สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากเอ็กซ์ทรูเดทของถั่ว 5 สีกับลูกเดือย

Characteristics of Extruded 5 Color Beans/Job's Tear Seed Breakfast Cereals

T119492

นางสาววิมลมาศ ปาดแม้น
นายศุภกร มาคล้าย
นางสาวอุษา เกตุศักดิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....119492
วัน,เดือน,ปี.....- 8 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics of Extruded Breakfast Cereals from 5 Color Beans/Job's Tear

MissWIMOLMAS PADMANE

Mr SUPRAKON MAKLAY

Miss USA KETSAK

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD

FACULTY OF ENGINEERIHG

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญานิพนธ์ คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากเอ็กซ์ทรูเดทของถั่ว 5 สีกับลูกเดือย

ผู้จัดทำ

1.นางสาววิมลมาศ ปาดแม้น 50011477

2.นายศุภกร มาคล้าย 50011581

3.นางสาวอุษา เกตุศักดิ์ 50011964

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากเอ็กซ์ทรูเดทของถั่ว 5 สีกับลูกเดือย

นางสาววิมลมาศ ปาดแม้น 50011477
นายศุภกร มาคล้าย 50011581
นางสาวอุษา เกตุศักดิ์ 50011964

ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าที่ได้จากการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชั่นจากถั่ว 5 สี (ถั่วเหลือง ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วเขียว ถั่วขาว) และลูกเดือย โดยนำถั่วแต่ละชนิดผสมกับลูกเดือยที่ผ่านการบดมีขนาด 40 mesh สำหรับวัตถุดิบผสมในสูตรแรกใช้อัตราส่วนระหว่างถั่วแต่ละสีกับลูกเดือยเท่ากับ 50:50 ยกเว้นถั่วเหลืองที่ใช้อัตราส่วน 30:70 และสำหรับสูตรที่ 2 เป็นสูตรปรุงแต่ง ได้มีการเติมส่วนผสมของน้ำตาล 5% และสารคาร์บอเนต 1% ทำการทดลองผลิตด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว ใช้ความเร็วรอบสกรู 550 rpm อุณหภูมิบาร์เรล 115 ºC อัตราการป้อน 15 kg/hr ความชื้นวัตถุดิบเริ่มต้น 16% ผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถูกนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ประกอบด้วย อัตราการพองตัว ความหนาแน่น ความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัส สีของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการลอยตัว พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าที่ได้จากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่วเขียวกับลูกเดือยให้อัตราการขยายตัวสูงสุด ส่วนความหนาแน่นถั่วเหลืองกับลูกเดือยให้ค่าสูงสุดที่ 0.260 g/cm^3 ในขณะที่ความหนาแน่นของถั่วเขียวกับลูกเดือยมีค่าต่ำสุด อัตราการดูดซับน้ำมีค่ามากสุดที่ถั่วแดงกับลูกเดือยอยู่ที่ค่า4.549 g/g และอัตราการละลายน้ำนั้นมีค่าสูงสุดที่ 43.890% เป็นของวัตถุดิบผสมระหว่างถั่วเหลืองกับลูกเดือย สำหรับสูตรปรุงแต่งพบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในวัตถุดิบมีผลให้ค่า L* ความหนาแน่น และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น ขณะที่ค่าความชื้น อัตราการขยายตัว และอัตราการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics of Breakfast Cereals from Extruded 5 Color Beans/Job's Tear

Miss Wimolmas Padmane 50011477

Mr Suprakon Maklay 50011581

Miss Usa Ketsak 50011964

Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong Advisor

Academic Year 2010

ABSTRACT

The research was to study the characteristics of breakfast cereal from extrudated 5 colors beans (mung bean, kidney bean, black gram, soybean, black eye-peas) and Job's tear. 5 colors beans and Job's tear were milled to reduce particle size to 40 mesh. In the first formula, the bean and job's tear was mixed in the ratio of bean : job's tear : bean = 50:50, except for soybean mixed which had bean: job'tear ratio of 30:70. For the second formula, sugar 5% and Na_2CO_3 1% were added to the mixed beans with job's tear. The experiment was carried out in single screw extruder at screw speed 550 rpm, barrel temperature 115 $^{\circ}$c, feed rate 15 kg/hr and 16% feed moisture. The extrudates characteristics (moisture content, density, expansion ratio, water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), bowl life, texture characteristics and colors) were analyzed. It was found that extrudates from mung bean showed a highest expansion while extrudates from soy bean yielded highest bulk density (0.26 g/cm^2). WAI of extrudates from kidney bean was highest an apparent WAI was 4.549 g/g. The highest WSI (43.89%). was from the soy bean/job's tear extrudates. Addition of sugar and Na_2CO_3 to feed material increased bulk density, lightness, hardness, crispness and toughness, but moisture content, expansion ratio and WSI was decreased.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จไปได้ด้วยดี ต้องขอแสดงความขอบพระคุณอย่างสูงต่อ อาจารย์ทีปรึกษาของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และให้ความรู้ อันเป็นประโยชน์อย่างมาก ต่อปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องตลอดจนเพื่อนสมาชิกสาขาวิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และอนุเคราะห์ในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณบิดามารดาซึ่งเป็นผู้มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษา และเป็นกำลังใจในด้านต่างๆมาโดยตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญาฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

วิมลมาศ ปาดแม้น
ศุภกร มาคล้าย
อุษา เกตุศักดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่เรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ I

ABSTERACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญรูป VIII

สารบัญตาราง X

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion process) 4

2.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ 4

2.1.2 หลักการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ 7

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน 9

2.1.4 ประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ 11

2.2 ธัญชาติ 16

2.2.1 แนวโน้มความต้องการของผู้บริโภค 16

2.3 ลูกเดือย 18

2.3.1 ความรู้ทั่วไป 18

2.3.2 ประเภทลูกเดือย 19

2.3.3 การแปรรูป 19

2.3.4 คุณค่าทางโภชนาการ 20

2.3.5 ด้านเศรษฐกิจ 20

2.4 ถั่วเหลือง 21

2.4.1 ความรู้ทั่วไป 21

2.4.2 พันธุ์ถั่วเหลือง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549) 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การแปรรูป 21
2.4.4 คุณค่าและประโยชน์ 22
2.4.5 สถานการณ์ถั่วเหลืองในประเทศไทย (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร) 22
2.4.6 แนวโน้มของถั่วเหลือง ปี 252 ในประเทศไทย 22
2.5 ถั่วเขียว 23
2.5.1 ความรู้ทั่วไป 23
2.5.2 ชนิดและพันธุ์ของถั่วเขียว 24
2.5.3 การแปรรูป 24
2.5.4 คุณค่าและประโยชน์ 24
2.5.5 สถานการณ์ของถั่วเขียว 25
2.6 ถั่วแดง 25
2.6.1 ความรู้ทั่วไป 25
2.6.2 พันธุ์ของถั่วแดง 26
2.6.3 การแปรรูป 26
2.6.4 คุณค่าและประโยชน์ 26
2.7 ถั่วดำ 27
2.7.1 ความรู้ทั่วไป 27
2.7.2 คุณค่าและประโยชน์ 27
2.7.3 การแปรรูป 27
2.8 ถั่วขาว 28
2.8.1 ความรู้ทั่วไป 28
2.8.2 การแปรรูป 28
2.8.3 คุณค่าและประโยชน์ 28
2.9 การเกิดเจลาติไนเซชั่น (Gelatinization) 29
2.9.1 กลไกการเกิดเจลาติไนเซชัน 29
2.10 ความหนืด (Viscosity) 30
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
3. วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง
3.1 วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง 37
3.1.1 วัตถุดิบ 37
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 37
3.2 การกำหนดตัวแปรที่ศึกษา 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ตัวแปรอิสระ (Independent variables) 38
3.2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variable) 38
3.3 การวางแผนการทดลอง 38
3.4 การเตรียมวัตถุดิบ 39
3.4.1 วิธีการเตรียมวัตถุดิบ 39
3.5 ขั้นตอนการทดลอง 40
3.5.1 การเตรียมเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ในการทดลอง 40
3.5.2 ขั้นตอนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน 40
3.6 วิเคราะห์คุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดท 41
3.6.1 ค่าความชื้น (Moisture content) 41
3.6.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk density) 42
3.6.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) และความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) (Anderson,1969) 42
3.6.4 อัตราส่วนการขยายตัว (Expansion Ratio, ER) 43
3.6.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส 43
3.6.6 สี (Color) 44
3.6.7 อัตราการลอยตัว (bowl-life) 44
4. ผลการทดลองและวิจารณ์
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารเช้า 45
4.2 ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture content) 47
4.3 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) 48
4.4 ค่าอัตราการขยายตัว (Expansion ratio) 49
4.5 ค่าอัตราการดูดซับน้ำ (WAI) 50
4.6 ค่าอัตราการละลายน้ำ (WSI) 51
4.7 ค่าความแข็ง (Hardness) 52
4.8 ค่าความกรอบ (Crispness) 53
4.9 ค่าความเหนียว 54
4.10 อัตราการลอยตัว 55
4.11 ค่าความเป็นสี 56
5. สรุปผลการทดลอง
5.1 สรุปผลการทดลอง 57
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม 59

ภาคผนวก 62

ภาคผนวก ก 63

ภาคผนวก ข 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป **หน้า**

รูป 2.1 ส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว 4
รูป 2.2 ลักษณะของสกรู 5
รูป 2.3 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น และอุณหภูมิ 8
รูป 2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของเม็ดแป้งเมื่อให้ความร้อน 30
รูป 2.5 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA 31
รูป 3.1 flowchart ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ 39
รูป 3.2 Flow chart ขั้นตอนการทดลอง 41
รูป 4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิด กับปริมาณความชื้น 47
รูป 4.2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิด กับความหนาแน่นรวม 48
รูป 4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิด กับอัตราการขยายตัว 49
รูป 4.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิด กับอัตราการดูดซับน้ำ 50
รูป 4.5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิด กับอัตราการละลายน้ำ 51
รูป 4.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิด กับค่าความแข็ง 52
รูป 4.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิด กับค่าความกรอบ 53
รูป 4.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิด กับค่าความเหนียว 54
รูป 4.9 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิด กับเวลา 55
รูป ข.1 ลูกเดือย 71
รูป ข.2 ถั่วเขียว 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข. 3 ถั่วแดง 71
รูป ข. 4 ถั่วดำ 71
รูป ข. 5 ถั่วขาว 71
รูป ข. 6 ถั่วเหลือง 71
รูป ข. 7 น้ำตาลบดละเอียด 71
รูป ข. 8 สารคาร์บอเนต 71
รูป ข. 9 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ชนิดสกรูเดี่ยว 72
รูป ข. 10 เครื่องHammer mill 72
รูป ข. 11 ตู้อบลมร้อน 73
รูป ข. 12 ตู้ดูดความชื้น 73
รูป ข. 13 เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT Plus 74
รูป ข. 14 เครื่องวัดสี 74
รูป ข. 15 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง 75
รูป ข. 16 เครื่อง Hot Plate 75
รูป ข. 17 เครื่อง Centrifuge 76
รูป ข. 18 เวอร์เนีย คาลิเปอร์ แบบดิจิตอล 76
รูป ข. 19 เอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตได้จากถั่ว 5 สี และลูกเดือย (a) ไม่ปรุงแต่ง (b) ปรุงแต่ง 77
รูป ข. 20 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเหลืองและลูกเดือย สูตรไม่ผสมน้ำตาล 78
รูป ข. 21 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วขาวและลูกเดือย สูตรไม่ผสมน้ำตาล 78
รูป ข. 22 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเขียวและลูกเดือย สูตรไม่ผสมน้ำตาล 79
รูป ข. 23 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วแดงและลูกเดือย สูตรไม่ผสมน้ำตาล 79
รูป ข. 24 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วดำและลูกเดือย สูตรไม่ผสมน้ำตาล 80
รูป ข. 25 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเหลืองและลูกเดือย สูตรผสมน้ำตาล 80
รูป ข. 26 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วขาวและลูกเดือย สูตรผสมน้ำตาล 81
รูป ข. 27 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเขียวและลูกเดือย สูตรผสมน้ำตาล 81
รูป ข. 28 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วแดงและลูกเดือย สูตรผสมน้ำตาล 82
รูป ข. 29 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วดำและลูกเดือย สูตรผสมน้ำตาล 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตาราง 2.1 สภาวะการทำงานของเครื่องมือแบบต่างๆ (Fellows,1990) 13
ตาราง 2.2 การใช้เครื่องมือแบบต่างๆกับผลิตภัณฑ์ (Fellows,1990) 14
ตาราง 2.3 การจัดแบ่งประเภทของเครื่องเอ็กทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว 15
ตาราง 2.4 คุณค่าทางโภชนาการของลูกเดือย และถั่ว 5 สี (ปริมาณต่อ 100 กรัม) 29
ตาราง 4.1 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดท 46
ตาราง 4.2 ค่าความเป็นสีของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดท 56
ตาราง ก.1 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการถั่วแต่ละสี ของวัตถุดิบเริ่มต้น
สูตรไม่ปรุงแต่ง 65
ตาราง ก.2 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการถั่วแต่ละสี ของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดท
สูตรไม่ปรุงแต่ง 66
ตาราง ก.3 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการถั่วแต่ละสี ของวัตถุดิบเริ่มต้น
สูตรปรุงแต่ง 67
ตาราง ก.4 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการถั่วแต่ละสี ของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดท
สูตรปรุงแต่ง 68
ตาราง ก.5 ตารางสัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในโครงงาน 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันมีแนวโน้มว่าอาหารแปรรูปประเภทผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวและอาหารเช้าพร้อมรับประทาน จะเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นในเกือบทุกสังคมโลก แต่อาหารดังกล่าวข้างต้นมีแป้งเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งให้เพียงพลังงาน แต่ยังขาดคุณค่าทางโภชนาการด้านอื่นๆที่สำคัญ ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารดังกล่าวมีคุณประโยชน์น้อย เมื่อรับประทานแล้วไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย ทั้งในปัจจุบันจำนวนประชากรผู้สูงอายุมีแนวโน้มการเจริญเติบโตสูงขึ้น อาหารสำหรับผู้สูงอายุมีความหลากหลายน้อย หากสามารถเพิ่มวัตถุดิบอื่นเข้าไปทดแทนแป้งในส่วนประกอบหลักของอาหารนั้นได้ ผลิตภัณฑ์อาหารดังกล่าวจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น มีประโยชน์มากขึ้น และเป็นอีกหนึ่งทางเลือกให้แก่ผู้สูงอายุในการเลือกรับประทาน ซึ่งธัญพืชประเภทถั่ว นับว่ามีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง มีปริมาณมาก และมีหลายชนิด เหมาะที่จะนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบประเภทแป้งในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว มีรายงานเกี่ยวกับการบริโภคอาหารให้ครบ 5 สีให้เข้ากับธาตุในร่างกาย จะช่วยให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เป็นประโยชน์ ซึ่งจะช่วยป้องกันและรักษาโรค บำรุงร่างกายให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น (ปนิตา, 2551) แหล่งวัตถุดิบดงกล่าวสามารถหาได้ง่ายจากถั่วดังต่อไปนี้

ถั่ว 5 สี 5 ชนิด นับว่าเป็นอาหารบำรุงของระบบอวัยวะภายใน 5 ระบบ กล่าวคือ

- ถั่วดำ (Black Beans) อยู่ธาตุน้ำ มีประโยชน์ต่อไต อุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แคโรทีน ไนอะซิน วิตามินบี 1และบี 2 รวมถึงสารที่ช่วยบรรเทาอาการปวดลำไส้เล็ก มีสรรพคุณบำรุงโลหิต ขับปัสสาวะ ขจัดพิษ บำรุงไต บำรุงสายตา และเหมาะสำหรับผู้ที่มีอาการบวมน้ำ เหน็บชา ดีซ่าน ไตเสื่อม เป็นต้น
- ถั่วเขียว (Green Beans) อยู่ธาตุไม้ มีประโยชน์ต่อตับ มีสรรพคุณแก้ร้อนใน ถอนพิษจากพืชและสารหนู บำรุงสายตา ลดความดันโลหิต รักษาอาการกระหายน้ำ ลำไส้อักเสบ เบาหวาน ช่วยกระตุ้นประสาท โดยมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และแคโรทีนเป็นส่วนประกอบ
- ถั่วแดง (Red Beans) อยู่ธาตุไฟ มีประโยชน์ต่อหัวใจ มีทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน รวมถึง ไรโบฟลาวิน และไนอะซิน มีสรรพคุณช่วยขับปัสสาวะ แก้ประจำเดือนมาไม่ปกติ แก้ลมพิษ ดีซ่าน บรรเทาอาการปวดข้อและบวม กำจัดหนอง แก้อาหารเป็นพิษ รักษาอาการลำไส้อักเสบ หรือถ่ายเป็นเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

➢ ถั่วขาว (White Beans) อยู่ธาตุทอง มีประโยชน์ต่อปอด อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัส มีสรรพคุณ ช่วยยับยั้งเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยแป้ง ให้ดูดซึมแป้งและน้ำตาลน้อยลง สารสกัดตัวนี้มีชื่อว่า "ฟาซิโอลามีน (Phaseolamin)" ประโยชน์ของถั่วขาว ในปริมาณ 500 มิลลิกรัมต่อวัน ไม่เพียงมีผลทำให้น้ำหนักลดลง แต่ยังช่วยควบคุมสมดุลของระดับน้ำตาลในเลือด และลดระดับไตรกรีเซอไรด์ในร่างกายอีกด้วย

➢ ถั่วเหลือง (Soy Beans) อยู่ธาตุดิน มีประโยชน์ต่อม้าม มีโปรตีน เลซิทิน กรดแอมิโน รวมทั้งมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก ไนอะซิน วิตามินบี 1และบี 2 วิตามินเอและอี ซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของกระดูก ป้องกันการขาดแคลเซียมในกระดูกและบำรุงระบบประสาทในสมอง

➢ ลูกเดือยเป็นธัญพืชประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่มีเส้นใยอาหารสูงเป็นพืชตระกูลเดียวกับข้าว มีทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและไฟเบอร์เป็นองค์ประกอบ (ณรงค์, 2538)

กระบวนการผลิตอาหารเอ็กซ์ทรูชันนั้นเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญของอุตสาหกรรมอาหาร เป็นกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ มีกำลังผลิตสูงและต่อเนื่อง เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์อาศัยกระบวนการทางความร้อนและแรงเฉือนทำให้วัตถุดิบที่ผสมกันเป็นเนื้อเดียวมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อคุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีนั้นทำให้คุณสมบัติภายในโมเลกุลเปลี่ยนไป ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัส กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันนั้นสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์และเอ็นไซม์ที่ไม่ต้องการได้ (Alex A. Anton, 2009)

อาหารจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันสามารถผลิตอาหารได้หลากหลายชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยว อาหารเด็กอ่อน อาหารเช้าธัญพืช พาสต้า อาหารสัตว์ เป็นต้น โดยมีวัตถุดิบหลักมาจากธัญพืช แป้งและโปรตีนพืช บทบาทสำคัญของส่วนผสมเหล่านี้ให้ลักษณะโครงสร้าง เนื้อสัมผัส และรูปทรงของผลิตภัณฑ์ (Alex A. Anton, 2009)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาการผลิตอาหารเช้าพร้อมรับประทานด้วยกระบวนการ extrusion จากถั่ว 5 สี
2) เพื่อศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปพร้อมรับประทานหลังจากผ่านกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน คือ ส่วนผสมที่ผ่านการบดแล้วระหว่างถั่ว 5 สี คือ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ ถั่วเขียวผิวมัน ถั่วแดงหลวง ถั่วดำ และถั่วขาว กับลูกเดือยพันธุ์ข้าวเจ้า กระบวนการผลิตใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยวในการผลิตและขึ้นรูป
2) กำหนดเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์
   2.1 อัตราส่วนของถั่วแต่ละสีและลูกเดือย
   2.2 ส่วนผสมในแต่ละสูตร
3) คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาประกอบด้วย

- สี (Color)
- ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)
- ความหนาแน่นรวม (Bulk density)
- ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water absorption Index)
- ความสามารถในการละลายน้ำ (Water solubility index)
- อัตราส่วนการขยายตัว (Expansion Ratio ,ER)
- ความชื้น (Moisture content)
- อัตราการลอยตัว (Bowl life)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบหลักการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูเดี่ยว
2) ทราบปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้
3) นำพืชผลทางการเกษตร (ลูกเดือย ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วขาว) มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ให้มีมูลค่า และอายุการเก็บรักษามากขึ้น
4) ได้พัฒนาอาหารขบเคี้ยวให้มีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะแก่การเลือกรับประทานสำหรับผู้ที่รักสุขภาพและเพิ่มทางเลือกการบริโภคให้ผู้สูงอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

