ ของอาหารขบเคี้ยว หรือขนมอบกรอบ นั้นแตกต่างกันออกไปหลายรูปแบบ Harper,(1981) ได้แบ่งอาหารว่างหรืออาหารขบเคี้ยว หรือขนมอบกรอบ(snack foods) ออกเป็น 3 ยุค ตามลำดับก่อนหลังของการแพร่หลาย ดังนี้

อาหารขบเคี้ยวยุคแรก (first generation snacks) ที่ผลิตและนิยมรับประทาน ได้แก่ มันฝรั่งทอด (conventional potato chip) กล้วยทอด กล้วยฉาบ ข้าวโพดคั่ว (popcorn) ถั่วทอด (roasted peanut) และพวกขนมปังกรอบแข็ง (crackers)

อาหารขบเคี้ยวยุคสอง (second generation snacks) ได้แก่ อาหารขบเคี้ยวสุกพองทันที ประเภท puffed collets อาหารขบเคี้ยวหรือ ขนมอบกรอบ ประเภทนี้ทำมาจากการเอกซ์ทรูด(การอัดพอง) ส่วนประกอบที่เป็นแห้งผ่านเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ (extrusion cooking) ออกมาสุกพองทันที(เป็นแบบ direct expansion snacks) ที่ผลิตและจำหน่ายในบ้านเรา ได้แก่ กรอบกรอบเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(สถาบันอาหาร ม.เกษตรศาสตร์) คัมคัม กาก้า ซีสซ่าบอล ฮูเร่ ซิก้า คาราด้า ทวิสตี้ ริงโก้ คอร์นพัฟ โฮบี้ ฯลฯ

อาหารขบเคี้ยวหรือขนมอบกรอบรุ่นที่สามหรือยุคปลาย (third generation snacks) อาหารขบเคี้ยวรุ่นที่สามนี้จะเกี่ยวข้องกับการอัดอาหารขบเคี้ยวให้ออกมาเป็นรูปทรงต่างๆ ที่มีเนื้อสัมผัส (texture) ที่ผิดแผกแตกต่างไปจากอาหารขบเคี้ยวที่ทำมาจาก collet extrusion technology (อาหารขบเคี้ยวที่ทำมาจาก collet extruder) อาหารขบเคี้ยวประเภทนี้เป็นประเภทที่ไม่ได้สุกพองขยายตัวทันทีที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ (เป็นแบบ indirect expansion snacks) อาหารขบเคี้ยวประเภทนี้ที่จำหน่ายในตลาดบ้านเรา ได้แก่ แพคกี้ ปาปริก้า โปเต้ คอกเทล คอนเน่ ฯลฯ

อาหารขบเคี้ยวหรือขนมอบกรอบ (snack foods) ตั้งแต่ยุคเริ่มแรกจนถึงปัจจุบันนี้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกล่าวคือ มีความกรอบ (crispy or crunchy) มีความพองตัว (degree of puffing or expansion) และความหนาแน่นต่ำ (low density) จากลักษณะต่างๆ ดังกล่าวมานี้ วัตถุดิบที่เหมาะสม ได้แก่ พวกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูง ได้แก่ พวกธัญชาติ (ข้าวโพด ข้าวเจ้า) พืชหัว และพวกแป้งชนิดต่างๆ

2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ (ประชา, 2537)

เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ มีหลายบริษัทที่ผลิตขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน การแบ่งหรือการจำแนกเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์นั้นทำได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจแบ่งออกโดยอาศัยความเกี่ยวข้องกับพื้นฐานหน้าที่ สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา (Functional characteristic) หรือ แบ่งตามระบบความร้อนที่ใช้ และเกิดขึ้น (Thermodynamics characteristics) ในที่สุดก็แบ่งเอกซ์ทรูดเดอร์ตามความชื้นของวัตถุดิบ ซึ่งวิธีการแบ่งเอกซ์ทรูดเดอร์ด้วยวิธีการต่างๆ และชนิดของเอกซ์ทรูดเดอร์นั้นได้สรุปไว้ย่อๆ โดย Rossen and Miller ซึ่งได้แบ่งไว้ ดังนี้

1. แบ่งโดยอาศัยคุณลักษณะหน้าที่ และผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Functional characteristics) ดังนี้

1.1 Pasta Extruders (พาสต้า เอกซ์ทรูดเดอร์) เป็นเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์จากแห้งสาลี เช่น พวกมักกะโรนี เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดนี้มีร่องเกลียวสกรูลึก ผนังด้านในของปลอกเหล็กผนังสองชั้นเรียบ และความเร็วของสกรูที่หมุนจะช้า สกรูเกลียวลึกนี้ทำหน้าที่ผลักพาแป้งเซโมไลนา (semolina) ที่ชื้นนุ่มให้เคลื่อนที่ไปทางข้างหน้า แล้วอัดผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนออกมา ซึ่งอาจทำให้แป้งเซโมไลนาสุกบ้างเล็กน้อย หรือไม่สุกเลยก็ได้ ในพาสต้า เอกซ์ทรูดเดอร์นั้น พลังงานที่ใช้น้อยมาก เพราะมีอัตราเฉือนเกิดขึ้นต่ำมากในตัวผลิตภัณฑ์จึงทำให้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ถึงกับสุกพอง จำเป็นต้องใช้ขั้นตอนอย่างอื่นอีกมาช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นสุกพร้อมที่จะรับประทานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 High - Pressure Forming Extruders เริ่มแรกที่พัฒนาหรือประยุกต์นำเอาเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์เข้ามาใช้ในวงการอุตสาหกรรมอาหารนั้นก็เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นรูปทรงตามที่ต้องการเท่านั้น โดยใช้วัตถุดิบที่เป็น dough ที่เปลี่ยนสภาพเป็นเจลบ้างบางส่วน อัดผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนแล้วตัดเป็นชิ้นตามขนาดและรูปทรงที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ยังไม่สุกพองจะต้องนำไปผ่านขั้นตอนการอบแห้ง และทำให้สุกพองด้วยวิธีการทอดในน้ำมัน หรืออบ คั่ว ในกะทะหรือ ลมร้อนเสียก่อน

การทำให้เกิดความดันสูงขึ้นภายในตัวเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์นั้น จะต้องออกแบบให้ผนังด้านในของปลอกเหล็กผนังสองชั้นเป็นร่องเกลียว เพื่อมิให้การไหลลื่นเกิดขึ้นที่ผนัง และที่ตัวสกรูก็ต้องออกแบบให้เป็นชนิดที่ทำให้เกิดแรงอัดมาก ผลก็จะทำให้เอกซ์ทรูเดตมีความดันสูงที่บริเวณด้านหลังหน้าแปลน และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงมากเกินไปในตัวของ dough อาจนำไปสู่การสุกพองที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นที่หน้าแปลน ความร้อนที่เกินความจำเป็นนี้ขจัดออกไป หรือทำให้ลดลงได้ด้วยการใช้น้ำหล่อรอบผนังของบาเรลที่เป็นผนังสองชั้น

