รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากถั่ว ด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น

คณะวิจัย

มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

อำนาจ คูตะคุ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย เงินรายได้

จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2554

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากถั่ว ด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น

คณะวิจัย

มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

อำนาจ คูตะคุ

RCH TP4 38. P4 ม487 ร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย

จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2554

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1260143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ: การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากถั่วด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น
แหล่งเงิน: ทุนคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ 2554 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 64,900 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2553 ถึง กันยายน 2554
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย
1) ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ (หัวหน้าโครงการ)
2) นายอำนาจ คูตะคุ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่นจากถั่ว 5 สี ประกอบด้วย อัตราส่วนผสมระหว่างถั่วแต่ละสี (ถั่วแดง ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาว) กับลูกเดือย (30:70,50:50,70:30) และความเร็วรอบสกรู (450,550 rpm) ที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความหนาแน่น อัตราส่วนขยายตัว ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) ความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) ลักษณะเนื้อสัมผัส และสี จากผลการศึกษาพบว่า วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบจากถั่ว 5 สีกับลูกเดือยสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่นได้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารขอเคี้ยว หรือผลิตภัณฑ์อาหารเช้า นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด การเพิ่มความเร็วรอบสกรูส่วนใหญ่มีผลทำให้เอ็กซ์ทรูเดต มีค่าความหนาแน่น ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และค่าความชื้นลดลง ขณะที่ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ ค่าความสามารถในการละลายน้ำ และค่า อัตราส่วนขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น สภาวะการผลิตที่มีค่าตัวแปร อัตราส่วนน้ำหนักผสมของลูกเดือยกับถั่ว เท่ากับ 50:50 และความเร็วรอบสกรู 550 rpm สามารถใช้ผลิตกับถั่วทุกสูตรได้ แต่วัตถุดิบที่ผลิตจากสูตรที่ผสมถั่วเหลืองมีข้อจำกัดในการนำมาใช้ เนื่องจากมีปริมาณไขมันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Development of Healthy Snacks from Beans by using Extrusion Process

Researcher: 1) Asst. Prof. Dr. Maradee Phongpipatpong
2) Mr. Amnat Kootaku

Faculty: Engineering **Department:** Food Engineering

ABSTRACT

This research was to study the extrusion process for producing healthy snack and to investigate the effect of processing parameters on the characteristics of 5 colors beans extrudates. The parameters included the bean (red bean, soy bean, green bean, black bean and white bean) and job's tear: bean ratio (30:70,50:50,70:30) and the screw speed (450,550 rpm). Single screw was used to carry on the experiments. The extrudate characteristics (moisture content , density, expansion ratio , water absorption index (WAI) , water solubility index (WSI) ,textural characteristic and color) were analyzed. It was found that an increase in screw speed result in a decrease in extrudate's density, redness, yellowness and moisture content, but an increase in water absorption index(WAI), water solubility index (WSI) and expansion ratio. The processing condition of job's tear : bean ratio at 50:50 and screw speed 550 rpm was found to be the optimum condition for all beans. However, the feed with soy bean had some limitation in usage due to its fat content, and only 30% of soy bean can be mixed with job's tear.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

และขอขอบคุณบุคลากรในสาขาวิชาวิศวกรรมอาหารที่เอื้อเฟื้อและให้การสนับสนุนการวิจัยจนสามารถปฏิบัติงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

ปกใน i

บทคัดย่อ ii

Abtract iii

กิตติกรรมประกาศ iv

สารบัญ v

สารบัญภาพ viii

สารบัญตาราง ix

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม 3

2.1 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion process) 3

2.1.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น 3

2.1.2 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ 7

2.1.3 ข้อได้เปรียบของกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน 8

2.1.4 ผลของกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่นต่อผลิตภัณฑ์ 8

2.2 ธัญชาติ 9

2.2.1 ถั่วแดง 11

2.2.2 ถั่วเหลือง 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.3 ถั่วเขียว 13

2.2.4 ถั่วดำ 14

2.2.5 ถั่วขาว 15

2.2.6 ลูกเดือย 12

2.3 ความหนืด (Viscosity) 18

บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย 22

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ 22

3.2 ขั้นตอนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น 22

3.3การวิเคราะห์คุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดต 23

3.3.1 ค่าความชื้น (Moisture Content) 23

3.3.2 ความหนาแน่น (Bulk DensityX 23

3.3.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI)

และความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI) 23

3.3.4 อัตราส่วนการขยายของผลิตภัณฑ์ (Expansion Ratio, ER) 24

3.3.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส 24

3.3.6 สี 25

3.4 การวางแผนการทดลอง 25

3.4.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) 25

3.4.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables) 25

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 26

บทที่ 4 ผลการวิจัย 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดท 27

4.2 ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture content) 28

4.3 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) 29

4.4 ค่าอัตราการขยายตัว (Expansion ratio) 29

4.5 ค่าอัตราการดูดซับน้ำ (WAI) 30

4.6 ค่าอัตราการละลายน้ำ (WSI) 31

4.7 ค่าความแข็ง (Hardness) 32

4.8 ค่าความกรอบ (Crispness) 33

4.9 ค่าความเหนียว 34

4.10 ค่าความเป็นสี 34

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 36

5.1 สรุปผลการทดลอง 36

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 37

เอกสารอ้างอิง 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ถั่วแดง 10

ภาพที่ 2.2 ถั่วเหลือง 12

ภาพที่ 2.3 ถั่วเขียว 13

ภาพที่ 2.4 ถั่วดำ 14

ภาพที่ 2.5 ถั่วขาว 15

ภาพที่ 2.6 ลูกเดือย 16

ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA 19

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง 22

ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับปริมาณความชื้นของเอ็กซ์ทรูเดท 28

ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับความหนาแน่นรวม 29

ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับอัตราการขยายตัว 30

ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับอัตราการดูดซับน้ำ 31

ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับอัตราการละลายน้ำ 32

ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับค่าความแข็ง 33

ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับค่าความกรอบ 33

ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับค่าความเหนียว 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	สภาวะการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบต่างๆ	6
ตารางที่ 2.2	คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเมล็ดแห้ง	9
ตารางที่ 2.3	ข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของถั่ว 5 สีและลูกเดือย (ปริมาณต่อ 100 กรัม	18
ตารางที่ 4.1	คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต	27
ตารางที่ 4.2	ค่าความเป็นสีของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

สภาพสังคมในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไป การดำเนินชีวิตประจำวันเป็นไปอย่างเร่งรีบ การเตรียมอาหารรับประทานกลายเป็นสิ่งยุ่งยาก เสียเวลา คนจำนวนมากจึงต้องพึ่งอาหารนอกบ้าน หรือหาซื้ออาหารที่สะดวกพร้อมรับประทาน เพื่อสามารถบริโภคได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว อาหารในรูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหารเช้า (Breakfast Cereals) อาหารขบเคี้ยว เครื่องดื่มผงจากธัญชาติ เป็นอาหารที่สะดวกต่อการบริโภคและเป็นที่นิยมโดยทั่วไป แต่ทว่าอาหารประเภทนี้ที่มีจำหน่ายส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีคุณค่าทางโภชนาการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภคที่มีคุณค่าทางโภชนาการจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อลดปัญหาทุพโภชนาการของประชากร[1] ถั่วนับเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญ นอกจากนั้นยังอุดมไปด้วยสารอาหารสำคัญอื่น เช่น เลซิทิน แอนโทไซยานิน ฟาซิโอลามิน ไทเอมีน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ช่วยการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย[2] การนำถั่วมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นอาหารสำเร็จรูปที่สะดวกต่อการบริโภคและมีคุณค่าทางอาหารสูงในประเภทผลิตภัณฑ์อาหารเช้าหรืออาหารขบเคี้ยวย่อมเป็นการเพิ่มทางเลือกอาหารที่มีประโยชน์ให้กับผู้บริโภค และเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตรให้มีมูลค่าสูงขึ้นอีกทางหนึ่ง

กระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่นเป็นกรรมวิธีการผลิตที่มีประสิทธิภาพ สามารถดำเนินการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปภายในขั้นตอนเดียว และมีต้นทุนการผลิตต่ำ รูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตได้ด้วยกรรมวิธีเอ็กซ์ทรูชั่นมีหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเช้า อาหารผงสำเร็จรูป อาหารเด็กอ่อน หรืออาหารขบเคี้ยว[3,4] ถึงแม้ว่ากรรมวิธีผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่นมีข้อได้เปรียบหลายประการ แต่การนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่ยังคงจำกัดอยู่เพียงกลุ่มวัตถุดิบจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าว และแป้งสาลี เท่านั้น ส่วนวัตถุดิบจากกลุ่มถั่วยังไม่มีการนำวิธีการผลิตแบบนี้ไปประยุกต์ใช้มากนัก โดยปกติเมื่อวัตถุดิบธัญพืชผ่านเข้าสู่กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นโมเลกุลอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทั้งทางเคมีและทางกายภาพภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงในระยะเวลาสั้นๆ ได้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่สะดวกต่อการบริโภค และร่างกายสามารถย่อยสลายดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น[5] แต่อย่างไรก็ตามในการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณลักษณะหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามต้องการนั้น จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงผลของสภาวะตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการผลิต จึงสามารถควบคุมการผลิตให้ได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปตามต้องการได้ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ส่วนใหญ่จะผลิตจากแป้งสาลี ข้าวโพดและข้าว ซึ่งไม่ค่อยมีคุณค่าทางโภชนาการ หากมีการใช้วัตถุดิบจากถั่วเข้ามาทดแทนวัตถุดิบในกลุ่มแป้ง ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ได้ย่อมมีประโยชน์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลการผลิตที่ใช้วัตถุดิบจากกลุ่มถั่วมีน้อยมาก จึงควรได้มีการศึกษาแนวทางการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปในรูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารเช้าหรืออาหารขบเคี้ยวที่สะดวกสำหรับผู้บริโภคด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น เพื่อเป็นการพัฒนาการแปรรูปผลผลิตทางเกษตรและเพิ่มทางเลือกของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตอาหารสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพจากถั่วในรูปแบบอาหารขบเคี้ยว โดยใช้กรรมวิธีผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น
- เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรและหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรการผลิตต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทที่ได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- วัตถุดิบหลักที่ใช้ศึกษา คือ ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วดำ ถั่วขาว และส่วนประกอบรอง คือ ลูกเดือย
- ทำการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่นด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว
- ตัวแปรที่ศึกษา ประกอบด้วย ค่าความชื้นวัตถุดิบ และ ความเร็วรอบของสกรู
- คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา ได้แก่ สี ,ลักษณะเนื้อสัมผัส, ความหนาแน่น, ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการละลาย, อัตราการขยายตัว, และความชื้นของเอ็กซ์ทรูเดต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้แนวทางการผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่มีคุณค่าทางโภชนาการด้วยกรรมวิธีผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่นในรูปแบบผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยว
- ทราบข้อมูลผลกระทบของตัวแปรการผลิตต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดท
- ได้รูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารที่สะดวกต่อการบริโภคและมีคุณค่าสำหรับผู้บริโภค
- เป็นการเพิ่มศักยภาพในการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรที่มีอยู่เป็นจำนวนมากภายในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
การทบทวนวรรณกรรม

2.1 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น (Extrusion process)

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน คือกระบวนการผลิตอาหารที่มีการทำให้ส่วนผสมของวัตถุดิบเป็นเนื้อเดียวกันโดยอาศัยแรงเฉือนด้วยเกลียวลำเลียง ขับเคลื่อนวัตถุดิบอาหารให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า เพื่ออัดผ่านหน้าแปลนที่ออกแบบเป็นพิเศษ ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกพองและมีรูปร่างออกมา กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นนี้จึงรวมขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอนเข้าไว้ด้วยกัน เช่น การผสม การนวด การทำให้ร้อนและสุก การพองตัว และทำให้เป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นอาจสูงถึง 180-200°C ในระยะเวลาสั้นๆเพียง 5-10 นาที ดังนั้นกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจึงเป็นระบบอุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น (High Temperature & Short Time)

วัตถุดิบที่นำมาใช้ต้องบดรวมและผสมให้เข้ากันดี ก่อนที่จะป้อนเข้าไปที่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ บางครั้งอาจมีการทำให้วัตถุดิบสุกเป็นบางส่วนก่อนโดยเติมน้ำหรือไอน้ำเข้าไปผสมกับวัตถุดิบในถังปรับสภาพวัตถุดิบ จากนั้นเกลียวบนสกรูของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ทำหน้าที่ผลักพาส่วนผสมของวัตถุดิบให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าในขณะที่สกรูหมุนรอบตัวเอง ดังนั้นส่วนผสมจะถูกบีบ อัด ผสม นวดไปด้วยทำให้เปลี่ยนสภาพจากลักษณะที่เป็นเม็ดเล็กๆเป็นผงกลายเป็นโดที่เหนียวคล้ายพลาสติก และส่วนผสมจะเริ่มสุกเนื่องจากได้รับความร้อนจากการพ่นไอน้ำเข้าไปในส่วนผสมโดยตรง โดยผ่านไอน้ำเข้าไปในช่องว่างระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรล และการเปลี่ยนจากพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อน เกิดเนื่องจากแรงเสียดสีระหว่างส่วนผสมเองและระหว่างส่วนผสมกับผนังของบาร์เรล ความร้อนที่ได้รับนี้จะทำให้แป้งโดสุกกลายเป็นเจลและขณะเดียวกัน ความดันภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์เพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากมีพื้นที่จำกัดเมื่อส่วนผสมโผล่พ้นรูหน้าแปลน ความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วและเกิดความแตกต่างของความดัน ทำให้ไอน้ำที่มีอยู่ในเนื้ออาหารระเหยออกไปและดันเนื้ออาหารให้โป่งพองขึ้น ดังนั้นจึงได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกพองและมีรูปร่างออกมาตามรูปแบบหน้าแปลน ใบมีดที่หมุนรอบและราบขนานไปกับผิวหน้าของหน้าแปลน จะทำหน้าที่ตัดผลิตภัณฑ์ออกเป็นชิ้นๆ และเนื่องผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีความชื้นอยู่บ้าง จึงต้องผ่านการอบ เพื่อให้มีความชื้นที่เหมาะสม

2.1.1ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น

สามารถแบ่งได้ 3 ปัจจัย ดังนี้

1) ปัจจัยที่เกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ที่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดต มีดังนี้

- Feed Hopper เป็นส่วนที่รับวัตถุดิบ มีรูปร่างเป็นกรวยแบบง่ายๆ ถ้าวัตถุดิบมีความหนืด ในช่วงนี้จะมีการควบคุมอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบเพื่อป้องกันการเกิดการติดขัดในเครื่อง
- บาร์เรล (Barrel) เป็นตัวลดการลื่นไหลของวัตถุดิบขณะที่วัตถุดิบเคลื่อนที่อยู่ภายในและยังเพิ่มแรงดันและแรงเฉือนในกับผลิตภัณฑ์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Jacket เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิขณะใช้เครื่อง บางช่วงอาจใช้น้ำเย็น บางช่วงอาจใช้น้ำร้อน เพื่อการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ หากไม่มีตัวควบคุมอาจทำให้เอ็กซ์ทรูเดตมีคุณลักษณะไม่ตรงตามที่ต้องการ
- สกรู (Screw) หน้าที่ของสกรูในการทำงาน คือ รับและขนถ่ายวัตถุดิบ กดดันและเพิ่มแรงเฉือนให้แก่วัตถุดิบทำให้เกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอ
- หน้าแปลน (Die) เป็นตัวที่ทำให้เอ็กซ์ทรูเดตเปลี่ยนให้มีรูปร่างต่างๆให้เป็นไปตามต้องการเมื่อเอ็กซ์ทรูเดตผ่านออกมาจากช่องนี้ ยังมีบทบาทสำคัญต่อการพองของเอ็กซ์ทรูเดต เนื่องจากน้ำระเหยกลายเป็นไอเพราะความดันลดลงอย่างรวดเร็ว เกิดเนื้อสัมผัสและรูพรุนมากยิ่งขึ้น
- ใบมีด (Knife) เป็นส่วนที่กำหนดความยาวของเอ็กซ์ทรูเดตที่ออกมาจากหน้าแปลน โดยทำการตัดให้เอ็กซ์ทรูเดตมีขนาดสั้นหรือยาว ตามต้องการ

2) ปัจจัยเกี่ยวกับสภาวะของการทำงาน (Operating condition)

ปัจจัยสภาวะของการทำงานหลักที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ มีดังนี้

- เวลา (Time) กระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นมีลักษณะเป็น Equilibrium Process ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงที่สภาวะต่างๆ ต้องอาศัยเวลาในการปรับตัวให้เข้าสู่สมดุล ตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการตัวหนึ่ง คือ เวลาซึ่งผลิตภัณฑ์ถูกกระทำ หรือ residence time หรือเวลาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและขนาดของอุปกรณ์ และ ในกระบวนการที่อุณหภูมิสูงเวลานานอาจเกิดการไหม้ของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

- อุณหภูมิ (Temperature) มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ในช่วงสุดท้าย เนื่องจากปฏิกริยาหลักของกระบวนการนี้ คือการเกิดเจล (Gelatinization) โดยคุณสมบัติของกลิ่น สี รวมทั้งเนื้อสัมผัสมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิทั้งสิ้น หากต้องการให้เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ และน้ำในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นไอเมื่อผ่านแม่พิมพ์ (die) ถ้ามีอุณหภูมิที่สูงเพียงพอในการทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลเม็ดแป้งจะพองตัวอย่างเห็นได้ชัด