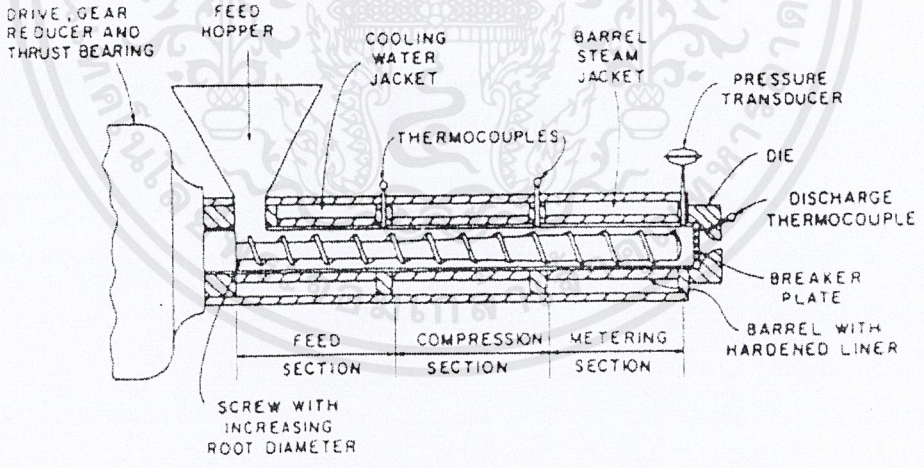
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion process) (จุฬาลักษณ์,2550)

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันหมายถึง กระบวนการผลิตอาหารที่มีการทำให้ส่วนผสมของวัตถุดิบร้อนแล้วขับเคลื่อน หรือผลักพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า เพื่ออัดผ่านหน้าแปลนที่ออกแบบเป็นพิเศษ ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกพองและมีรูปร่างออกมา ดังนั้นกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันนี้ จึงรวมขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอนเข้าไว้ด้วยกัน ได้แก่ การผสม การนวด การทำให้ร้อนและสุก การพองตัวและการทำให้เป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันอาจสูงถึง 200 °C ในระยะเวลาสั้นๆเพียง 5-10 นาที ดังนั้นกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจึงเป็นระบบ อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น (High Temperature Time)

2.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

เครื่องมือสำหรับการเอกซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ สกรู(screw) ทรงกระบอกที่หุ้มสกรู(barrel) และส่วนช่องเปิด(die) ลักษณะของเครื่องมือแสดงได้ดังรูปที่2.1



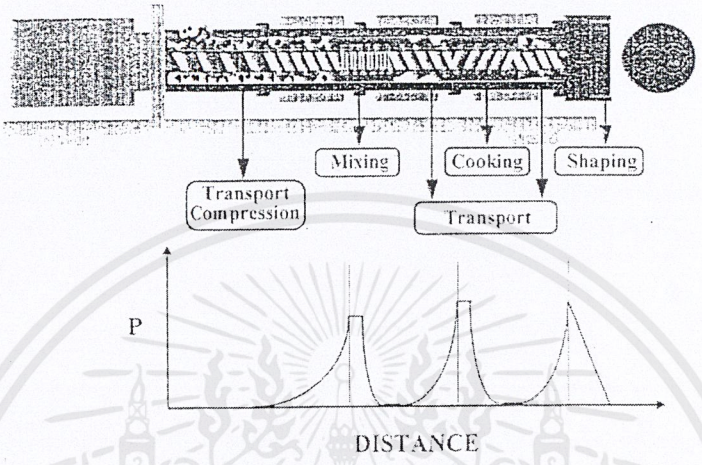
รูป 2.1 ส่วนประกอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

ส่วนสกรู (screw)

จะมีลักษณะเป็นสกรูเกลียวแบบอาร์คิมิเดียน (flighted Archimedean screw) ลักษณะของสกรูจะเหมือนกับสกรูในเครื่องมือขนถ่ายด้วยสกรู (screw conveyor) แต่สกรูของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จะมีเกลียวตื้นกว่า และในขณะทำงานร่องบนตัวสกรูจะต้องมีอาหารอัดอยู่เต็มโดยเฉพาะตรงส่วนใกล้ช่องเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของสกรูจะเป็นแกน และมีเกลียวอยู่โดยรอบ แกนของสกรูอาจมีเส้นผ่าศูนย์กลางคงที่หรือค่อยๆลดลงก็ได้ เกลียวบนตัวสกรูอาจมีระยะระหว่างเกลียวและความลึกของร่องเกลียวคงที่หรือไม่คงที่ก็ได้นอกจากนั้นสกรูอาจมีแผ่นกั้นเพื่อลดอัตราการเคลื่อนที่และเพิ่มแรงอัดซึ่งเรียกว่า restriction เข้าไปเป็นช่วงๆด้วย การออกแบบสกรูและทรงกระบอกที่หุ้มสกรูให้มีลักษณะต่างๆกัน (รูปที่2.2) จะทำให้เกิดแรงเฉือนและแรงอัดต่ออาหารที่มีขนาดต่างๆกัน



รูป 2.2 ลักษณะของสกรู

สกรูในเครื่องมือมีหน้าที่ 3 อย่างคือ

- รับและขนถ่ายมวลสารในเครื่องมือ
- อัดและเพิ่มแรงเฉือนให้กับวัตถุดิบ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตามต้องการ
- ทำให้เกิดการผสมและผลิตภัณฑ์มีลักษณะสม่ำเสมอ

ส่วนของสกรูแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกเป็นช่วงของการป้อนวัตถุดิบ (feed section) ช่วงนี้มักเป็นช่วงที่มีร่องของเกลียวสกรูลึก และระยะห่างของเกลียวสกรูกว้าง เพื่อให้วัตถุดิบตกลงไปในร่องเกลียวได้ง่าย และถูกลำเลียงต่อไป ซึ่งปัญหาในการเอกซ์ทรูชันประการหนึ่ง คือ การที่วัตถุดิบไม่สามารถตกลงไปในช่องสกรูได้ ดังนั้นการออกแบบช่วงต่อของช่องเปิดที่ใส่วัตถุดิบลงไปกับส่วนป้อนวัตถุดิบของสกรู จะต้องทำให้วัตถุดิบซึ่งไหลยากสามารถไหลตกลงไปในร่องสกรูได้ง่าย

เมื่อวัตถุดิบตกลงไปในร่องเกลียว จะถูกพาให้เคลื่อนที่ด้วยการหมุนของสกรู เกิดการอัดตัวและรวมตัวเป็นของไหลที่มีลักษณะคล้ายพลาสติก ความแคบของช่องเปิดด้านท้ายหรือแผ่นกั้นกันการไหลบนสกรูจะช่วยลดอัตราการไหลของของไหลนี้ทำให้ร่องของเกลียวสกรูมีของไหลเหล่านี้อัดเต็มในขณะเคลื่อนที่ ส่วนของสกรูที่วัตถุดิบซึ่งมีลักษณะเป็นผงร่วงหรือเหนียวเปลี่ยนสมบัติกลายเป็นของไหลที่มีสมบัติคล้ายพลาสติกนี้ จะเรียกว่าช่วงอัดของสกรูหรือช่วงทรานสิชัน (compression section หรือ transition section)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากวัตถุดิบผ่านช่วงอัดของสกรูไป ก่อนจะผ่านช่องเปิดออกมาจะผ่านช่วงมีเตอริง (metering section) ซึ่งช่วงนี้เกลียวของสกรูจะมีช่องตื้น และมีแนวมุมเอียงของเกลียวจากแนวดิ่งน้อยลง อาจมีแผ่นกั้นการไหลบนสกรูเพิ่มขึ้นในส่วนนี้ด้วย เพื่อให้การผสมเกิดได้ทั่วถึงสม่ำเสมอ หรือเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ สกรูที่มีการออกแบบให้ช่วงนี้ยาวทำให้ผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบสม่ำเสมอ

สำหรับสกรูที่มีขนาดยาว แต่ละส่วนจะมีความยาวประมาณหนึ่งในสามของความยาวสกรูทั้งหมด สกรูที่ต้องทำงานด้วยความเร็วสูงมักจะมีร่องของเกลียวตื้นกว่าสกรูที่มีเกลียวตื้นนี้จะช่วยเพิ่มแรงเฉือนและเพิ่มแรงดันและช่วยให้การผสมมีความสม่ำเสมอ แต่ทำให้อัตราการผลิตลดลง องค์ประกอบในอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อนมักจะถูกทำลายโดยการใช้สกรูที่มีร่องตื้น

ส่วนหุ้มทรงกระบอก (barrel)

ส่วนนี้มักเป็นส่วนที่ยึดติดกับที่ของเครื่องมือ เคลื่อนย้ายลำบากเนื่องจากมีน้ำหนักมาก ที่ผิวด้านในมัก จะเซาะร่องเพื่อลดการลื่นไหลของอาหารขณะเคลื่อนที่ภายในและช่วยเพิ่มแรงอัดแต่การมีร่องที่ผนังด้านในนี้อาจทำให้เกิดการไหลย้อนกลับบ้าง กรณีที่ต้องการเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ไปด้านของผลิตภัณฑ์ จะออกแบบให้ร่องมีลักษณะเวียนเป็นเกลียวรอบผนังด้านใน

ที่ผิวของส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เกิดแรงเฉือนสูงมาก ต้องออกแบบให้แข็งทนต่อการขูดข่วน จึงมักจะเคลือบผิวด้านในด้วยโลหะพิเศษเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ระหว่างการใช้งานจะต้องมีการตรวจดูแลเพื่อให้ระยะระหว่างสกรูกับผิวด้านในของทรงกระบอกนี้มีความกว้างน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และมีขนาดคงเดิมอยู่เสมอ เส้นผ่านศูนย์กลางมาตรฐานคือ 2.54, 3.81, 5.08, 6.35, 8.89, 11.43, 15.24, และ 20.32 เซนติเมตร ส่วนความยาวจะต่างกันไป ถ้าความยาวมากพื้นที่ในการทำงานและเวลาที่วัตถุดิบถูกบีบอัดก็จะเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลาง (L:D) จะมีค่าต่างๆกันตั้งแต่ 1-3:1 ไปจนถึง 15-25:1

แรงดันภายในระหว่างใช้งานปกติอยู่ในช่วง 15-70 บรรยากาศ การใช้งานกับของที่แห้งมากหรือสภาวะที่การไหลภายในถูกขัดขวาง แรงดันภายในอาจจะสูงกว่า 700 บรรยากาศ ด้านนอกของทรงกระบอกนี้โดยรอบอาจมีปลอกหุ้มชั้นหนึ่งเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ถ้าต้องการทำให้สุกด้วยเครื่องมือนี้ ที่ส่วนท้ายอาจมีการเจาะช่องสำหรับฉีดไอน้ำเข้าไป เพื่อให้ควบคุมอุณหภูมิสุดท้ายของวัตถุดิบก่อนถูกอัดผ่านช่องเปิดได้ดีขึ้น

ส่วนของช่องเปิด(die)

ส่วนนี้จะอยู่ที่ส่วนปลายของเครื่องมือ รูปร่างของช่องเปิดนี้จะมีแบบได้ต่างๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างต่างๆกัน เช่นเป็นแท่ง ทรงกลม วงแหวน หลอด แผ่น ฯลฯ เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านช่องเปิดนี้จะเกิดการขยายตัว เนื่องจากมีการลดความดันสู่ความดันบรรยากาศอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วเพราะผลิตภัณฑ์มักจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์อาจคำนวณได้จากการทำสมดุลความร้อน ที่ส่วนของช่องเปิดนี้ ถ้าสมมุติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่ากระบวนการเป็นแบบอะเดียบาติก การสูญเสียความร้อนมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของมวล อัตราการไหลของมวลก่อนและหลังช่องเปิดเท่ากัน และความจุความร้อนของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออุณหภูมิหรือความดันเปลี่ยนแปลงไป สมดุลของความร้อนที่ช่องเปิดจะคิดจาก

$$mC_p(T_1 - T_2) = m(M_1 - M_2)$$

เมื่อ m = อัตราการไหลของอาหาร ($kg\ s^{-1}$) ,

C_p = ความจุความร้อน ($J^o\ C^{-1}$)

T = อุณหภูมิ (C^o)

M = ความชื้นของอาหาร (โดยน้ำหนักเปียก) (kg) และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่ความดันบรรยากาศ ($J\ kg^{-1}$)

ตัวเลข 1 และ 2 แสดงสภาวะก่อนและหลังจากผ่านช่องเปิดตามลำดับ

2.1.2 หลักการทำงานของเครื่องเอ็กทรูเดอร์

การทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extruder operation)

ส่วนผสมที่เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในเครื่องคุกกิ้งเอ็กซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยธัญชาติที่ผ่านการบด สตาร์ช และโปรตีนที่ได้จากพืช นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นอีกที่เป็นวัตถุดิบรอง ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล เกลือ กรดหรือด่าง สารอิมัลซิไฟเออร์ สี และกลิ่นรส น้ำจะเติมเข้าไปเพื่อปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นอยู่ในระดับ 10-40%

พลังงานต่างๆที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์นั้นทำให้อุณหภูมิของฟีดที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขณะที่เคลื่อนผ่านไปในเครื่อง ในบรรดาแหล่งพลังงานเหล่านี้ การเพิ่มพลังงานทางกลโดยการหมุนสกรูเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดและคิดเป็น 50-100% ของพลังงานทั้งหมดที่มี โดยความร้อนที่ถ่ายเท่จากผนังบาร์เรลที่ร้อนหรือเย็น หรือพลังงานที่ส่งไอน้ำเข้าไปและผสมโดยตรงกับอาหารภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์เป็นส่วนที่สำคัญน้อยกว่า

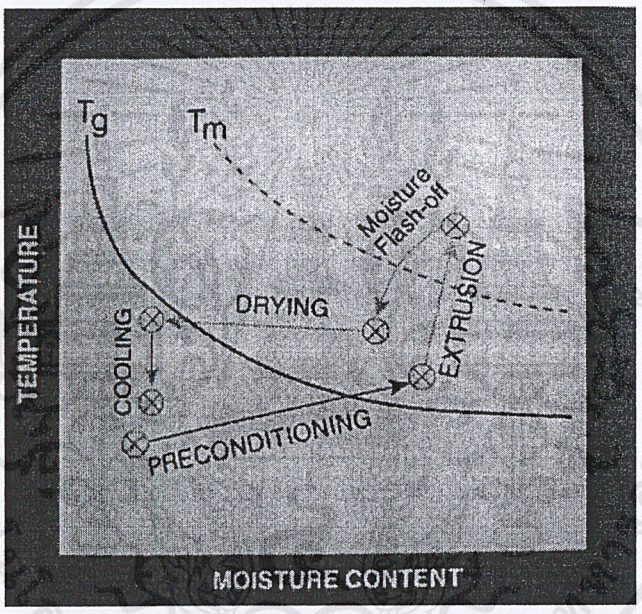
ในกระบวนการคุกกิ้งเอ็กซ์ทรูชัน อุณหภูมิของส่วนผสมอาหารหลักจากที่ถูกอัด จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปเป็น 150-200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงนี้จะคงอยู่น้อยกว่า 20 วินาที ไม่เช่นนั้นจะทำให้ไหม้ และเกิดกลิ่นรสแปลกปลอมขึ้น ความดันในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่สูงทำให้เกิดสภาวะที่คล้ายกับหม้อต้มความดัน (pressure cooker) ซึ่งจะป้องกันการพุ่งกระจายของไอน้ำจนกว่าความดันจะถูกปล่อยออกมา เมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากได

เมื่อโดออกจากได ความดันจะถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้เกิดการพองตัว (puffing) อย่างทันทีที่อุณหภูมิสูง การพองตัวนี้นี้ส่วนใหญ่เกิดจากไอน้ำที่ออกจากน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ถูกทำให้ร้อนขึ้น การสูญเสียความชื้นและความร้อนในผลิตภัณฑ์รวมกับการพองตัวทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ็กซ์ทรูเดทที่ขยายตัวจะมีโครงสร้างของเซลล์เปิดซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่แต่ละเซลล์ถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรน ของแป้งหรือโปรตีน ขนาดของเซลล์เหล่านี้จะควบคุมลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เอ็กซ์ทรูเดทเหล่านี้มักจะถูกตัดที่ผิวหน้าของไดด้วยใบมีดที่หมุน แล้วอบแห้งต่อในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนให้มีความชื้น 2-12% ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการอาจเคลือบด้วย สี กลิ่นรส น้ำมันและหรือน้ำตาล

การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปส่วนใหญ่ขึ้นกับปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน อุณหภูมิที่จุดออกจากเครื่อง ระดับหรือปริมาณความเสียหายของส่วนผสมที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไหล และลักษณะรูปร่างของได



รูป 2.3 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและอุณหภูมิ

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันได้อธิบายไว้ดังรูปที่ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและอุณหภูมิ เริ่มจากอุณหภูมิวัตถุดิบอยู่ต่ำกว่าอุณหภูมิสภาพแก้ว จากนั้นมีการเพิ่มความชื้นเข้าไป วัตถุดิบจะถูกให้ความร้อนจากเครื่องทำความร้อนและความร้อนจากแรงเฉือนของสกรูทำให้เกิดกระบวนการเจลาติไนซ์ของแป้ง จากนั้นความชื้นจะเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วเมื่อผลิตภัณฑ์ออกจากหน้าแปลน ผลิตภัณฑ์จะแห้งและเย็นตัวลงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความกรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

ปัจจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัตถุดิบ (จุฑามณี และคณะ, 2552)

เนื่องจากปฏิกิริยาในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันมีทั้งการเปลี่ยนแปลงทางด้านความร้อนและความดัน ซึ่งส่งผลให้วัตถุอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ ดังนั้นความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับชนิดและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของวัตถุอาหารจะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้วัตถุดิบในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะที่ดีตามต้องการ ดังนี้

1) **ธัญพืช** (cereals) เป็นกลุ่มวัตถุดิบหลักของผลิตภัณฑ์อาหารจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ได้แก่

- ข้าวโพด นิยมใช้มากและประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย ราคาถูก พองตัวได้ดีและมีกลิ่นรสที่ดี
- ข้าว พองตัวได้ดี มีสีเหลือง รสจืดเป็นธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลดีต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเติมรสชาติอื่นๆ
- ข้าวสาลี จะพองตัวได้ยากขึ้น เนื่องจากปริมาณกลูเตนในแป้งสาลีมีมากกว่าข้าวโพดและข้าว มีกลิ่นรสมัน
- ข้าวโอ๊ต เป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนจากธัญพืช มีไขมันสูงซึ่งยากต่อการสุกและพองมักนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ

2) **พืชหัว** (root crop) ที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันมี 2 ชนิด คือ มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นแหล่งแป้งที่ใช้ปรับปรุงลักษณะเนื้อสแนค

3) **โปรตีน** นิยมใช้แป้งถั่วเหลือง โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ในกรณีของขนมขบเคี้ยวและอาหารเช้าธัญชาติชนิดกรอบพอง โปรตีนจะลดการพองตัวลดขนาดของโพรงอากาศ เพิ่มความหนาแน่น และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสกรอบแข็งมากยิ่งขึ้น

4) **ความชื้น** ในการผลิตจะต้องมีการเพิ่มความชื้นโดยการเติมน้ำลงไปในส่วนผสม เพื่อลดอุณหภูมิพร้อมกับคล้ายเป็นตัวหล่อลื่นให้ผลิตภัณฑ์ไหลไปข้างหน้า และเป็นส่วนสำคัญในการเกิดเจลเมื่อแป้งดูดความชื้นจะทำให้เกิดการพองตัว ทำให้น้ำเข้าไปได้มากขึ้น ถ้ามีการกวนที่แรงเพียงพอ หรืออุณหภูมิที่เพียงพอ หากความชื้นไม่สม่ำเสมอจะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดเจลของอาหารไม่สม่ำเสมอ เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่ได้คุณภาพ

5) **แป้งหรือสตาร์ช** ถ้าแป้งมีการทำให้สุกในที่ความชื้นสูง โครงสร้างของสตาร์ชจะขยายตัวดูดซับโมเลกุลของน้ำไว้จำนวนมาก ทำให้เกิดเจลาติไนซ์ มีลักษณะข้นคล้ายพลาสติก ถ้าที่ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นต่ำที่ใช้สำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น การเจลาติไนเซชันของเมล็ดแป้งขึ้นกับการผลของความชื้นและแรงเฉือนทางกลร่วมกัน เม็ดแป้งจะถูกเฉือนขณะเคลื่อนผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ การไหลของส่วนผสมต่างๆ ที่เหนียวในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องอาศัยพลังงานทางกลจำนวนมากเพื่อใช้หมุนสกรูและจะปล่อยออกมาในรูปความร้อน ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ผลของการเจลาติไนซ์เซชันและการเดกซ์เจอร์ไรเซชันคือ ได้โดที่เหนียวหรือโดที่หลอมซึ่งสามารถผ่านรูเอ็กซ์ทรูชันได้ เพื่อขึ้นรูปและพองทันทีเมื่อความชื้นภายในที่มีอุณหภูมิสูงเปลี่ยนไปเป็นไอน้ำหลังจากออกได้แล้ว

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

6) **ไขมัน** ทำหน้าที่เหมือนตัวหล่อลื่น ลดความเหนียวหนืดของส่วนผสมทำให้ถูกผลักพาได้ง่าย ถ้าไขมันสูงจะให้ผลิตภัณฑ์เนื้อแน่น ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความพองปริมาณไขมันควรต่ำกว่า 2 % แต่สำหรับผลิตภัณฑ์สแนคเพลเลท หรือ อาหารสัตว์ที่ความชื้นสูง ซึ่งต้องการเนื้อแน่นปริมาณไยมันที่ใช้ได้ตั้งแต่ 1-10%