1.3 Low - shear Cooking Extruder เป็นเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ที่ผนังด้านในเรียบและช่องว่างระหว่างผนังสองชั้นของบาเรลนั้นมีของเหลวอุณหภูมิสูงหรือไอน้ำ หรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา ความร้อนนี้ส่งผ่านไปยังส่วนผสมของวัตถุอาหารโดยการนำ นอกจากนี้การหมุนตัวของสกรูทำให้เกิดการขัดสีระหว่างวัตถุอาหารกับสกรู เกิดเป็นความร้อนแล้วความร้อนนี้ก็แพร่ไปยังส่วนผสมของวัตถุอาหารด้วยวิธีการนำด้วยวิธีการนี้ก็ทำให้ส่วนผสมที่เป็นแป้งเปลี่ยนเป็น dough และ dough มีการขยายตัว และพองตัวเกิดขึ้นบ้าง ดังนั้นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาของส่วนผสมของวัตถุอาหารที่อยู่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ ซึ่งส่วนมากแล้วใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูเดี่ยว เพื่อที่จะทำให้แป้งที่เป็นองค์ประกอบหลักของส่วนผสมวัตถุอาหารเปลี่ยนเป็นเจลตามที่ต้องการ แล้ว dough นี้จะถูกทำให้เย็นตัวลงด้วยการลดอุณหภูมิที่ปลอกเหล็กผนังสองชั้น อันสุดท้ายหรือช่วงสุดท้ายที่ติดกับหน้าแปลนลงให้ต่ำกว่า 100°C ซึ่งเมื่อ dough นี้ถูกแรงหมุนของสกรู และความดันอัดให้ผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนออกมาสู่บรรยากาศภายนอก และถูกตัดออกเป็นชิ้นๆ ความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ภายในชิ้นอาหารขบเคี้ยว หรือขนมอบกรอบกึ่งสำเร็จรูป หรือ เพล-เลท(pellet) นี้จะไม่ระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยออกไป อาหารขบเคี้ยวหรือขนมอบกรอบกึ่งสำเร็จรูป ชนิดที่ได้นี้มีลักษณะเนื้อแน่นมากกว่าการพองตัว จึงยังต้องการกรรมวิธีการผลิตอย่างอื่นเพิ่มอีก เช่น การอบแห้ง และก่อนที่จะรับประทานก็ต้องนำไปทอดในน้ำมัน หรือไปคั่ว หรืออบเพื่อทำให้สุกพองเสียก่อน อาหารขบเคี้ยวหรือขนมอบกรอบกึ่งสำเร็จรูปที่รู้จักในชื่อเรียกว่า Third generation snacks ที่ผลิต และมีจำหน่ายในตลาดบ้านเรา มีดังนี้ ปาปริก้า โปเต้ ค๊อกเทล คอนเน่ แพกกี้ และประเภทที่ไม่มีชื่อบรรจุถุงพลาสติกใส รูปทรงหลากหลายสวยงามก็มีอีกหลานชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ชาดกระบัง

1.4 Collet Extruders (คอลเลท เอกซ์ทรูดเดอร์) เป็นเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์แบบเรียบง่ายเล็กกระทัดรัด สะดวกต่อการใช้งาน เป็นเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ที่มีความยาวของตัวสกรูต่อเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยมากประมาณ 3:1 (L/D = 3:1) เท่านั้น ในคอลเลทเอกซ์ทรูดเดอร์นี้เกิดแรงเฉือนสูงมาก อันเนื่องมาจากสกรูที่มีรองเกลียวตื้นมากหมุนอยู่ภายในบาเรลที่ผนังด้านในเป็นร่องเกลียวเช่นเดียวกัน ร่องเกลียวนี้ป้องกันการไหลลื่นที่ผนัง วัตถุดิบที่ใช้กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดนี้ ส่วนมากแห้งมีความชื้นต่ำ ความร้อนเกือบจะหรือทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้นได้มาจากการเสียดสี (friction) แล้วทำให้มีความร้อนถึง 175°C อย่างรวดเร็วเพื่อทำให้แป้งกลายเป็นเจล และเป็นเด็กซ์ตรินบางส่วน วัตถุดิบหรือส่วนผสมของวัตถุอาหาร (แป้ง) ที่ได้เปลี่ยนแปลงสภาพไปและยังอยู่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์นี้ เรียกว่า เอกซ์ทรูดเดต เอกซ์ทรูดเดตที่อยู่ในสภาพนี้ก็ถูกอันโพล่พ้นรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนออกมา และด้วยการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว จากภายในที่มีความดันสูงมาก มาสู่ภายนอกซึ่งมีความดันต่ำ (ความดันบรรยากาศ) ทำให้น้ำภายในเอกซ์ทรูดเดตเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ ระเหยลอยตัวออกไปในขณะเดียวกันก็ถูกตัดด้วยใบมีดแล้วคงตัวเป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่สุกพองและกรอบ วัตถุดิบที่นิยมใช้กับคอลเลทเอกซ์ทรูดเดอร์ ได้แก่ คอร์นกริต ข้าวท่อน

1.5 High Shear Cooking Extruders เป็นเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ที่ออกแบบมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายลักษณะ เช่น พวกที่สุกเพียงบางส่วนหรือพวกกึ่งสำเร็จรูป หรือพวกที่ผ่านความร้อนสูงแล้วมีการจัดโครงสร้างภายในโมเลกุลใหม่ เช่น พวกโปรตีนเกษตร (texture vegetable protein) แรกเริ่มนั้นก็ประยุกต์นำเอาเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทำด้วยพลาสติกที่มีอัตราส่วนของ ความยาวสกรู : เส้นผ่าศูนย์กลาง (L/D = 10-20 : 1) เป็นชนิดที่เกิดแรงอัดสูงเป็นเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดที่มีบาเรลยาว แต่ก็สามารถทำให้เอกซ์ทรูเดตร้อนหรือเย็นได้ โดยใช้แหล่งความร้อน ความเย็น จากภายนอกโดยผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างผนังของบาเรลเอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดนี้ใช้กับวัตถุดิบได้มากมายหลายชนิด และในช่วงของความชื้นได้ต่างๆ กัน และควบคุมสภาวะต่างๆ ในระหว่างการผลิตได้ เช่น ความคุมการสุกพอง อุณหภูมิ ความแน่นของเนื้อสัมผัส ฯลฯ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดนี้ ได้แก่ อาหารสัตว์เลี้ยง อาหารเช้าซีเรียล อาหารจากธัญชาติพร้อมรับประทาน (RTE cereals) โปรตีนเกษตร (TVP) และอาหารขบเคี้ยวหรือขนมอบกรอบ (snack foods)

High Shear Cooking Extruders (HSCE) ได้ถูกจัดอยู่ใน HTST ส่วนมากในการผลิตอาหารโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดนี้ วัตถุดิบที่นำมาใช้ก่อนป้อนเข้าไปในเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ ควรอุ่นหรือให้ความร้อนเสียก่อนซึ่งจะเป็นไอน้ำหรือน้ำร้อนก็ได้ แล้วป้อนเข้าไปใน HSCE เพื่อทำให้วัตถุดิบนั้นเปลี่ยนแปลงเป็นเจลหรือปรับโครงสร้างภายในโมเลกุลของวัตถุดิบเสียใหม่ และการอุ่นนั้นได้ช่วยทำให้ตัววัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วทำให้สุกและเย็นตัวลงเกือบจะทันทีเมื่อผลิตภัณฑ์โผล่พ้นหน้าแปลนออกมา เวลาที่ใช้ในการหุงต้มนี้ต้องสั้นมาก (short

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

residence time) ด้วยเหตุผลในเรื่องนี้ (เวลาและอุณหภูมิ) จึงได้ตั้งชื่อเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดนี้ว่า HTST (High Temperature and Short Time)

2.แบ่งชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของความร้อน (Thermodynamic characteristics) ได้ดังนี้

