สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมเส้นใยอาหาร ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น

EXTRUSION OF HIGH FIBER SNACK

ทวีชัย สุนทรธุรสุข
ศุภรัตน์ วารินทร์พงษ์
อำไพพันธุ์ เฉียมอาภรณ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72118
วัน,เดือน,ปี 11 มิ.ย. 2550

b 11763619
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมเส้นใยอาหาร
ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น

EXTRUSION OF HIGH FIBER SNACK

ผู้จัดทำ

1. ทวีชัย สุนทรธุรสุข	รหัสนักศึกษา	46010255
2. ศุภรัตน์ วารินทร์พงษ์	รหัสนักศึกษา	46010795
3. อำไพพันธุ์ เอี่ยมอาภรณ์	รหัสนักศึกษา	46010976

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมเส้นใยอาหาร ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น

นายทวีชัย สุนทรธุรสุข 46010255
นางสาวศุภรัตน์ วารินทร์พงษ์ 46010795
นางสาวอำไพพันธุ์ เอี่ยมอาภรณ์ 46010976

ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงงานนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ 1).การศึกษาการเตรียมสารเส้นใยอาหารจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร (กากสับปะรด,กากมะพร้าว) ตัวอย่างสารเส้นใยอาหารที่ได้นำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ โดยวิเคราะห์หาค่า ปริมาณความชื้น, Aw, สี, ขนาดอนุภาค และความหนาแน่น และ 2). ศึกษาการผลิตอาหารขบเคี้ยวเสริมเส้นใยอาหารที่ได้ทั้ง 2 ชนิดด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น โดยศึกษาถึงปริมาณเส้นใยอาหารที่ใช้ผสมที่อัตราผสม 5%, 10% และ 15% ในการผลิตได้กำหนดสภาวะการผลิตคงที่ที่ความชื้นวัตถุดิบ 17% อัตราการป้อน 1.296 กิโลกรัมต่อนาที ความเร็วรอบสกรู 620 รอบต่อนาที อุณหภูมิบาร์เรล 105°C เอกซ์ทรูเดทที่ได้ถูกนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 15 นาที ก่อนนำไปวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะต่างๆ เช่น ความชื้น, อัตราส่วนการขยายตัว ,ความหนาแน่น, สีและเนื้อสัมผัส จากการศึกษาพบว่า สารเส้นใยทั้งสองชนิดที่ได้สามารถนำมาใช้เสริมคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดท และการเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในเอกซ์ทรูเดทนั้นจะมีผลให้เอกซ์ทรูเดทที่ได้มีความหนาแน่น และความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนความชื้นและอัตราส่วนการขยายตัวนั้นจะมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXTRUSION OF HIGH FIBER SNACK

Mr.Tavechai Soonthronturasuk

Miss Ampaipun Iamarporn

Miss Suparat Varinpong

Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong Advisor

Year 2006

Abstract

This project was aimed to improve the nutrient of snack products. The experiment was divided into 2 parts 1). the preparation of pineapple and coconut residue as a fiber source in snacks and 2). the production of dietary fiber supplemented snack product by extrusion process. The fiber was blended with corn grit at 5%,10% and 15% and extruded in a lab-scale single screw extruder under the operating conditions of feed moisture 17% , feed rate 1.296 kg/min , screw speed 620 rpm and barrel temperature of 105 $^{\circ}$C. Extrudate was dried in an oven at 80 $^{\circ}$C for 15 minutes prior to analysis for expansion ratio , bulk density , color and texture. The experiment showed that the fiber supplemented snack product resulted in the reduction of expansion ratio, moisture content and crispness , while increasing in bulk density , hardness and toughness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้คำแนะนำและความรู้อันเป็นประโยชน์

ขอบคุณคุณกรุณา วงษ์กระจ่าง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ม.เกษตรศาสตร์ ที่ช่วยวิเคราะห์คุณค่าทางเคมีของเส้นใยอาหารจากกากสับปะรดและกากมะพร้าว

ขอบพระคุณบริษัทมาลีสามพรานที่กรุณาเอื้อเฟื้อแกนสับปะรดเพื่องานวิจัยในครั้งนี้

ขอบคุณพี่แมนและพี่แป้งสำหรับความช่วยเหลือในเวลาทำการทดลอง

ขอบคุณเพื่อนและพี่ๆ ทั้งหลายในภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่ช่วยให้คำปรึกษาเวลาเกิดปัญหา

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจ ห่วงใย และให้การสนับสนุนข้าพเจ้าจนงานสำเร็จลุล่วง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูป	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ของเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ใยอาหาร	4
2.1.1 คำจำกัดความ	4
2.1.2 ชนิดและองค์ประกอบของเส้นใยอาหาร	4
2.1.3 ประโยชน์ของเส้นใยอาหารและการประยุกต์ใช้	6
2.1.4 คุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของเส้นใยอาหาร	8
2.1.5 ความสัมพันธ์ของเส้นใยอาหารที่มีต่อสุขภาพ	10
2.1.6 ปริมาณที่ควรบริโภค	14
2.1.7 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของเส้นใยอาหาร	14
2.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสับปะรด	15
2.2.1 ประวัติของสับปะรด	15
2.2.2 ลักษณะทั่วไปของสับปะรด	15
2.2.3 พันธุ์สับปะรด	16
2.2.4 พื้นที่สำหรับปลูกสับปะรด	16
2.2.5 การผลิตของไทยระดับโรงงาน	16
2.3 กากมะพร้าว (Coconut meal)	19
2.3.1 ลักษณะทั่วไป	19
2.3.2 กรรมวิธีการแปรรูปกากมะพร้าว	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.3.3 องค์ประกอบทางโภชนาการ 24

2.3.4 สารพิษ สารยับยั้งโภชนะ และวิธีการลดพิษ 26

2.4 ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว 27

2.4.1 ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวแบบกรอบพอง 27

2.4.2 คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว 28

2.5 เทคโนโลยีเอกซ์ทรูชั่น (Extrusion technology) 28

2.5.1 กลไกการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 29

2.5.2 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ผลิตอาหารขบเคี้ยว 30

2.5.3 การแบ่งชนิดเครื่องตามวิธีการสร้างประกอบเครื่อง 31

2.5.4 วัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว
ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น 33

2.6 การทำแห้งอาหาร (Food Dehydration) 33

2.6.1 หลักการ 33

2.6.2 วัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหาร 33

2.6.3 การจำแนกเครื่องทำแห้ง 34

2.6.4 การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน 34

2.6.5 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง 35

2.7 การสกัด (Extraction and leaching) 36

2.7.1 ชนิดของกระบวนการสกัด 36

2.7.2 ระบบการสกัด 37

2.7.3 หลักการทั่วไปของการสกัด 39

2.7.4 ชนิดของเครื่องสกัด 40

2.8 การลดขนาด(Size Reduction) 41

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 42

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง 46

3.1 วัตถุดิบ 46

3.2 วัสดุและเครื่องมือ 46

3.3 ขั้นตอนการทดลองการผลิตเส้นใยอาหาร 47

3.3.1 การผลิตใยอาหารจากกากมะพร้าว 47

3.3.2 การผลิตใยอาหารจากกากสับปะรด 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.4 การทดลองผลิตอาหารขบเคี้ยวด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 48

3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของเส้นใยอาหาร 50

3.5.1 a_w 50

3.5.2 ความชื้น (Moisture Content) 50

3.5.3 สี 50

3.5.4 การหาขนาดอนุภาค 51

3.6 การวิเคราะห์คุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดท 51

3.6.1 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ 51

3.6.2 ความหนาแน่น 51

3.6.3 เนื้อสัมผัส (Texture) 52

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 54

4.1 ผลการสกัดเส้นใยอาหาร 54

4.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของเส้นใยอาหาร 54

4.2.1 ปริมาณความชื้น (moisture content) 55

4.2.2 ปริมาณ a_w (Water activity) 55

4.2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของใยอาหาร 55

4.2.4 ค่าสี (Color) 56

4.2.5 ค่าความหนาแน่น (Density) 56

4.2.6 ขนาดอนุภาค (Size) 56

4.3 ผลกาวิเคราะห์คุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดท 56

4.3.1 ความชื้น (Moisture Content) 61

4.3.2 ความหนาแน่น (Density) 62

4.3.3 อัตราส่วนการขยายตัว (Expansion Ratio) 64

4.3.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส(Texture) 65

4.3.5 ค่าสี (Color) 71

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 72

เอกสารอ้างอิง 73

ภาคผนวก 76

ภาคผนวก ก (ข้อมูลจากการวิเคราะห์เส้นใยอาหาร) 77

ภาคผนวก ข (ข้อมูลจากการวิเคราะห์เอกซ์ทรูเดท) 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ภาคผนวก ค (การคำนวณหาปริมาณความชื้นและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี) 103

ภาคผนวก ง (รูปแสดงขั้นตอนการทดลอง เครื่องมือที่ใช้และผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทที่ได้) 110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร	7
2.2 การผลิตสับปะรดของไทยปี 2546	17
2.3 การผลิตสับปะรด ปี 2547-2549	17
2.4 ส่วนประกอบทางเคมีแยกวิเคราะห์ตามส่วนต่างๆ ของสับปะรด (%วัตถุแห้ง)*	18
2.5 ส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรดจากโรงงาน (%วัตถุแห้ง)	19
2.6 คุณค่าทางโภชนะของกากมะพร้าว (ร้อยละ)	25
2.7 ปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในกากมะพร้าว	25
2.8 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดน้ำมันต่อคุณค่าทางโภชนาการ	26
2.9 สารอาหารที่ได้จากการบริโภคอาหารขบเคี้ยวของเด็กอเมริกัน คิดเป็นร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน(RDA)	28
2.10 แรงที่ใช้ในการลดขนาด	41
3.1 แผนการทดลองผลิตเอกซ์ทรูเดท	49
4.1 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารจากกากสับปะรดและกากมะพร้าว	55
4.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหาร จากกากสับปะรด และกากมะพร้าว	56
4.3 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการวิเคราะห์	57
4.4 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการวิเคราะห์ จากหัวกดแบบ Probe P/2	57
4.5 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการวิเคราะห์ จากหัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade	58
4.6 แสดงค่าสีของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดท ระบบ CIE	71
ก.1 ผลการตรวจวัดค่าความชื้น(%mc)	78
ก.2 ขนาดอนุภาคข้าวโพด	79
ก.3 ขนาดอนุภาค Fiber กากมะพร้าว	79
ก.4 การหาขนาดอนุภาค Fiberแกนสับปะรด	80
ก.5 ผลการตรวจวัดค่า Aw	81
ก.6 ผลการตรวจวัดค่าสีวัตถุดิบ	82
ก 7 ค่าความหนาแน่นรวมของ Fiber	83
ข.1 แสดงค่าอัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดท (ER) การทดลองที่1	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ หน้า

ข.2 แสดงค่าอัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดท(ER)การทดลองที่2 86

ข.3 ค่าความหนาแน่นจริงของเอกซ์ทรูเดท(True Density)การทดลองที่1 87

ข.4 ค่าความหนาแน่นจริงของเอกซ์ทรูเดท(True Density)การทดลองที่2 87

ข.5 ค่าความหนาแน่นรวมของเอกซ์ทรูเดท (Bulk Density) 88

ข.6 ผลการตรวจวัดค่าสีของเอกซ์ทรูเดท (ก่อนอบ) 89

ข.7 แสดงค่าแรงกดทะลุ (g/mm^2) จากหัวกดแบบ Probe P/2 90

ข.8 จำนวนพีคถึงพีคสูงสุดจากหัวกดแบบ Probe P/2 91

ข.9 แสดงพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด (g.sec) จากหัวกดแบบ Probe P/2 92

ข.10 แสดงค่าแรงแตกหัก (g/mm^2) จาก
หัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade การทดลองที่ 1 93

ข.11 แสดงค่าแรงแตกหัก (g/mm^2) จาก
หัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade การทดลองที่2 94

ข.12 จำนวนพีคถึงพีคสูงสุดจากหัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade การทดลองที่1 95

ข.13 จำนวนพีคถึงพีคสูงสุดจากหัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade การทดลองที่2 96

ข.14 แสดงพื้นที่ใต้กราฟถึงพีคสูงสุด (g.sec) จาก
หัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade การทดลองที่ 1 97

ข.15 แสดงพื้นที่ใต้กราฟถึงพีคสูงสุด(g.sec) จาก
หัวกดแบบ Warner-Blatzler Bladeการทดลองที่ 2 98

ข.16 ผลการตรวจวัดค่าความชื้นเอกซ์ทรูเดท(%mc)การทดลองที่1 99

ข.17 ผลการตรวจวัดค่าความชื้นเอกซ์ทรูเดท(%mc)การทดลองที่2 100

ข.18 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเอกซ์ทรูเดทในท้องตลาด 101

ข.19 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของเอกซ์ทรูเดทในท้องตลาด 102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 ขั้นตอนการทดลองการผลิตเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว	47
3.2 ขั้นตอนการทดลองการผลิตเส้นใยอาหารจากกากสับปะรด	48
3.3 ขั้นตอนการทดลองการผลิต ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวผสมใยอาหาร	49
4.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทผสมเส้นใยอาหารจากกากสับปะรด	59
4.2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทผสมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว	60
4.3 ตัวอย่างเอกซ์ทรูเดทที่ทำการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและสับปะรด	60
4.4 a: ปริมาณความชื้นของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว b: ปริมาณความชื้นของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารจากแกนสับปะรด	61
4.5 a: ความหนาแน่นจริงของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว b: ความหนาแน่นจริงของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด	62
4.6 a: Bulk density ของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว b: Bulk density ของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด	63
4.7 a: อัตราส่วนขยาย (ER) ของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว b: อัตราส่วนขยาย (ER) ของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด	64
4.8 a: ความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว จากProbe P/2 b: ความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด จากProbe P/2	65
4.9 a: ความกรอบของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว จากProbe P/2 b: ความกรอบของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด จากProbe P/2	66
4.10 a: ความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยกากมะพร้าว จากProbe P/2 b: ความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยแกนสับปะรด จากProbe P/2	67
4.11 a: ความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว จากหัวกดแบบ Warner –Blatzler b: ความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด จากหัวกดแบบ Warner –Blatzler	68
4.12 a: ความกรอบของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว จากหัวกดแบบ Warner –Blatzler b: ความกรอบของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด จากหัวกดแบบ Warner –Blatzler	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
4.13 a: ความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว จากหัวกดแบบ Warner –Blatzler b: ความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด จากหัวกดแบบ Warner –Blatzle	70
ง.1 แกนสับปะรด	110
ง.2 แกนสับปะรดหั่นเป็นชิ้น	110
ง.3 แกนสับปะรดบดหยาบ	110
ง.4 เหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยก	111
ง.5 บดละเอียดด้วยเครื่อง Blender	111
ง.6 กากสับปะรดบดละเอียด	111
ง.7 ต้มกากสับปะรด 2 ชั่วโมง เปลี่ยนน้ำทุกชั่วโมง	112
ง.8 กากสับปะรดหลังต้มแล้ว	112
ง.9 ทำแห้งเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรดด้วย Drum Dryer	112
ง.10 ลักษณะของเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรดก่อนบดละเอียด	113
ง.11 รูปเครื่องบดละเอียด	113
ง.12 รูปใยอาหารจากแกนสับปะรด	113
ง.13 รูปกากมะพร้าว	114
ง.14 รูป Tray Dryer	114
ง.15 รูปใยอาหารจากกากมะพร้าว	114
ง.16 ใส่ส่วนผสมลงในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	115
ง.17 การทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์	115
ง.18 เอกซ์ทรูเดทที่ได้	115
ง.19 นำเอกซ์ทรูเดทที่ได้ไปอบแห้งด้วย Tray Dryer 80°C ,15 นาที	116
ง.20 ลักษณะของเอกซ์ทรูเดทที่ได้	116
ง.21 การวัดหา True Density	117
ง.22 การวัดหา Bulk Density	117
ง.23 เครื่องวัด Aw	117
ง.24 เครื่องวัดสี	118
ง.25 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง	118
ง.26 โถดูดความชื้น	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ หน้า
ง.27 เครื่องวัดTexture โดยใช้หัววัดแบบ Probe P/2 119
ง.28 เครื่องวัดTexture โดยใช้หัววัดแบบ Warner-Blazer Blade 119
ง.29 กราฟจากเครื่องวัด Texture 119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมานี้มีผู้สนใจหันมาศึกษากลไกการทำงานของเส้นใยอาหารในร่างกายคนและสัตว์ทดลองกันมากขึ้น หลังจากที่ได้มีการตื่นตัวและมองเห็นความสำคัญในการบริโภคเส้นใยอาหารซึ่งจะช่วยลดปัญหาโรคต่าง ๆ ในระบบย่อยอาหารและดูดซึมอาหารโดยเฉพาะโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ แล้วผลจากการศึกษาในอีกหลาย ๆ ด้านยังให้ข้อมูลที่สนับสนุนความเป็นไปได้ของประโยชน์เส้นใยอาหารในการที่จะป้องกันและลดปัญหาโรคภัยในลักษณะอื่น ๆ อีกหลายอย่างจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้เส้นใยอาหารให้เกิดประโยชน์ทางโภชนาการต่อไป

สารเส้นใยอาหาร หรือ Dietary fiber เป็นชื่อรวมที่ใช้เรียกสารประกอบเชิงซ้อนหลายชนิดที่ได้จากพืชโดยเฉพาะผักผลไม้ซึ่งอาจเป็นส่วนประกอบของเปลือก, ราก, ใบ, ผล หรือ เยื่อหุ้มเมล็ดของเมล็ดธัญพืชชนิดต่าง ๆ อันเป็นส่วนที่ให้เยื่อใยซึ่งโดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยเซลลูโลส เพกติน ลิกนิน กัม แวกซ์ ฯลฯ ซึ่งสารเหล่านี้ไม่สามารถถูกย่อยและดูดซึมได้ในระบบย่อยอาหารของร่างกายคนเรา ซึ่งจากการที่ไม่สามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบย่อยอาหารของคนเรานี่เองทำให้เส้นใยอาหารสามารถทำหน้าที่และให้ผลในทางบวกต่อระบบลำไส้ของร่างกาย ซึ่งตัวเส้นใยอาหารเองก็จะกลายเป็นกากอยู่ในลำไส้ เป็นตัวกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ให้ลำไส้ทำงานได้ดีขึ้น ส่งเสริมการย่อยและดูดซึมสารอาหารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อร่างกาย ควบคุมระดับน้ำตาลในกระแสเลือด ควบคุมระดับคลอเรสเตอรอล ทำให้การขับถ่ายดีขึ้น เพิ่มปริมาตรและความชุ่มชื้นของอุจจาระ ลดอาการท้องผูก ช่วยลดอาการระคายเคืองของผนังลำไส้ใหญ่ที่เป็นสาเหตุของอาการท้องร่วง ลดอาการของริดสีดวงทวาร ที่สำคัญพบว่ามีส่วนช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่เส้นใยอาหารไปลดโอกาสสัมผัสระหว่างสารก่อมะเร็งกับเนื้อเยื่อผนังลำไส้ หรืออาจเกิดจากคุณสมบัติการดูดซับสารพิษของเส้นใยอาหารที่จะไปจับสารก่อมะเร็งเข้ามาไว้ในโครงสร้างของมันและนำออกสู่นอกร่างกายพร้อมกับอุจจาระหรือเพราะการที่กากอาหารมีปริมาณมากจนสามารถไปทำให้สารก่อมะเร็งลดความเข้มข้นลงไปมากจนไม่สามารถก่อให้เกิดผลร้ายต่อผนังลำไส้ได้ซึ่งเหล่านี้ล้วนเป็นข้อสันนิษฐานในการทำงานของเส้นใยอาหารที่ส่งผลดีต่อสุขภาพของร่างกาย โดยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมานั้นมีผู้สนใจหันมาศึกษากลไกการทำงานของเส้นใยอาหารในร่างกายคนและสัตว์ทดลองกันมากขึ้น หลังจากที่ได้มีการตื่นตัวและได้เห็นความสำคัญในการบริโภคเส้นใยอาหารซึ่งจะช่วยลดปัญหาโรคต่างๆ ในระบบย่อยและดูดซึมอาหารโดยเฉพาะปัญหาโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่แล้วผลจากการศึกษาในอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลาย ๆ ด้านยังให้ข้อมูลที่สนับสนุนความเป็นไปได้ในการที่จะป้องกันและลดปัญหาโรคภัยในลักษณะอื่น ๆ อีกหลายอย่าง เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคอ้วน และปัญหาภาวะไขมันสูงในหลอดเลือด สำหรับคนที่ต้องการลดและควบคุมน้ำหนัก เส้นใยอาหารจะช่วยเพิ่มปริมาณและปริมาตรของอาหารโดยจะเข้าไปแทนที่ของอาหารนั่นเอง ซึ่งจากคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ มันจะสามารถดูดซับน้ำเข้าไปในโครงสร้างของมันทำให้ปริมาตรของมันเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 20-30 เท่า หรือในพวกที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงอาจเพิ่มปริมาตรได้ถึง 80-100 เท่า จึงทำให้เส้นใยอาหารไปแทนที่อาหารในกระเพาะและกินพื้นที่ในกระเพาะเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้เรารู้สึกอิ่มและโดยที่เส้นใยอาหารไม่สามารถถูกย่อยและดูดซึมในร่างกายเราได้จึงทำให้ได้รับพลังงานน้อยเมื่อเทียบกับการบริโภคปกติ หลายประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่นได้มีการแนะนำและสนับสนุนให้ประชากรได้มีการบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารเพิ่มมากขึ้นจากที่เคยบริโภคอยู่ โดยการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปหลายประเภทที่มีการเสริมเส้นใยอาหารเข้าไปในปริมาณสูง

สำหรับประเทศไทยมีการตื่นตัวและตระหนักถึงความสำคัญของเส้นใยอาหารค่อนข้างน้อยทำให้การตลาดของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเส้นใยอาหารยังแคบอยู่ ทั้งนี้ต้องอาศัยการแนะนำส่งเสริมทางด้านข้อมูลข่าวสารให้ประชากรได้เข้าใจถึงคุณค่าและประโยชน์ของเส้นใยอาหาร ในสภาวการณ์ปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารขบเคี้ยวเป็นที่นิยมและมีมูลค่าทางการตลาดสูงถึง 100,000 ล้านบาทต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปสะดวกต่อการบริโภค ในจำนวนผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นถึงร้อยละ 40 ของมูลค่าส่วนแบ่งตลาดทั้งหมด ทั้งนี้เพราะกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นสามารถใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ สะดวกในการใช้งาน มีกำลังผลิตสูง และเป็นกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงจึงมักใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญ คือ

1. เพื่อศึกษาการผลิตเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและกากสับปะรด
2. เพื่อศึกษาการผลิตอาหารขบเคี้ยวเสริมเส้นใยอาหารด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. วัตถุดิบที่ทำการสกัดเส้นใยอาหารคือ กากสับปะรดและกากมะพร้าว
2. กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว โดยใช้ข้าวโพดบดเป็นวัตถุดิบหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ คือ

- ชนิดของใยอาหารที่ใส่ในวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์
- ปริมาณของใยอาหารที่ผสมอยู่ในวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้ถึงแนวทางในการสกัดใยอาหารจากพืชผักผลไม้ (กากสับปะรด,กากมะพร้าว)
2. ทราบถึงการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว
3. ได้ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าอาหารเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ใยอาหาร

2.1.1 คำจำกัดความ

เส้นใยอาหาร (Dietary Fiber ,DF) ถูกใช้เป็นครั้งแรกโดย Hipsley เมื่อปีค.ศ.1953 โดยเส้นใยอาหารเริ่มเป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์ นักโภชนาการ นักอุตสาหกรรมอาหาร ตลอดจนแพทย์ เพราะปัจจุบันมีผู้ป่วยด้วยโรคสังคมคนเมืองในยุคสมัยใหม่ที่เป็นกันมากในซีกโลกตะวันตกเมื่อประมาณสามสิบปีมานี้ บรรดาแพทย์ได้ตั้งข้อสังเกตว่าโรคหลายอย่างที่เป็นกันมากในซีกโลกตะวันตกไม่ค่อยพบในพวกชนพื้นเมืองในแถบทวีปอเมริกาตัวอย่างเช่น โรคท้องผูก ริดสีดวงทวาร แผลในลำไส้ใหญ่ ไส้ติ่งอักเสบ ติ่งเนื้อ และมะเร็งลำไส้ใหญ่ จากข้อสังเกตดังกล่าว บรรดาแพทย์จึงได้ตั้งสมมติฐานว่าความแตกต่างอาจเนื่องมาจากอุปนิสัยในการบริโภคและอาหารที่รับประทาน ชาวพื้นเมืองดังกล่าวได้รับประทานอาหารที่มีเส้นใยมาก ขณะที่ชาวตะวันตกรับประทานแป้งที่ได้จากข้าวที่ผ่านการขัดสีจนขาวและมีอาหารพวกเนื้อ นม ไข่ ซึ่งให้พลังงานสูง ทำให้เกิดภาวะทุพโภชนาการ ซึ่งปัญหาเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรง และแพร่กระจายมากขึ้นต่อไปในอนาคต พฤติกรรมที่พบว่าน่าจะมีความเกี่ยวข้องกับการได้รับพลังงานส่วนเกินคือ การเปลี่ยนแปลงจากที่เคยบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารมากไปสู่การบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารน้อย ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลทางระบาดวิทยา และจากการวิจัยของนักวิชาการด้านการแพทย์และโภชนาการ พบว่าเส้นใยอาหารมีความสัมพันธ์กับโรคที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน เช่น เมื่อบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารน้อยทำให้มีการบริโภคอาหารที่ให้พลังงานมากเกินกว่าที่ร่างกายต้องการจึงทำให้เกิดโรคอ้วนซึ่งผลของโรคอ้วนอาจทำให้เกิดโรคที่มีผลต่อสุขภาพร่างกายอื่น ๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจขาดเลือด

ในปัจจุบันคำจำกัดความของเส้นใยอาหารนั้นยังไม่สามารถอธิบายได้อย่างแน่ชัดเนื่องจากเส้นใยอาหารนั้นไม่ได้เป็นสารชนิดเดียวแต่ประกอบด้วยองค์ประกอบหลายชนิดและมีโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อน สำหรับคำจำกัดความที่ได้รับการยอมรับคือ คำจำกัดความของ Trowell เมื่อปี ค.ศ. 1976 ซึ่งกล่าวไว้ว่า " ส่วนประกอบของพืชที่ไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอ็นไซม์ในระบบทางเดินอาหารของร่างกายมนุษย์ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นโพลีแซกคาไรด์ และ ลิกนิน "

2.1.2 ชนิดและองค์ประกอบของเส้นใยอาหาร

ในการศึกษาทางด้านเคมีได้มีการวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารในรูปของปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber) โดยวิธีการของ AOAC(1990) สำหรับองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเส้นใยอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Dietary Fiber) ประกอบด้วย

<u>เซลลูโลส</u> เป็นสายโพลีแซกคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันแบบเบต้า 1,4 จะเป็นส่วนประกอบโครงสร้างหลักของพืชทั่ว ๆ ไปโดยเฉพาะผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงในอาหารจำพวกผักและธัญพืชจะมีปริมาณเซลลูโลสสูงถึง 20-50% ของน้ำหนักแห้ง จากผลการศึกษาค้นคว้าเชื่อว่าเซลลูโลสจะช่วยดูดซึมสารก่อมะเร็ง ซึ่งอาจเกิดขึ้นในทางเดินลำไส้อันเนื่องมาจากการรับประทานอาหารที่มีสารไนเตรต และช่วยป้องกันการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่ร่างกายดังนั้นจึงมีประโยชน์แก่ผู้เป็นโรคเบาหวานด้วย

<u>เฮมิเซลลูโลส</u> โครงสร้างหลักประกอบด้วยกลุ่มของน้ำตาลหลายชนิด โดยที่น้ำตาลกลุ่มใหญ่ที่สุดจะเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 ตัวเช่น น้ำตาลไซโลส กรณีที่น้ำตาลไซโลสต่อกันเป็นสายยาวจะเรียกว่า " ไซแลนโพลิเมอร์ " รองลงมาได้แก่น้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 ตัวเช่น กาแลคโตสต่อกันเป็นสายยาวจะเรียกว่า "กาแลคแตนโพลีเมอร์" หรือน้ำตาลกลูโคสกับแมนโนสจะเรียกว่า "กลูโคแมนแนนโพลีเมอร์" นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลกลุ่มอื่น ๆ ที่ต่ออยู่กับโครงสร้างหลักเช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลอะราบิโนส และกลูโคโลนิคแอซิด ความแตกต่างของเฮมิเซลลูโลสกับกลูโคสคือเฮมิเซลลูโลสสามารถละลายได้ในด่างอ่อน ในพืชมักพบเฮมิเซลลูโลสอยู่ร่วมกับเซลลูโลสอยู่ร่วมกับเพคตินแทรกอยู่ในชั้นของผนังเซลล์ อย่างไรก็ตามเฮมิเซลลูโลสมักเกิดอยู่ร่วมกับเซลลูโลสช่วยป้องกันโรคท้องผูกได้เช่นกัน

<u>ลิกนิน</u> พบในพืชจำพวกไม้เนื้อแข็งเป็นโครงสร้างโพลีเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำเกิดจากการรวมตัวกันของโมเลกุลแอลกอฮอล์ที่มีรูปร่างเป็นวงแหวน หน้าที่ของลิกนินจะช่วยให้ความแข็งแรงและทนทานต่อการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย เมื่อพืชมีอายุที่มากขึ้นจะพบว่ามีปริมาณลิกนินสูงขึ้นจึงทำให้ทนทานต่อการย่อยสลายได้มากขึ้น นอกจากนี้ ยังเชื่อกันว่าลิกนินมีส่วนช่วยป้องกันการเกิดนิ่วในถุงน้ำดี โดยลิกนินนั้นจะพบมากในข้าว เช่น ข้าวสาลี,ข้าวโอ๊ต,รำและแป้งที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีการขัดและฟอกสี ผลไม้พวกเบอรี่ เช่น สตรอเบอรี่ ราสเบอรี่ ,ถั่วงอก ,กะหล่ำปลีและมะเขือเทศ

<u>คิวตินและแวกซ์</u> พบร่วมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืชโดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในปริมาณที่น้อย

นอกจากนี้ยังพบเพคตินที่ไม่สามารถละลายน้ำได้แต่มีปริมาณน้อย

เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble Dietary Fiber) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย

<u>เพคติน</u> โครงสร้างเป็นสายโพลิเมอร์ของ D-galacturonic acid ที่ต่อกันแบบอัลฟา1,4 โดยมีน้ำตาลหลายชนิดที่อยู่รวมกันในโครงสร้างหลัก เช่น น้ำตาลกาแลคโตส ,น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแรมโนส ,น้ำตาลอะราบิโนส เมื่อละลายน้ำแล้วมีลักษณะคล้ายวุ้น เพคตินสามารถพบได้ในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้ม ฝรั่งและแอปเปิ้ล จากการวิจัยพบว่าเพคตินมีส่วนช่วยลดปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอเรสเตอรอลในร่างกายมนุษย์ แต่เพคตินจะไม่ช่วยป้องกันโรคท้องผูกซึ่งแตกต่างจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

<u>เบต้ากลูแคน</u> ประกอบด้วยสายของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันแบบเบต้า1,3 และเบต้า1,4 คุณสมบัติโดยทั่วไปสามารถละลายน้ำได้ มีเพียงส่วนเล็กน้อยที่ไม่สามารถละลายน้ำพบได้ในข้าวโอ๊ต ข้าวไรน์และข้าวบาร์เล่ย์

<u>กัมและมิวซิเลจส์</u> นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้พบว่า เส้นใยอาหารประเภทกัมนอกจากช่วยทำให้อาหารเหนียวข้นแล้วยังมีส่วนช่วยในการลดปริมาณคลอเรสเตอรอลในร่างกายและช่วยลดปริมาณน้ำตาลในกระแสเลือดของงผู้ป่วยโรคเบาหวาน กัมแบ่งเป็นหลายชนิด ดังต่อไปนี้

- วุ้น เป็นมิวซิเลจส์ที่ได้จากสาหร่าย
- อัลจิเนต สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม เกลือโปตัสเซียม หรือเกลือแมกเนเซียม ทำให้สามารถละลายได้ดีทั้งน้ำร้อนและน้ำเย็น
- อะราบิคกัม สกัดได้จากต้นอะคาเซีย
- คาราจิแนน โครงสร้างเป็นสายโพลิเมอร์ของ Sulfonated galactose
- กัวกัม สกัดจากเอนโดสเปิร์มของเมล็ด Cyamopsis tetragonologus เป็นพืชตระกูลถั่วที่พบในประเทศอินเดียและปากีสถาน ลักษณะโดยทั่วไป ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น
- แซนแทนกัม พบในแบคทีเรียชื่อ Xanthomonas campestris โดยเกิดจากปฏิกิริยาหมู่อะเซทิลและหมู่ไพรูเวทในน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแมนโนสและกลูโคโลนิคแอซิด

นอกจากนี้ยังมีอินเดียกัม ,คารายากัม ,โลกัสบีนกัม ,ไซเลียนซีดกัม เป็นต้น และ ยังพบว่ามีเฮมิเซลลูโลสบางชนิดสามารถละลายน้ำได้ด้วยแต่จะมีปริมาณน้อย

2.1.3 ประโยชน์ของเส้นใยอาหารและการประยุกต์ใช้

จากองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันทำให้เส้นใยอาหารทั้ง 2 ชนิด คือ เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ให้คุณประโยชน์ในเชิงโภชนบำบัดต่อระบบร่างกายที่แตกต่างกันออกไปและเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารก็จะให้ผลที่แตกต่างกันด้วย

ประโยชน์ของเส้นใยอาหารสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้ง 2 ด้านคือ

ทางด้านการแพทย์

เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยอาหารมีลักษณะคล้ายฟองน้ำและมีประจุไฟฟ้าอยู่ด้วยจึงสามารถยึดเกาะได้ ในขณะที่เส้นใยอาหารนี้เคลื่อนตัวไปตามระบบทางเดินอาหาร ระบบดูดซึมและย่อยอาหารของร่างกายโดยเฉพาะในส่วนของลำไส้ซึ่งโครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ที่ต่างกันของเส้นใยอาหารนี้เองจึงทำให้เส้นใยอาหารทั้ง 2 ชนิดมีบทบาทที่แตกต่างกันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การจำแนกองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร

FIBER	CHEMICAL COMPONENTS	
	MAIN CHAIN	SIDE CHAIN
POLYSACCHARIDE		
CELLULOSE	GLUCOSE	NONE
HEMICELLULOSE	XYLOSE	ARABINOSE
	MANNOSE	GALACTOSE
	GALACTOSE	GLUCORONIC ACID
	GLUCOSE	
PECTIC SUBSTANCES	GALACTURONIC ACID	RHAMNOSE
		ARABINOSE
		XYLOSE
		FUCOSE
MUCILAGES	GALACTOSE-MANNOSE	GALACTOSE
	GLUCOSE-MANNOSE	
	ARABINOSE-XYLOSE	
GUM	GALACTOSE	XYLOSE
ALGAL	MANNOSE	GALACTOSE
NONPLOYSACCHARIDE		
LIGNIN	SINAPYL ALCOHOL	B-dimension structure
	CONIFERYL ALCOHOL	
	p-COUMARYLALCOHOL	

เส้นใยอาหารช่วยระบบการย่อยตั้งแต่ที่ปาก การเคี้ยวอาหารจำพวกเส้นใยอาหารเป็นการกระตุ้นการไหลของน้ำลายและน้ำย่อยที่กระเพาะอาหารจะเริ่มหลั่งออกมาด้วย เมื่ออาหารถูกกลืนเส้นใยอาหารจะดูดน้ำพองตัวขึ้น เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคตินและกัม จะช่วยให้อาหารในกระเพาะข้นเหนียวอันเป็นทำให้รู้สึกอิ่มและทำให้อาหารเคลื่อนตัวออกจากกระเพาะไปยังลำไส้ใหญ่ช้าลง ทำให้ร่างกายมีเวลาที่จะดูดซึมเอาสิ่งที่ย่อยแล้วไปใช้ใหม่ แต่มีข้อเสียที่เกลือแร่ เช่น เหล็ก แคลเซียมและสังกะสี อาจจะถูกรวมตัวกับเส้นใยอาหารแล้วไม่ถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกายและกรดน้ำดีที่ช่วยในการย่อยอาหารก็จะถูกรวมตัวกับเส้นใยอาหารอีกด้วย เซลลูโลสและเส้นใยอาหารอื่น ๆ ที่ไม่ละลายน้ำจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านเข้าไปในลำไส้ แต่เพคตินและกัมจะเกิดการหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่เกิดเป็นแก๊สและกรดไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยอาหารได้รับความสนใจมากและมีการศึกษาวิจัย พบว่าเส้นใยอาหารมีประโยชน์ในการป้องกันและบรรเทาโรคต่าง ๆ ได้มากมาย ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อความสัมพันธ์ของเส้นใยอาหารกับสุขภาพ

ทางด้านอาหารและโภชนาการ

การนำเส้นใยอาหารไปใช้ขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของอาหาร จุดประสงค์ในการใช้ประโยชน์จากเส้นใยอาหารและคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารนั้นๆด้วยมีการนำเส้นใยอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยสังเคราะห์ เช่น Polydextose ไปใช้ในการเสริมเติมแต่งในผลิตภัณฑ์อาหารมากมายทั้งอาหารสำเร็จรูปและเครื่องดื่ม

อย่างไรก็ตามการเสริมเส้นใยอาหารลงในอาหารจะทำให้เกิดผลต่อลักษณะของอาหารหลายประการ ผลที่เกิดขึ้นได้แก่

การเพิ่มความหนืด (Viscosity) ความหนืดเป็นค่าแรงต้านทานการไหลของของเหลว หรือเป็นอัตราส่วนของ shearing stress ต่ออัตราของ shearing เส้นใยอาหารชนิดละลายน้ำได้สามารถเป็นตัวควบคุมการไหลของสารละลายซึ่งเป็นหน้าที่สำคัญ การควบคุมการไหลนี้ สืบเนื่องมาจากการวางตัวของเส้นใยอาหารและการเกิดปฏิกิริยาของโพลิเมอร์กับตัวทำละลายเส้นใยอาหารที่ใช้เพียงเล็กน้อยแต่ให้ความหนืดสูงจึงเป็นที่นิยม

การเกิดเจล (Gel-forming) การเกิดเจลจะเกิดจากการรวมตัวของสายโพลิเมอร์ที่จุดจุดหนึ่ง เรียกว่า Junction Zone การเกิดจุดนี้ได้จะต้องมีโครงสร้างที่แน่นอน

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) เส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำทั้งสองชนิด โดยถ้าเป็นพวกที่ละลายน้ำได้ก็จะทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เกิดผลต่อการไหลของของเหลวซึ่งจะทำให้เกิดความหนืดมากขึ้นอีก ในบางกรณีอาจเกิดเป็นเจลแต่ถ้าเป็นเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำก็จะไม่เกิดเจลแต่จะดูดซับน้ำโดยส่วนของโมเลกุลที่ชอบจับน้ำ การอุ้มน้ำเป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งที่ทำให้อาหารชื้นไม่แห้ง มีความชุ่มฉ่ำอยู่เสมอ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อจะดูสดน่าซื้อน่าบริโภค

การคงลักษณะอิมัลชั่น (Stabilization of Emulsion) อุตสาหกรรมน้ำสลัด(ประเภทลดแคลอรี) มักจะใช้เส้นใยอาหารเพื่อทำให้กลิ่นของเครื่องเทศดีขึ้นและรักษาความเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำและน้ำมัน สารที่ใช้ได้แก่อัลจิเนตและแซนแทนกัม ส่วนเพคตินจะใช้ป้องกันการจับเป็นก้อนของเคซีนของผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว นอกจากนี้ยังมีการใช้กัวกัมในไอศกรีมเพื่อป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่

2.1.4 คุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของเส้นใยอาหาร

ปัจจัยสำคัญในการพิจารณาคุณภาพของเส้นใยอาหารที่มีต่อระบบร่างกายได้แก่

การศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ภายในโครงสร้าง (Water Holding Capacity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ความสามารถของเส้นใยอาหารที่จะตรึงน้ำไว้ภายในโครงสร้างของมันในสภาวะใด สภาวะหนึ่งสามารถหาค่าได้เป็นตัวเลขได้โดยคิดจากปริมาณน้ำที่ถูกตรึงไว้ภายในโครงสร้างของมัน คิดเป็นมิลลิลิตรต่อหนึ่งหน่วยของน้ำหนักแห้ง จากการศึกษาพบว่าเส้นใยอาหารที่มีเพคตินและเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบจะสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้มากจนเกิดลักษณะเป็นวุ้นในขณะที่เส้นใยอาหารที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบจะไม่สามารถเกิดลักษณะเช่นนี้จึงทำให้มีการประยุกต์ใช้เฮมิเซลลูโลสในอาหารสำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก เพื่อให้อาหารที่รับประทานเข้าไปขยายตัวเพิ่มปริมาตรในกระเพาะอาหาร ทำให้เกิดความรู้สึกอิ่มนานกว่าปกติ ซึ่งเป็นการลดทั้งปริมาณอาหารที่รับประทานและพลังงานที่ร่างการได้รับ นอกจากนี้จากคุณสมบัติการอุ้มน้ำได้ดีของเส้นใยอาหารจะช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหาร อันจะไปกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ทำให้กากอาหารนุ่มมีปริมาตรมาก ถ่ายสะดวก เส้นใยอาหารที่ให้ประโยชน์ประเภทนี้มักเป็นพวกที่หยาบ ละลายน้ำไม่ได้ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารนี้ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีขนาดของเส้นใยอาหาร ปริมาณอิเลกโตรไลท์และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายนั้น

การศึกษาความสามารถในการดูดซึมสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น กรดน้ำดี คลอเรสเตอรอล ยา สารก่อมะเร็งและสารพิษต่างๆ จากโครงสร้างของเส้นใยอาหารที่เป็นที่เกาะยึดของสารอินทรีย์เหล่านี้ก่อให้เกิดผลดีต่อร่างกายโดยเมื่อภายหลังจากที่เส้นใยอาหารถูกขับออกจากระบบลำไส้ใหญ่ สารอินทรีย์ที่เกาะกับเส้นใยอาหารก็จะถูกขับออกจากร่างกายพร้อม ๆ กันทำให้ปริมาณและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ดังกล่าวลดลงเช่น ลดระดับซีรั่มคลอเรสเตอรอลที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อ จากการศึกษาพบว่าองค์ประกอบทางเคมีจะมีผลต่อการยึดเกาะของสารเหล่านี้ เช่น ลิกนิน เพคตินและโพลีแซกคาไรด์ที่มีความเป็นกรดจะสามารถดูดซึมกรดได้ดี ส่วนเซลลูโลสสามารถยึดเกาะสารเคมี1,2ไดเมทิลไฮดราซีนที่เป็นสารก่อมะเร็งได้ดีกว่าเพคติน จากผลการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุกับสารอื่นๆ ที่มากับอาหารโดยเฉพาะพวกสารพิษและอนุมูลอิสระต่าง ๆ ทำให้เส้นใยอาหารสามารถดึงเอาสารพิษเหล่านี้ออกจากอาหารรวมทั้งการที่เส้นใยอาหารสามารถดึงเอาสารพิษเหล่านี้ออกจากอาหารรวมทั้งการที่เส้นใยอาหารสามารถลดการหมักหมมของกากอาหารในลำไส้ด้วยจึงทำให้ลดโอกาสที่สารก่อมะเร็งเหล่านี้สัมผัสกับผนังลำไส้

การศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

เส้นใยอาหารประเภทโพลีแซกคาไรด์ที่มีหมู่คาร์บอกซีอิสระ ทำให้มีโมเลกุลที่มีความเป็นกรดเช่น เพคติน ลิกนิน จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับเกลือแร่ และอิเลคโตรไลท์ต่าง ๆ ดังนั้นเมื่อเส้นใยอาหารถูกขับออกจากร่างกายจึงทำให้เกลือแร่และอิเลคโตรไลท์ต่าง ๆ ที่เกาะกับโครงสร้างของเส้นใยอาหารถูกขับออกจากร่างกายด้วยซึ่งอาจมีโทษต่อร่างกายได้เช่นกัน โดยการบริโภคเส้นใยอาหารมากเกินไปมันก็จะไปจับกับเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียม แมกนีเซียม ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของกระดูก เหล็กและสังกะสีซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของร่างกายได้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการยืนยันที่แน่นอนหรือมีข้อมูลการศึกษาวิจัยที่สนับสนุนในเรื่องของผลเสียที่มีต่อร่างกายหากมีการบริโภคเส้นใยอาหารในปริมาณที่มากเกินไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลเสียที่มีต่อการดูดซึมและการนำไปใช้ของเกลือแร่และอิเลคโตรไลท์ไปใช้

การศึกษาความสามารถในการถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของสารเส้นใยอาหาร คือ ความสามารถในการเป็นสารตั้งต้นหรือเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ การย่อยสลายนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโพลีแซกคาไรด์โดยที่ความสามารถในการอุ้มน้ำ และโครงสร้างของโพลีแซกคาไรด์มีผลต่อการย่อยสลาย เช่น เพคติน มิวซิเลจส์และกัม สามารถถูกย่อยสลายได้ดีในขณะที่เซลลูโลสสามารถถูกย่อยได้เพียงบางส่วนเท่านั้นผลที่ได้จากการย่อยสลาย คือ กรดไขมันสายสั้นๆ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโตและการย่อยสลายนี้จะทำให้สภาพความเป็นกรด-ด่างในลำไส้ใหญ่เปลี่ยนไป โดยจะมีความเป็นกรดมากขึ้นซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของเอนไซม์จากจุลชีพ การทำงานของระบบลำไส้ที่ปกติก็เนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์นั่นเอง ดังนั้นในอาหารที่รับประทานจึงควรพิจารณาถึงชนิดและองค์ประกอบที่มีอยู่ใน เส้นใยอาหารนั้น ๆ เช่น ผักกาดขาวและกะหล่ำปลีสามารถถูกย่อยสลายได้ถึง 90% ในขณะที่รำข้าวสาลีจะไม่ถูกย่อย และองค์ประกอบที่เป็นเฮมิเซลลูโลสมีแนวโน้มที่จะถูกย่อยสลายได้มากกว่าเซลลูโลส

ขนาดของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารจากแหล่งต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามขนาดและความหนาแน่น ดังนี้

- ขนาดใหญ่ เช่น AACC ,BRAN
- ขนาดกลาง เช่น กากมะพร้าว เปลือกถั่วอัลมอนด์ และรำข้าวชนิดต่าง ๆ
- ขนาดเล็ก เช่น รำข้าวที่สกัดไขมันออกแล้ว ,เส้นใยอาหาร

2.1.5 **ความสัมพันธ์ของเส้นใยอาหารที่มีต่อสุขภาพ**

จากความแตกต่างในองค์ประกอบทางเคมีทั้งชนิดและปริมาณที่มีอยู่ในเส้นใยอาหารอันจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของเส้นใยอาหารซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสามารถของเส้นใยอาหารในการส่งเสริมสุขภาพ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทางด้านระบาดวิทยา พบว่าโรคสมัยใหม่ที่เกิดขึ้นกับคนที่อาศัยอยู่ในสังคมเมืองยุคโลกาภิวัฒน์เช่น โรคไส้ติ่งอักเสบ โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง ริดสีดวงทวาร มะเร็งลำไส้และโรคหัวใจขาดเลือด มักมีความสัมพันธ์กับการบริโภคเส้นใยอาหารในปริมาณน้อยรายละเอียดต่อไปนี้จะกล่าวถึงความสำคัญของเส้นใยอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบย่อยและระบบดูดซึมอาหารของร่างกายอันมีความเกี่ยวข้องโดยตรงต่อสุขภาพของคนเรา

เส้นใยอาหารกับการทำงานของระบบลำไส้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าส่วนประกอบหลักของเส้นใยอาหารจะประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคตินและลิกนิน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์และความสามารถในการเป็นสารอาหารในการเสริมสร้างการเจริญเติบโตให้กับเชื้อจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของมนุษย์ เช่น เส้นใยอาหารจากข้าวสาลี ที่ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยไม่ละลายน้ำจำพวกเซลลูโลส และลิกนิน เส้นใยอาหารจากข้าวสาลีจะมีผลในการส่งเสริมการทำงานของระบบลำไส้โดยตรง สำหรับเพคตินซึ่งเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำส่วนใหญ่จะพบในผักและผลไม้จะไม่มีผลต่อการส่งเสริมการทำงานของระบบลำไส้เนื่องจากเพคตินสามารถถูกย่อยสลายได้ทั้งหมดโดยจุลินทรีย์นั่นเอง การเพิ่มการบริโภคเส้นใยอาหารจากข้าวสาลีจะส่งผลต่อระบบร่างกายดังต่อไปนี้

- เพิ่มปริมาตรและความชุ่มชื้นของอุจจาระ
- ลด Intestinal transit time
- เพิ่มจำนวนครั้งในการขับถ่ายอุจจาระ
- เพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระสายสั้น ๆ
- เพิ่มสภาพความเป็นกรดในลำไส้จากการย่อยสลายเส้นใยอาหารโดยจุลินทรีย์

การศึกษาต่อมาถึงการเพิ่มปริมาตรอุจจาระและความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหาร โดยทำการศึกษาทดลองในคนพบว่า การผลิตกรดไขมันอิสระสายสั้นๆนี้ต้องอาศัยการจับตัวกันของโมเลกุลของน้ำโดยอาศัยแรงดันออสโมติค การเกิดลักษณะเจลจากเส้นใยอาหารส่งผลทำให้มีการเพิ่มน้ำหนักของเสียที่ถูกขับออกมาหรืออุจจาระนั่นเอง ปริมาณของของเสียที่ถูกขับถ่ายเพิ่มขึ้นออกมาเนื่องมาจากปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นด้วย

เส้นใยอาหารกับมะเร็งลำไส้

การศึกษาทางด้านระบาดวิทยาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของปริมาณเส้นใยอาหารน้อยแต่มีปริมาณไขมันสูงนั้นมีความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์ของการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งโดยปกติจะพบได้มากในแถบที่มีการบริโภคเส้นใยอาหารในปริมาณที่น้อยแต่มีไขมันที่มีปริมาณสูง มีการศึกษาโดยใช้หนูเป็นสัตว์ทดลองพบว่ามีอัตราการเกิดเนื้องอกจะพบสูงสุดในอาหารที่มีปริมาณไขมัน 28% กับรำข้าวสาลี 22 กรัม การศึกษาในรายละเอียดถึงกลไกการป้องกันโรคของเส้นใยอาหารสันนิษฐานได้ว่า

- คุณสมบัติของเส้นใยอาหารที่ช่วยเพิ่มปริมาตรในอุจจาระโดยเฉพาะในเส้นใยอาหารที่มาจากธัญพืชนั้นทำให้ลดการสัมผัสโดยตรงระหว่างสารก่อมะเร็งกับเนื้อเยื่อของระบบลำไส้จึงทำให้อัตราเสี่ยงในการเกิดมะเร็งน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับ Colonic transit time หรือเวลาที่เราบริโภคเข้าไปเดินทางผ่านระบบลำไส้ที่สั้นลงนั้นก็จะส่งผลทำให้ลดระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างสารก่อมะเร็งและเนื้อเยื่อของระบบลำไส้

- ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นทำให้ลำไส้มีสภาพความเป็นกรดมากขึ้นทำให้เกิดการปรับตัวของจุลชีพต่อการทำงานในระบบเมตาบอลิซึม

ดังจะเห็นได้ว่าจากการตอบสนองของลำไส้ต่อการเพิ่มปริมาณการบริโภคเส้นใยอาหารโดยส่วนใหญ่นั้นขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเส้นใยอาหารนั่นเอง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จะไม่ส่งผลต่อการทำงานของระบบลำไส้และไม่ได้มีส่วนช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งลำไส้เนื่องจากถูกย่อยสลายได้หมดโดยจุลชีพ

เส้นใยอาหารกับโรคหัวใจขาดเลือด (Ischaemic Heart Disease)

ในแง่ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเส้นใยอาหารที่รับประทานกับโรคหัวใจขาดเลือดนั้นเป็นที่สนใจกันอย่างกว้างขวางมากในปัจจุบัน เพราะอัตราการเสียชีวิตของประชากรในประเทศที่พัฒนาแล้วด้วยสาเหตุจากโรคนี้มีปริมาณสูงขึ้นเรื่อย ๆ ปัจจัยเสี่ยงประการหนึ่งในการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบเนื่องมาจากการพบปริมาณคลอเรสเตอรอลทั้งหมดในซีรั่มในปริมาณสูง

ถึงแม้เส้นใยอาหารจะมีผลต่อเมตาบอลิซึมของคลอเรสเตอรอลในเลือดของสัตว์ทดลองแต่ผลการศึกษาจำนวนมากในคนยังไม่สามารถหาข้อสรุปได้อย่างแน่ชัดนั่นคือพบว่าเพคตินมีผลต่อการลดลงของระดับปริมาณคลอเรสเตอรอลทั้งหมดในซีรั่ม ในขณะที่เส้นใยอาหารจากธัญพืชจะมีผลต่อปริมาณคลอเรสเตอรอลทั้งหมดในซีรั่มน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาโดยทดลองให้คนรับประทานเพคตินโดยเฉลี่ยวันละ 10-20 กรัม ซึ่งหมายถึงจะต้องรับประทานผักผลไม้ในปริมาณที่มากกว่าปกติพบว่าปริมาณคลอเรสเตอรอลทั้งหมดในซีรั่มลดลง 0.3-0.8 มิลลิโมลต่อลิตร ในขณะที่รับประทานผักผลไม้ในปริมาณปกติจะสามารถลดระดับคลอเรสเตอรอลได้ 0.2-0.3 มิลลิโมลต่อลิตร ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการรับประทานเส้นใยอาหารในปริมาณที่พอเหมาะจะส่งผลต่อการลดลงของปริมาณคลอเรสเตอรอลทั้งหมดในซีรั่ม นอกจากนี้สาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งของการเกิดอาการทางโรคหัวใจคือ ความดันโลหิตสูง ซึ่งได้มีการศึกษาที่ให้ข้อมูลที่สนับสนุนว่าเส้นใยอาหารอาจมีผลในการช่วยลดความดันโลหิต ทำให้ช่วยลดปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจขาดเลือดได้

เส้นใยอาหารกับโรคเบาหวาน

ในปัจจุบันการรักษาโรคเบาหวานสามารถทำได้ 3 ทางด้วยกัน คือ การฉีดฮอร์โมนอินซูลิน การควบคุมอาหารและการใช้ยาซัลโฟนิลยูเรียร่วมกับการควบคุมอาหาร ผลจากการรักษาผู้ป่วยโรคเบาหวานพบว่าวิธีการควบคุมอาหารเป็นวิธีที่ดีที่สุด เนื่องจากการฉีดฮอร์โมนอินซูลินนั้นฉีดได้ไม่เกิน 40 ยูนิตสำหรับการใช้ยาหรือความสามารถในการรักษาอาจลดลงได้ซึ่งก็อาจเกิดจากสาเหตุความไม่ต่อเนื่องในการใช้ยา สำหรับการควบคุมอาหารนั้นพบว่ามีการเพิ่มปริมาณของเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใยอาหารประเภทกัวกัมที่ให้ร่วมกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตตั้งแต่ 22-68% สามารถลดปริมาณกลูโคสในปัสสาวะได้ถึง 64% นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ พบว่าทั้งเพคตินและกัวกัมมีผลควบคุมปริมาณน้ำตาลในกระแสเลือดแต่ยังไม่ทราบกลไกที่ชัดเจน ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพบว่า มีความเป็นไปได้ที่อาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงซึ่งเป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนนั้นจะมีผลทำให้การดูดซึมสารอาหารในระบบดูดซึมของร่างการช้าลง โดยเส้นใยอาหารนี้จะไปทำหน้าที่เสมือนผนังกั้นการแพร่ของสารอาหารไปสู่เนื้อเยื่อดูดซึมในผนังลำไส้ทำให้ช่วยยืดระยะเวลาที่มีปริมาณกลูโคสอยู่ในกระแสเลือด ช่วยรักษาระดับน้ำตาลกลูโคสให้เป็นปกติ นอกจากนี้การบริโภคอาหารคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยอาหารในปริมาณสูงเป็นเวลานานจะสามารถเพิ่มจำนวนตัวรับอินซูลินที่อยู่บนเซลล์และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของกลูโคส แม้ว่าการศึกษาทางกลไกการทำงานของเส้นใยอาหารยังไม่แน่ชัดแต่ทางการแพทย์ได้มีการยอมรับและใช้กัวกัมในการบำบัดรักษาโรคเบาหวานกันอย่างกว้างขวาง

เส้นใยอาหารกับการกำหนดปริมาณพลังงานที่ได้รับจากการบริโภคอาหาร

ผลทางอ้อมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรับประทานเส้นใยอาหาร คือ เส้นใยอาหารสามารถกำหนดหรือควบคุมปริมาณพลังงานที่ร่างกายจะได้รับ โดยเมื่อนำเส้นใยอาหารที่ไม่มีพลังงานเหล่านี้ไปแทนที่ในอาหารจึงทำให้พลังงานในอาหารต่อหนึ่งหน่วยนั้นลดลงหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือรู้สึกอิ่มได้เร็วและนานขึ้น นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอาหารและลักษณะเนื้อสัมผัสสำหรับพลังงานที่เกิดขึ้นจากขบวนการเมตาบอลิซึมของกรดไขมันอิสระสายสั้นนั้นให้พลังงานน้อยมากจึงไม่มีความจำเป็นที่ร่างกายคนจะนำพลังงานส่วนนี้มาใช้

เส้นใยอาหารกับปริมาณการดูดซึมเกลือแร่

ผลกระทบที่เกิดจากการบริโภคเส้นใยอาหารในปริมาณที่มากเกินไปที่อาจจะเกิดขึ้นได้ แต่ยังไม่มีข้อมูลที่แน่นอนกับการทดลองในคน คือ การขัดขวางการดูดซึมของปริมาณเกลือแร่อิสระและสารอาหารบางชนิดที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย ในการศึกษาทางด้านกลไกของปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยอาหารกับเกลือแร่นั้นพบว่ามีความเป็นไปได้ที่เกลือแร่จะยึดเกาะกับเส้นใยอาหารก่อนที่ร่างกายจะทำการดูดซึมเกลือแร่และโดยปกติในอาหารประเภทพืช ผัก ที่มีปริมาณที่น้อยอยู่แล้ว ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจึงเท่ากับเป็นการเพิ่มปริมาณเกลือแร่ต่าง ๆ ด้วย นอกจากนี้ในการศึกษาผลของเส้นใยอาหารต่อร่างกายนั้นยังไม่พบภาวะการขาดความสมดุลย์ของเกลือแร่ในร่างกาย เส้นใยอาหารต่างชนิดกันก็ให้ผลต่อการดูซึมเกลือแร่ในร่างกาย เส้นใยอาหารต่างชนิดกันก็ให้ผลต่อการดูดซึมเกลือแร่ของระบบดูดซึมในร่างกายคนเราต่างกันด้วย เช่น พวกรำข้าวสาลี สามารถยับยั้งและลดการดูดซึมแคลเซียมได้มาก แต่เส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน กลับไม่สามารถยับยั้งการดูดซึมของเกลือแร่ได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ปริมาณที่ควรบริโภค

ด้วยเส้นใยอาหารมีบทบาทที่สำคัญต่อสุขภาพ ดังนั้นหน่วยงานในต่างประเทศหลายหน่วยงานจึงได้กำหนดปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภค เช่น ในประเทศอังกฤษ HCF Diabetes Foundation ได้กำหนดปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภคต่อวันในรูปปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดจำนวน 20-35 กรัมต่อวัน สำหรับคนปกติและสำหรับผู้ที่อยู่ในความควบคุมของแพทย์ควรจะได้รับวันละ 35-50 กรัมต่อวัน ส่วนในองค์กร NACNE (The British Nation Advisory Committee On Nutrition Education) เสนอให้ประชาชนทั่วไปบริโภคอย่างน้อยวันละ 30 กรัม สำหรับประเทศอเมริกาหน่วยงาน The Federation Of American Societies For Experimental Biology เสนอให้เพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจาก 10 กรัมเป็น 13 กรัมต่ออาหาร 1000 กิโลแคลอรี่ หน่วยงาน The American Diabetes Association เสนอให้รับประทานวันละ 25 กรัมต่ออาหาร 1000 กิโลแคลอรี่ และสถาบัน The International Cancer Institute เสนอให้บริโภควันละ 20-30กรัม สำหรับในประเทศไทยนั้นยังมิได้มีการกำหนดปริมาณการบริโภคสารเส้นใยอาหารที่แน่นอนขึ้น อย่างใดทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัฒนธรรมการบริโภคและชนิดของอาหารประจำวันโดยทั่วไปของคนไทยนั้นมักจะประกอบไปด้วย ผักและผลไม้หลายชนิด จึงทำให้การบริโภคสารเส้นใยอาหารโดยทั่วไปต่อวันของประชากรไทยสูงอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่น่าเป็นห่วงในขณะนี้คือพฤติกรรมการบริโภคของประชากรชาวไทยเริ่มเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากความเปลี่ยนแปลงทางด้านเศรษฐกิจและปัจจัยรอบด้านหลาย ๆ อย่าง เช่น ภาวการณ์เร่งรีบ ,รสนิยมการบริโภค การเข้ามามีบทบาทของวัฒนธรรมทางตะวันตก ฯลฯ ทำให้รสนิยมการบริโภคอาหารประเภทอาหารจานด่วน (Fast Food) มีมากขึ้น จากเหตุนี้เองทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารร่างกายควรจะได้รับมีปริมาณน้อยลงมาก คาดว่าในไม่ช้าหน่วยงานหลาย ๆ หน่วยงานในประเทศไทยที่รับผิดชอบทางด้านอาหารและโภชนาการคงจะช่วยกันกำหนดแนวทางในการปฏิบัติและปริมาณการบริโภคสารเส้นใยอาหารนี้ขึ้นอย่างแน่นอน

2.1.7 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของเส้นใยอาหาร

จากคำจำกัดความของเส้นใยอาหารที่ว่า "เส้นใยอาหาร คือ ส่วนประกอบของพืชที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของร่างกายมนุษย์ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นโพลีแซกคาไรด์และลิกนิน" ทำให้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เส้นใยอาหารกันอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันได้มีการวิเคราะห์เส้นใยอาหารหลายวิธีต่อไปนี้

1. วิธี Crude Fiber

คือการวิเคราะห์สิ่งที่ยังเหลืออยู่หลังจากผ่านการสกัดด้วยกรดอ่อนและด่างอ่อนแล้ว แต่จากการศึกษาพบว่า 80% ของเฮมิเซลลูโลส ,60% ของลิกนิน และ 50% ของเซลลูโลสจะสูญหายไประหว่างการวิเคราะห์ดังนั้นผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ได้จึงน้อยกว่าความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธี Gravimetric

หลักการคือ สกัดส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยอาหารออกไปโดยการตกตะกอนส่วนที่เป็นเส้นใยอาหารด้วย 80% Ethanol จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้จะได้น้ำหนักของ Total Dietary Fiber

3. วิธีการใช้สารเคมี(Chemical) : Enzyme-Gravimetric หลักการ

- ตัวอย่างจะถูก treat ด้วยเอนไซม์เพื่อย่อยแป้งและส่วนของโพลีแซกคาไรด์และตกตะกอนเส้นใยอาหารด้วย 80% Ethanol ซึ่งจะได้เป็น Total Dietary Fiber โดยสามารถแยกวิเคราะห์เฉพาะส่วนที่ละลายน้ำและส่วนที่ไม่ละลายน้ำก็ได้

- การศึกษาเส้นใยอาหารโดยรวม (Total Dietary Fiber) และการแยกวิเคราะห์เฉพาะส่วนที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้นั้นสามารถทำได้โดยการใช้กรดย่อยและศึกษาเฉพาะแต่ละองค์ประกอบ

2.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสับปะรด

2.2.1 ประวัติของสับปะรด

สับปะรดเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศแถบลาตินอเมริกา ซึ่งอยู่ในทวีปอเมริกาใต้ เขตระหว่างเส้นละติจูด 15-30 องศาใต้และลองจิจูด 40-60 องศาตะวันตก คือ แถบประเทศบราซิล อาเจนตินา และประเทศปารากวัย สับปะรดได้ถูกนำเข้ามาในเมืองไทยเมื่อสมัยกรุงศรีอยุธยาโดยชาวโปรตุเกส

2.2.2 ลักษณะทั่วไปของสับปะรด

สับปะรดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีอายุหลายปี อยู่ในวงศ์โบรมิเลียซี (Bromeliaceae) สกุลอานานาส (Ananas comosus L. Merr.) เป็นพืชที่ทนแล้งมากชนิดหนึ่ง เพราะมีคุณสมบัติพิเศษในการรักษาน้ำให้อยู่ในลำต้นและใบได้ดี คือปากใบจะอยู่ใต้ใบ และปากใบจะเปิดในตอนกลางคืนเพื่อรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเก็บสะสมไว้ในรูปกรด เพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์แสงในตอนกลางวัน การเปิดของปากใบในตอนกลางคืนจะทำให้การระเหยของน้ำออกจากใบน้อย เมื่อเทียบกับพืชอื่น ๆ ซึ่งต้นสับปะรดประกอบส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ ลำต้น ใบ ดอก ผล ก้านผล จุกตะเกียง หน่อ และราก

โดยผลของสับปะรดมีรูปทรงคล้ายกระบอก ตอนล่างของผลจะมีหน่อเล็ก ๆ เรียกว่า ตะเกียง บริเวณตอนบนของผลอาจจะมีจุกซึ่งประกอบไปด้วยใบสั้น ๆ อัดกันแน่นอาจมีหน่อเล็ก ๆ ออกมาทางด้านข้างเรียกหน่อนี้ว่า จุกตะเกียง ตะเกียงและจุกตะเกียงในสับปะรดบางพันธุ์อาจไม่มีในระหว่างที่ผลแก่แป้งที่เก็บไว้ในแกนจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงจะขยายออกไปทางด้านข้างทำให้สับปะรดมีรสชาติที่หวานขึ้น ผลสับปะรดจะเป็นผลรวมที่เกิดจากการเชื่อมติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผลย่อยประมาณ 100-200 ผล โดยอัดกันแน่นประสานเป็นเนื้อเดียวกัน ผลของสับปะรดโดยทั่วไปจะมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 2.2 กิโลกรัม

2.2.3 พันธุ์สับปะรด

พันธุ์ที่ปลูกในประเทศแบ่งออกได้เป็น 5 พันธุ์ โดยถือตามลักษณะของต้นที่ได้ขนาดโตเต็มที่ และแข็งแรงสมบูรณ์เป็นบรรทัดฐานดังนี้คือ 1. พันธุ์ปัตตาเวีย 2. พันธุ์อินทรชิต 3. พันธุ์ขาว 4. พันธุ์ภูเก็ตหรือสวี 5. พันธุ์นางแลหรือน้ำผึ้ง ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย รู้จักแพร่หลายในนามสับปะรดศรีราชาและชื่ออื่น ๆ เช่น ปราณบุรี สามร้อยยอด ปลูกกันมากเพื่อโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ ชลบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ลำปาง และการปลูกกันทั่ว ๆ ไป เพื่อขายผลสด เพราะมีรสหวานฉ่ำมีน้ำมาก ลักษณะทั่ว ๆ ไป คือมีใบสีเขียวเข้ม และเป็นร่องตรงกลาง ผิวใบด้านบนเป็นมันเงา ส่วนใต้ใบจะมีสีออกเทาเงิน ตรงบริเวณกลางใบมักมีสีแดงอมน้ำตาล ขอบใบเรียบมีหนามเล็กน้อยบริเวณปลายใบ กลีบดอกสีม่วงอมน้ำเงิน ผลมีขนาดและรูปทรงต่างกันไป มีน้ำหนักผลอยู่ระหว่าง 2-6 กิโลกรัม แต่โดยปกติทั่วไปประมาณ 2.5 กิโลกรัม เปลือกผลเมื่อดิบสีเขียวคล้ำ เมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้ม ทางด้านล่างของผลประมาณครึ่งผล ก้านผลสั้น มีไส้ใหญ่ เนื้อเหลืองอ่อน แต่จะเปลี่ยนเป็นสีเข้มในฤดูร้อน

2.2.4 พื้นที่สำหรับปลูกสับปะรด

พื้นที่ปลูกสับปะรดที่สำคัญอยู่ในภาคกลาง คือ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งมีเนื้อที่ให้ผลผลิตตลอดปีกว่าร้อยละ 50 ของเนื้อที่ให้ผลผลิตทั้งประเทศ รองลงมาได้แก่ ระยอง เพชรบุรีและชลบุรี ภาคเหนือปลูกมากที่ อุทัยธานี และลำปาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือปลูกมากที่หนองคาย และภาคใต้ที่ชุมพร

สับปะรดสามารถปลูกได้เกือบทุกเดือน แต่ในช่วงที่เหมาะสมคือ ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนพฤษภาคม ระบบการปลูกสับปะรดที่นิยมใช้กันอยู่มี 2 วิธี คือ 4 ปี(ไว้หน่อครั้งเดียว) สามารถเก็บผลได้ 2 ครั้ง และระบบ 5 ปี (ไว้หน่อ 2 ครั้ง) ซึ่งเก็บผลได้ 3 ครั้ง โดยสับปะรดที่ให้ผลครั้งแรกเรียกว่า สับปะรดรุ่น 1 ซึ่งจะเก็บผลเมื่ออายุประมาณ 18 เดือน สับปะรดรุ่นต่อไปเรียกว่า สับปะรดตอ 4 และตอ ซึ่งจะเก็บผลเมื่อปลูกไว้ประมาณ 3 ปี และ 4.5 ปี แต่ขนาดของผลและผลิตผลจะลดลงตามลำดับ

2.2.5 การผลิตของไทยระดับโรงงาน

โรงงานผลิตสับปะรดกระป๋องของไทยส่วนใหญ่ร้อยละ 99 จะทำการผลิตเพื่อส่งออก ปัจจุบันโรงงานผลิตสับปะรดกระป๋องของไทยมีประมาณ 35 โรงงาน โดยมีกำลังการผลิตในปี 2546 ประมาณ 483,073 ตัน แต่สามารถผลิตได้จริงประมาณ 268,495 ตัน หรือร้อยละ 55.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกำลังการผลิต โดยพบว่าในปี 2546 การผลิตสับปะรดกระป๋องของไทยเพิ่มขึ้นจากปี 2545 ร้อยละ 39.82 เนื่องจากคำสั่งซื้อจากต่างประเทศเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในตลาดสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 2.2 การผลิตสับปะรดของไทยปี 2546

ปี	พื้นที่เก็บเกี่ยว(ไร่)*	ผลผลิตรวม* (ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ย* (ตัน/ไร่)	การใช้ภายในประเทศ (ตัน)**	เข้าโรงงานเพื่อส่งออก (ตัน)**	ราคารับซื้อของโรงงาน (บาท/กก.)**
2542	620,000	1,786,234	3.83	-	-	-
2543	611,000	2,371,791	3.68	550,000	1,821,791	-
2544	552,456	2,248,000	3.58	380,000	1,868,000	-
2545	496,481	1,978,822	3.33	300,000	1,678,822	4.42
2546	500,000	1,655,366	3.40	400,000	1,255,366	4.04

ที่มา : * FAO Statistical 2003 , ** กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 2.3 การผลิตสับปะรด ปี2547-2549

	ปี2547	ปี 2548	ปี 2549	การเปลี่ยนแปลง (%)
ผลผลิตโลก (ล้านตัน)	15.58	15.60	-	-
ผลผลิตไทย (ล้านตัน)	1.99	2.07	2.27	0.10
บริโภคสดภายในประเทศ (ล้านตัน)	0.32	0.27	0.47	0.74
เข้าโรงงานเพื่อแปรรูป	1.67	1.80	1.80	-

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ สับปะรดที่นิยมปลูกและมีคุณสมบัติเหมาะสม คือมีสัดส่วนของผลที่ใช้ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจสูง และส่งโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย จากการศึกษาของสมบัติและคณะ (2539) รายงานว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีสัดส่วนของต้นสับปะรดคิดเป็น น้ำหนักผล 37.35 เปอร์เซ็นต์ ใบ 38.78 เปอร์เซ็นต์ จุก 7.77 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของต้น ก้านผลและหน่อเท่ากับ 12.86 3.08 และ 0.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สับปะรดเมื่อเข้าโรงงานจะทำการปลิดจุกและก้านออกคิดเป็นน้ำหนักประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักทั้งผล

72118
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สับปะรดหนึ่งผลจะหนักประมาณ 1,754.4 กรัม/ผล ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 3,870.00 กิโลกรัม/ไร่ สับปะรดหนึ่งผลเมื่อเข้าแปรรูปในโรงงาน จะมีเศษเหลือใช้จากการทำสับปะรดกระป๋องประมาณ 1,228.1 กรัม/ผล ในพื้นที่ 1 ไร่ จะได้เปลือกสับปะรดเฉลี่ย 2,700.55 กิโลกรัม หรือถ้าคิดเป็นปริมาณเปลือกทั้งประเทศประมาณ 2.8 ล้านตัน ส่วนของใบสับปะรดประมาณ 4.0 ล้านตันและจุกประมาณ 0.370 ล้านตัน เศษเหลือและผลพลอยได้เหล่านี้จะมีออกมากทุกปีระหว่างเดือน เม.ย.-มิ.ย. และระหว่าง พ.ย.-มี.ค. ในช่วงเวลาอื่นจะมีน้อย

เศษเหลือของสับปะรดจากโรงงานจะมีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันทั่วไปเรียกว่าเปลือกสับปะรดหรือกากสับปะรดจะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ มีเปลือกด้านข้าง ส่วนหัว ส่วนล่าง ไส้ (แกนกลาง)และเศษเนื้อ อาจจะมีส่วนใดส่วนหนึ่งมากน้อยแล้วแต่โรงงาน ซึ่งจะทำให้ส่วนประกอบทางเคมีจากเศษเหลือของสับปะรดหรือเปลือกสับปะรดมีค่าแตกต่างกัน โดยทั่วไปเปลือกสับปะรดสดจากโรงงานทำสับปะรดกระป๋องจะมีปริมาณน้ำอยู่สูง มีวัตถุแห้งประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรด-ด่าง(pH)อยู่ระหว่าง 3.2-3.4 (Perez และคณะ,1973) มียอดโภชนะย่อยได้ (TDN) 65-74 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ และวิตามินอีต่ำ (Muller,1974,1975) ปริมาณน้ำตาลที่พบมากส่วนใหญ่เป็นพวกซูโครส (70 %) กลูโครส (20 %) และฟรุคโตส (10 %) (muller,1978) ได้แสดงผลวิเคราะห์แยกตามส่วนต่างๆ (ตารางที่ 2.4) และได้รวบรวมผลวิเคราะห์ของเปลือกสับปะรดได้จากโรงงานแปรรูปทำสับปะรดกระป๋อง

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบทางเคมีแยกวิเคราะห์ตามส่วนต่างๆ ของสับปะรด (%วัตถุแห้ง)*

ส่วนประกอบ	เปลือกด้านข้าง	ส่วนหัว	ส่วนล่าง	แกน(ไส้)	เศษเนื้อ
ความชื้น	85.8	84.9	85.9	88.6	84.5
โปรตีน	4.4	4.1	5.4	3.2	3.6
ไขมัน	1.5	1.2	1.4	1.3	1.2
เยื่อใย	8.1	11.6	13.4	8.9	4.7
เถ้า	4.9	5.4	7.6	3.8	4.2
NFE	81.1	77.7	72.2	82.8	86.3
NDS	72.9	61.2	53.1	73.1	85.5
NDF	27.1	38.8	46.9	26.3	14.5
ADF	12.1	17.1	20.4	12.2	5.8
ADL	1.7	1.9	2.8	0.7	0.6
Cellulose	10.4	15.2	17.6	11.5	5.2
Hemicellulose	15.0	21.7	26.5	14.1	8.7

* ที่มา:วรพงษ์ และวิภา (2528)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกสับปะรดจากโรงงาน (%วัตถุแห้ง)

แหล่งที่มา	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	NFE
Khajiarern และ Khajiarern (1984)	4.80	1.9	25.5	4.5	63.3
FAO (1983)	6.90	0.9	17.80	4.0	70.40
ขวนิศดากร (2526)	3.74	3.81	12.72	3.99	77.72
จินดาและคณะ (2528)	6.44	1.84	13.96	6.81	52.95
จินดาและคณะ (2542)	6.00	3.81	14.84	6.81	68.54

เปลือกสับปะรดจากโรงงานแปรรูปเป็นพวกเปลือก แกนกลาง และเศษเนื้อ เรียกรวม ๆ ว่า เปลือกสับปะรด จะมีประมาณ 70-75 % ของน้ำหนักผล หรือ 3 ใน 4 ส่วนของผลสับปะรดที่โรงงานรับซื้อ มีปริมาณความชื้นสูงเฉลี่ย 90 % มีโปรตีนเฉลี่ย 3-5 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งแร่ธาตุและวิตามินต่ำค่อนข้างต่ำ แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรทสูงเฉลี่ย 52-85 % และมีเยื่อใยสูง25.2%

2.3 กากมะพร้าว (Coconut meal หรือ Copra Meal)

2.3.1 ลักษณะทั่วไป

มะพร้าว (Coconut) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ Cocos nucifera L. อยู่ในวงศ์ Palmae วงศ์เดียวกับปาล์มน้ำมัน เป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่นำมาผลิตน้ำมันพืชซึ่งเจริญเติบโตได้โดยทั่วไปในเขตร้อน มีอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอและมีความชุ่มชื้นสูงพอ บริเวณที่มีการปลูกมะพร้าวมากอยู่ตามแนวใกล้เส้นศูนย์สูตร ที่ละติจูด 20 องศาเหนือและใต้ การผลิตมะพร้าวและผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว ส่วนมากได้แก่มะพร้าวแห้งซึ่งเป็นเนื้อมะพร้าวสีขาวตากแห้งจนมีความชื้นร้อยละ 5-6 ส่วนใหญ่ผลิตจากแถบแปซิฟิกและเอเชียซึ่งเป็นแหล่งที่ใช้มะพร้าวเป็นอาหารสำคัญ การผลิตมะพร้าวในประเทศไทย ชาวสวนจะปลูกมะพร้าวเพื่อเก็บผลเป็นส่วนใหญ่ทั้งนี้เพื่อนำไปประกอบอาหาร และแปรรูปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ มะพร้าวเป็นพืชที่ปลูกได้แทบทุกภาคของประเทศไทย เราสามารถใช้ประโยชน์จากต้นมะพร้าวได้แทบทุกส่วนไม่ว่าจะเป็นลำต้น ก้าน ราก ใบ และผล

ความต้องการใช้มะพร้าวในด้านการบริโภค และเป็นวัตถุดิบในด้านอุตสาหกรรม คนไทยใช้มะพร้าวในการประกอบอาหารทั้งคาวและหวาน ผลิตน้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลสดและน้ำตาลเมา ส่วนมะพร้าวที่เหลือจากการบริโภคและส่งออกแล้ว ส่วนใหญ่จะนำไปแปรรูปเป็นเนื้อมะพร้าวแห้ง เพื่อป้อนโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันพืช สำหรับบริโภค และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกกวาด เนยเทียม สบู่ และในอุตสาหกรรมอื่นๆ การสกัดน้ำมันมะพร้าว ใช้เนื้อมะพร้าวแห้งเป็นวัตถุดิบ โดยนำมะพร้าวไปตากแดดทั้งกะลาหรือนำไปอบในเตาย่างมะพร้าว เพื่อให้เนื้อร่อนแกะออกจากกะลาได้ง่ายซึ่งทำให้สามารถเก็บเนื้อมะพร้าวไว้ได้นาน นอกจากใช้มะพร้าวบริโภคโดยตรงใช้ปรุงอาหารและใช้ในการสกัดน้ำมันพืชแล้วส่วนอื่นๆ ยังใช้ทำประโยชน์ได้ และที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ กากมะพร้าวที่ได้จากการสกัดน้ำมันสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

ราคาของมะพร้าวในฤดูเก็บเกี่ยวมีราคาต่ำ เนื่องจากปริมาณสินค้าเข้าสู่ตลาดมาก โดยเฉพาะในช่วงกลางปีคือระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมเป็นระยะที่มะพร้าวมีผลดก จำมีมะพร้าวออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมาก และราคาจะสูงขึ้นในตอนปลายปี เพราะเป็นระยะที่มะพร้าวให้ผลน้อย ประกอบกับเป็นฤดูกาลที่มีงานเทศกาลงานมหกรรมต่างๆ มาก ความต้องการมะพร้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติจึงทำให้มะพร้าวมีราคาสูงขึ้นในช่วงนี้เป็นประจำทุก ๆ ปี ผลิตอาหารจากมะพร้าว ส่วนใหญ่ที่ได้จากเนื้อมะพร้าวมีอยู่ประมาณ 29 - 30% ของน้ำหนักผลมะพร้าวและจากน้ำมะพร้าวซึ่งมีอยู่ประมาณ 21 - 26 % ต่อน้ำหนักของผลมะพร้าว ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากมะพร้าว ได้แก่ กะทิ ,กะทิเข้มข้น ,กระทิผง ,น้ำมันมะพร้าว ,แป้งมะพร้าว รวมทั้งอาหารต่าง ๆ ที่ทำด้วยเนื้อมะพร้าวโดยตรง เช่น มะพร้าวแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำมะพร้าวได้แก่ น้ำส้มสายชู น้ำมะพร้าวอ่อน น้ำตาลมะพร้าว เป็นต้น ผลพลอยได้จากการแปรรูปมะพร้าวที่เหลือคือ กากมะพร้าว สามารถนำไปเลี้ยงสัตว์ได้โดยนำเนื้อมะพร้าวแห้งผ่านขบวนการ Expeller หรือผ่านขบวนการ Solvent Extraction ได้น้ำมันมะพร้าว และส่วนที่เหลือคือกากมะพร้าวนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยปกติการผลิตน้ำมันมะพร้าวจะผลิตจากเนื้อมะพร้าวแห้งที่มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 การผลิตเนื้อมะพร้าวแห้งที่มีน้ำหนัก 180 กิโลกรัม ใช้มะพร้าวประมาณ 1000 ลูก กากมะพร้าว มีชื่อเรียกเป็นภาษาอังกฤษที่รู้จักกันคือ Coconut Meal หรือ Copra Meal (แพรวพรรณ, 2542)