- อัตราการเฉือน (Shear rate) เป็นตัววัดค่าการผสมกันของวัตถุดิบว่าอยู่ในระดับใด (mixing intensity) โดยวัตถุดิบจะสัมผัสกับบาร์เรลที่อยู่กับที่กับสกรูที่เคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ลื่นไหลออกจากกัน โดยอัตราเฉือนจะแปรเปลี่ยนตามความเร็วที่เปลี่ยนไป ซึ่งอัตราการเฉือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสกรู หรือลดความลึกของร่องเกลียว ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการ ดังนี้

- ความเร็วรอบสกรู (Screw speed) สกรูทำหน้าที่หลัก 3 อย่างคือ (1) การขนถ่าย (2) ก่อให้เกิดงานและความร้อน และ (3) การผสม สกรูส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนมักจะมีลักษณะสันเกลียวที่ลึกซึ่งจะรับส่วนผสมของอาหารที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง ส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นเม็ดๆ และผ่านการปรับความชื้นแล้ว สกรูจะพาเอาส่วนผสมเหล่านี้เคลื่อนที่ไปตามความยาวของสกรู ขณะที่ส่วนผสมเคลื่อนไปตามสกรู ก็จะได้รับการอัดเพิ่มมากขึ้น ทำให้ส่วนผสมของอาหารเหล่านี้บรรจุลงในชัลเนล (channel) หรือช่องว่างที่มีอยู่ระหว่างเกลียวสกรู ส่วนที่ 2 ของสกรูเป็นช่วงการอัดหรือการเปลี่ยน โดยสกรูมีความสูงของเกลียวหรือสันเกลียวลดลง หรืออาจใช้วิธีการอื่นที่ทำให้ความสามารถในการขนถ่ายของสกรูลดลง ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผลทำให้เกิดการอัดมากขึ้น ส่วนผสมของอาหารจะหมุนอยู่ในชันเนลของสกรูขณะที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า และเกิดเป็นมวลที่ต่อเนื่อง พลังงานที่ทำให้ส่วนผสมที่หนืดนี้ไหล ได้จากมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่หมุนสกรู การแอนที่เกิดขึ้นระหว่างการไหลจะทำให้พลังงานหมดไป โดยเพิ่มอุณหภูมิของส่วนผสม และเปลี่ยนส่วนผสมของอาหารไปเป็นโด โดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์หากต้องการให้พองมากควรจะปรับความเร็วรอบที่ค่าสูง ความเร็วรอบนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความชื้น แต่ส่งผลต่อเวลา อุณหภูมิ และอัตราเฉือน

3) ปัจจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัตถุดิบ

เนื่องจากปฏิกิริยาในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นมีทั้งการเปลี่ยนแปลงทางด้านความร้อนและความดัน ซึ่งส่งผลให้วัตถุอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ ดังนั้นความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับชนิดและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของวัตถุอาหารจะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้วัตถุดิบในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะที่ดีตามต้องการ ดังนี้

ธัญพืช (cereals) เป็นกลุ่มวัตถุดิบหลัก ได้แก่

- ข้าวโพด นิยมใช้มากและประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย ราคาถูก พองตัวได้ดี และมีกลิ่นรสที่ดี
- ข้าว พองตัวได้ดี มีสีเหลือง รสจืดเป็นธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลดีต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเติมรสชาติอื่นๆ
- ข้าวสาลี จะพองตัวได้ยากขึ้น เนื่องจากปริมาณกลูเตนในแป้งสาลีมีมากกว่าข้าวโพดและข้าว มีกลิ่นรสมันๆ
- ข้าวโอ๊ต เป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนจากธัญพืช มีไขมันสูงซึ่งยากต่อการสุกและพองมักนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ

พืชหัว (root crop) ที่นิยมนำมาใช้มี 2ชนิด คือ มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง

2.1.2 ส่วนประกอบทางเคมีและทางกายภาพของวัตถุดิบ

1) **โปรตีน** นิยมใช้แป้งถั่วเหลือง โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ในกรณีของขนมขบเคี้ยวและอาหารเช้าธัญชาติชนิดกรอบพอง โปรตีนจะลดการพองตัวลดขนาดของโพรงอากาศ เพิ่มความหนาแน่นและให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสกรอบแข็งมากยิ่งขึ้น

2) **ความชื้น** ในการผลิตจะต้องมีการเพิ่มความชื้นโดยการเติมน้ำลงไปในส่วนผสม เพื่อลดอุณหภูมิพร้อมกับคล้ายเป็นตัวหล่อลื่นให้ผลิตภัณฑ์ไหลไปข้างหน้า และเป็นส่วนสำคัญในการเกิดเจลเมื่อแป้งดูดความชื้นจะทำให้เกิดการพองตัว ทำให้น้ำเข้าไปได้มากขึ้น ถ้ามีการกวนที่แรงเพียงพอ หรืออุณหภูมิที่เพียงพอ หากความชื้นไม่สม่ำเสมอจะทำให้ปฏิกริยาการเกิดเจลของอาหารไม่สม่ำเสมอ เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่ได้คุณภาพ

3) **แป้งหรือสตาร์ช** ถ้าแป้งมีการทำให้สุกในที่ความชื้นสูง โครงสร้างของสตาร์ชจะขยายตัวดูดซับโมเลกุลของน้ำไว้จำนวนมาก ทำให้เกิดเจลาติไนซ์ มีลักษณะข้นคล้ายพลาสติก ถ้าที่ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นต่ำที่ใช้สำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน การเจลาติไนเซชันของเมล็ดแป้งขึ้นกับการผลของความร้อนและแรงเฉือนทางกลร่วมกัน เม็ดแป้งจะถูกเฉือนขณะเคลื่อนผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ การไหลของส่วนผสมต่างๆ ที่เหนียวในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์จะต้องอาศัยพลังงานทางกลจำนวนมากเพื่อใช้หมุนสกรูและจะปล่อยออกมาในรูปความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ผลของการเจลาติไนซ์เซชันและการเดกซ์เจอร์ไรเซชันคือ ได้โดที่เหนียวหรือโดที่หลอมซึ่งสามารถผ่านรูเอ็กซ์ทรูผ่านไดเพื่อขึ้นรูปและพองทันที่เมื่อความชื้นภายในที่มีอุณหภูมิสูงเปลี่ยนไปเป็นไอน้ำหลังจากออกจากไดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชเมื่อใช้อุณหภูมิและแรงเฉือนต่างกัน จะทำได้โดยการวัดค่าดัชนีการดูดน้ำ(WAI) และลักษณะการละลายน้ำ (WSI) โดยค่า WAI จะสูงขึ้นเมื่อความรุนแรงของสภาวะที่ใช้เพิ่มขึ้นส่วนค่า WSI จะลดลงเมื่อค่า WAI เพิ่มขึ้น

4) **ไขมัน** ทำหน้าที่เหมือนตัวหล่อลื่น ลดความเหนียวหนืดของส่วนผสมทำให้ถูกผลักพาได้ง่าย ถ้าไขมันสูงจะให้ผลิตภัณฑ์เนื้อแน่น ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความพองปริมาณไขมันควรต่ำกว่า 2 % แต่สำหรับผลิตภัณฑ์สแนคเพลเลท หรืออาหารสัตว์ที่ความชื้นสูง ซึ่งต้องการเนื้อแน่นปริมาณไขมันใช้ได้ตั้งแต่ 1-10 % สำหรับสกรูเดี่ยว ในกระบวนการผลิตนั้น วัตถุดิบจำเป็นต้องมีไขมันอยู่ในช่วง 12-17 % db เพราะ หากวัตถุดิบมีไขมันมากกว่านั้นจะทำให้แรงเสียดทานภายในบาร์เรลลดลง ทำให้พลังงานที่จะเปลี่ยนสภาพทำอาหารให้สุกมีค่าลดลง แต่สกรูคู่ วัตถุดิบต้องมีไขมันอยู่ในช่วง 18-22% db

5) **น้ำตาล** มักใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติเป็นส่วนใหญ่ น้ำตาลจะหอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 250 °ฟ จะช่วยลดความข้นหนืดของส่วนผสม ทำให้ผลักพาส่วนผสมได้ง่าย แต่อัตราที่น้อยกว่าน้ำและไขมัน ให้รสหวานและสี หากอุณหภูมิกว่านี้จะเกิดคาราเมลเป็นสีน้ำตาล

6) **อิมัลซิไฟเออร์** ใช้ในปริมาณน้อย น้อยกว่า 1% จะมีผลต่อเนื้อสัมผัส ขนาดของโพรงอากาศและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่มีการพอง เช่น การใช้ lecithin 0.5-1% จะควบคุมเนื้อสัมผัสและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ใช้ glycerol monostearate (GMS) 0.3-0.5% จะช่วยลดการติดฟัน (stickiness) และช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากอิมัลติไฟเออร์สามารถจับกับอะไมโลส ของแป้งทำให้เกิดการสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อเคี้ยวถูกน้ำลายในปากจึงไม่ติดฟัน

7) **เส้นใย** มีผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพราะ fiber จะทำหน้าที่เหมือน solid filler ทำให้ลักษณะการพองของโมเลกุลของแป้งพองตัวยากขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นถ้ามีไฟเบอร์มากขึ้น

8) **ขนาดของวัตถุดิบ** เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ เพราะส่วนใหญ่ส่วนผสม หรืออาหารที่ป้อนเข้าสู่บาร์เรลมักอยู่ในรูปที่เป็นผงหรือเป็นเม็ดเล็กๆ เนื่องจากจะทำให้ง่ายต่อการขนถ่ายส่วนผสมเพื่ออัดด้วยการเฉือนและนวด อีกทั้งยังทำให้ส่วนผสมรับความร้อนได้ทั่วถึง เพราะพื้นที่สัมผัสมาก หลอมเหลว สุกและขึ้นรูปขยายตัวได้ง่าย

ตารางที่ 2.1 สภาวะการทำงานของเครื่องมือแบบต่างๆ [6]

ตัวแปร	Pastra extruder	High Pressure Forming Extruders	Low Shear Cooking Extruders	Collet Extrudes	High Shear Cooking Extrudes
ความชื้นของวัตถุดิบ (%)	22	25	28	11	15
ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%)	22	25	25	2	4
อุณหภูมิสูงสุดของผลิตภัณฑ์ (°C)	52	79	149	199	149
ความดันสูงสุด (kPa)	-	1500-7000	-	7000	17000
ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในเครื่อง (sec)	-	15-45	-	-	30-90
ความเร็วของสกรู (rpm)	30	40	60	300	450
พลังงานสุทธิที่ต้องให้กับผลิตภัณฑ์ ($kWhgk^{-1}$)	0.02	0.03	0.07	0.10	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

1) อุปกรณ์ป้อนวัตถุดิบ (Feed Hopper)

เป็นส่วนที่รับวัตถุดิบ มีรูปร่างเป็นกรวยแบบง่ายๆ บางทีอาจเพิ่มระบบการกวนเข้าไปได้ถ้าวัตถุดิบมีความหนืด ในช่วงนี้จะมีการควบคุมอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบ เพื่อป้องกันการเกิดการติดขัดในเครื่อง

2) บาร์เรล (Barrel)

มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกครอบอยู่ตามความยาวของสกรู สามารถถอดออกเป็นตอนๆ ได้ ผิวด้านในมีการเซาะร่องเป็นแนวเพื่อลดการลื่นไหลของวัตถุดิบ ขณะเคลื่อนที่อยู่ภายในและยังเพิ่มแรงดันและแรงเฉือนด้วย แต่การมีร่องที่ผนังด้านในอาจทำให้เกิดการไหลย้อนกลับบ้างหากต้องการเพิ่มความสามารถในการทำงานในการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าของผลิตภัณฑ์จะออกแบบให้มีร่องเวียนเป็นเกลียวรอบผนังด้านใน ที่บริเวณนี้จะมีการเกิดแรงเฉือนสูงมากจะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงสูงทนต่อการขูดข่วน จึงมักจะเคลือบผิวด้านในด้วยโลหะพิเศษ โดยระหว่างการใช้งานจะต้องตรวจสอบดูแลสม่ำเสมอไม่ให้ช่องว่างระหว่างสกรูกับผิวด้านในของ บาร์เรลกว้างเกินไปจะต้องทำให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้และให้มีขนาดคงเดิมอยู่เสมอ แรงดันภายในระหว่างการใช้งานปกติอยู่ในช่วง 15-70 บรรยากาศ การใช้งานกับของที่แห้งมากหรือสภาวะที่การไหลภายในถูกขัดขวางแรงดันภายในอาจสูงกว่า 70 บรรยากาศ

3) Jacket

อยู่ล้อมรอบบาร์เรล มีหน้าที่ให้น้ำเย็น หรือน้ำร้อนไหลอยู่ภายใน เพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะใช้เครื่อง ซึ่งจะแบ่งออกเป็นช่วงๆ บางช่วงอาจใช้น้ำเย็น บางช่วงอาจใช้น้ำร้อน เพื่อการให้ความร้อน

4) สกรู (Screw)

สกรูมีลักษณะเป็นแกน มีเกลียวอยู่โดยรอบ โดยที่เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูอาจเท่าเดิมหรือค่อยๆเพิ่มขึ้นก็ได้ เช่นเดียวกับเกลียวบนสกรูอาจมีความลึกคงที่หรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และหน้าที่ในการทำงาน นอกจากนี้สกรูยังอาจมีทิศทางที่แตกต่าง หรือเหมือนกันก็ได้ หน้าที่ของสกรูในการทำงาน คือ รับและขนถ่ายวัตถุดิบ กดดันและเพิ่มแรงเฉือนให้แก่วัตถุดิบทำให้เกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอ บนสกรูอาจจะมีแผ่นกั้นเพื่อลดอัตราการเคลื่อนที่หรือเพิ่มแรงอัดซึ่งเรียกว่า restriction เข้าไปเป็นช่วงๆ ด้วยการออกแบบสกรูและทรงกระบอกที่หุ้มสกรูให้มีลักษณะต่างๆกัน จะทำให้เกิดแรงแอนและแรงอัดต่ออาหารที่มีขนาดต่างๆกัน

5) หน้าแปลน (Die)

ส่วนนี้อยู่ปลายสุดของเครื่องมือ มีรูปร่างลักษณะอันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆกันไป เมื่อเอ็กซ์ทรูเดตผ่านออกมาจากช่องนี้ จะเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วทันทีที่ออกมาจากหน้าแปลน เนื่องจากมีการลดความดันสู่ความดันบรรยากาศอย่างรวดเร็วทำให้ผลิตภัณฑ์มักจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์อาจคำนวณได้จากการทำสมดุลความร้อนที่ส่วนของช่องเปิดนี้ ถ้าสมมติว่ากระบวนการเป็นแบบอะเดียแบติก การสูญเสียความร้อนมีค่าน้อยเมื่อเทียบอัตราการไหลของมวลก่อนและหลังเปิดเท่านั้น และความจุความร้อนของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออุณหภูมิหรือความดันเปลี่ยนแปลงไป

6) ใบมีด (Knife)

เป็นส่วนที่กำหนดความยาวของเอ็กซ์ทรูเดตที่ออกมาจากหน้าแปลน ซึ่งมีให้เลือกหลายใบมีด อาจแบ่งเป็น 2 ใบมีด 3 ใบมีด หรือ เท่าใดก็ได้ แล้วแต่ความต้องการทางด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ข้อได้เปรียบของกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น

เอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการผลิตอาหารที่ทันสมัย ช่วยให้การขยายงานด้านอุตสาหกรรมการผลิตอาหารกว้างขวางยิ่งขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะตัวระบบ หรือเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์นั้นมีคุณลักษณะพิเศษหลายประการดังนี้

1) เอนกประสงค์ (versatility) ใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลากหลาย เพียงแต่เลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบ และปรับสภาวะของกระบวนการผลิตให้เหมาะสม
2) อัตราการการผลิตสูง (hight productivity) เป็นเครื่องจักรแบบต่อเนื่อง และมีอัตราการผลิตได้มากกว่าระบบอื่นๆ
3) ต้นทุนการผลิตต่ำ (low cost) จำนวนคนงาน และพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันต่อหนึ่งหน่วยการผลิตนั้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตด้วยวิธีอื่น
4) รูปทรงของผลิตภัณฑ์ (product shapes) ทำได้มากมายหลายแบบ ทำได้ง่ายเพียงเปลี่ยนแบบรูปทรงของรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน
5) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีมาก (high product quality) คุณภาพสูง เนื่องมาจากเป็นระบบ HTST (High Temperature and Short Time)
6) ประหยัดพลังงาน (energy efficient)
7) ทำผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆ (product of new foods)
8) ไม่มีน้ำทิ้งหรือสิ่งโสโครกที่ไหลจากโรงงาน (no effluents)
9) สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด โดยเปลี่ยนแปลงส่วนผสมและสภาวะของเครื่องมือที่ใช้ กระบวนการมีความยืดหยุ่นสูงสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆได้ตามความต้องการของผู้บริโภค และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างแปลกๆ ได้ ซึ่งวิธีอื่นทำไม่ได้หรือทำได้ยาก
10) ช่วยลดค่าใช้จ่ายเนื่องจากมีกำลังการผลิตสูง ต้องการเนื้อที่ต่อหน่วยการผลิตน้อยต้องการแรงงานน้อยและเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยจากการทดลองพบว่าการผลิตอาหารเช้า (breakfast cereal) โดยการเอ็กซ์ทรูเดอร์สามารถประหยัดค่าวัตถุดิบได้ 19% พลังงาน 100% แรงงาน 14% และการลงทุนด้านเครื่องจักร 44%
11) ขบวนการเอ็กซ์ทรูเดอร์จัดเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้นจึงช่วยลดการสูญเสียสารอาหารและขณะเดียวกันก็ช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนด้วย