สำหรับสกรูเดี่ยว ในกระบวนการผลิตนั้น วัตถุดิบจำเป็นต้องมีไขมันอยู่ในช่วง 12-17%db เพราะหากวัตถุดิบมีไขมันมากกว่านั้นจะทำให้แรงเสียดทานภายในบาร์เรลลดลง ทำให้พลังงานที่จะเปลี่ยนสภาพทำให้อาหารสุกมีค่าลดลง แต่สกรูคู่ วัตถุดิบต้องมีไขมันอยู่ในช่วง 18-22%db

7) **น้ำตาล** มักใช้ในผลิตภัณฑ์อาการเช้าสำเร็จรูปเป็นส่วนใหญ่ น้ำตาลจะหลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาฟาเรนไฮ จะช่วยลดความข้นหนืดของส่วนผสม ทำให้ผลักพาส่วนผสมได้ง่าย แต่อัตราที่น้อยกว่าน้ำและไขมัน ให้รสหวานและสี หากอุณหภูมิกว่านี้จะเกิดคาราเมล เป็นสีน้ำคาล

8) **อิมัลซิไฟเออร์** ใช้ในปริมาณน้อย น้อยกว่า 1% จะมีผลต่อเนื้อสัมผัสขนาดโพรงอากาศและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ใช้ glycerol monostearate (GMS) 0.3-0.5% จะช่วยลดการติดฟัน และช่วยยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากอิมัลสิไฟเออร์สามารถจับกับอะไมโลสของแป้งทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อถูกเคี้ยวทำลายในปากจึงไม่ติดฟัน

9) **เส้นใย** มีผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพราะ ไฟเบอร์ จะทำหน้าที่เหมือน solid filler ทำให้ลักษณะการพองของโมเลกุลของแป้งพองตัวยากขึ้น อังนั้นความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นถ้ามีไฟเบอร์มาก

10) **ขนาดของวัตถุดิบ** เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ เพราะส่วนใหญ่ส่วนผสม หรือ อาหารที่ป้อนเข้าสู่บาร์เรลมักอยู่ในรูปที่เป็นผงหรือเป็นเม็ดเล็กๆ เนื่องจากจะทำให้ง่ายต่อการขนถ่าย ส่วนผสมเพื่ออัดด้วยการเฉือนแลละการนวด อีกทั้งยังทำให้ส่วนผสมรับความร้อนได้ทั่งถึง เพราะพื้นที่สัมผัสมาก หลอมเหลว สูง และขึ้นรูปขยายตัวง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (รุ่งนภา,2541)

แบ่งได้โดยอาศัยคุณสมบัติหน้าที่และผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Functional characteristics) ดังนี้

1) **Pasta Extruders (เครื่องมือที่ใช้กับผลิตภัณฑ์พาสต้า)**

เครื่องมือจะมีสกรูที่มีร่องเกลียวลึก ผนังด้านในของทรงกระบอกที่หุ้มสกรูเรียบไม่มีเซาะร่อง มีการหมุนของสกรูช้า เหมาะสำหรับใช้อัดเซโมลินา(semolina) ชื้นผ่านช่องเปิดให้ได้ผลิตภัณฑ์พาสต้าที่มีรูปร่างต่างๆกัน โดยมีการทำให้สุกน้อยหรือไม่มีเลยเพราะมีแรงเฉือนเกิดขึ้นน้อย เครื่องมือนี้จะใช้พลังงานน้อย นอกจากจะใช้กับผลิตภัณฑ์พาสต้ายังใช้กับฮอทดอก เพสตรี้ คุกกี้ และขนมหวานบางชนิด

2) **High Pressure- Forming Extruders (เครื่องมือที่ใช้กับการขึ้นรูปความดันสูง)**

จะใช้เพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการอัดส่วนผสมของธัญชาติที่ทำให้สุกแล้วผ่านช่องเปิดโดยการควบคุมสภาวะไม่ให้เกิดการพองตัว ผลิตภัณฑ์จะถูกนำไปให้พองตัวต่อโดยการทอดหรือคั่วในเครื่องคั่ว เครื่องมือจะมีการเซาะร่องที่ผนังด้านในของทรงกระบอกที่หุ้มสกรูเพื่อป้องกันการลื่นและมีแรงอัดสูงที่ช่องเปิด ในระบบต้องมีการควบคุมอุณหภูมิอย่างดี ถ้าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงเกินไป เมื่ออัดผ่านช่องเปิดจะทำให้เกิดการพองตัว

3) **Low-Shear Cooking Extruders (เครื่องมือที่ทำให้สุกและมีแรงเฉือนต่ำ)**

เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ผนังด้านในเรียบและช่องว่างระหว่างผนังสองของชั้นบาร์เรล นั้นมีของเหลวอุณหภูมิสูง ไอน้ำ หรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ตลอดเวลาความร้อนนี้ส่งผ่านไปยังส่วนผสมของวัตถุอาหารโดยการนำ นอกจากนี้การหมุนตัวของสกรูทำให้เกิดการขัดสีระหว่างวัตถุอาหารและสกรู เกิดเป็นความร้อนและความร้อนนี้ก็แพร่ไปยังส่วนผสมของวัตถุอาหารด้วยวิธีการนำด้วย วิธีการนี้ทำให้ส่วนผสมที่เป็นแป้งเปลี่ยนแปลงเป็นโด ซึ่งโดมีการขยายตัวและพองตัวเกิดขึ้นได้บ้าง ดังนั้นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาของส่วนผสมของวัตถุอาหารที่อยู่ภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ซึ่งส่วนมากแล้วใช้เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว เพื่อจะทำให้แป้งเป็นองค์ประกอบหลักของส่วนผสมอาหารเปลี่ยนเป็นเจลตามที่ต้องการ แล้วโดนี้จะถูกทำให้เย็นลงด้วยการลดอุณหภูมิปลอกเหล็กผนังสองชั้น อันสุดท้ายหรือช่วงสุดท้ายที่ติดกับหน้าแปลนให้ต่ำกว่า 100 c ซึ่งโดนี้ถูกแรงหมุนของสกรู และความดันอัดให้ผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน ออกมาสู่บรรยากาศภายนอก และถูกตัดออกเป็นชิ้นๆ ความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ภายในชิ้นอาหารขบเคี้ยว หรือขนมอบกรอบกึ่งสำเร็จรูป ชนิดที่ได้นี้มีลักษณะเนื้อแน่นมากกว่าการพองตัว จึงต้องผ่านกรรมวิธีอย่างอื่นเพิ่มอีก เช่นการอบแห้งและก่อนนำมารับประทานต้องทอดในน้ำมัน คั่ว หรืออบเพื่อให้สุกพองเสียก่อน อาหารขบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคี้ยว หรือ ขนมอบกรอบกึ่งสำเร็จรูปนี้รู้จักกันดีในชื่อว่า Third generation snacks ที่มีผลิตจำหน่ายในบ้านเรา เช่น ปาปริก้า โปเต้ คอนเน่ เป็นต้น

4) **Collet Extrudes**

เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเรียบง่ายเล็กกะทัดรัด สะดวกต่อการใช้งาน เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่มีความยาวของตัวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยมาก ประมาณ 3:1 (L/D = 3:1 เรียกว่า short screw แต่ชนิดที่ยาวกว่าขนาด L/D = 10:1 ก็มี) ใน Collet Extrudes นี้เกิดแรงเฉือนสูงมากอันเนื่องมาจากสกรูที่มีร่องเกลียวตื้นหมุนอยู่ภายในบาร์เรลที่ผนังด้านในก็เป็นร่องเกลียวเช่นเดียวกัน ร่องเกลียวนี้ป้องกันการลื่นที่ผนัง วัตถุดิบที่ใช้กับเครื่องเอ็กทรูเดอร์นี้ ส่วนมากแห้งมีความชื้นต่ำ ความร้อนเกือบทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้น ได้จากการเสียดสี (friction) แล้วทำให้ได้ความร้อนถึง 175 □c อย่างรวดเร็วเพื่อให้แป้งกลายเป็นเจล และเป็นเด็กซ์ตรินบางส่วน วัตถุดิบ หรือส่วนผสมของวัตถุดิบอาหาร (แป้ง) ที่ได้เปลี่ยนแปลงสภาพไป และยังอยู่ภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์นี้ เรียกว่า เอ็กซ์ทรูเดท เอ็กซ์ทรูเดทที่อยู่ในสภาพนี้ก็จะถูกดันทำให้โผล่พ้นรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนออกมา วัตถุดิบที่นิยมใช้กับ Collet Extruders ได้แก่ คอร์นกริต ข้าวท่อน

5) **High Shear Cooking Extruders**

เป็นเครื่องเอ็กทรูเดอร์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับผิตภัณฑ์ได้หลายลักษณะเช่น พวกที่สุกเป็นบางส่วน หรือพวกกึ่งสำเร็จรูป หรือพวกที่ผ่านความร้อนสูง แล้วมีการจัดโครงสร้างโมเลกุลใหม่ เช่น โปรตีนเกษตร (texture vegetable protein) แรกเริ่มนั้นก็ประยุกต์นำเอาเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในการผิตผิตภัณฑ์ทำด้วยพลาสติกที่มีอัตราส่วนของความยาวสกรู : เส้นผ่านศูนย์กาง (L/D 10-20:1) เป็นชนิดที่เกิดแรงอัดสูง เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่มีบาร์เรลยาว แต่ก็สามารถทำให้ร้อนหรือเย็นได้ โดยใช้แห่งความร้อนความเย็นจากภายนอก โดยผ่านเข้าไปในช่องว่าง ระหว่างผนังของบาร์เรล เอ็กทรูเดอร์ชนิดนี้ใช้กับวัตถุดิบมากมายหายชนิดและในช่วงของความชื้นที่แตกต่างกัน และควบคุมสภาวะต่างๆในระหว่างการผลิตได้ เช่น การควบคุมการสุกพอง อุณหภูมิ ความหนาแน่นของเนื้อสัมผัส ฯลฯ ผิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กทรูเดอร์นี้ ได้แก่ อาหารเลี้ยงสัตว์ อาหารเช้า ซีเรียลอาหารเช้าจากธัญพืชพร้อมรับประทาน (RTE cereals) โปรตีนเกษตร (TVP) และอาหารขนมขบเคี้ยว หรือขนมอบกรอบ (snack foods) High Shear Cooking Extruders (HSCE) ได้ถูกจัดอยู่ใน (HTST) ส่วนมากในการผลิตอาหารโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ วัตถุดิบที่นำมาใช้ก่อนป้อนเข้าไปในเครื่องเอ็กทรูเดอร์ ควรอุ่นหรือให้ความร้อนเสียก่อนซึ่งจะเป็นไอน้ำหรือความร้อนก็ได้ แล้วป้อนเข้าไปใน HSCE เพื่อให้วัตถุดิบนั้นเปลี่ยนแปลงเป็นเจล หรือปรับโครงสร้างภายในโมเลกุลของวัตถุดิบเสียใหม่ และการอุ่นนั้นจะทำให้วัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้สุกเย็นตัวลงเกือบจะทันที เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิตภัณฑ์โผล่พ้นหน้าแปลนออกมา เวลาใช้ในการหุงต้มนี้ต้องสั้นมาก (short residence time) ด้วยเหตุผลนี้ (เวลาและอุณหภูมิ) จึงได้ตั้งชื่อเครื่องเอ็กทรูเดอร์ชนิดนี้ว่า HTST (High Temperature Short Time)

ตาราง 2.1 สภาวะการทำงานของเครื่องมือแบบต่างๆ (Fellows,1990)

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
ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในเครื่องมือ (S)	-	15-45	-	-	30-90
ความเร็วของสกรู(รอบ/นาที)	30	40	60	300	450
พลังงานสุทธิที่ต้องให้กับผลิตภัณฑ์ ($kWhgk^{-1}$)	0.2	0.03	0.07	0.10	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.2 การใช้เครื่องมือแบบต่างๆกับผลิตภัณฑ์ (Fellows,1990)

ตัวแปร	Pastra extruder	High Pressure Forming Extruders	Low Shear Cooking Extruders	Collet Extrudes	High Shear Cooking Extrudes
ขนมขบเคี้ยว			X	X	X
ขนมปังกรอบ			X	X	X
ผลิตภัณฑ์ธัญพืช				X	X
ผลิตภัณฑ์พาสต้า	X				
ผลิตภัณฑ์พวกหมากฝรั่ง		X	X		X
ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก			X		
อาหารสัตว์			X	X	X
เนื้อเทียม				X	X

แบ่งชนิดของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ตามวิธีการสร้างประกอบเครื่อง

1) **เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (single screw extruder)**

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดียวเป็นเครื่องที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมจนถึงปัจจุบันนี้ ส่วนเครื่องแบบสกรูคู่ดีรับความนิยมมากขึ้นใน 20 ปี ที่ผ่านมา เครื่องทั้งสองแบบมีข้อดีข้อเสียต่างกันขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวไม่ว่าจะใช้สำหรับอัดหรือดันให้โดของอาหารผ่านหน้าแปลน เพื่อขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่มีการพองหรือใช้เพื่อทำการสุกและขึ้นรูปด้วยความร้อนอย่างรุนแรงแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิด (รุ่งนภา,2541)

ในกรณีแรกที่ใช้เพื่อการขึ้นรูป สกรูต้องมีเกลียวที่ลึกและหมุนช้าๆเพื่อให้ปริมาณพลังงานกลถูกปลดปล่อยออกมาให้น้อยที่สุด เช่น การทำมักกะโรนี หรือ หมากฝรั่ง

เครื่องคุกกิ้งเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ทำให้สุกจะมีสกรูสำหรับการอัด โดยลดความลึกของเกลียวสกรูหมุนด้วยความเร็วสูง เพื่อเพิ่มแรงเฉือนและพลังงานกล สำหรับการให้ความร้อนจากการเติมไอน้ำก่อนที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต สามารถแยกประเภทเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเกลียวเดี่ยวได้อีกตามขนาดของแรงเฉือนอาหารดังต่อไปนี้

1.1 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ซึ่งใช้แรงเฉือนสูง ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากธัญพืช และ อาหารขบเคี้ยว

1.2 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ซึ่งใช้แรงเฉือนปานกลาง ใช้ในการผลิตขนมปังและอาหารสัตว์เลี้ยงที่มีความชื้นปานกลาง

1.3 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ซึ่งใช้เรืองเฉือนต่ำ ใช้ในการผลิตพาสต้าและผลิตภัณฑ์เนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของเกลียวอัดจะแบ่งเป็นหลายโซนที่ส่งวัตถุดิบเข้าไปเพื่ออัดวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน โซนนวดเพื่อการบีบนวด โซนผสมและเฉือนเนื้ออาหารที่มีคุณสมบัติคล้ายพลาสติกและจะมีส่วนของหารให้ความร้อนในเครื่องที่ใช้แรงเฉือนสูง การส่งวัตถุดิบผ่านเครื่องเอ็กทรูเดอร์แบบเกลียวนี้ทำได้โดยอาศัยความฝืดที่ผิวของบาเรล วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าด้วยการทำงานของเกลียวและมีบางส่วนเคลื่อนที่ไปในทางกลับกัน (pressure flow และ leakage flow) ซึ่งเป็นการไหลเนื่องจากแรงดันที่เกิดด้านหลังหน้าแปลนและการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบระหว่างเกลียวอัดและบาเรล การใช้ผ้าแบบพิเศษหุ้มภายในบาเรลจะช่วยลดการลื่นไถลได้ เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเกลียวเดี่ยวใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องและความชำนาญในควบคุมดูแลเครื่องน้อยกว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเกลียวคู่ (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา)

ตาราง 2.3 การจัดแบ่งประเภทของเครื่องเอ็กทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว

	Lower Shear	Medium Shear	High Shear
Product moisture%	25-75	25-30	5-8
Product Density (grams/L)	320-800	160-510	32-200
Maximum Barrel Temperature (°C)	20-65	55-145	110-180
Maximum Barrel Pressure (kg/cm^2) (kPa)	6-63 588-6178	21-42 2059-4119	42-84 4119-8238
Ds Screw Diameter H Channel Depth	3-5.3	5-8.5	8-18
Parallel Flow Channels(n)	1	2	2 or 3
Screw Speed (rpm)	Less than 100	Greater than 100	Greater than 100
Energy Conversion (kw/kg)	0.01-0.04	0.02-0.08	0.10-0.16
Typical Products	Pasta Products Third-Generation Snacks Meat Products Gums	Textured Soy Breadings Expanded Pet Food Semi-moist Pet Food	Snacks Breakfast Cereals Breading (Croutons) Thin Boiling Starches

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder)

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่จะหมุนเป็นรูปเบอร์ 8 อยู่ในบาเรลประเภทของเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบนี้แบ่งได้ตามทิศทางของการหมุนและลักษณะที่เกลียวจะหมุนเจอกัน เกลียวแบบที่จะหมุนไปในทิศทางเดียวกันเป็นแบบที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร การหมุนทำให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ไปตามเกลียวของเครื่องการหมุนเจอกันช่วยในการผสมและป้องกันการหมุนของวัตถุ (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา)

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่มีลักษณะของสกรูที่หมุนตามกัน ส่วนต้นของสกรูออกแบบมาเพื่อขนถ่ายส่วนผสม ที่เป็นเม็ดๆ ความสามารถในการขนถ่ายของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่มีมากกว่าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวทำให้สามารถใช้กับส่วนผสมที่เหนียวได้ดีกว่า สกรูที่ขนานกันจะถูกันเอง (self wipping) เมื่อเกลียวที่ซ้อนกันบนสกรูหนึ่งถูด้านล่างของช่องชัลแนลของอีกสกรูที่อยู่ติดกัน

จานนวด (Kneading disk) จะช่วยกระจายพลังงานกลระหว่างการขนถ่ายมากขึ้นโดยส่วนผสมของวัตถุดิบต่างๆเคลื่อนจากจานหนึ่งไปอีกจานหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดการผสมกันเกิดขึ้น และการกระจายของพลังงานกลจะมากขึ้น เมื่อส่วนต่างๆเหล่านี้บรรจุอาหารอยู่เต็ม

2.2 ธัญชาติ

ธัญชาติแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มธัญพืชหรือกลุ่มพวกที่มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวฟ่าง ข้าวกล้อง ข้าวไรน์ ข้าวโพด ลูกเดือย เป็นต้น และกลุ่มพวกที่มีองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันเป็นหลัก ได้แก่ ถั่ว และ พวกถั่วเปลือกแข็งต่างๆ (บรรจบ, 2548)

2.2.1 แนวโน้มความต้องการของผู้บริโภค

ปัจจุบันพฤติกรรมการบริโภคอาหารของคนไทยได้เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนไปของเศรษฐกิจและสังคม พบว่าคนไทยในปัจจุบันเริ่มมีแนวโน้มที่จะซื้อสินค้าโดยไม่ได้พิจารณาที่ราคาถูกที่สุด ผู้บริโภคจะมุ่งเน้นสุขภาพของตนเองและครอบครัวมากขึ้น เกือบทุกครัวเรือนจะต้องไม่มีอย่างใดก็อย่างหนึ่งที่เป็นอาหารเสริมสร้างสุขภาพ ไม่ว่าจะเป็นขนมปังเสริมวิตามิน เครื่องดื่มที่เติมแร่ธาตุบางชนิด หรือเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีการเติมสมุนไพร เป็นต้น ทำให้บรรดาอุตสาหกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอาหารสร้างเสริมสุขภาพ (Functional Foods) มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วมากในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (มลศิริ ,2545)

อาหารเพื่อสุขภาพนั้นผู้บริโภคสามารถเอกหารับประทานได้มากมาย ได้แก่ ผักผลไม้ ธัญพืช และพวกเมล็ดธัญชาติต่างๆ เช่น ถั่ว ถั่วเปลือกแข็งทุกประเภท อีกทั้งการเลือกทานถั่วและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผักผลไม้ ให้ครบ 5 สี ให้เข้ากับธาตุในร่างกายนั้น จะช่วยให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เป็นประโยชน์ และช่วยเสริมให้อวัยวะหลักสำคัญภายนำงานได้ดียิ่งขึ้น (ปนิตา ,2551) โดยเฉพาะเมล็ดถั่วมีราคาไม่แพง และยังมีสารอาหารครบทุกหมู่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต คือ แป้งและน้ำตาล โปรตีน ไขมัน วิตามิน เกลือแร่หลายชนิด

โดยประโยชน์ของถั่ว 5 สี และลูกเดือย มีรายละเอียดดังนี้

ลูกเดือย

ลูกเดือยเป็นธัญพืชประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่มีเส้นใยอาหารสูงเป็นพืชตระกูลเดียวกับข้าว โดยมีลักษณะเป็นเม็ดสีขาว รสชาติมันเล็กน้อย ในตำรายาจีน บอกไว้ว่า ลูกเดือย ซึ่งมีรสจืดนั้นมีฤทธิ์เป็นยาเย็น ช่วยบำรุงกำลัง หล่อลื่นกระเพาะอาหารและลำไส้ บำรุงปอด ม้าม ตับ ขับปัสสาวะ ขับเสมหะ แก้ไข้ ลดการเกิดกระ รักษาโรคหูด ลดการเกิดมะเร็ง เพราะสารคอกซีโนไลด์ (coxenolide) ที่มีสรรพคุณในการยับยั้งการเกิดเนื้องอก

ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจ ในถั่วเหลืองมีน้ำมันปริมาณมากโดยน้ำหนัก และมีโปรตีน ส่วนที่เหลือเป็นคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ยังมี เลซิติน และกรดอะมิโน รวมทั้งมี แคลเซียม ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก ไนอะซิน วิตามินบี1 และบี 2 วิตามินเออีอี ซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของกระดูก ป้องกันการขาดแคลเซียมในกระดูก บำรุงประสาทและสมองและยังบำรุงธาตุดินในร่างกาย ซึ่งทำให้ม้ามทำงานดีขึ้น

ถั่วเขียว

ถั่วเขียวอุดมไปด้วยคลอโรฟิลล์แล้วยังมีสารประกอบอื่นๆเช่น ลูทีน อินโดล และไทโอไซยาเนต ซึ่งมีคุณสมบัติส่งเสริมคุณภาพหลายประการ ลูทีนเป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ อินโดล-3-คาร์บินอล (I3C) ได้มาจากการสลายตัวของสารตั้งต้นเมื่อเนื้อเยื่อพืชถูกตัดหรือหั่นทำลาย ซึ่งมีฤทธิ์ต้านการเกิดมะเร็ง ซัลโฟราเฟน (sulforaphane) เป็นสารไทโอไซนาเนต ได้มาจากการถูกไฮโดรไลต์ของสารกลูโคราฟานิน (glucoraphanin) มีฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ขับสารพิษในตับได้เป็นอย่างดี

ถั่วขาว

ถั่วขาวได้รับความนิยมแปรรูปเป็นสารสกัดถั่วขาวในลักษณะผง เพื่อช่วยในเรื่องการลดความอ้วน จากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญด้านสารสกัดจากถั่วขาว พบว่าในถั่วขาวนั้น มีคุณสมบัติพิเศษ เพราะมีสาระสำคัญที่ชื่อว่า ฟาซิโอลามีน (Phaseolamin) ซึ่งมีฤทธิ์ทำให้เอนไซม์อะไมเลสเป็นกลาง ดังนั้น แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตที่เราบริโภคเข้าไป จึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ หากเราได้รับ ถั่วขาว เข้าไป นั่นคือร่างกายจะได้รับพลังงานจากแป้งลดลง ซึ่งมีผลทำให้การสะสมของไขมันที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลเป็นไขมันลดลงด้วย เมื่อร่างกายได้รับไขมันไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
119492

เพียงพอก็จะนำไขมันเก่าที่สะสมออกมาใช้ จึงทำให้น้ำหนักลดลง และยังบำรุงธาตุโลหะในร่างกาย ซึ่งทำให้ปอดทำงานได้ดีขึ้น

ถั่วแดง

ถั่วแดง นอกจากจะเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีแล้ว ยังช่วยลดคลอเลสเตอรอลส่วนเกิน เพื่อลดอัตราเสี่ยงการเป็นโรคหัวใจ สีแดง เกิดจากสารกลุ่มแอนโทไซยานิน ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การวิจัยพบว่าสารกลุ่มแอนโทไซยานินมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของไขมันแอลดีแอล และยังทำให้เซลล์บุผนังหลอดเลือดมีความอ่อนนิ่ม การกินผักผลไม้ที่มีสีแดงจึงสามารถช่วยชะลอการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือดและโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัวได้

ถั่วดำ

ถั่วดำเป็นพืชล้มลุก เปลือกหุ้มเป็นสีดำ มีสารจำพวกแอนโทไซยานิน ซึ่งนับเป็นตัวล้างพิษชั้นดี ในทางสมุนไพร ช่วยบำรุงเลือด ขับของเหลวในร่างกาย ขับลม ขจัดพิษ บำรุงไต ขับเหงื่อ แก้ร้อนใน บำรุงสายตา เหมาะสำหรับผู้ป่วยที่มีอาการบวมน้ำ เห็บชา ดีซ่าน ไตเสื่อม ปวดเอว อีกทั้งมีโปรตีน คาร์โบไฮเดรต แคโรทีน ไนอะซิน วิตามินบี1และบี2 และสารช่วยบรรเทาการปวดลำไส้เล็ก (วันดี ,2535)

นอกจากนี้จะกล่าวถึงข้อมูลทั่วไปของถั่ว 5 สี และลูกเดือยดังนี้

2.3 ลูกเดือย

2.3.1 ความรู้ทั่วไป

ชื่อสามัญ Job's tear, Adley

ชื่อวิทยาศาสตร์ Coix lachyma-jobi Linn

วงศ์ Gramineae, Poaceac

ถิ่นที่อยู่ เป็นพื้นในเขตร้อนทั่วไป เช่น ประเทศไทย อินเดีย จีน แอฟริกา

ส่วนที่ใช้ รากและเมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ประเภทลูกเดือย

เดือยอาจแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

เดือยหิน ใช้เป็นเครื่องประดับคล้ายลูกปัดเช่นทำพวกสายสร้อยตกแต่งเสื้อผ้าซึ่งเป็นที่นิยมปลูกกันในหมู่ชาวเขาทางภาคเหนือ เดือยประเภทนี้มีเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นเงา หนา แข็ง และเหนียวมาก และมีหลายสี เช่น สีขาว หรือเทาอ่อนหรือมีหลายสี อ่อนแก่บนเมล็ดเดียวกันน้ำหนักทั้งเปลือก 100 เมล็ดอยู่ระหว่าง 10.5-32.8 กรัมต้นส่วนมากจะเตี้ยกว่าเดือยประเภทอื่น

เดือยขบ มักจะปลูกกันตามบ้านในปริมาณน้อย สำหรับเป็นของขบเคี้ยวในครอบครัว หรือจำหน่ายในตลาดของท้องถิ่น โดยจะตัดทั้งช่อและต้น มักจะพบในชนบททั่วไป เมล็ดขนาดโตค่อนข้างกลม เปลือกค่อนข้างหนาและแข็งปานกลาง ในการบริโภคนั้นต้องใช้ฟันขบจึงเรียกว่า" เดือยขบ" เปลือกมีหลายสีปนกันบนเมล็ดเดียว เช่นครึ่งหนึ่งสีครีมอีกครึ่งหนึ่งสีน้ำตาลแก่ น้ำหนัก 100 เมล็ดทั้งเปลือกประมาณ 18.6 กรัม เดือยขบมีลำต้นสูงประมาณ 2 เมตร

เดือยการค้า เป็นเดือยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และปลูกมากที่สุด เมล็ดที่กะเทาะเอาเปลือกออกแล้วจะใช้บริโภคได้หลายรูปแบบ เดือยการค้า จะมีทั้งเดือยข้าวเจ้า และข้าวเหนียว เนื่องจากมีทั้งประเภทที่เปลือกหนาค่อนข้างแข็งและแระเภทเปือกบางเปราะ ถ้าเป็นชนิดแรก ผิวเปลือกมักจะมันเป็นเงามีสีขาวปนเทาส่วนชนิดหลังผิวเปลือกจะด้านและมักมีสีเดียวล้วนๆ เช่น มีสีน้ำตาลอมเทา เม็ดจะยาวรี น้ำหนัก 100 เมล็ดทั้งเปลือกอยู่ระหว่าง 10.8-19.0 กรัม ต้นเดือยการค้าจะสูงพอๆ กับเดือยขบโดยปลูกมาก ในแถบจังหวัดเลย อำเภอที่ปลูกเดือยมาก ได้แก่ อำเภอภูหลวง อำเภอวังสะพุง และอำเภอเมือง ตามลำดับ พื้นที่ปลูก เดือยส่วนใหญ่จะอยู่บนเนินเขา และที่ลาดเชิงเขา ส่งออกไปยังต่างประเทศ เช่นญี่ปุ่น ไต้หวัน

2.3.3 การแปรรูป

แป้งเดือย เมื่อพิจารณาคุณภาพของแป้งจะแบ่งเดือยได้เป็น 2 ประเภทคือ

เดือยข้าวเจ้า เมื่อนำเดือยประเภทนี้ไปต้ม แป้งและน้ำต้มเดือย จะไม่เหนียวลื่นหรือเป็นเมือก เมล็ดทั้งเปลือกค่อนข้างยาวขนาดเล็ก เปลือกสีน้ำตาลแก่ ค่อนข้างหนาแข็ง เนื้อแป้งของเมล็ดจะค่อนข้างแข็ง โรงสีจะชอบ เพราะสามารถเก็บเมล็ดเดือยไว้ได้นาน เดือยชนิดนี้มีต้นสูง และลำต้นสีเขียวนวลขนาดใหญ่

เดือยข้าวเหนียว เนื้อแป้งเมื่อหุงต้มจะนุ่มเป็นเมือกลื่นๆคล้ายกับข้าวเหนียว หรือมีแป้งข้าวเหนียว (อะไมโลเพ็คติน)เป็นส่วนใหญ่ มีแป้งอะไมโลสเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ ผู้บริโภคนิยมมากกว่าเดือยข้าวเจ้าเมล็ดทั้งเปลือกกลมสั้นโตกว่าเดือยข้าวเจ้าเปือกเมล็ดสีเทาอ่อน บาง และ กรอบ บีบแตกง่าย เนื้อแป้งของเมล็ดจะค่อนข้างอ่อน ทำให้สีหรือกะเทาะได้น้ำหนักน้อยเพราะแตกหักได้ง่าย แต่อาจทำให้ได้รำมากขึ้น สีแล้วได้เนื้อเดือยมาก (เข้าใจว่าถ้าเมล็ดไม่แตกหัก) ต้นเตี้ยกว่าพันธุ์ข้าวเจ้า สีของลำต้นค่อนข้างเหลือง (กรมวิชาการเกษตร ,2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 คุณค่าทางโภชนาการ

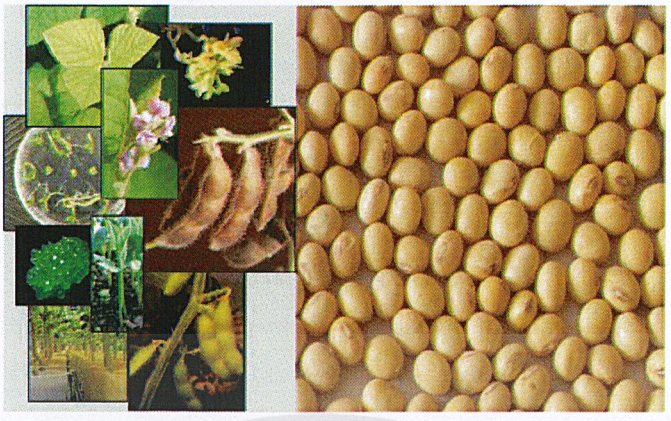
ลูกเดือย เป็นธัญพืช ประเภทคาร์โบไฮเดรต เดือยเป็นพืชพื้นเมืองแท้ๆของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่มีเส้นใยอาหารสูง เป็นพืชตระกูลเดียวกับข้าว โดยมีลักษณะเป็นเม็ดสีขาว เม็ดจะออกกลมๆรีๆ รสชาติออกมันเล็กน้อย ในตำรายาจีนบอกไว้ว่า ลูกเดือย ซึ่งมีรสจืดนั้นมีฤทธิ์เป็นยาเย็น ช่วยบำรุงกัง หล่อลื่นกระเพาะอาหารและลำไส้ บำรุงปอด ม้าม ตับ ขับปัสสาวะ ขับเสมหะ แก้ไข แก้ท้องเสีย แก้ทางเดินหายใจ เหน็บชา แก้ปวดเข่า ปวดข้อ ไขข้ออักเสบ แก้ชักกระตุก บวมน้ำ ปอดอ่อนแอ ไอเป็นเลือด ฝีที่ลำไส้ แก้อาการตกขาวผิดปกติ ช่วยย่อยอาหารบำรุงเส้นผมผิวหนัง แก้ร้อนในกระหายน้ำ ลดการเกิดกระ รักษาโรคหูด ลดการเกิดมะเร็ง เพราะมีสารคอกซีโนไลด์ (coxenolide) ที่มีสรรพคุณในการยับยั้งการเกิดเนื้องอก

2.3.5 ด้านเศรษฐกิจ

เดือยเป็นพืชไร่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของจังหวัดเลย มีพื้นที่ปลูก คิดเป็นประมาณร้อยละ 95 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ พื้นที่ปลูกเดือยส่วนใหญ่จะอยู่บนเนินเขา และที่ลาดเชิงเขา ซึ่งมีความ ลาดเอียงตั้งแต่ 3-4 องศา อำเภอที่ปลูกเดือยมากและปลูกต่อเนื่องกันมาเรื่อยๆ ได้แก่ อำเภอภูหลวง อำเภอวังสะพุง และอำเภอเมืองตามลำดับ ผลผลิตที่ได้ประมาณร้อยละ 85-90 จะส่งไปขายยังต่างประเทศ โดยตลาดที่สำคัญคือ ญี่ปุ่น และไต้หวัน ผลผลิตที่เหลือจะบริโภคภายในประเทศ ในแต่ละปี เดือยสามารถทำรายได้เข้าจังหวัดเลยประมาณ 120-250 ล้านบาท สำหรับประเทศที่เป็นคู่แข่งทางการค้าของไทยคือ จีน และเวียดนาม เพื่อที่จะรักษาตลาดเดือยในต่างประเทศ จึงจำเป็นที่จะต้องผลิตเดือยที่มีคุณภาพดี ตรงตามที่ตลาดต้องการและสามารถแข่งขันกับประเทศกับประเทศคู่แข่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ถั่วเหลือง



2.4.1 ความรู้ทั่วไป

ชื่อสามัญ ถั่วเหลือง (Soybean)

ชื่อวิทยาศาสตร์ Glycine max *(L.) Merrill*

วงศ์ Fabaceae

ชื่ออื่น ถั่วพระเหลือง ถั่วแระ ถั่วแม่ตาย

ภาคเหนือ เรียกว่า มะถั่วเน่า

พื้นที่ปลูก ส่วนมากปลูกแถบภาคเหนือ และภาคกลางตอนบนของประเทศ

2.4.2 พันธุ์ถั่วเหลือง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549)

การปลูกถั่วเหลืองปัจจุบันมีอยู่ประมาณ 10 พันธุ์ ปรับปรุงโดยกรมวิชาการเกษตร คือ สจ.4 สจ.5 สุโขทัย 2 สุโขทัย 3 นครสวรรค์ 1 เชียงใหม่ 60 เชียงใหม่ เชียงใหม่ 3 เชียงใหม่ 4 ถั่วเหลืองที่สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร ได้ดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองขึ้นมาใหม่ คือ “พันธุ์ศรีสำโรง 1” ซึ่งให้ผลผลิตสูง มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น ทั้งยังสามารถต้านทานโรคราน้ำค้างได้ดี สำหรับพันธุ์ สจ.4 สจ.5 และเชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและเป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งในประเทศไทยสามารถปลูกถั่วเหลืองได้ทั้งปี ปีละ 3 ฤดู

2.4.3 การแปรรูป

ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจในหลายประเภทผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อาหารที่ทำจากถั่วเหลือง ประเทศในแถบเอเชีย แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมักและผ่านการหมักก่อน ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก เช่น น้ำนมถั่วเหลือง เต้าหู้ เต้าฮวย ฟองเต้าหู้ ถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเหลือง ข้าวเกรียบโปรตีน รวมถึงผลิตภัณฑ์จากากถั่วเหลือง เช่น น้ำพริกเผา พริกกับเกลือ ข้าวตู ถั่วกวน เป็นต้น ส่วนผิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักถั่วเหลือง เช่น ถั่วเน่า เทมเป้ ซอสถั่วเหลือง เต้าเจี้ยว เป็นต้น โปรตีนจากถั่วเหลืองหลังจากการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันถั่วเหลืองด้วยตัวทำละลายแล้ว ส่วนที่เหลือจะเป็นเนื้อถั่วที่อุดมด้วยโปรตีนสามารถแปรรูปเป็นอาหารหายชนิด เช่น เนื้อเทียม (โปรตีนเกษตร) แป้ง บะหมี่โปรตีน เบเกอรี่ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในหลายๆประเทศ เพื่อเป็นการขยายตลาดและเพิ่มความนิยมในการบริโภคถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ เช่น ไอศกรีม โยเกิร์ตถั่วเหลือง เนยถั่วเหลือง เป็นต้น

2.4.4 คุณค่าและประโยชน์

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

2.4.5 สถานการณ์ถั่วเหลืองในประเทศไทย (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร)

2.4.5.1 การผลิต

ช่วงปีที่ 2541-2551 พื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองและผลผลิตลดลงต่อเนื่องในอัตราเฉลี่ยต่อปี ร้อยละ 4.252 และร้อยละ 3.077 ตามลำดับ โดยปี 2547 มีพื้นที่เพาะปลูก 0.927 ล้านไร่ ผลผลิต 0.223 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 240 กิโลกรัมต่อไร่ และปี 2551 มีพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง 0.780 ล้านไร่ ผลผลิต 0.193 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 248 กิโลกรัมต่อไร่

การบริโภค

ช่วงปี 2547-2551 ความต้องการใช้เมล็ดถั่วเหลืองของประเทศประมาณ 1.62-1.75 ล้านตัน ลดลงเฉลี่ยต่อปีละ 2.743 การใช้ประโยชน์ถั่วเหลืองมีหลากหลาย เช่น แปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร สกัดน้ำมันบริโภค และอาหารสัตว์ในรูปของถั่วบดไขมันเต็มและกากถั่วเหลือง โดยสถานการณ์การเลี้ยงสัตว์ของแต่ละปีเป็นปัจจัยสำคัญกำหนดความต้องการใช้ ระยะเวลา 5 ปีที่ผ่านมา เมล็ดถั่วเหลืองใช้ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 70.76 บริโภคร้อยละ 28.21 นอกนั้นใช้เป็นเมล็ดพันธุ์และส่งออกบ้างเล็กน้อย

2.4.6 แนวโน้มของถั่วเหลือง ปี 2552 ในประเทศไทย

2.4.6.1 การผลิต

ราคาพืชแข่งขันด้านพื้นที่ เช่น อ้อย โรงงานยังจูงใจให้เกษตรกรปรับลดพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองอย่างต่อเนื่อง คาดว่าพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองของประเทศมี 0.761 ล้านไร่ ผลผลิต 0.192 ล้านตัน หรือลดลงร้อยละ 2.44 และ 0.52 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6.2 การบริโภค

ความต้องการใช้ของประเทศมีปริมาณประมาณ 1.742 ล้านตัน เพิ่มจากปี 2551 ร้อยละ 0.17 ในจำนวนนี้เป็นถั่วเหลืองนำเข้า 1.55 ล้านตัน และเป็นถั่วเหลืองผลิตในประเทศ 0.192 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 88.98 และ 11.02 ของความต้องการใช้ทั้งหมด

2.4.6.3 การค้าระหว่างประเทศ

การกระจายตลาดส่งออกสินค้าเนื้อสัตว์ไปยังประเทศตะวันออกกลาง และประเทศอื่นๆ ในทวีปเอเชีย ประกอบกับการลดภาษีนำเข้าสินค้าเนื้อสัตว์ของกลุ่มสหภาพยุโรป เพิ่มโอกาสในการส่งออกและลดอัตราการพึ่งพาการส่งออกไปยังตลาดอเมริกาและยุโรป ซึ่งประสบปัญหาวิกฤตการณ์ทางการเงิน ส่งผลให้ความต้องการนำเข้าเมล็ดถั่วเหลือง ปี 2552 มีปริมาณ 1.55 ล้านตัน เพิ่มจากปีก่อนร้อยละ 0.65 ถั่วเหลืองส่งออกของไทยเป็นสายพันธุ์ปราศจากการตัดแต่งพันธุกรรม จึงเป็นที่ต้องการของตลาดบริโภคในต่างประเทศ อย่างไรก็ตามเนื่องจากปริมาณการผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการ ส่งผลให้การส่งออกมีปริมาณน้อยมากและไม่แน่นอน คาดว่ามีปริมาณส่งออก 2,500 ตัน ใกล้เคียงกับปี 2550

2.4.6.4 ราคา

สถานการณ์ราคาตลาดโลกที่ปรับตัวลดลง ส่งผลให้ราคาเมล็ดถั่วเหลืองภายในประเทศปรับตัวลดลงในทิศทางเดียวกัน

2.5 ถั่วเขียว

2.5.1 ความรู้ทั่วไป

ชื่อสามัญ ถั่วเขียว, Mungbean, green bean

ชื่อวิทยาศาสตร์ Vigna radiata *(L.)* R. Wilczek

วงศ์ Fabaceae

พื้นที่ปลูก มีปลูกกว้างขว้างในทวีปเอเชียกลาง เอเชียใต้ และเอเชียตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ชนิดและพันธุ์ของถั่วเขียว

ถั่วเขียวเป็นพืชที่มีอายุสั้น ปลูกเป็นพืชหมุนเวียนสลับกับการปลูกพืชไร่อื่นๆ ถั่วเขียวจัดเป็นพืชเศษฐกิจของประเทศไทย ประกอบด้วยถั่วเขียวผิวดำและถั่วเขียวผิวมัน (สถาบันวิจัยพืชไร่,2540) จากข้อมูลพบว่าถั่วเขียวผิวมันเป็นที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย ในประเทศไทยปลูกกันแถบทุกภาคเพราะเป็นพืชปลูกง่ายใช้น้ำน้อยมีการตลาดกว้างขวางทั้งตลาดในและนอกประเทศมากกว่าถั่วเขียวผิวดำ ส่วนใหญ่นำไปเพราะถั่วงอก อุตสาหกรรมทำวุ้นเส้น ถั่วซีกและแป้งถั่วเขียว แต่ถั่วเขียวผิวดำมักนำไปทำอาหารสัตว์ และส่งออกไปประเทศญี่ปุ่นเนื่องจากญี่ปุ่นนิยมทานถั่วงอกจากถัวเขียวผิวดำมากโดยสายพันธุ์ถั่วเขียวมีอยู่ประมาณ 7 สายพันธ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท72, พันธุ์ชัยนาท36, พันธุ์กำแพงแสน1(มก.), พันธุ์กำแพงแสน1(มก.),พันธุ์ชัยนาท72, พันธุ์ มทส.1, พันธุ์มอ.1, พันธุ์อ่างทอง1 และพันธุ์อ่างทอง2