2.1 Autogenous Extruder ความร้อนทั้งหมดที่เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ได้รับ (input to the extruder) นั้นมาจากการเสียดสี (friction) คือเปลี่ยนมาจากพลังงานกล และมีเพียงปริมาณเล็กน้อย หรือไม่มีเลยของความร้อนที่เพิ่มหรือระบายออกไปจากบาเรล Collet extruders และ High Shear Cooking Extruders บางชนิดที่จัดเป็นพวก autogenous extruder ก็เนื่องมาจากอุณหภูมิภายในเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ประเภทนี้จะสูง หรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับ (ควบคุมโดย) องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไป และการจัดรูปแบบของสกรู ดังนั้นเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์แบบ autogenous นี้จึงไม่ค่อยคล่องตัวนัก ในการที่จะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารในแต่ละชนิด และยังยากต่อการควบคุมการทำงานของเครื่องอีกด้วย

2.2 Isothermal Extruders เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทที่มีระบบการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากันเป็นระยะตลอดความยาวของบาเรล Forming extruders ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ เพื่อคงสภาพความร้อนให้เท่ากันโดยตลอดนั้น ความร้อนก็จะถูกลดหรือระบายผ่านทางช่องว่าง (jacket) ระหว่างผนังสองชั้นของบาเรลที่อยู่รอบสกรู

2.3 Polytropic Extruders ในความเป็นจริงแล้ว เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์เกือบจะทุกชนิดเป็นประเภท polytropic คือจะได้รับความร้อนทั้ง 2 ทาง คือ ความร้อนที่เกิดจากพลังงานกล และความร้อนที่ได้มาจากแหล่งความร้อนภายนอกที่ส่งผ่านมาทางช่องว่างของบาเรล

บทบาทของเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ เป็นกระบวนการผลิตอาหารสมัยใหม่ ช่วยให้การขยายงานด้านอุตสาหกรรมการผลิตอาหารกว้างขวางยิ่งขึ้นทั้งนี้ก็เพราะโดยตัวของระบบหรือเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์นั้นมีคุณลักษณะพิเศษหลายประการ ดังนี้ :-

1. อเนกประสงค์ (versatility) ใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลากหลาย เพียงแต่เลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบและปรับภาวะของกระบวนการผลิตให้เหมาะสม

2. อัตราการผลิตสูง (high productivity) เป็นเครื่องจักรแบบต่อเนื่อง และมีอัตราการผลิตได้มากกว่าระบบอื่นๆ

3. ต้นทุนการผลิตต่ำ (low cost) จำนวนคนงาน และพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูดชั่นต่อหนึ่งหน่วยการผลิตนั้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีอื่น

4. รูปทรงของผลิตภัณฑ์ (product shapes) ทำได้มากมายหลายแบบ ทำได้ง่ายเพียงเปลี่ยนแบบรูปทรงของรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีมาก (high product Quality) คุณภาพสูง อันเนื่องมาจากเป็นระบบ HTST

6. ประหยัดพลังงาน (energy efficient)

7. ทำผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ ๆ (production of new foods)

8. ไม่มีน้ำทิ้งหรือสิ่งโสโครกที่ไหลจากโรงงาน (no effluents)

2.5.1 หลักการและกลไกการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

การเอกซ์ทรูของอาหารเป็นเทคโนโลยีใหม่ ประมาณ 40 ปีมาแล้ว เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ถูกใช้ในกระบวนการต่อเนื่องของการนวดและการขึ้นรูปของพาสตา ที่อุณหภูมิต่ำ ในปี 1943 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ถูกใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองตัวสูงที่ทำจากเมล็ดธัญญพืช จากการพัฒนามาเรื่อย ๆ จนได้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ทันสมัย มีประสิทธิภาพสูง และมีระบบการผลิตที่ยืดหยุ่นได้ ในปัจจุบันการใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นั้น นำมาใช้ในการผลิต ready to eat cereals อาหารขนมขบเคี้ยว texture vegetable protein และ pregelatinzed starch เป็นต้น

การใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตทำให้ได้ผลผลิตสูงในกระบวนการผลิตเพียงขั้นตอนเดียว ซึ่งประกอบด้วยทั้งขั้นตอนการ cooking ขั้นตอนการขึ้นรูป และขั้นตอนการปรับปรุงเนื้อสัมผัส ความสามารถของเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ขึ้นกับส่วนผสมของวัตถุดิบ และสภาวะในการผลิต ซึ่งจะมีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

การทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

1. Feeding Zone

เป็นส่วนที่วัตถุดิบที่มีความหนาแน่นต่ำจะถูกลำเลียงไปสู่ส่วน barrel วัตถุดิบที่ใส่เข้าเครื่องจะถูกกดอัดพร้อมทั้งไล่อากาศออกไป น้ำจะถูกฉีดเข้าในส่วนนี้เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและความหนืด และเพิ่มการถ่ายเทการนำความร้อน

2. Kneading Zone

เป็นส่วนที่ต่อเนื่องจากส่วน feeding zone ในส่วนนี้ความหนาแน่นของเอกซ์ทรูเดทเริ่มที่จะเพิ่มมากขึ้น และความดันใน barrel ก็จะเพิ่มมากขึ้น ในส่วนนี้จะเกิดการผสมและแรงเฉือนที่ค่อนข้างรุนแรง อนุภาคของวัตถุดิบเริ่มต้นที่จะรวมตัวกันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และในตอนท้ายของช่วงนี้วัตถุดิบใน barrel จะมีอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Final Cooking Zone

เป็นส่วนที่อุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากที่สุด และเป็นช่วงที่เกิดแรงเฉือนมากที่สุด เนื่องมาจากรูปร่างของสกรู และการกดอัดที่มากที่สุดของเอกซ์ทรูดเดท ความดัน อุณหภูมิ และความหนืดเหนียวของของเหลวของเอกซ์ทรูดเดทจะถูกกำจัดออกทันทีที่ผ่านหัว die เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีเนื้อสัมผัส ความหนาแน่น สี และคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ต้องการ (Hauck และ Huber, 1989)

2.5.2 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์

2.5.2.1 Feed Hopper

เป็นส่วนที่รับวัตถุดิบ มีรูปร่างเป็นกรวยแบบง่าย ๆ บางที่อาจเพิ่มระบบการกวนเข้าไปได้ ถ้าวัตถุดิบมีความหนืด ในช่วงนี้จะมีการควบคุมอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบเพื่อป้องกันการเกิดการติดขัดในเครื่อง

2.5.2.2 Barrel

มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกครอบอยู่ตามความยาวของสกรู สามารถถอกออกเป็นตอน ๆ ได้ ผิวด้านในมีการการเซอะร่องเป็นแนวเพื่อลดการลื่นไหลของวัตถุดิบขณะเคลื่อนที่อยู่ภายในและยังเพิ่มแรงดันและแรงเฉือนด้วย

2.5.2.3 Jacket

อยู่ล้อมรอบ barrel มีหน้าที่ให้น้ำเย็นหรือน้ำร้อนไหลอยู่ภายในเพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะใช้เครื่อง ซึ่งจะแบ่งเป็นช่วง ๆ บางช่วงอาจใช้น้ำเย็น บางช่วงอาจใช้น้ำร้อนเพื่อการให้ความร้อน

2.5.2.4 Screw

สกรูมีลักษณะเป็นแกน มีเกลียวอยู่โดยรอบ โดยที่เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูอาจเท่าเดิมหรือค่อย ๆ เพิ่มขึ้นก็ได้ เช่นเดียวกันกับเกลียวบนสกรูอาจมีความลึกคงที่หรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และหน้าที่ในการทำงาน นอกจากนี้สกรูยังอาจมีทิศทางที่แตกต่างกันหรือเหมือนกันก็ได้ (Fichtali และ Voort, 1989) หน้าที่ของสกรูในการทำงานคือ รับและขนถ่ายวัตถุดิบ กดอัดและเพิ่มแรงเฉือนให้แก่วัตถุดิบ ทำให้เกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.5 Die