2.1.5 ผลของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นที่มีต่อผลิตภัณฑ์

- ผลทางด้านประสาทสัมผัส เนื่องจากกระบวนการเป็นแบบอุณหภูมิสูงและเวลาสั้นจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นน้อย สีของอาหารอาจจะจางลงบ้างจากการขยายปริมาตรของผลิตภัณฑ์ หรืออาหารอาจมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของโปรตีนและน้ำตาลรีดิวซ์เมื่อมีความร้อน และอาจมีการสูญเสียกลิ่นไปพร้อมกับการระเหยของน้ำ อาจต้องมีการเติมสารให้กลิ่นหรือสีบางชนิดแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น
- ผลของการเอ็กซ์ทรูต่อการสูญเสียวิตามินในอาหารขึ้นกับชนิดของอาหาร ความชื้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการ เนื่องจากกระบวนการเป็นการใช้อุณหภูมิสูงเวลาน้อยจึงมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อย โดยการสูญเสียวิตามินขึ้นกับเวลาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง และขึ้นกับสภาวะของกระบวนการ การคำนวณการสูญสียไลซีนเป็นไปตามสมการ คือ

- การใช้อุณหภูมิสูงกับอาหารที่มีโปรตีนและน้ำตาลรีดิวซ์จะทำให้เกิดปฏิกิริยาแบบ Maillard ซึ่งจะทำให้คุณค่าของโปรตีนต่ำลง แต่การใช้สภาวะอุณหภูมิต่ำกับอาหารโปรตีนที่มีน้ำตาลน้อยจะทำให้คุณภาพของโปรตีนดีขึ้นเนื่องจากโปรตีนจะมีการจัดเรียงรูปร่างใหม่ทำให้ย่อยได้ง่ายขึ้น

2.2 ธัญชาติ

ธัญชาติ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มธัญพืช หรือกลุ่มพวกที่มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวฟ่าง ข้าวกล้อง ข้าวไรน์ ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต งา เมล็ดทานตะวัน ลูกเดือย จมูกข้าว รำข้าว เมล็ดบัว เป็นต้น และกลุ่มพวกที่มีองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันเป็นหลัก ได้แก่ ถั่ว และพวกถั่วเปลือกแข็งต่างๆ (บรรจบ ,2548)

จากการสำรวจพบว่า ถั่วเป็นแหล่งของโปรตีนและกำลังงานที่สำคัญถึงแม้ว่าโปรตีนจากถั่วจะมีคุณภาพด้อยกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์แต่สามารถใช้ทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ได้ในกรณีที่เนื้อสัตว์มีราคาแพงหรือไม่รับประทานอาหารประเภทเนื้อสัตว์ เนื่องจากอาหารประเภทโปรตีนเป็นอาหารหลักที่มีความจำเป็นต่อร่างกายของเราซึ่งถั่วแต่ละชนิดจะให้คุณค่าทางอาหารและระดับของโปรตีนที่ไม่เท่ากัน แบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

1) ถั่วที่มีโปรตีนสูงและมีไขมันเรียกว่า Oilseed legume เป็นถั่วที่เก็บสะสมพลังงานในรูปของไขมันได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เป็นต้น
2) ถั่วเมล็ดแห้งที่มีโปรตีนสูงและคาร์โบไฮเดรตสูงแต่ไขมันต่ำเรียกว่า Pulses เป็นถั่วที่เก็บสะสมพลังงานในรูปคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วแดง เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเมล็ดแห้ง

สารอาหาร	Oilseed legume (%)	Pulses (%)
โปรตีน	35-40	20-22
ไขมัน	18-20	1-3
คาร์โบไฮเดรต	20-30	60-70
พลังงาน	382-460	329-395
ความชื้น	10-13	10-13

ที่มา : วันชัย สมชิต ,2525 : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร [8]

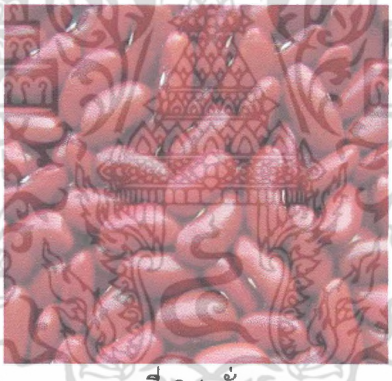
ปัจจุบันพฤติกรรมการบริโภคอาหารของคนไทยได้เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนไปของเศรษฐกิจและสังคม พบว่าคนไทยในปัจจุบันเริ่มมีแนวโน้มที่จะซื้อสินค้าโดยไม่ได้พิจารณาที่ราคาถูกที่สุด ผู้บริโภคจะมุ่งเน้นสุขภาพของตนเองและครอบครัวมากขึ้น เกือบทุกครัวเรือนจะต้องมีไม่อย่างใดก็อย่างหนึ่งที่เป็นอาหารเสริมสร้างสุขภาพ ไม่ว่าจะเป็นขนมปังเสริมวิตามิน เครื่องดื่มที่เติมแร่ธาตุบางชนิด หรือเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการเติมสมุนไพร เป็นต้น ทำให้บรรดาอุตสาหกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอาหารสร้างเสริมสุขภาพ (Functional Foods) มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วมากในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารเพื่อสุขภาพนั้นผู้บริโภคสามารถเลือกหารับประทานได้มากมาย ได้แก่ ผักผลไม้ ธัญพืช และพวกเมล็ดธัญชาติต่างๆ เช่น ถั่ว ถั่วเปลือกแข็งทุกประเภท อีกทั้งการเลือกทานถั่วและผักผลไม้ให้ครบ 5 สี ให้เข้ากับธาตุในร่างกายนั้น จะช่วยให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เป็นประโยชน์ และช่วยเสริมให้อวัยวะหลักสำคัญภายในทำงานได้ดียิ่งขึ้น [9] โดยเฉพาะเมล็ดถั่วมีราคาไม่แพง และยังมีสารอาหารครบทุกหมู่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต คือ แป้งและน้ำตาล โปรตีน ไขมัน วิตามิน เกลือแร่หลายชนิด

ถั่ว เป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ มีราคาไม่แพง และมีปริมาณจำหน่ายอยู่อย่างแพร่หลาย สามารถนำมาแปรรูปใช้บริโภคได้ทั้งในรูปแบบของอาหารคาวและอาหารหวาน[1] ถั่วมีหลายประเภท เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วขาว เป็นต้น นักโภชนาการแนะนำให้รับประทานถั่วเพื่อช่วยทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เป็นประโยชน์ และช่วยเสริมให้อวัยวะหลักสำคัญภายในทำงานได้ดียิ่งขึ้น ถั่วแดงเป็นพืชที่มีโปรตีน แอนโทไซยานิน และมีคุณค่าทางอาหารสูง ไทยสามารถส่งออกผลผลิตถั่วแดงได้ปีละประมาณ 20,000-30,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 150-190 ล้านบาท[11] การใช้ภายในประเทศมีน้อย สารแอนโทไซยานินมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชั่นของไขมันแอลดีแอล และยังทำให้เซลล์บุผนังหลอดเลือดมีความอ่อนนิ่ม การกินผักและผลไม้ที่มีสีแดงจึงสามารถชะลอการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือดและโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัวได้ [1]

2.2.1 ถั่วแดง



ภาพที่ 2.1 ถั่วแดง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วแดง (นาค โพธิ์แท่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร)
www.ku.ac.th/e-magazine/may47/agri/bean.html

ชื่อสามัญ ถั่วแดง (red kidney bean)
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Phaseolus vulgaris*
วงศ์ Fabaceae
ชื่ออื่น ถั่วแดงเมืองเลยหรือถั่วนิ้วนางแดง
ทางภาคเหนือ เรียกว่า ถั่วแดงหลวง
ที่จังหวัดเลย เรียกว่า ถั่วท้องนา หรือบ้านนา
พันธุ์ที่นำมาจากศรีลังกา เรียกว่า ถั่วแดงซีลอน
พื้นที่ปลูก จังหวัดเลย เชียงราย เชียงใหม่ ขอนแก่น พิษณุโลก และเพชรบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุ์ของถั่วแดง

พันธุ์ถั่วแดงที่ได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรชาวไทยภูเขาปลูกแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ พันธุ์สีแดงเข้ม และพันธุ์สีชมพู โดยพันธุ์สีแดงเข้ม มีสีสวยและเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่า พันธุ์สีชมพู แต่ พันธุ์สีชมพู มีขนาดของเมล็ดโตกว่าชนิดแรกเล็กน้อย ให้ผลผลิตต่อไร่ค่อนข้างสูง แต่สีของเมล็ดไม่เป็นที่ต้องการของตลาดมากนัก

ถั่วแดงหลวง (Red kidney bean) มักใช้บริโภคเมื่อเมล็ดแก่ มีรูปร่างคล้ายไต ซึ่งเรียกว่า Kidney bean และถ้ามีเมล็ดสีแดงด้วย ก็เรียกว่า red kidney bean

ถั่วแดงหลวงถูกนำเข้ามาปลูกในประเทศเป็นครั้งแรกโดยโครงการหลวงปี 2516 เพื่อจุดประสงค์ให้ข้าวไทยภูเขาปลูกเป็นพืชทดแทน ฝิ่นและช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินบนที่สูง ปัจจุบันถั่วแดงหลวงได้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของชาวไทยภูเขาและเป็น ที่สนใจของเกษตรกรในพื้นที่ราบทั่วไปในเขตภาคเหนือ

การแปรรูป

ถั่วแดง เป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีโปรตีนและมีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดี โดยต้องนำเมล็ดถั่วแดงไปต้มให้ เปื่อยก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์ ซึ่งการนำเอาเมล็ดถั่วแดงไปเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้จะต้องระมัดระวังอย่าให้สัตว์กินมากเกินไป เพราะจะทำให้สัตว์ท้องอืดได้ง่าย

นอกจากนี้แล้วถั่วแดงยังสามารถนำมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์ได้ทั้งที่เป็นผักสดและเมล็ดแห้ง ซึ่งในต่างประเทศแถบยุโรปหรืออเมริกา นิยมบริโภคเมล็ดถั่วแดงกันมาก ทั้งอาหารคาวและหวาน ยังใช้ประโยชน์ในด้านใช้เป็นอาหารลดความอ้วน และเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวานได้ดีอีกด้วย แต่ในประเทศไทยยังไม่ค่อย มีผู้นิยมบริโภคมากนัก เพราะเป็นพืชใหม่และยังไม่รู้จักการใช้ประโยชน์ แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะรับประทานเป็นของหวาน เช่น ถั่วแดงต้มน้ำตาล ทำไส้ขนมต่างๆ เชื่อมใส่น้ำแข็ง ขนมปังเนื้อถั่วแดง ไอศกรีมไส้ถั่วแดง เป็นต้น และยังประกอบอาหารคาว ได้แก่ หมูอบถั่วแดง ถั่วแดงอบ แกงถั่ว โอสถ ห่อหมก ซุบถั่วแดง เป็นต้น

(www.sksrt.ac.th/webschool/elearning/eleaming_01/bean/index.htm)

คุณค่าและประโยชน์

นอกจากถั่วแดงเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีแล้ว ยังให้ประโยชน์อีกหลายอย่าง คือช่วยขับปัสสาวะ บรรเทาอาการปวดบวม บรรเทาอาการปวดข้อต่อ ปรับสภาพเลือด กำจัดหนอง ขับพิษ บำบัดอาการประจำเดือนผิดปกติ ขับน้ำนม และยังบำรุงธาตุไฟในร่างกาย ซึ่งทำให้หัวใจทำงานดีขึ้น โดยคุณค่าทางโภชนาการของถั่วแดงจะแสดงในตารางที่ 3

ด้านเศรษฐกิจ

ในปัจจุบันถั่วแดงเป็นพืชตระกูลถั่วที่ค่อนข้างรู้จักกันมาก เนื่องจากเป็นพืชที่ส่งออกผลผลิตประมาณ 20,000-30,000 ตันต่อปี มีมูลค่า 150-190 ล้านบาท ตลาดส่งออกถั่วแดงของไทย ได้แก่ ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐเกาหลีใต้ ซึ่งส่วนใหญ่จะนำไปใช้ทำไส้ขนม การใช้ภายในประเทศมีน้อย แต่จะส่งออกเกือบทั้งหมด ปริมาณการผลิตแต่ละปีขึ้นอยู่กับราคาที่เกษตรกรได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ถั่วเหลือง

ความรู้ทั่วไปทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเหลือง

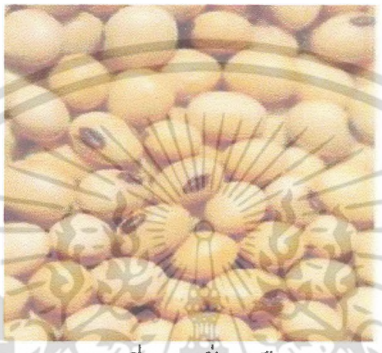
ชื่อสามัญ ถั่วเหลือง(Soybean)

ชื่อวิทยาศาสตร์ Glycine max *(L.) Merrill*

วงศ์ Fabaceae

ชื่ออื่น ถั่วพระเหลือง ถั่วแระ ถั่วแม่ตาย ภาคเหนือ เรียกว่า มะถั่วเน่า

พื้นที่ปลูก ส่วนมากปลูกแถบภาคเหนือ และภาคกลางตอนบนของประเทศ



ภาพที่ 2.2 ถั่วเหลือง

พันธุ์ของถั่วเหลือง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549)

การปลูกถั่วเหลืองปัจจุบันมีอยู่ประมาณ 10 พันธุ์ ปรับปรุงโดยกรมวิชาการเกษตร คือ สจ.4 สจ.5 สุโขทัย 1 สุโขทัย 2 สุโขทัย 3 นครสวรรค์ 1 เชียงใหม่ 60 เชียงใหม่ 2 เชียงใหม่ 3 เชียงใหม่ 4 ถั่วเหลืองที่ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร ได้ดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองขึ้นมาใหม่ คือ “พันธุ์ศรีสำโรง 1” ซึ่งให้ผลผลิตสูง มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น ทั้งยังสามารถต้านทานโรคราน้ำค้างได้ดี สำหรับพันธุ์ สจ.4 สจ.5 และ เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด และเป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งในประเทศไทยสามารถปลูกถั่วเหลืองได้ทั้งปี ปีละ 3 ฤดู

การแปรรูป

ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจในหลายประเทศผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อาหารที่ทำจากถั่วเหลือง ประเทศในแถบเอเชีย แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมักและผ่านการหมักก่อน ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก เช่น น้ำนมถั่วเหลือง เต้าหู้ เต้าฮวย ฟองเต้าหู้ ถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเหลือง ข้าวเกรียบโปรตีน รวมถึงผลิตภัณฑ์จากกากถั่วเหลือง เช่น น้ำพริกเผา พริกกับเกลือ ข้าวตู ถั่วกวน เป็นต้น ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักถั่วเหลือง เช่น ถั่วเน่า เทมเป้ ซอสถั่วเหลือง เต้าเจี้ยว เป็นต้นโปรตีนจากถั่วเหลือง หลังจากการสกัดน้ำมันถั่วเหลืองด้วยตัวทำละลายแล้ว ส่วนที่เหลือจะเป็นเนื้อถั่วที่อุดมด้วยโปรตีน สามารถแปรรูปเป็นอาหารหลายชนิด เช่น เนื้อเทียม (โปรตีนเกษตร) แป้ง บะหมี่โปรตีน เบเกอรี่ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในหลายๆ ประเทศ เพื่อเป็นการขยายตลาดและเพิ่มความนิยมในการบริโภคถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ เช่น ไอศครีม โยเกิร์ตถั่วเหลือง เนยถั่วเหลือง เป็นต้น

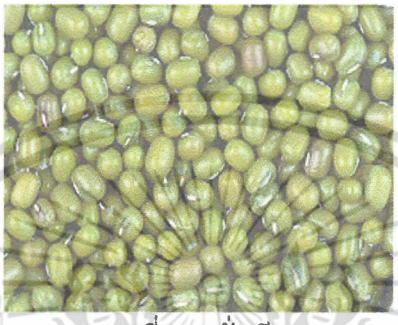
อาหารเสริมจากถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณค่าและประโยชน์

ถั่วเหลืองมีน้ำมันในปริมาณสูงมาก โดยน้ำหนัก และมีโปรตีน ส่วนที่เหลือเป็นคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีปริมาณมาก นอกจากนี้ยังมี เลซิทิน และกรดอะมิโน รวมทั้งมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก ไนอะซิน วิตามินบี1 และบี2 วิตามินเอและอี ซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของกระดูก ป้องกันการขาดแคลเซียมในกระดูก และบำรุงระบบประสาทในสมอง และยังบำรุงธาตุดินในร่างกาย ซึ่งทำให้ม้ามทำงานดีขึ้น ซึ่งจะแสดงตารางคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองในตารางที่ 2.3