จากการสำรวจพบว่า ถั่วเขียวให้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 193.9-254 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกได้ในทุกฤดูและในทุกภาคของประเทศไทย โดยพันธุ์ มอ.1 จะให้ผลผลิตสูงสุด คือ 254 กิโลกรัมต่อไร่ แต่พันธุ์อู่ทองจะเป็นที่ต้องการของตลาด เนื่องจากเมล็ดใหญ่ค่อนข้างสม่ำเสมอและผิวมัน (กรมวิชาการเกษตร ,2552)

2.5.3 การแปรรูป

ถั่วเขียวโดยทั่วไปแล้วมักนำมาประกอบอาหาร โดยเมล็ดถั่วเขียวใช้ทำขนมหวาน ได้แก่ ถั่วเขียวต้มน้ำตาล เต้าส่วน อีกทั้งยังใช้ทำไส้ขนมหลายอย่าง นอกจากนี้ถั่วงอกก็ถือเป็นต้นอ่อนที่เกิดจากเมล็ดถั่วเขียว ซึ่งสามารถนำมาประกอบอาหารคาว ได้แก่ ผัดถั่วงอก ใส่ในก๋วยเตี๋ยวเป็นต้น ถั่วเขียวไม่ใช่พืชที่ให้น้ำมันหรือโปรตีนเป็นหลักแต่ให้ปริมาณแป้งและโปรตีนที่สูงกว่าถั่วชนิดอื่นๆ ในด้านอุตสาหกรรม จึงนำไปทำแป้งถั่วเขียว ซึ่งแป้งถั่วเขียวนี้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรือใช่ทำขนม เช่น ซาหริ่ม ส่วนแป้งสดนำไปใช้ทำวุ้นเส้น ยังมีการนำถั่วเขียวมาผลิตเป็นแป้ง ซึ่งเรียกว่าแป้งถั่วเขียว นำมาผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว และขนมปังได้อีกด้วย

2.5.4 คุณค่าและประโยชน์

ถั่วเขียวมีองค์ประกอบสำคัญคือแป้งร้อยละ 62.7 โปรตีนร้อยละ 21.7 ความชื้นร้อยละ 10.2 เส้นใยร้อยละ 3.5-4.5 และไขมันร้อยละ 1.5 (สถาบันวิจัยโภชนาการ, มหาวิทยาลัยมหิดล) นอกจากโปรตีนแล้วยังมี Thiamine, Riboflawin, Niacin และ Ascorbic เพิ่มขึ้นอีก

มีงานวิจัยพบว่า วุ้นเส้นที่ทำจากถั่วเขียวให้ค้าการตอบสนอง ต่อน้ำตาลในเลือด (glycemic index) ต่ำเมื่อเทียบกับอาการคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่หรือเส้นหมี่ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าแป้ง(starch) มีผลต่อระดับไตรกลีเซอร์ไรด์ในเลือด เพราะคาร์โบไฮเดรตที่บริโภคเข้าไป จะถูกเปลี่ยนเป็นไตรกลีเซอไรด์ ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยามที่ร่างกายมีการสะสมของไกลโคเจนเพียงพออยู่แล้ว นอกจากนี้ระดับโคเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ในเลือดมีความสัมพันธ์กับโรคที่เกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด และไตรกลีเซอไรด์จะยิ่งมีบทบาทมาก ในผู้ที่มีระดับเอชดีแอล (ไขมันดี) ต่ำและยังบำรุงธาตุไม้ในร่างกาย ซึ่งทำให้ตับทำงานดีขึ้น

2.5.5 สถานการณ์ของถั่วเขียว

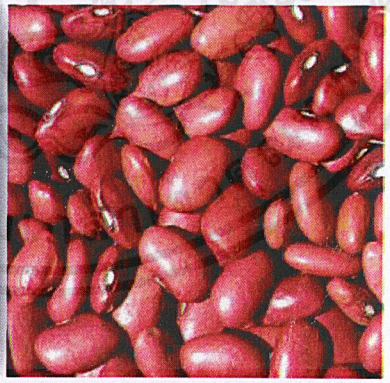
2.5.5.1 การผลิต

การปลูกถั่วเขียวในปี 2552 คาดว่าเนื้อที่ปลูกจะใกล้เคียงกับปีที่ผ่านมา โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้ประมาณการว่าจะมีเนื้อที่ปลูก 9.4 แสนไร่ ส่วนผลการผลิตจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น ส่วนผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 1.1 แสนตัน เช่นเดียวกับผลผลิตเฉลี่ยที่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 121 กิโลกรัมต่อไร่

2.5.5.2 การตลาด

คาดว่าปริมาณความต้องการใช้ถั่วเขียวและผลิตภัณฑ์ถั่วเขียวภายในประเทศยังคงมีมาก ส่งผลให้ราคาที่เกษตรกรขายได้ยังอยู่ในเกณฑ์ดี สำหรับการส่งออกในปี 2552 คาดว่าจะมีปริมาณใกล้เคียงกับปีที่ผ่านมา

2.6 ถั่วแดง



2.6.1 ความรู้ทั่วไป

ชื่อสามัญ ถั่วแดง (red kidney bean)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Phaseolus vulgaris*

วงศ์ Fabaceae

พันธุ์ที่นำมาจากศรีลังกา เรียกว่า ถั่วแดงซีลอน

พื้นที่ปลูก จังหวัดเลย เชียงราย เชียงใหม่ ขอนแก่น พิษณุโลก และเพชรบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 พันธุ์ถั่วแดง

พันธุ์ถั่วแดงที่ได้รับการส่งออกให้กับเกษตรกรชาวไทยภูเขา แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ พันธุ์สีแดงเข้ม และพันธุ์สีชมพู โดย พันธุ์สีแดงเข้ม มีสีสวยและเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่าพันธุ์สีชมพู แต่พันธุ์สีชมพู มีขนาดโตกว่าชนิดแรกเล็กน้อย ให้ผลผลิตต่อไร่ค่อนข้างสูง แต่สีของเมล็ดไม่เป็นที่ต้องการของตลาดมากนัก ถั่วแดงหลวง (Red kidney bean) มักใช้บริโภคเมื่อเมล็ดแก่ มีรูปร่างคล้ายไต ซึ่งเรียกว่า kidney bean และถ้ามีเมล็ดสีแดงด้วยเรียก red kidney bean

ถั่วแดงหลวงนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยครั้งแรกโดยโครงการหลวง ปี 2516 เพื่อจุดประสงค์ให้ชาวไทยภูเขาปลูกเป็นพืชทดแทน ฟื้นและช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินบนที่สูง ปัจจุบันถั่วแดงหลวงได้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ชนิดหนึ่งของชาวไทยภูเขาและเป็นที่สนใจของเกษตรกรในที่ราบ ทั่วไปในเขตภาคเหนือ

2.6.3 การแปรรูป

ถั่วแดงเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีที่มีโปรตีนและมีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดี โดยต้องนำเมล็ดถั่วแดงไปต้มให้เปื่อยก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์ ซึ่งการนำเอาเมล็ดถั่วแดงไปเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้ต้องระมัดระวังอย่าให้สัตว์กินมากเกินไป เพราะจะทำให้สัตว์ท้องอืดได้ง่าย

นอกจากนี้ถั่วแดงยังนำไปใช้เป็นอาหารมนุษย์ ได้ทั้งที่เป็นผักสดและเมล็ดแห้ง ซึ่งในประเทศแถบยุโรปหรืออเมริกา นิยมบริโภคเมล็ดถั่วแดงกันมาก ทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน ยังใช้ประโยชน์ในด้านใช้เป็นอาหารลดความอ้วน และเป็นอาหารสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานได้ดีอีกด้วย แต่ในประเทศไทยยังไม่ผู้บริโภคมากนัก เพราะเป็นพืชใหม่และยังไม่รู้จักการใช้ประโยชน์ แต่โดยถั่วไปแล้วจะรับประทานเป็นของหวาน เช่น ถั่วแดงต้มน้ำตาล ทำไส้ขนมต่างๆ เชื่อมใส่น้ำแข็ง ขนมปังเนื้อถั่วแดง ไอศกรีมไส้ถั่วแดง เป็นต้น และยังประกอบอาหารคาว ได้แก่ หมูอบถั่วแดง ถั่วแดงอบ แกงถั่วโอสถ ห่อหมก ซุปถั่วแดงเป็นต้น

2.6.4 คุณค่าและประโยชน์

นอกจากถั่วแดงเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีแล้ว ยังให้ประโยชน์อีหลายอย่าง คือ ช่วยขับปัสสาวะ บรรเทาอาการปวดบวม บรรเทาอาการปวดข้อ ปรับสภาพเลือด กำจัดหนอง ขับพิษ บำบัดอาการประจำเดือนผิดปกติ ขับน้ำนมและบำรุงธาตุไฟในร่างกาย ซึ่งทำให้หัวใจทำงานดีขึ้น

ในปัจจุบันถั่วแดงเป็นพืชในตระกูลถั่วที่ค่อนข้างรู้จักกันมาก เนื่องจากเป็นพืชที่ส่งออกผลผลิตประมาณ 20,000-30,000 ตันต่อปี มีมูลค่า 150-190 ล้านบาท ตลาดส่งออกถั่วแดงของไทยได้แก่ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐเกาหลีใต้ ซึ่งส่วนใหญ่จะนำไปใช้ทำไส้ขนม การใช้ในประเทศมีน้อยแต่จะส่งออกเกือบทั้งหมด ปริมาณการผลิตทั้งปีขึ้นอยู่กับราที่เกษตรกรได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ถั่วดำ

2.7.1 ความรู้ทั่วไป

ชื่อสามัญ ถั่วดำ (black bean)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Bruguiera parviflora*

วงศ์ Rhizophraceae

พื้นที่ปลูก พื้นที่ด้านในของป่าชายเลน ที่น้ำท่วมถึงอย่างสม่ำเสมอ

2.7.2 คุณค่าและประโยชน์

ถั่วดำเป็นพืนล้มลุก เปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีดำ มีสารพวกแอนโทไซยานิน ซึ่งนับเป็นตัวล้างพิษชั้นดี ยังใช้แต่งสีขนม โดยต้มเคี่ยวกับน้ำหรือบดผสมแป้ง ในทางสมุนไพรมีรสหวานบำรุงเลือด ขับของเหลวในร่างกาย ขับลม ขจัดพิษ บำรุงไต ขับเหงื่อ แก้ร้อนในบำรุงสายตา เหมาะสำหรับผู้มีอาการบวมน้ำ เหน็บชา ดีซ่าน ไตเสื่อม ปวดเอว อีกทั้งมีโปรตีน ไขมันคาร์โบไฮเดรต แคโรทีน ไนอะซิน วิตามิน บี1 และบี2 และสารมี่ช่วยบรรเทาอาการปวดลำไส้เล็ก (วันดี, 2535) และจากงานวิจัยศึกษาพบว่า ผู้ที่บริโภคถั่วดำสามถ้วยต่อวัน มีโอกาสเป็นโรคหัวใจน้อยกว่าผู้ที่บริโภคน้อยกว่า หรือไม่บริโภคเลย (ดร.ฮาลเนีย แคม) ดังนั้นการบริโภคถั่วดำจึงเป็นอาหารที่ดีต่อหัวใจ

2.7.3 การแปรรูป

ถั่วดำ (black bean) สามสรถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด เช่น ประเภทเครื่องดื่ม ประเภทอาหารคาว อาหารหวาน และอาหารว่าง ได้แก่ น้ำถั่วดำ พันซ์น้ำถั่วดำ ถั่วดำกวน ข้าวเหนียวถั่วดำ ถั่วดำฉาบ ข้าวเกรียบถั่วดำ เค้กถั่วดำ โดนัทถั่วดำ คุกกี้ถั่วดำ ปละยังนิยมทำไส้ขนมต่างๆ เช่น โดรายากิ เป็นต้น (ทัศนีย์,2524)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ถั่วขาว

2.8.1 ความรู้ทั่วไป

ชื่อสามัญ ถั่วขาว (White bean)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Bruguiera cylindrical*

วงศ์ Rhizophraceae

พื้นที่ปลูก เขตน้ำกร่อย, บริเวณพื้นที่ป่าชายเลน

2.8.2 การแปรรูป

ปัจจุบันถั่วขาวได้รับความนิยมแปรรูปเป็นสารสกัดถั่วขาว เป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะผง เพื่อช่วยในเรื่องลดความอ้วน และยังเป็นส่วนผสมของเครื่องดื่มอาหาร รวมถึงทำเป็นอาหารเสริมจำนวนมาก

2.8.3 คุณค่าและประโยชน์

ปัจจุบันถั่วขาวได้รับความนิยมแปรรูปเป็นสารสกัดถั่วขาว เป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะผง เพื่อช่วยในการลดความอ้วน จากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญด้านสารสกัดจากถั่วขาว พบว่าในถั่วขาวนั้นมีคุณสมบัติพิเศษ เพราะมีสาระสำคัญที่ชื่อ ฟาซิโอลามีน (Phaseolamin) ซึ่งมีฤทธิ์ทำให้เอมไซม์อไมเลสเป็นกลาง ดังนั้น แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตที่เราบริโภคเข้าไป จึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ หากได้รับถั่วขาวเข้าไป นั่นคือร่างกายจะได้รับพลังงาน (แคลอรี) จากแป้งลดลงในระดับที่น่าพอใจ ซึ่งมีผลทำให้การสะสมของไขมันที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลเป็นไขมันลดลงด้วย เมื่อร่างกายได้รับพลังงานน้อยลง ร่างกายจึงเผาผลาญไขมันเก่าที่สะสมออกมาใช้มากขึ้น จึงทำให้น้ำหนักลดลงโดยไม่ต้องใช้วิธีอดอาหาร และยังบำรุงธาตุโลหะในร่างกาย และยังบำรุงธาตุโลหะในร่างกาย ซึ่งทำให้ปอดทำงานดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.4 คุณค่าทางโภชนาการของลูกเดือย และถั่ว 5 สี (ปริมาณต่อ 100 กรัม)

Nutrient Composition per 100 g. Edible Portion	BB	GB	YB	WB	RB	JT
Energy(Kcal)	357	347	430	359	346	372
Water (grams)	9.3	11.5	11.1	11.2	12	10.1
Protein (grams)	23.8	23.4	34	22.3	18.2	13.6
Fat (grams)	1.6	1.3	18.7	2.8	2.2	3.7
Carbohydrate (grams)	61.8	60.3	31.4	61.1	63.3	71
Dietary fibre,Crude fiber (grams)	4.6	4.3	4.7	3.1	3.8	3.4
Ash (grams)	3.5	3.5	4.8	2.6	4.3	1.6
Calcium (milligrams)	57	125	245	-	115	19
Phosphorus (milligrams)	479	340	500	-	415	364
Iron (milligrams)	16.5	5.2	10	6.8	-	8
Thaiamin (milligrams)	0.19	0.38	0.73	0.32	0.16	0.38
Riboflavin (milligrams)	0.12	0.21	0.19	0.42	1.32	0.1
Niacin (milligrams)	1.5	2.6	1.5	2.7	2.7	3.1
Vitamin-C (milligrams)	0	0	14	-	-	0

ที่มา : กรมอนามัย. 2553. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. http://nutrition.anamai.moph.go.th.

2.9 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

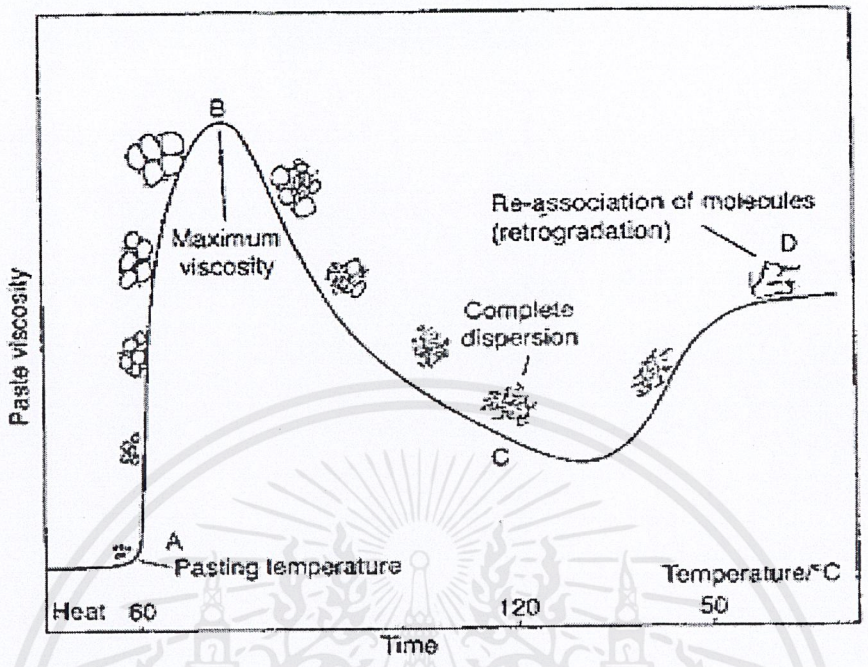
อาจเรียกว่า pasting temperature คือ อุณหภูมิที่น้ำแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) เป็นอุณหภูมิที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่

2.9.1 กลไกการเกิดเจลาติไนเซชัน

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยากแต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 □C หรือใช้สารเคมีเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งและทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาติไนเซชัน” ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้นคือ มีการพองตัวของเม็ดแป้ง อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างที่แตกต่างกันความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาติไนซ์ไม่พร้อมกันทุกเม็ด แม้แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 °C โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลาติไนซ์ได้ก่อนขนาดเล็ก



ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com

รูป 2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของเม็ดแป้งเมื่อให้ความร้อน

2.10 ความหนืด (Viscosity)

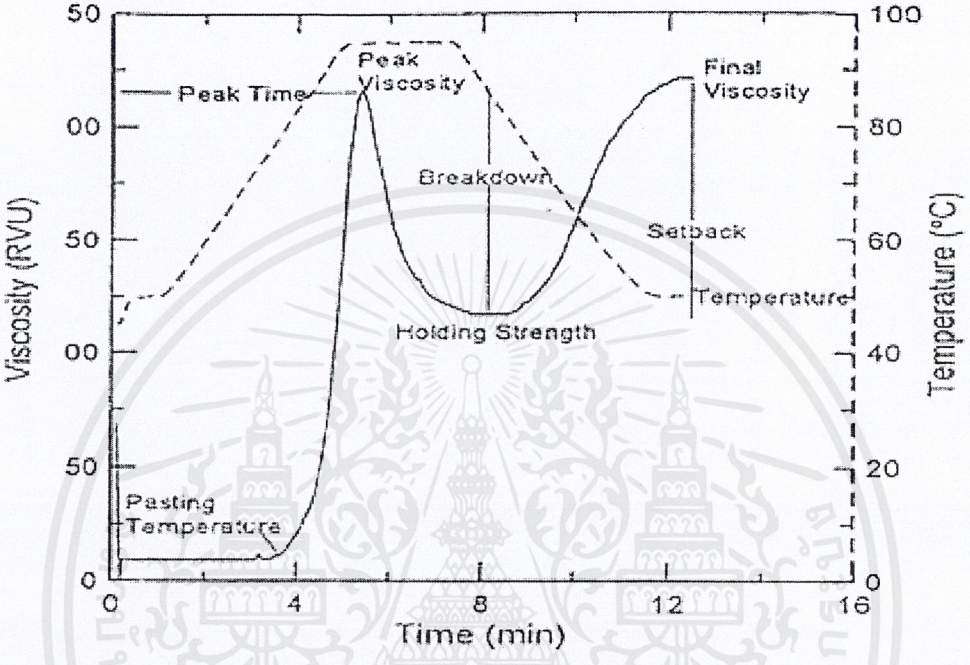
เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น (รูปที่ 2.13) พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และหรือโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95?C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง

เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นมาอีกนี้เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็คือการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน อุณหภูมิ shear rate ฯลฯ แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ชนิดของแป้ง

การวิเคราะห์ความหนืดของน้ำแป้งสุก โดยใช้เครื่อง rapid visco analyser (RVA) โดยมี viscosity profile ที่เปลี่ยนไปกับเวลาดังรูปที่2.5



ที่มา : http://eu.lib.kmutt.ac.th

รูป 2.5 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ค่าที่เครื่องจะแสดงผลอ่านได้บนจอคอมพิวเตอร์โดยความหนืดมีหน่วยเป็น RVU ดังนี้

1) Peak Time = เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (นาที)

2) Pasting Temperature = อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรืออุณหภูมิที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ใน 20 วินาที (°C)

3) Peak Temperature = อุณหภูมิที่เกิด peak (°C)

4) Holding Strength = ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น (RVU)

5) Breakdown = ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (RVU)