ส่วนนี้อยู่ปลายสุดของเครื่องมือ มีหลายรูปร่างลักษณะอันจำทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่าง ๆ กันไป เมื่อเอกซ์ทรูดเดทผ่านออกมาจากช่องนี้จะเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วทันทีที่ออกมาจากหัว die

2.5.2.6 Knife

เป็นส่วนที่กำหนดความยาวของเอกซ์ทรูดเดทที่ออกมาจากหัว die ซึ่งส่วนใบมีดนี้จะอยู่ถัดจากหัว die ซึ่งมีให้เลือกหลายใบมีดอาจจะเป็นแบบ 2 ใบมีด 3 ใบมีด หรือเท่าใดก็ตามแล้วแต่ความต้องการทางด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

2.5.3 เปรียบเทียบลักษณะการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่และสกรูเดี่ยว

2.4.3.1 Single Screw Extruder

เอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดนี้มีข้อจำกัดในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ข้อจำกัดที่เด่นชัดของเครื่องชนิดนี้คือไม่สามารถเคลื่อนย้ายวัตถุดิบที่เหนียวหรือที่มีลักษณะยืดหยุ่นได้ นอกจากนี้เครื่องชนิดนี้บางครั้งยังไม่สามารถรักษากระบวนการผลิตให้คงที่ได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่น ขนาดของผลิตภัณฑ์และสีของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ ผนัง barrel ของเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยวนี้อาจจะมีผนังเรียบ หรืออาจจะมีการเซาะรางทำให้เกิดการเพิ่มแรงเสียดทาน ซึ่งรางนี้จะเป็นตัวบังคับให้เอกซ์ทรูดเดทลื่นเคลื่อนที่ไปได้ โดยที่การลำเลียงของวัตถุดิบจะขึ้นกับแรงเสียดทานที่ผิวของทรงกระบอกที่หุ้มสกรู เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดนี้จะใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันไม่เกิน 4% น้ำตาลไม่เกิน 10% และความชื้นไม่เกิน 30% เครื่องมือแบบนี้จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีวัสดุอยู่เต็ม และต้องมีการป้อนวัตถุดิบอยู่ตลอดเวลา แต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ การควบคุมเครื่องและการบำรุงรักษาจะน้อยกว่าเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่

2.5.3.2 Twin Screw Extruder

เครื่องมือเอกซ์ทรูดเดอร์ชนิดนี้จะมีสกรูเพิ่มขึ้นอีกตัวหนึ่ง ทำให้เป็นการพัฒนาเครื่องให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เครื่องประเภทนี้นั้นมีการซ้อนกันของเกลียวต่าง ๆ กัน และยังมีทิศทางการหมุนของสกรูต่าง ๆ กันด้วย คือ บางส่วนเกลียวของสกรูอาจจะไม่ซ้อนกัน บางส่วนซ้อนกันนิดหน่อย บางส่วนซ้อนกันเต็มที่ และสกรูอาจจะหมุนไปในทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้ามกันก็ได้ เครื่องมือชนิดนี้มีประโยชน์มากมายหลายด้าน และมีความสะดวกมาก มีความสามารถที่มากกว่าเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูเดี่ยว รวมทั้งมีข้อจำกัดที่น้อยกว่า เช่น สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ดีกว่าเนื่องจากวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปจะไม่ติดค้างอยู่ที่ร่องสกรู ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สามารถควบคุมเวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเครื่องได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังใช้ได้กับวัตถุดิบที่มีลักษณะเหนียว มีความชื้นสูง และยังไม่ต้องป้อนวัตถุดิบตลอดเวลาอีกด้วย และเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่จะประหยัดเนื้อที่มากกว่า เนื่องจากขนาดของเครื่องมือสั้นกว่า เพราะสกรูคู่จะเพิ่มแรงดันได้ดีกว่าสกรูเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Guraya และ Toledo (1994) กล่าวว่า ความพองตัวในระหว่างกระบวนการ extrution จะมีผลเกี่ยวข้องโดยตรงกับระดับการ gelatinization ของแป้ง

Bhattacharya และ Hanna (1987) รายงานว่าการพองตัวมากจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของกระบวนการ extrusion สูง ที่ความดันและค่า Degree of gelatinization สูงสุด การเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการ Extrusion ของผลิตภัณฑ์ Corn starch (แป้งข้าวโพดที่แยกโปรตีนออก) การ gelatinization จะเกิดสมบรูณ์ และจะทำให้การพองตัวมาก และความหนาแน่นลดลง

Spies และ Hoseney (1982) รายงานว่า น้ำตาลโดยเฉพาะ disaccharide จะทำให้อุณหภูมิการ gelatinization ของแป้งสูงสุด น้ำตาลจะเป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิการ gelatinization ซึ่งจำกัดโดยปริมาณน้ำในเม็ดแป้ง ค่า Aw น้อย จะทำให้เกิดการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของแป้ง

Case และคณะ (1992) กล่าวว่าเมื่อผ่านธัญพืชเข้าเครื่อง twin screw extruder การ gelatinization เพิ่มขึ้นปริมาตรการพองตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและค่า bulk density จะลดลงค่า bulk density ที่น้อยที่สุดเมื่อเกิดการ gelatinization ได้ 75% สำหรับทุกๆผลิตภัณฑ์ยกเว้นแป้งข้าวโพดที่แยกโปรตีนออกซึ่งจะมีค่า bulk density ที่น้อยที่สุดเมื่อการ gelatiniation ไป 55% แป้งสาลีจะเกิดการพองตัวสูงสุดเมื่อ Degree of gelatinization ไม่น้อยกว่า 75% ค่า Bulk Density เป็นค่าน้ำหนักต่อปริมาตรที่ใช้ในการตัดสินความพองของผลิตภัณฑ์ ซึ่ง Bulk Density จะลดลงเมื่อการ Gelatinization เพิ่มขึ้น และค่า Bulk Density น้อยที่สุดที่เกิดขึ้นเมื่อ การ Gelatinization อยู่ระหว่าง 55-75% ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

ข้าวที่ใช้ทดลองได้แก่ ข้าวเจ้าคือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตราสุรินทร์ทิพย์ของบริษัทสุรินทร์ทิพย์จำกัด ซึ่งเป็นตัวแทนจำหน่ายโดยผลิตที่โรงสี ระแงงข้าวเม็ดเล็ก 457 ถ. ประชาธิปัตย์ อ.ระแงง จ.สุรินทร์ 32110 โทร. (044) 561172