2.2.3 ถั่วเขียว



ภาพที่ 2.3 ถั่วเขียว

ความรู้ทั่วไป

ชื่อสามัญ ถั่วเขียว , Mungbean ,green bean

ชื่อวิทยาศาสตร์ Vigna radiata (L.) R. Wilczek

วงศ์ Fabaceae

พื้นที่ปลูก มีปลูกอย่างกว้างขวางในทวีปเอเชียกลาง เอเชียใต้ และเอเชียตะวันออก

ชนิดและพันธุ์ของถั่วเขียว

ถั่วเขียวเป็นพืชที่มีอายุสั้น ปลูกเป็นพืชหมุนเวียนสลับกับการปลูกข้าวหรือพืชไร่อื่นๆ ถั่วเขียวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ประกอบด้วยถั่วเขียวผิวดำและถั่วเขียวผิวมัน จากข้อมูลพบว่าถั่วเขียวผิวมันเป็นที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย เพื่อประโยชน์ทางการค้าเป็นส่วนใหญ่ ในประเทศไทยนิยมปลูกกันแทบทุกภาคเพราะเป็นพืชปลูกง่ายใช้น้ำน้อยมีการตลาดกว้างขวางทั้งตลาดในและนอกประเทศมากกว่าถั่วเขียวผิวดำ ส่วนใหญ่นำไปใช้ในการเพาะถั่วงอก อุตสาหกรรมการทำวุ้นเส้น ถั่วซีกและแป้งถั่วเขียว แต่ถั่วเขียวผิวดำมักจะนำไปทำอาหารสัตว์ และส่งออกไปประเทศญี่ปุ่นเนื่องจากชาวญี่ปุ่นนิยมทานถั่วงอกจากถั่วเขียวผิวดำมากโดยพันธุ์ของถั่วเขียวมีอยู่ประมาณ 7 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 72 , พันธุ์ชัยนาท 36 , พันธุ์กำแพงแสน 1 (มก.) , พันธุ์กำแพงแสน 2 (มก.)พันธุ์ชัยนาท 60, พันธุ์ มทส.1 , พันธุ์ มอ.1,พันธุ์อู่ทอง1 และพันธุ์อู่ทอง 2

จากการสำรวจพบว่า ถั่วเขียวให้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 193.9 -254 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกได้ในทุกฤดูและในทุกภาคของประเทศไทย โดยพันธุ์ มอ.1 จะให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด คือ 254 กิโลกรัมต่อไร่ แต่พันธุ์อู่ทอง 1 จะเป็นที่ต้องการของตลาด เนื่องจากเมล็ดขนาดใหญ่ค่อนข้างสม่ำเสมอและผิวมัน (กรมวิชาการเกษตร , 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปรรูป

ถั่วเขียวโดยทั่วไปมักจะนำมาประกอบอาหาร โดยเมล็ดถั่วเขียวใช้ทำขนมหวาน ได้แก่ ถั่วเขียวต้มน้ำตาล ถั่วกวน เต้าส่วน อีกทั้งยังทำไส้ขนมหลายอย่าง นอกจากนี้ถั่วงอกก็ถือเป็นต้นอ่อนที่เกิดจากเมล็ดถั่วเขียว ซึ่งจะนำมาประกอบอาหารคาว ได้แก่ ผัดถั่วงอก ใส่ในก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น

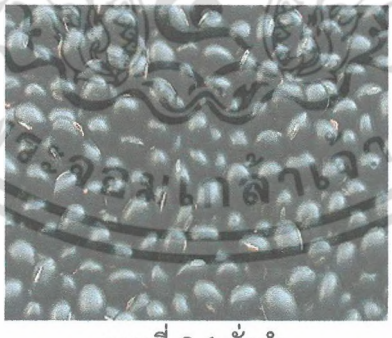
ถั่วเขียวไม่ใช่พืชที่ให้น้ำมันหรือโปรตีนเป็นหลัก แต่ให้ปริมาณแป้งและโปรตีนที่สูงกว่าถั่วชนิดอื่น ๆ ในด้านอุตสาหกรรม จึงนำไปทำเป็นแป้งถั่วเขียว ซึ่งแป้งถั่วนี้มักจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรือใช้ทำขนม เช่น ซาหริ่ม ส่วนแป้งสดนำไปใช้ทำวุ้นเส้นยังนำถั่วเขียวมาผลิตเป็นแป้ง ซึ่งเรียกว่าแป้งถั่วเขียว นำมาผลิต เป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว และขนมปังได้อีกด้วย

คุณค่าและประโยชน์

ถั่วเขียวมีองค์ประกอบที่สำคัญคือแป้งร้อยละ 62.7 โปรตีนร้อยละ 21.7 ความชื้นร้อยละ 10.2 เส้นใยร้อยละ 3.5-4.5 และไขมันร้อยละ 1.5 (สถาบันวิจัยโภชนาการ , มหาวิทยาลัยมหิดล)ซึ่งจะแสดงคุณค่าทางโภชนาการในตารางที่ 2.3 นอกจากโปรตีนที่ได้แล้วยังมี Thiamine, Riboflawin ,Niacin และ Ascorbic เพิ่มขึ้นอีก

มีงานวิจัยพบว่า วุ้นเส้นที่ทำจากถั่วเขียวให้ค่าการตอบสนอง ต่อน้ำตาลในเลือด (glycemic index) ต่ำเมื่อเทียบกับอาหารคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่หรือเส้นหมี่ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าแป้ง (starch) มีผลต่อระดับไตรกลีเซอร์ไรด์ในเลือด เพราะคาร์โบไฮเดรตที่บริโภคเข้าไป จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไตรกลีเวอร์ไรด์ ในยามที่ร่างกายมีการสะสมของไกลโคเจนเพียงพออยู่แล้ว นอกจากนี้ระดับโคเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ในเลือดมีความสัมพันธ์กับโรคที่เกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด และไตรกลีเซอไรด์จะยิ่งมีบทบาทอย่างมาก ในผู้ที่มีระดับเอชดีแอล (ไขมันคุณภาพดี) ต่ำ และยังบำรุงธาตุไม้ในร่างกาย ซึ่งทำให้ตับทำงานดีขึ้น

2.2.4 ถั่วดำ



ภาพที่ 2.4 ถั่วดำ

ความรู้ทั่วไป

ชื่อสามัญ ถั่วดำ(Black bean)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Bruguiera parviflora*

วงศ์ Rhizophraceae

ชื่ออื่น ที่จังหวัดระนอง เรียกว่าถั่วทะเล

ทางภาคใต้ เรียกว่า รังกะแท้

ทางมลายู-ใต้ เรียกว่า ลังกะได, นังกะได

พื้นที่ปลูก พื้นที่ ด้านในของป่าชายเลน ที่น้ำท่วมถึง อย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณค่าและประโยชน์

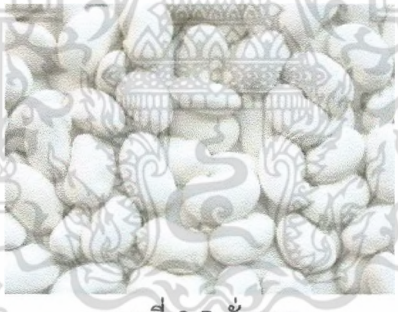
ถั่วดำ เป็นพืชล้มลุก เปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีดำ มีสารพวกแอนโทไซยานิน ซึ่งนับเป็นตัวล้างพิษชั้นดี ยังใช้แต่งสีขนม โดยต้มเคี่ยวกับน้ำหรือบดผสมกับแป้ง ในทางสมุนไพร มีรสหวาน บำรุงเลือด ขับของเหลวในร่างกาย ขับลม ขจัดพิษ บำรุงไต ขับเหงื่อ แก้ร้อนใน บำรุงสายตา เหมาะสำหรับผู้ที่มีอาการบวมน้ำ เหน็บชา ดีซ่าน ไตเสื่อม ปวดเอว อีกทั้งมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แคโรทีน ไนอะซิน วิตามินบี 1 และบี2 และสารที่ช่วยบรรเทาอาการปวดลำไส้เล็ก (วันดี , 2535) และจากงานวิจัยการศึกษา พบว่าผู้ที่บริโภคถั่วดำ 3 ถ้วยต่อวัน มีโอกาสเป็นโรคหัวใจน้อยกว่าผู้ที่บริโภคน้อยกว่า หรือไม่บริโภค ดังนั้นการบริโภคถั่วดำจึงเป็นอาหารที่ดีต่อหัวใจ

การศึกษาสารอาหารในถั่วดำ (black bean, Bruguiera parviflora) พบว่า อุดมไปด้วย แร่ธาตุ เช่น โฟเลท แมกนีเซียม กรดแอลฟาลิโนริอิค วิตามิน บี 6 และเส้นใย โดยมีโฟเลท มีประมาณ17 % ซึ่งมีประมาณมากพอสมควร และยังบำรุงธาตุน้ำในร่างกาย ซึ่งทำให้ไตทำงานดีขึ้น

การแปรรูป

ถั่วดำ (black bean) สามารถนำแปรรูปทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด โดยมีตำรับอาหารจากถั่วดำและวิธีทำ เช่น ประเภทเครื่องดื่ม ประเภทอาหารคาว อาหารหวาน และอาหารว่าง ได้แก่ น้ำถั่วดำ พันช์น้ำถั่วดำ ถั่วดำกวน ข้าวเหนียวถั่วดำ ถั่วดำฉาบ ข้าวเกรียบถั่วดำ เค้กถั่วดำ โดนัทถั่วดำ คุกกี้ถั่วดำ และยังนิยมทำไส้ขนมต่างๆ เช่น โดรายากิ เป็นต้น (ทัศนีย์, 2524)

2.2.5 ถั่วขาว



ภาพที่ 2.5 ถั่วขาว

ความรู้ทั่วไป

ชื่อสามัญ ถั่วขาว(White bean)
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Bruguiera cylindrical*
วงศ์ Rhizophraceae
ชื่ออื่น ประสักขาว,บรู้ส,รุ่ย
พื้นที่ปลูก เขตน้ำกร่อย ,บริเวณพื้นที่ป่าชายเลน (ข้อมูลจาก www.dnp.go.th)

การแปรรูป

ปัจจุบันถั่วขาวได้รับความนิยมแปรรูปเป็นสารสกัดถั่วขาว เป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะผง เพื่อช่วยในเรื่องการลดความอ้วน และยังเป็นส่วนผสมของเครื่องดื่มอาหาร รวมถึงทำเป็นอาหารเสริมจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณค่าและประโยชน์

ปัจจุบันถั่วขาวได้รับความนิยมแปรรูปเป็นสารสกัดถั่วขาว เป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะผง เพื่อช่วยในเรื่องการลดความอ้วน จากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญด้านสารสกัดจากถั่วขาว พบว่าในถั่วขาวนั้นมีคุณสมบัติพิเศษ เพราะมีสารสำคัญที่ชื่อว่า ฟาซิโอลามีน (Phaseolamin) ซึ่งมีฤทธิ์ทำให้เอนไซม์อะไมเลสเป็นกลาง ดังนั้น แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตที่เราบริโภคเข้าไป จึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ หากได้รับ "ถั่วขาว" เข้าไป นั่นคือร่างกายจะได้รับพลังงาน (แคลอรี) จากแป้งลดลงในระดับที่น่าพอใจ ซึ่งมีผลทำให้การสะสมของไขมันที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลเป็นไขมันลดลงด้วย เมื่อร่างกายได้รับพลังงานน้อยลง ไม่เพียงพอกับความต้องการในแต่ละวัน ร่างกายจึงต้องเผาผลาญไขมันเก่าที่สะสมออกมาใช้มากขึ้น จึงทำให้น้ำหนักลดลงโดยไม่ต้องใช้วิธีอดอาหาร และยังบำรุงธาตุโลหะในร่างกาย ซึ่งทำให้ปอดทำงานดีขึ้น

2.2.6 ลูกเดือย

ภาพที่ 2.6 ถั่วแดง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับลูกเดือย

ชื่อสามัญ Job's tear,Adley
ชื่อวิทยาศาสตร์ Coix lachyma-jobi Linn
วงศ์ Gramineae , Poaceae
ชื่ออื่น ทางภาคเหนือของไทย เรียกว่า เดือยหิน มะเตย
พายัพ เรียกว่า มะเดือย
ชาวกะเหรี่ยง-กำแพงเพชร เรียกว่า เป้นี
ชาวเขมร เรียกว่า สกูย
ถิ่นที่อยู่ เป็นพืชในเขตร้อนทั่วไป เช่น ประเทศไทย อินเดีย จีน แอฟริกา
ส่วนที่ใช้ รากและเมล็ด
(ข้อมูลจาก www.thaiherbclub.com)

ประเภทลูกเดือย

เดือยอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

เดือยหิน ใช้เป็นเครื่องประดับคล้ายลูกปัด เช่น ทำพวกสายสร้อย ตกแต่งเสื้อผ้า ซึ่งเป็นที่นิยมปลูกกันในหมู่ชาวเขาทางภาคเหนือ เดือยประเภทนี้มีเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นเงา หนา แข็ง และเหนียวมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีหลายสี เช่น สีขาว หรือเทาอ่อน หรือมีหลายสี อ่อนแก่บนเมล็ดเดียวกัน น้ำหนักทั้งเปลือก 100 เมล็ด อยู่ระหว่าง 10.5-32.8 กรัม ต้นส่วนมากจะเตี้ยกว่าเดือยประเภทอื่น

เดือยขบ มักจะปลูกกันตามบ้านในปริมาณน้อย สำหรับเป็นของขบเคี้ยวในครอบครัว หรือจำหน่ายในตลาดของ ท้องถิ่นโดยจะตัดทั้งช่อและต้ม มักจะพบในชนบททั่วไป เมล็ดขนาดโตค่อนข้างกลม เปลือกค่อนข้างหนาและแข็งปานกลาง ในการบริโภคนั้นต้องใช้ฟันขบจึงเรียกว่า "เดือยขบ" เปลือกมีหลายสี ปน กันบนเมล็ดเดียว เช่น ครึ่งหนึ่งสีครีมอีกครึ่งหนึ่งสีน้ำตาลแก่ น้ำหนัก 100 เมล็ดทั้งเปลือกประมาณ 18.6 กรัม เดือยขบมีลำต้นสูงประมาณ 2 เมตร

เดือยการค้า เป็นเดือยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และ ปลูกมากที่สุด เมล็ดที่กะเทาะเอาเปลือกออกแล้วจะใช้บริโภคได้หลายรูปแบบ เดือยการค้า จะมีทั้งเดือยข้าวเจ้าและข้าวเหนียว เนื่องจากมีทั้งประเภท ที่เปลือกหนาค่อนข้างแข็งและประเภทเปลือกบางเปราะ ถ้าเป็นชนิดแรก ผิวเปลือกมักจะมันเป็นเงามีสีขาวปนเทาส่วนชนิดหลังผิวเปลือกจะด้านและมักมีสีเดียวล้วนๆ เช่น มีสีน้ำตาลอมเทา เมล็ดจะยาวรี น้ำหนัก 100 เมล็ดทั้งเปลือกอยู่ ระหว่าง 10.8-19.0 กรัม ต้นเดือยการค้าจะสูงพอๆ กับเดือยขบ โดยปลูกมาก ในแทบจังหวัดเลย อำเภอ ที่ปลูก เดือยมาก ได้แก่ อำเภอภูหลวง อำเภอวังสะพุง และอำเภอเมือง ตามลำดับ พื้นที่ปลูก เดือยส่วนใหญ่ จะอยู่บนเนินเขา และที่ลาดเชิงเขา ส่งออก ไปยังต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น ไต้หวัน

การแปรรูป

แป้งเดือย เมื่อพิจารณาคุณภาพของแป้งจะแบ่งเดือยได้เป็น2ประเภทคือ

เดือยข้าวเจ้า เมื่อนำเดือยประเภทนี้ไปต้ม แป้งและน้ำต้มเดือย จะไม่เหนียวลื่นหรือเป็นเมือก เมล็ดทั้งเปลือกค่อนข้างยาวขนาดเล็ก เปลือกสีน้ำตาลแก่ ค่อนข้างหนาและแข็ง เนื้อแป้งของเมล็ดจะค่อนข้างแข็ง โรงสีจะชอบเพราะสามารถเก็บเมล็ดเดือยไว้ได้นาน เดือยชนิดนี้มีต้นสูง และลำต้นสีเขียวนวลขนาดใหญ่

เดือยข้าวเหนียว เนื้อแป้งเมื่อหุงต้มจะนุ่มเป็นเมือกลื่นๆ คล้ายกับข้าวเหนียว หรือมีแป้งข้าวเหนียว (อะไมโลเพ็คติน)เป็นส่วนใหญ่ มีแป้งอะไมโลสเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ ผู้บริโภคนิยมมากกว่าเดือยข้าวเจ้า เมล็ดทั้งเปลือกกลมสั้นโตกว่าเดือยข้าวเจ้าเปลือกเมล็ดสีเทาอ่อน บางและกรอบ บีบแตกง่าย เนื้อแป้งของเมล็ดจะค่อนข้างอ่อน ทำให้สีหรือกระเทาะได้น้ำหนักน้อยเพราะแตกหักง่าย แต่อาจทำให้ ได้รำมากข้นสีแล้วได้เนื้อเดือยมาก (เข้าใจว่าถ้าเมล็ดไม่แตกหัก) ต้นเตี้ยกว่าพันธุ์ข้าวเจ้า สีของลำต้นค่อนข้างเหลือง (กรมวิชาการเกษตร ,2552)