กากมะพร้าวเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชของอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานหีบหรือสกัดน้ำมันจากมะพร้าวแห้ง ผลผลิตกากมะพร้าวที่ได้ประมาณ 30- 40 เปอร์เซ็นต์ ของมะพร้าวแห้งที่ใช้สกัดน้ำมัน (1.7 ล้านตันในปี 2537) โดยมีประเทศฟิลิปปินส์และอินโดนีเวียเป็นประเทศผู้ผลิตหลัก กากมะพร้าวที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดอัดน้ำมันโดยเครื่องอัดเกลียว มีโปรตีนประมาณ 16 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ และไขมันตกค้างอยู่ระหว่าง 9 ถึง 16 เปอร์เซ็นต์ ผันแปรไปตามโรงงานที่ผลิต (สาโรช ,2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากมะพร้าวแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามกระบวนการผลิต คือ

- กากมะพร้าวสกัดน้ำมัน เป็นกากส่วนที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำมันจากเนื้อมะพร้าวแห้ง โดยวิธีสกัดด้วยสารเคมี

- กากมะพร้าวอัดน้ำมัน เป็นกากส่วนที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำมันจากเนื้อมะพร้าวโดยใช้เครื่องมือกล

ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ

กากมะพร้าวสกัดน้ำมัน

- สี น้ำตาลอ่อน ถึงสีน้ำตาลบางขึ้นยังคงเป็นสีขาว
- กลิ่น กลิ่นเหมือนมะพร้าวอบ
- ลักษณะเนื้อ มีลักษณะเป็นแผ่นเล็ก ๆ มีลักษณะบาง เบา ฟู

กากมะพร้าวอัดน้ำมัน

- สี น้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม โดยทั่วไปสีจะเข้มกว่าชนิดสกัดน้ำมัน
- กลิ่น กลิ่นเหมือนมะพร้าวอบ
- ลักษณะเนื้อ มีลักษณะเป็นแผ่นหนา ลักษณะฟู ฟ่ามเกาะกันไม่แน่น ด้านหนึ่งสีเข้มกว่าอีกด้านหนึ่งเมื่อบดเป็นผงหยาบลักษณะค่อนข้างเบา

ลักษณะที่ตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ

- กากมะพร้าว ประกอบด้วยส่วนเปลือกเมล็ด และเนื้อมะพร้าวเกาะรวมกันแต่ละส่วนมีลักษณะดังนี้

- เปลือกเมล็ด มีลักษณะเป็นชิ้นเล็ก ๆ สีน้ำตาลแดงถึงสีดำทึบแสง ผิวเรียบเป็นมันเมื่อใช้กำลังขยายสูงถึง 60 เท่า จะเห็นเป็นลักษณะเม็ดกลมขนาดเล็ก เรียงอัดกันแน่นคล้ายกับผิวของกะลาปาล์ม แต่จะบางและนิ่มกว่ากะลาปาล์มมาก

- เนื้อมะพร้าว คือ ส่วนของ endosperm มีลักษณะฟ่ามเกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ

ลักษณะรูปร่าง โครงสร้าง และการจัดเรียงตัวของเซลล์ในเนื้อเยื่อ

กากมะพร้าว มีลักษณะเป็นก้อนสีเหลือง พบส่วนที่เป็นโครงร่างของเซลล์ คือส่วนของผนังเซลล์มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเรียงต่อกัน ส่วนลักษณะในเซลล์เป็นช่องว่างเนื่องจากสารอาหารภายในเซลล์ซึ่งเป็นน้ำมันสกัดออกไป โดยทั่วไปเนื้อมะพร้าวแห้ง 100 กิโลกรัม ผลิตน้ำมันมะพร้าวได้ประมาณกว่าร้อยละ 60 และเป็นส่วนกากประมาณกว่าร้อยละ 30 (แพรวพรรณ , 2542) และอีกลักษณะหนึ่ง คือ เปลือกเมล็ดมีความทึบแสง ไม่สามารถมองเห็นลักษณะภายในได้จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยกลองกำลังขยายสูง ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์กากมะพร้าวทางกล้องจุลทรรศนะ ลักษณะเฉพาะที่สำคัญในการนำมาใช้ในการจำแนกชนิดว่าเป็นกากมะพร้าวจะใช้ลักษณะของเปลือกเมล็ดจากการตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอเป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 กรรมวิธีการแปรรูปกากมะพร้าว

เนื่องจากอาหารโปรตีนจากพืชส่วนใหญ่ เป็นกากของเมล็ดพืชน้ำมันที่ได้ทำการแยกเอาน้ำมันออกไปแล้ว กากที่เหลือจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีโปรตีนสูง เช่น เมล็ดถั่วเหลือง ถั่วลิสง ฝ้าย งา ทานตะวัน ดอกคำฝอย นุ่น โรปนะสีด ลินสีด ปาล์ม ยางพารา และมะพร้าว เป็นต้น วิธีการแยกเอาน้ำมันออกมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีมีผลกระทบต่อคุณภาพของกากมะพร้าวที่ได้ในขบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวจะมีส่วนของเนื้อมะพร้าวที่เหลือจากการสกัดน้ำมันออก หรือหีบน้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าวแล้วนำมาอัดเป็นแผ่นก่อนจึงทำการบดในภายหลัง ขบวนการแยกน้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าวสามารถทำได้ 2 วิธีดังนี้

<u>การแยกโดยใช้แรงอัดหรือบีบเอาน้ำมันออก</u>

การที่จะทำให้เกิดแรงบีบหรือแรงอัดสูง ๆ ได้ต้องอาศัยหลักการของการขันเกลียว ดังนั้นวิธีการนี้จึงเรียกรวม ๆ ว่าเป็นการใช้เกลียวอัด ซึ่งการใช้เกลียวอัดได้ยกออกเป็น 2 รูปแบบ เรียกได้ว่าเป็นขบวนการแบบเก่าที่ทำมานานปัจจุบันยังใช้กันอยู่ได้แก่

- Expeller process ขั้นแรกเมล็ดพืชจะถูกทำให้แตกก่อนแล้วทำให้แห้ง โดยผ่านเข้าไปในห้องที่ทำให้ร้อนด้วยไอน้ำ วิธีนี้ไอน้ำจะไม่สัมผัสกับวัตถุดิบแต่จะถูกกั้นอยู่ชั้นนอก อากาศชั้นในที่มีวัตถุดิบอยู่จะร้อนโดยการอบให้ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิจาก 85 องศาฟาเรนไฮต์ จนถึง 270 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 8 นาทีจากนั้นส่งเข้าสู่ถังที่อุณหภูมิคงที่ 270 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 13 นาที ทำให้ความชื้นในวัตถุดิบระเหยออกจนเหลือ 2- 3 เปอร์เซ็นต์ (ขั้นตอนนี้บางแห่งจะใช้แก๊สเป็นแหล่งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮต์ ความชื้นไม่ควรเกิน 3 เปอร์เซ็นต์ หรือใช้คั่วในกระทะที่มีใบพายหมุนตลอดเวลาการให้คามร้อนในขั้นนี้สารพิษหลายชนิดจะถูกทำลาย) เพื่อให้วัตถุดิบร้อนอย่างทั่วถึง จะต้องมีการกวน 10-15นาที จากนั้นส่งต่อเข้าเครื่อง Expeller ซึ่งเป็นถังที่มีแกนกลางเป็นเกลียวตัวหนอน แกนนี้จะหมุนอัดเอาน้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าว ซึ่งแรงอัดจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 283-302 องศาฟาเรนไฮต์ อัดนาน 3 นาทีด้วยแรงอัด 6000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กากมะพร้าวที่ถูกอัดน้ำมันออกไปแล้วจะหลุดออกมาเป็นเกล็ดแบนๆ ใหญ่บ้างเล็กบ้างจากนั้นจึงนำไปบด

- Hydraulic process นำเนื้อมะพร้าวมาบดให้แตกหรือรีดให้เป็นแผ่น บางนำไปทำให้แห้งและสุก โดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ อุณหภูมิ 218-230 องศาฟาเรนไฮต์ ความชื้นในเนื้อมะพร้าวจะเหลือประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ (วิธีพื้นบ้านจะใช้คั่วในกระทะที่มีใบพายกวนอยู่ตลอดเวลา) ใช้เวลาประมาณ 90 นาที จากนั้นนำไปห่อด้วยผ้าหนาๆ แล้วใส่เข้าไปในเครื่องอัด Hydraulic อัดทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ด้วยแรงดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ขณะอัดอุณหภูมิของกากมะพร้าวจะสูงขึ้นประมาณ 149- 167 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งต่ำกว่าของ Expeller ซึ่งใช้แรงดันสูงกว่ากากมะพร้าวที่ได้จึงมีไขมันเหลืออยู่มากกว่ากากที่อัดได้จะเป็นก้อนใหญ่มีไขมัน 5-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่าแล้วนำมาป่นอีกครั้ง วิธีนี้ทางโรงงานเล็กๆ สามารถทำได้โดยใช้ได้ทั้งต้น เจาะรูตรงกลางให้เป็นโพรงกว้างพอประมาณ ทำขอบให้หนา ส่วนหัวไม่ต้องเจาะส่วนด้านล่างทำร่องให้น้ำมันไหลออก ปลายอีกข้างเปิดเพื่อให้ห่อผ้าวัตถุดิบยัดเข้าไปได้ ใช้เกลียวอัดดันผ้าเข้าไปจนขนด้านในสุด โดยใช้แรงคนหมุนเกลียวอัดทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง หรือทิ้งค้างคืน วิธีนี้จะเหลือไขมันตกค้างในกากมาก แต่เหมาะจะแนะนำให้เกษตรกรในชนบทที่ทำการเลี้ยงสัตว์แบบครบวงจรได้ โดยเฉพาะใช้ได้ดีกับถั่วลิสงและถั่วเหลือง

การแยกโดยใช้สารเคมีสกัด (Solvent extraction)

วิธีนี้จะเลือกใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติละลายไขมัน (Solvent) ได้ เป็นตัวสกัดไขมันออกจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น ไตรคลอโรเอทธิลีน และเฮกเซน เป็นต้น ข้อสำคัญของสารเคมีจะต้องราคาถูก ไม่มีพิษตกค้างชะไขมันออกได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ระเหยได้ง่าย ด้วยเหตุผลดังกล่าว เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนค่าสารเคมีซึ่งมักจะสูญหายไปโดยการระเหย หากใช้เป็นจำนวนมากย่อมจะมีโอกาสระเหยหรือสูญหายได้ง่าย ดังนั้นจึงนิยมเอากากมะพร้าวที่ได้จากขบวนการที่ใช้เกลียวอัดมาเข้าขบวนการ Solvent extraction ต่อเพื่อจะได้ไม่ต้องใช้สารเคมีจำนวนมากๆ สกัดไขมันออกจากวัตถุดิบ กากมะพร้าวที่ได้จากขบวนการนี้จะมีโปรตีนสูง และความชื้นไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ แต่หากจะผ่านขบวนการนี้ตั้งแต่แรก ควรนำเมล็ดพืชไปรีดให้เมล็ดที่หุ้มเนื้อในแตกออก หรือใช้วิธีบดก่อนจากนั้นผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาฟาเรนไฮต์ ประมาณ 10 นาที เพื่อเป็นการกระตุ้นให้น้ำมันที่ติดอยู่ในเนื้อวัตถุดิบอยู่ในสภาพพร้อมที่จะละลายปนมากับ Solvent และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว เพื่อให้สารเคมีซึมเข้าไปชะเอาไขมันออกมาได้มากที่สุด นำไปรีดให้แบนทิ้งวัตถุดิบให้เย็นประมาณ 113 องศาฟาเรนไฮต์ แล้วจึงนำวัตถุดิบส่งเข้าเครื่องสกัด ซึ่งมีหลายรูปแบบทั้งแนวนอน แนวตั้ง สารเคมีจะถูกพ่นฝอยลงบนวัตถุดิบ ชะเอาไขมันละลายปนลงไปด้วยกันอย่างต่อเนื่องในเวลาเดียวกัน สารละลายไขมันจะถูกกลั่นแยกเอาสารเคมีออกจากน้ำมันนำกลับไปใช้ใหม่ น้ำมันจะถูกแยกออกมา วัตถุดิบจะถูกสารเคมีพ่นชะเป็นจำนวนหลายรอบเป็นเวลานานจนแน่ใจว่าไขมันถูกชะออกหมดแล้ว จึงนำกากมะพร้าวไประเหยเอาสารเคมีออกที่อุณหภูมิ 208 องศาฟาเรนไฮต์ นาน 10 นาทีนำไปคั่วให้สุกที่ 220 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 90 นาที ทำให้เย็นที่ 100 องศาฟาเรนไฮต์ 10-20 นาทีแล้วนำไปบด กากที่ได้ด้วยวิธีการสกัดน้ำมันจึงมักมีชื่อขบวนการผลิตตามไปด้วยเสมอ เพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจว่าผ่านขบวนการอะไร เพราะคุณภาพจะต่างกันเมื่อผ่านขบวนการแยกน้ำมันออกต่างกัน ซึ่งกากมะพร้าวส่วนมาก การแยกน้ำมันมักใช้ขบวนการ Expeller เหลือน้ำมันในกากประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ไขมันที่ปนอยู่ในกากมะพร้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวประกอบอยู่น้อย จึงไม่เกิดปัญหาไขมันเหลวเมื่อนำมาเลี้ยงสุกร แต่ทำให้ไขมันในน้ำนมแข็งขึ้นซึ่งส่งผลต่อการผลิตเนย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 **องค์ประกอบทางโภชนาการ**

กากมะพร้าวเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผ่านกรรมวิธีที่แตกต่างกัน ดังนั้นคุณค่าทางโภชนาการของกากมะพร้าวจึงแตกต่างกัน เนื่องจากความผันแปรของอุณหภูมิระหว่างการแปรรูป ซึ่งจะมีอิทธิพลไปถึงการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน โปรตีนที่ย่อยได้ของกากมะพร้าวที่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นระหว่าง 40- 150 องศาเซลเซียส จะค่อยๆ ลดลงเป็นลำดับ โดยเฉพาะไนโตรเจนที่ย่อยได้ และโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้สุทธิ (ดังตารางที่ 2.6) คุณภาพโปรตีนในกากมะพร้าวค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับกากถั่วเหลืองหรือกากเมล็ดฝ้าย และขาดกรดอะมิโนที่สำคัญ เช่น ไลซีน ,เมทไธโอนีน ,ทริปโตเฟน และทรีโอนีน (ดังตารางที่ 2.7 และ 2.8) จะเห็นได้ว่ากากมะพร้าวมีโปรตีนเฉลี่ย 21 % ไขมัน 8% เยื่อใย 14 % และมีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.7-2.1 Mcal ME/kg สำหรับสัตว์ปีก และ 2.7-3.0 Mcal ME/kg สำหรับสุกรโปรตีนของกากมะพร้าวมีคุณภาพในแง่ของกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่ค่อยดี คือ ขาดไลซีนแต่มีอาร์จินีนสูง นอกจากนั้นอัตราการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนของกากมะพร้าวค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับแหล่งโปรตีนอื่น อีกทั้งความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปและอัดน้ำมันทำให้ปริมาณการใช้ประโยชน์ได้ของไลซีนยิ่งลดต่ำลง นอกจากนี้ระดับอาร์จินีนที่สูงเกินไปจะขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ของ ไลซีน ทำให้สัตว์ปีกและสุกรชะงักการเจริญเติบโตเนื่องจากขาดไลซีนมากยิ่งขึ้น ดังนั้นอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องที่มีกากมะพร้าวประกอบอยู่ต้องเสริมไลซีนให้เพียงพอ

น้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวสายสั้นอยู่สูงคือมีกรด Lauric (12:0) ประมาณ 50 เปอร์เซนต์ และ Myristic (14 : 0) ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันเหล่านี้ถูกย่อยและดูดซึมโดยสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องได้ดี ดังนั้นปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของกากมะพร้าวจึงผันแปรไปกับปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ในกากด้วยส่วนหนึ่ง อย่างไรก็ตามกากมะพร้าวอัดน้ำมันจะเกิดการหืนหากเก็บไว้นานเกิน 6-8 สัปดาห์ จึงทำให้รสชาติความน่ากินตลอดจนคุณค่าทางโภชนาการลดลง ในส่วนของแร่ธาตุนั้นกากมะพร้าวมีแคลเซียมค่อนข้างต่ำ แต่มีฟอสฟอรัสสูงใกล้เคียงกับกากถั่วเหลือง มีไวตามินเกือบทุกชนิดต่ำ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งอาหารที่เชื้อราขึ้นได้ดีมาก จึงมีโอกาสที่จะเกิดอะฟลาท็อกซินในกากมะพร้าวที่ไม่แห้งดีได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 คุณค่าทางโภชนะของกากมะพร้าว (ร้อยละ)

ส่วนประกอบ (%)	
ความชื้น	10
โปรตีน	21
ไขมัน	6
เยื่อใย	12
เถ้า	7
แคลเซียม	0.20
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.20

ที่มา : สาโรช , 2542

ตารางที่ 2.7 ปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในกากมะพร้าว

กรดอะมิโน (%)	
ไลซีน	0.59
เมทไธโอนีน	0.37
เมทไธโอนีน + ซีสตีน	0.50
ทริปโตเฟน	0.16
ทรีโอนีน	0.65
ไอโซลูซีน	0.73
อาร์จินีน	2.08
ลูซีน	1.30
เฟนิลอะลานีน+ไทโรซีน	1.40
อิสติดีน	0.39
เวลีน	1.14
ไกลซีน	0.88

ที่มา : สุริยา, 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดน้ำมันต่อคุณค่าทางโภชนาการ

อุณหภูมิในการสกัด (T)	โปรตีน %	ไนโตรเจนที่ย่อยได้ %	โปรตีนสุทธิที่ใช้ประโยชน์ได้ %
40	25.3	77.7	45.9
90	25.8	78.3	41.0
105	26.3	74.6	36.1
120	25.6	73.3	35.8
135	26.4	68.2	33.9
150	26.3	56.1	17.1

ที่มา : Pond and Maner , 1974 อ้างโดย สุริยา , 2533

2.3.4 สารพิษ สารยับยั้งโภชนะ และวิธีการลดพิษ

กากมะพร้าวเป็นวัสดุดิบเหลือใช้ที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำกะทิหรือน้ำมันมะพร้าว ซึ่งคิดเป็น 84 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อมะพร้าวแห้ง สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหรือโปรตีนได้ เพราะมีปริมาณโปรตีนหยาบอยู่สูงถึง 19-21 เปอร์เซ็นต์และมีปริมาณไขมันตกค้างอยู่ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ และในบางแหล่งอาจมีปริมาณไขมันตกค้างสูงถึง 28 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับขั้นตอนของการสกัดไขมัน กากมะพร้าวหากมีการเก็บรักษาไว้นานกว่า 6 –8 เดือนมักเกิดเชื้อราได้ง่ายซึ่งเชื้อราที่สำคัญและก่อให้เกิดอันตรายกับสัตว์สูงก็คือสารพิษจากเชื้อรา Aspergillus flavua ในสภาวะที่มีความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมเชื้อรานี้จะสร้างสารพิษที่เป็นอันตราย คือ แอลฟาทอกซิน ซึ่งทำให้เกิดผลเสียหายหลายประการ ในปัจจุบันมีรายงายว่าอะฟลาทอกซินมี 16 ชนิด คือ B1 , B2 , G1 ,G2 , B2a , G2a , M1 , M2 , GM1 , GM2, M2a ,GM2a , B3 อะฟลาทอกซิคอล ,P1 และQ1 ชนิดที่พบมากที่สุดคือ B1 , B2 , G1 ,และ G2 อะฟลาทอกซินมีคุณสมบัติละลายได้ในเมทธานอล และคลอโรฟอร์ม แต่จะไม่สามรถละลายได้ในอีเทอร์ อะฟลาทอกซินเมื่อเข้าสู่ร่างกายสัตว์แล้ว จะเกิดการดูดซึมที่ลำไส้เล็กประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์และจะถูกกำจัดออกจากร่างกาย สำหรับอะฟลาทอกซินที่มีการสะสมอยู่ในอวัยวะต่าง ๆ นั้นพบว่ามีการสะสมมากที่สุดในตับ ในเซลล์ตับจะมีการจับตัวของอะฟลาทอกซิน B1–epoxide ทำให้เกิดการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการตายของเซลล์ตับและการเกิดมะเร็งในตับได้ และควรตรวจสอบดูกากมะพร้าวให้แน่ใจก่อนใช้ ระมัดระวังความชื้นขณะเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว

อาหารขบเคี้ยวประกอบด้วยผลิตภัณฑ์หลายชนิดได้แก่ มันฝรั่งทอด ข้าวโพดคั่ว แครกเกอร์ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเมล็ดถั่ว รวมไปถึงขนมกรอบจากธัญชาติซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในหลายรูปแบบในปัจจุบัน จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวอย่างต่อเนื่องทำให้สามารถแบ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวตามระยะเวลาและชนิดของผลิตภัณฑ์ได้เป็น 3 ประเภท

- ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวยุคแรก (First generation snacks) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตแบบดั้งเดิม เช่น มันฝรั่งทอด และแครกเกอร์ชนิดต่าง ๆ

- ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวยุคที่สอง (Second generation snacks) ได้แก ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวประเภทสุกพองทันที ส่วนใหญ่ทำจากวัตถุดิบประเภทธัญชาติ เช่น ข้าวโพดเกล็ด ข้าว ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มักใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แรงเฉือนสูง (High-shear cooking extrusion) เช่น คอลเลตเอกซ์ทรูเดอร์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ (ต่ำกว่าร้อยละ 15) นำมาอบเพื่อลดความชื้นลงให้ต่ำกว่าร้อยละ 4 เคลือบด้วยน้ำมันและกลิ่นรสต่างๆ

- ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวยุคที่สาม (Third generation snacks) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีหลายรูปแบบและมีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากดเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แรงเฉือนสูงเริ่มจากการผสมธัญชาติและ/หรือ สตาร์ชที่ดัดแปรหรือไม่ก็ได้ น้ำมันพืชและอิมัลซิไฟเออร์ นำไปผ่านเอกซ์ทรูเดอร์ตัวแรกเพื่อให้เกิดการสุกหรือสุกบางส่วนหลังจากนั้นนำไปผ่านเอกซ์ทรูเดอร์ตัวที่สองทำให้เกิดรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์พองตัว หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำแห้งจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 -12 ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัว เรียกว่า ผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง และสามารถทำให้สุกพองด้วยการทอดในน้ำมันท่วม หรืออบด้วยอุณหภูมิสูง

2.4.1 ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวแบบกรอบพอง (Direct expanded products)

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2541) ได้ให้คำนิยามขนมกรอบจากธัญชาติว่าหมายถึงผลิตภัณฑ์ขนมกรอบที่มีธัญชาติ ได้แก่ ข้าวต่างๆ ข้าวสาลี ข้าวโพด เป็นส่วนประกอบหลัง ทำให้เป็นรูปร่างต่างๆเช่นเส้นเกลียว แผ่น หลอด ทรงกลม หรือ วงแหวน

ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวชนิดนี้ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดแรงเฉือนสูง การพองของผลิตภัณฑ์เกิดจากการทำให้ส่วนผสมของโดร้อนจนอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยความร้อนและแรงทางกลที่เกิดจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันทำให้ความดันภายในเครื่องสูงกว่าความดันบรรยากาศและเมื่อโดเคลื่อนผ่านช่องเปิดของหน้าแปลน น้ำในโดซึ่งเป็นน้ำร้อนยิ่งยวดจะระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกรอบพองความหนาแน่นต่ำ มีรูปแบบต่างๆ ตามช่องเปิดหน้าแปลน นำไปอบไล่ความชื้นเพื่อคงสภาพความกรอบพองของผลิตภัณฑ์ แล้วเคลือบกลิ่นรสต่าง ๆ ตามต้องการ (Moore,1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว

ในปัจจุบันกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นเด็กนิยมบริโภคอาหารขบเคี้ยวมากขึ้น พลังงานจากการบริโภคอาหารขบเคี้ยวคิดเป็นร้อยละ 20 ของพลังงานที่ได้จากการบริโภคอาหารทั้งหมดใน 1 วัน (Ranhotra Vetter,1991) สารอาหารที่ได้จากการบริโภคอาหารขบเคี้ยวของเด็กอเมริกันคิดเป็นร้อยละของปริมาณที่แนะนำในแต่ละวัน (RDA) แสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 สารอาหารที่ได้จากการบริโภคอาหารขบเคี้ยวของเด็กอเมริกันคิดเป็นร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน(RDA)

สารอาหาร	ปริมาณ(ร้อยละRDA)	สารอาหาร	ปริมาณ(ร้อยละRDA)
พลังงาน	19	ไรโบฟลาวิน	15
โปรตีน	11	วิตามินบี 6	12
ไขมัน	17	วิตามินบี 12	10
คลอเรสเทอรอล	12	วิตามินซี	18
คาร์โบไฮเดรต	22	แคลเซียม	16
เส้นใยอาหาร	16	โซเดียม	11
วิตามินเอ	10	เหล็ก	11
ไทอะมิน	12	สังกะสี	12

ที่มา : Ranhotra และ vetter(1991)

จะเห็นได้ว่าอาหารขบเคี้ยวประเภทอบกรอบ ทอดกรอบ กรอบพอง ส่วนใหญ่ทำจากวัตถุดิบที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักและทอดด้วยน้ำมันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกรอบพอง ทำให้คุณค่าทางอาหารหลักที่ได้รับจากการรับประทานอาหารขบเคี้ยว เป็นแหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นส่วนใหญ่ ถ้าผู้บริโภครับประทานในปริมาณมากจะทำให้บริโภคอาหารหลักที่ให้คุณค่าด้านอื่น เช่น โปรตีน เส้นใยอาหาร วิตามินและเกลือแร่น้อยลง ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหารผู้ผลิตจึงต้องพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตรวมทั้งปรับปรุงส่วนผสมโดยเพิ่มส่วนผสมที่มีคุณค่าอาหารที่ต้องการลงในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น (Ranhotra และ Vetter,1991)

2.5 เทคโนโลยีเอกซ์ทรูชั่น (Extrusion technology)

เอกซ์ทรูชั่น (Extrusion) หมายถึง การปฏิบัติการที่ทำให้พลาสติกหรือโด (Dough) เป็นรูปร่างขึ้นมาด้วยการบังคับให้พลาสติกหรือโดผ่านช่องเปิดที่ออกแบบพิเศษหรือหน้าแปลน (Die) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) หมายถึงเครื่องจักรที่ทำให้วัตถุอาหารเป็นรูปร่างออกมาด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น (ประชา,2537)

สำหรับกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหาร (Food Extrusion) Rossen และ Miller(1973) ได้ให้ความหมายว่า "Food Extrusion หมายถึงกระบวนการที่วัตถุอาหารถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปภายใต้สภาวะการหนึ่งหรือมากกว่า ได้แก่ การผสมคลุกเคล้า ความร้อน และแรงเฉือน อัดผ่านช่องเปิดของหน้าแปลนที่ได้ออกแบบไว้เป็นรูปร่างและ/หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่สุกพอง-แห้ง"

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีรากฐานมาจากอุตสาหกรรมถลุงแร่ในปีค.ศ.1797 มีการนำหลักการเอกซ์ทรูชันมาใช้ทำท่อตะกั่วชนิดไม่มีรอยตะเข็บ ต่อมาในปีค.ศ.1930บริษัทของ เจอเนรัลมิลล์ (General Mills of Minneapolis) ได้นำเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวมาผลิตอาหารเช้าพร้อมบริโภคจากธัญชาติเป็นครั้งแรก ในครั้งนั้นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ยังทำหน้าที่เป็นเพียงเครื่องมือทำรูปร่างจากก้อนแป้งที่ผ่านความร้อนมาก่อนจากนั้น ในปีค.ศ.1936 มีการผลิตข้าวโพดพอง (Expanded corn curls) เป็นครั้งแรก จนในปีค.ศ. 1946 บริษัทอดัมคอร์ปอร์เรชั่น(Adams Corporation) จึงนำข้าวโพดพองดังกล่าวที่ผลิตด้วยคลอเลตเอกซ์ทรูเดอร์ ออกจำหน่ายเป็นครั้งแรก (Mercier และคณะ,1989)

2.5.1 กลไกการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยสกรูหมุนอยู่ในบาร์เรล แบ่งส่วนการทำงานเป็น 4 ส่วนดังนี้ ส่วนป้อนวัตถุดิบ ส่วนที่มีการให้ความร้อนจนวัตถุอาหารเปลี่ยนสภาพ ส่วนที่เกิดแรงเฉือน และส่วนหน้าแปลน Harper(1981) ได้ให้คำอธิบายการทำงานของเอกซ์ทรูเดอร์ไว้ว่า เมื่อส่วนผสมที่ผ่านการปรับสภาวะ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ในส่วนของการปรับสภาพ แล้วจะถูกนำมาสู่ส่วนที่มีการผสมและการลำเลียง โดยวัตถุอาหารที่เข้ามาในส่วนนี้มักมีความชื้นอยู่ในระดับต่ำ (ประมาณร้อยละ 10-40) สกรูในส่วนนี้จะมีความกว้างระหว่างเกลียวสกรูมาก และมีร่องเกลียวสกรูลึกเพื่อประโยชน์ในการผลักพาวัตถุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากนั้นวัตถุอาหารจะผ่านเข้าสู่ส่วนที่สองคือ ส่วนของ Transition section ส่วนนี้จะมีการให้ความร้อนกับวัตถุอาหารซึ่งอาจเป็นความร้อนจากภายนอกระบบ เช่น ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า หรือ ไอน้ำผ่านทางบาร์เรล และความร้อนที่เกิดขึ้นจากพลังงานกลซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างวัตถุอาหารกับสกรูและผนังด้านในของบาร์เรลที่มีพื้นที่จำกัด ในระหว่างนี้วัตถุอาหารที่ได้รับความร้อนจะหลอมเหลวและถูกผลักพาให้เคลื่อนที่ด้วยการหมุนของสกรูออกไปทางด้านหน้าที่มีแผ่นหน้าแปลนปิดอยู่ ในส่วนนี้สกรูมีร่องเกลียวที่ตื้นที่สุดจึงเกิดแรงเฉือนและแรงเสียดทานสูงสุด ทำให้วัตถุอาหารมีความดันเพิ่มขึ้นอย่างมาก (25-200บาร์) เมื่อวัตถุอาหารถูกผลักพาผ่านช่องเปิดที่หน้าแปลนออกมาสู่ภายนอกที่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันบรรยากาศต่ำกว่าความดันภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ทำให้น้ำในวัตถุอาหารที่อยู่ในสภาวะน้ำร้อนยิ่งยวดเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำระเหยออกไป ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นรูพรุนและมีความพอง

2.5.2 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ผลิตอาหารขบเคี้ยว

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในปัจจุบันมีจำนวนมากและหลากหลายรูปแบบทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้รวมทั้งมีประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิต เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบ่งตามจำนวนสกรูได้ 2 ประเภท คือ เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Singer screw extruder) และเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ (Twin screw extruder) ประกอบด้วยบาร์เรลที่มีสกรูหมุนอยู่ภายในจำนวน 1 หรือ 2 อันตามลำดับ เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ทั้งสองแบบนี้มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกัน เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวมีส่วนประกอบง่ายไม่ซับซ้อน และราคาถูกแต่มีการข้อจำกัดในการใช้งาน กล่าวคือมักมีปัญหาในการส่งผ่านส่วนผสมที่มีความหนืดต่ำในอุตสาหกรรมอาหารมักนิยมใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ เนื่องจากใช้กับวัตถุดิบได้หลายประเภทสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีปริมาณความชื้นต่าง ๆ (ร้อยละ10-90) และปริมาณไขมันมาก นอกจากนั้นยังเป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่มีประสิทธิภาพในการผสมและผลักพาวัตถุดิบเป็นอย่างดี เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีสกรูหมุนไปทางเดียวกัน (Co-rotating) และชนิดที่สกรูหมุนสวนทางกัน (Counter-rotating) นอกจากนี้ตำแหน่งการเรียงตัวของสกรูทั้งสองชนิดยังแบ่งเป็นสกรูที่วางเกยกันพอดี (Intermeshing) และสกรูที่ไม่เกยกัน (non-intermeshing) ในอุตสาหกรรมอาหารการผลิตอาหารด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ นิยมใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่แบบหมุนไปทางเดียวกันและสกรูเกยกัน(co-rotating, Intermeshing twin screw extruder) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการผสม และนวด

เมื่อพิจารณาชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ประชา(2537) ได้รายงานถึงเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ผลิตอาหารขบเคี้ยวไว้ 3 ชนิด คือ เอกซ์ทรูเดอร์ประเภทขึ้นรูปด้วยแรงดันสูง คอลเลตเอกซ์ทรูเดอร์ และเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทแรงเฉือนสูง

- <u>เอกซ์ทรูเดอร์ทรูเดอร์ประเภทขึ้นรูปด้วยแรงดันสูง</u> (High-pressure forming extruder) เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ทรูเดอร์ที่เกิดแรงเฉือนต่ำ ผนังด้านในของบาร์เรลเป็นร่องตรง/เกลียวสว่าน เพื่อไม่ให้มีการลื่นไหลเกิดขึ้นที่ผนัง ส่วนที่ตัวสกรูได้รับการออกแบบให้เป็นชนิดที่มีอัตราส่วนการอัดสูงเพื่อช่วยให้เกิดความดันสูงที่บริเวณหน้าแปลน เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้ใช้อัดวัตถุดิบที่เป็นโดผ่านหน้าแปลนให้มีขนาดและรูปร่างตามต้องการ ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่สุกพอง(Half-product) ต้องนำไปอบแห้งและทำให้สุกด้วยการทอด อบ หรือคั่ว

- <u>คอลเลตเอกซ์ทรูเดอร์</u> (Collet extruder) เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เกิดแรงเฉือนสูงพื้นผิวผนังบาร์เรลเป็นร่องเกลียวและร่องสกรูตื้น ความยาวของตัวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยมากประมาณ 3:1 (L/D =3:1) วัตถุดิบที่ใช้ต้องมีความชื้นและไขมันต่ำความร้อนเกือบทั้งหมดเกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสียดสี (friction) ทำให้วัตถุดิบมีอุณหภูมิสูงถึง 175 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็ว ทำให้สตาร์ชละลายเป็นเจลและบางส่วนกลายเป็นเปลี่ยนเป็นเด็กซ์ทริน และถูกอัดผ่านรูเปิดพิเศษหน้าแปลนออกมา เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความดันภายนอกและภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จึงทำให้น้ำในส่วนผสมที่อยู่ในสภาวะน้ำร้อนยิ่งยวดกลายเป็นไอน้ำ และดันโครงสร้างของแข็งที่เปลี่ยนเป็นเจลให้ยืดขยายพองตัวออกไปพร้อมกับอุณหภูมิที่ลดลง ได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า เอกซ์ทรูเดท (Extrudate) ในขณะเดียวกันจะถูกตัดเป็นชิ้น ๆ ด้วยใบมีด ได้ผลิตภัณฑ์ที่คงตัวเป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่สุกพองและกรอบ

- เอกซ์ทรูเดอร์ประเภทแรงเฉือนสูง (High-shear cooking extruder) เป็นเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เกิดแรงเฉือนสูง สกรูมีหลายแบบนอกจากนี้ยังมีการบากบนเกลียวสกรูบางส่วนเพื่อเพิ่มอัตราส่วนการอัดและอุณหภูมิ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกพองตามต้องการ เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลาสั้น (HT/ST)

2.5.3 **การแบ่งชนิดเครื่องตามวิธีการสร้างประกอบเครื่อง**

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder)

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวไม่ว่าจะใช้สำหรับการอัดหรือดันให้โดของอาหารผ่านไดเพื่อขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่มีการพอง หรือใช้สำหรับการทำให้สุกและขึ้นรูปด้วยการให้ความร้อนอย่างรุนแรงแล้วผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัว

ในกรณีแรกที่ใช้เพื่อการขึ้นรูป สกรูต้องมีเกลียวที่ลึกและหมุนช้าๆ เพื่อให้ปริมาณพลังงานกลถูกปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการเฉือนน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น การทำมักกะโรนีหรือหมากฝรั่ง

ส่วนในกรณีหลัง เครื่องคุกกิ้งเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ทำให้สุก จะมีสกรูสำหรับการอัดโดยลดความลึกของเกลียว สกรูหมุนด้วยความเร็วสูงเพื่อเพิ่มแรงเฉือนและพลังงานกลสำหรับการให้ความร้อน ส่วนผสมอาจได้รับความร้อนจากการเติมไอน้ำก่อนที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่อง เอกซ์ทรูเดอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการผลิต

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เหล่านี้สามารถแบ่งตามระดับการเฉือนที่กระทำต่ออาหารได้ดังนี้

- แรงเฉือนที่สูง เช่น อาหารเช้าธัญชาติ ขนมขบเคี้ยว
- แรงเฉือนปานกลาง เช่น ขนมปังต่างๆ อาหารสัตว์ที่ค่อนข้างชื้น
- แรงเฉือนต่ำ เช่น พาสต้า ผลิตภัณฑ์เนื้อต่างๆ

ดังกล่าวมาแล้ว สกรูจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนที่ฟีดเข้าสู่เครื่อง ส่วนที่นวดถึงการอัด และส่วนคุกกิ้ง การขนถ่ายของส่วนผสมต่างๆ ผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ขึ้นกับความเสียดทานที่ผิวของบาร์เรล วัตถุดิบจะเคลื่อนไปข้างหน้า เนื่องจากแรงกระทำของสกรู เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวมีราคาและต้นทุนการเดินเครื่องต่ำกว่า และต้องการความชำนาญในการเดินเครื่องและดูแลรักษาน้อยกว่าเครื่องเอกทรูเดอร์แบบสกรูคู่

ช่องขันเนลของสกรูต้องมีการใส่หรืออัดวัตถุดิบให้เต็ม เพื่อให้เกิดการนวดและการเฉือน การผสม และการอัดส่วนผสม ความดันที่เพิ่มขึ้นหลังไดทำให้ผลผลิตสุทธิที่ออกมาอย่างต่อเนื่อง (Throughput) ลดลงเนื่องจากเกิดการไหลของความดันย้อนกลับขึ้นตามแนวขันเนลของสกรูอย่างต่อเนื่อง

ลักษณะเฉพาะในการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ขึ้นกับความดันที่อยู่หลังได ความลื่นบนผนังบาร์เรล (ส่วนใหญ่ควบคุมด้วยอุณหภูมิผนังบาร์เรลและการที่มีรอยหยักหรือช่องเจาะที่ผนังบาร์เรล) ความยาวของสกรูที่ถูกอัดเต็มไปด้วยผลิตภัณฑ์ (ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการป้อนและความเร็วของสกรู) และลักษณะเฉพาะของโดที่ขึ้นกับชนิดของส่วนผสม ความชื้นและอุณหภูมิ (Harper,1978) อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยเหล่านี้จะจำกัดช่วงและความยืดหยุ่นของการปฏิบัติงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (Twin screw extruder)

ลักษณะการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่แตกต่างจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวและมีแนวโน้มว่าจะเป็นที่นิยมมากขึ้นและกว้างขวางขึ้น เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มีสองสกรูซึ่งวางข้างๆ กันโดยที่มีเกลียวอินเตอร์เมส (Intermeshing) กันและกัน และหมุนในลักษณะ “ตัวเลข 8” ในบาร์เรล เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มักแบ่งตามทิศทางการหมุนและลักษณะที่สกรูอินเตอร์เมสกัน สกรูที่อินเตอร์เมสแบบหมุนตามกันพบมากในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร การหมุนจะทำให้วัตถุดิบเคลื่อนผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ และการอินเตอร์เมสช่วยให้การผสมของวัตถุดิบในบาร์เรลดีขึ้น

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่จำแนกได้ตามทิศทางการหมุนของสกรู ซึ่งเป็นลักษณะของสกรูคู่ที่หมุนตามกัน ส่วนต้นของสกรูออกแบบมาเพื่อขนถ่ายส่วนผสมที่เป็นเม็ดๆ ความสามารถในการขนถ่ายของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ที่เพิ่มขึ้นทำให้ใช้กับส่วนผสมที่เหนียวได้ดีกว่าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว สกรูคู่ที่ขนานกันนี้จะถูกันเอง (Self-wiping) เมื่อเกลียวที่ซ้อนบนสกรูหนึ่งเช็ดหรือถูด้านล่างของช่องขันเนลของอีกสกรูที่อยู่ติดกัน

จานนวด (Kneading disks) จะช่วยกระจายพลังงานกลระหว่างการขนถ่ายมากขึ้น โดยส่วนผสมของวัตถุดิบต่าง ๆ จะเคลื่อนจากจานหนึ่งไปยังอีกจานหนึ่งซึ่งทำให้การผสมเกิดขึ้น การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังบาร์เรลและการกระจายพลังงานกลจะมากขึ้นเมื่อส่วนต่างๆ เหล่านี้มีส่วนผสมของอาหารบรรจุอยู่เต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 วัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

Guy (1994) แบ่งกลุ่มของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาการขบเคี้ยวเป็น 6 กลุ่มตามหน้าที่ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

- กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ธัญชาติ และพืชหัว ทั้งในรูปของผงละเอียดเป็นแป้ง ผงหยาบเป็นเม็ดและสตาร์ช
- กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่กระจายอยู่ในส่วนผสมที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ โปรตีนและเส้นใย เช่น รำข้าว รำข้าวสาลี รำข้าวโอ๊ต เป็นต้น
- กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มของสารช่วยให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และช่วยให้การผลักพาวัตถุดิบดีขึ้น เช่น น้ำ น้ำมัน และอิมัลซิไฟเออร์
- กลุ่มที่ 4 เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางที่ทำให้ฟองอากาศมาเกิดในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะพองและให้ฟองอากาศที่ละเอียด ได้แก่ ผงฟู ซอล์ก และรำจากธัญชาติ
- กลุ่มที่ 5 ประกอบด้วยสารที่ทำหน้าที่ให้รสชาติ ได้แก่ เกลือ น้ำตาล และสารให้กลิ่นรสต่างๆ
- กลุ่มที่ 6 เป็นกลุ่มที่ใส่ในปริมาณน้อยและเป็นกลุ่มให้สี ได้แก่ นมผง น้ำตาลรีดิวซิ่ง โปรตีน และสีจากธรรมชาติหรือสีสังเคราะห์