3.2 อุปกรณ์

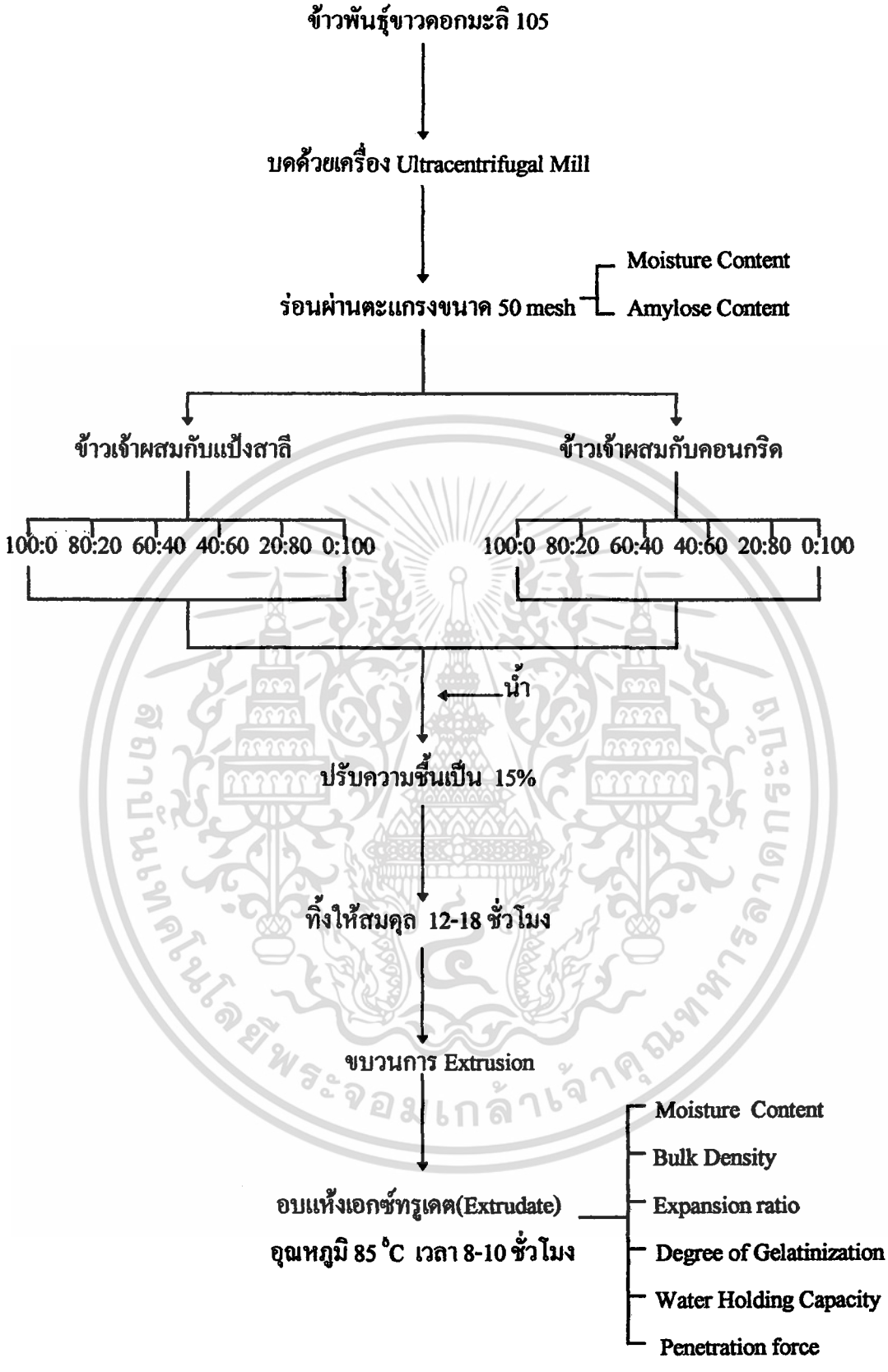
- ปิเปต ขนาด 0.1, 1 ,2 ,5 ,10 มิลลิลิตร
- Desiccator
- ตู้อบที่ใช้อบเอกซ์ทรูเดต
- หลอด Centrifuge
- เครื่อง Centrifuge (JOUAN Centrifuge , GR 4.11)
- Spectrophotmeter (CECIL, CE 202)
- Twin screw extruder (Berstorff ZE 25)
- Ultracentrifugal mill (ZM 1000)
- เครื่องร่อนแป้ง (FRITSCH 03.502 NO.7813)
- เครื่องชั่งละเอียด (Mettler AE 240)
- Volumetric flask 10, 100, 1000 ml
- กระบอกตวง 10 ml
- แท่งแก้วคน
- บีกเกอร์ 50,100,1000 ml
- อลูมิเนียมแคน
- กระบอกน้ำกลั่น
- ช้อนตักสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สารเคมี

- Conc. Acetic (Merck, Germany)
- Coppersulphate (Etichetta cee, montedison group)
- Hydrochloric Acid (Merck , Germany)
- Iodine (AJAX Chemicals , Australia)
- Potassium hydroxide (Merck , Germany)
- Potassium iodide (AJAX Chemicals , Australia)
- Potassium sulphate (AJAX Chemicals , Australia)
- Sodium hydroxide (Merck , Germany)
- Sulfuric acid (Merck, Germany)
- 95% Ethyl alcohol (โรงงานสุราอยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการทดลองและวิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองโดยสรุปได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดและวิธีการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

3.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของข้าวที่ผ่านการบด

3.4.1.1 การหาปริมาณความชื้น (AACC, 1976)

อบอลูมิเนียมแคนที่ 130°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน 4 ตำแหน่ง (ค่า a) บดข้าวด้วยเครื่อง Ultracentrifugal Mill ด้วยความเร็วและเวลาสม่ำเสมอในทุก ๆ ตัวอย่าง จากนั้น ชั่งข้าวบดที่มีขนาด 100-200 mesh ใส่ในอลูมิเนียมแคนประมาณ 10 กรัม แล้วชั่งน้ำหนักอลูมิเนียมแคนพร้อมข้าวบด (ค่า b) นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่ 130°C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิคเคเตอร์ แล้วอบต่อจนน้ำหนักคงที่ (ค่า c) แล้วคำนวณหา % ความชื้นจากสูตร

$$\% \text{ moisture} = \frac{b-c}{b-a} \times 100$$

โดย a คือน้ำหนักอลูมิเนียมแคนที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (g)

b คือน้ำหนักอลูมิเนียมแคนกับน้ำหนักข้าวที่ผ่านการบดก่อนอบ ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (g)

c คือน้ำหนักอลูมิเนียมแคนกับน้ำหนักข้าวที่ผ่านการบดหลังอบ ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (g)

3.4.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971)

- การเตรียมกราฟอะไมโลสมาตรฐาน

ชั่งอะไมโลสบริสุทธิ์ 0.0400 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตร 100 มล. เติม 95% เอทิลแอลกอฮอล์ 1 มล. และเติมสารละลาย NaOH 1 N 9 มล. ผสมให้เข้ากัน ต้มใน water bath 100 °C พร้อมเขย่านาน 10 นาที ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 100 มล. โดยใส่น้ำกลั่นลงไปปริมาณหนึ่งก่อนแล้วผสมให้เข้ากัน แล้วจึงปรับปริมาตรเป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ดวงสารละลายอะไมโลสมาตรฐานใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. จำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ตามลำดับ เติมสารละลายกรดอะซิติก 1 N จำนวน 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มล. ตามลำดับ จากนั้นเติมสารละลายไอโอดีน 2 มล. แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 นาที แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 nm. ซึ่งได้ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์แล้ว จากนั้นนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของอะไมโลส

- การวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลสในตัวอย่างข้าว

ชั่งข้าวบดที่มีขนาด 100-200 mesh มาปริมาณ 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มล. เติม 95% ethyl alcohol 1 มล. และสารละลาย 1 N NaOH 9 มล. ผสมให้เข้ากันจากนั้นต้มใน water bath ที่ 100oC เป็นเวลา 10 นาที พร้อมกับเขย่าด้วย ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มล. เขย่าให้เข้ากัน ตวงสารละลายแป้งที่ได้ 5 มล. ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรอีกขวดหนึ่งขนาด 100 มล. เติมสารละลายกรดอะซิติก 1 N ปริมาณ 1 มล. และสารละลายไอโอดีน 2 มล. เทน้ำกลั่นลงไปส่วนหนึ่ง เขย่าให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 nm. ด้วยเครื่อง spectrophotometer (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)

หมายเหตุ 1. แบลงค์เตรียมโดยใช้ส่วนผสม และวิธีการทุกอย่างเหมือนกัน แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่างข้าว