คุณค่าทางโภชนาการ

ลูกเดือย เป็นธัญพืช ประเภทคาร์โบไฮเดรต เดือยเป็นพืชพื้นเมืองแท้ๆของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่มีเส้นใยอาหารสูง เป็นพืชตระกูลเดียวกับข้าว โดยมีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวเม็ดจะออกกลม ๆ รี ๆ รสชาติออกมันเล็กน้อย ในตำรายาจีนบอกไว้ว่า ลูกเดือย ซึ่งมีรสจืดนั้นมีฤทธิ์เป็นยาเย็น ช่วยบำรุงกำลัง หล่อลื่นกระเพาะอาหารและลำไส้ บำรุงปอด ม้าม ตับ ขับปัสสาวะ ขับเสมหะ แก้ไข้ แก้ท้องเสีย แก้ทางเดินหายใจเหน็บชา แก้ปวดเข่า ปวดข้อ ไขข้ออักเสบ แก้ชักกระตุก บวมน้ำ ปอดอ่อนแอไอเป็นเลือด ฝีที่ลำไส้ แก้อาการ ตกขาวผิดปกติ ช่วยย่อยอาหาร บำรุงเส้นผมและผิวหนัง แก้ร้อนในกระหายน้ำ ลดการเกิดกระ รักษาโรคหูด ลดการ เกิดมะเร็ง เพราะมีสารคอกซีโนไลด์ (coxenolide)ที่มีสรรพคุณในการยับยั้งการเกิด

ด้านเศรษฐกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือยเป็นพืชไร่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของจังหวัดเลย มีพื้นที่ปลูกคิดเป็นประมาณร้อยละ 95 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ พื้นที่ปลูกเดือยส่วนใหญ่จะอยู่บนเนินเขา และที่ลาดเชิงเขา ซึ่งมีความลาดเอียงตั้งแต่ 3 - 45 องศา อำเภอที่ปลูกเดือยมากและปลูกต่อเนื่องกันมาเรื่อยๆ ได้แก่ อำเภอภูหลวง อำเภอวังสะพุง และอำเภอเมืองตามลำดับ ผลผลิตที่ได้ประมาณร้อยละ 85 - 90 จะส่งไปขายยังต่างประเทศ โดยตลาดที่สำคัญคือ ญี่ปุ่น และไต้หวัน ผลผลิตที่เหลือจะบริโภคภายในประเทศ ในแต่ละปีเดือยสามารถทำรายได้ เข้าจังหวัดเลยประมาณ 120 - 250 ล้านบาท สำหรับประเทศที่เป็นคู่แข่งทางการค้าของไทยคือ จีน และเวียดนาม เพื่อที่จะรักษาตลาดเดือยในต่างประเทศ จึงจำเป็นที่จะต้องผลิตเดือยที่มีคุณภาพดี ตรงตามที่ตลาดต้องการ และสามารถแข่งขันกับประเทศกับประเทศคู่แข่งได้

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของถั่ว 5 สีและลูกเดือย (ปริมาณต่อ 100 กรัม)

คุณสมบัติทางเคมี	ลูกเดือย	ถั่วเขียว	ถั่วแดง	ถั่วเหลือง	ถั่วดำ	ถั่วขาว
ความชื้น(g)	10.6	10.2	9.7	4.9	9.8	5.6
พลังงาน(kcal)	367	351	356	591	355	354
โปรตีน(g)	14.6	21.7	22.5	24.4	22.9	24.3
ไขมัน(g)	2.6	1.5	2.1	44.1	2.2	2.03
คาร์โบไฮเดรต(g)	71.2	62.7	61.7	24.1	60.9	59.7
ใยอาหาร(g)	3.6	26.1	27.8	20.0	19.7	3.8
แคลเซียม(mg)	19	76	68	54	73	-
ฟอสฟอรัส(mg)	148	335	370	451	431	200
เหล็ก(g)	4.8	7.4	6.4	8.9	17.0	-
วิตามินบี 1(mg)	0.34	0.80	1.09	1.61	0.98	-
วิตามินบี 2(mg)	0.09	0.20	0.18	0.12	0.26	-

ที่มา Food Composition Tables 1999. โดย สถาบันวิจัยโภชนาการ , มหาวิทยาลัยมหิดล และข้อมูลถั่วขาว (Rahaman et.al. , 2005)

2.3 ความหนืด (Viscosity)

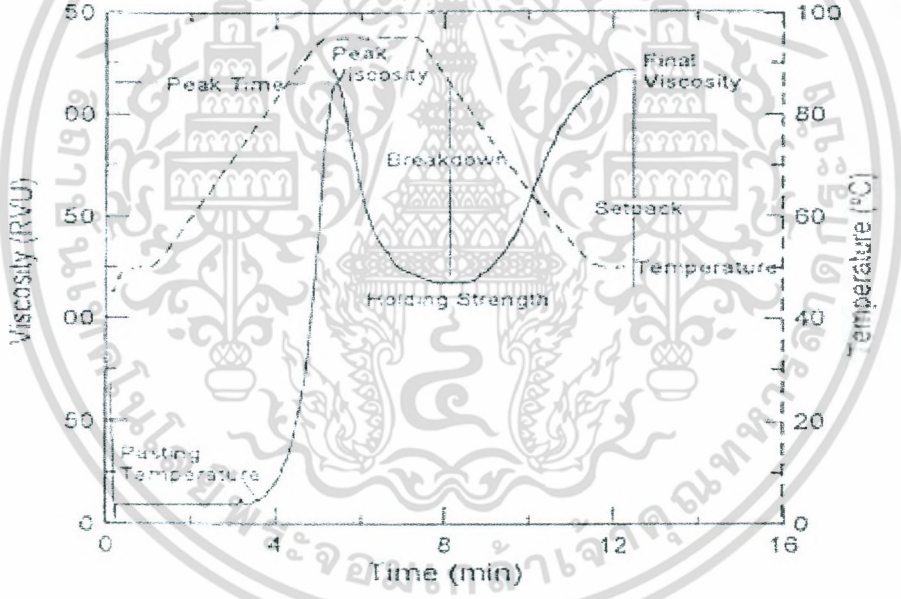
ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจาก เม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้นมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง หรือโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นมาอีกนี้เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน อุณหภูมิ shear rate ฯลฯ แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ชนิดของแป้ง

การวิเคราะห์ความหนืดของน้ำแป้งสุก (paste) มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ ในที่นี่เราจะศึกษาวิธี การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง rapid visco analyser (RVA)ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนามาเพื่อติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้งอีกแบบหนึ่ง คุณสมบัติพิเศษของเครื่องนี้คือ สามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิทั้งการทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ควบคู่ไปกับความสามารถในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้สามารถหา pasting curve ได้ภายใน 13 นาที เนื่องจากมีกลไกในการส่งผ่านความร้อนที่ดีและยังใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าด้วย

การทำงานของเครื่อง RVA เป็นเครื่องทดสอบความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เวลา และอัตราเร็วในการกวน ซึ่งเครื่องจะทำการบันทึกอุณหภูมิและ viscosity profile ที่เปลี่ยนไปกับเวลาดังรูป 2.3



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิยมาศ, 2546 ได้ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสต้าข้าวเจ้า ที่ได้จากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น โดยใช้แป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ คือ ข้าวเหลืองประทิว 123 , ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวซาซานิชิกิ มาทำการศึกษาในสภาวะที่แตกต่างกัน คือ ระดับความชื้นของแป้ง , อุณหภูมิบาเรล และความเร็วรอบของสกรู จากการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิของบาเรล และความเร็วรอบของสกรูเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้มีอัตราการพองตัวเพิ่มสูงขึ้น และถ้าเพิ่มปริมาณความชื้นเริ่มต้น จะทำให้เอ็กซ์ทรูเดตมีการพองตัวลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ช่วยหล่อลื่นระบบภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ทำให้ลดการเสียดสีและความดันลง ดังนั้นเมื่อโดออกมาจากหน้าแปลน และเข้าสู่สภาวะความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติแรงดันภายในของดดที่เกิดจากไอน้ำ จึงน้อยกว่าโดที่มีน้ำน้อยทำให้อัตราการพองตัวลดลง ในขณะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิบาเรล จะทำความดันไอของโดและความสามารถในการระเหยของไอน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เอ็กซ์ทรูเดตเกิดการพองตัว เช่นเดียวกับกรณีการเพิ่มความเร็วรอบของสกรู จะส่งผลให้เกิดแรงเฉือน และความดันในบาเรลเพิ่มมากขึ้น เอ็กซ์ทรูเดตมีการพองตัว แต่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากแรงเฉือนมีผลกระทบต่อโครงสร้างของเม็ดแป้ง [11]

สิริมาศ, 2548 ได้ศึกษาผลของฟลาวข้าวขาวดอกมะลิ 105 มันเทศและปลาป่นต่อคุณภาพอหารขบเคี้ยวด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น พบว่าอาหารขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นจากฟลาวมันเทศซึ่งได้จากมันเทศ 4 รูปแบบ คือ ปอกเปลือกและลวก ปอกเปลือกและไม่ลวก ไม่ปอกเปลือกและลวก และไม่ปอกเปลือกและไม่ลวก มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในทุกคุณลักษณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) การลวกมีผลทำให้อาหารขบเคี้ยวมีสีเหลือง และความแข็งมากขึ้น การปอกเปลือกทำให้ความแข็งลดลง และจากการศึกษาอัตราส่วนที่ใส่ของส่วนผสม พบว่าเมื่อปริมาณฟลาวมันเทศและปริมาณปลาป่นเพิ่มขึ้นทำให้อาหารขบเคี้ยวมีค่าความหนาแน่น และความแข็งเพิ่มขึ้น แต่อัตราการพองตัวลดลง การเพิ่มปริมาณกลีเซอริลโมโนสเดียเรต(ร้อยละ0,0.5 และ1.0) ทำให้อัตราพองตัวลดลง แต่ความหนาแน่นและความแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏลดลง[12]

Altan et al.,2008 ได้ศึกษาการประเมินผลของอาหารขบเคี้ยวจากการผสมข้าวบาร์เล่ย์และกากมะเขือเทศโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน การผสมของแป้งข้าวบาร์เล่ย์ และกากของมะเขือเทศในกระบวนการการหมุนของ twin-screw เอ็กซ์ทรูเดอร์ และการทดลองออกแบบจากอุณหภูมิหน้าแปลน (140 – 160°C) ความเร็วสกรู (150 – 160 rpm) ระดับของกากมะเขือเทศที่ (2 – 10 %) นำตัวแปรอิสระในการสร้างมารวมกัน 20 ค่าที่แตกต่างกัน ศึกษาการใช้โดยวิธีตอบสนองทางเนื้อสัมผัส ในการตรวจสอบผลตอบสนองของตัวแปรของระบบ (SME , อุณหภูมิหลอมละลายหน้าแปลน , และอุณหภูมิหน้าแปลน) และอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ , ความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ และดัชนีการถูกทำละลาย , สี จากนั้นคัดเลือกสิ่งที่จำเป็นที่นำมาใช้ประมวลผลในเทอมของสี , องค์ประกอบ , การชึม และทุกอย่างที่ยอมรับได้[13]

สมการการถดถอยได้อธิบายผลกระทบที่เกิดขึ้นจากตัวแปรของผลิตภัณฑ์ ตัวแปรและผลตอบสนองของกระบวนการจะได้รับมากที่สุดจากการเปลี่ยนอุณหภูมิ , ระดับกาก และน้อยที่สุดจากความเร็วการบิดจากการเอกซ์ทรูเดอร์ระดับกากมะเขือเทศที่เอกซ์ทรูดจาก 2 % และ 10 % ที่ 160°C และ 20 rpm ให้ความพึงพอใจที่สูงสุด ระดับของตัวแปรของสี การชึม และทุกสิ่งทุกอย่างที่ยอมรับได้ ผลลัพธ์ที่แนะนำของกากมะเขือเทศทำให้สามารถเอ็กซ์ทรูเดอร์จากแป้งข้าวบาร์เล่ย์และกลายเป็นที่น่าพอใจ และเหมาะที่จะนำมาทำขนมขบเคี้ยวทางอาหาร

Bhattacharya, 1997 ได้ทำการศึกษาข้าวผสมถั่วเชียวที่ผ่านการอัดพองด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ โดยใช้ขนาดบาเรลที่ 31 mm ให้อุณหภูมิภายในบาเรลในช่วง 100-175°C และความเร็วรอบของสกรูในช่วง 100-400 rmp เป็นตัวแปรศึกษาในการวิเคราะห์ค่าทอร์ค SME(specific mechanical energy) และวิเคราะห์คุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดตที่ได้ ได้แก่ อัตราการพองตัว ความหนาแน่น และความเค้นเฉือนสูงสุด การอธิบายค่าของฟังก์ชันที่กล่าวมา จะสัมพันธ์กับขอบเขต คือ $r \geq 0.87$, $p \leq 0.01$ กับตัวแปร คือ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิของบาเรล โดยใช้สมการสมการพอลิเนอร์เมียลกำลังสอง พบว่า ค่าทอร์คระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นจะมากที่สุดเมื่อค่าอุณหภูมิสูงสุด , ค่า SME จะแปรผันตรงกับระดับความเร็วรอบของสกรู ในขณะที่ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระดับอุณหภูมิและค่าความเร็วรอบของสกรูเพิ่มสูงขึ้น สรุปได้ว่าอุณหภูมิและความเร็วรอบเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเอ็กทรูชั่น และคุณลักษณะของเอ็กทรูเดต ดังนั้นอุณหภูมิของบาเรลที่สูงกับ ค่าความเร็วรอบของสกรูที่ต่ำจะเป็นสภาวะเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ที่พองตัว [14]

Bo et al.,2006 ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากของกระบวนการเอ็กทรูชั่นในอาหารขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวเป็นหลัก โดยกำหนดอัตราการป้อน(20-32%) ความชื้นเริ่มต้น(14-22%) ความเร็วรอบของสกรู(180-320 rpm) และอุณหภูมิบาเรล(100-140 °C) โดยศึกษาคุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดตที่ได้ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ,การขยายตัว,ค่า WAI และ WSI และทางประสาทสัมผัส คือ ความแข็ง(Hardness) กับความกรอบ(Crispness) พบว่า เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้นทำให้เอ็กซ์ทรูเดต มีการขยายตัวเพิ่มขึ้น ,ค่า WSI ลดลง , ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้มีความหนาแน่นสูงขึ้น , การขยายตัวลดลง , ค่าWAI WSI และความแข็งสูงขึ้น ในขณะที่ความกรอบลดลง เนื่องจากการเพิ่มความชื้นจะทำให้รูปร่างโมเลกุลของอะไมโลเพกตินในวัตถุดิบเปลี่ยนไปหรือเสียโครงสร้าง ทำให้ไม่เกิดการพองตัวและแตกตัว ค่าที่ได้จึงได้ผลดังกล่าว และเมื่ออุณหภูมิของบาเรลสูงขึ้นทำให้เอ็กซ์ทรูเดตมีค่าการขยายตัว ,ค่า WSI และความกรอบเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นลดลง ส่วนความเร็วรอบของสกรูนั้นมีผลกระทบต่อความหนาแน่นของเอ็กซ์ทรูเดตเพียงเล็กน้อยสำหรับในงานวิจัยนี้ [15]

Lu et al., 2006 ได้ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต ที่ผสมธัญพืชและองค์ประกอบต่างๆที่มีคุณค่าได้แก่ แป้งข้าวโพด 20% ,แป้งถั่ว chickpea 30% ,มะเขือเทศ แครอท และหัวหอมใหญ่ผงอย่างละ 5% ,ใบโหระพา 1.5% เป็นต้น พบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนวัตถุดิบ และความเร็วรอบของสกรูไม่มีผลกระทบต่อ สี รสชาติ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส ของเอ็กซ์ทรูเดตที่ได้ในระดับความเชื่อมั่น 95% ในทางตรงกันข้าม เมื่อความเร็วรอบของสกรูเพิ่มขึ้น จะทำให้การพองตัวและความแข็ง ของเอ็กซ์ทรูเดตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบ จะทำให้ค่าความแข็งลดลง และอัตราการพองตัวเพิ่มมากขึ้น [16]

Plunkett et.al., 2007 ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิบารเรล (75 – 150°C) และความเร็วการ สกรูที่ (100 – 300 rpm)ที่มีผลต่อ L-ascorbic acid ในข้าวจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน พบว่าอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรู ทั้ง 2 ปัจจัยนี้ มีผลกระทบต่อปริมาณของL-ascorbic acid การเปลี่ยนแปลความเร็วรอบของสกรูไม่ค่อยมีผลต่อระดับของL-ascorbic acid เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบาเรล เมื่ออุณหภูมิบาเรลเพิ่มและความเร็วรอบของสกรูถึง200 rpm จะเกิดการสูญเสียของ L-ascorbic acid แต่ถ้าความเร็วรอบของสกรูมากว่า 200 rpm จะไม่พบการสูญเสีย L-ascorbic acid ดังนั้นการผลิตอาหารขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการนั้น ควรมีการคำนึงถึงประสิทธิภาพที่จะรักษา L-ascorbic acid ในระหว่างขบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันด้วย [17]