2.6 การทำแห้งอาหาร (Food Dehydration)

2.6.1 หลักการ

เป็นกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังอาหารเพื่อไล่ความชื้นออกไป วัตถุเปียกโดยการระเหยแต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถกำจัดความชื้นออกไปวัตถุเปียกโดยการระเหยแต่อย่างใดเพราะอาหารเป็น Hygroscopic material นั่นคือ อาหารมีความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ในตัวได้ สวนปริมาณที่ดูดซับไว้นั้นจะมากน้อยเพียงใดขึ้นกับสภาวะของอากาศโดยรอบซึ่งจะต่างกับสารพวก Non-hygroscopic material เช่น ทราย,สารเคมี เป็นต้น ซึ่งสามารถถูกกำจัดน้ำในตัวออกไปหมด

2.6.2 วัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหาร

- เก็บถนอมอาหาร
- ลดความสามารถในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
- ลดปฏิกิริยาเคมีหรือการทำงานของเอ็นไซม์ต่างๆในอาหาร
- ลดปริมาตรและน้ำหนักของอาหารซึ่งช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอื่นๆ เช่นการลำเลียง การเก็บรักษา ระยะเวลาในการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปลี่ยนสภาพอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของกระบวนการการแปรรูปอื่นๆต่อไป

2.6.3 การจำแนกเครื่องทำแห้ง

โดยพิจารณาจากวิธีการถ่ายเทความร้อน

ประเภทที่มีลักษณะเป็น Adiabatic Process

เป็นการพาความร้อน อากาศร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารแบ่งเป็น 2 ลักษณะ

- Partical Drying (ความต้านทานการไหลของน้ำ < ความต้านทานของการถ่ายเทความร้อน) เช่น Spray ,Flash ,Fluidized-bed ,Moving-bed ,Rotary Dryer

- Slab/bed Drying (อัตราการระเหยขึ้นอยู่กับการซึมแพร่สู่ผิวอาหาร) เช่น Tunnel ,Truck ,Tray ,Shelf Belt ,Conveyor Dryer

ประเภทที่มีลักษณะเป็น Non-Adiabatic Process

เป็นความร้อนที่ให้กับวัสดุเกิดจากการแผ่รังสีหรือการสัมผัสโดยตรงของแหล่งความร้อนกับอาหาร

- Vacuum Drying การไหลของน้ำเกิดจากสภาพสูญญากาศภายนอก เช่น Shelf, Rotary, Freeze Dryer

- Purge Drying ใช้ก๊าซไหลผ่าน เช่น Screw conveyer Jacketed, Continuous Dryer

- Radiant Dryer ความร้อนที่ใช้เป็น Electromagnetic heat เมื่อเกิดการระเหยจะมีการไล่ความชื้นออกโดยการฉีดgas

2.6.4 การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

หลักการ อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนแบบการพาโดยลมร้อนเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนสู่อาหารและเป็นตัวนำความชื้นออกจากอาหาร ลมร้อนที่ได้อาจจะได้จากกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดทำให้ร้อนแล้วใช้พัดลมเป่าผ่านไปยังอาหารที่ต้องการทำแห้ง "Direct heating" หรือลมร้อนได้จากเครื่องถ่ายเทความร้อน Heat Exchanger "Indirect heating"

ส่วนประกอบที่สำคัญ

1. แหล่งให้ความร้อน
2. พัดลม
3. ตัวกรองอากาศ
4. ช่องระบายอากาศเข้า/ออก
5. แผงปรับทิศทางของอากาศ
6. ชั้นวางอาหาร
7. เครื่องควบคุมสภาวะของลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Temp
- RH
- Air velocity

<u>ตัวแปรควบคุมการทำงานของตู้อบลมร้อน</u>

1. อุณหภูมิ
2. ความชื้นสัมพัทธ์
3. ความเร็วลม 1-5 m/s

4.ขนาดชิ้น,รูปร่างของอาหาร

5. ปริมาณ,การจัดเรียงอาหาร,ช่องว่างระหว่างถาด
6. ความชื้นเริ่มต้นของอาหาร
7. ระบบหมุนเวียนของอากาศร้อน

2.6.5 **เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง** (Drum Dryer)

หลักการ ให้อาหารเหลวหรืออาหารข้นหนืดสัมผัสผิวของลูกกลิ้งร้อนโดยที่อาหารจะถูกรีดให้เป็นแผ่นบางๆระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งขึ้นกับความเร็วรอบของลูกกลิ้ง อุณหภูมิของลูกกลิ้งส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 120-150 °C จะมีชุดใบมีดทำหน้าที่ขูดเอาผลิตภัณฑ์แห้งออกจากลูกกลิ้ง ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะบางเป็นแผ่นกรอบชิ้นเล็ก ๆ (flake) หากต้องการให้มีขนาดละเอียดสามารถนำไปบดให้เป็นผงได้

ชนิดของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

1. เครื่องอบแห้งลูกเดี่ยว (Single Drum Dry)

ประกอบด้วยลูกกลิ้งที่ได้รับความร้อน 1 ชุดส่วนใหญ่เป็นแบบที่ทำงานที่ความดันบรรยากาศ

2. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double Drum Dry)

ประกอบด้วยลูกกลิ้งที่ได้รับความร้อน 2 ชุดหมุนเข้าหากันสามารถปรับให้ชิดห่างได้

3. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งฝาแฝด (Twin Drum Dry)

คล้ายกับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่แต่การหมุน หมุนออกจากกัน,ช่องห่างระหว่างลูกกลิ้งจะไม่มีผลต่อความหนาของแผ่นฟิล์ม

ตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้ง

1. ปริมาณความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อน
2. ความเร็วของลูกกลิ้ง,รอบต่อนาที
3. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง(กำหนดความหนาของแผ่นฟิล์ม)
4. อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร
5. ปริมาณของแข็งในอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. อุณหภูมิบรรยากาศ
7. ความชื้นสัมพัทธ์
8. ความหนืดของอาหาร

2.7 การสกัด (Extraction and leaching)

การสกัดเป็นกระบวนการหนึ่งในการแปรรูปอาหารที่ได้รับความสนใจมากขึ้น การสกัดเป็นกระบวนการแยกที่เกี่ยวข้องกับ 2 เฟส โดยที่ตัวทำละลายเป็นสารที่เติมเข้าไปเพื่อให้เกิดอีกเฟสที่แตกต่างจากเฟสเดิมขององค์ประกอบที่ต้องการแยก การแยกจะเกิดขึ้นได้เมื่อองค์ประกอบที่ต้องการแยกละลายออกมาในตัวทำละลายขณะที่องค์ประกอบอื่นๆ ที่เหลือยังคงอยู่ในเฟสเริ่มต้น สองเฟสดังกล่าวอาจจะเป็นของแข็งกับของเหลว ของเหลวที่ไม่สามารถผสมกันได้ หรือของแข็งกับแก๊สก็ได้ การสกัดในระบบของแข็ง-ของเหลวมักเรียกว่า ลีชชิ่ง (Leaching) ส่วนการสกัดแบบซุปเปอร์คริทิคอล-ฟลูอิด (Supercritical fluid extraction) ซึ่งเป็นการสกัดด้วยของไหลที่อยู่ในสภาวะเหนือจุดวิกฤติ ก็เป็นการพัฒนาวิธีการสกัดซึ่งเกี่ยวข้องกับของแข็งและแก๊สที่สภาวะเหนือจุดวิกฤติ

การสกัดใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันมานานแล้ว เนื่องจากน้ำมันจากถั่วเหลือง ข้าวโพด หรือรำข้าวไม่สามารถแยกออกมาได้โดยใช้แรงกดอัด จึงจำเป็นต้องใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย แต่น้ำมันจากถั่วลิสงได้จากการกดอัด แล้วทำการสกัดส่วนที่เหลือจากการอัด เพื่อให้สกัดน้ำมันออกไปได้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของของแข็งที่เหลือจากการสกัดด้วยตัวทำละลายคือ มีโปรตีนที่มีคุณภาพสูงเหลืออยู่ ซึ่งเหมาะสำหรับการแปรรูปเพื่อเป็นอาหารในลักษณะผงต่อไป ส่วนในอุตสาหกรรมกลิ่นรส ก็มีการสกัดกลิ่นรสธรรมชาติ และน้ำมันเครื่องเทศด้วย

การสกัดยังใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อแยกน้ำตาลออกจากอ้อย ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการสกัด โดยน้ำตาลจากอ้อยจะถูกแยกด้วยวิธีการกดอัดทางกลหลายขั้น ในขณะเดียวกัน ก็มีการเติมน้ำเข้าไปในระหว่างขั้นต่างๆ เหล่านี้ นอกจากนี้ยังใช้การสกัดในอุตสาหกรรมอาหารอื่นๆ เช่น การสกัดคาเฟอีนจากเมล็ดกาแฟด้วยน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ หรือการสกัดกาแฟหรือชาด้วยน้ำร้อนเพื่อเข้าสู่กระบวนการอบแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze drying) หรือแบบพ่นฝอย (Spray drying) ส่วนการสกัดแบบซุปเปอร์คริทิคอล-ฟลูอิด พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสำหรับการผลิตกาแฟที่ไม่มีคาเฟอีน หรือใช้เป็นวิธีการลดคลอเรสเทอรอลในไข่ทั้งฟองไข่แดงหรือเนย

2.7.1 ชนิดของกระบวนการสกัด (Type of extraction processes)

โดยทั่วไป ตัวทำละลายสามารถไหลซึมผ่านชั้นของสารที่หยาบ ขณะที่ของแข็งละเอียดจะทำให้เกิดความต้านทานการไหลค่อนข้างสูง ในเครื่องสกัดบางเครื่อง จึงออกแบบมาเพื่อให้ของแข็งและของเหลวไหลสวนทางกันอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองที่มีน้ำมันอยู่ 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มักจะใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย เนื่องจากวิธีทางกลไม่ค่อยมีประสิทธิภาพนัก โดยใช้ไตรโคลเรทิลีน (Trichlorethylene) หรืออะซีโตนหรืออีเทอร์เป็นตัวทำละลาย

2.7.2 **ระบบการสกัดแบ่งออกได้ดังนี้**

การสกัดแบบกะเพียงขั้นเดียว (Single-stage batch extraction)

เครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดแบบกะ ในกระบวนการนี้ของแข็งจะสัมผัสกับตัวทำละลายที่ไม่มีตัวถูกละลายอยู่จนถึงสมดุล โดยการปั๊มตัวทำละลายผ่านชั้นของของแข็งแล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลจากหัวบีท ส่วนที่ปิดด้านบนสามารถเลื่อนออกเพื่อใส่หัวบีทที่เฉือนเป็นชิ้นบางเข้าไปในถังแล้วปล่อยน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 71°C ถึง 77°C ไหลเข้าไปในชั้นของของแข็งเพื่อชะละลายน้ำตาลออกมา ของแข็งอาจแช่อยู่ในตัวทำละลายที่มีการกวนหรือไม่ก็ได้ หลังจากสมดุล เฟสของตัวทำละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่จะถูกระบายออกไปจากของแข็ง จากนั้นตัวทำละลายและน้ำที่สกัดได้จะถูกทำให้เดือดอย่างต่อเนื่องโดยได้รับความร้อนจากขดลวดไอน้ำ (Stream coil) ตัวอย่างการสกัดอื่นๆ เช่น การสกัดกาแฟหรือชา และการกำจัดคาเฟอีนด้วยน้ำ (Water decaffeination) ของเมล็ดกาแฟดิบ

การสกัดแบบการไหลผ่านชนิดหลายขั้น (Multistage cross-flow extraction)

ในกระบวนการนี้ ของแข็งจะสัมผัสตัวทำละลายบริสุทธิ์ซึ่งเริ่มต้นไม่มีตัวถูกละลายผสมอยู่เลยซ้ำแล้วซ้ำเล่า ตัวอย่างเช่น การสกัดไขมันด้วยซ็อกซ์เล็ท (Soxhlet) เพื่อวิเคราะห์อาหาร วิธีนี้ต้องการตัวทำละลายจำนวนมาก หรือต้องการพลังงานจำนวนมาก เพื่อใช้ในการระเหยและควบแน่นตัวทำละลายเพื่อหมุนเวียนกลับมาใช้อีก ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้ระบบนี้ในการแยกทางอุตสาหกรรม

การสกัดแบบไหลสวนทางกันแบบหลายขั้น(Multistage countercurrent extraction)

ในกระบวนการนี้ ตัวทำละลายบริสุทธิ์จะเข้าสู่ระบบที่ปลายด้านตรงข้ามกับจุดที่ของแข็งที่ยังไม่ได้สกัดเข้าสู่ระบบ ตัวทำละลายบริสุทธิ์นี้จะสัมผัสกับของแข็งซึ่งอยู่ในขั้นสุดท้ายของการสกัด ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสตัวทำละลายต่ำสุดที่สมดุล ดังนั้น หลังจากแยกจากเฟสตัวทำละลายแล้ว ที่ขั้นนี้ตัวถูกละลายที่ยังเหลืออยู่ในของแข็งจะน้อยที่สุด ตัวทำละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่เป็นจำนวนมากจะเรียกว่า เอกซ์แทรค (Extract) ซึ่งได้จากระบบ ณ ขั้นแรกของการสกัดหลังจากสัมผัสกับของแข็งที่เพิ่งจะเข้าสู่ระบบ ของแข็งจะไหลจากขั้นหนึ่งไปอีกขั้นหนึ่งโดยใช้ตัวทำละลายเดียวกันนี้ จากขั้นหนึ่งไปสู่อีกขั้นหนึ่งเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสของตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ตัวทำละลายเคลื่อนจากขั้นหนึ่งไปสู่ขั้นถัดไป และความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสของแข็งจะลดลงเมื่อเคลื่อนไปยังทิศทางตรงกันข้าม ตัวอย่างเช่น การสกัดน้ำมันจากถั่วเหลืองโดยใช้เครื่อง Rotocel ในเครื่องสกัดนี้ประกอบด้วยถังทรงกระบอก 2 ถัง ซึ่งถังบนจะหมุนอย่างช้าๆ เหนือถังทรงกระบอกที่อยู่นิ่งด้านล่าง ทั้งถังและถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล่างถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ที่มีขนาดเท่ากัน โดยเรียกส่วนที่แบ่งในถังด้านบนว่าเป็นเซล เพื่อให้ของที่อยู่ในแต่ละส่วนไม่ผสมกัน ถังด้านล่างจะปิดด้วยตะแกรงลวดหรือจานที่มีรู (Perforated disc) ของแข็งจะป้อนเข้าสู่แต่ละเซลของถังด้านบนเมื่อถังเคลื่อนผ่านใต้ตัวฟีด หลังจากครบหนึ่งวงจรของการสกัด ของแข็งจะถูกนำออกไปโดยผ่านช่องเปิดที่พื้นซึ่งเป็นรู (Perforated floor) แล้วนำออกไปโดยสายพานแบบสกรู ตัวทำละลายบริสุทธิ์จะพ่นบนของแข็งก่อนที่ของแข็งจะถูกนำออกไปจากเครื่อง ตัวทำละลายจะไหลผ่านของแข็งในเซลที่อยู่ด้านบนและเข้าสู่ส่วนหรือห้องหนึ่งในถังที่อยู่นิ่งด้านล่าง จากนั้นตัวทำละลายในส่วนนี้จะถูกปั๊มขึ้นไปพ่นบนของแข็งในเซลถัดไปซึ่งอยู่ในลำดับของอนุกรม ลักษณะเช่นนี้จะเกิดขึ้นทุกเซล ทำให้เกิดลักษณะการไหลสวนทางกัน ส่วนสารละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่เป็นจำนวนมากจะถูกนำออกไปจากห้องที่อยู่ใต้เซลซึ่งของแข็งใหม่เพิ่งจะส่งเข้าไป ในระบบนี้มักนิยมใช้กับการสกัดน้ำตาลจากหัวบีทและการสกัดน้ำมัน

นอกจากนี้ยังมีเครื่องสกัด Bollman ที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วยอนุกรมของถังที่มีรูให้ของเหลวไหลซึมผ่านได้ โดยจัดเรียงอยู่ในลักษณะที่สามารถยกขึ้นลงได้ ทั้งหมดนี้จะอยู่ในภาชนะที่ปิดสนิทไอผ่านเข้า-ออกไม่ได้ ของแข็งจะป้อนเข้าสู่เครื่องที่ถังตำแหน่งด้านบนขวาที่กำลังหมุนลง แล้วถูกชะละลายด้วยสารละลายเจือจางของน้ำมันในตัวทำละลายเรียกว่า ฮาล์ฟ มิสเซลลา (half miscella) โดยที่ของเหลวจะผ่านรูของตัวถังลงมาเก็บสะสมที่ด้านล่างเป็นสารละลายที่เข้มข้นที่เรียกว่า ฟูลมิสเซลลา จากนั้นถังจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านซ้าย และถูกชะละลายแบบสวนทางกันกับตัวทำละลายบริสุทธิ์ที่พ่นบนถังด้านบน ของแข็งเปียกที่ชะละลายแล้วจะนำออกไปอย่างต่อเนื่อง เครื่องสกัดนี้จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 รอบ/ชั่วโมง แต่ละถังบรรจุเมล็ดหรือธัญชาติประมาณ 40 กิโลกรัม โดยทั่วไป การสกัดจะใช้ธัญชาติและตัวทำละลายในปริมาณที่เท่ากัน

การสกัดแบบไหลสวนทางกันอย่างต่อเนื่อง (Continuous countercurrent extraction)

ในระบบนี้ ลักษณะทางกายภาพของขั้นการสกัดอาจจะนิยามไม่เด่นชัด แต่ในแบบที่ง่ายที่สุดจะประกอบไปด้วยสายพานสกรูที่ลาดลงมา เริ่มต้นสายพานนี้จะเต็มไปด้วยตัวทำละลายถึงระดับโอเวอร์โฟลว์ที่ปลายด้านที่ต่ำกว่า และของแข็งจะเข้าสู่ระบบที่ปลายด้านต่ำกว่า สกรูจะนำของแข็งเคลื่อนขึ้นผ่านตัวทำละลาย ตัวทำละลายบริสุทธิ์จะเข้าสู่ระบบที่ปลายด้านสูงแล้วจะเคลื่อนลงในทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลของของแข็ง ขณะเดียวกันจะละลายตัวถูกละลายในของแข็งให้เข้าไปในเฟสตัวทำละลายที่เคลื่อนที่ลง ในที่สุดตัวทำละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่เป็นจำนวนมาก จะถูกรวบรวมที่ปลายด้านต่ำสุดของสายพานและนำออกไปจากระบบโดยผ่านตัวโอเวอร์โฟลว์ ตัวอย่างลักษณะเครื่องสกัดดังกล่าวนี้ได้แก่ Dorr Classifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 **หลักการทั่วไปของการสกัด** (General Principles of Extraction)

ปรากฏการณ์ทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการสกัด ได้แก่

การแพร่ (Diffusion)

การแพร่เป็นการเคลื่อนย้ายโมเลกุลต่างๆ ของสารประกอบชนิดหนึ่งผ่านสวนที่ต่อเนื่องในเฟสหนึ่งหรือผ่านผิว (Interface) ระหว่างเฟส

ในการสกัดของแข็ง-ของเหลว ตัวทำละลายจะต้องแพร่เข้าไปในของแข็งเพื่อละลายตัวถูกละลายออกมา และตัวถูกละลายก็ต้องแพร่ออกมาจากของแข็งที่อิ่มตัวด้วยตัวทำละลายไปยังเฟสของตัวทำละลาย อัตราการแพร่หาได้จากระยะเวลาที่ต้องการให้สมดุลเกิดขึ้นระหว่างเฟสทั้งสอง ซึ่งเวลาที่ต้องการสำหรับกระบวนการแพร่เพื่อให้ถึงสมดุลเป็นสัดส่วนกลับกับกำลังสองของระยะทางการแพร่ ดังนั้นในการสกัดด้วยตัวทำละลาย ยิ่งอนุภาคมีขนาดเล็ก ระยะเวลา (Residence time) ที่ของแข็งต้องอยู่ในขั้นของการสกัดยิ่งสั้น

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าขนาดของอนุภาคของของแข็งจะมีผลต่ออัตราการสกัด คือ ยิ่งอนุภาคมีขนาดเล็ก พื้นที่ผิวสัมผัส (Interface area) ระหว่างของแข็งและของเหลวยิ่งมาก ทำให้อัตราการถ่ายเทขององค์ประกอบที่จะละลายได้เพิ่มมากขึ้นก็ตาม แต่ในกรณีที่สารเป็นอนุภาคละเอียดมากอาจก่อให้เกิดความต้านทานหรือยับยั้งการหมุนเวียนของตัวทำละลายที่จะผ่านชั้นของของแข็ง ทำให้พื้นที่ผิวของการสัมผัสที่มากขึ้นก็ไม่ได้ช่วยในเรื่องอัตราการถ่ายเทมวล

ความสามารถในการละลาย (solubility)

ความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงสุดที่เป็นไปได้ในเอกซ์แทรคสุดท้ายที่ออกจากระบบการสกัดคือความเข้มข้นอิ่มตัว ดังนั้น อัตราส่วนของ (ตัวทำละลาย/ของแข็ง) ต้องสูงพอที่เมื่อตัวทำละลายบริสุทธิ์สัมผัสของแข็งที่ส่งเข้าสู่เครื่องสกัดในตอนต้น สารละลายที่ได้หลังสมดุลต้องมีความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นอิ่มตัวของตัวถูกละลาย

ในระบบที่ต้องทำการสกัดของแข็งหลายครั้งด้วยตัวทำละลายที่หมุนเวียนกลับมาใช้ (เช่น ในกรณีของการสกัดด้วยของไหลที่อยู่เหนือจุดวิกฤติ) ถ้าความสามารถในการละลายของตัวทำละลายสูงจะช่วยลดจำนวนเที่ยวของการหมุนเวียนตัวทำละลายที่ต้องใช้เพื่อกำจัดตัวถูกละลายออกไปในระดับที่ต้องการ

ของเหลวที่ใช้เป็นตัวทำละลาย ควรจะมีความหนืดต่ำเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนได้ดี โดยทั่วไปมักจะใช้ตัวทำละลายค่อนข้างบริสุทธิ์ในช่วงแรก แต่ขณะที่กระบวนการสกัดดำเนินต่อไป ความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้น และอัตราการสกัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นลดลงและสารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหลายกรณี อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการสกัด เนื่องจากความสามารถในการละลายของสารที่ต้องการสกัดจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งทำให้อัตราการสกัดสูงขึ้น นอกจากนั้นสัมประสิทธิ์ของการแพร่มักจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนดีขึ้นด้วย

ส่วนการกวนมีความสำคัญในการช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การแพร่แบบเอ็ดดี้ (Eddy diffusivity) และเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลจากผิวของอนุภาคไปยังสารละลายส่วนใหญ่

สมดุล (equilibrium)

เมื่ออัตราส่วนของ (ตัวทำละลาย/ของแข็ง) มากพอที่จะทำให้ระดับของตัวถูกละลายที่ต้องการละลายออกมา สมดุลที่เกิดขึ้นจะเป็นสภาวะที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสของของแข็งและเฟสของตัวทำละลายเท่ากัน ดังนั้น ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่อยู่ในของแข็งจะเท่ากับในเฟสของของเหลวหรือตัวทำละลาย แต่เมื่อปริมาณของตัวทำละลายไม่เพียงพอต่อการละลายตัวถูกละลายทั้งหมดที่มีอยู่ สมดุลจะพิจารณาว่าเป็นสภาวะที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไปในทั้งสองเฟส ไม่ว่าจะมีการสัมผัสที่นานขึ้นก็ตาม อย่างไรก็ตาม เพื่อให้สมดุลเกิดขึ้นจำเป็นต้องให้เฟสของของแข็งและตัวทำละลายได้สัมผัสกันเป็นเวลาที่นานพอ

ปริมาณที่บ่งบอกความเข้มข้นสมดุลของตัวถูกละลายในเฟสตัวทำละลายในขั้นของการสกัดขั้นหนึ่งๆ เรียกว่าประสิทธิภาพของขั้น (stage efficiency) ถ้าสมดุลเกิดขึ้นในขั้นการสกัดขั้นหนึ่งๆ ขั้นนั้นจะมีประสิทธิภาพเป็น 100% และเรียกว่าขั้นจินตภาพ (ideal stage)

ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการสกัดคือ พื้นที่ที่มีการสัมผัสระหว่างกระแสทั้งสอง เวลาของการสัมผัส คุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการแจกแจงสมดุลของการถ่ายเทองค์ประกอบ ในการสกัดจากของแข็ง โครงสร้างของของแข็ง (solid matrix) อาจเป็นอุปสรรคต่อการแพร่ และการควบคุมอัตราการสกัด

2.7.4 **ชนิดของเครื่องสกัด**

Leaching by percolation through stationary solid beds

เครื่องสกัดจะมีชั้นของของแข็งอยู่ภายในถังด้านล่างมีฐานรองรับซึ่งสามารถให้สารละลายไหลผ่านได้เมื่อใส่ solid เข้าในถังจะมีส่วนที่สเปรย์ตังทำละลายอยู่ด้านบน solute จะถูกชะออกไปผ่านเพียงเที่ยวเดียว ทิศทางการไหลในการสกัดส่วนใหญ่จะมีลักษณะสวนทางกัน เรียกว่า Extraction battery

Moving Bed Leaching

Bollman extractor จะเป็นลักษณะกะบะที่ใส่ solid และต่ออยู่บนแกนที่หมุนผ่าน solvent จะไม่มีการกวนกำลังผลิต 50-500 ตัน /24 ชั่วโมง

Hildebrant extractor เป็นสกรูอยู่ภายในท่อที่มีลักษณะเป็น U-shape

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dispersed-Solid leaching

อาจใช้การกวนเพื่อให้ของแข็งเกิดการกระจายใน solvent จากนั้นทำหารแยก solid ออกจาก strong solution โดยการ setting หรือ filtration หรือในกรณีที่ solid มีขนาดเล็กมากๆอาจใช้วิธี centrifuge ในการแยก solid ออก ส่วนsolute ที่ละลายอยู่ใน miscella ถูกทำให้บริสุทธิ์โดยการระเหย (Evaporation) หรือ Crystallization

2.8 การลดขนาด(Size Reduction)

เป็นการให้พลังงานเพื่อทำลายแรงยึดเหนี่ยวของสาร พลังงานที่ให้ขึ้นกับคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารนั้น เช่น ความแข็ง ความพรุน เป็นต้น

การลดขนาด เป็นการทำให้พื้นที่ผิวของสารเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการถ่ายเทมวลสารในกระบวนการต่างๆเช่น การทำแห้ง การสกัด การดูดซับ เป็นผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการต่างๆเช่น การทำแห้ง การสกัด การดูดซึม เป็นผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตนั้นดีขึ้น ช่วยลดเวลาในการผลิตรวมทั้ง Cooking &Blanching ช่วยทำให้เกิดการผสมที่ดีขึ้น และช่วยลดขนาดทำให้สะดวกต่อการขนถ่ายและการเก็บรักษาเป็นต้น

ตารางที่ 2.10 แรงที่ใช้ในการลดขนาด

ประเภทของแรง	เครื่องบด	หมายเหตุ
Compression	Crushing roll	มักใช้ในการบดหยาบกับวัสดุที่มีความแข็ง
Impact	Hammer mill	ใช้งานได้ไม่ว่าจะเป็น บดหยาบ ปานกลาง หรือละเอียด
Shear(attrition)	Disc attrition	มักใช้กับงานบดละเอียด
Cutting	Mill Cutter	ใช้กับงานที่ต้องการรูปร่างและขนาดตามต้องการ

2.8.1 พลังงานและกำลังงานที่ต้องการในการบด

พลังงานที่ต้องใช้ในการบกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

- เพื่อเอาชนะความฝืดและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของเครื่องบด
- เป็นพลังงานในการบด

2.8.2 เครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาด

Crushing Rolls ประกอบด้วยลูกกลิ้งตั้งแต่ 2 อันขึ้นไป หมุนเข้าหากัน อาจใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งต่างกันได้ โดยทั่วไปมีความเร็วรอบจะมีค่า 50-300 rpm Reduction Ratio < 5

Hammer Mill เป็นเครื่องบดที่มีแกนหมุนในแนวดิ่งหรือแนวนอนที่แกนหมุนจะมี Hammer หรือ Beater ติดอยู่ที่แรงที่ใช้เป็นแรงกระแทก และมีแรงเสียดสีเกิดขึ้นควบคู่ไปด้วย โดยทั่วไปเครื่องบดแบบนี้มักมีตะแกรงไว้คัดขนาดให้ได้ตามที่ต้องการอัตราการบดขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบของการหมุน ,พื้นที่ระหว่าง beater กับผนังภายในของเครื่อง,ปริมาณวัสดุที่จะบด ,และขนาดตะแกรง

Disc Attrition Mill เครื่องบดแบบนี้มักใช้ในงานบดละเอียด มี 3 ประเภทคือ

- Single Disc Mill จะมีDisc หนึ่งติดอยู่กับที่ส่วนอีก disc จะหมุนด้วยความเร็วรอบสูงช่องว่างระหว่าง disc ทั้งสองจะปรับได้วัสดุจะถูกแรงเฉือน,แรงเสียดสี ทำให้มีขนาดเล็กลงและถูกเหวี่ยงออกจากเครื่อง

- Double Disc Mill disc ทั้งสองจะหมุนเข้าหากันทำให้เกิดแรงกระทำต่อวัสดุมากกว่าแบบ single disc mill

- Buhr Mill เป็นลักษณะแผ่นผนังวางประกบกันด้านบนมีช่องสำหรับใส่วัสดุอันล่างจะหมุนวัสดุจะถูกป้อนเข้ามาอยู่ในช่องว่างระหว่าง upper และ lower stones ส่วนใหญ่ใช้ในลักษณะของการบดเปียก

Ball Mill ประกอบด้วยรูปทรงกระบอกที่หมุนในแนวนอนที่ใช้ความเร็วรอบช้าภายในบรรจุลูกบอลทำด้วยเหล็กหรือหิน ประมาณ 20-50% ของปริมาตรภายในทรงกระบอกขนาดของลูกบอลอยู่ระหว่างในช่วง 25-150mmบอลขนาดใหญ่จะให้แรง impactสูง

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิชญาภรณ์ พุ่มไพศาลชัย (2542) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กเนยเสริมใยอาหารจากกากสับปะรดโดย ทดสอบผลทางประสาทสัมผัสเพื่อหา ปริมาณกาก สับปะรดผงที่เหมาะสมและได้รับการยอมรับสูงสุด ขั้นสุดท้ายวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีและ ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กเนยเสริมกากสับปะรดที่ได้รับการยอมรับรวมสูงสุดเปรียบเทียบกับตัวอย่างเค้กควบคุม เค้กเนยเสริมกากสับปะรด 8 % ได้รับการยอมรับสูงสุด จึงทำการทดลองแปรปริมาณ กากสับปะรดผงที่เติมเพิ่มเป็น 8%, 10% และ 12% พบว่าสามารถเติมปริมาณกากสับปะรดได้สูงสุด 10% จากการ วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความหนืดของส่วนผสมเหลว (batter)ก่อนอบ ปริมาตรจำเพาะ ส่วนสูงและลักษณะ เนื้อสัมผัส ได้แก่ hardness, springiness และ cohesiveness ด้วย Texture Analyzer ของตัวอย่างหลังอบ พบว่า การเติมกากสับปะรดผง 10% ไม่มีผลต่อค่าความสูง ปริมาตรจำเพาะ และ hardness แต่มีผลต่อค่าความหนืดของส่วนผสมเหลว , springiness และ cohesiveness จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าตัวอย่างทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน ในปริมาณเถ้าและคาร์โบไฮเดรตที่ระดับ $p>0.05$ ในขณะที่ปริมาณโปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ $p<0.05$ โดยที่เค้กเนยเสริมกากสับปะรด 10 %ประกอบด้วย เถ้า 2.13% คาร์โบไฮเดรต 49.35% ไขมัน 26.08% ใยอาหาร 0.75% โปรตีน 1.14 % และความชื้น 20.55 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทดสอบลักษณะทาง ประสาทสัมผัสของ ผู้บริโภคโดยให้คะแนนความชอบ (hedonic scale) ค่าความชอบรวมเฉลี่ยมีค่า 6.27 คะแนน คือ มีความชอบเล็กน้อย

ลาวัลย์ ฉัตรวิรุฬห์ (2539) ได้ทำการศึกษาเยลลี่ผลไม้เสริมใยอาหารจากแป้งบุกเพื่อทดแทนการบริโภคจากผักและผลไม้ซึ่งเด็ก มักไม่ชอบรับประทานมีคุณค่าทางโภชนาการ ที่สำคัญ คือ พลังงาน 212 กิโลแคลอรี ปริมาณใยอาหารทั้งหมด 3.34 กรัม (ร้อยละ 16.71) แคลเซียม 72.92 มิลลิกรัม (ร้อยละ 9.12) และ วิตามินซี 11.62 มิลลิกรัม (ร้อยละ 23.24)

สุภิญยาฐ์ ชินชัย (2536) ได้ทำการศึกษาการใช้ซังขนุนแห้งเพื่อเพิ่มใยอาหารในขนมทองม้วนซังขนุนเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากการบริโภคเนื้อขนุน มีกลิ่นหอม รสหวาน และมีใยอาหารเป็นส่วนประกอบ จึงได้วิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารในซัง ขนุนแห้ง และพบว่า ซังขนุนแห้ง 100 กรัม มีปริมาณในอาหาร 7.51 กรัม ในการศึกษานี้จึงได้นำซังขนุนแห้งบดละเอียดเติมลงในขนมทองม้วนโดยใช้อัตรา ส่วน ซังขนุนแห้งปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักแป้ง เติมในขนมทองม้วนตำรับมาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วย แป้งสาลี 100 กรัม เกลือป่น 5 กรัม กะทิ 200 กรัม น้ำตาลทราย 125 กรัม น้ำ 60 กรัม ไข่ ไก่ 62.5 กรัม และงาดำคั่ว 10 กรัมการใช้ซังขนุนแห้งในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุกด้าน คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญและจากผลการวิเคราะห์ความกรอบ โดยการใช้เครื่องวัดความกรอบ พบว่า การใช้ปริมาณซังขนุนแห้งที่เพิ่มขึ้นมี ผลทำให้ความกรอบลดลง อย่างไรก็ตาม การใช้ซังขนุนแห้งในปริมาณร้อยละ 10 เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นระดับที่มีคุณภาพทุกด้านดีที่สุดและ ผู้ชิมยอมรับมากที่สุด โดยในขนมทองม้วนเพิ่มใยอาหารร้อยละ 10 มีปริมาณใย อาหารเท่ากับ 2.67 กรัม

ธนพร มหาสุวรรณวงศ์ (2540) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสูตรขนมปังเสริมใยอาหารโดยใช้เปลือกถั่วเหลืองเปลือกถั่วเหลืองเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรมถั่วเหลือง ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งของใยอาหาร ในการพัฒนาสูตรขนมปังเสริมใยอาหาร โดยเปลือกถั่วเหลือง จะถูกนำมาแยกส่วนที่ปนเปื้อนต่าง ๆ ออกแล้วนำไปบด หลังจากนั้นจะมีการแยกขนาดถั่วเหลืองผงเป็นขนาดใหญ่กว่า 60 เมช (L), ขนาดกลาง 60-100 เมช (M), และ ขนาดเล็กกว่า 100 เมช (S) เมื่อนำเปลือกถั่วเหลืองผงมาใช้ทดแทนบางส่วน ของแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง พบว่า ปริมาณที่สามารถ ทดแทนมากที่สุดคือ 15% โดยที่ขนมปังยังเป็นที่ยอมรับได้ จากการตรวจประเมินทางกายภาพ ของขนมปังที่มีถั่วเหลือง ผงขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก ในปริมาณ 10-15 % พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเปลือกถั่วเหลือง ผงขึ้น ปริมาตรของขนมปังที่ได้จะมีปริมาตรลดลง และ จากการทดสอบการยอมรับเบื้องต้น พบว่า ขนมปังเสริม ใยอาหาร ผู้ชิมจะชอบขนมปังเสริมใยอาหารที่มีระดับ การแทนที่ของแป้งสาลีด้วยเปลือกถั่วเหลืองผงที่มีขนาด L ในระดับร้อยละ 10 แต่ในระดับร้อยละ 15 ในขนาด ของเปลือกถั่วเหลืองเดียวกัน ขนมปังก็ยังมีคะแนนใน ช่วงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยอมรับ การเตรียมขนมปังเสริมใยอาหาร โดยการเพิ่ม ปริมาณน้ำในสูตร (5-10% ของน้ำหนักแป้ง) ทำให้ขนมปัง ที่ได้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถปรับปรุงให้การยอม รับทางประสาทสัมผัสให้ดีขึ้นได้ การทดสอบการยอมรับของขนมปังเสริมใยอาหาร ในแบบกระโหลกและแบบแซนวิช รสปกติและรสซอกโกแลต โดยมีการทดแทนบางส่วนของแป้งสาลีด้วยเปลือกถั่วเหลือง ผงขนาดใหญ่ ผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับ ขนมปังเสริม ใยอาหารทุกสูตรมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าขนมปังสูตรปกติ

สุกัญญา โกมล (2542) ได้ทำการศึกษาการผลิตน้ำส้มเขียวหวานเติมใยอาหารโดยใช้ใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำจากการสกัดด้วยสาร สกัดโซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ กรดแอซีติก และสารละลายกรดไฮโดร พบว่า เปลือกโกโก้ที่สกัดแป้งออกแล้ว 100 กรัม ผ่านการสกัดด้วยสารทั้ง 4 ชนิด ได้ผลผลิต 8.5 4.34 3 และ 2 กรัม ตามลำดับ ในอาหารที่ผ่านการสกัดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และฟอกสีด้วยไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 มีค่าความสว่าง (ค่า L) สูงสุด นำใยอาหารที่สกัดได้เติมในน้ำส้มพร้อมดื่ม ที่มีอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดเท่ากับ 36 ซึ่งมีปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้เท่ากับ 14 ปริมาณกรดร้อยละ 0.4 ในระดับร้อยละ 0 1 2 และ 3 ของน้ำหนักน้ำส้ม และการประเมินผลทางประสาทสัมผัสในปัจจัยด้านสี รสหวาน รสเปรี้ยว เนื้อสัมผัสภายในปาก และ รสขม พบว่า น้ำส้มพร้อมดื่มเติมใยอาหารที่ละลายน้ำที่ระดับร้อยละ 0 1 2 และ 3 ไม่มีความแตก ต่างกันและจากการทดสอบความชอบ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ ใยอาหารที่ละลายน้ำจะมีผลทำให้การยอมรับของผู้ทดสอบชิมลดลง เมื่อนำน้ำส้มพร้อมดื่มเติมใย อาหารที่ละลายน้ำบรรจุในกระป๋องและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องน้ำส้มพร้อมดื่มเติมใยอาหารชนิดที่ละลาย น้ำมีสีคล้ำขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความหนืดและวิตามินซี ลดลง ในขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดพบว่ามีปริมาณน้อยกว่าที่มาตรฐานน้ำผลไม้กำหนดไว้ตลอด อายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับลดลงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง

Raghavendra และคณะ ได้ศึกษาเกี่ยวกับ Dietary fiber จากกากของมะพร้าว พบว่ามีจำนวนเปอร์เซ็นต์ของ Dietary fiber ถึง 63.24% โดยในส่วนของ Soluble fiber มี 4.53% และ Insoluble fiber 58.71% อีกทั้งยังได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของ Particle size ต่อค่าการเก็บน้ำของ Dietary fiber พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะเป็นการไปเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของ fiber

ดุลยารุจย์ รัตนากร (1998) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณ Dietary fiber จากตัวอย่าง 5 ชนิด คือ แกนสับปะรด เปลือกแตงโม มันแกว wheat bran และ Sago ได้ผลการวิเคราะห์ออกมาดังนี้ 92.86%, 73.96%, 96.42%, 52.84% และ 39.65% ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าแกนสับปะรด ให้ค่า Total Dietary fiber ที่มากที่สุด ต่อมาได้ศึกษาหาค่าเปอร์เซ็นต์ Moisture Content (MC) ได้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ออกมาดังนี้ 11.17%, 11.95%, 10.8%, 14.79% และ 7.65% ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จากแกนสับปะรดถือว่าเป็นค่าที่น้อยรองจาก Sago