2. สารละลาย 1 N NaOH เตรียมโดยชั่ง NaOH 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตร เป็น 1000 มล.
3. สารละลาย 1 N กรดอะซิติก เตรียมโดยตวงกรดอะซิติกเข้มข้น 57 มล. ปรับปริมาตรเป็น 1000 มล. ปรับปริมาตรเป็น 1000 มล. ด้วยน้ำกลั่น
4. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยชั่ง 0.2 กรัม ไอโอดีนผสมกับ KI ปริมาณ 2.0 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น

3.4.2 ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของข้าวเจ้ากับแป้งสาลีและข้าวเจ้ากับคอนกริด

นำข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มาทำการบดทำด้วยเครื่อง Ultracentrifugal Mill โดยใช้ ring sieve ขนาด 2 มม.จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh เพื่อให้ได้ทั้ง ขนาดอนุภาคของข้าวเจ้าเล็กกว่า 50 mesh จากนั้นนำมาผสมกับแป้งสาลี และคอนกริด ตามอัตราส่วนดังนี้

ข้าวเจ้า : แป้งสาลี => 100 : 0, 80 : 20, 60 : 40, 40 : 60, 20 : 80, 0 : 100

ข้าวเจ้า : คอนกริด => 100 : 0, 80 : 20, 60 : 40, 40 : 60, 20 : 80, 0 : 100

แล้วนำไปปรับความชื้นเป็น 15% โดยการเติมน้ำซึ่งได้จากการคำนวณสมดุลของมวลส่วนผสมที่ผ่านการปรับความชื้น แล้วจะนำไปบรรจุในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นสมดุลเกิดขึ้นก่อนที่จะนำไปป่อนในเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ด้วยอัตราหนึ่ง ณ สภาวะอุณหภูมิที่ถูกเอกซ์ทรูดเหมือนกัน ก่อนที่จะนำแป้งผสมที่ผ่านการปรับความชื้นเข้าเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่ จะทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาหาปริมาณความชื้นก่อนเข้าเครื่อง แล้วจึงนำเข้าเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่ (Berstorft ZE 25) นำมาอบแห้งแล้วนำมาวิเคราะห์หาคุณลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพของเอกซ์ทรูเดทจากส่วนผสมต่างๆตามวิธีการดังนี้

1.วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของเอกซ์ทรูเดทที่ผ่านการอบแห้งแล้วตามวิธีการ 3.4.1.1

2. การหาอัตราส่วนการพองตัวของเอกซ์ทรูดเดท (Expansion Ratio) (Chinnaswammy และ Hanna, 1988)

ก่อนจะทำการวัดค่าจะต้องนำเอกซ์ทรูเดทมาอบแห้ง ก่อนแล้วจึงหาค่า Expantion Ratio (ER) ได้จาก

$$ER = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเอกซ์ทรูเดท (cm)}}{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Die (cm)}}$$

โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 4 ค่า

3. การวิเคราะห์หา Bulk Density (Chinnaswammy และ Hanna , 1988)

อบเอกซ์ทรูเดตให้แห้ง แล้วบดเอกซ์ทรูเดตด้วยเครื่อง Blender แล้วร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาด 20-30 mesh ค่อยๆ เทเอกซ์ทรูเดตที่บดนี้ลงกระบอกตวงที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ขนาดปริมาตร 10 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักเอกซ์ทรูเดต และกระบอกตวง และคำนวณหาค่า Bulk Density ดังสูตร (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

$$\text{Bulk Density} = \frac{\text{น้ำหนักของเอกซ์ทรูเดตในกระบอกตวง 10 มล. (เฉลี่ย)}}{\text{ปริมาตรของกระบอกตวง (10 มล.)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การหาระดับการเจลาติไนซ์ (Degree of Gelatinization) (Birch และ Priestlet, 1973)

อบเอกซ์ทรูดเดทที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อนแล้วบดเอกซ์ทรูดเดตด้วยเครื่อง Blender ให้มีขนาดเล็กพอสมควร แล้วนำไปบดด้วยเครื่อง Ultracntrifugal Mill โดยใช้ ring sieve ขนาด 1 มม. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.04 กรัม ละลายในสารละลาย 0.060 M KOH 50 มล. คน อย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 15 นาที นำไปเหวี่ยงในเครื่อง Centrifuge เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสมา 1 มล. ผสมกับสารละลาย 0.00667 M HCI 9 มล. เติมไอโอดีน 0.1 มล. ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm ด้วยเครื่อง Spectrophottmeter (CECIL , 292) ให้ค่าที่อ่านได้เป็นค่า a_1 จากนั้นหาค่า a_2 โดยใช้สารละลาย 0.400KOH 50 มล. และสารละลาย 0.0445 MHCI 9 มล. แทนตามลำดับ และคำนวณหาค่า Degree of Gelatinization โดยจะวิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ (ค่าที่รายงานเป็นค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ)

$$\text{Degree of Gelatinization} = a_1/a_2$$

หมายเหตุ

(1) KOH 0.060 M เตรียมได้โดยชั่ง KOH ปริมาณ 3.3668 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 มล.

(2) KOH 0.400 M เตรียมได้โดยชั่ง KOH 22.4440 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 มล.

(3) HCI 0.00667 M เตรียมจาก 6 M HCI ปริมาตร 1.1 มล. ปรับปริมาตรเป็น1000 มล. ด้วยน้ำกลั่น

(4) HCI 0.0445 M เตรียมจาก 6 M HCI ปริมาตร 7.42 มล. ปรับปริมาตรเป็น 1000 มล. ด้วยน้ำกลั่น

(5) สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยผสมไอโอดีน 1 กรัม กับ KI 4 กรัม แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มล.

5. การหาแรงกดทะลุในเอกซ์ทรูดเดท (Penetration Force)

วางเอกซ์ทรูดเดทที่อบจนแห้งแล้ว ยาวประมาณ 4 ซม. บนแท่นวางที่ปรับระยะห่างไว้ 3 ซม. บนแท่นวางของเครื่อง LLOYD Instument โดยหัวกดจะถูกปล่อยให้เคลื่อนที่ลงมากดทะลุเอกซ์ทรูดเดท แรงที่ใช้ในการกดทะลุจะมีหน่วยเป็นนิวตัน แสดงค่าบนหน้าจอ และบันทึกโดยการพิมพ์บนกระดาษ ทำการทดลอง 10 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Water Holding Capacity ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Artz และคณะ(1990)

อบแห้งตัวอย่างที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำมาบดด้วยเครื่อง Blender Mill โดยใช้ ring sieve ขนาด 1 มม. ใช้เอกซ์ทรูเดตที่บดแล้ว 2 กรัม ผสมกับน้ำ 40 มล. ทิ้งให้ส่วนผสมถึงจุดสมดุลที่ 25° C เป็นเวลา 40 นาที แล้วนำมาเหวี่ยงที่ 999 Tr/mn x 10 เป็นเวลา 30 นาที ที่ 25°C แล้วเทน้ำส่วนใสออก และชั่งน้ำหนักตัวอย่างโดยหักน้ำหนักหลอดออก แล้วหาค่า Water Holding Capacity (WHC) จากสูตร

$$WHC = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำทั้งหมดที่ถูกดูดซับ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (ฐานแห้ง)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ปริมาณความชื้น และปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้า คอร์นกริท และแป้งสาลี

จากตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณความชื้นและปริมาณอะไมโลส พบว่าคอร์นกริดมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด แป้งสาลีปริมาณอะไมโลสสูงที่สุด รองลงมาเป็นข้าวเจ้า และแป้งสาลี