6) Final Viscosity = ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (RVU)

7) Setback Form Peak = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด peak (RVU)

8) Setback Form Trough = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (RVU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก่อนที่จะมีการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้มีผู้ที่ทำงานวิจัยและศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตดังนี้

S.Yaniotis และคณะ(2007) กล่าวว่าผลของเพคตินเดี่ยวๆหรือผสมกับไฟเบอร์ข้าวสาลีต่อคุณสมบัติทางกายและโครงสร้างของเอ็กซ์ทรูเดตข้าวโพด ภายใต้เงื่อนไขความชื้น อุณหภูมิบาเรล และความเร็วรอบสกรูที่เครื่องเอ็กทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยวในห้องปฏิบัติการ อัตราการขยาย ปริมาณความชื้น และความพรุนลดลงเมื่อมีปริมาณไฟเบอร์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความแข็งเพิ่มขึ้น ไฟเบอร์จะไปลดขนาดของเซลล์ และเพิ่มจำนวนเซลล์ เพคตินช่วยเพิ่มความพรุนและลดอัตราการขยายตัวกับความแข็ง แต่ไม่ปรากฏผลของเพคตินต่อขนาดและจำนวนเซลล์ ผลกระทบระหว่างไฟเบอร์และเพคตินนั้นไม่ให้ความแตกต่างทางนัยสำคัญ

K.Mezreb และคณะ(2006) กล่าวว่า เอ็กซ์ทรูเดตที่เตรียมจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ในระดับอุตสาหกรรม ได้มีการเติมน้ำตาลความเข้มข้นระหว่าง 0 -12.5 % โดยน้ำหนักลงในแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวสาลี ผลของส่วนผสมต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ถูกนำมาวิเคราะห์ โดยผลที่ได้ให้ค่าดังนี้ (1) โครงสร้างภายในของเอ็กซ์ทรูเดตที่จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายพบว่า ขนาดของเซลล์จะลดลงเมื่อเติมซูโครสลงในแป้ง (2) ความกรอบของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่สมดุลของแป้ง (3) การเติมซูโครสในแป้งข้าวโพด และแป้งข้าวสาลีลดอัตราส่วนการขยายตัวโดยรวม และ(4) การเพิ่มซูโครสลงในส่วนผสมจะไปย่อยโมเลกุลของแป้งข้าวโพดได้ดีกว่าแป้งข้าวสาลี

Z.jin และคณะ(1995) กล่าวว่า คุณสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างภายในของเกซ์ทรูเดตข้าวโพดกับไฟเบอร์ถั่วเหลือง เกลือ และน้ำตาล ที่ได้ศึกษาในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ พบว่าผลของไฟเบอร์ น้ำตาล และความเร็วสกรูต่อค่าอัตราการดูดซับน้ำ และอัตราการละลายน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นรวมและปริมาณจำเพาะของเอ็กซ์ทรูเดต เมื่อความเร็วของสกรูเพิ่มขึ้นค่าอัตราการดูดซับน้ำลดลงแต่อัตราการละลายน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณไฟเบอร์จาก 0-20% จะไปลดค่าอัตราการดูดซับน้ำ แต่เพิ่มค่าอัตราการละลายน้ำ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อไฟเบอร์เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นจะไปลดค่าอัตราการละลายน้ำ เมื่อส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่า การเพิ่มขึ้นของไฟเบอร์ ปริมาณน้ำตาลและความเร็วสกรูมีผลให้เอ็กซ์ทรูเดตขยายตัวลดลงโดยมีโพรงอากาศที่เล็กและผนังเซลล์หนาขึ้น ความแข็งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลและปริมาณไฟเบอร์ และแปรผกผันกับอัตราการขยายตัวของเอ็กว์ทรูเดต เกลือที่ 0-2% ไม่มีผลทางนัยสำคัญต่อค่าอัตราการดูดซับน้ำ การละลายน้ำ และโครงสร้างภายในของเอ็กซ์ทรูเดต

Ann Barrett และคณะ(1995) กล่าวว่า ผลของซูโครสต่อค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันและโครงสร้าง คุณลักษณะทางกลและทางความร้อนของเอ็กซ์ทรูเดตวิเคราะห์ได้ดังนี้ การเติมซูโครสที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0-10% ในลงแป้งข้าวโพดสองความชื้น (15และ20%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดเผยข้อมูลผลของคุณลักษณะสำคัญดังนี้ (i) ที่ปริมาณความชื้นสูง ซูโครสจะไปลดแรงทางกล ในขณะที่มีผลเพียงเล็กน้อยที่ระดับความชื้นต่ำ (ii) ที่ทั้งสองความชื้น ซูโครสจะไปเพิ่มความหนาแน่นรวมและลดขนาดของเซลล์ ผลกระทบนี้ส่งผลที่ตัวอย่างที่มีความชื้นสูง และปรากฏชัดที่ปริมาณซูโครสสูง ความชื้นของตัวอย่างต่ำ (iii) ในตัวอย่างเอ็กซ์ทรูเดต ความชื้นสมดุลอยู่ระหว่าง 12 และ 17% ผลนี้แสดงว่าการเติมซูโครสต้องปรับเปลี่ยนสภาวะการทำงานของเอ็กซ์ทรูชันเพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่ดีที่สุดและคุณสมบัติของการเก็บรักษา

Juan Antonio และคณะ(2010) กล่าวว่า ผลของปริมาณซูโครสและความชื้นในแป้งมันสำปะหลังในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นที่มีความแตกต่างปริมาณซูโครส (0-20%) และปริมาณความชื้น (28-42%) ผลิตโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ติดตั้งกับเครื่องวัดทอร์ก วิเคราะห์อัตราการดูดซับน้ำ (WAI) อัตราการละลายน้ำ (WSI) และความหนืด พบการวิจัยพบว่า ค่า SME และ ค่า WSI ลดลงเป็นฟังก์ชันกับปริมาณน้ำและซูโครส ค่า WAI และความหนืดมีอิทธิพลมาจากค่าความชื้น ผลของน้ำตาลที่ไม่ต่อต้านความเป็นพลาสติกส่งผลต่อค่าความหนืด แนะนำว่าน้ำตาลจะไม่ไปลดค่าการเกิดเจลลาติไนส์ของน้ำในแป้งมันสำปะหลังระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ลักษณะของจุดที่เหมาะสม คือ จุดที่สูงที่สุดสำหรับค่า WAI WSI PV และ BD อย่างไรก็ตาม ค่า SME จะแสดงค่า CV และค่า SB ที่น้อยที่สุด

Narpinder Singh และคณะ(2000) ได้ศึกษาผลการเพิ่มโซเดียมไบรคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) และ Glycerol monostearate (GMS) กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันต่อกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันและลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวโพด ขึ้นอยู่กับตัวแปร ที่จดบันทึกไว้ ความดันหน้าแปลน, specific energy consumption (SEC) ในขณะที่การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ คือ การพองตัว, การดูดซับน้ำ (WAI), การละลายน้ำ (WSI),ความหนืด สมการอันดับที่สองคือคำนวณเพื่ออธิบายอิทธิพลของอุณหภูมิภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์และการเพิ่มระดับ $NaHCO_3$ และGMSก็ขึ้นอยู่กับตัวแปรในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ผลของ $NaHCO_3$ ต่อการพองตัว ,WAI, WSI และความหนืดของ เอ็กซ์ทรูเดตพบว่าจะขึ้นกับอุณหภูมิ $NaHCO_3$ ที่การเอ็กซ์ทรูชันอุณหภูมิต่ำ (125 ° C) การพองตัวเพิ่มขึ้น WAI และWSI จะตรงข้ามกันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Jintian Fan และคณะ(2003)ได้ทำการศึกษาผลของน้ำตาล ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส ไซโลส แลคโตส และมอลโตส ต่อภาคตัด รัศมี การขยายตัวตามยาวและการหดตัวตามมาของผลิตภัณฑ์เอ็กทรูเด็ตจากข้าวโพดที่ได้รับการตรวจสอบ พบว่าน้ำตาลนั้นลดการขยายตัวซึ่งโมโนเซคคาไรด์จะมีผลมากกว่าไดเซคคาไรด์ การลดลงของการขยายตัวและการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นด้วยการเติมปริมาณน้ำตาลถูกตีความว่าเป็นการผสมผสานกันระหว่างการลดลงของความพรุนและเพิ่มระดับการหดตัวเมื่อออกจากหน้าแปลน การลดลงของความพรุนได้รับการพิจารณาว่าเป็นผลมาจาก อุณหภูมิซึ่งลดแรงผลักดันของการพองตัวและลดการยืดออกของโพรงอากาศ ก่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเกิดการขยายตัว ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแป้งน้อยและการเพิ่มปริมาณน้ำตาล การหดตัวจะหยุดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงประมาณ Tg+ 30°C ซึ่ง Tg เป็นอุณหภูมิสภาพแก้ว การเติมน้ำตาลและน้ำจะลดอุณหภูมิสภาพแก้วของการทำให้ละลายด้วยเหตุนี้การเพิ่มขึ้นของช่วงอุณหภูมิที่สูงเกินไปซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดตหดตัว แรงผลักดันของการหดตัวคือ การปลดปล่อยพลังงานความยืดหยุ่นที่เก็บเอาไว้ผลที่ตามมาคือการลดความพรุน และ ความแตกต่างระหว่างความดันภายในเซลล์และความดันบรรยากาศ

ประชา บุญญสิริกูลและคณะ(2538) ได้ทำการวิจัยผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากถั่วเขียวโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ (Hermann Berstorff Laboratory Twin Screw Extruder ZE25X33D) โดยแปรค่าปริมาณถั่วเขียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักตั้งแต่ 50-100 เปอร์เซ็นต์ ศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมด้วยวิธี Response Surface Methodology โดยเลือกศึกษาตัวแปรคือความชื้นของวัตถุดิบขณะป้อนเข้าเครื่อง (14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์) ความเร็วรอบสกรู (250, 300 และ 350 รอบต่อนาที) และอุณหภูมิที่บาเรล 7 (บาเรลสุดท้ายที่อยู่ติดกับหน้าแปลน) ที่ 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเอาอาหารขบเคี้ยวจากถั่วเขียวไปเคลือบกลิ่น-รสชาติแล้วทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์คุณภาพของโปรตีน และศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและเก็บรักษาในถุงชนิด OPP/PP, OPP/Metallized PP และ OPP/Metallized PET ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่น-รสและเนื้อสัมผัสทุกๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าอัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตอาหารขบเคี้ยวจากถั่วเขียวคือส่วนผสม ของถั่วเขียว : แป้งข้าวเจ้า (เท่ากับ 70:30) 91.5 เปอร์เซ็นต์, แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม 7.5 เปอร์เซ็นต์ และวิตามินผสม 1 เปอร์เซ็นต์ สภาวะในการผลิตที่ดีควรเลือกที่ความชื้นของวัตถุดิบส่วนผสม ขณะป้อนเข้าเครื่อง 16 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วรอบสกรู 300 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่บาเรล 7 135 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ขณะผ่านรูเปิดของหน้าแปลน (Melt Temperature) 150-153 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนวัตถุดิบ 16.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง รูเปิดของหน้าแปลน 3.00 มิลลิเมตร อาหารขบเคี้ยวจากถั่วเขียวที่ได้มีอัตราการพองตัว 4.03 ความหนาแน่นปรากฏ 0.059 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แรงตัด 0.9 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร PER เท่ากับ 2.07 เทียบเท่า 83 เปอร์เซ็นต์ของเคซีนในนม (PER= 2.50) ปริมาณโปรตีน (ก่อนเคลือบกลิ่น-รส) 22.36 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสต่อสี เนื้อสัมผัสและการยอมรับ ระดับคะแนนความชอบอยู่ระหว่าง ความชอบปานกลางถึงความชอบมาก ผลิตภัณฑ์นี้ควรบรรจุในถุงชนิด OPP/Metallized PP หรือ OPP/Metallized PET จะเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นาน 3 เดือน

ประชา บุญญสิริกุลและคณะ(2543) ได้ทำการศึกษา ขนมกรอบเพิ่มคุณค่าโภชนาการด้วยแป้งถั่วเหลืองโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน พัฒนามาจากสูตรขนมกรอบสูตร 1 ศึกษาโดย Boonyasirikool and Charunuch (2000) ด้วยการใช้แป้งถั่วเหลือง 18% (9%DFS+9%FFS) แทนที่ข้าวโพดเกล็ดปลายข้าว และน้ำมันถั่วเหลือง และเพิ่มกรดอะมิโนไลซีนอีก 0.25%ของบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบทั้งหมดให้ชื่อว่า ขนมกรอบสูตร 8 ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่มีดัชนีที่ใช้คือ อัดพองที่อุณหภูมิ 165-167 องศาเซลซียส ความเร็วสกรู 300 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 365 กรัมต่อนาที และมีความชื้นของวัตถุดิบส่วนผสมขณะป้อน 16.5±0.5% ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการพองตัว 3.9 ความหนาแน่น 58 กรัมต่อลิตร และแรงกดแตก60.17 นิวตัน จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบขนมกรอบสูตร 8 เคลือบกลิ่น-รสไก่ย่าง กับขนมกรอบประเภทเดียวกันซึ่งเป็นที่นิยม ในตลาด 2 ตัวอย่าง และขนมกรอบสูตรที่ 1 พบว่าผลิตภัณฑ์ใหม่นี้ได้รับคะแนนสูงกว่าผลิตภัณฑ์อื่นทั้งหมด และจากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า ขนมกรอบสูตร 8 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าขนมกรอบที่ไม่ใช่ถั่วเหลือง 58.68% โดยเฉลี่ย มีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นทุกตัวในปริมาณมากกว่า 82% ของค่ามาตรฐานที่แนะนำโดย FAO/WHO ปี 1973 ได้พลังงานจากโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 8.60 35.97 และ 55.43 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าแนะนำที่กำหนดไว้ของ Thai-RDI คือร้อยละ 10 30 และ 60 นอกจากนี้ขนมกรอบสูตร 8 ยังเป็นแหล่งของวิตามิน บี 2 บี 6 แคลเซียม และอุดมด้วย วิตามินบี12 และไอโอดีน จึงอาจสรุปได้ว่า ขนมกรอบเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้วยแป้งถั่วเหลืองที่มีโปรตีนทั้งปริมาณและคุณภาพ รวมทั้งเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมต่อการบริโภคที่ควรจักได้รับการสนับสนุนการผลิตและเผยแพร่เข้าสู่อุตสาหกรรมทำขนมกรอบต่อไป เพื่อจักเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่เป็นประโยชน์และช่วยลดภาวะการณ์ทุพโภชนาการของผู้บริโภคที่เป็นเด็กลงได้บ้างไม่มากก็น้อย

สิงหนาท พวงจันทน์แดง และคณะ(2550) ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยการผลิตที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของผลิตภัณฑ์พองตัว ที่ผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ประกอบด้วย วัตถุดิบและสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิต จึงทดลองหาอิทธิพลของวัตถุดิบที่ประกอบด้วย แป้งสาลี(A) แป้งข้าวโพด (B) และแป้งข้าวเจ้า (C) ผสมกันในสัดส่วน 0 ถึง 1 และสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วยอุณหภูมิ (D) 150 ถึง 180 องศาเซลเซียส และปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ (E) ร้อยละ 14 ถึง 19 ที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ คือ อัตราการพองตัว ความหนาแน่น แรงสูงสุด ดรรชนีการดูดน้ำ ร้อยละการละลายน้ำ ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว โดยวางแผนการทดลองแบบ D-optimal Design พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทดลองกับลักษณะของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กัน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือสมการโพลิโนเมียลรีเกรสชัน ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าสามารถใช้ในการทำนายสมบัติทางฟิสิกส์ของผลิตภัณฑ์ได้ และสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งสาลี แป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้า ทั้งจากแป้งแต่ละชนิดแยกกัน และนำแป้งมาผสมกันในสัดส่วนต่างๆ เป็นวัตถุดิบ ควรมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 16.5 และสภาวะอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เท่ากับ 165 องศาเซลเซียส จึงให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่พองตัวเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุฑามณี คลายทุกข์และคณะ(2552)ได้ศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันจากถั่ว 5 สี ได้แกอัตราส่วนผสมระหว่างลูกเดือยกับถั่วแต่ละสี (30:70,50:50,70:30) และความเร็วรอบสกรู (450,550rpm) ที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความหนาแน่น อัตราส่วนการขยายตัว ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) ความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) ลักษณะเนื้อสัมผัส และสี จากผลการทดลองพบว่า วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบจากถั่ว 5 สี กับลูกเดือย สามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันได้ การเพิ่มความเร็วรอบสกรูส่วนใหญ่มีผลทำให้เอ็กซ์ทรูเดต มีค่าความหนาแน่น ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และค่าความชื้นลดลง ขณะที่ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ ค่าความสามารถในการละลายน้ำ และค่าอัตราส่วนการขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น สภาวะการผลิตที่มีค่าตัวแปร อัตราส่วนน้ำหนักผสมของลูกเดือยกับถั่ว เท่ากับ 50:50 และความเร็วรอบสกรู 550 rpm สามารถใช้ผลิตกับถั่วทุกสูตรได้ แต่วัตถุดิบที่ผลิตจากสูตรที่ผสมถั่วเหลืองมีข้อจำกัดในการนำมาใช้เนื่องจากมีปริมาณไขมันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัตถุดิบ เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 วัตถุดิบ

1) ลูกเดือยพันธุ์ข้าวเจ้า
2) ถั่วเขียวผิวมัน
3) ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่
4) ถั่วแดงหลวง
5) ถั่วดำ
6) ถั่วขาว
7) น้ำตาลบดละเอียด
8) สารคาร์บอเนต

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ชนิดสกรูเดี่ยว
2) เครื่อง Sieve shaker
3) เครื่อง Hammer mill
4) เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT Plus
5) เครื่องวัดความชื้น
6) เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 และ 4 ตำแหน่ง
7) เครื่องวัดสี
8) เครื่อง Centrifugal
9) เครื่องผสม
10) ตู้อบลมร้อน
11) เครื่องปั่น
12) โถดูดความชื้น
13) กระบอกตวงอลูมิเนียม ขนาด 1 ลิตร
14) กะละมัง
15) ทัพพี
16) ถุงพลาสติกขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การกำหนดตัวแปรที่ศึกษา

3.2.1 ตัวแปรอิสระ (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 นอกจากนั้นยังมีการเพิ่มส่วนผสมน้ำตาล5% และสารคาร์บอเนต 1% จากส่วนผสมทั้งหมด

3.2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variable)

1) สี (color)
2) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)
3) ความหนาแน่นรวม (Bulk density)
4) ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index)
5) ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index)
6) อัตราส่วนการขยายตัว (Expansion Ratio, ER)
7) ความชื้นของเอ็กซ์ทรูเดต (Moisture content)

3.3 การวางแผนการทดลอง

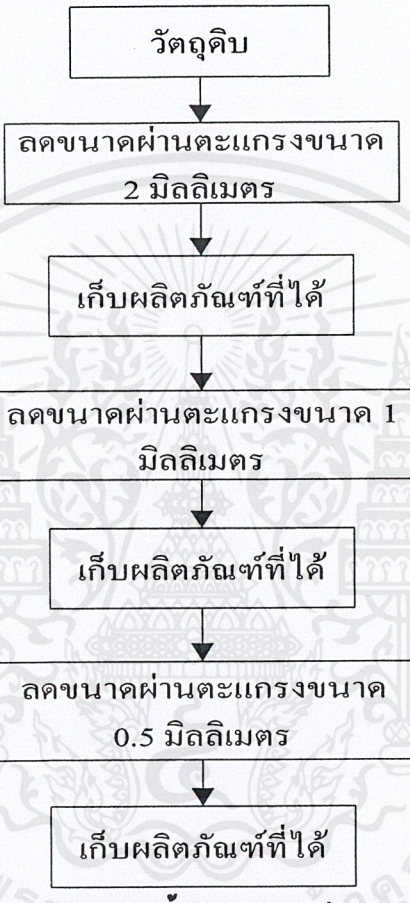
การทดลองนี้จะใช้ลูกเดือยเป็นวัตถุดิบหลักซึ่งมีการผสมกับถั่ว 5 สี คือ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาว ซึ่งใช้ค่าความชื้นเริ่มต้นที่ 16% โดยสูตรที่ 1 (ไม่ปรุงแต่งรส) ใช้อัตราส่วนระหว่าง ถั่ว : ลูกเดือย คือ 50 : 50 ยกเว้นถั่วเหลืองใช้อัตราส่วน 30 : 70 และสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส) ใช้อัตราส่วนเหมือนสูตรที่ 1 แต่ส่วนผสมน้ำตาล5% และสารคาร์บอเนต 1% จากส่วนผสมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมวัตถุดิบ

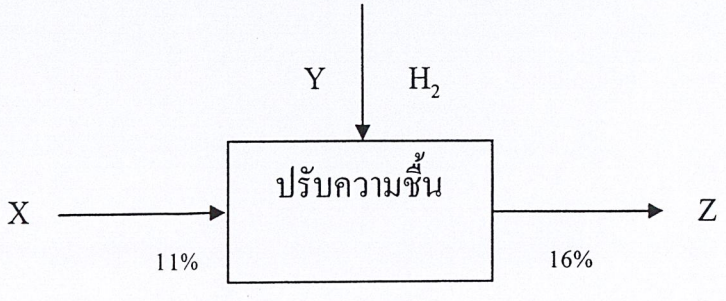
3.4.1 วิธีการเตรียมวัตถุดิบ

1) การทดลองนี้จะให้ลูกเดือยเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งมีการผสมกับถั่ว 5 สี คือ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาว มาทำการบดด้วยเครื่อง Hammer mill โดยใช้ตระแกรงของเครื่องบดขนาด 2 mm จำนวน 1 รอบ ขนาดตะแกรง 1 mm จำนวน 1 รอบ และขนาดตะแกรง 0.5 mm จำนวน 1 รอบ ให้ได้ขนาดเท่าๆกันในช่วง 30-40 mesh



รูป 3.1 flowchart ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

2) นำวัตถุดิบที่ผ่านการบด มาผสมตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้ แล้วทำการปรับความชื้นโดยการเติมน้ำลงไปในส่วนผสมลูกเดือยกับถั่ว ซึ่งได้จากการสมดุลมวลดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด X คือ ส่วนผสมลูกเดือยกับถั่ว (kg) สมมติคิดที่ความชื้นเริ่มต้น 11%

Y คือ ปริมาณน้ำที่ต้องเติม เพื่อปรับความชื้น (kg)

Z คือ ส่วนผสมลูกเดือยกับถั่ว (kg) สมมติคิดที่ความชื้นสุดท้าย 16%

สมดุลมวล $X + Y = Z$ (1)

สมดุลน้ำ $0.11X + Y = 0.16Z$ (2)

แทน สมการ (1) ลงในสมการ (2) จะได้ว่า

$$0.11X + Y = 0.16(X+Y)$$

$$(1-0.16)Y = (0.16-0.11)X$$

$$Y = 0.0595X$$

จากการแก้สมการ จะทราบปริมาณน้ำที่ต้องเติมลงในส่วนผสมลูกเดือยกับถั่ว ซึ่งคือค่า Y

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

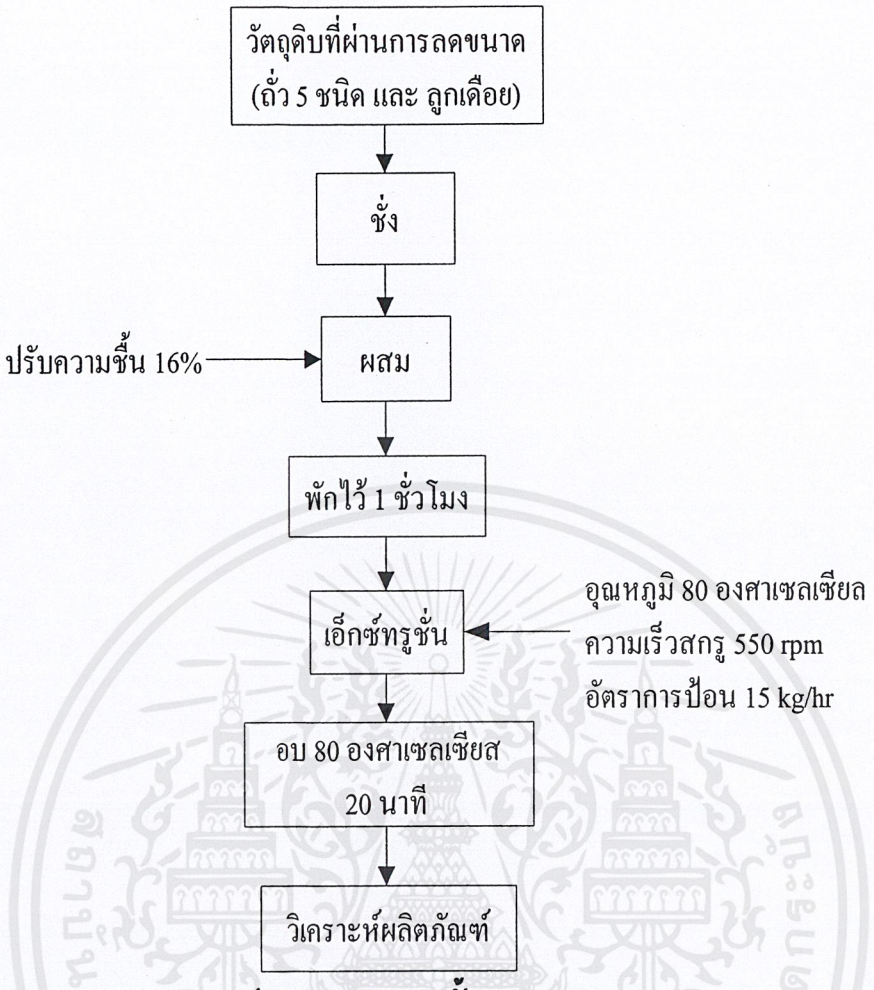
3.5.1 การเตรียมเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ในการทดลอง

ในการทดสอบครั้งนี้ จะใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (d) 28 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D) 35 mm ระยะพิตท์ 25 mm ความยาวเกลียว (L) 317.5 mm ความลึกของร่องเกลียว (H) 3.5 mm Clearance 1 mm โดยสกรูมีลักษณะเป็นเกลียว 2 ปาก ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการผลิตมีส่วนสำคัญสำหรับการทำผลิตภัณฑ์แบบ breakfast cereal

3.5.2 ขั้นตอนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2 Flow chart ขั้นตอนการทดลอง

3.6 วิเคราะห์คุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดท

ตัวอย่างเอ็กซ์ทรูเดทที่ได้มาจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน จะถูกนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ตามหัวข้อที่ 3.2.2 ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ค่าต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

3.6.1 ค่าความชื้น (Moisture content)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (AOAC, 1990)

1) นำภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่ล้างสะอาดแล้วมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 20 นาที นำออกมาว่างให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนัก
2) นำตัวอย่างที่บดแล้วประมาณ 2 กรัมใส่ลงในภาชนะ
3) นำภาชนะพร้อมฝาเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4) ปิดฝาแล้วนำเข้าไปในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 20 นาที
5) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ
6) คำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยคำนวณจากสูตร คือ

$$MC(\%) = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

3.6.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1) นำผลิตภัณฑ์เอ็กทรูเดตใส่ในกระบอกตวง
2) ปาดส่วนที่เกินออก
3) ชั่งน้ำหนักเอ็กซ์ทรูเดตในกระบอกตวง บันทึกค่าที่ได้
4) คำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม

โดยคำนวณจากสูตรคือ

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{น้ำหนักเอ็กซ์ทรูเดตในกระบอกตวง}}{\text{ปริมาตรกระบอกตวง}}$$

3.6.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) และความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) (Anderson,1969)

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

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

7) ระเหยส่วนใสบนเครื่อง Hot Plate จนแห้งแล้วจึงนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่
8) นำจานระเหยออกมาวางไว้ในโถดูดความชื้นให้เย็นเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่า WSI

$$WSI(\%) = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่ละลายในส่วนใส}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 อัตราส่วนการขยายตัว (Expansion Ratio, ER)

คือ อัตราส่วนการพองตัวของเอ็กซ์ทรูเดต

โดยสูตรการคำนวณ (Alvarez-Martinez, 1988) คือ

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

3.6.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส

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

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1) ประกอบหัววัดแบบ P2 และฐานเข้ากับตัวเครื่อง
2) เปิดเครื่องและ คอมพิวเตอร์
3) เข้าโปรแกรม Texture Exponent 32
4) ทำการ calibrate force ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 2000 g
5) ทำการ calibrate height โดยตั้งระยะหัววัดให้สูงกว่าความสูงของตัวอย่างเล็กน้อย
6) ตั้งโปรแกรมโดยเลือกรูปแบบการทดสอบพร้อมทั้งจัดค่าความเร็วของหัววัดเริ่มต้นเท่ากับ 1 mm/s ความเร็วขณะกดเป็น 1 mm/s ระยะที่ใช้กด strain 100% และ trigger เป็น 20 g รวบถึงการตั้งหน่วยของกราฟที่ต้องการ โดยแกน x เป็นระยะทาง(mm) และแกน y เป็นแรง (kg)
7) นำตัวอย่างออกมา 1 ชิ้น และทำเครื่องตามตำแหน่งที่ต้องการวัด
8) เดินเครื่องโดยการควบคุมตำแหน่งกดให้มั่นคง รอจนกระทั่งเครื่องทำงานเสร็จ
9) ทำการวัดค่าแรงกด 5 ซ้ำ
10) บันทึกกราฟที่ได้ อ่านค่าแรงแตกหักสูงสุด (g) จำนวนพีค (Crispness) และพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกดกับเวลา (Toughness, g.sec)
11) คำนวณหาค่า Hardness จากสมการ

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

$$\text{Crispness} = \frac{\text{จำนวน } peak}{\text{ขนาดของผลิตภัณฑ์}}$$

$$\text{Toughness} = \text{พื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกดกับเวลา}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.6 สี (Color)

ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Colorimeter

1) เปิดแผ่นกำบังแสงออกแล้วแล้วเอากล่องดำครอบที่วัตถุ
2) เลือก Measurement กด enter
3) ปิดแผ่นกำบังแสงโดยครอบกล่องดำไว้เหมือนเดิม กด F1 เปิดแผ่นกำบังแสงออก แล้วใส่แผ่นมาตรฐานแป้งสีขาวลงไปในตลับ เพื่อทำการ Calibrate แล้วครอบกล่องดำไว้เหมือนเดิม และกด F1
4) ตรวจวัดค่าที่ได้จากการวัดให้ตรงกับค่าที่ข้างกล่องแผ่นมาตรฐานแป้ง (ถ้าไม่ตรงต้องเริ่มทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ใหม่)
5) ใส่ตัวอย่างที่บดแล้วลงในตลับ ครอบกล่องดำแล้วทำการวัดค่า เวลาวัดให้กด F1 ตลอดเมื่อมีการวัดค่าใหม่ทุกครั้ง ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมให้กด F10

3.6.7 อัตราการลอยตัว (bowl-life) (C.M. GREGSON, 2002)

อัตราการลอยตัวเป็นตัววัดคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารเช้า โดยหาได้จากระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์ยังคงความกรอบขณะที่จุ่มนม โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer

1) ใช้เครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro Systems, UK) โดยใช้หัวแบบ Ottawa Cell
2) ใส่ตัวอย่าง 30g ลงในถาดแล้วแช่ด้วยนมเป็นระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นเทนมออกจากถาด
3) ใช้ความเร็วขณะกด 5 mm/s
4) วัดระยะทางและเวลาที่ 400 จุดต่อวินาที
5) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ ได้นำเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากถั่ว 5 สีผสมลูกเดือยได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาว ที่ผ่านการอบแล้วทั้งสองสูตร มาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารเช้า

อาหารขบเคี้ยวที่มีจำหน่ายตามตลาดนั้นมีคุณค่าทางอาหารต่ำ โดยเฉพาะโปรตีนมีเพียง 3.3-8.3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นปริมาณที่แนะนำในการบริโภคควรมีโปรตีน 2.5-3.0 กรัมต่อพลังงาน 100 แคลอรี หรือคิดเป็น 10-12 เปอร์เซ็นของพลังงานทั้งหมด (Autret, 1969) ตรงข้ามกับน้ำมันที่มีปริมาณสูงถึง 8.00-34.00% (Boonyasirikool et.al., 1986)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากถั่ว5 สีและลูกเดือย พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าโปรตีนคิดเป็น 16.81-20.27% ของพลังงานทั้งหมด และมีน้ำมันที่ต่ำอยู่ที่2.58% -8.86% จึงนับได้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากถั่ว 5 สีและลูกเดือยนี้ มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.1 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดท

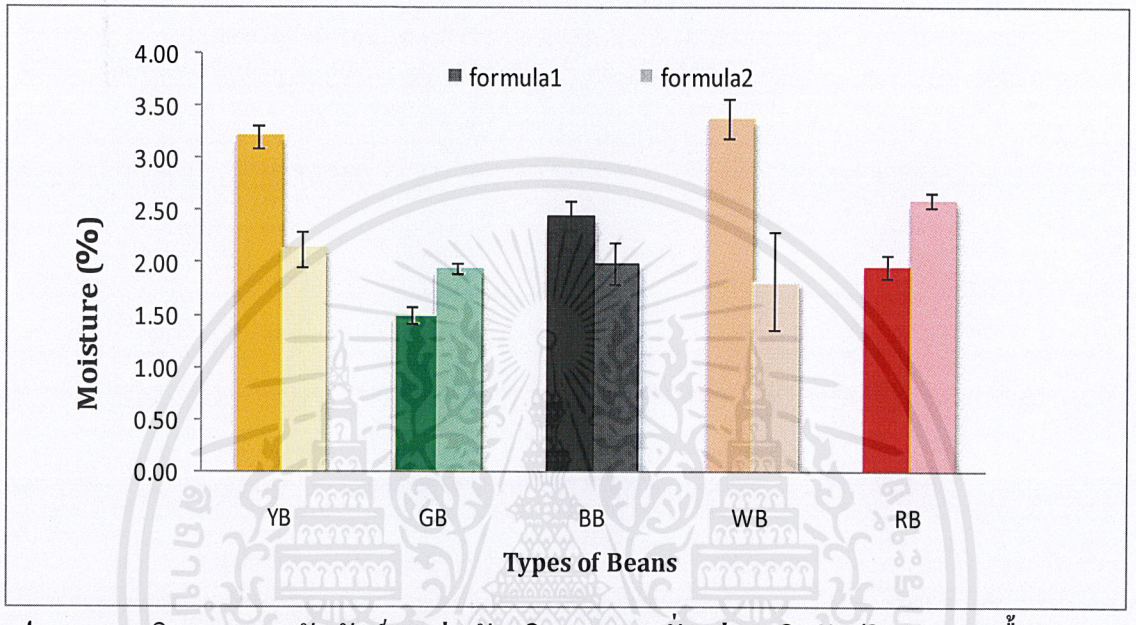
Recipe	JT:YB	JT:GB	JT:BB	JT:WB	JT:RB
Energy (Kcal)	**420.3629** (420.1235)	**396.5305** (391.6152)	**393.4517** (392.1601)	**394.9683** (397.8267)	**395.3514** (389.6520)
Water (grams)	**3.2144** (2.1387)	**1.5023** (1.9537)	**2.4607** (2.0107)	**3.3801** (1.8349)	**1.9749** (2.6124)
Protein (grams)	**21.3015** (20.2643)	**20.4283** (19.1273)	**20.1992** (19.1013)	**19.4105** (18.5518)	**17.5222** (18.5518)
Fat (grams)	**8.8576** (8.4262)	**2.7606** (2.5848)	**2.8624** (2.7069)	**3.5144** (3.3590)	**3.2510** (3.0376)
Carbohydrate (grams)	**63.8612** (65.8076)	**72.4930** (72.9607)	**71.7233** (72.8483)	**71.4241** (73.3471)	**74.0010** (74.2066)
fiber (grams)	**4.0939** (3.8947)	**4.2513** (3.9806)	**4.3207** (4.0858)	**3.5144** (3.3509)	**3.9673** (3.7068)
Ash (grams)	**2.7653** (2.6306)	**2.8158** (2.6365)	**2.7544** (2.6047)	**2.2709** (2.1704)	**3.2510** (3.0376)
Calcium (milligrams)	**93.7611** (89.1929)	**79.5049** (74.4415)	**41.0464** (38.8155)	**10.2730** (9.8185)	**73.8357** (68.9885)
Phosphorus (milligrams)	**437.2635** (415.9795)	**388.6905** (363.9364)	**455.2914** (430.5456)	**196.8083** (188.1021)	**429.2386** (401.0598)
Iron (milligrams)	**9.2897** (8.8375)	**7.2879** (6.8238)	**13.2321** (12.5129)	**8.0021** (7.6481)	**4.4081** (4.1187)
Thaiamin (milligrams)	**0.5239** (0.4984)	**0.4196** (0.3929)	**0.3078** (0.2911)	**0.3785** (0.3617)	**0.2975** (0.2788)
Riboflavin (milligrams)	**0.1372** (0.1305)	**0.1712** (0.1603)	**0.1188** (0.1124)	**0.2812** (0.2687)	**0.7311** (0.7824)
Niacin (milligrams)	**2.8301** (2.6924)	**3.1471** (2.9466)	**2.4844** (2.3494)	**3.1360** (2.9972)	**3.1959** (2.9861)
Vitamin-C (milligrams)	**4.5368** (4.3157)	-	-	-	-

หมายเหตุ ข้อมูลที่แสดง **สูตรที่ 1 ,** (สูตรที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture content)

ความชื้นของเอ็กซ์ทรูเดตที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง นำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูป 4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับปริมาณความชื้น

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วแต่ละชนิดและแต่ละสูตรกับค่า ความชื้น พบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในช่วง 1.502-3.380% สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และช่วง 1.835-2.6124% สำหรับสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส) โดยแต่ละถั่วนั้นมีค่าความชื้นแตกต่างกันออกไป

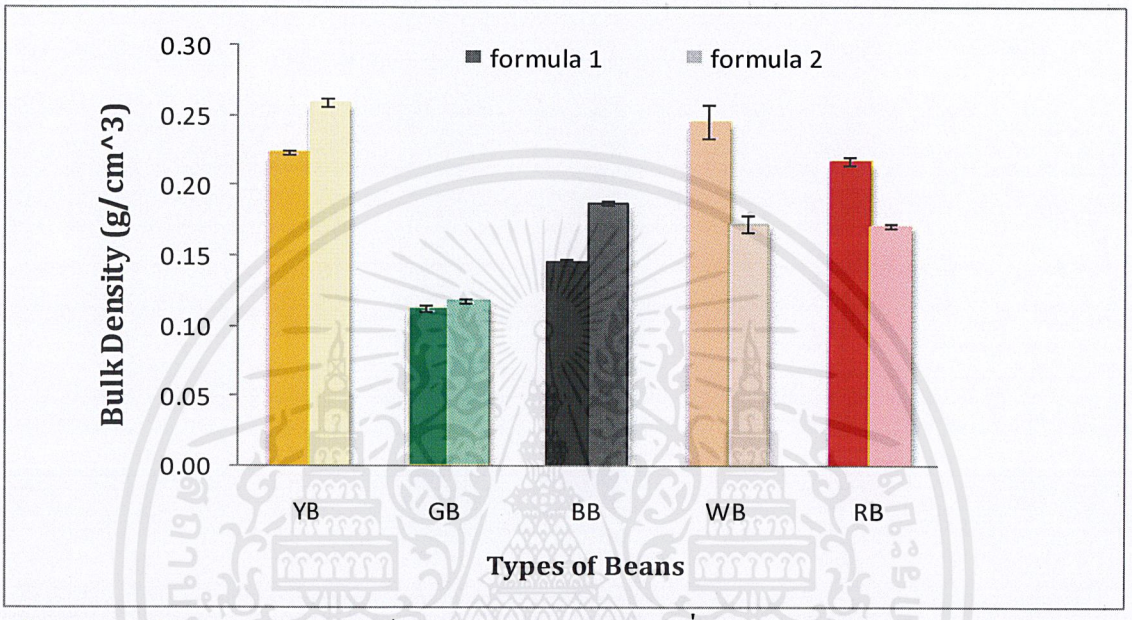
ถั่วเขียวและถั่วดำมีค่าความชื้นต่ำ เนื่องจากมีปริมาณไฟเบอร์มาก ปริมาณไฟเบอร์จะส่งผลให้เนื้อสัมผัสไม่เรียบและเป็นรูขนาดใหญ่ที่บริเวณผิวของเอ็กซ์ทรูเดท เมื่อผิวสัมผัสมีรูขนาดใหญ่ทำให้น้ำระเหยออกไปได้ง่ายจึงมีผลทำให้ตัวผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง (Yanniotis et al., 2007)

ถั่วเหลืองมีค่าความชื้นสูง เนื่องจากมีปริมาณไขมันมาก มีผลทำให้แรงเสียดทานภายในบาร์เรลลดลงทำให้พลังงานที่จะเปลี่ยนสภาพ ทำผลิตภัณฑ์ให้สุกมีค่าลดลง ซึ่งส่งผลให้มีค่าความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ความหนาแน่นของเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง นำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นรวมดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูป 4.2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับความหนาแน่นรวม

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วแต่ละชนิดและแต่ละสูตรกับค่าความหนาแน่นรวม ค่าความหนาแน่นรวมที่ได้อยู่ในช่วง 0.113-0.246 g/cm^3 สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และช่วง 0.118-0.260 g/cm^3 สำหรับสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส)