ขั้นต่อมาเป็นของการเสริมเส้นใยอาหารลงในสูตรบะหมี่ โดยพบว่า การยอมรับโดยรวมในแง่ของปริมาณและชนิดของเส้นใยอาหารต่างกันดังนี้ การยอมรับปริมาณเส้นใยอาหารจากเปลือกแตงโมอยู่ที่ 5% การยอมรับปริมาณเส้นใยอาหารจากมันแกวอยู่ที่ 10% การยอมรับปริมาณเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรดอยู่ที่ 7.5% การยอมรับปริมาณเส้นใยอาหารจาก wheat bran อยู่ที่ 2.5% และการยอมรับปริมาณเส้นใยอาหารจาก Sago อยู่ที่ 10% จากผลการทดลองข้างต้นสรุปโดยรวมว่า เส้นใยอาหารจาก Sago และ มันแกวสามารถใช้เป็นแหล่งของเส้นใยอาหาร รวมทั้งใช้เสริมในผลิตภัณฑ์บะหมี่ได้ถึง 10% และมีแนวโน้มในการเสริมเส้นใยอาหารเหล่านี้ในผลิตภัณฑ์สูง ส่วนการที่เส้นในอาหารจากแกนสับปะรด , wheat bran และเปลือกแตงโม ใช้เสริมในผลิตภัณฑ์บะหมี่ได้น้อยกว่า 10% ด้วยเหตุที่ว่าคุณสมบัติของเส้นใยอาหารด้าน Water Holding Capacity, สีและกลิ่นที่เฉพาะตัว ทำให้ผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่เสริมเส้นใยอาหารแตกต่างจากผลิตภัณฑ์บะหมี่โดยทั่วไป ทำให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่ยอมรับเมื่อทำการเสริมลงในผลิตภัณฑ์ระดับหนึ่ง

Food and Drug Administration (FDA-1994) พบว่า Dietary fiber มีผลต่อการลดความเสี่ยงในการเป็นโรคหัวใจและมะเร็ง และสามารถลดระดับโคเลสเตอรอลในร่างกายได้

กฤษณี อ่ำถนอม (2549) ทำการวิจัยเรื่องการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่นโดยใช้วัตถุดิบจากปลายข้าวผสมโดยกำหนดสถาวะการผลิตคงที่ที่ความเร็วรอบสกรู 350รอบต่อนาที อุณหภูมิบาร์เรล 105 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนวัตถุดิบ 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความชื้นของวัตถุดิบ 19%ผลที่ได้พบว่าปริมาณอะมิโลส ไขมัน โปรตีน เป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณสมบัติทางรีโอโรยี การเพิ่มขนาดของวัตถุดิบ ปริมาณโปรตีนหรือปริมาณไขมัน เป็นผลให้ความหนาแน่นของเอกซ์ทรูเดทเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนขยายลดลง การเพิ่มปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันเป็นผลให้ค่า setback ของเอกซ์ทรูเดทลดลง

Yanniotis (2006) ทำการวิเคราะห์ทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพ และโครงสร้างของเอกซ์ทรูเดทจากแป้งข้าวโพด โดยใส่เส้นใยอาหารจากข้าวสาลี (wheat fiber) ภายใต้สภาวะที่กำหนดความชื้น , อุณหภูมิของบาร์เรล และความเร็วสกรู ของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนการขยายตัว ,ความชื้น และความพรุนจะลดลง ขณะที่ความแข็งเพิ่มขึ้น เส้นใยอาหารจะทำให้ขนาดเซลล์ลดลงและเพิ่มจำนวนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

1. กากมะพร้าวคั้นกะทิแล้ว
2. แกนสับปะรด
3. ข้าวโพดบด
4. Ethanol 95%

3.2 วัสดุและเครื่องมือ

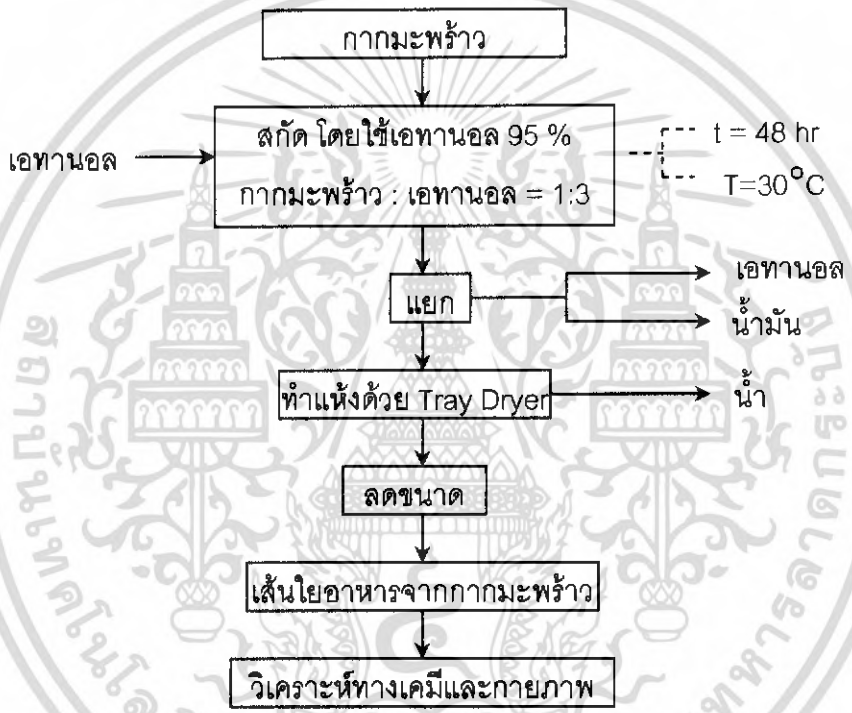
1. เครื่อง Soxhlet Extraction
2. เครื่อง Extruder ชนิดสกรูเดี่ยว
3. เครื่อง Tray Dryer
4. เครื่อง Drum Dryer
5. เครื่อง Screw Press
6. เครื่องปั่นละเอียด
7. เครื่องบด Blender
8. ตู้อบลมร้อน
9. โถดูดความชื้น
10. เตาแก๊ส
11. หม้อสแตนเลส
12. ทัพพีสแตนเลส
13. ถาด
14. ผ้าขาวบาง
15. เครื่องซีล
16. ถุงพลาสติก
17. เครื่องชั่ง 3 ตำแน่ง
18. เทอร์โมมิเตอร์
19. บีกเกอร์
20. Refractometer
21. มีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทดลองการผลิตเส้นใยอาหาร

3.3.1 การผลิตใยอาหารจากกากมะพร้าว

การเตรียมวัตถุดิบทำได้โดยนำ กากมะพร้าวที่คั้นกะทิออกแล้ว นำมาอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น นำวัตถุดิบแห้งมาแช่ Ethanol 95% โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนัก 1:3 เพื่อสกัดน้ำมันที่ยังเหลืออยู่ในกากมะพร้าวออกให้ได้มากที่สุด เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำกากมะพร้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมัน เข้า Tray Dryer ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จจึงนำมาบดเป็นผง และนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

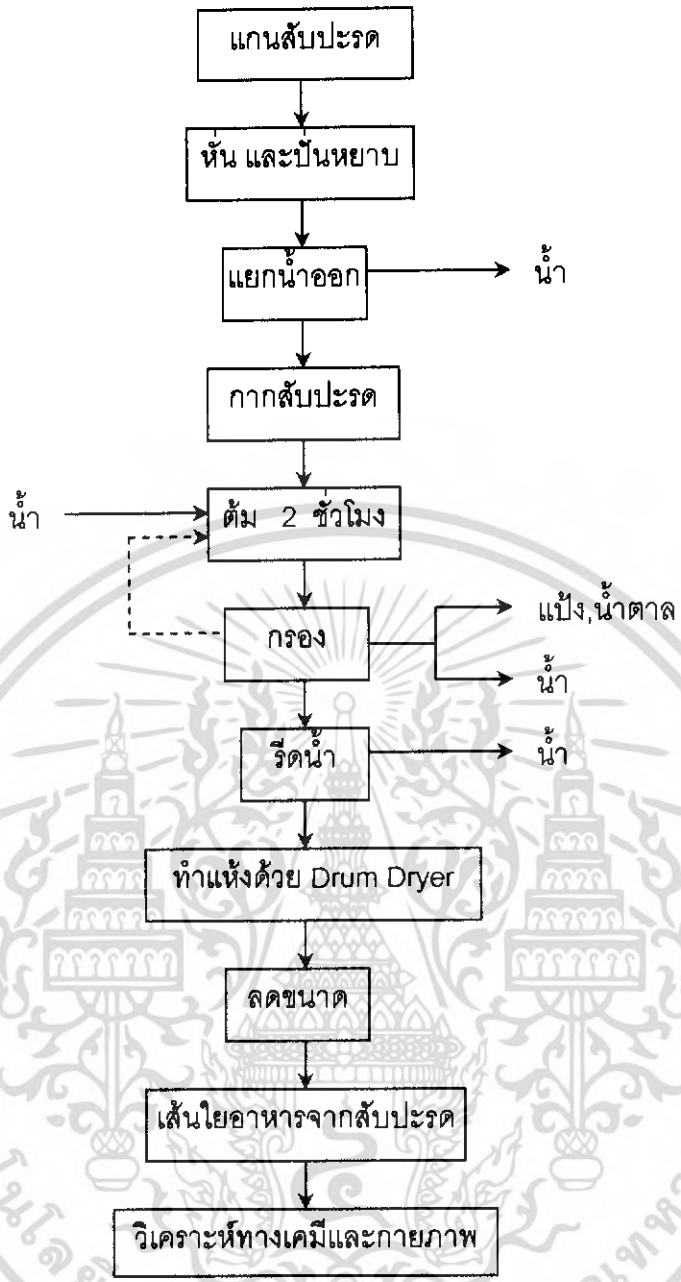


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลองการผลิตเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว

3.3.2 การผลิตใยอาหารจากกากสับปะรด

การเตรียมวัตถุดิบทำได้โดย นำแกนสับปะรดมาหั่นและปั่นละเอียดด้วยเครื่องบด เทใส่ผ้าขาวบาง นำเข้า Screw Press เพื่อรีดน้ำออกจากกากสับปะรด แล้วนำกากสับปะรดที่ได้ไปต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยทำการกรองและเปลี่ยนน้ำทุกชั่วโมงเพื่อกำจัดแป้งและน้ำตาลออกให้ได้มากที่สุด เมื่อต้มเสร็จจึงนำกากสับปะรดที่ได้เทใส่ผ้าขาวบาง เพื่อเข้า Screw Press อีกครั้ง จากนั้นจึงนำกากสับปะรดมาทำแห้งด้วย Drum Dryer ที่อุณหภูมิ 130 °C นำผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มาบดเป็นผง บรรจุใส่ถุงพลาสติก ปิดผนึก และเก็บที่อุณหภูมิห้อง (30 °C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองการผลิตเส้นใยอาหารจากกากสับปะรด

3.4 การทดลองผลิตอาหารขบเคี้ยวด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

1. เตรียมส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว สูตรพื้นฐานมีข้าวโพดบดเป็นส่วนประกอบ และมี 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ทำการผสมระหว่างข้าวโพดบด 2.5 กิโลกรัม กับเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 5% 10% 15% แบบที่ 2 ทำการผสมกับกากสับปะรด แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 5%10%15% รวมเป็น 7 สูตรดังตารางที่ 3.1

2. นำส่วนผสมมาผสมให้เข้ากัน จนมีปริมาณความชื้นร้อยละ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ป้อนส่วนผสมเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่มีหน้าแปลนขนาด 4 mm ค่าการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีความเร็วรอบ 620 รอบต่อนาที อุณหภูมิบาร์เรล 110 °C

4. ปรับอัตราป้อนวัตถุดิบให้มีค่าเท่ากับ 1.296 กิโลกรัมต่อนาที

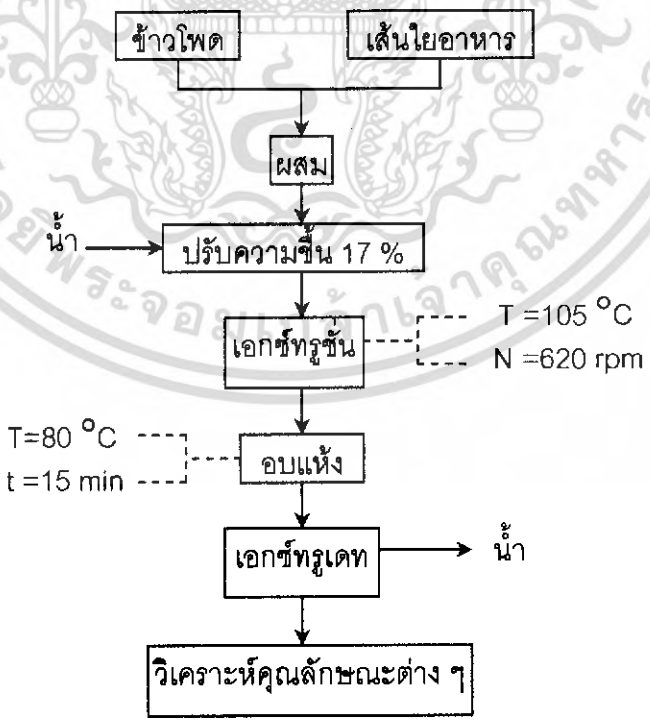
5. ดำเนินการผลิตจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล

6. นำเอกซ์ทรูเดทที่ได้ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 15 นาที

7. นำผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเก็บใส่ถุงพลาสติก ปิดผนึกเพื่อไปวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ต่อไป

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองผลิตเอกซ์ทรูเดท

สูตร	อัตราส่วน %น้ำหนัก		
	ข้าวโพดบด	Fiber มะพร้าว	Fiber สับปะรด
Corn	100	-	-
P 5%	95	-	5
P 10%	90	-	10
P 15%	85	-	15
C 5%	95	5	-
C 10%	90	10	-
C 15%	85	15	-



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลองการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมเส้นใยอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะของใยอาหารจากกากมะพร้าว และกากสับปะรด

3.5.1 a_w

เป็นปริมาณน้ำอิสระที่จุลิทรีย์สามารถนำไปใช้ได้

วัดด้วยเครื่อง Water activity analyzer โดยทำการบดตัวอย่าง วัดตัวอย่างละ 10 ซ้ำ บันทึกผลและหาค่าเฉลี่ย

3.5.2 ความชื้น (Moisture Content)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (AOAC,1995)

1. นำ Aluminum dish พร้อมฝาปิดที่ล้างสะอาดแล้วมาอบใน Hot-air oven ที่อุณหภูมิ 120 ^{o}C นานประมาณ 20 นาที นำออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วประมาณ 5 กรัม ใส่ใน Aluminum dish บันทึกน้ำหนักของ Aluminum dish พร้อมฝาปิดและตัวอย่าง (W_1)

3. นำไปอบใน Hot-air oven ที่อุณหภูมิ 130 ^{o}C โดยเปิดฝา Aluminum dish ไว้เล็กน้อย นาน 1 ชั่วโมง ปิดฝาแล้วนำมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก Aluminum dish พร้อมฝาปิดและตัวอย่างหลังอบ (W_2)

<u>การคำนวณ</u>

$$\%\text{ความชื้น} = \{ [W - (W_2 - W_1)] / W \} * 100$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

W_1 คือ น้ำหนักของ Aluminum dish พร้อมฝาปิด

W_2 คือ น้ำหนักของ Aluminum dish พร้อมฝาปิด และตัวอย่างหลังอบแห้ง

3.5.3 สี

ขั้นตอนการวิเคราะห์ ใช้เครื่อง Colorimeter

1. เปิดแผ่นดำบังแสงออกแล้วเอากล่องดำครอบที่วางวัสดุ
2. เลือก Measurement แล้วกด enter
3. ปิดแผ่นบังแสงโดยครอบกล่องดำไว้เหมือนเดิม
4. กด F1
5. เปิดแผ่นบังแสงออกแล้วใส่วัตถุขาวลงไปเพื่อทดสอบแล้วครอบกล่องดำไว้เหมือนเดิม
6. กด F1 ตรวจวัดค่าวัตถุขาวให้ตรงข้างกล่องใส่วัตถุขาว (ถ้าไม่ตรงต้องเริ่มขั้นที่1ใหม่)
7. ใส่ตัวอย่างวิเคราะห์ที่บดแล้วในตลับ แล้วครอบกล่องดำ ทำการวัดค่า
8. เวลาวัดให้กด F1 ตลอดเมื่อเริ่มการวัดค่าใหม่ทุกครั้ง
9. ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมกด F10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การหาขนาดอนุภาค

ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยวิธี Screen Analysis

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ต้องการหาขนาด 250 กรัม
2. จัดเรียงตะแกรงคัดขนาด (Sieve) โดยเลือกให้ตะแกรงที่มีขนาด mesh no. น้อยที่สุด (ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของตะแกรงใหญ่ที่สุด)อยู่ด้านบน ส่วนตะแกรงที่มีขนาด mesh no. มากที่สุดอยู่ล่างสุดและปิดท้ายด้วยถาดรองรับ
3. นำตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแล้วเทลงบน sieve ชั้นบนสุดปิดฝาครอบ
4. นำ Sieve ทั้งหมดเข้าเครื่องเขย่าคัดขนาด (Sieve shaker)
5. เปิดเครื่องเขย่า(ปรับให้การสั่นเป็นลักษณะ 3 มิติ)ตั้งเวลาให้เขย่า 20 นาที
6. เมื่อครบเวลา นำตะแกรงทั้งหมดออกจากเครื่องเขย่า
7. บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้น
8. คำนวณหาขนาดอนุภาค จากสมการ

$$D_s = \frac{1}{\sum(Xi/Dpi)}$$

3.6 การวิเคราะห์คุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดท

3.6.1 อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ (Expansion Ration , ER)

อัตราส่วนการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ คือ ค่าอัตราส่วนการพองตัวของเอกซ์ทรูเดท โดยการทดลองตัวอย่างละ 10 ซ้ำ (Chinnaswammy และ Hanna ,1988)

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

3.6.2 ความหนาแน่น (Density)

- ความหนาแน่นจริง (True Density)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Chinnaswammy และ Hanna , 1988)

1. บดเอกซ์ทรูเดทด้วยเครื่อง Blender
2. ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20-30 mesh
3. ค่อย ๆ เทเอกซ์ทรูเดทนี้ ลงในกระบอกตวงที่ทราบค่าแน่นอนขนาดปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปาดส่วนที่เกินออก
4. ชั่งน้ำหนักเอกซ์ทรูเดท และกระบอกตวง
5. คำนวณค่าความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

ความหนาแน่น = น.น.ของเอกซ์ทรูเดตในกระบอกตวง 10 ml

ปริมาตรของกระบอกตวง 10 ml

- ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

1. นำตัวอย่างเอกซ์ทรูเดทใส่ในภาชนะทรงกระบอกขนาด 1 ลิตร
2. นำภาชนะไปชั่งน้ำหนัก

ความหนาแน่น(g/cm^3) = น.น.ของเอกซ์ทรูเดตในกระบอกตวง 1 L

ปริมาตรขนาดของกระบอกตวง 1 L

3.6.3 **เนื้อสัมผัส** (Texture)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ใช้เครื่อง Texture Analyzer (TA) เพื่อหาค่าแรงกดสูงสุด

1. ประกอบหัวกดชนิด P/2 2 มิลลิเมตร Cylinder Probe Stainless Steel และฐานเข้ากับตัวเครื่อง เปิดเครื่อง TA และ Computer เปิดโปรแกรม Texture Exponent
2. ทำการ calibrate force โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 2000 กรัม
3. ทำการ calibrate height โดยตั้งระยะหัววัดให้สูงกว่าความสูงของตัวอย่าง
4. ตั้งโปรแกรม โดยเลือกรูปแบบการทดสอบพร้อมทั้งจัดค่าความเร็วหัววัดเริ่มต้น 1 mm/s ความเร็วขณะกดเป็น 1 mm/s ความเร็วของหัวกลับเป็น 10 mm/s ระยะที่ใช้กดเป็น 20 mm แรงกดเริ่มต้นที่ 5 g และ Acquisition Rate เป็น 500 pps รวมถึงตั้งหน่วยของกราฟที่ต้องการโดยแกน X เป็นเวลา(s) และแกน Y เป็นแรงกดกับเวลา (Toughness , g*sec)
5. นำตัวอย่างมา1ชิ้นและทำเครื่องหมายตรงตำแหน่งที่ต้องการวัด
6. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างตรงตำแหน่งที่ทำเครื่องหมาย
7. นำไปตั้งไว้ที่ฐาน
8. เดินเครื่องโดยควบคุมตำแหน่งกดให้มั่นคง รอจนกระทั่งเครื่องทำงานเสร็จ
9. ทำการวัดค่าแรงกด 10 ซ้ำ
10. บันทึกกราฟที่ได้อ่านค่า แรงแตกหักสูงสุด (g) จำนวนพีค (Crispness) และพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกดกับเวลา (Toughness , g*sec)
11. คำนวณค่า Hardness จากสมการ

$$\text{Hardness}(g/mm^2) = \frac{\text{แรงแตกหักสูงสุด}(g)}{\text{พื้นที่ของตัวอย่างที่ทำการวัด}(mm^2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เปลี่ยนหัวกดเป็นแบบ Warner – Blatzer Blade และเปลี่ยนระยะกดเป็น 5 mmและทำตามขั้นตอนที่ 1- 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการสกัดเส้นใยอาหาร

จากปัจจัยที่ใช้ในการเลือกแหล่งวัตถุดิบมาใช้ในการสกัดเส้นใยอาหาร 5 ประการ คือ 1.)เป็นของเสีย หรือ ส่วนที่แยกออกจากวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร (Waste product) 2.) มีราคาถูก 3.) หาได้ง่าย และ มีปริมาณมาก 4.) ปกติเป็นสิ่งที่ที่มนุษย์เรารับประทานได้อยู่แล้ว 5.) มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง ทำให้สามารถเลือกวัตถุดิบมาทำการทดลองสกัดเส้นใยอาหาร 2 ชนิด คือ แกนสับปะรด และ กากมะพร้าว

จากผลการสกัดเส้นใยอาหารพบว่าเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากแกนสับปะรดจะมีลักษณะสีเหลืองขีดเป็นแผ่นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดต่อชิ้นประมาณ 2-4 มม. แต่ก็มีบางส่วนที่เป็นชิ้นละเอียดมาก และบางส่วนที่เป็นเส้นยาวแต่ไม่เกิน 4-5 มม. ลักษณะเนื้อสัมผัสหยาบ เมื่อลองดึงจะพบว่ามีความเหนียว ขาดยาก และมีน้ำหนักเบามาก ดังรูปที่ ง.13

ส่วนเส้นใยอาหารที่สกัดได้จากกากมะพร้าวจะมีลักษณะสีเทาแต่มีบางส่วนที่เป็นสีน้ำตาลเข้มปนอยู่ (สันนิษฐานว่ามาจากเปลือก) ละเอียดมากแต่ละชิ้นเกาะกันอยู่ เนื้อสัมผัสจะละเอียดและรู้สึกลื่นมือ (จากน้ำมันส่วนที่เหลืออยู่) ดังรูปที่ ง.15

เมื่อพิจารณาเปอร์เซนต์ผลผลิตของการสกัด(น้ำหนักเส้นใยอาหารที่สกัดได้เป็นน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักวัตถุดิบเริ่มต้น) พบว่าแตกต่างกันไปในวัตถุดิบแต่ละประเภท คือ เปอร์เซนต์ผลผลิตของแกนสับปะรด และ การมะพร้าว มีค่า 1.72 % , 45.85 % ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกากสับปะรดมีปริมาณความชื้นสูงถึง 88.6 % ส่วนกากมะพร้าวมีค่าความชื้นเริ่มต้นเพียง 10% ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้จากแกนสับปะรดจึงมีค่าต่ำกว่า สำหรับขนาดอนุภาคของสารเส้นใยอาหารจากกากสับปะรดที่ได้มีขนาดเฉลี่ย 3.275 ม.ม. ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว ทั้งนี้เพราะปัญหาในการบดลดขนาดใยอาหารจากกากสับปะรด ที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวและเหนียว ดังนั้นการบดในลักษณะแห้งจึงทำได้ยาก โดยผลการวิเคราะห์ของเส้นใยอาหารนั้นแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

4.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของเส้นใยอาหาร

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าเส้นใยอาหารแต่ละชนิดมีคุณภาพแตกต่างกันไปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ปริมาณความชื้น (moisture content)

จากตาราง 4.1 พบว่าเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรด และ กากมะพร้าวมีปริมาณความชื้น 12.21% และ 1.74% ตามลำดับ สาเหตุที่เส้นใยจากแกนสับปะรดมีความชื้นมากกว่าเส้นใยจากกากมะพร้าว เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นและวิธีการทำแห้งที่ต่างกัน โดยแกนสับปะรดซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นสูง ผ่านการทำให้แห้งด้วยเครื่อง Drum Dryer ในขณะที่กากมะพร้าวซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่า และผ่านการทำแห้งด้วย Tray Dryer เป็นเวลานาน เส้นใยจากกากมะพร้าวที่ได้จึงมีความชื้นต่ำกว่า เส้นใยจากแกนสับปะรด

4.2.2 ปริมาณ a_w (Water activity)

พบว่าเส้นใยจากแกนสับปะรด และ กากมะพร้าวมีปริมาณ a_w 0.8415 และ 0.3624 ตามลำดับ

4.2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของใยอาหาร

จากผลดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 พบว่าใยอาหารจากแกนสับปะรดมีปริมาณ Dietary fiber 86.16% ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง และยังมีปริมาณของโปรตีนเหลืออยู่ 3.2% แต่พบว่าไม่มีปริมาณไขมันอยู่เลยซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่ดีมาก ส่วนใยอาหารจากกากมะพร้าวปริมาณ Dietary fiber 40.87% ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง และยังมีโปรตีนเหลืออยู่ 7.07% ส่วนปริมาณไขมันยังเหลืออยู่ 14.87% ซึ่งยังมีปริมาณค่อนข้างสูงอยู่

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารจากกากสับปะรดและกากมะพร้าว

ส่วนประกอบ (%)	กากสับปะรด (วรพงษ์ , 2528)	ใยอาหารจากสับปะรด	กากมะพร้าว (สาโรช , 2542)	ใยอาหารจากมะพร้าว
Dietary fiber	-	86.16	-	40.87
Fat	1.3	0	20	14.78
Protein	3.2	3.06	21	7.70
Ash	4.9	0.97	7	0.92
moisture	88.6	12.21	10	1.74

(วิเคราะห์โดยสถาบันอาหาร ม.เกษตรศาสตร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ

จากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพพบว่าเส้นใยอาหารแต่ละชนิดมีคุณภาพแตกต่างกันไปดังนี้

4.2.4 **ค่าสี** (Color)

การวัดค่าสีใช้ระบบ C.I.E. โดยใช้ค่า L* a* b*

L* คือค่าความสว่างหรือความขาว (100 สว่างมาก - 0 สว่างน้อย)

a* (+a สีแดง , -a สีเขียว)

b* (+b สีเหลือง , -a สีน้ำเงิน)

พบว่าเส้นใยจากแกนสับปะรด และ กากมะพร้าวมีค่าสีที่ทำการวัดได้ดังตารางที่ 4.2 เส้นใยจากกากสับปะรดมีค่าสีเหลือง (+b*) และมีค่าสีขาว (+L*) มากกว่าแกนสับปะรด คือมีสีเหลืองซีด เพราะเส้นใยจากกากสับปะรดผ่านวิธีการต้มเพื่อสกัดสีออก ในขณะที่เส้นใยจากกากมะพร้าวมีค่าสีเหลืองมากกว่า และมีค่าสีขาวน้อยกว่ากากมะพร้าว คือมีสีเหลืองเข้มกว่ากากมะพร้าว เนื่องจากผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อน

4.2.5 **ค่าความหนาแน่น** (Density)

พบว่าเส้นใยจากแกนสับปะรด และ กากมะพร้าวมีค่าความหนาแน่นที่ทำการวัดได้มีค่าเท่ากับ 0.1309 และ 0.2796 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าเส้นใยเส้นใยที่ได้จากกากมะพร้าวมีค่าความหนาแน่นมากกว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากแกนสับปะรดเนื่องจากเส้นใยจากแกนสับปะรดมีลักษณะที่โปร่งกว่าทำให้เกิดช่องว่างมากกว่าจึงทำให้น้ำหนักที่ได้จากการวัดมีค่าที่เบากว่าจึงทำให้ความหนาแน่นที่ได้จากเส้นใยจากแกนสับปะรดนั้นมีค่าน้อยกว่า

4.2.6 **ขนาดอนุภาค** (Size)

พบว่าเส้นใยจากแกนสับปะรด และ กากมะพร้าวมีขนาดอนุภาคที่ทำการวัดได้ 3.2750 mm และ 0.8195 mmตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาคของเส้นใยสับปะรดมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับเส้นใยกากมะพร้าว เนื่องจากแกนสับปะรดมีเส้นใยเหนียว เมื่อทำการปั่นละเอียดจึงได้เส้นใยที่หยาบกว่าเส้นใยจากกากมะพร้าว

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากกากสับปะรด และกากมะพร้าว

ชนิดของวัตถุดิบ	% yield	a_w	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	Bulk Density (g/cm^3)	ค่าสี ระบบ CIE		
					L*	a*	b*
เส้นใยสับปะรด	1.72	0.8415	3.2750	0.1309	73.42	5.66	27.63
เส้นใยมะพร้าว	45.85	0.3624	0.8195	0.2796	72.51	3.91	11.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของเอกซ์ทรูเดท

เอกซ์ทรูเดทที่นำมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพได้จากการนำข้าวโพดบด 2.5 กิโลกรัม มาผสมกับเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรด และเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว โดยใส่ปริมาณ 5%, 10%, 15% ตามลำดับ มาทำการผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นโดยกำหนดสภาวะการผลิตคงที่ที่อัตราการป้อน 1.296 กิโลกรัมต่อนาที และวัตถุดิบมีความชื้นคงที่ที่ 17% ความเร็วรอบสกรู 623 รอบต่อนาที อุณหภูมิบาร์เรล 105°C นำเอกซ์ทรูเดทที่ได้ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C 15นาที ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ดังตารางที่ 4.3 , 4.4 และ4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการวิเคราะห์

สูตร	ความชื้น(%wb)		Bulk Density(g/cm^3)		Piece Density(g/cm^3)		ER	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Corn	5.724	0.011	0.7315	0.289	0.0996	2.50	3.04	0.228
P 5%	4.508	0.412	0.6862	0.223	0.1088	1.24	2.14	0.001
P 10%	4.150	0.612	0.6474	0.192	0.1500	1.94	1.94	0.241
P 15%	4.216	0.188	0.5469	0.174	0.2043	1.75	1.85	0.101
C 5%	4.266	0.259	0.5991	0.208	0.1718	2.71	2.50	0.235
C 10%	4.658	0.129	0.5673	0.167	0.1773	4.50	2.48	0.051
C 15%	4.125	1.402	0.5284	0.203	0.1602	3.14	2.11	0.084

หมายเหตุ P = กากสับปะรด ,C = กากมะพร้าว

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการวิเคราะห์จากหัวกดแบบ Probe P/2

สูตร	Hardness(g/mm^2)		Crispness		Toughness(g*mm)	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Corn	13.306	6.6870	93.8	96.03	1599.551	663.768
P 5%	27.110	9.3201	70.2	61.57	2614.088	728.029
P 10%	28.198	6.4688	56.5	43.732	2400.826	715.137
P 15%	48.897	21.3125	42.8	25.529	3905.994	1519.914
C 5%	14.562	4.3663	165.9	178.52	1461.274	592.9367
C 10%	45.206	28.3490	106.8	142.77	3355.647	1684.895
C 15%	43.980	23.4500	104.0	149.79	2828.654	1108.606

หมายเหตุ P = กากสับปะรด ,C = กากมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการวิเคราะห์จากหัวกด แบบ Warner-Blatzler Blade

สูตร	Hardness(g/mm^2)		Crispness		Toughness(g*mm)	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Corn	25.377	1.020	142.60	70.710	5512.36	1288.344
P 5%	50.956	12.106	101.25	32.880	6260.552	683.725
P 10%	59.625	29.100	59.80	35.496	4349.955	493.598
P 15%	81.939	28.279	91.20	13.576	7400.247	4959.651
C 5%	32.409	0.630	130.35	12.657	6910.657	1946.077
C 10%	48.635	0.431	72.75	13.930	7493.320	899.320
C 15%	89.072	42.120	72.20	30.829	10282.09	4116.292

เอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการผสมเส้นใยอาหารจากกากสับปะรด

ข้าวโพดบด

เอกซ์ทรูเดทที่ได้มีสีเหลืองสว่าง เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 -11 มม. ผิวขรุขระและพองออก ข้างในพรุนเต็มไปด้วยช่องว่าง เนื้อสัมผัสเมื่อกดดูจะรู้สึกกรอบและเปราะหักง่าย

ข้าวโพดบดผสมสับปะรด 5%

เอกซ์ทรูเดทที่ได้มีสีเหลือง เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-8 มม. ผิวขรุขระ เป็นชิ้นพองและติดกันประมาณ 4-7 ชิ้น คอดเข้าเหมือนหวีของกล้วย กดดูจะรู้สึกกรอบและเปราะ

ข้าวโพดบดผสมสับปะรด 10%

เอกซ์ทรูเดทที่ได้มีสีเหลืองหม่น เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-7 มม. ไม่พองมาก เป็นชิ้นติดกันหลาย ๆ ชิ้นไม่เป็นระเบียบ ผิวไม่หยาบมากนัก กดดูจะรู้สึกแข็งแต่สามารถหักได้

ข้าวโพดบดผสมสับปะรด 15%

เอกซ์ทรูเดทที่ได้มีสีเหลืองหม่น ชิ้นเล็กใหญ่ไม่เท่ากันอย่างเห็นได้ชัดไม่พอง เนื้อแน่น เป็นชิ้นติดกันหลาย ๆ ชิ้นไม่เป็นระเบียบ ผิวไม่หยาบ กดดูจะรู้สึกว่าแข็งและหักยาก

เปรียบเทียบปริมาณการใส่ใยอาหารทั้งสามชนิดของสับปะรด

ในเรื่องสีจะพบว่า เอกซ์ทรูดเดทที่ใส่ใยอาหารน้อยที่สุดจะมีสีเหลืองสดใสและใกล้เคียงกับเอกซ์ทรูดเดทจากข้าวโพดบดมากที่สุด ส่วนเรื่องขนาดนั้นจะยิ่งลดลงเรื่อย ๆตามปริมาณเส้นใยอาหารที่ใส่ไปดังรูปที่ 4.1 แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสจะละเอียดมากขึ้นซึ่งก็อาจมีสาเหตุมาจากความกรอบพองที่น้อยลง ส่วนความแข็งนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใส่เส้นใยอาหารไปถึง 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทผสมเส้นใยอาหารจากกากสับปะรด

เอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการผสมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว

ข้าวโพดบด

เอกซ์ทรูเดทที่ได้มีสีเหลืองสว่าง เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9-11 มม. ผิวขรุขระและพองออก ข้างในพรุนเต็มไปด้วยช่องว่าง เนื้อสัมผัสเมื่อกดดูจะรู้สึกกรอบและเปราะหักง่าย

ข้าวโพดบดผสมมะพร้าว 5%

เอกซ์ทรูเดทที่ได้มีสีเหลือง มีจุดสีน้ำตาลปะปนเล็กน้อยจากเปลือก/กะลามะพร้าว ผิวสัมผัสหยาบ มีความพองและรูพรุน มาก แต่ละชิ้นเป็นชิ้นกลมมน กว้างยาวเท่า ๆ กัน โดยเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8-10 มม. มีความเปราะสามารถแตกหักได้ง่าย

ข้าวโพดบดผสมมะพร้าว 10%

เอกซ์ทรูเดทที่ได้มีสีเหลืองมีจุดสีน้ำตาลปะปน ผิวสัมผัสหยาบมีความพองเล็กน้อย แต่ละชิ้นเป็นชิ้นกลมมน กว้างยาวเท่าๆกัน โดยเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6-8 มม. กดดูจะรู้สึกว่าแข็งแต่ว่าก็ยังทำให้หักได้

ข้าวโพดบดผสมมะพร้าว 15%

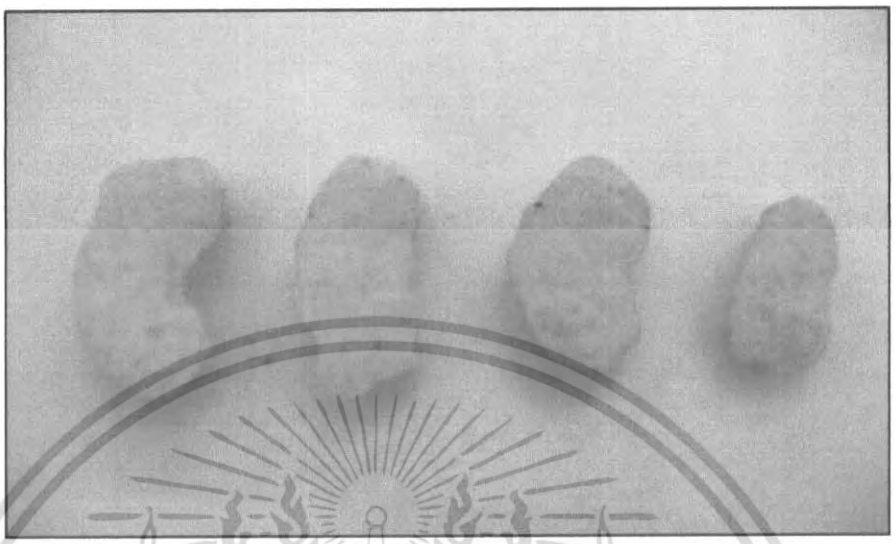
สีเหลืองมีจุดสีน้ำตาลปะปน ผิวสัมผัสไม่หยาบนัก ไม่พอง แต่ละชิ้นกลมมนโดยเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-5 มม. แต่ละชิ้นแข็งมากไม่เปราะ มีบางชิ้นเท่านั้นที่ติดกัน

เปรียบเทียบปริมาณการใส่ใยอาหารทั้งสามชนิดของมะพร้าว

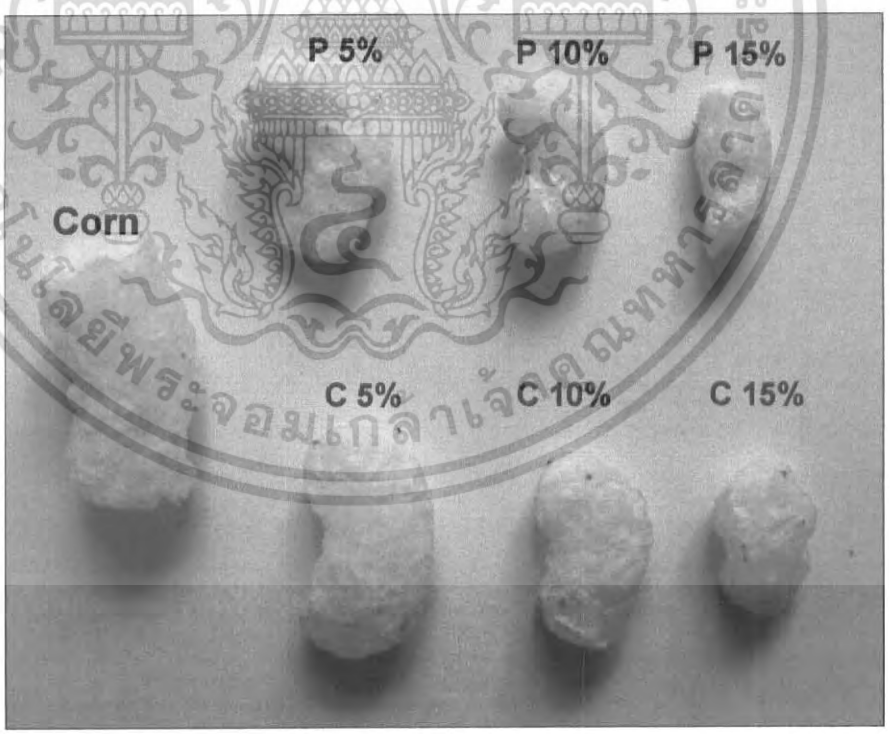
ในเรื่องสีจะพบว่า เอกซ์ทรูดเดทที่ใส่ไฟเบอร์น้อยที่สุดจะมีสีเหลืองสดใสใกล้เคียงกับเอกซ์ทรูดเดทที่ไม่ได้ใส่ไฟเบอร์มากที่สุดดังรูปที่ 4.2 ส่วนจุดสีน้ำตาลก็จะมีมากขึ้นความกรอบพองก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงส่วนเนื้อสัมผัสนั้นละเอียดขึ้น และยิ่งใส่ไฟเบอร์มากเท่าไรขนาดก็จะยิ่งเล็กลงและแข็งมากขึ้นซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากเอกซ์ทรูเดทที่ใส่ไฟเบอร์ 15%



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทผสมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว



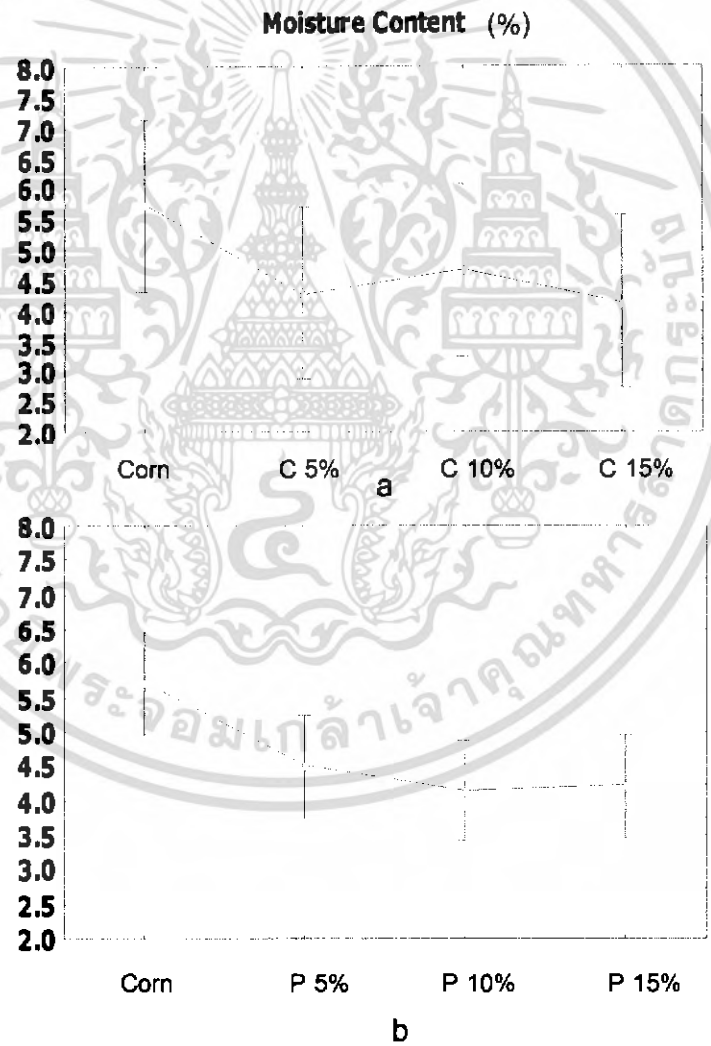
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทที่ทำการเสริมเส้นใยอาหาร
จากกากสับปะรดและกากมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 **ความชื้น** (Moisture Content)