ตารางที่ 4.1 ความชื้นและปริมาณอะไมโลสของธัญพืชต่างๆ

ธัญพืช	%ความชื้น	% Amylose
ข้าวเจ้าขาวดอกมะลิ 105	13.28	15.2
คอร์นกริท	14.20	17.2
แป้งสาลี	13.14	24.0

4.2 คุณภาพของเอกซ์ทรูเดตที่เตรียมจากข้าวเจ้ากับแป้งสาลี ในอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 พบว่าที่สัดส่วนของแป้งสาลีมากขึ้น ปริมาณอะไมโลสมากขึ้น (จากตาราง 4.1) การเจลาติไนซ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลส (Hamaker และ Griffin , 1993) อะไมโลสมากขึ้นค่า Degree of Gelatinization จะน้อยลง

ตารางที่ 4.2 Degree of Gelatinization ของข้าวเจ้ากับแป้งสาลี

ข้าวเจ้า : แป้งสาลี	%ความชื้น	Degree of Gelatinization
100 : 0	6.50	0.285
80 : 20	5.85	0.288
60 : 40	6.59	0.294
40 : 60	5.28	0.239
20 : 80	4.49	0.198
0 : 100	4.33	0.221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 ค่า Water Holding Capacity ที่สัดส่วนแป้งสาลี 40-60% จะมีค่าน้อย เนื่องจากเม็ดแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ไปมาก(จากตาราง 4.2) ทำให้แป้งที่เหลืออยู่เกิดพันธะกับน้ำลดลง(อรพิน, 2533)

ตารางที่ 4.3 Water Holding Capacity ของข้าวเจ้ากับแป้งสาลี

ข้าวเจ้า : แป้งสาลี	%ความชื้น	Water Holding Capacity
100 : 0	6.50	4.497
80 : 20	5.85	4.682
60 : 40	6.59	3.927
40 : 60	5.28	4.382
20 : 80	4.49	4.565
0 : 100	4.33	5.133

ตารางที่ 4.4 ค่า Bulk Density มีค่าน้อยลงเมื่อใช้สัดส่วนของแป้งสาลีมากขึ้น และสอดคล้องกับค่า Degree of Gelatinization ที่น้อยลง และปริมาณอะไมโลสที่มากขึ้น Chinnaswamy และ Hanna (1988) กล่าวว่า ค่า Bulk Density จะลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 Bulk Density ของข้าวเจ้ากับแป้งสาลี

ข้าวเจ้า : แป้งสาลี	%ความชื้น	Bulk Density
100 : 0	6.50	0.614
80 : 20	5.85	0.437
60 : 40	6.59	0.423
40 : 60	5.28	0.409
20 : 80	4.49	0.344
0 : 100	4.33	0.355

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อสัดส่วนของข้าวเจ้ามากขึ้น การพองตัวของเอกซ์ทรูเดตจะมาก เนื่องจากการพองตัวขึ้นกับปริมาณอะไมโลส (Chinnaswamy และ Hanna, 1988) อะไมโลสมากจะพองตัวน้อย อาจเนื่องมาจาก โมเลกุลอะไมโลสของธัญพืชจะอยู่รวมกับไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งจะชะลอการพองตัวของแป้ง (อรพิน, 2533)

ตารางที่ 4.5 Expansion ratio ของข้าวเจ้ากับแป้งสาลี

ข้าวเจ้า : แป้งสาลี	%ความชื้น	Expansion ratio
100 : 0	6.50	4.200
80 : 20	5.85	4.379
60 : 40	6.59	4.381
40 : 60	5.28	4.060
20 : 80	4.49	3.910
0 : 100	4.33	3.570

ส่วนค่าแรงกดทะลุจะมากขึ้นเมื่อสัดส่วนของแป้งสาลีมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.6 เนื่องจากแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนมากกว่าข้าวเจ้า (FAO,1972) ดังนั้นเมื่อแป้งเกิดการเจลาติไนซ์แล้วพองตัวจะมีความแข็งมากขึ้น

ตารางที่ 4.6 แรงกดทะลุ (Penetration force) ของข้าวเจ้ากับแป้งสาลี

ข้าวเจ้า : แป้งสาลี	%ความชื้น	แรงกดทะลุ
100 : 0	2.70	17.145
80 : 20	2.75	19.302
60 : 40	2.72	18.635
40 : 60	2.88	24.566
20 : 80	3.04	29.087
0 : 100	2.65	33.272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณภาพของเอกซ์ทรูเดตที่เตรียมจากข้าวเจ้ากับคอร์นกริท ในอัตราส่วนต่างๆ

จากตาราง4.7 พบว่า เมื่อสัดส่วนของคอร์นกริทมาก ค่า Degree of Gelatinization จะมีค่ามาก เนื่องมาจากระดับของการเจลาติไนซ์ขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลส (Hamaker และ Griffinn, 1993)

ตารางที่ 4.7 Degree of Gelatinization ของข้าวเจ้ากับคอร์นกริท

ข้าวเจ้า : คอร์นกริท	%ความชื้น	Degree of Gelatinization
100 : 0	6.5	0.285
80 : 20	4.5	0.283
60 : 40	6.16	0.364
40 : 60	5.13	0.400
20 : 80	5.81	0.519
0 : 100	8.6	0.645

จากตาราง 4.8 ค่า Water Holding Capacity จะมีค่าต่ำลงเมื่อปริมาณคอร์นกริทมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า Degree of Gelatinization คือ เจลาติไนซ์ไปมากแป้งที่เหลืออยู่สามารถเกิดพันธะกับน้ำลดลง (อรพิน, 2533)

ตารางที่ 4.8 Water Holding Capacity ของข้าวเจ้ากับคอร์นกริท

ข้าวเจ้า : คอร์นกริท	%ความชื้น	Water Holding Capacity
100 : 0	6.5	4.497
80 : 20	4.5	3.581
60 : 40	6.16	3.758
40 : 60	5.13	3.846
20 : 80	5.81	3.354
0 : 100	8.6	3.237

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง 4.7 เมื่อสัดส่วนของคอร์นกริทมากขึ้นค่า Bulk Density จะลดลง ซึ่งเป็นผลมาจาก เมื่อสัดส่วนของคอร์นกริทมากแล้วระดับการเจลาติไนซ์จะมากด้วย(จากตาราง 4.7) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Case และคณะ (1992) ซึ่งกล่าวว่า ค่า Bulk Density น้อยเมื่อการเจลาติไนซ์มาก

ตารางที่ 4.9 Bulk Density ของข้าวเจ้ากับคอร์นกริท

ข้าวเจ้า : คอร์นกริท	%ความชื้น	Bulk Density
100 : 0	6.5	0.614
80 : 20	4.5	0.564
60 : 40	6.16	0.563
40 : 60	5.13	0.548
20 : 80	5.81	0.470
0 : 100	8.6	0.322

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ที่สัดส่วนคอร์นกริท 40% และ 60% จะให้ค่าความพองมาก ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ Case และคณะ ที่กล่าวว่า ค่า Bulk Density ใช้ในการตัดสินความพอง Bulk Density มาก ความพองจะน้อย

ตารางที่ 4.10 Expansion ratio ของข้าวเจ้ากับคอร์นกริท

ข้าวเจ้า : คอร์นกริท	%ความชื้น	Expansion ratio
100 : 0	6.5	4.200
80 : 20	4.5	4.240
60 : 40	6.16	4.570
40 : 60	5.13	4.700
20 : 80	5.81	4.389
0 : 100	8.6	4.240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง 4.11 พบว่า ค่าแรงกดทะลุต่ำ จะอยู่ในช่วงสัดส่วนคอร์นกริท 20-40% แต่อย่างไรก็ตามค่าแรงกดทะลุต่ำที่สุดที่สัดส่วน 80% อาจเนื่องมาจากที่สัดส่วนนี้เม็ดแป้งเกิดการขยายตัวมาก และเอกซ์ทรูเดตมีปริมาณความชื้นต่ำ จึงทำให้แรงที่ใช้ในการกดทะลุต่ำ