Shirani and Ganesharanee, 2009 ทำการวิจัยการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การดูดซับน้ำ ค่าความแข็ง การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การทดสอบกลิ่น รสชาติ ความหยาบ สี ของเมล็ดพืชที่ชื่อ Fenugreek ที่มีสรรพคุณทางยา ในอัตราส่วน 5%,10%,15% และ 20% ของส่วนผสมของ ถั่ว Chickpea กับข้าว ในอัตราส่วน ระหว่างถั่ว Chickpea กับ ข้าว เท่ากับ 70 :30 ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ผลปรากฏว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ ส่วนผสมที่ 15% ส่วนลักษณะของสีที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 5-15% ซึ่งผลสรุปที่ดีที่สุดอยู่ที่ส่วนผสมที่ 15% [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินวิจัย

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การทดลองนี้ใช้ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วดำ ถั่วขาว และลูกเดือยพันธุ์ข้าวเจ้า มาทำการบดด้วยเครื่อง Hammer mill ใช้ขนาดตะแกรงของเครื่องบด 2 mm และขนาดตะแกรง 1 mm ตามลำดับ ได้ขนาดอนุภาคในช่วง 30-40 mesh นำวัตถุดิบที่ผ่านการบด มาผสมในอัตราส่วนต่างๆ ตามแผนการทดลอง และทำการปรับสภาพให้มีความชื้นคงที่ 16%

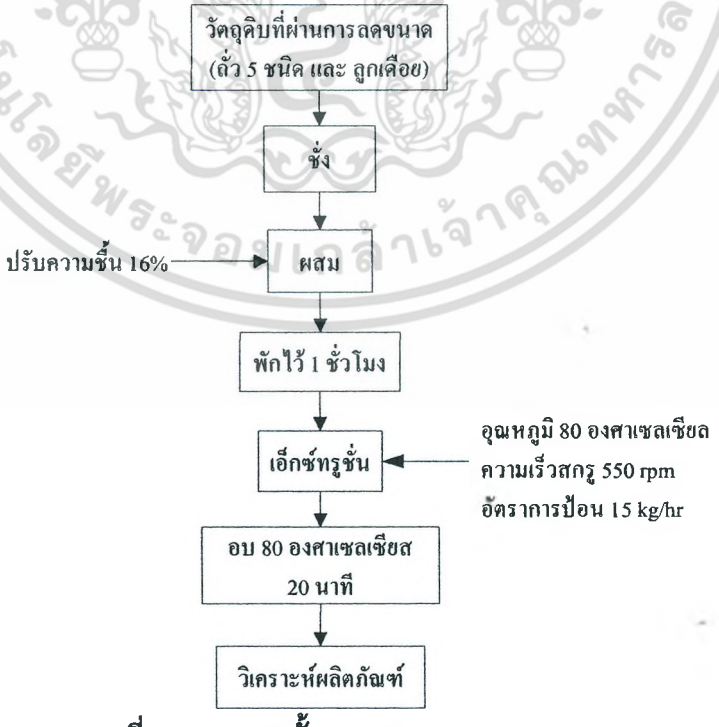
3.2 ขั้นตอนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น

การเตรียมเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

ในการศึกษาใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดียว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 28 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 35 mm ระยะพิทช์ 25 mm ความยาวเกลียว 317.5 mm ความลึกของร่องเกลียว 3.5 mm สกรูมีลักษณะเป็นเกลียว 2 ปาก

การผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่น

นำลูกเดือยและถั่วมาผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในเครื่องผสมเป็นเวลา 15 นาที และทำการปรับความชื้นที่ 16 % พักไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นตั้งค่าการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ความเร็วของสกรู 550 rpm ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 70 °C จากนั้นป้อนวัตถุดิบที่เตรียมไว้เข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ในอัตราการป้อน 15 kg/hr รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ที่ 115 °C เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างเอ็กซ์ทรูเดต จากนั้นนำเอ็กซ์ทรูเดตไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบแล้วนำมาพักรอให้เย็นแล้วบรรจุลงถุงพลาสติก ปิดผนึก และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆตามที่กำหนดไว้



ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิเคราะห์คุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดต

ตัวอย่างเอ็กซ์ทรูเดตที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ซึ่ง มีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ค่าความชื้น (Moisture content)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (AOAC, 1990)

1) นำภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่ล้างสะอาดแล้วมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาวางให้ในโถดูดความชื้นให้เย็น ก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก
2) นำตัวอย่างที่บดแล้วประมาณ 2 กรัมใส่ลงในภาชนะที่อบแล้ว
3) นำภาชนะที่ใส่ตัวอย่างพร้อมฝาเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4) ปิดฝาแล้วนำเข้าไปในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 20 นาที
5) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ
6) คำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานเปียกจากสูตร

$$MC(\%) = \frac{\text{น้ำหนักตัว อย่างก่อนอ บ - น้ำหนักตัว อย่างหลังอ บ}}{\text{น้ำหนักตัว อย่างก่อนอ บ}} \times 100$$

3.3.2 ความหนาแน่น (Bulk density)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1) นำผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตใส่ในกระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร จนล้นแล้วเขย่า 3 ครั้ง
2) ปาดส่วนที่เกินออก
3) ชั่งน้ำหนักเอ็กซ์ทรูเดตในกระบอกตวง บันทึกค่าที่ได้
4) คำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม จากสูตร

$$\text{ความหนาแน่นจริง} = \frac{\text{น้ำหนักเอ็กซ์ทรูเดตในกระบอกตวง}}{\text{ปริมาตรกระบอกตวง(1ลิตร)}}$$

3.3.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) และความสามารถในการละลายน้ำ (WSI)

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ (Anderson,1969)

1) บดตัวอย่างด้วยเครื่องปั่น
2) ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบดประมาณ 4-5 กรัม ใส่ลงในบิกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนัก
3) เติมน้ำกลั่นประมาณ 30 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนัก
4) ทำการคนอย่างสม่ำเสมอ เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
5) นำมาเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge โดยใช้ความเร็วที่ 3000 g /10 min
6) ปิดเครื่อง แยกส่วนใสที่ได้ลงในจานระเหยที่ทราบน้ำหนักและชั่งน้ำหนัก ส่วนตะกอนที่ก้นหลอดให้นำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า WAI จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$WAI(g/g) = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}}$$

7) ระเหยส่วนใสบนเครื่อง Hot Plate จนแห้งแล้วจึงนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C จนน้ำหนักคงที่

8) นำจานระเหยออกมาวางไว้ในโถดูดความชื้นให้เย็นเป็นเวลา 20 นาทีแล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่า WSI

$$WSI(\%) = \frac{\text{น้ำหนักของ แข็งที่ละล ายในส่วนใส}}{\text{น้ำหนักตัว อย่างแห้งเ ริ่มต้น}} \times 100$$

3.3.4 อัตราส่วนการขยายของผลิตภัณฑ์ (Expansion Ratio, ER)

คือ อัตราส่วนการพองตัวของเอ็กซ์ทรูเดต

โดยสูตรการคำนวณ(Alvarez-Martinez,1988) คือ

$$ER = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่าง(mm)}}{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าแปลน(mm)}}$$

3.3.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-XT. Plus. Stable Micro system Co,Ltd , uk)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1) ประกอบหัววัดแบบP2 และฐานเข้ากับตัวเครื่อง
2) เปิดเครื่อง และ คอมพิวเตอร์
3) เข้าโปรแกรม Texture Exponent 32
4) ทำการ calibrate force ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตฐาน 2000 g
5) ทำการ calibrate height โดยตั้งระยะหัววัดให้สูงกว่าความสูงของตัวอย่างเล็กน้อย
6) ตั้งโปรแกรมโดยเลือกรูปแบบการทดสอบพร้อมทั้งจัดค่าความเร็วของหัววัดเริ่มต้นเท่ากับ 1 mm/s ความเร็วขณะกดเป็น 1 mm/s ความเร็วขณะดึงหัวกลับเป็น 10 mm/s ระยะที่ใช้กด strain 100% และ trigger เป็น 20 g. รวมถึงการตั้งหน่วยของกราฟที่ต้องการ โดยแกน x เป็นระยะทาง (mm) และแกน y เป็นแรง (kg.)
7) นำตัวอย่างมา 1 ชิ้น และทำเครื่องตามตำแหน่งที่ต้องการวัด
8) เดินเครื่องโดยควบคุมตำแหน่งกดให้มั่นคง รอจนกระทั่งเครื่องทำงานเสร็จ
9) ทำการวัดค่าแรงกด 5 ซ้ำ
10) บันทึกกราฟที่ได้ อ่านค่าแรงแตกหักสูงสุด (g) จำนวนพีค (Crispness) และพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกดกับเวลา (Toughness, g.sec)
11) คำนวณค่า Hardness จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Hardness}\left(\frac{g}{mm^2}\right) = \frac{\text{แรงแตกหักสูงสุด}}{\text{พื้นที่ตัวอย่างที่ทำการวัด}}$$

Crispness = จำนวน peak

Toughness = พื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกดกับเวลา

3.3.6 สี (Color)

ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Colorimeter

1) เปิดแผ่นกำบังแสงออกแล้วเอากล่องครอบที่ตัวอย่าง
2) เลือก Measurement แล้วกด enter
3) ปิดแผ่นกำบังแสงโดยครอบกล่องดำไว้เหมือนเดิม กด F1 เปิดแผ่นบังแสงออกแล้วใส่แผ่นมาตรฐานแป้งสีขาวลงไปในตลับ เพื่อทำการ Calibrate แล้วครอบกล่องดำไว้เหมือนเดิม และกด F1
4) ตรวจวัดค่าที่ได้จากการวัดให้ตรงกับค่าที่ข้างกล่องแผ่นมาตรฐานแป้ง (ถ้าไม่ตรง ต้องเริ่มทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ใหม่)
5) ใส่ตัวอย่างที่บดแล้วลงในตลับ ครอบกล่องดำแล้วทำการวัดค่า เวลาวัดให้กด F1 ตลอดเมื่อมีการวัดค่าใหม่ทุกครั้ง ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมให้กด F10

3.4 การวางแผนการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรที่ศึกษา ดังนี้

3.4.1ตัวแปรอิสระ (Independent variables)

ส่วนผสมในแต่ละสูตร

- **สูตรที่ 1 (ไม่ปรุงแต่งรส)**

ถั่วเหลือง (YB)	:	ลูกเดือย(JT)	30 : 70
ถั่วเขียว (GB)	:	ลูกเดือย(JT)	50 : 50
ถั่วขาว (WB)	:	ลูกเดือย(JT)	50 : 50
ถั่วแดง (RB)	:	ลูกเดือย(JT)	50 : 50
ถั่วดำ (BB)	:	ลูกเดือย(JT)	50 : 50

- **สูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส)**

ใช้อัตราส่วนของถั่ว: ลูกเดือย เช่นเดียวกับสูตรที่ 1 แต่มีการเพิ่มส่วนผสมน้ำตาล5% และสารคาร์บอเนต 1% จากส่วนผสมทั้งหมด

3.4.2 ตัวแปรตาม (Dependent variable)

1) สี
2) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)
3) ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index)

5) ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index)

6) อัตราส่วนการขยายตัว (Expansion Ratio, ER)

7) ความชื้นของเอ็กซ์ทรูเดต

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่ออธิบายผลกระทบของตัวแปรที่ศึกษา (อัตราส่วนถั่วและความเร็วรอบสกรู) ใช้วิธี Regression analysis เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรที่ทำการศึกษากับผลของเอ็กซ์ทรูเดตที่ได้ ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลลำดับที่ 2 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{11}X_1^2 + a_{12}X_1X_2$$

เมื่อ Y_i = คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต ได้แก่ ความชื้น ความหนาแน่น อัตราส่วนการขยายตัว ค่าสี ค่าความสามารถในการดูดซับและละลายน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัส

X_i = ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนของถั่ว(X_1), ความเร็วรอบของสกรู (X_2)

a_{ij} = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

โดยที่ i,j = 0,1,2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต

ในการวิจัยนี้ ได้นำเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากถั่ว 5 สี ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาวมาผสมกับลูกเดือย โดยแบ่งเป็นสูตรที่ไม่ปรุงแต่งกลิ่นรส และสูตรที่ 2 เป็นสูตรที่มีการปรุงแต่งกลิ่นรส ผลวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต

รายการ	YB:JT	GB:JT	BB:JT	WB:JT	RB:JT
Energy (Kcal)	**420.36** (420.1235)	**396.53** (391.62)	**393.45** (392.1601)	**394.97** (397.83)	**395.35** (389.65)
Water (grams)	**3.21** (2.1387)	**1.50** (1.95)	**2.46** (2.01)	**3.38** (1.84)	**1.97** (2.61)
Protein (grams)	**21.30** (20.26)	**20.43** (19.13)	**20.20** (19.10)	**19.41** (18.55)	**17.52** (18.55)
Fat (grams)	**8.86** (8.43)	**2.76** (2.58)	**2.86** (2.71)	**3.51** (3.36)	**3.25** (3.04)
Carbohydrate (grams)	**63.86** (65.81)	**72.49** (72.96)	**71.72** (72.85)	**71.42** (73.35)	**74.00** (74.21)
fiber (grams)	**4.09** (3.89)	**4.25** (3.98)	**4.32** (4.09)	**3.51** (3.35)	**3.97** (3.71)
Ash (grams)	**2.77** (2.63)	**2.82** (2.64)	**2.75** (2.60)	**2.27** (2.17)	**3.25** (3.04)
Calcium (milligrams)	**93.76** (89.19)	**79.50** (74.44)	**41.05** (38.82)	**10.27** (9.8185)	**73.84** (68.95)
Phosphorus (milligrams)	**37.26** (415.98)	**388.69** (363.94)	**455.29** (430.55)	**196.81** (188.10)	**429.24** (401.06)
Iron (milligrams)	**9.29** (8.84)	**7.29** (6.83)	**13.23** (12.51)	**8.00** (7.65)	**4.41** (4.12)
Thaiamin (milligrams)	**0.53** (0.50)	**0.42** (0.39)	**0.31** (0.29)	**0.3785** (0.36)	**0.30** (0.28)
Riboflavin (milligrams)	**0.14** (0.1305)	**0.17** (0.16)	**0.12** (0.11)	**0.28** (0.27)	**0.73** (0.78)
Niacin (milligrams)	**2.83** (2.69)	**3.15** (2.95)	**2.48** (2.35)	**3.14** (3.00)	**3.20** (2.99)

หมายเหตุ สูตรที่ 1 - ไม่ปรุงแต่งกลิ่นรส, สูตรที่ 2 - ปรุงแต่งกลิ่นรส (แสดงค่าในวงเล็บ)

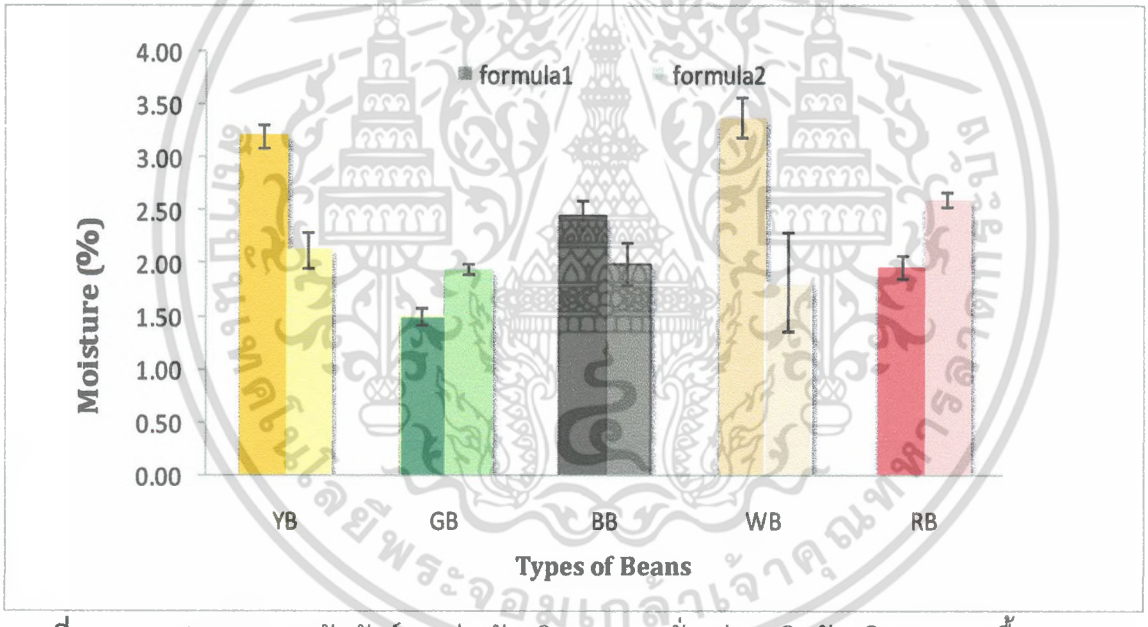
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสำรวจข้อมูลตลาดอาหารขบเคี้ยวพบว่า โดยทั่วไปอาหารขบเคี้ยวมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ คือมีโปรตีนเพียง 3.3-8.3 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณที่แนะนำจากกระทรวงสาธารณสุขควรให้มีโปรตีน 2.5-3.0 กรัมต่อพลังงาน 100 แคลอรี หรือคิดเป็น 10-12 เปอร์เซ็นของพลังงานทั้งหมด ในขณะเดียวกันพบว่าปริมาณน้ำมันในอาหารขบเคี้ยวมีปริมาณสูงถึง 8.00-34.00%

สำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดคจากถั่ว 5 สีที่ผลิตจากงานวิจัย มีค่าโปรตีนคิดเป็น 16.81-20.27% ของพลังงานทั้งหมด และมีปริมาณน้ำมันเพียง 2.58% -8.86% จึงจัดว่าเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิต เพื่อพัฒนาเป็นอาหารขบเคี้ยวหรือผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากถั่ว 5 สีนี้ มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวทั่วไป

4.2 ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture content)

ความชื้นของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย เมื่อนำมาพลตกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรที่ 1 (ไม่ปรุงแต่ง) กับสูตรที่ 2 (มีการปรุงแต่ง) สามารถสแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับปริมาณความชื้นของเอ็กซ์ทรูเดท

ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในช่วง 1.502-3.380% สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และสำหรับสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส) อยู่ในช่วง 1.835-2.6124%

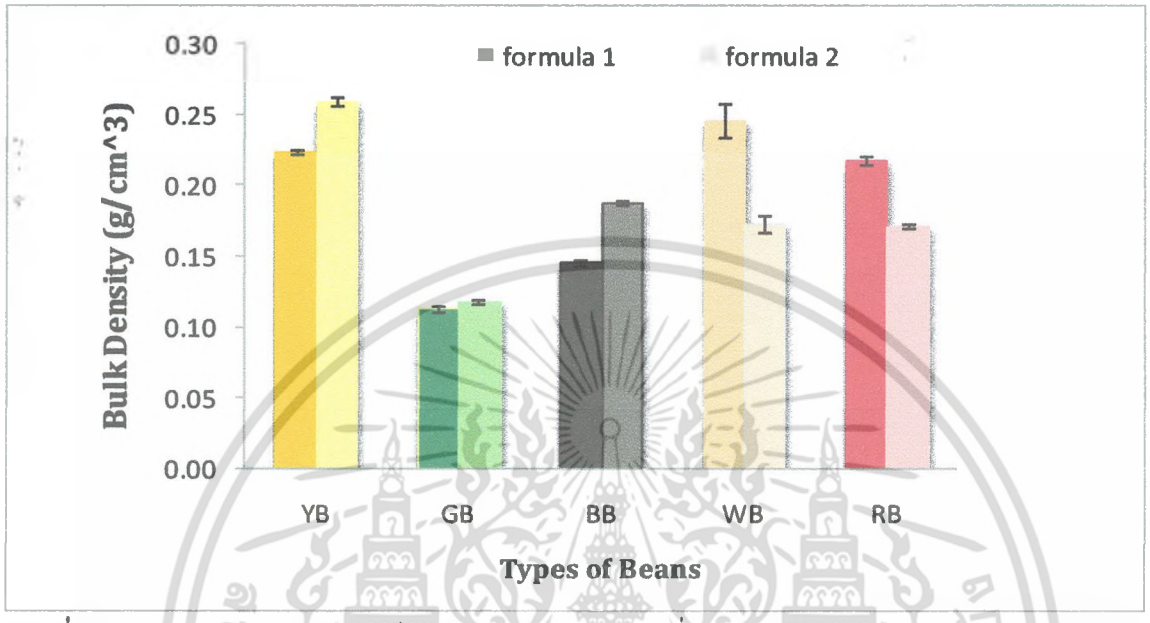
ถั่วเขียวและถั่วดำมีค่าความชื้นต่ำ เนื่องจากมีปริมาณไฟเบอร์มาก ปริมาณไฟเบอร์ส่งผลให้เนื้อสัมผัสไม่เรียบและเป็นรูขนาดใหญ่ที่บริเวณผิวของเอ็กซ์ทรูเดต เมื่อผิวสัมผัสมีรูขนาดใหญ่ทำให้น้ำระเหยออกไปได้ง่ายจึงมีผลทำให้ตัวผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง [19]

ถั่วเหลืองมีค่าความชื้นสูง เนื่องจากมีปริมาณไขมันมาก มีผลทำให้แรงเสียดทานภายในบาร์เรลลดลงทำให้พลังงานที่จะเปลี่ยนสภาพ ทำผลิตภัณฑ์ให้สุกมีค่าลดลง ซึ่งส่งผลให้มีค่าความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ความหนาแน่นของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สี เมื่อนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์แต่ละสูตรแรก พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นรวม ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับความหนาแน่นรวม

ค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้อยู่ในช่วง 0.113-0.246 g/cm^3 สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และสำหรับสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส) อยู่ในช่วง 0.118-0.260 g/cm^3

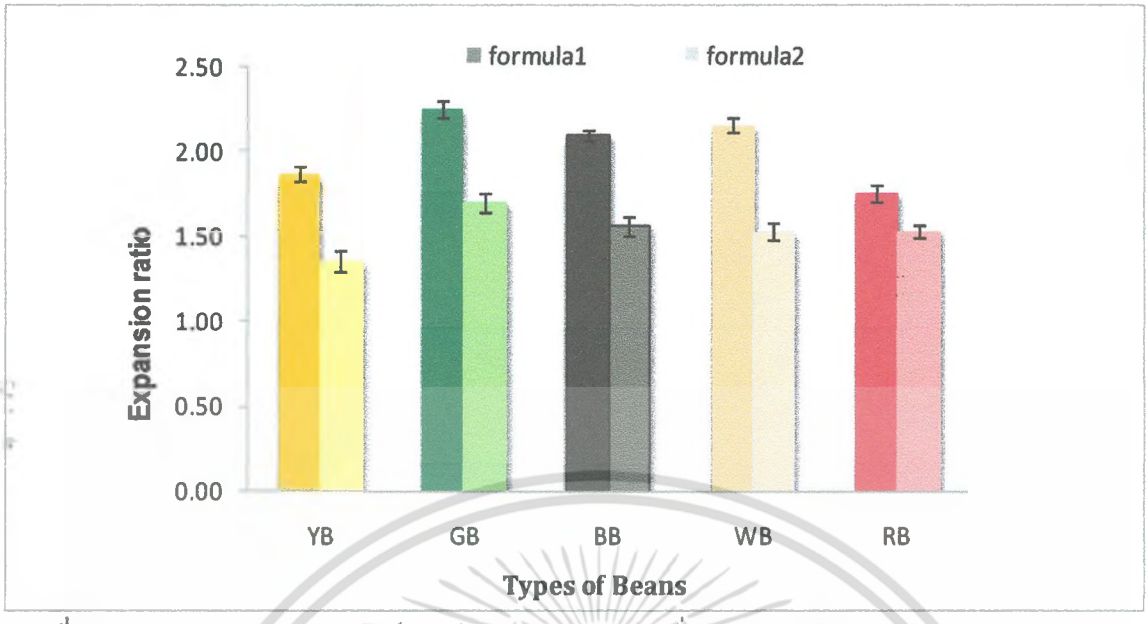
ถั่วเขียวมีค่าความหนาแน่นรวมน้อยที่สุดและถั่วเหลืองมีค่าความหนาแน่นรวมมากสุด ค่าความหนาแน่นรวมของสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) มีค่าต่ำกว่าสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) เนื่องจากสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีการเติมน้ำตาลลงในตัววัตถุดิบ โดยน้ำตาลจะไปเป็นตัวเพิ่มความแน่นเนื้อ ทำให้ค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำตาลมีผลทำให้ขนาดของเซลล์ลดลง [20,21]

ส่วนถั่วขาวและถั่วแดงนั้น ค่าความหนาแน่นรวมของสูตรที่ 1 มีค่าสูงกว่าสูตรที่ 2 เนื่องจากรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

4.4 ค่าอัตราการขยายตัว (Expansion ratio)

อัตราการขยายตัวของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย เมื่อนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ของแต่ละสูตร สามารถแสดงในภาพที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับอัตราการขยายตัว

อัตราการขยายตัวสำหรับผลิตภัณฑ์ในสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) มีค่าอยู่ในช่วง 1.751-2.244 และสำหรับสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส) อยู่ในช่วง1.350-1.697

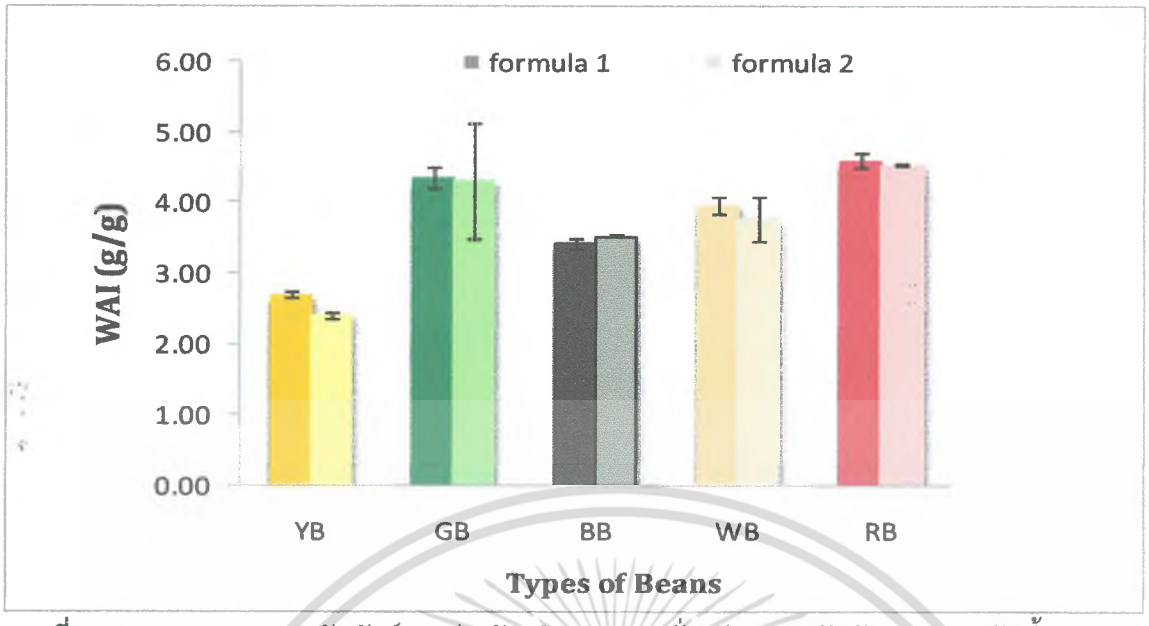
สูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีอัตราการขยายตัวต่ำกว่าสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) เนื่องจากมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราการขยายตัวโดยรวมลดลง [21] ที่มีการเปรียบเทียบสูตรที่เติมน้ำตาลและไม่เติมน้ำตาล

แต่จากลักษณะของผลิตภัณฑ์ในรูปที่ 4.3 สังเกตได้ว่าตัวผลิตภัณฑ์ที่เป็นสูตรปรุงแต่งนั้น มีการขยายตัวในแนวยาวด้วย ดังนั้นในการวัดควรจะวัดทั้งสองทาง เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

4.5 ค่าอัตราการดูดซับน้ำ (WAI)

อัตราการดูดซับน้ำของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย เมื่อนำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบอัตราการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการดูดซับน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับอัตราการดูดซับน้ำ

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้พลอตกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถั่วแต่ละชนิด พบว่าอัตราการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) ที่ได้อยู่ในช่วง 2.701-4.354 g/g และสำหรับสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีค่าอยู่ในช่วง 2.418-4.549 g/g

ค่าอัตราการดูดซับน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากการเติมน้ำตาลไม่ส่งผลหรือส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อค่าอัตราการดูดซับน้ำเนื่องจากค่า WAI เป็นอิสระจากปริมาณน้ำตาล

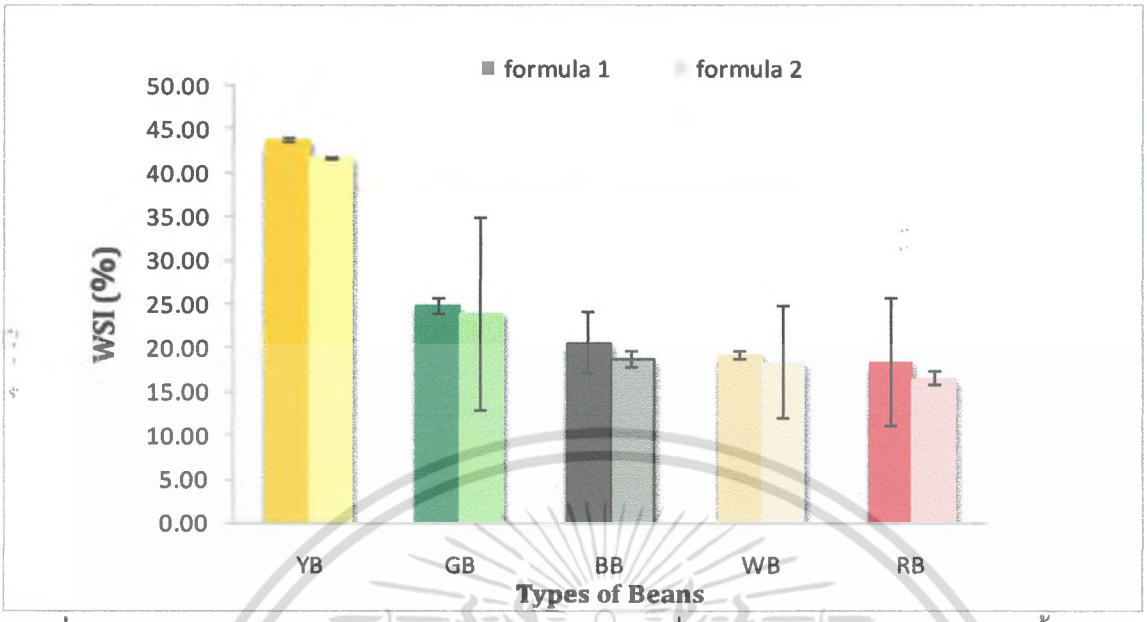
ถั่วเหลืองมีค่าอัตราการดูดซับน้ำน้อยที่สุดเนื่องจากมีปริมาณไขมันมาก ทำให้ดูดซับน้ำได้น้อย

4.6 ค่าอัตราการละลายน้ำ (WSI)

อัตราการละลายน้ำของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย เมื่อนำมาพลอตกราฟเพื่อเปรียบเทียบอัตราการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ สามารถแสดงในภาพที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลอต



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับอัตราการละลายน้ำ

สำหรับผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตของสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) มีค่าอัตราการละลายน้ำที่ได้อยู่ในช่วง 18.493-43.890% และสำหรับสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีค่าอยู่ในช่วง18.438-41.752%

อัตราการละลายน้ำของสูตรที่2 มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) สอดคล้องกับ Mezreb, et al., 2006 [21] ที่รายงานว่าว่า เอ็กซ์ทรูเดตจากข้าวสาลีจะมีค่า WSI ลดลงที่ระดับน้ำตาล 5%

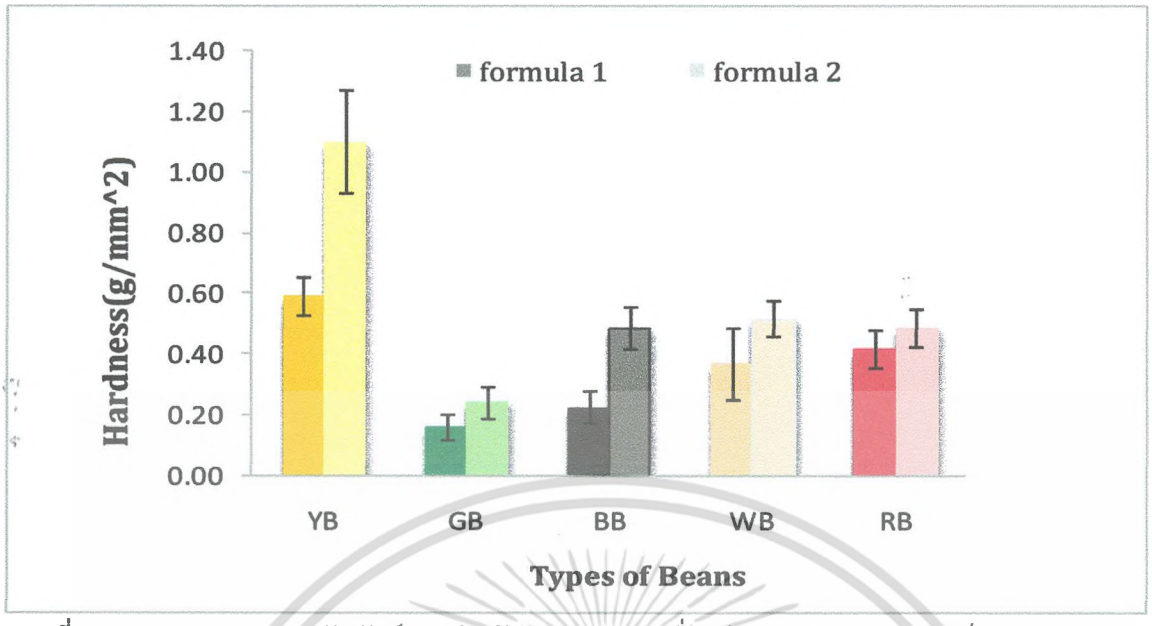
ถั่วเหลืองมีค่าการละลายน้ำมากสุดเนื่องจาก มีปริมาณโปรตีนมากสุดสอดคล้องกับ (Yijun Sang, 2009) กล่าวว่า ค่า WSI เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น

ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วแดง มีอัตราการละลายน้ำที่น้อยไล่เรียงกันมาตามปริมาณโปรตีน ถ้ามีโปรตีนในปริมาณที่น้อยค่าการละลายน้ำก็จะน้อยลงตามไปด้วย

4.7 ค่าความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง เมื่อนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง สามารถแสดงในภาพที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับค่าความแข็ง

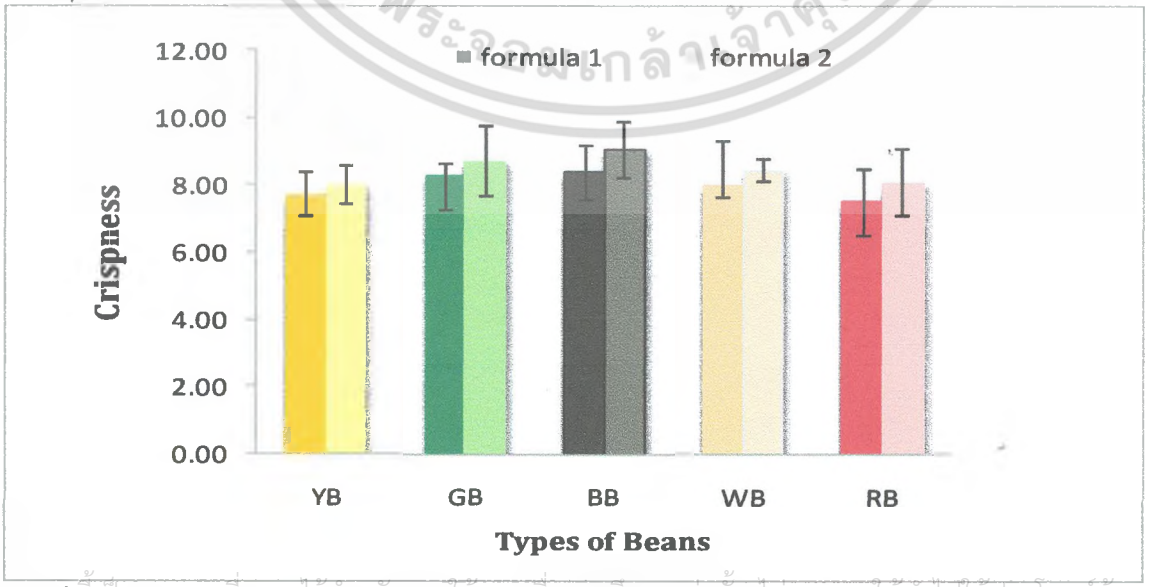
ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) อยู่ในช่วง 0.159-0.589 g/mm^2 และสำหรับสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีค่าอยู่ในช่วง 0.243-1.100 g/mm^2

ค่าความแข็งของสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีค่าเพิ่มขึ้นจากสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) เนื่องจากน้ำตาลไปเพิ่มความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งขึ้น

ส่วนถั่วเหลืองที่มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากมีปริมาณไฟเบอร์มากกว่าถั่วชนิดอื่น เพราะไฟเบอร์มีส่วนที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น [22]

4.8 ค่าความกรอบ (Crispness)

ค่าความกรอบของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย นำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง สามารถแสดงในภาพที่ 4.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

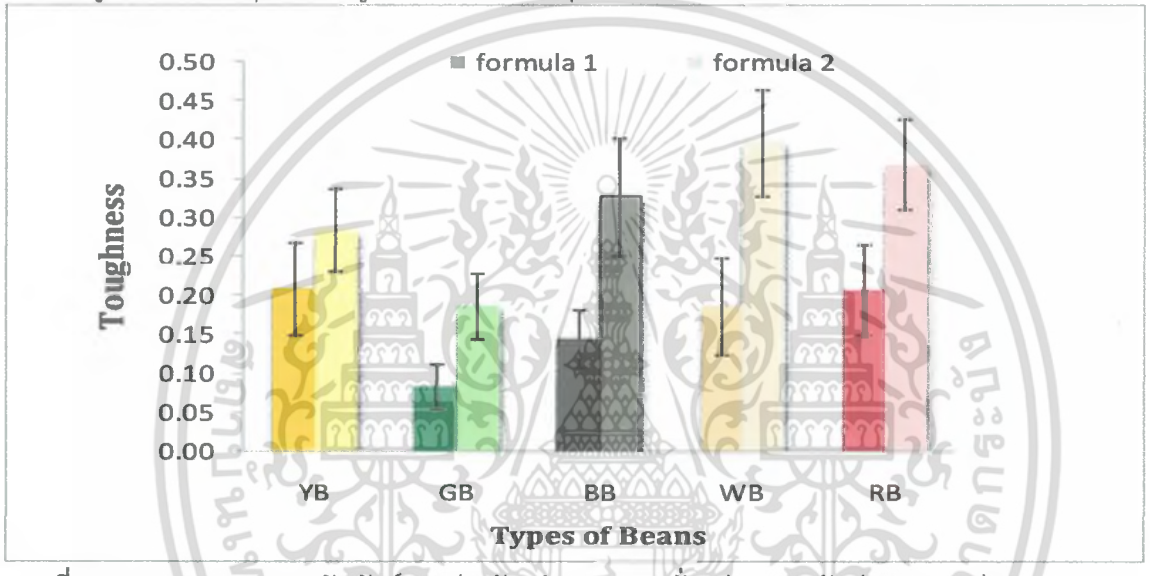
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับค่าความกรอบ

ค่าความกรอบที่ได้สำหรับผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตในสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) มีค่าอยู่ในช่วง 7.512-8.435 และสำหรับสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) อยู่ในช่วง 8.007-9.089

โดยจากภาพที่ 4.7 สูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีค่าความกรอบที่มากกว่าสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) เพียงเล็กน้อยซึ่งถือว่าไม่แตกต่างกันมากนัก [21] กล่าวว่า ค่าความกรอบไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญที่ปริมาณน้ำตาล 5-10 % ในการทดลองนี้ความกรอบแต่ละถั่วมีค่าใกล้เคียงกัน

4.9 ค่าความเหนียว

ความเหนียวของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง เมื่อนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง สามารถแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับค่าความเหนียว

ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) มีค่าอยู่ในช่วง 0.083-0.208 และสำหรับสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีค่าอยู่ในช่วง 0.186-0.396

โดยสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีค่าความเหนียวที่มากกว่าสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) เนื่องจากผลของน้ำตาลทำให้เนื้อของผลิตภัณฑ์มีความแน่นและเหนียวขึ้น **[23]**

4.10 ค่าความเป็นสี

ค่าความเป็นสีของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง เมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าความเป็นสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง สามารถแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นสีของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต

ตัวอย่าง		L*	a*	b*
ถั่วเหลือง	สูตร 1	**64.58**	**12.52**	**23.57**
	สูตร 2	66.09	11.45	24.19
ถั่วเขียว	สูตร 1	**67.23**	**11.91**	**29.79**
	สูตร 2	69.51	10.74	27.35
ถั่วดำ	สูตร 1	**62.42**	**11.48**	**19.02**
	สูตร 2	63.97	10.31	17.29
ถั่วขาว	สูตร 1	**68.13**	**10.86**	**18.77**
	สูตร 2	69.06	10.68	17.93
ถั่วแดง	สูตร 1	**57.9**	**12.41**	**19.88**
	สูตร 2	63.71	12.22	16.69

หมายเหตุ L = ค่าความสว่าง a* = ค่าความเป็นสีแดง b* =ค่าความเป็นสีเหลือง

จากการวัดค่าสีพบว่า ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตที่เตรียมมาจากถั่วเขียวสูตรปรุงแต่งรสมีค่าความสว่าง L* มากสุดอยู่ที่ค่า 69.51

ถั่วเหลืองมีค่าความเป็นสีแดง a* มากสุดอยู่ที่ค่า 12.52 เนื่องจากวัตถุดิบเริ่มต้นมีสีเหลืองออกส้มทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นสีแดงมาก

ถั่วเขียวมีค่าความเป็นสีเหลือง b* มากสุดเนื่องจากใช้วัตถุดิบที่เป็นถั่วเขียวผ่าซีกซึ่งเป็นสีเหลืองจึงแสดงค่าความเป็นสีเหลืองออกมาได้มากสุด

อีกทั้งปริมาณโปรตีนมีผลต่อค่าความเป็นสีโดยเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นค่า L* จะลดลงส่วนค่า a* b* เพิ่มขึ้น (Chaiyakul, et al., 2008) ดังนั้นในส่วนผสมสูตรที่ 1 (ไม่ปรุงแต่งรส) จะมีค่า L* ที่ต่ำกว่าสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส) เนื่องจากสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส) มีการเติมน้ำตาล ทำให้ไปลดสัดส่วนของโปรตีนในส่วนผสม ดังนั้นโปรตีนของสูตรที่ 1 (ไม่ปรุงแต่งรส) มีค่าสูงกว่าสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส) ค่าความเป็นสีของสูตรที่ 1 (ไม่ปรุงแต่งรส) คือ L* ลดลง และค่า a* b* เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่นโดยใช้วัตถุดิบจากแหล่งถั่ว 5 สีและลูกเดือย สามารถนำมาผลิตเป็นอาหารขอบเคี้ยวหรือผลิตภัณฑ์อาหารเช้าเพื่อสุขภาพ มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีในท้องตลาด ผลการศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้

- สภาวะการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันที่เหมาะสม สำหรับวัตถุดิบจากถั่ว 5 สี (ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วเหลือง) โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว คือใช้อัตราส่วนน้ำหนักวัตถุดิบผสมของถั่วกับลูกเดือยในอัตรา 50:50 ยกเว้นวัตถุดิบจากถั่วเหลืองกับลูกเดือย ควรใช้อัตราส่วน 70:30 ความเร็วรอบสกรู 550 rpm อัตราการป้อนวัตถุดิบ 15 kg/hr อัตราเร็วของใบมีด 80 rpm
- สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา ในสูตรปรุงแต่งกลิ่นรส มีการเพิ่มส่วนผสม คือ น้ำตาล 5% และ สารคาร์บอเนต 1% ของน้ำหนักวัตถุดิบจากถั่วและลูกเดือย และพบว่าวัตถุดิบที่มีการเพิ่มน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ มีผลให้เอ็กซ์ทรูเดตที่ได้มี ค่าความชื้น (ยกเว้นถั่วในถั่วเขียวและถั่วแดง) ความหนาแน่นจริง อัตราการขยายตัว ค่าอัตราการละลายน้ำ อัตราการลอยตัวลดลง ขณะที่ค่าความหนาแน่นรวม ค่าความแข็ง ค่าความเหนียว ค่าความสว่าง เพิ่มขึ้น แต่ค่าความเป็นสีเหลือง ความเป็นสีแดงลดลง ส่วนอัตราการดูดซับน้ำและค่าความกรอบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
- ในวัตถุดิบที่มีการเพิ่มสารคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบ สารคาร์บอเนต เป็นสารช่วยทำให้ฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวขณะที่ไอน้ำระเหยลอยตัวออกไป ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะด้านอื่นๆของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต
- ในวัตถุดิบที่มีปริมาณโปรตีนเป็นส่วนประกอบสูง เช่นผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตจากถั่วเหลืองซึ่งมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตจากถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาว ถั่วแดง ตามลำดับ โปรตีนมีผลทำให้อัตราการขยายตัว และค่าอัตราการดูดซับน้ำลดลง แต่มีผลให้ค่าอัตราการละลายน้ำและค่าความแข็งเพิ่มขึ้น
- ในวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันสูง คือผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตจากถั่วเหลือง มีปริมาณไขมันสูงที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตจากถั่วขาว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วเขียว ตามลำดับ ปริมาณไขมันมีผลทำให้อัตราการขยายตัวลดลง ความหนาแน่นรวมเพิ่มมากขึ้น
- ในวัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด คือ ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตจากถั่วแดง รองลงมาคือผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตจากถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาว ถั่วเหลือง ตามลำดับ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีผลทำให้ขนาดเซลล์ของโพรงอากาศระหว่างที่ผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัว ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะพอง
- ในวัตถุดิบที่มีใยอาหารเป็นส่วนประกอบสูงสุด คือผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตจากถั่วดำ รองลงมาคือผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตจากถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วแดง ถั่วขาว ตามลำดับ ปริมาณใยอาหารมีผลทำให้ ค่าอัตราการลอยตัวและค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนค่าอัตราการขยายตัวและความชื้นมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ควรพัฒนาปรับปรุงการป้อนวัตถุดิบให้สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสนอ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น
2. ปัญหาของเปลือกถั่ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาวจะมีเปลือกหลุดออกมาจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเปลือกทำให้เกิดสีที่ไม่สม่ำเสมอและไม่น่ารับประทาน ดังนั้นจึงควรมีการแยกเปลือกถั่วออกจากแป้งถั่วก่อนนำมาผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ กัญจนา ดีวิเศษ พรทิพย์ เติมวิเศษ ภัทราพร ตั้งสุขฤทัย นวลจันทร์ ใจอารีย์ กมลพรรณ โอวาทสุวรรณ (2544) การศึกษาทางมนุษยวิทยาโภชนาการ กรณีถั่ว,สถาบันการแพทย์แผนไทย กระทรวงสาธารณสุข

[2] Shen, C. and Lim, S. "Foods with 5 Colors Benefits Health" available online http://www.theepochtimes.com/news/8-7-6/72993.html

[3] Guy, R., (2001) "Extrusion Cooking – Technologies and applications", CRC Press, Woodhead Publishing Ltd., USA

[4] Mercier , C., Linko, P. and Harper, J.M. (1989) " Extrusion Cooking" St. Paul, MN : American Association of Cereal Chemists

[5] Wang, Y., Li, D., Wang, L. J., Chiu,Y. L., Chen,X.D., Mao, Z.H., Song, C.F. (2008) "Optimization of extrusion of flaxseeds for in vitro protein digestibility analysis using response surface methodology", Food Engineering , 85 59–64

[6] Fellows, P. (), "Extrusion of Foods" http://practicalaction.org

[7] มลศิริ วิโรทัย. 2545. เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (บทที่ 10 อาหารของผู้สูงอายุ). กรุงเทพมหานคร : พัฒนาคุณภาพวิชาการ(พว.).

[8] วันชัย สมชิต. 2525. ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย.พิมพ์ครั้งที่ 1,สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร.

[9] ปนิตา ทวยเจริญ. 2551. ข้อควรปฏิบัติในการรับประทานอาหารเจ. [Online]. Available : http://202.143.146.195

[10] วันดี กฤษณพันธุ์. 2535. สมุนไพรสารพัดประโยชน์. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล..

[11] ปิยมาศ มหาบุญญานนท์. 2546. คุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสตาข้าวเจ้าที่ได้จากการอัดพองโดยใช้ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ [ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต] .สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[12] สิริมาศ อุษสาธิต. 2548. การศึกษาผลของฟลาวข้าวขาวดอกมะลิ 105 มันเทศและปลาป่นต่อคุณภาพอาหารขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[13] Altan A. , L. McCarthy Kathryn and Maskan M.(2008). Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing', *Journal of Food Engineering*,84,231-242.

[14] Bhattacharya S. (1997) "Twin-screw extrusion of rice-green gram blend: Extrusion and extrudate characteristics", Food Engineering, 32, 83-89

[15] Bo Ding Q., Ainsworth P., Tucker G. & Marson H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, Journal of Food Engineering, 66 ,283–289.

[16] Lu Ş. İ., Ainsworth P., Özer E.A. and Plunkett A. (2006). Physical and sensory evaluation of a nutritionally balanced gluten-free extruded snack, Food Engineering ,75, 469-472.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[17] Plunkett A. and Ainsworth P. 2007. The influence of barrel temperature and scew speed on the retention of L-ascorbic acid in an extruded rice based snack product, *Journal of Food Engineering*,78,1127-1133.

[18] Shirani G.and Ganesharanee R. 2009. Extruded products with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index, *Journal of Food Engineering*, 90, Issue 1, 44-52.

[19] Yanniotis, S., Petraki, A., Soumpasi, E., 2007. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering 80* : 594

[20] Barrett, A., Kaletunç, G., Rosenburg, S., Breslauer, K., 1995. Effect of sucrose on the structure, mechanical strength and thermal properties of corn extrudates . *Original Research Article Carbohydrate Polymers*.

[21] Mezreb , K., Goullieux , A., Ralainirina, R., Queneudec, M., 2006. Effect of sucrose on the textural properties of corn and wheat extrudates. *Carbohydrate Polymers*; 64: 1–8.

[22] Jin Z., Hsiehl F., Huff H. E., 1995. Effects of Soy Fiber, Salt, Sugar and Screw Speed on Physical Properties and Microstructure of Corn Meal Extrudate. *Journal of Cereal Science* 22: 185-194.

[23] Chaiyakul, S., Jangchud K., Jangchud A., Wuttijumnong P., Ray, W., 2008. Effect of Protein Content and Extrusion Process on Sensory and Physical Properties of Extruded High-Protein, Glutinous Rice-Based Snack. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 42 : 182 – 190.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้