ค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 4.0 - 5.8% และ 4.2 - 5.8% ตามลำดับ

ปริมาณความชื้นของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นพบว่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดทที่ผสมใยอาหารกากมะพร้าวและใยอาหารแกนสับปะรดนั้นมีค่าลดลงแปรผกผันกับปริมาณในการเติมเส้นใยอาหารโดยมีค่าแสดง ดังรูปที่ 4.4a และรูปที่ 4.4b พบว่ามีค่าความชื้นอยู่ในค่าระหว่างเอกซ์ทรูเดทที่มีอยู่ในท้องตลาด ซึ่งเกิดเนื่องมาจากข้าวโพดเกล็ดมีความสามารถอุ้มน้ำมากกว่าใยอาหารเมื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารเพิ่มมากขึ้นปริมาณ (ข้าวโพดเกล็ดมีปริมาณน้อยลง)ทำให้ปริมาณความชื้นลดน้อยลงตามไปด้วย (Yanniotis,2006) ส่วนค่าปริมาณความชื้นของเอกซ์ทรูเดทในท้องตลาดมีค่าอยู่ในช่วง 1.92 - 8.22 % มาตรฐานเปียก



รูปที่ 4.4 a: ปริมาณความชื้นของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว

b: ปริมาณความชื้นของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด

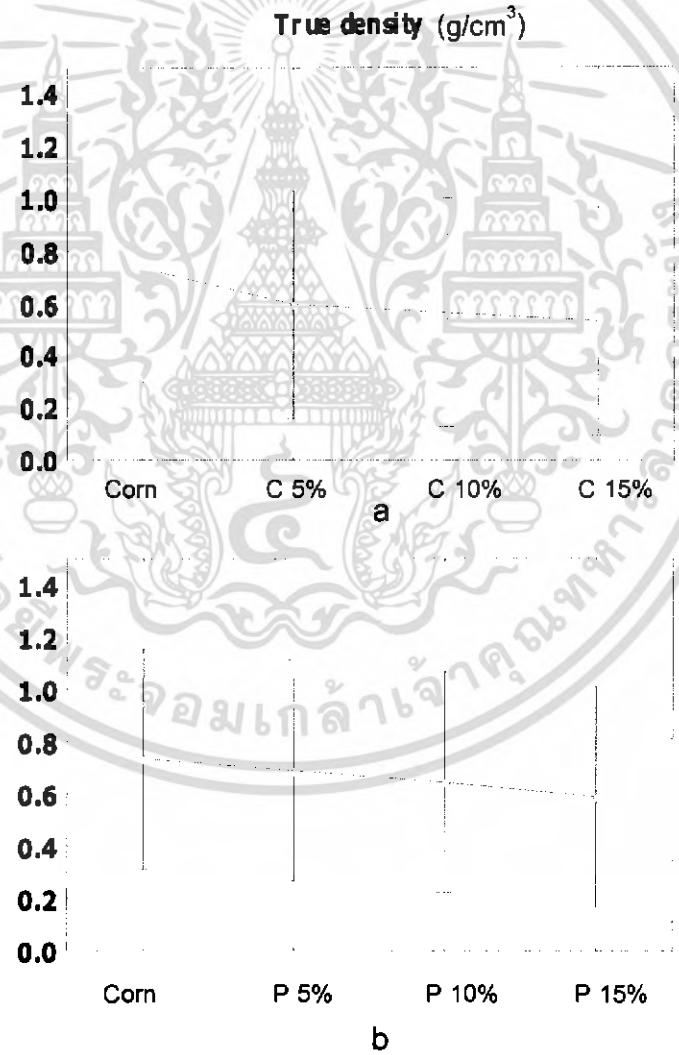
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 **ความหนาแน่น** (Density)

- **<u>ความหนาแน่นจริง</u>** (True Density)

ค่าความหนาแน่นจริงเอกซ์ทรูเดทที่ได้ทำการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 0.5 – 0.75 และ 0.6 – 0.75 g/cm^3 ตามลำดับ

ค่าความหนาแน่นจริงของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจะทำให้ความหนาแน่นจริงของเอกซ์ทรูเดทลดลงตามปริมาณการเติมเส้นใยอาหารดังรูปที่ 4.5a และ รูปที่4.5bทั้งนี้เพราะเนื่องมาจากเส้นใยอาหารนั้นมีความหนาแน่นจริงที่น้อยกว่าข้าวโพดเมื่อนำไปผสมจึงทำให้ความหนาแน่นจริงลดลง จากการทดลองสังเกตได้ว่าเมื่อเติมปริมาณเส้นใยอาหารที่เท่ากันนั้นจะทำให้เอกซ์ทรูเดทที่เติมเส้นใยอาหารกากมะพร้าวนั้นมีความหนาแน่นจริงมากกว่าเอกซ์ทรูเดทที่เติมเส้นใยอาหารแกนสับปะรดเล็กน้อย



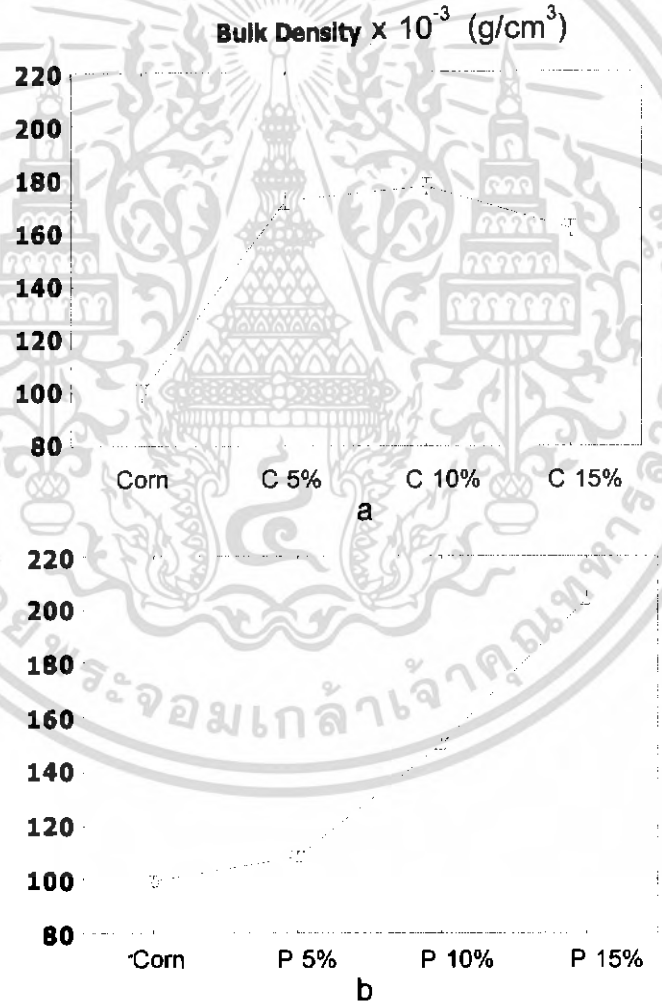
รูปที่ 4.5 a: ความหนาแน่นจริงของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว
b: ความหนาแน่นจริงของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)**

ค่าความหนาแน่นรวมของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ทำการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 0.1- 0.178 และ 0.1– 0.2 g/cm^3

ค่าความหนาแน่นรวมของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจะทำให้ความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารจะทำให้เอกซ์ทรูเดทที่ได้นั้นมีขนาดเล็กลงคือมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นโดยค่าจากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารจากการมะพร้าวจะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าเอกซ์ทรูเดทที่ผสมใยอาหารสับปะรดดัง รูปที่ 4.6a และรูปที่ 4.6b และจากค่าความหนาแน่นรวมที่มีอยู่ในท้องตลาดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.094-0.198 g/cm^3 พบว่าเมื่อใส่ปริมาณใยอาหาร 15% ลงในเอกซ์ทรูเดทยังมีค่าไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทที่มีอยู่ในท้องตลาดมากนัก



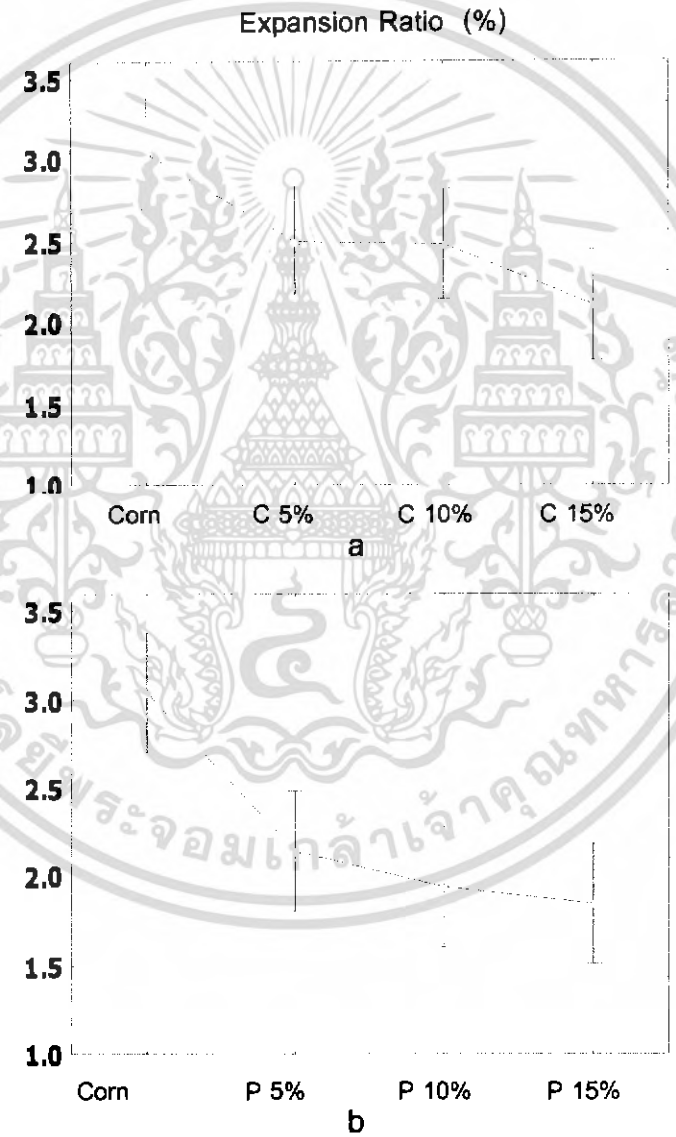
รูปที่ 4.6 a: Bulk density ของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว
b: Bulk density ของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 **อัตราส่วนการขยายตัว** (Expansion Ratio)

ค่าอัตราส่วนขยายของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ทำการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 2.2 – 3.0 และ 1.8 – 3.0 %

ค่าอัตราส่วนขยายตัวของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการเสริมใยอาหารเข้าไปในเอกซ์ทรูเดทจะทำให้ค่าอัตราส่วนการขยายตัวลดลงสอดคล้องกับความหนาแน่นรวมที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารโดยจากการทดลองพบว่าเอกซ์ทรูเดทที่ทำการใส่ใยอาหารจากกากสับปะรดจะมีค่าอัตราส่วนการขยายตัวที่น้อยกว่าเอกซ์ทรูเดทที่ทำการใส่ใยอาหารจากกากมะพร้าวเมื่อเทียบปริมาณการใส่ใยอาหารในปริมาณที่เท่ากันดังรูปที่ 4.7a และรูปที่ 4.b



รูปที่4.7 a: อัตราส่วนขยาย (ER) ของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว

b: อัตราส่วนขยาย (ER) ของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด

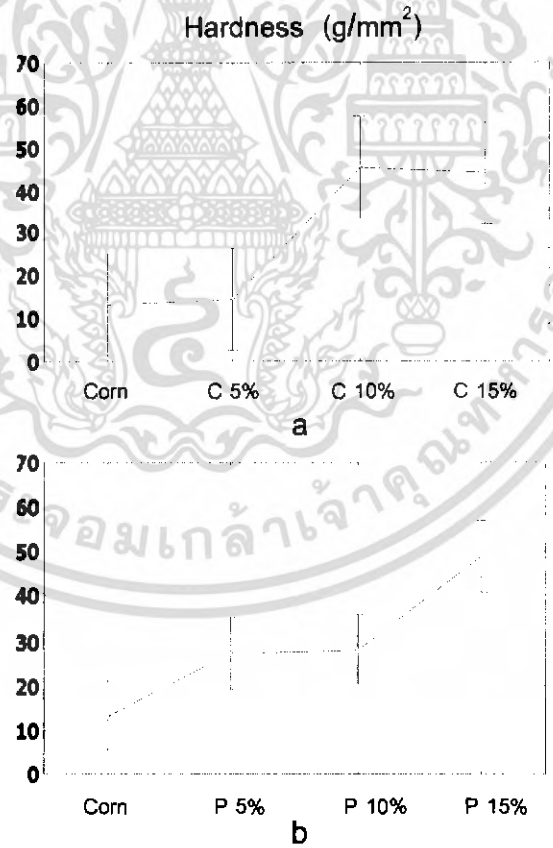
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 **ลักษณะเนื้อสัมผัส**(Texture)

- **ความแข็ง (Hardness) ของเอกซ์ทรูเดท ใช้หัวกดแบบ** Probe P/2

ค่าความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ทำการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 13 - 45 และ 14 - 48 g/mm^2

ค่าแรงที่หัวกดแบบ Probe P/2 ที่ใช้ในการกดทะลุเอกซ์ทรูเดทจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analysis สามารถบ่งบอกถึงความแข็งของเอกซ์ทรูเดท จากการทดลองที่ได้พบว่าเอกซ์ทรูเดทที่เสริมเส้นใยอาหารจากทั้งกากมะพร้าวและแกนสับปะรดมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.8a และ รูปที่4.8b เมื่อเพิ่มปริมาณการใส่ใยอาหารลงในเอกซ์ทรูเดทมากขึ้นจะทำให้เอกซ์ทรูเดทที่ได้นั้นแข็งขึ้น เนื่องมาจากเมื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารจะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนขยายลดลงซึ่งจะทำให้เอกซ์ทรูเดทแข็ง และเนื่องมาจากเส้นใยอาหารมีผนังเซลล์ที่หนาและแข็งกว่าเอกซ์ทรูเดท จึงทำให้เอกซ์ทรูเดทที่ได้มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น (Mendonca et al. 2000) ซึ่งค่าที่ได้จากผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทในท้องตลาดมีค่าอยู่ระหว่าง 593.41-1118.17 g/mm^2 ซึ่งเอกซ์ทรูเดทที่ได้ทำการเสริมเส้นใยที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแข็งที่น้อยกว่าเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากท้องตลาดมาก



รูปที่ 4.8 a: ความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว จากProbe P/2

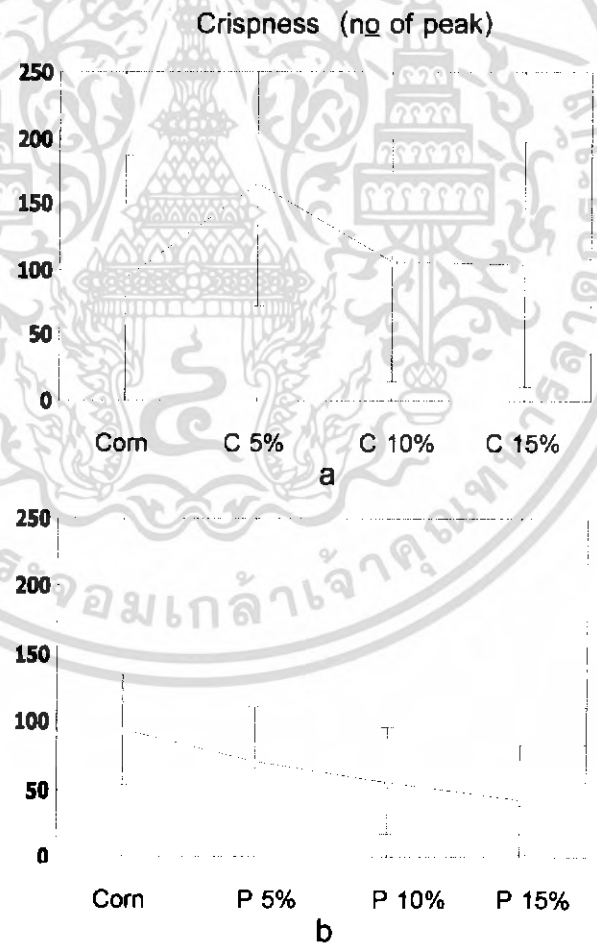
b: ความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด จากProbe P/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ความกรอบ (Crispness) ของเอกซ์ทรูเดท ใช้หัวกดแบบ Probe P/2**

ค่าความกรอบของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ทำการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 100 - 170 และ 40 - 90

ค่าความกรอบของเอกซ์ทรูเดท คือจำนวนพีคถึงพีคสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TA โดยใช้หัวกดแบบ Probe P/2 ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนั้นพบว่าเอกซ์ทรูเดทที่ใส่ใยอาหารกากมะพร้าวลงไป 5% นั้นมีความกรอบมากที่สุดแล้วเมื่อเพิ่มปริมาณการใส่ใยอาหารนั้นจะทำให้ความกรอบลดลง ดังรูปที่ 4.9a ส่วนเอกซ์ทรูเดทที่ทำการผสมใยอาหารจากแกนสับปะรดนั้นจะมีแนวโน้มความกรอบลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารจากแกนสับปะรด ดังรูปที่ 4.9b และจากการทดลองยังพบว่าการใส่ใยอาหารจากกากมะพร้าวจะทำให้เอกซ์ทรูเดทที่ได้มีความกรอบมากกว่าใส่เส้นใยอาหารจากแกนสับปะรดสาเหตุของความแตกต่างอาจเกิดจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นเร็วเกินไปของเซลล์ก๊าซ ส่งผลให้การขยายตัวและความกรอบลดลง(S. Yanniotis,2006) ส่วนผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทที่ได้จากท้องตลาดนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 98.4- 464.6



รูปที่ 4.9 a: ความกรอบของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว จากProbe P/2

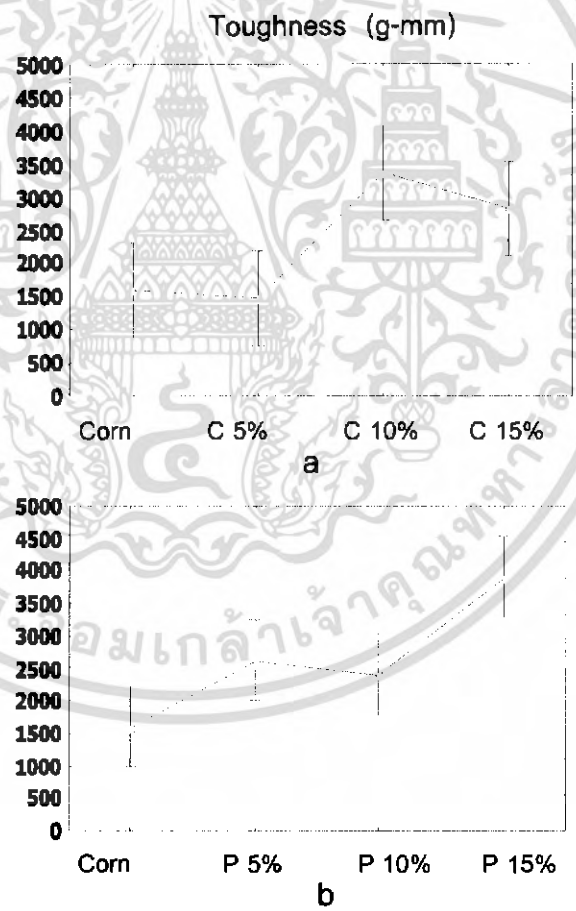
b: ความกรอบของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด จากProbe P/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **<u>ความเหนียว (Toughness) ของเอกซ์ทรูเดท ใช้หัวกดแบบ Probe P/2</u>**

ค่าความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ทำการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 1000 - 3300 และ 1600 - 3800 g.mm

ค่าToughness ของเอกซ์ทรูเดท ได้จากพื้นที่ใต้กราฟที่ทำการวิเคราะห์จากเครื่อง Texture Analysis ด้วยหัวกดแบบ Probe P/2 ที่ได้จากการทดลองนั้นพบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้น คือ จะต้องใช้งานมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารลงในเอกซ์ทรูเดท โดยที่ 5% เอกซ์ทรูเดทที่เสริมเส้นใยจากกากมะพร้าวมีความเหนียวน้อยกว่าเอกซ์ทรูเดทที่เสริมเส้นใยจากแกนสับปะรด ที่10% เอกซ์ทรูเดทที่เสริมเส้นใยจากกากมะพร้าวมีความเหนียวมากกว่ากว่าเอกซ์ทรูเดทที่เสริมเส้นใยจากแกนสับปะรด และที่15% เอกซ์ทรูเดทที่เสริมเส้นใยจากกากมะพร้าวมีความเหนียวน้อยกว่าเอกซ์ทรูเดทที่เสริมเส้นใยจากแกนสับปะรด ดังรูปที่ 4.10a และรูปที่ 4.10b โดยค่าความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากท้องตลาดมีค่าอยู่ระหว่าง 2283.42 - 5693.40 g.mm พบว่าเอกซ์ทรูเดทที่เสริมเส้นใยนั้นได้ความเหนียวอยู่ในค่าที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดส่วนใหญ่



รูปที่ 4.10 a: ความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารกากมะพร้าว จากProbe P/2

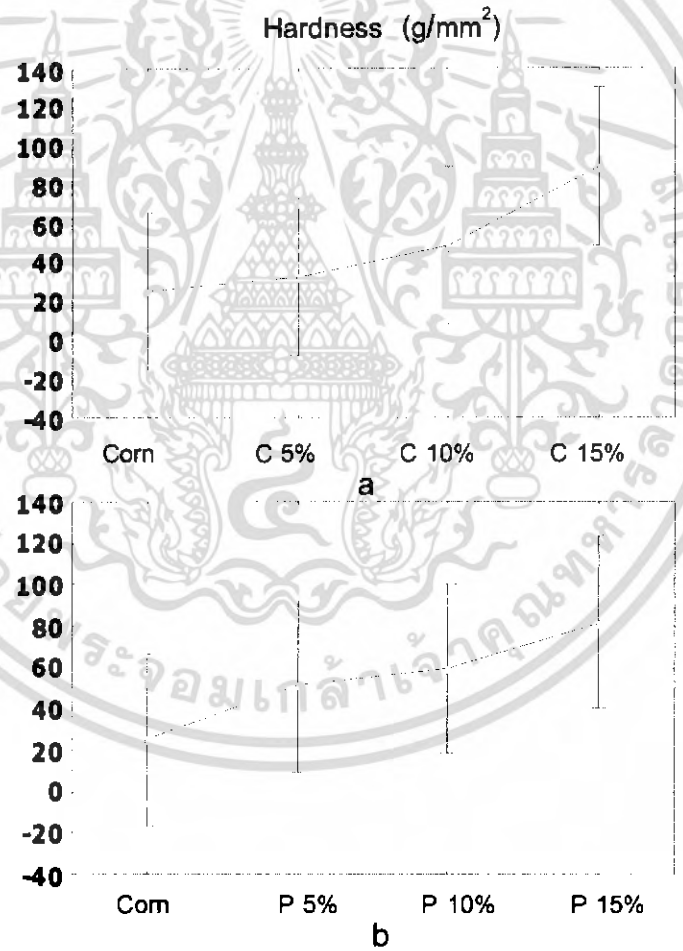
b: ความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยอาหารแกนสับปะรด จากProbe P/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **<u>ความแข็ง</u>** (Hardness) **<u>ของเอกซ์ทรูเดท ใช้หัวกดแบบ</u>** Warner-Blatzler

ค่าความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ทำการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 30 - 90 และ 30 - 80 g/mm^2

ค่าแรงแตกหักของเอกซ์ทรูเดท ที่เกิดจากหัวกดแบบ Warner-Blatzer Blade จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analysis สามารถบ่งบอกถึงความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ โดยค่าความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการเสริมเส้นใยอาหารนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจะทำให้มีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นโดยเมื่อเทียบที่ปริมาณการใส่ใยอาหารของใยอาหารทั้ง 2 ชนิดนั้นพบว่ามีที่ 15% เท่านั้นที่เอกซ์ทรูเดทที่ใส่ใยอาหารจากกากมะพร้าวมีค่าความแข็งสูงกว่า โดยถ้าใส่ใยอาหารน้อยกว่านี้การใส่ใยอาหารจากแกนสับปะรดจะให้ค่าความแข็งที่มากกว่าดังรูปที่ 4.11a และ รูปที่ 4.11b และเมื่อเทียบกับเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากในท้องตลาดที่มีค่าอยู่ระหว่าง13.42-44.32 g/mm^2 พบว่าเมื่อใส่ใยอาหารที่ 15% จะให้ค่าความแข็งที่มากกว่าเอกซ์ทรูเดทที่มีในท้องตลาด



รูปที่4.11 a: ความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยกากมะพร้าว จากหัวกดแบบ Warner –Blatzler

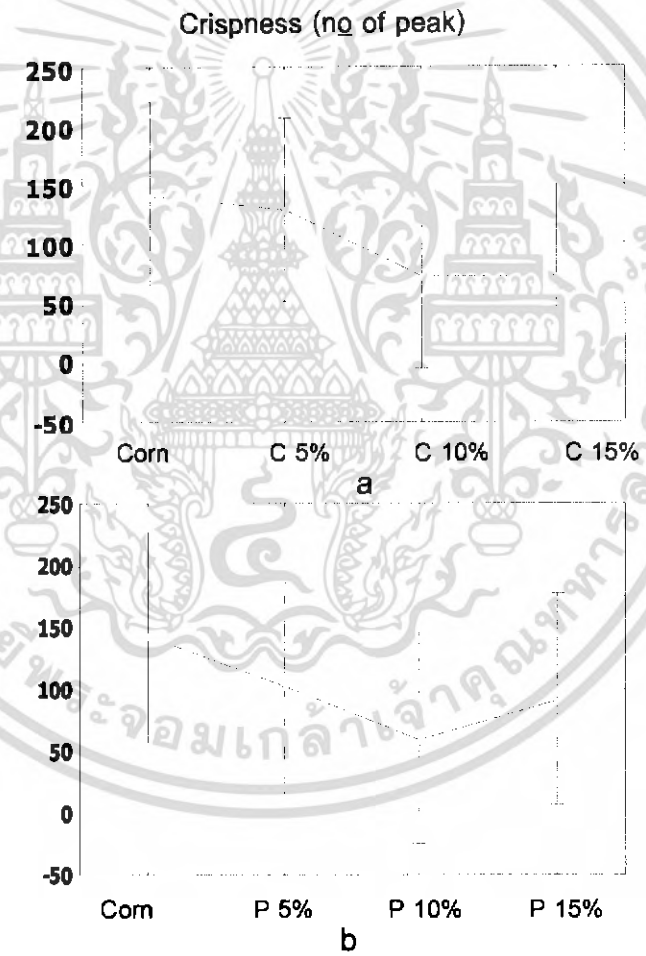
b: ความแข็งของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยกากสับปะรด จากหัวกดแบบ Warner -Blatzler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ความกรอบ (Crispness) ของเอกซ์ทรูเดท ใช้หัวกดแบบ Warner-Blatzler**

ค่าความกรอบของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ทำการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 70 – 140 และ 60 - 145

ค่าความกรอบของเอกซ์ทรูเดท คือจำนวนพีคถึงพีคสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TA โดยใช้หัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจะมีความกรอบที่ลดลงโดยเอกซ์ทรูเดทที่เสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวมีความกรอบมากกว่าเอกซ์ทรูเดทที่เสริมเส้นใยแกนสับปะรดดังรูปที่ 4.12a และ รูปที่ 4.12b ทั้งนี้เพราะ มีการเกิดเซลล์ก๊าซขึ้นเร็วเกินไป ส่งผลให้การขยายตัวและความกรอบลดลง (Yanniotis,2006) และเมื่อเปรียบเทียบเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากท้องตลาดที่มีค่าอยู่ระหว่าง 474.7-1412.3 พบว่าเอกซ์ทรูเดทที่ได้จากท้องตลาดนั้นมีความกรอบมากกว่า



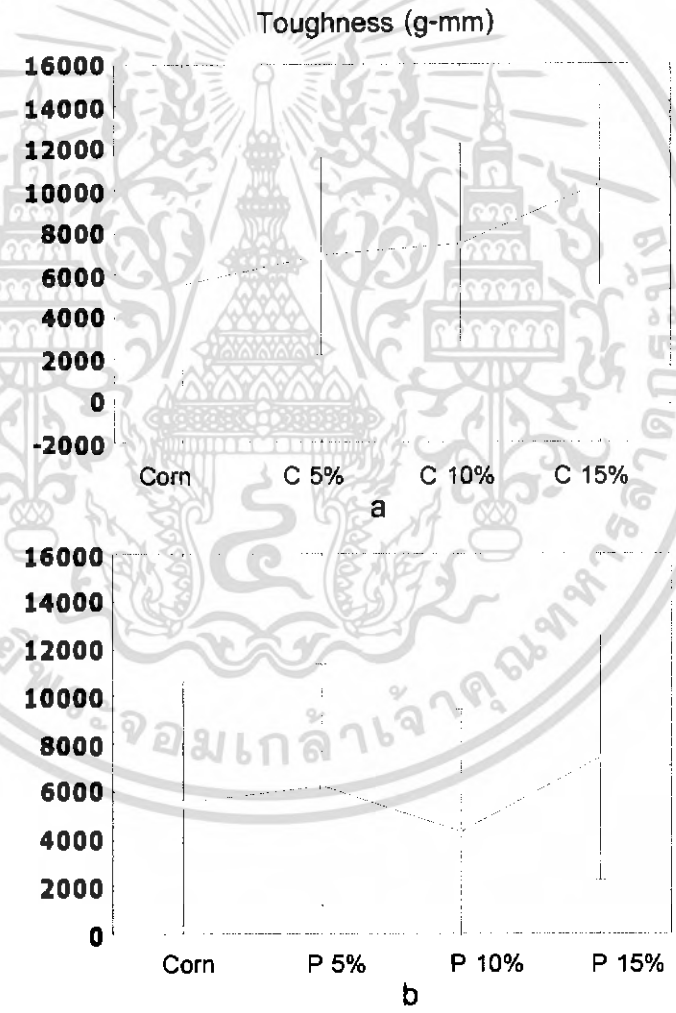
รูปที่ 4.12 a: ความกรอบของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยมะพร้าวจากหัวกดแบบ Warner --Blatzler
b: ความกรอบของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยสับปะรด จากหัวกดแบบ Warner -Blatzler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **<u>ความเหนียว (Toughness) ของเอกซ์ทรูเดท ใช้หัวกดแบบ Warner-Blatzler</u>**

ค่าความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ทำการเสริมเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 5500 -10000 และ 4000 - 7500 g.mm

ค่า Toughness ของเอกซ์ทรูเดท ได้จากพื้นที่ใต้กราฟที่ทำการวิเคราะห์จากเครื่อง Texture Analysis ด้วยหัวกดแบบ Warner-Blazer Blade จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารลงในผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทจะทำให้มีแนวโน้มความเหนียวที่เพิ่มขึ้นมีเพียงค่าที่ใส่ใยอาหารจากสับปะรด10%เท่านั้นที่เกิดความเหนียวลดลง โดยเมื่อเปรียบเทียบกันที่ปริมาณใยอาหารพบว่าใยอาหารจากกากมะพร้าวทำให้เอกซ์ทรูเดทมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 4.13a และรูปที่ 4.13b และเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทที่มีในท้องตลาดที่มีค่าระหว่าง 2971.92-5848.76 g.mm ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่ามาก



รูปที่ 4.13 a: ความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยมะพร้าว จากหัวกดแบบ Warner –Blatzler

b: ความเหนียวของเอกซ์ทรูเดทที่ใส่เส้นใยสับปะรด จากหัวกดแบบ Warner–Blatzler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 **ค่าสี** (Color)

จากค่า ΔE พบว่า เอกซ์ทรูเดทข้าวโพดผสมเส้นใยสับปะรด 15 % มีความแตกต่าง (ΔE) จากเอกซ์ทรูเดทข้าวโพดมากที่สุด และมีค่าสีเหลือง (b*) น้อยที่สุด คือมีสีเหลืองจางที่สุด เนื่องจากเส้นใยสับปะรดมีสีเหลืองซีดกว่าข้าวโพดเมื่อมีปริมาณเส้นใยสับปะรดในเอกซ์ทรูเดทมาก สีเหลืองจึงจางลง สำหรับเอกซ์ทรูเดทข้าวโพดผสมเส้นใยมะพร้าว 5 % มีความแตกต่างจากเอกซ์ทรูเดทข้าวโพดน้อยที่สุด และมีค่าสีเหลืองใกล้เคียงกับเอกซ์ทรูเดทข้าวโพดมากที่สุด

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสีของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดท ระบบ C.I.E.

ชนิดผลิตภัณฑ์	L*	a*	b*	ΔE
ข้าวโพด	74.53	6.03	57.07	0
P 5%	75.22	4.44	49.53	7.74
P 10%	74.59	5.09	50.76	6.38
P 15%	76.62	2.70	43.12	14.49
C 5%	75.12	3.91	52.00	5.53
C 10%	71.85	4.18	50.95	6.93
C 15%	70.71	3.66	47.77	10.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรดและกากมะพร้าวพบว่ามีปริมาณ Dietary fiber 86.16% และ 40.87% และความชื้น 12.21% และ 1.74% ตามลำดับซึ่งใยอาหารทั้งสองชนิดนี้สามารถนำไปเป็นสารเสริมเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ได้

การศึกษากระบวนการผลิตเอกซ์ทรูชั่น โดยใช้วัตถุดิบข้าวโพดบดผสมกับเส้นใยอาหารที่ทำการสกัดได้จากแกนสับปะรด และ กากมะพร้าว ในการศึกษาอาศัยเครื่องเอกซ์ทรูชั่นแบบสกรูเดี่ยว โดยกำหนดสภาวะการผลิตคงที่ที่อัตราการป้อน 1.296 กิโลกรัมต่อนาที และวัตถุดิบมีความชื้นคงที่ที่ 17% ความเร็วรอบสกรู 620 รอบต่อนาที อุณหภูมิบาร์เรล 105°C นำเอกซ์ทรูเดทที่ได้ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C 15นาที ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย 1.ชนิดของเส้นใยอาหารที่ทำการผสมลงไปกับ ประกอบด้วยเส้นใยอาหาร 2 ชนิด 2. ปริมาณการใส่เส้นใยอาหารที่ทำการผสมลงไปกับข้าวโพดบด ด้วยปริมาณการใส่ 5% ,10%, 15% ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. เส้นใยจากกากมะพร้าว และแกนสับปะรดที่ได้จากการสกัดสามารถนำมาใช้เสริมคุณค่าอาหารให้กับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่ได้จากการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่นได้

2. เปอร์เซนต์ผลผลิตของเส้นใยอาหารที่ได้จากกากมะพร้าวเท่ากับ 45.85 % ส่วนที่ได้จากแกนสับปะรดมีเพียง 1.72 %

3. ปริมาณการเสริมเส้นใยอาหาร (5%, 10%,15%) ลงในผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณลักษณะของเอกซ์ทรูเดทโดยมีผลให้

2.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ของเอกซ์ทรูเดทที่ได้มีแนวโน้มลดลง

2.2 ความหนาแน่น (Bulk Density) ของเอกซ์ทรูเดทที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.3 อัตราส่วนขยาย (Expansion Ratio) ของเอกซ์ทรูเดทลดลง

2.4 ค่าความแข็ง (Hardness) ของเอกซ์ทรูเดทที่ได้เพิ่มขึ้น

2.5 ความกรอบ(Crispness) ของเอกซ์ทรูเดทที่ได้ลดลง

2.6 ความเหนียว (Toughness) ของเอกซ์ทรูเดทที่ได้เพิ่มขึ้น

2.7 สี (Color) ของเอกซ์ทรูเดทที่ได้มีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กันญา โกสุมภ์ และ ปิยะพล เจริญสุข. (2547.) การศึกษาความเป็นไปได้ในการคัดแยกสับปะรดโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพ. ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- กฤษณี อ่ำถนอม และคณะ(2549.), การผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่นโดยใช้วัตถุดิบจากปลายข้าวผสม,ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. (2538.) การใช้เศษเหลือและผลพลอยได้จากสับปะรดเป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง. กองอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์.

- ดุลยารุจย์ รัตนากร. (2541.), Development of dietary fiber supplemented noodle products. ปริญญานิพนธ์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

- เทิดศักดิ์ คุปติมิตร และ คณะ (2547.),การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารจากปลายข้าวด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่,ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- ธนพร มหาสุวรรณวงศ์. (2540.) การศึกษาการพัฒนาสูตรขนมปังเสริมใยอาหาร. วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร.ปริญญานิพนธ์, มหาวิทยาลัยมหิดล

- เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์ . (2539.) Study on Dietary Fiber Sources IN Thailand and its Application . ปริญญานิพนธ์,มหาวิทยาลัยมหิดล.

- พัชนา อัศวรุจานนท์ .(2541.) ทำการวิจัยเรื่อง development of dietary fiber supplemented bakery products.ภาควิชา Biotechnology .มหาวิทยาลัยมหิดล

- พิชญาภรณ์ พุ่มไพศาลชัย .(2542.) การศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กเนยเสริมใยอาหารจากกากสับปะรด. ปริญญานิพนธ์ .คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (2544.) หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ลาวัลย์ ฉัตรวิรุฬห์. (2539.) การศึกษาเยลลี่ผลไม้เสริมใยอาหารจากแป้งบุก .วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- สุกัญญา โกมล .(2542.) การศึกษาการผลิตน้ำส้มเขียวหวานเติมใยอาหารโดยใช้ใยอาหารวิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีอาหาร,มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- สิขรินทร์ ก้อนในเมือง และคณะ(2543),เส้นใยอาหารจากหัวกระเทียม.ปริญญานิพนธ์คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สุชสันต์ สุทธิผลไพบูลย์. (2544.) สับปะรดและผลิตภัณฑ์ส่งออก. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สุภิญยาฐ์ ชินชัย. (2536.) การศึกษาการใช้ขังขนุนแห้งเพื่อเพิ่มใยอาหารในขนมทองม้วน. วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- อโนชา สุขสมบูรณ์ . (2545.) ผลของโปรตีนไอโซเลตจากถั่วเหลืองและรำข้าวต่อผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมโปรตีนและเส้นใยอาหารแบบกรอบพองด้วยการเอกซ์ทรูชั่น. ปริญญานิพนธ์ , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร กรมการค้าภายใน.รายงานภาวะสินค้า สับปะรด ประจำเดือน กรกฎาคม 2549. http://www.dit.go.th

- National Food Institute All right reserved Legal Notice. สถิติการส่งออกสับปะรดของไทยปี 2543-2548. http://www.nfi.or.th

- มหาวิทยาลัยมหาสารคราม. กากมะพร้าว (Coconut meal หรือ Copra Meal). http://www.techno.msu.ac.th/at/feedmicrocopic

- A.O.A.C.(1995). Official Methods of Analysis. 15th ed., The Association of Official Analytical Chemists, Inc.,Virginia. 1298p.

- Chinnaswamy , R and Hanna, M.A.(1988).Optimum extrusion cooking conditions for maximum expansion of corn starch. Journal of food science, 53, pp.834-837.

- Food and Drug Administration. 1994. Dietary fiber for resist cancer and heart disease.

- Mendonca et al., S. Mendonca, M.V.E. Grossmann and R. Verhe,(2000), Corn bran as a fibre source in expanded snacks, *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 33, pp. 2–8.

- Ranhotra, G.S. and J.L. Vetter. 1991 Food considered for nutrition addition : Snacks and confectioneries, In J.C. Bauernfeind and P.A.Lachance(eds.). Nutrient Additions to Food&Nutrition Press, Inc., Connecticut, pp. 319-346.

- Raghavendra S.N. , Rastogi N.K, Raghavarao K.S.M.S. , Sourav Kumar , Tharanathan R.N. (2006) . Griding characteristics and hydration properties of coconut residue : A source of dietary fiber. Journal of food engineering, 72, pp. 281-286.