ตารางที่ 4.11 แรงกดทะลุ (Penetration force) ของข้าวเจ้ากับคอร์นกริท

ข้าวเจ้า : คอร์นกริท	%ความชื้น	แรงกดทะลุ
100 : 0	2.70	17.145
80 : 20	2.84	13.980
60 : 40	3.02	12.818
40 : 60	2.91	17.451
20 : 80	2.85	9.518
0 : 100	3.10	15.048

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 สัดส่วนที่เหมาะสมของข้าวเจ้ากับแป้งสาลีในการผลิตเอกซ์ทรูเดตที่มีความพอง กรอบ มีค่า Degree of Gelatinization และ Expansion ratio สูง ส่วนค่า Water Holding Capacity, Bulk Density และค่า Penetration force ต่ำ คือสัดส่วนของแป้งสาลีในช่วง 20-40 %

5.1.2 สัดส่วนระหว่างข้าวเจ้ากับคอร์นกริทในการผลิตเอกซ์ทรูเดตที่เหมาะสมคือ ปริมาณคอร์นกริทมากกว่า 60% จะได้เอกซ์ทรูเดตที่มีความพอง กรอบ มีค่า Degree of Gelatinization และ Expansion ratio สูง ส่วนค่า Water Holding Capacity, Bulk Density และค่า Penetration force ต่ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ในการศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำเอกซ์ทรูเดต เพื่อพัฒนาเป็นขนมขบเคี้ยว ควรมีการศึกษาถึงสารอาหารที่จะได้รับด้วย เช่น ปริมาณโปรตีน สารเยื่อใย คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และน้ำตาล เนื่องจากขนมขบเคี้ยวนอกจากจะมีคุณภาพทางด้านกายภาพ คือ ความกรอบ ความพองแล้ว ควรจะมีคุณค่าทางด้านโภชนาการด้วย

- ควรมีการศึกษาถึงสภาวะการควบคุมเอกซ์ทรูดเดอร์ที่ใช้ในการผลิตด้วย เช่น อุณหภูมิ ปริมาณไอน้ำ ความดัน และความเร็วของสกรู ฯลฯ เนื่องจากสภาวะเหล่านี้มีผลต่อผลิตภัณฑ์ เช่นกัน ดังนั้นจึงควรศึกษา และหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ ที่มีคุณลักษณะที่ดี คือ พองกรอบ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ประชา บุญญสิริกูล. 2537. **บทบาทของเอกซ์ทรูดเดอร์ที่มีต่ออุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทย.** อาหาร. 24:1-12.

รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ. 2539. **หน่วยที่ 7 การถนอมและแปรรูปอาหารด้วยการเอกซ์ทรูชัน ไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด การใช้ความร้อนแบบโอห์มิกและความดันสูง.** เอกสารการสอนชุดวิชา "การถนอมและการแปรรูปอาหาร" . สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี.

วลัยลักณ์ ตระกูลวิวัฒน์. 2539. **การศึกษาคุณภาพของเอกซ์ทรูเดตจากข้าวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่.** ปัญหาพิเศษ. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วุฒิชัย นาครักษา 2535. **เทคโนโลยีธัญพืช** . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร.คณะเทคโนโลยีการเกษตร.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมศักดิ์ ทองดีแท้. 2535. **ขาวดอกมะลิ 105 มีประวัติมาอย่างไร.** วารสารข่าวศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. ตุลาคม-ธันวาคม:3-4.

อรพิน ภูมิภมร 2533. **เทคโนโลยีของแป้ง: เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย.** ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AACC. 1976. **American Association of Cereal Chemistry** . Approval Method The Association St. Paul, USA.

Almeida H.D - Dminguez, Gomez M.H., S.O. Serna - Saldivar, R.D.Waniska, L.W. Rooney and. E.W Lusas. 1993. **Extrusion Cooking of Pearl Millet for Production of Millet - Cowpea Weaning Food.** Chemistry. 70: 214-217.

Birch, G.G, and Priestley, R.J. 1973. **Degree of Gelatinization of cooked rice** . Staerke. 25:98.

Bhattacharya, M. and Hanna,M.A. 1987. **Textural properties of extrusion cooked corn starch.** Lebensm. Wiss. Technol. 20:195-201.

Case S.E, Hamann D.D and Schwartz S.J. 1992. **Effect of Starch Gelatinization on Physical Property of Extruded Wheat- and Corn- Based Products.** Cereal Chemistry.59:401-404

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chinnawamy,R and Hanna, M.A. 1987. A **Die-nozzle dimension effect on thhe expansion of extrusion-cooks corn starch** . J. Food Sci.

Clark, A.H. and Lee-Tuffnell C.D. 1986. **Gelation of globular proteins.** In: Functional Properties of Macromolecules. J.R. Mitchell and D.A. Ledward (eds.). Elsevier, London.

FAO. 1972. **Food Composition Table for Use in East Asia.** FAO and US. Department of Health, Educattion and Welfare . 334 p.

Guraya H.S. and. R.T. Toledo . 1994. **Volume Expansion during Hot Air Puffing of a Fat - free Starch - Based Snack.** J. Food Sci. 59: 641-643.

Hamaker,B.R.,Griffin, V.K. aand Moldenhaauer , K.A.K.1991. **Protential influence of starch granule-associated pprotein on cooked rice stickness.** J. Food Sci. 56 :1327

Hauck, B.W. and Huber, G. 1989. **Single Screw VS twin screw extrusion.** Cereal Food World. 34:390.

Inglett, G.E. 1974. **Wheat:Production and Utilization.** The AAVI Publishing Company, Inc.,Westport Connecticut, U.S.A.

Juliano, B.O. 1971. A **simplified assay for milled - rice amylose.** Cereal Science Today. 16:334-360 .

Kent, N.L. 1975. **Technology of Cereals with Special Reference to Wheat.** 2nd edition, Pergam on Press, Oxford, U.K.

Leonard, W.H. and Martin, J.H. 1963. **Cereal Crops.** Macmillan Publishing Co., New York, U.S.A. 824 p.

Neumann, P.E. and Chambers, E TV. 1993. **Effects of Honey Type and Level on the Sensory and Physical Properties of and Extruded Honey - Graham Formula Breakfast Cereal.** Cereal Food Wold. 38 : 420-425.

Rao, S.K. and Artz, W.E . 1989. **Effect of Extrusion on Lipid Oxidation.** J. Food Sci 54: 1580 - 1592.

Spies, R.D. and Hoseney, R.C. 1982. **Effect of sugars on starch gelatinization.** Cereal Chem. 59:128-131.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวรุจิรัตน์ แก้วเรืองฤทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัด นครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจาก โรงเรียนราชวินิตบางเขน เมื่อ พ.ศ. 2535 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ที่สถาบันเทคนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ สาขาวิชาเคมีสิ่งทอ เมื่อ พ.ศ. 2538 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) เมื่อ พ.ศ.2540

นางสาวศิรินทร์ เมฆอรุณวิทยา เกิดเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานครฯ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจาก โรงเรียนสตรีสมุทรปราการ เมื่อ พ.ศ. 2535 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ที่สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ สาขาวิชาเคมีอุตสาหการ-ปิโตรเคมี เมื่อ พ.ศ. 2538 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) เมื่อ พ.ศ. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้