- Warren L. Mcabe, Julian C. Smith. (2005.) Unit Operations of Chemical Engineering. New York,McGraw-Hill,Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Yanniotis S., Petraki A., and Soumpasi E..(2006.) Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch . Agricultural University of Athens, Department of Food Science and Technology, Iera Odos 75, 188 55 Athens, Greece

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์โยอาหารจากกากมะพร้าวและแกนสับปะรด

- ปริมาณความชื้น
- ขนาดอนุภาค
- ค่า Aw
- สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการตรวจวัดค่าความชื้น(%mc)

ชนิดผลิตภัณฑ์	ลำดับที่	เวลาที่ใช้ในการอบ (hr)	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ (°C)	ก่อนอบ		หลังอบ	
				น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (g)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักรวม (g)	%mc
แกนสับปะรด	1	2	105	2	0.55	0.83	85.85
	2	2	105	2	0.5	0.75	86
	3	2	105	2	0.48	0.78	85
						ค่าเฉลี่ย	85.62
Fiber สับปะรด	1	1	130	2	0.882	2.532	12.144
	2	1	130	2	0.818	2.471	12.313
	3	1	130	2	0.819	2.476	12.167
						ค่าเฉลี่ย	12.208
กากมะพร้าว	1	2	105	2	0.56	2.03	26.5
	2	2	105	2	0.42	1.92	25
	3	2	105	2	0.52	2.12	20
						ค่าเฉลี่ย	24
Fiber มะพร้าว	1	1	130	2	0.834	2.786	1.693
	2	1	130	2	0.779	2.73	1.763
	3	1	130	2	0.758	2.709	1.776
						ค่าเฉลี่ย	1.744
ข้าวโพด เบอร์3 (corn grit)	1	1	130	2	0.811	2.587	7.968
	2	1	130	2	0.792	2.574	7.808
	3	1	130	2	0.83	2.612	7.703
						ค่าเฉลี่ย	7.826

ตารางที่ ก.2 ขนาดอนุภาคข้าวโพด (ข้าวโพด 100 กรัม)

เบอร์	ขนาด (มม.)	D_{pi}	M_i	X_i	X_i / D_{pi}
16	1.18	-	-	-	0
20	0.85	1.015	0.34	0.0034	0.0033
40	0.425	0.6375	0.99	0.0099	0.0155
50	0.3	0.3625	93.25	0.9369	2.5846
70	0.212	0.256	4.21	0.0423	0.1652
100	0.15	0.181	0.64	0.0064	0.0353
140	0.106	0.128	0.09	0.0009	0.0070
ถาดล่าง	0	0.053	0.01	0.000	0.0019

$M_T = 99.53$

$\sum(x_i / D_{pi}) = 2.8128$

$D_s = 1 / \sum(x_i / D_{pi}) = 1 / 2.8128 = 0.356$ มิลลิเมตร

ตารางที่ ก.3 ขนาดอนุภาค Fiberกากมะพร้าว (มะพร้าว 100 กรัม)

เบอร์	ขนาด (มม.)	D_{pi}	M_i	X_i	X_i / D_{pi}
16	1.18	-	-	-	0
20	0.85	1.015	63.9	0.6392	0.6298
40	0.425	0.6375	34.17	0.3418	0.5362
50	0.3	0.3625	1.75	0.0175	0.0483
70	0.212	0.256	0.15	0.0015	0.0059
100	0.15	0.181	-	-	0

$M_T = 99.97$

$\sum(x_i / D_{pi}) = 1.2202$

$D_s = 1 / \sum(x_i / D_{pi}) = 1/1.2202 = 0.8195$ มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 การหาขนาดอนุภาค Fiberแกนสับปะรด

ครั้งที่	ขนาด (มม.)	ครั้งที่	ขนาด (มม.)	ครั้งที่	ขนาด (มม.)	ครั้งที่	ขนาด (มม.)
1.	4	11.	2	21.	4	31.	3
2.	4	12.	5	22.	5	32.	5
3.	5	13.	4	23.	2	33.	3
4.	3	14.	3	24.	2	34.	4
5.	2	15.	3	25.	5	35.	3
6.	1	16.	4	26.	3	36.	3
7.	3	17.	5	27.	3	37.	2
8.	3	18.	3	28.	4	38.	4
9.	2	19.	3	29.	3	39.	5
10.	4	20.	3	30.	5	40.	3

ขนาดเฉลี่ย 3.275 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ผลการตรวจวัดค่า Aw

ชนิดผลิตภัณฑ์	ลำดับที่	ค่า Aw	อุณหภูมิ (°C)
แกนสับปะรด	1	0.988	24.6
	2	0.99	24.5
	3	0.989	24.5
	ค่าเฉลี่ย	0.989	24.5
Fiber สับปะรด	1	0.875	25
	2	0.882	24.7
	3	0.884	24.8
	4	0.861	24.7
	5	0.848	24.9
	6	0.82	25
	7	0.837	24.9
	8	0.819	24.8
	9	0.8	24.7
	10	0.782	24.6
	ค่าเฉลี่ย	0.8415	24.81
กากมะพร้าว	1	0.946	24.6
	2	0.941	24.5
	3	0.917	24.5
	ค่าเฉลี่ย	0.935	24.53
Fiber มะพร้าว	1	0.334	24.8
	2	0.448	24.6
	3	0.327	24.7
	4	0.347	24.7
	5	0.357	24.8
	6	0.352	24.7
	7	0.385	24.5
	8	0.36	24.8
	9	0.362	24.7
	10	0.352	24.8
	ค่าเฉลี่ย	0.3624	24.71
ข้าวโพด เบอร์3 (corn grit)	1	0.584	25.1
	2	0.588	25
	3	0.584	25.3
	4	0.58	25
	5	0.58	25
	6	0.582	24.6
	7	0.58	24.6
	8	0.581	24.6
	9	0.584	25.1
	10	0.586	24.9
	ค่าเฉลี่ย	0.5829	24.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ผลการตรวจวัดค่าสีวัตถุดิบ

ชนิดผลิตภัณฑ์	ลำดับที่	ค่าสี								
		X	Y	Z	L	a	b	L*	a*	b*
แกนสับปะรด	1	23.34	25.63	12.05	50.63	-3.49	19.92	57.69	-4.23	30.57
	2	23.24	25.51	12.01	50.51	-3.47	19.85	57.57	-4.2	30.47
	3	25.52	28.04	14.78	52.95	-3.7	18.86	59.92	-4.42	27.62
	4	25.57	27.94	14.86	52.86	-3.22	18.67	59.84	-3.83	27.29
Fiber สับปะรด	1	45.37	45.8	27.17	67.68	5.3	21.19	73.42	5.67	27.65
	2	45.37	45.8	27.18	67.68	5.32	21.18	73.42	5.69	27.64
	3	45.36	45.8	27.18	67.68	5.29	21.18	73.42	5.66	27.64
	4	45.36	45.8	27.19	67.68	5.28	21.17	73.42	5.64	27.62
	5	45.36	45.8	27.19	67.68	5.29	21.17	73.42	5.66	27.62
กากมะพร้าว	1	49.92	51.14	44.92	71.51	3.73	9.08	76.76	3.93	10.33
	2	49.9	51.13	44.92	71.51	3.69	9.07	76.76	3.89	10.32
	3	49.89	51.11	44.91	71.49	3.71	9.07	76.75	3.91	10.31
	4	49.9	51.11	44.91	71.49	3.73	9.07	76.74	3.94	10.32
	5	49.82	51.05	44.87	71.45	3.69	9.06	76.71	3.89	10.3
Fiber มะพร้าว	1	4342	44.44	37.53	66.66	3.59	9.94	72.52	3.87	11.72
	2	43.42	44.42	37.52	66.65	3.64	9.94	72.51	3.93	11.71
	3	43.42	44.43	37.53	66.65	3.61	9.93	72.51	3.9	11.7
	4	43.42	44.42	37.53	66.65	3.63	9.93	72.51	3.92	11.7
	5	43.42	44.41	37.53	66.64	3.65	9.92	72.5	3.93	11.69
ข้าวโพดบด	1	51.64	48	15.93	69.28	11.78	34.88	74.82	12.29	54.05
	2	51.67	48.07	15.96	69.33	11.66	34.91	74.87	12.17	54.08
	3	51.68	48.07	15.95	69.33	11.68	34.91	74.87	12.19	54.09
	4	57.73	48.09	15.96	69.34	11.78	34.91	74.88	12.29	54.08
	5	57.72	48.09	15.97	69.35	11.73	34.91	74.88	12.23	54.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ค่าความหนาแน่นรวมของFiber

ชนิดผลิตภัณฑ์	น้ำหนักผลิตภัณฑ์(g) ครั้งที่										น้ำหนักเฉลี่ย(g)	ปริมาตรภาชนะ (cm^3)	Bulk Density เฉลี่ย (g/cm^3)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
ข้าวโพด	45.9464	45.2664	44.3927	44.7142	45.056	46.3474	44.46	44.5726	44.5136	44.7361	45.0005	52.95	0.8499
Fiberสับปะรด	6.9358	6.7659	6.9204	6.5329	7.0281	6.9415	7.1385	7.1245	7.138	6.7635	6.9289	52.95	0.1309
Fiberมะพร้าว	14.9912	14.8672	14.7482	15.3754	14.7272	14.8042	14.3693	14.6036	14.8554	14.683	14.8025	52.95	0.2796

ภาคผนวก ข

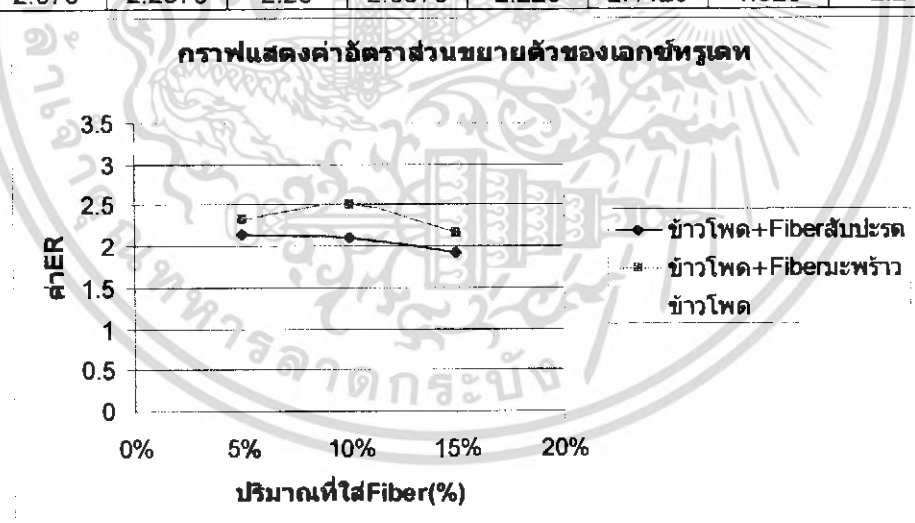
ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เอกซ์ทรูเดท

- อัตราส่วนขยาย(ER)
- ความหนาแน่นจริง(True Density)
- ความหนาแน่นรวม(Bulk Density)
- สี(Color)
- ค่าแรงกดทะลุจากหัวกด Probe P/2
- จำนวนพีคถึงพีคสูงสุดจากหัวกด Probe P/2
- พื้นที่ใต้กราฟจากหัวกด Probe P/2
- ค่าแรงกดทะลุจากหัวกด Warner-Blatzer Blade
- จำนวนพีคถึงพีคสูงสุดจากหัวกด Warner-Blatzer Blade
- พื้นที่ใต้กราฟจากหัวกด Warner-Blatzer Blade
- ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

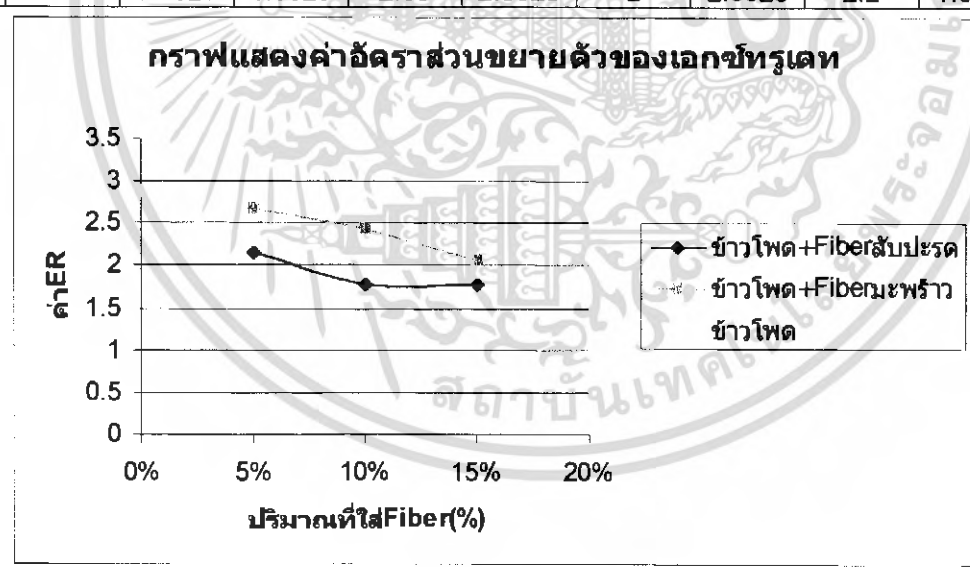
ตารางที่ ข.1 แสดงค่าอัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดท (ER) การทดลองที่1 :หน้าแปลน 4mm

ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										ERเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	3.25	3.45	3.375	2.75	3.1125	3.3125	3.3125	3.3875	3.025	3	3.1975	0.221
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	1.75	2.225	2.075	2.075	2.05	2.25	2.375	2.2	2.33	2.025	2.1355	0.181
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	2.4625	2.1375	2.1125	1.9875	2.2	1.825	2.4125	1.8625	1.875	2.225	2.11	0.223
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	1.9375	1.9625	1.875	1.8375	1.8	1.8	2.05	1.9	2.05	2	1.92125	0.094
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	2.1	2.575	2.0625	1.975	2.7125	2.5625	2.15	2.1125	2.5375	2.575	2.33625	0.277
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	2.425	2.8	2.775	2.475	2.5625	2.725	2.1	2.875	1.878	2.5	2.51155	0.318
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	2.075	2.2875	2.25	2.0375	2.225	2.1125	1.925	2.2	2.2875	2.275	2.1675	0.124



ตารางที่ ข.2 แสดงค่าอัตราส่วนการขยายตัวของเอกซ์ทรูเดท (ER) การทดลองที่ 2 :หน้าแปลน 4 mm.

ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										ERเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	2.5375	2.9375	2.8375	3.1125	3.05	2.55	2.5	2.8875	3.55	2.7875	2.875	0.319015
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	2.1375	2.0625	2.2	2.25	2.2	2.2	2.1	2.1875	2.15	2.1375	2.1625	0.05559
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	1.7625	1.8375	1.525	1.825	2.05	1.5375	1.9	1.825	1.6375	1.7875	1.76875	0.16258
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	1.8375	1.6125	1.65	1.975	1.75	1.7125	1.7875	1.475	2.2	1.7875	1.77875	0.200351
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	2.6625	2.8375	2.65	2.75	2.5	2.775	2.9	2.4625	2.3375	2.825	2.67	0.184202
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	2.25	2.5625	2.875	2.475	2.3	2.3875	2.3625	2.35	2.3375	2.4875	2.43875	0.179742
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	2.075	2.0625	1.8625	2.05	2.0625	2	2.0625	2.2	1.9875	2.1125	2.0475	0.08756



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ค่าความหนาแน่นจริงของเอกซ์ทรูเด (True Density) การทดลองที่1

ชนิดผลิตภัณฑ์	น้ำหนักผลิตภัณฑ์(g) ครั้งที่										น้ำหนักเฉลี่ย(g)	ปริมาตรภาชนะ (cm^3)	Bulk Density เฉลี่ย (g/cm^3)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
ข้าวโพด	35.046	35.943	34.822	34.433	34.71	35.126	34.952	35.541	36.025	34.958	35.1556	66.89	0.5256
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	35.57	35.742	34.997	35.562	34.642	35.674	35.393	35.327	35.701	34.867	35.3475	66.89	0.5284
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	34.125	35.393	33.869	34.445	33.474	34.43	33.966	34.723	35.003	34.769	34.4197	66.89	0.5146
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	28.221	28.442	28.022	28.483	27.544	28.758	28.907	28.402	28.823	28.661	28.4263	66.89	0.4250
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	29.475	31.894	29.706	29.773	30.423	31.894	29.773	30.423	30.407	29.958	30.3726	66.89	0.4541
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	29.127	28.764	28.601	29.998	28.806	29.394	29.982	30.6	30.647	29.47	29.5389	66.89	0.4416
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	24.303	25.289	24.944	24.314	25.254	26.034	25.7	25.211	26.041	26.114	25.3204	66.89	0.3785

ตารางที่ ข.4 ค่าความหนาแน่นจริงของเอกซ์ทรูเดท (True Density) การทดลองที่ 2

ชนิดผลิตภัณฑ์	น้ำหนักผลิตภัณฑ์(g) ครั้งที่						น้ำหนักเฉลี่ย(g)	ปริมาตรภาชนะ (cm^3)	Bulk Density เฉลี่ย (g/cm^3)
	1	2	3	4	5	6			
ข้าวโพด	49.506	48.884	48.579	50.714	50.346	49.465	49.5823	52.95	0.9364
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	42.623	45.695	45.152	45.094	44.991	44.68	44.7058	52.95	0.8443
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	41.87	40.743	41.208	42.289	41.245	41.503	41.4763	52.95	0.7833
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	34.622	35.535	35.984	35.73	35.341	35.52	35.4553	52.95	0.6696
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	41.521	38.919	38.755	39.576	38.501	39.864	39.5227	52.95	0.7464
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	35.181	35.279	37.319	36.588	37.363	36.048	36.2963	52.95	0.6855
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	35.997	35.925	35.514	35.28	35.1	35.592	35.5680	52.95	0.6717

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ค่าความหนาแน่นรวมของเอกซ์ทรูเดท (Bulk Density)

ชนิดผลิตภัณฑ์	น้ำหนักผลิตภัณฑ์(g) ครั้งที่										น้ำหนักเฉลี่ย(g)	ปริมาตรภาชนะ (cm^3)	Bulk Density เฉลี่ย (g/cm^3)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
ข้าวโพด	86.79	97.63	103	105.21	108.62	96.23	95.99	99.73	99.12	103.54			
	98.24	101.98	98.3	99.34	99.4	102.88	96.8	99.53	96.02	103.54	99.5945	1000	0.0996
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	109.83	110.7	107.53	108.65	107.3	108.55	108.23	107.41	109.47	110.39	108.8060	1000	0.1088
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	147.47	148.25	153.39	151.63	148.68	148.87	151.46	148.23	151.21	150.65	149.9840	1000	0.1500
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	202.43	205.91	206.72	203.67	205.25	205.75	202.69	201.23	204.14	204.75	204.2540	1000	0.2043
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	167.3	170.96	171.45	172.92	171.69	171.92	169.48	175.58	176.51	170.47	171.8280	1000	0.1718
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	168.32	173.47	172.99	177.68	179.22	180	183.01	177.61	182.15	178.62	177.3070	1000	0.1773
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	163.19	164.71	165.52	160	158.67	158.46	158.67	156.9	157.32	158.1	160.1540	1000	0.1602

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

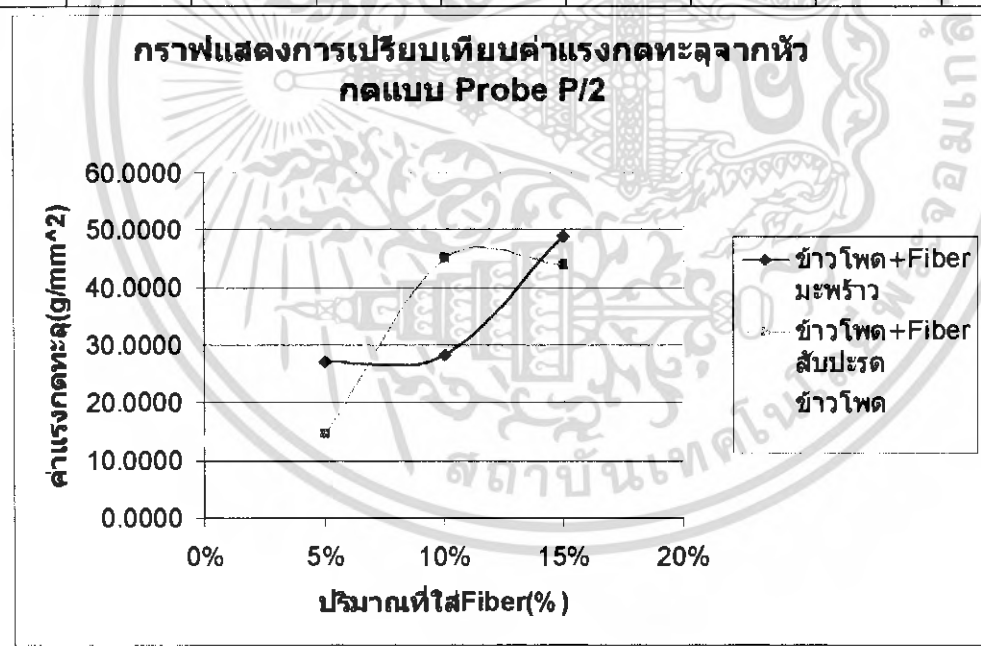
ตารางที่ ข.6 ผลการตรวจวัดค่าสีของเอกซ์ทรูเดท (ก่อนอบ)

ชนิดผลิตภัณฑ์	ลำดับที่	ค่าสี								
		X	Y	Z	L	a	b	L*	a*	b*
ข้าวโพด	1	48.81	47.54	14.35	68.95	5.69	35.94	74.53	6.04	57.06
	2	48.81	47.54	14.34	68.95	5..68	35.95	74.53	6.03	57.07
	3	48.8	47.54	14.34	68.95	5.66	35.95	74.53	6.01	57.09
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	1	49.29	48.63	18.49	69.73	4.1	33.12	75.22	4.36	49.53
	2	49.3	48.62	18.49	69.73	4.18	33.11	75.21	4.44	49.52
	3	49.3	48.63	18.49	69.74	4.14	33.12	75.22	4.4	49.53
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	1	48.57	47.63	17.32	69.02	4.8	33.45	74.59	5.11	50.76
	2	48.56	47.63	17.31	69.02	4.77	33.46	74.59	5.08	50.79
	3	48.56	47.63	17.34	69.02	4.78	33.44	74.59	5.09	50.73
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	1	50.93	50.9	23.41	71.35	2.55	30.51	76.62	2.7	43.12
	2	50.93	50.89	23.41	71.35	2.55	30.51	76.62	2.7	43.11
	3	50.92	50.9	23.41	71.35	2.52	30.51	76.62	2.67	43.12
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	1	48.96	48.47	17.17	69.62	3.67	34.14	75.12	3.91	51.99
	2	48.97	48.47	17.16	69.62	3.69	34.14	75.12	3.93	52
	3	48.96	48.47	17.16	69.2	3.67	34.14	75.12	3.91	52
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	1	44.02	43.43	15.01	65.9	3.88	32.65	71.85	4.2	50.95
	2	44.02	43.43	15.01	65.9	3.87	32.65	71.85	4.19	50.95
	3	44.02	43.44	15.01	65.91	3.84	32.66	71.85	4.16	50.96
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	1	42.18	41.77	15.56	64.65	3.36	30.99	70.71	3.66	47.77
	2	42.18	41.77	15.56	64.65	3.36	30.99	70.71	3.66	47.77
	3	42.18	41.77	15.56	64.65	3.36	30.99	70.71	3.66	47.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าแรงกดทะลุ (g/mm^2) จากหัวกดแบบ Probe P/2

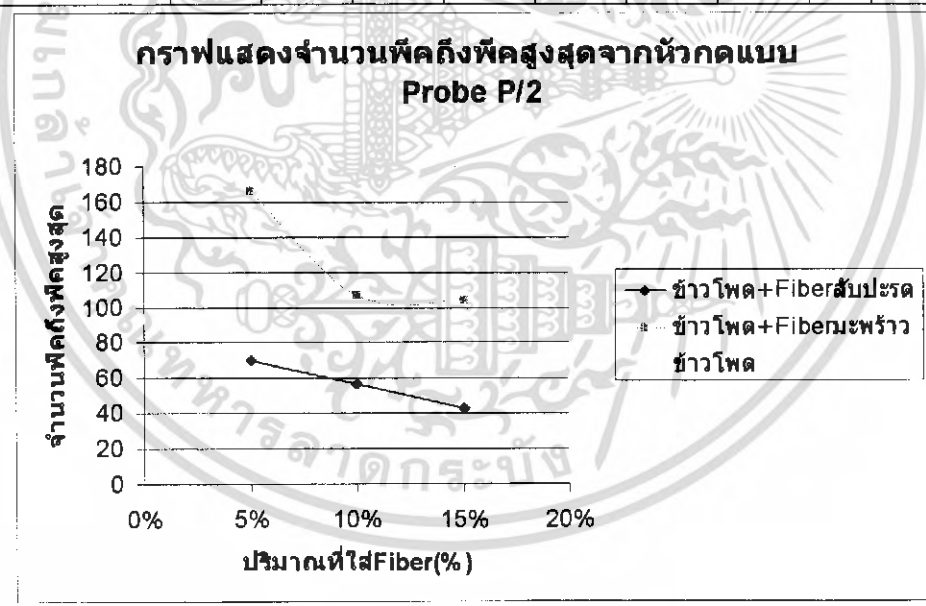
ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										เฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	24.4808	5.3345	14.5410	13.3806	7.9755	10.0794	9.9117	6.7650	23.5899	17.0094	13.3068	6.6879
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	16.0467	14.9976	32.9722	23.1693	37.2186	35.9547	18.3275	29.0811	40.6050	22.7247	27.1097	9.3201
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	22.5872	34.9406	25.0411	27.1411	30.3100	40.3729	34.0505	24.0312	20.9914	22.5110	28.1977	6.4688
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	47.7646	57.6836	30.2717	37.7287	26.8316	26.2952	64.5974	35.8852	86.8136	75.1014	48.8973	21.3125
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	8.2398	12.0478	18.6856	19.8048	15.2447	14.1843	7.7771	18.7846	12.7060	18.1510	14.5626	4.3663
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	53.4013	77.2022	51.1892	13.2318	64.1534	32.5985	95.1927	8.0360	36.5711	20.4836	45.2060	28.3491
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	23.0174	73.0760	12.3479	30.6611	51.5490	65.0102	84.1796	33.3446	29.4624	37.2122	43.9860	23.4503



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

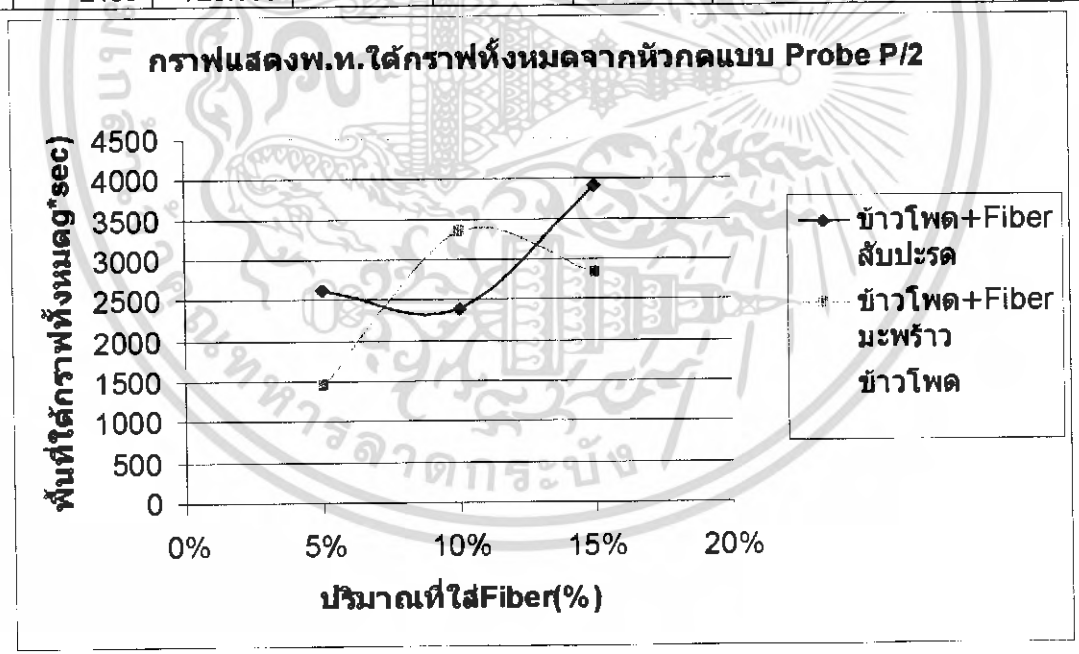
ตารางที่ ข.8 จำนวนพีคถึงพีคสูงสุดจากหัวกดแบบ Probe P/2

ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										เฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	146	147	6	85	42	321	102	7	74	8	93.8	96.0322
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	31	191	9	99	83	23	24	8	99	135	70.2	61.5789
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	127	118	9	54	11	25	65	96	23	37	56.5	43.7321
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	16	10	69	68	50	71	16	21	38	69	42.8	25.5291
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	45	79	29	89	134	199	645	79	194	166	165.9	178.5170
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	28	70	81	449	276	34	49	3	18	60	106.8	142.7701
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	74	30	526	83	20	54	51	51	86	65	104	149.7850



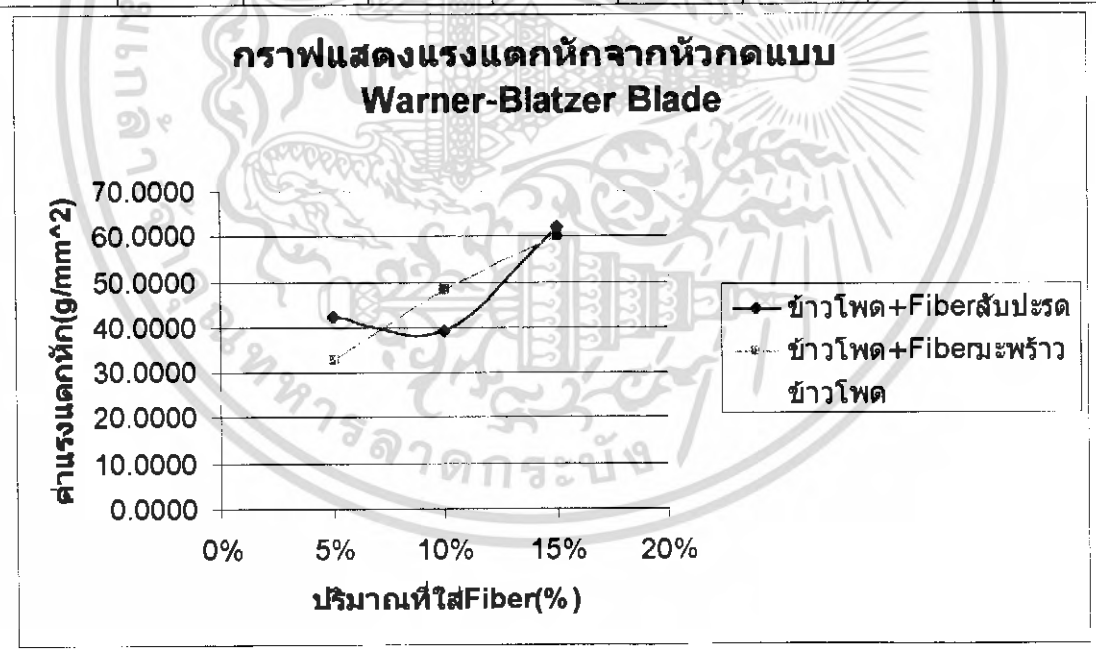
ตารางที่ ข.9 แสดงพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด (g.sec) จากหัวกดแบบ Probe P/2

ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										เฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	2708.155	664.9337	1429.46	1883.792	951.3761	1384.2	2256.575	1099.49	2317.329	1300.204	1599.551	663.768
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	2406.728	2157.798	1790.826	1882.977	3466.667	3754.128	1855.963	3044.75	3318.96	2462.08	2614.088	728.029
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	1540.265	3209.888	2330.683	1445.464	2350.866	2346.585	2612.538	2923.853	3590.112	1658.002	2400.826	715.1371
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	4054.944	4379.205	1569.215	1698.675	4064.628	3901.325	3737.105	3483.69	5596.126	6575.025	3905.994	1519.914
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	968.1957	903.7717	1164.526	1909.378	988.787	2489.806	731.3965	2104.893	1699.185	1652.803	1461.274	592.9367
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	5689.093	4581.549	3885.321	1542.304	2196.024	4204.689	5415.087	750.5607	1963.099	3328.746	3355.647	1684.895
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	1900.815	2400	720.999	3388.481	3226.096	4219.572	4555.963	2752.905	2693.986	2427.727	2828.654	1108.606



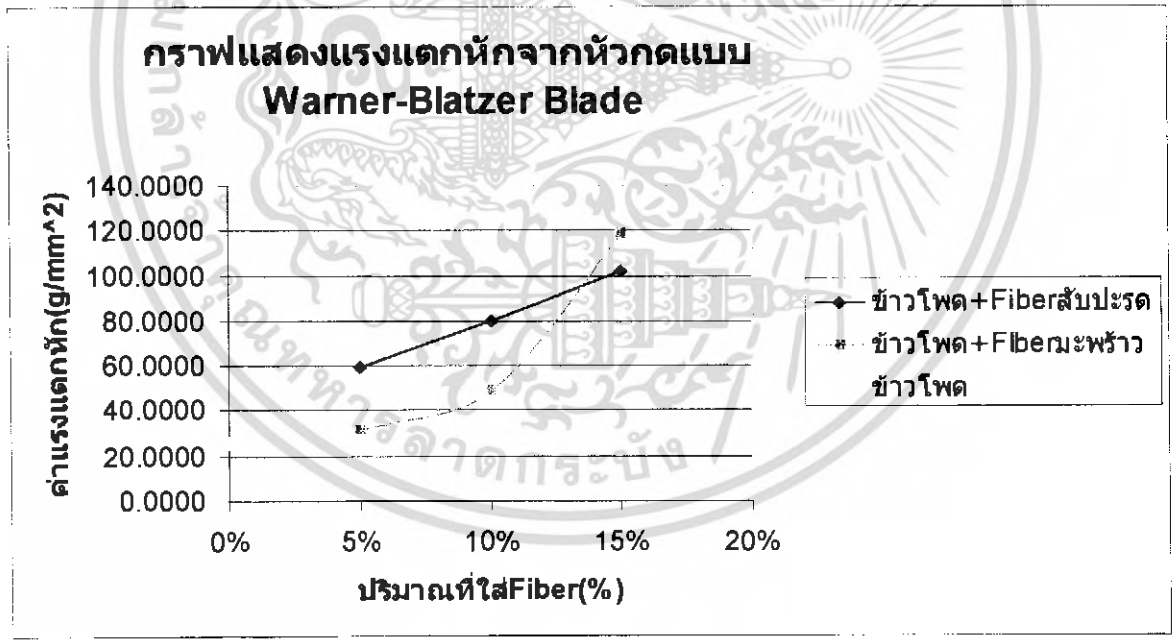
ตารางที่ ข.10 แสดงค่าแรงแตกหัก (g/mm^2) จากหัวกดแบบ Warner-Blatzer Blade การทดลองที่ 1

ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										เฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	22.5945	12.6341	26.0396	35.7143	12.2016	20.2196	23.1216	25.9169	38.6658	29.4439	24.6552	8.6340
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	33.5707	36.9796	33.8387	50.5850	46.4583	31.4060	26.0688	73.2583	52.8112	38.9737	42.3950	13.8405
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	35.1446	28.4745	31.9598	59.6373	40.8755	35.5602	32.6200	42.8311	50.2070	33.1702	39.0480	9.6114
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	46.6568	20.4995	67.3296	58.6715	66.0869	97.1053	40.9247	64.2024	65.2635	92.6824	61.9423	22.7237
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	22.4566	23.9990	26.4402	27.6714	43.8093	20.0872	28.2693	49.2614	29.3371	57.2139	32.8545	12.6206
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	44.7250	50.3303	21.8742	34.5987	43.3714	66.2999	40.8014	78.4973	38.7811	64.0166	48.3296	16.8554
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	30.9644	50.9510	52.8042	71.8053	67.2091	62.8448	63.1163	73.7343	60.8823	64.9765	59.9288	12.4722



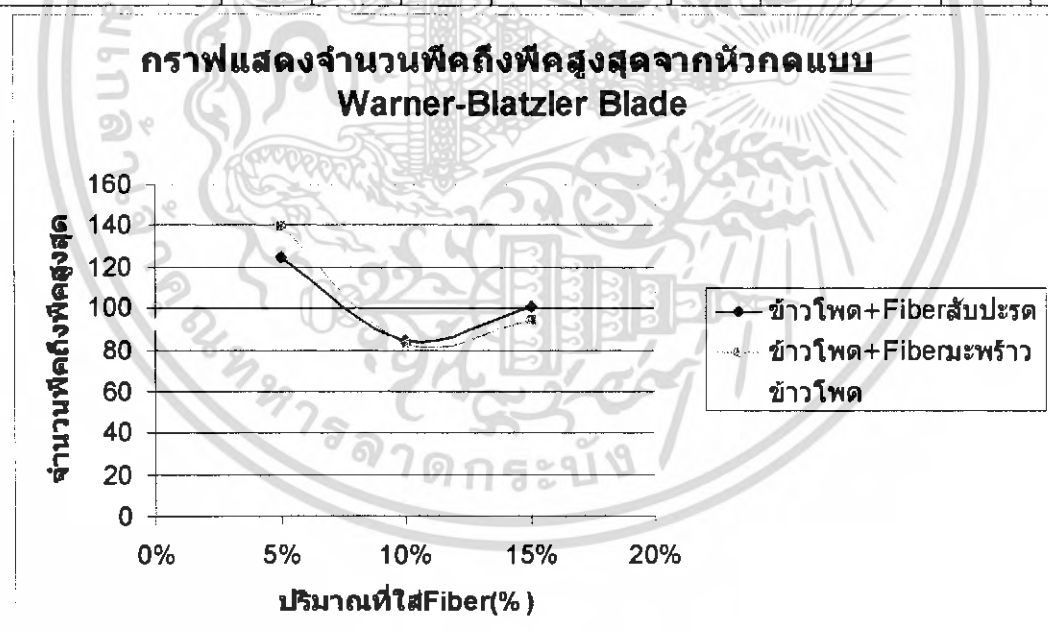
ตารางที่ ข.11 แสดงค่าแรงแตกหัก (g/mm^2) จากหัวกดแบบ Warner-Blatzer Blade การทดลองที่2

ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										เฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	22.9880	11.1968	22.8241	32.2074	23.7292	46.5181	35.1363	31.8599	15.8042	18.7236	26.0988	10.4221
P 5%	93.0602	67.6635	46.2178	61.4516	62.2401	39.4010	70.6234	58.0750	43.9418	52.4854	59.5160	15.6406
P 10%	70.2088	80.1765	189.0835	46.6502	44.4344	69.9109	51.1782	70.0840	89.1074	91.1910	80.2025	41.6477
P 15%	80.7118	85.7984	100.3521	68.9053	93.7606	111.6545	94.1488	176.3751	87.5467	120.0962	101.9350	30.0081
C 5%	20.6533	29.0025	23.4041	31.0312	38.8535	24.3363	31.2346	47.8305	50.5970	22.6903	31.9633	10.5512
C 10%	54.9595	50.1952	29.0301	62.7364	50.0343	49.4818	49.5261	41.1735	54.2005	48.0642	48.9402	8.9141
C 15%	52.7953	155.3855	145.6180	118.5013	139.9257	124.1322	113.1575	108.9860	97.3274	132.7363	118.8565	29.1977



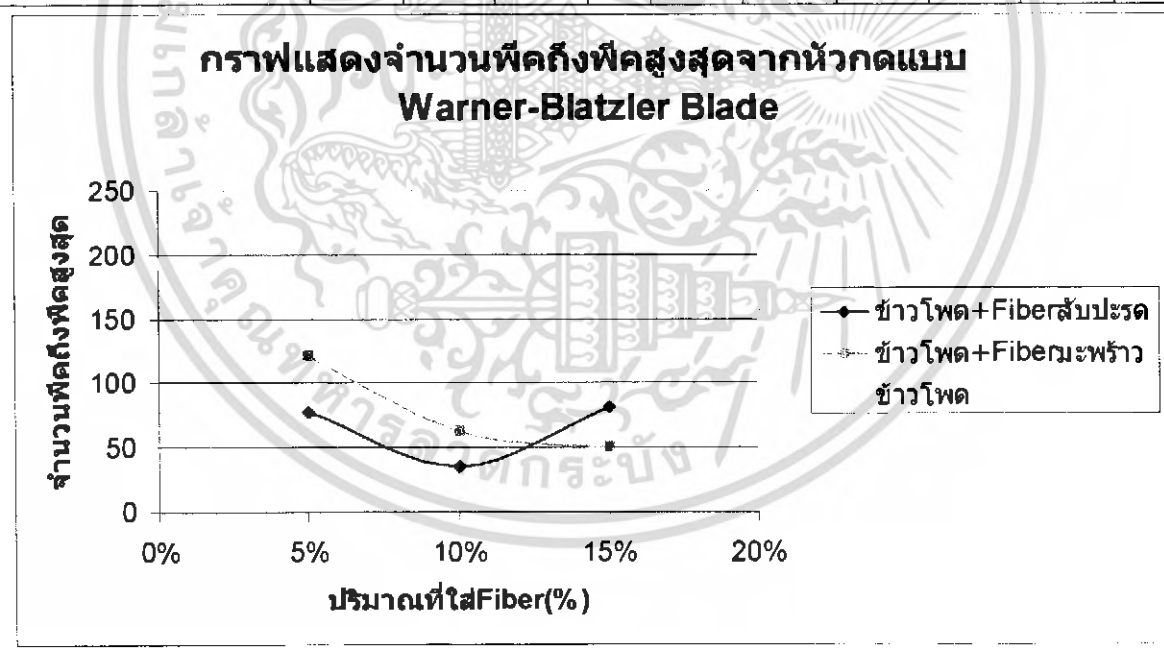
ตารางที่ ข.12 จำนวนพีคถึงพีคสูงสุดจากหัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade การทดลองที่1

ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										เฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	78	252	99	83	91	68	92	36	37	90	92.6	60.2443
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	36	52	30	124	32	260	138	198	228	147	124.5	85.4651
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	60	84	102	128	101	40	81	30	144	79	84.9	35.9056
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	381	185	39	131	63	56	77	38	15	23	100.8	111.4020
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	194	117	194	50	224	122	192	78	116	106	139.3	57.8466
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	66	56	62	132	86	21	111	76	135	81	82.6	35.3591
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	124	113	184	58	120	60	66	96	75	44	94	42.3451



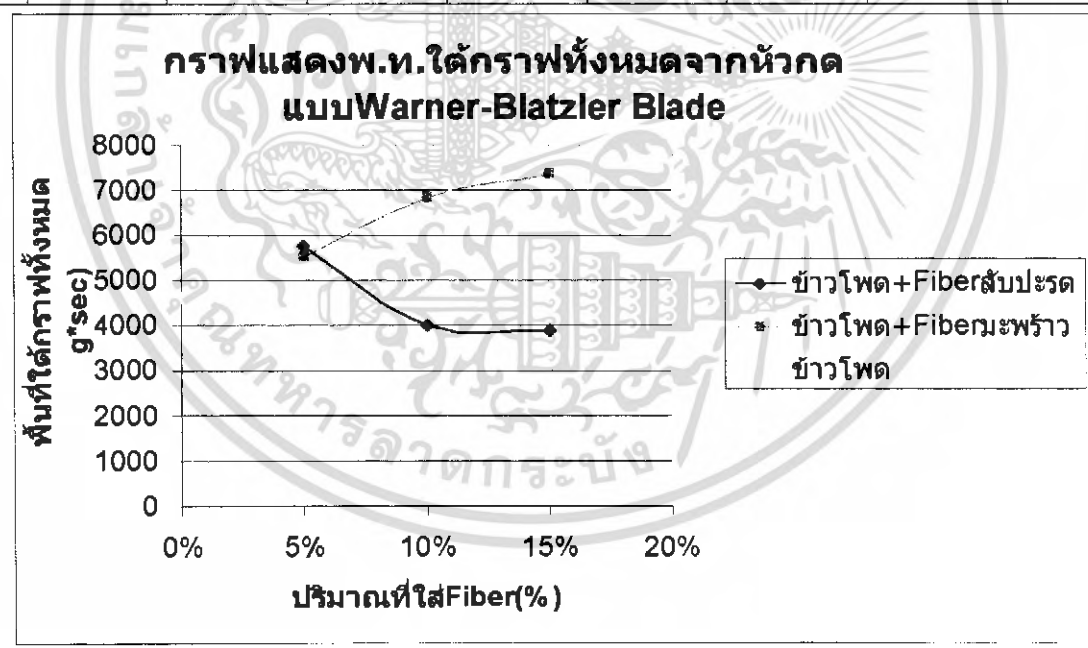
ตารางที่ ข.13 จำนวนพีคถึงพีคสูงสุดจากหัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade การทดลองที่ 2

ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										เฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	217	18	816	56	39	29	126	62	508	55	192.6	264.2870
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	37	20	39	28	55	46	223	51	227	54	78	78.2801
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	85	19	30	35	58	7	23	33	6	51	34.7	24.3541
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	35	268	70	17	88	60	69	121	39	49	81.6	71.7406
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	32	396	87	44	218	28	280	42	19	68	121.4	130.5639
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	28	103	87	76	60	93	32	45	87	18	62.9	30.4866
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	18	8	128	51	43	107	8	33	39	69	50.4	40.4206



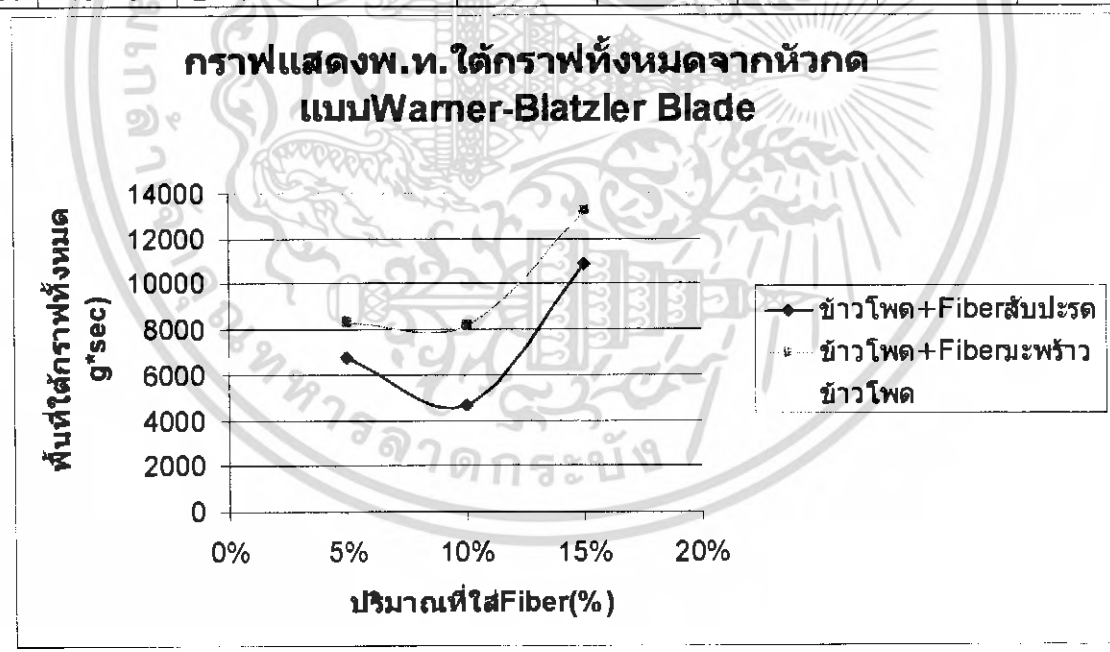
ตารางที่ ข.14 แสดงพื้นที่ใต้กราฟถึงพีคสูงสุด (g.sec) จากหัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade การทดลองที่ 1

ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										เฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	5291.335	5537.819	4722.732	5864.322	933.4353	0	5367.584	4792.661	5020.999	3749.949	4601.363	1497.467
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	3384.506	5211.315	4468.603	4166.972	5548.93	5962.487	6263.914	6814.985	10735.27	5213.863	5777.085	2017.991
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	2697.044	2870.948	4036.188	8569.215	5211.927	3548.216	2052.701	2082.773	4530.581	4409.684	4000.928	1927.619
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	5223.14	4233.945	2184.702	4247.025	3488.526	3389.897	2080.253	5110.394	5132.27	3842.289	3893.244	1137.849
ข้าวโพด+Fibeฆะพร้าว 5%	5206.144	4736.354	5493.57	5162.845	4637.904	5179.965	7027.477	4440.515	6659.868	6801.083	5534.573	949.31
ข้าวโพด+Fibeฆะพร้าว 10%	5324.287	7896.385	4375.478	11420.38	10675.47	4078.58	5573.57	4865.456	7073.906	7290.534	6857.405	2550.832
ข้าวโพด+Fibeฆะพร้าว 15%	4724.463	6721.773	5844.685	6902.514	0	8241.546	11100.19	11407.27	7281.455	4119.011	7371.434	2537.577



ตารางที่ ข.15 แสดงพื้นที่ใต้กราฟถึงพีคสูงสุด (g.sec) จากหัวกดแบบ Warner-Blatzler Blade

ชนิดผลิตภัณฑ์	ครั้งที่										เฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ข้าวโพด	7010.189	1342.47	5471.041	11239.54	6638.74	3593.656	13033.04	5295.418	5718.339	4891.142	6423.357	3433.83
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	8290.045	4844.626	4525.276	8530.845	7052.355	5397.706	7819.771	8667.547	5568.002	0	6744.019	1668.132
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	7761.312	3704.389	8738.052	3605.882	5153.043	2242.924	2858.755	3577.428	3067.547	6280.491	4698.982	2209.11
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	5601.214	8029.441	10495.44	11836.23	9754.542	12030.65	12117.99	14609.46	12071.43	12526.07	10907.25	2564.877
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	4787.065	7511.118	6304.528	7193.716	10580.36	9235.097	12034.24	6851.55	9716.292	8653.434	8286.741	2170.891
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	7818.629	6872.91	5187.759	8633.433	4720.517	12177.14	11987.2	6194.699	11013.5	6686.561	8129.236	2740.902
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	5677.701	13006.7	20953.24	6216.602	16115.76	17912.89	10215.58	20289.41	11509.75	10029.84	13192.75	5459.841



ตารางที่ ข.16 ผลการตรวจวัดค่าความชื้นเอกซ์ทรูเดท(%mc)การทดลองที่1

ชนิดผลิตภัณฑ์	ลำดับที่	t(hr)	T(°C)	ก่อนอบ		หลังอบ	
				น.น.ผลิตภัณฑ์ (g)	น.น.ภาชนะ (g)	น้ำหนักรวม (g)	%mc
ข้าวโพดบด	1	1	130	2	0.49	2.373	5.8500
	2	1	130	2	0.814	2.698	5.8000
	3	1	130	2	0.531	2.42	5.5500
						ค่าเฉลี่ย	5.7333
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	1	1	130	2	0.945	2.851	4.7000
	2	1	130	2	0.95	2.885	3.2500
	3	1	130	2	0.889	2.795	4.7000
						ค่าเฉลี่ย	4.2167
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	1	1	130	2	0.946	2.859	4.3500
	2	1	130	2	0.924	2.872	2.6000
	3	1	130	2	0.752	2.668	4.2000
						ค่าเฉลี่ย	3.7167
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	1	1	130	2	0.427	2.347	4.0000
	2	1	130	2	0.466	2.376	4.5000
	3	1	130	2	0.899	2.808	4.5500
						ค่าเฉลี่ย	4.3500
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	1	1	130	2	0.623	2.528	4.7500
	2	1	130	2	0.496	2.404	4.6000
	3	1	130	2	0.48	2.4	4.0000
						ค่าเฉลี่ย	4.4500
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	1	1	130	2	0.508	2.412	4.8000
	2	1	130	2	0.506	2.412	4.7000
	3	1	130	2	0.486	2.391	4.7500
						ค่าเฉลี่ย	4.7500
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	1	1	130	2	0.997	2.927	3.5000
	2	1	130	2	0.73	2.685	2.2500
	3	1	130	2	0.877	2.804	3.6500
						ค่าเฉลี่ย	3.1333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.17ผลการตรวจวัดค่าความชื้นเอกซ์ทรูเดท(%mc)การทดลองที่2

ชนิดผลิตภัณฑ์	ลำดับที่	เวลาที่ใช้ในการอบ (hr)	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ (°C)	ก่อนอบ		หลังอบ	
				น.น.ผลิตภัณฑ์ (g)	น.น.ภาชนะ (g)	น้ำหนักรวม (g)	%mc
ข้าวโพด	1	1	130	2	0.502	2.388	5.7000
	2	1	130	2	0.457	2.345	5.6000
	3	1	130	2	0.468	2.351	5.8500
						ค่าเฉลี่ย	5.7167
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 5%	1	1	130	2	0.421	2.32	5.0500
	2	1	130	2	0.477	2.38	4.8500
	3	1	130	2	0.416	2.326	4.5000
						ค่าเฉลี่ย	4.8000
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 10%	1	1	130	2	0.449	2.356	4.6500
	2	1	130	2	0.442	2.347	4.7500
	3	1	130	2	0.507	2.42	4.3500
						ค่าเฉลี่ย	4.5833
ข้าวโพด+Fiberสับปะรด 15%	1	1	130	2	0.411	2.326	4.2500
	2	1	130	2	0.411	2.345	3.3000
	3	1	130	2	0.458	2.364	4.7000
						ค่าเฉลี่ย	4.0833
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 5%	1	1	130	2	0.368	2.278	4.5000
	2	1	130	2	0.442	2.357	4.2500
	3	1	130	2	0.512	2.442	3.5000
						ค่าเฉลี่ย	4.0833
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 10%	1	1	130	2	0.452	2.362	4.5000
	2	1	130	2	0.467	2.3750	4.6000
	3	1	130	2	0.461	2.369	4.6000
						ค่าเฉลี่ย	4.5667
ข้าวโพด+Fiberมะพร้าว 15%	1	1	130	2	0.468	2.367	5.0500
	2	1	130	2	0.42	2.32	5.0000
	3	1	130	2	0.443	2.337	5.3000
						ค่าเฉลี่ย	5.1167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.18 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเอกซ์ทรูเดทในท้องตลาด

No.	ความชื้น (%wb)		Bulk Density (g/cm^3)		Piece Density (g/cm^3)		ER	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
1	9.2547	0.1166	0.1066	0.0011	0.1610	0.0020	4.680	0.433
2	9.8163	0.0424	0.1339	0.0001	0.2047	0.0015	4.602	0.288
3	9.9326	0.0247	0.1153	0.0005	0.1609	0.0024	4.248	0.339
4	10.9688	0.0844	0.1981	0.0009	0.2745	0.0002	3.447	0.491
5	9.2141	0.0445	0.1139	0.0014	0.1805	0.0040	4.653	0.468
6	9.2116	0.0000	0.1243	0.0017	0.1736	0.0007	4.765	0.447
7	9.4857	0.0778	0.0976	0.0002	0.1378	0.0002	4.765	0.729
8	9.8446	0.0050	0.1229	0.0024	0.1842	0.0012	3.825	0.420
9	9.1592	0.0793	0.1033	0.0001	0.1591	0.0010	5.052	0.463
10	9.6369	0.0200	0.0947	0.0013	0.1444	0.0074	4.772	0.491

ตารางที่ ข.19 แสดงลักษณะเนื้อสัมผัสของเอกซ์ทรูเดทในท้องตลาด

No.	Hardness (g/mm^2)				Crispness				Toughness (g.mm)			
	(Probe P/2)	SD	(Blade)	SD	(Probe P/2)	SD	(Blade)	SD	(Probe P/2)	SD	(Blade)	SD
1	1108.08	317.54	21.24	8.71	253.0	560.4	845.2	188.2	3567.43	1774.49	3640.29	2733.92
2	733.32	145.02	18.43	8.57	209.8	234.5	840.0	213.1	4100.15	2348.76	4338.95	2754.37
3	652.76	185.38	23.63	11.61	315.6	558.7	999.6	92.6	3225.78	1351.69	5848.76	3100.24
4	1118.17	472.92	44.32	24.06	89.4	118.0	1412.3	193.6	5693.40	4416.23	3191.25	1509.32
5	644.73	216.08	21.97	9.08	464.6	476.3	700.1	199.8	3811.61	1575.35	4706.92	3778.12
6	593.41	371.99	19.18	7.79	124.0	183.2	807.0	210.0	2797.09	1893.87	3270.96	1587.36
7	729.08	275.28	16.19	8.76	235.1	369.6	890.9	192.8	2645.76	1714.80	4481.33	1880.82
8	800.15	438.04	25.13	9.40	422.2	792.1	474.7	244.0	2381.35	1664.21	3656.03	1581.47
9	637.95	325.02	13.42	5.72	338.0	197.2	551.7	215.4	3100.28	1371.30	2971.92	2023.81
10	677.88	381.94	16.62	6.17	358.6	579.8	762.7	267.6	2283.42	1046.64	3636.30	2791.58

ภาคผนวก ค

การคำนวณปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเอกซ์ทรูเดทให้มีความชื้น 17%

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมี

- ปริมาณน้ำมัน (Crude Fat)
- ปริมาณเถ้า (Ash)
- ปริมาณโปรตีน
- ปริมาณเส้นใยอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเอกซ์ทรูเดทให้มีความชื้น 17%

ข้าวโพด มี ความชื้น= 7.826%

Fiberแกนสับปะรด มี ความชื้น= 12.208%

Fiberกากมะพร้าว มี ความชื้น= 1.744%

ข้าวโพด(2500กรัม) + Fiberแกนสับปะรด 5%(125กรัม)

ปริมาณน้ำเริ่มต้น = $\frac{(2500*7.826) + (125*12.208)}{100}$

= 195.65 + 15.26 = 210.91กรัม

ได้%ความชื้นรวม = $\frac{210.91*100}{2625}$ = 8.0346 %

ทำสมดุลน้ำ = 195.95 + 15.26 + X = (X+2625)*0.17

X= 283.53 กรัม

ต้องเติมน้ำ= 283.53 กรัม เพื่อให้ได้ความชื้น=17%

ข้าวโพด(2500กรัม) + Fiberแกนสับปะรด 10%(250กรัม)

ปริมาณน้ำเริ่มต้น = $\frac{(2500*7.826) + (250*12.208)}{100}$

= 195.65 + 30.52 = 226.17กรัม

ได้%ความชื้นรวม = $\frac{226.17*100}{2750}$ = 8.2244 %

ทำสมดุลน้ำ = 195.95 + 30.52 + X = (X+2750)*0.17

X= 290.759 กรัม

ต้องเติมน้ำ= 290.759 กรัม เพื่อให้ได้ความชื้น=17%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวโพด(2500กรัม) + Fiberแกนสับปะรด 15%(375กรัม)

ปริมาณน้ำเริ่มต้น = $\frac{(2500*7.826) + (375*12.208)}{100}$

= 195.65 + 45.78 = 241.43กรัม

ได้%ความชื้นรวม = $\frac{241.43*100}{2875}$ = 8.3976 %

ทำสมดุลน้ำ = 195.95 + 45.78 + X = (X+2875)*0.17

X= 297.976 กรัม

ต้องเติมน้ำ= 297.976 กรัม เพื่อให้ได้ความชื้น=17%

ข้าวโพด(2500กรัม) + Fiberกากมะพร้าว 5%(125กรัม)

ปริมาณน้ำเริ่มต้น = $\frac{(2500*7.826) + (125*1.744)}{100}$

= 195.65 + 2.186 = 197.836กรัม

ได้%ความชื้นรวม = $\frac{197.836*100}{2625}$ = 7.537 %

ทำสมดุลน้ำ = 195.95 + 2.186 + X = (X+2625)*0.17

X= 299.294 กรัม

ต้องเติมน้ำ= 299.294 กรัม เพื่อให้ได้ความชื้น=17%

ข้าวโพด(2500กรัม) + Fiberกากมะพร้าว 10%(250กรัม)

ปริมาณน้ำเริ่มต้น = $\frac{(2500*7.826) + (250*1.74408)}{100}$

= 195.65 + 4.36 = 200.01กรัม

ได้%ความชื้นรวม = $\frac{200.01*100}{2750}$ = 7.273 %

ทำสมดุลน้ำ = 195.95 + 4.36 + X = (X+2750)*0.17

X= 322.277 กรัม

ต้องเติมน้ำ= 322.277 กรัม เพื่อให้ได้ความชื้น=17%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวโพด(2500กรัม) + Fiberแกนสับปะรด 15%(375กรัม)

ปริมาณน้ำเริ่มต้น = $\frac{(2500*7.826) + (375*1.744)}{100}$

= 195.65 + 6.54 = 202.19กรัม

ได้%ความชื้นรวม = $\frac{202.19*100}{2875}$ = 7.037 %

ทำสมดุลน้ำ = 195.95 + 6.54 + X = (X+2875)*0.17

X= 345.253 กรัม

ต้องเติมน้ำ= 345.253 กรัม เพื่อให้ได้ความชื้น=17%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมี

Fiber Source จากกากมะพร้าวและกากสับประรด

ปริมาณน้ำมัน (Crude Fat)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำ round bottom flask ขนาด 250 มิลลิลิตร และ glass bread 3 เม็ด ไปอบที่อุณหภูมิที่ 100 ^{o}C นานประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น 30 ~ 60 นาทีใน desiccator ชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปติดตั้งกับชุด Soxhlet
2. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 10 กรัม (W_1) ใส่ลงใน porous cup ที่ทำจากกระดาษ ปิดทับด้วยก้อนสำลี แล้วนำไปติดตั้งไว้กับชุด Soxhlet
3. เติม petroleum ether ประมาณ 200 มิลลิลิตร ลงไปใน round bottom flask ให้ความร้อนพอประมาณโดย petroleum ether เดือดและควบแน่นลงใน porous cup ประมาณ 3-4 หยดต่อวินาที ทำการสกัดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. ทำการระเหย petroleum ether ที่อยู่ใน round bottom flask ออกไปจนหมด (petroleum ether นี้มี crude fat ที่ถูกสกัดออกมาจากตัวอย่างอยู่) แล้วนำไปอบที่ 100 ^{o}C ประมาณ 20 นาที ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก (W_2)

การคำนวณ

เมื่อ W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

W_1 คือ น้ำหนักของ round bottom flask และ glass bead

W_2 คือ น้ำหนักของ round bottom flask และ glass bead และ fat

%ปริมาณfat = { [W- (W - W_2- W_1)] / W } *100

ปริมาณเถ้า (Ash)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำ crucible พร้อมฝาปิดไปเผาใน furnace ที่อุณหภูมิ 600 ^{o}C นานประมาณ 20 นาที นำออกมาทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างใส่ใน crucible ประมาณ 2 กรัม หรือโดยประมาณของตัวอย่างสูงประมาณครึ่งหนึ่งของความสูง crucible บันทึกน้ำหนักของ crucible และตัวอย่าง (W_1)
3. นำไปวางบน hot plate ที่อุณหภูมิ ประมาณ 120 ^{o}C 30 นาที หรือจนตัวอย่างเริ่มเป็นสีดำ จึงนำไปเผาใน furnace ที่อุณหภูมิ 600 ^{o}C โดยเปิดฝา crucible ไว้อีก 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมง หรือจนตัวอย่าง เป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทา นำออกมาทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักของ crucible พร้อมฝาปิดและเถ้า (W_2)

การคำนวณ

เมื่อ W คือ **น้ำหนักของตัวอย่าง**

W_1 คือ **น้ำหนักของ crucible**

W_2 คือ **น้ำหนักของ crucible และเถ้าหลังเผา**

%ปริมาณเถ้า = { [W- (W_2- W_1)] / W } *100

ปริมาณโปรตีน

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ลงใน Kjeldahl flask
2. เติม 0.5 กรัม $CuSO_4 5H_2O$, 10 กรัม K_2SO_4 และเติม 20 มิลลิลิตร H_2SO_4 (Conc.)
3. Kjeldahl flask บน heating mantle ในแนวเอียงประมาณ 45 ^{o}C ให้ความร้อน หากเกิดฟองมากให้เขย่าเบา ๆ เป็นระยะ ๆ ให้ liquid เดือดจนเป็นสีเขียวอ่อนแล้วย่อยต่อไปอีก 30 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
4. ถ่าย digested liquid ลงใน distillation tube ของ distillation set แล้วล้าง Kjeldahl flask ด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เทลงใน distillation tube ติดตั้ง distillation set ให้เรียบร้อย
5. นำ flask ที่บรรจุ 0.1 N standard H_2SO_4 (aq) 50 มิลลิลิตร มาไว้ที่ปลาย delivering tube โดยปลาย tube จุ่มอยู่ใน H_2SO_4
6. ค่อย ๆ เติม 50 % NaOH (aq) ลงใน distribution tube ประมาณ 50 มิลลิลิตร ทำการกลั่น ammonia จนได้ปริมาตรของของเหลวประมาณ 200 มิลลิลิตร
7. นำกรดจากข้อ 5. มา titrate หาปริมาณกรดที่เหลือด้วย 0.1 N std. NaOH บันทึกปริมาตรหา % Total nitrogen
8. หาปริมาณ NH_3 (g) ที่มีอยู่ดั้งเดิมในตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ใน distillation tube ทำตามข้อ 5-7

การคำนวณ

เมื่อ N คือ ความเข้มข้นของสาร

V คือ ปริมาตรของสาร

Wt คือ น้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%\text{Total nitrogen} = \frac{[(N_{acid}\ V_{acid}) - (N_{NaoH}\ V_{NaoH})] * 14.0067*100}{\text{Wt or vol of sample (mg) or micro(l)}}$$

$$\%NH_3\ \text{nitrogen} = \frac{[(N_{acid}\ V_{acid}) - (N_{NaoH}\ V_{NaoH})] * 14.0067*100}{\text{Wt or vol of blank (mg) or micro(l)}}$$

%Amino nitrogen = %total nitrogen - $\%NH_3$ nitrogen

%Protean = %amino nitrogen *6.25

ปริมาณเส้นใยอาหาร

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ใน beaker สำหรับย่อย ใส่ glass bread 3 เม็ด แล้วเติม 1.25% H_2SO_4 ที่ต้มเดือดประมาณ 200 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนเดือดนาน 30 นาที
2. นำมากรองผ่านผ้ากรอง แล้วล้างกากด้วยน้ำร้อนประมาณ 200 มิลลิลิตร จนกรดหมด แล้วจึงถ่ายกากลงใน beaker สำหรับย่อย
3. เติม 1.25 % NaOH ที่ต้มเดือดประมาณ 200 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนเดือดนาน 30 นาที
4. นำมากรองผ่านผ้ากรองแล้วล้างกากด้วยน้ำร้อนประมาณ 200 มิลลิลิตร จนหมดด่าง เอา glass bead ออกมาแล้วล้างกากด้วย 95 % alcohol ประมาณ 15-20 มิลลิลิตร
5. ถ่ายกากลงใน crucible ใช้ 95 % alcohol เล็กน้อยชะกากจากผ้ากรองลงใน crucible แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 ^{o}C 1 ชั่วโมง นำมาทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก (W_1)
6. นำ crucible และกากหลังจากอบแห้งแล้วไปเผาใน furnace ที่อุณหภูมิ 600^{o}C นานประมาณ 30 นาที นำมาทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วจึงชั่งน้ำหนัก (W_2)

การคำนวณ

เมื่อ W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

W_1 คือ น้ำหนักของ crucible และกากหลังจากอบแห้งแล้ว

W_2 คือ น้ำหนักของ crucible และเถ้าหลังจากเผาแล้ว

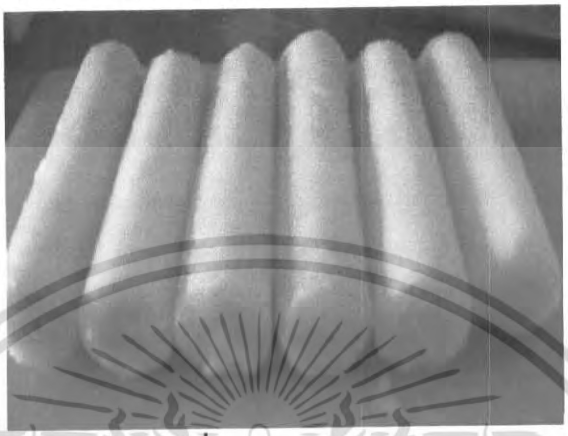
$\%\text{ใยอาหาร} = \{ [W- (W_2- W_1)] / W \} *100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

รูปขั้นตอนการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น

การทดลองการผลิตเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรด



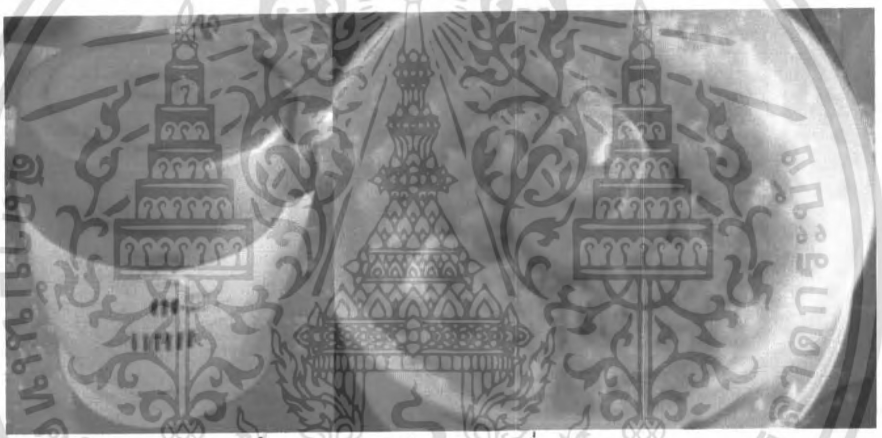
รูปที่ ง.1 แกนสับปะรด

รูปที่ ง.2 แกนสับปะรดหั่นเป็นชิ้น

รูปที่ ง.3 แกนสับปะรดบดหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง.4 แหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยก

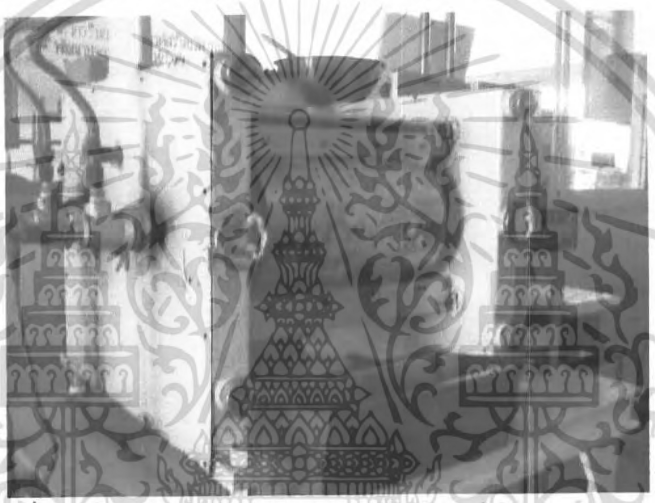


รูปที่ ง.5 บดละเอียดด้วยเครื่อง Blender

รูปที่ ง.6 กากสับปะรดบดละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

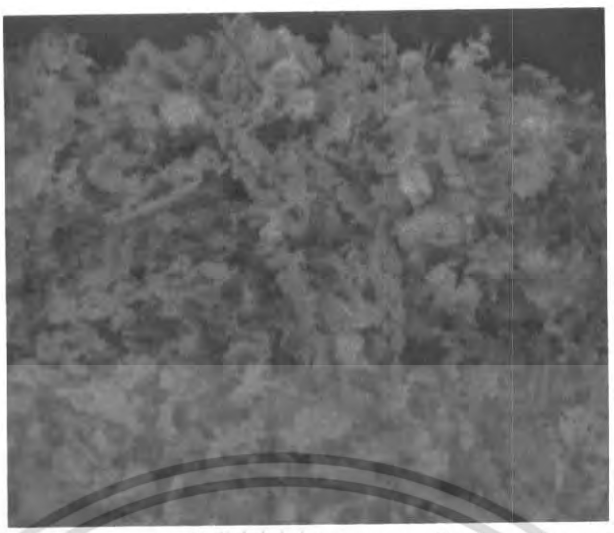
รูปที่ ง.7 ต้มกากสับปะรด 2 ชั่วโมง เปลี่ยนน้ำทุกชั่วโมง



รูปที่ ง.8 ทำแห้งเส้นใยอาหารจากสับปะรดด้วย Drum Dryer

รูปที่ ง.9 ทำแห้งเส้นใยอาหารจากสับปะรดด้วย Drum Dryer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



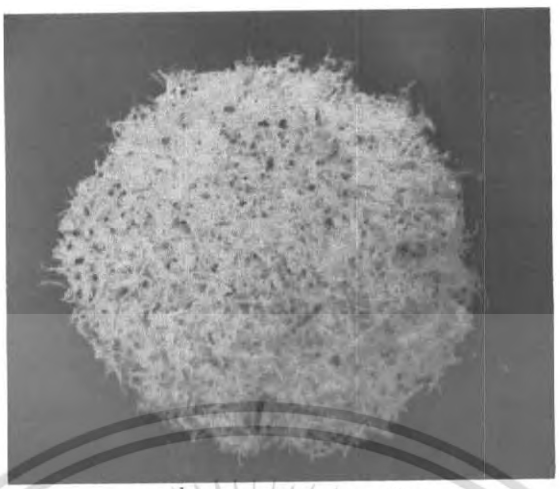
รูปที่ ง.10 ลักษณะของเส้นใยอาหารจากกากสับปะรดก่อนบดละเอียด

รูปที่ ง.11 รูปเครื่องบดละเอียด

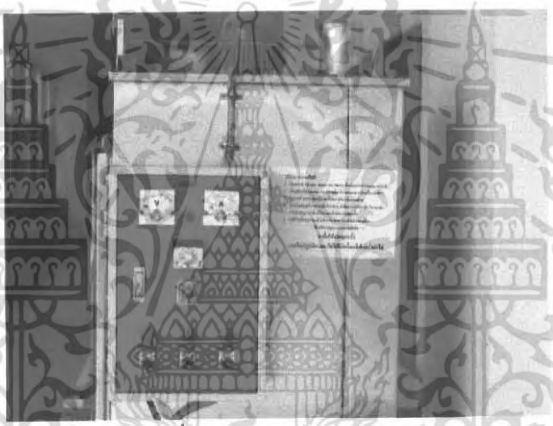
รูปที่ ง.12 รูปใยอาหารจากแกนสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองผลิตเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว



รูปที่ ง.13 รูปกากมะพร้าว



รูปที่ ง.14 รูป Tray Dryer

รูปที่ ง.15 รูปใยอาหารจากกากมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

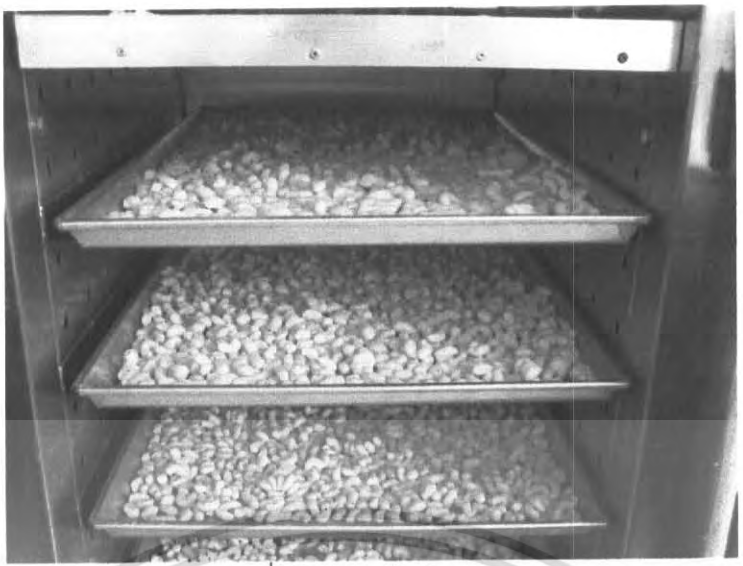
กระบวนการการเอกซ์ทรูชั่น

รูปที่ ง.16 ใส่ส่วนผสมลงในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

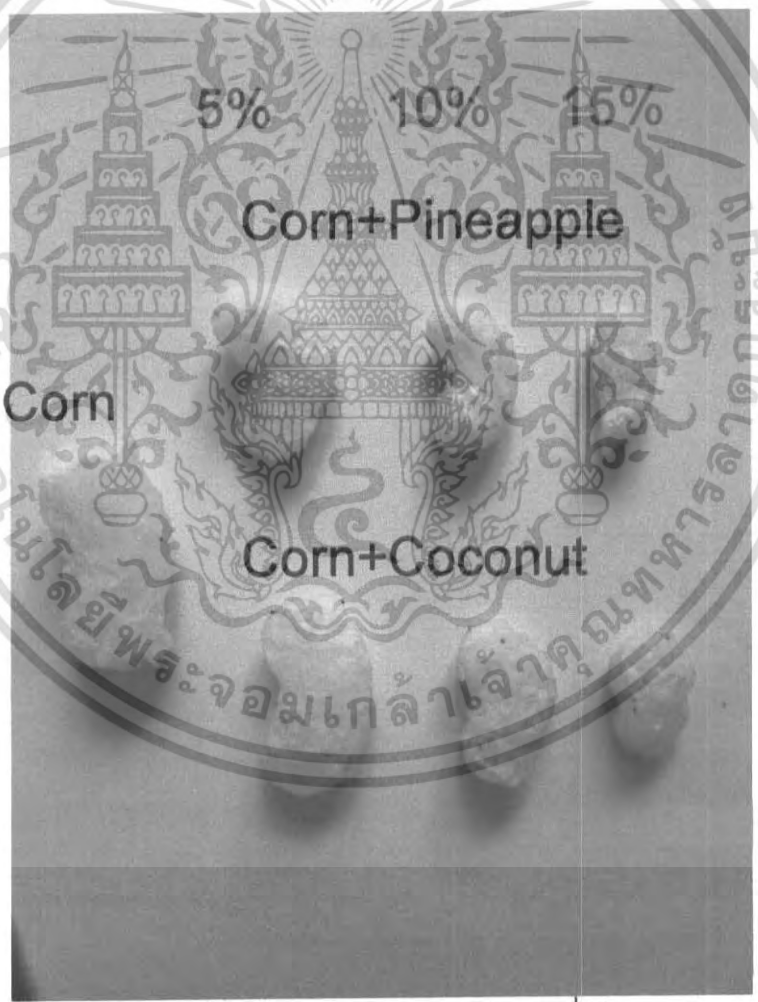
รูปที่ ง.17 การทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

รูปที่ ง.18 เอกซ์ทรูเดทที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



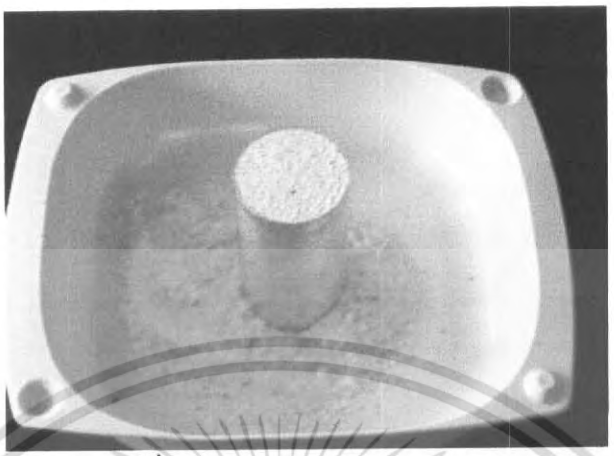
รูปที่ ง.19 นำเอกซ์ทรูเดทที่ได้ไปอบแห้งด้วย Tray Dryer 80°C ,15นาที



รูปที่ ง.20 ลักษณะของเอกซ์ทรูเดทที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและการวัดต่างๆ

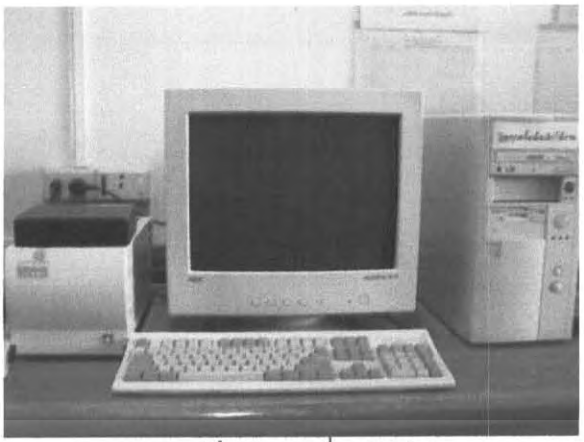


รูปที่ ง.21 การวัดหา True Density

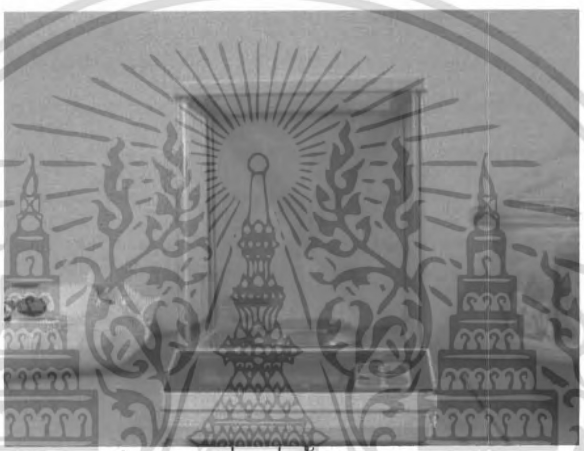
รูปที่ ง.22 การวัดหา Bulk Density

รูปที่ ง.23 เครื่องวัด a_w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.24 เครื่องวัดสี



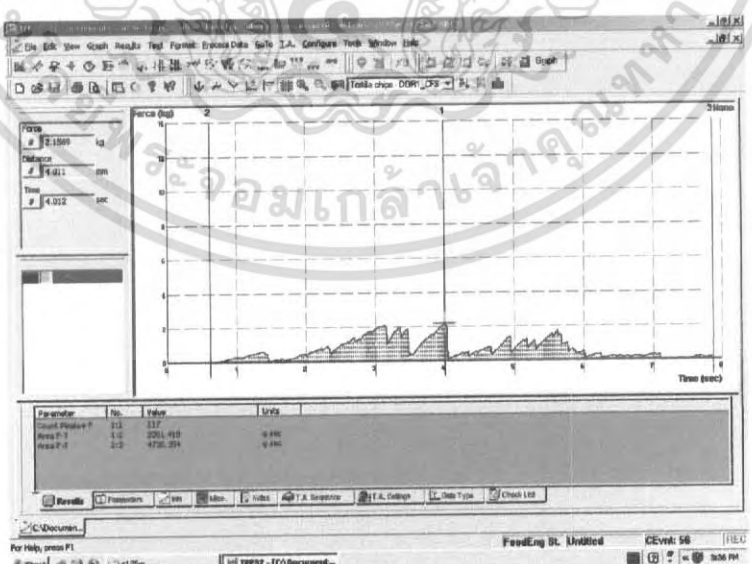
รูปที่ ง.25 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

รูปที่ ง.26 โถดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง.27 เครื่องวัดTexture โดยใช้หัววัดแบบProbe P/2

รูปที่ ง.28 เครื่องวัดTexture โดยใช้หัววัดแบบ Warner-Blazer Blade



รูปที่ ง.29 กราฟจากเครื่องวัดTexture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้