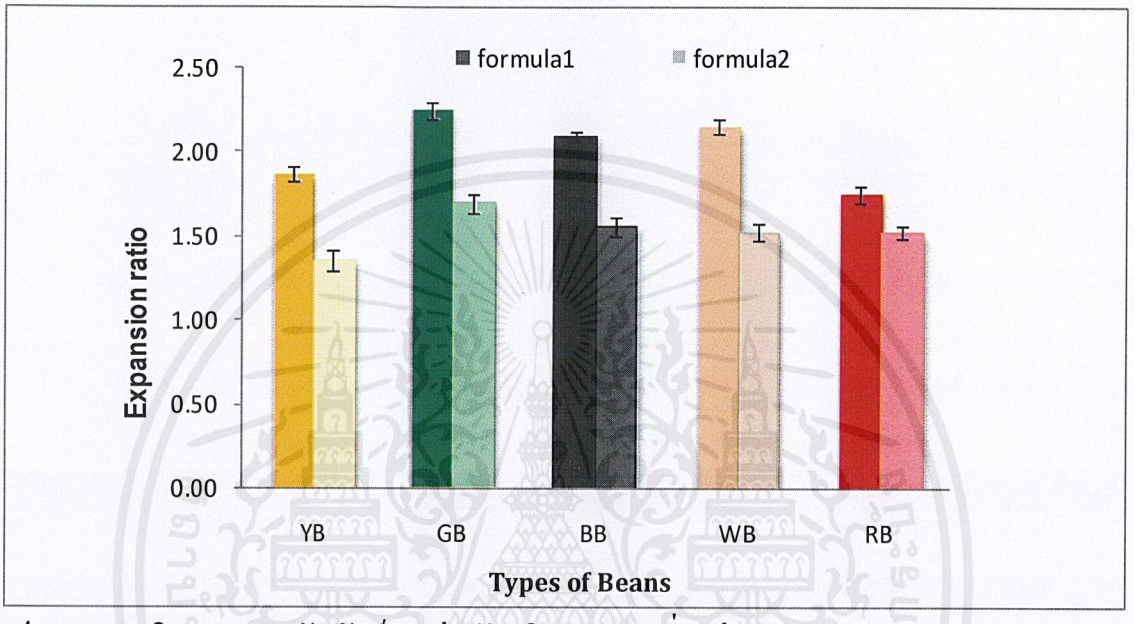
ถั่วเขียวมีค่าความหนาแน่นรวมน้อยที่สุดและถั่วเหลืองมีค่าความหนาแน่นรวมมากสุด ค่าความหนาแน่นรวมของสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) จะมีค่าต่ำกว่าสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) เนื่องจากสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส) มีการเติมน้ำตาลลงในตัววัตถุดิบ โดยน้ำตาลจะไปเป็นตัวเพิ่มความแน่นเนื้อ ทำให้ค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำตาลมีผลทำให้ขนาดของเซลล์ลดลง (Barret et al.,1995, Mezreb et al., 2006)

ส่วนถั่วขาวและถั่วแดงนั้น ค่าความหนาแน่นรวมของสูตรที่ 1 มีค่าสูงกว่าสูตรที่ 2 เนื่องจากรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ค่าอัตราการขยายตัว (Expansion ratio)

อัตราการขยายตัวของเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง นำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการขยายตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูป 4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับอัตราการขยายตัว

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วแต่ละชนิดและแต่ละสูตรกับค่าอัตราการขยายตัว พบว่าอัตราการขยายตัวที่ได้อยู่ในช่วง 1.751-2.244 สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และช่วง1.350-1.697 สำหรับสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส)

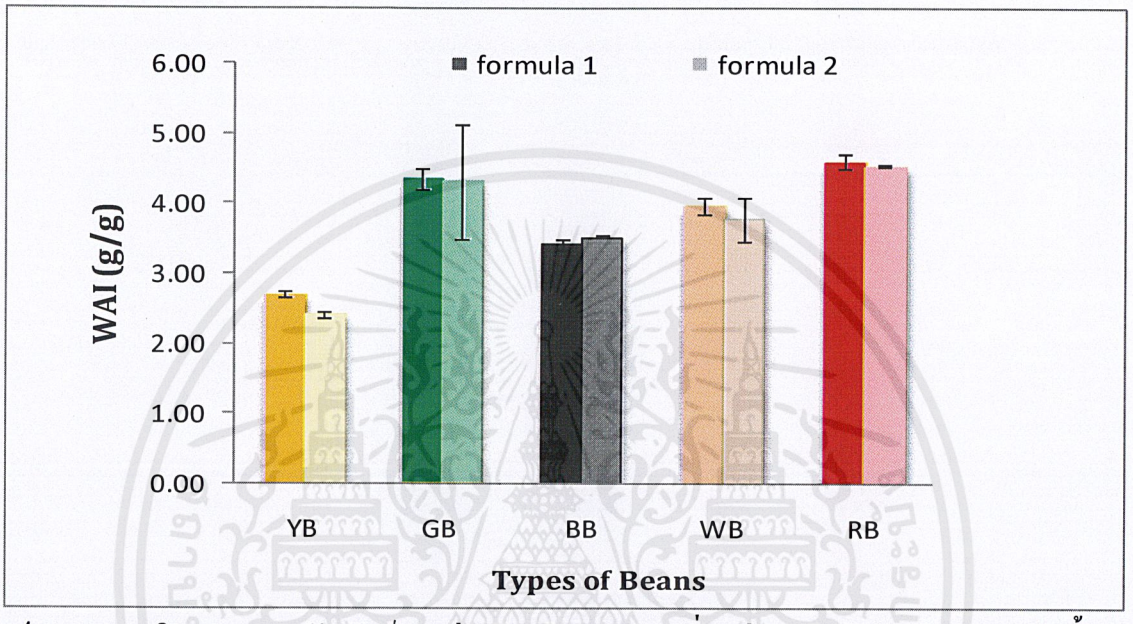
สูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีอัตราการขยายตัวต่ำกว่าสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) เนื่องจากมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราการขยายตัวโดยรวมลดลง (Mezreb, et al., 2006) ที่มีการเปรียบเทียบสูตรที่เติมน้ำตาลและไม่เติมน้ำตาล

แต่จากลักษณะของผลิตภัณฑ์ในรูปที่ 4.3 สังเกตได้ว่าตัวผลิตภัณฑ์ที่เป็นสูตรปรุงแต่งนั้นมีการขยายตัวในแนวยาวด้วย ดังนั้นในการวัดควรจะวัดทั้งสองทาง เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ค่าอัตราการดูดซับน้ำ (WAI)

อัตราการดูดซับน้ำของเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง นำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบอัตราการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการดูดซับน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูป 4.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับอัตราการดูดซับน้ำ

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วแต่ละชนิดและแต่ละสูตรกับค่าอัตราการดูดซับน้ำ พบว่าอัตราการดูดซับน้ำที่ได้อยู่ในช่วง 2.701-4.354 g/g สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และช่วง 2.418-4.549 g/g สำหรับสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส)

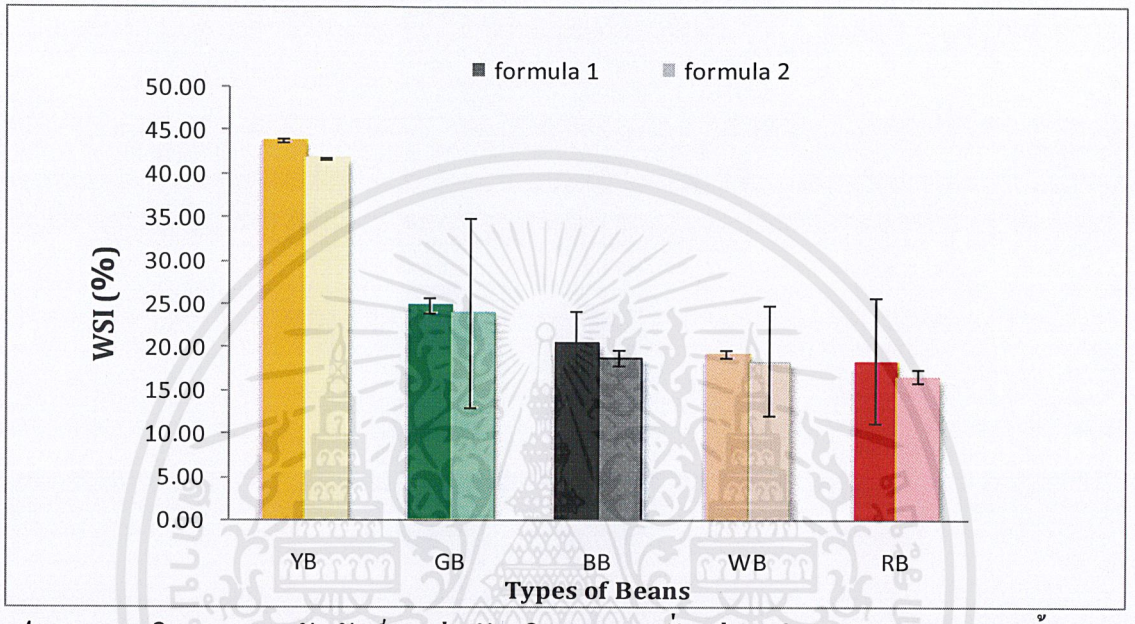
ค่าอัตราการดูดซับน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากการเติมน้ำตาลไม่ส่งผลหรือส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อค่าอัตราการดูดซับน้ำเนื่องจากค่า WAI เป็นอิสระจากปริมาณน้ำตาล (Antonio, 2010)

ถั่วเหลืองมีค่าอัตราการดูดซับน้ำน้อยที่สุดเนื่องจากมีปริมาณไขมันมาก ทำให้ดูดซับน้ำได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ค่าอัตราการละลายน้ำ (WSI)

อัตราการละลายน้ำของเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง นำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบอัตราการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการละลายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูป 4.5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับอัตราการละลายน้ำ

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วแต่ละชนิดและแต่ละสูตรกับค่าอัตราการละลายน้ำ พบว่าอัตราการละลายน้ำที่ได้อยู่ในช่วง18.493-43.890% สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และช่วง18.438-41.752% สำหรับสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส)

อัตราการละลายน้ำของสูตรที่2 จะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) สอดคล้องกับ (Mezreb, et al., 2006) ที่ว่า เอ็กซ์ทรูเดทจากข้าวสาลีจะมีค่า WSI ลดลงที่ระดับน้ำตาล 5%

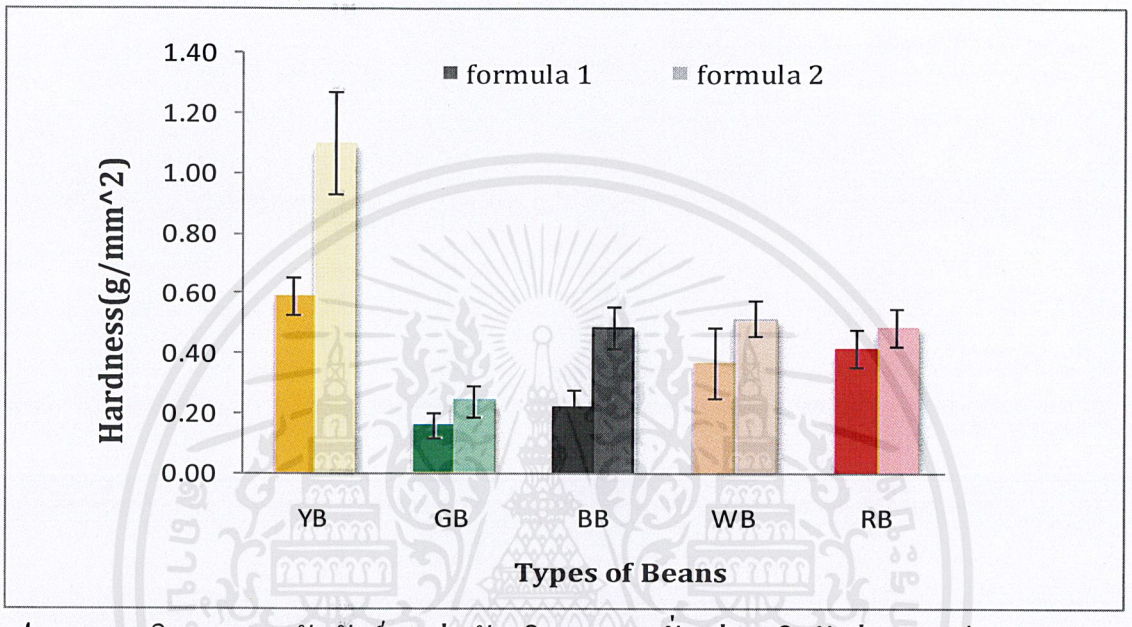
ถั่วเหลืองมีค่าการละลายน้ำมากสุดเนื่องจาก มีปริมาณโปรตีนมากสุดสอดคล้องกับ (Yijun Sang, 2009) กล่าวว่า ค่า WSI เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น

ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วแดง มีอัตราการละลายน้ำที่น้อยไล่เรียงกันมาตามปริมาณโปรตีน ถ้ามีโปรตีนในปริมาณที่น้อยค่าการละลายน้ำก็จะน้อยลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ค่าความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งของเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง นำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูป 4.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับค่าความแข็ง

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วแต่ละชนิดและแต่ละสูตรกับค่าความแข็ง พบว่าค่าความแข็งที่ได้อยู่ในช่วง 0.159-0.589 g/mm^2 สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และช่วง 0.243-1.100 g/mm^2 สำหรับสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส)

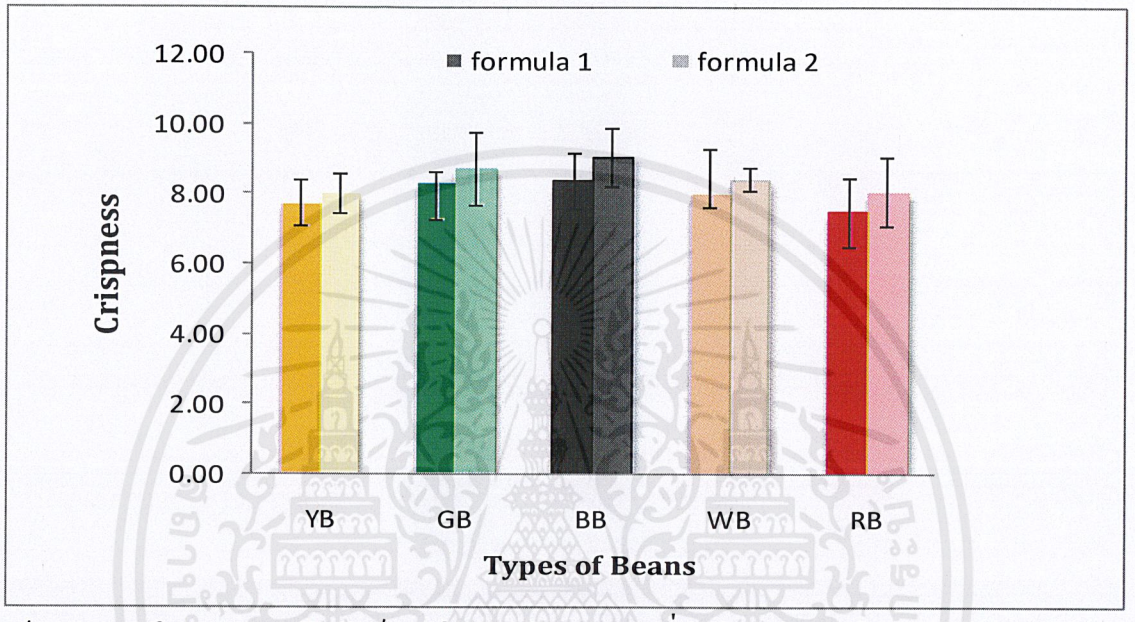
ค่าความแข็งของสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีค่าเพิ่มขึ้นจากสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) เนื่องจากน้ำตาลไปเพิ่มความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งขึ้น

ส่วนถั่วเหลืองที่มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากมีปริมาณไฟเบอร์มากกว่าถั่วชนิดอื่น เพราะไฟเบอร์มีส่วนที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น (Jin, et al., 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ค่าความกรอบ (Crispness)

ค่าความกรอบของเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง นำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าความกรอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูป 4.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับค่าความกรอบ

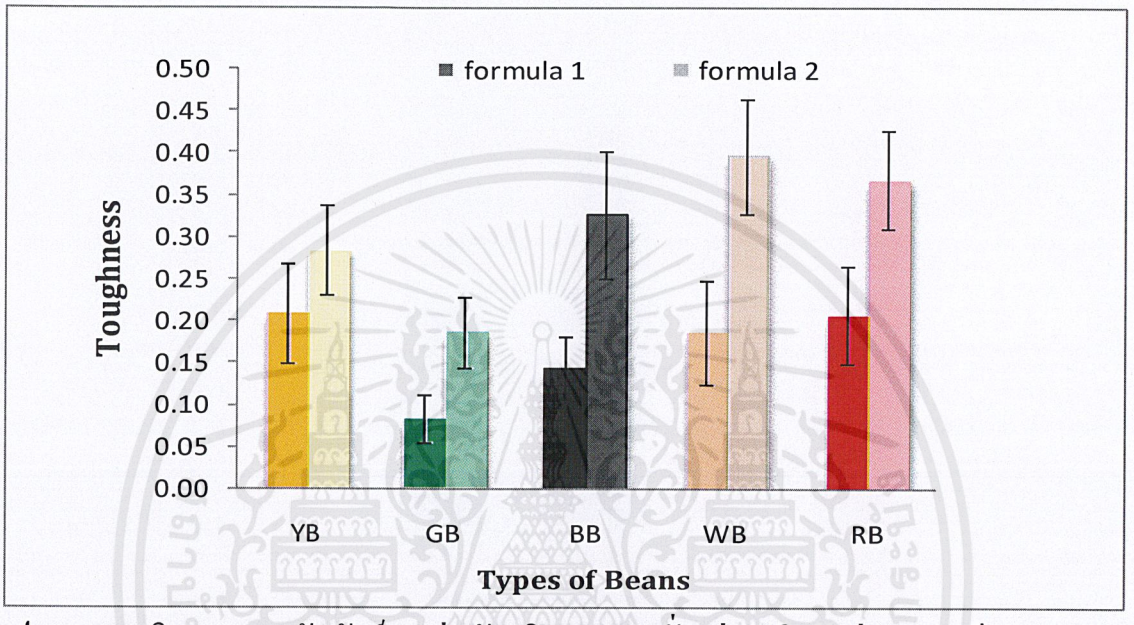
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วแต่ละชนิดและแต่ละสูตรกับค่าความแข็ง พบว่าค่าความกรอบที่ได้อยู่ในช่วง 7.512-8.435 สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และช่วง 8.007-9.089 สำหรับสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส)

โดยจากรูปที่ 12 สูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีค่าความกรอบที่มากกว่าสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) เพียงเล็กน้อยซึ่งถือว่าไม่แตกต่างกันมากนัก (Mezreb, et al., 2006) กล่าวว่า ค่าความกรอบไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญที่ปริมาณน้ำตาล5-10 % ในการทดลองนี้ความกรอบแต่ละถั่วมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ค่าความเหนียว

ความเหนียวของเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง นำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าความเหนียว ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูป 4.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับค่าความเหนียว

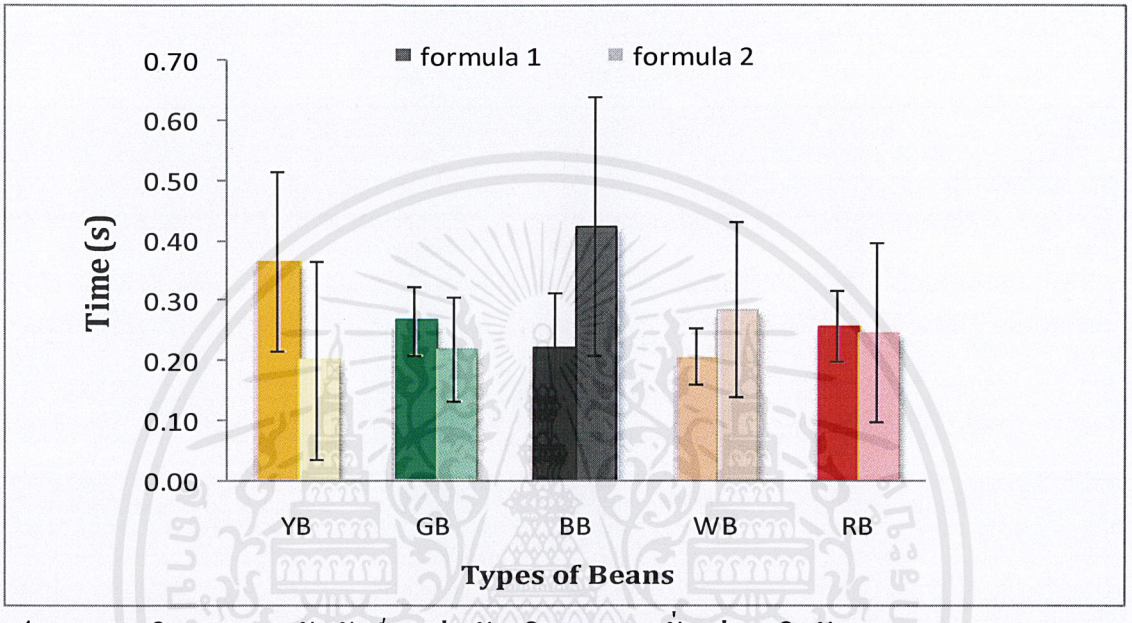
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วแต่ละชนิดและแต่ละสูตรกับค่าความเหนียว พบว่าค่าความเหนียวอยู่ในช่วง 0.083-0.208 สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และช่วง 0.186-0.396 สำหรับสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส)

โดยสูตรที่2 (ปรุงแต่งรส) มีค่าความเหนียวที่มากกว่าสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) เนื่องจากผลของน้ำตาลทำให้เนื้อของผลิตภัณฑ์มีความแน่นและเหนียวขึ้นสอดคล้องกับ (Lue et al, 1991) โดยได้บอกไว้ว่า การขยายตัวที่ลดลงมีผลต่อค่าความหนาแน่น ความเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 อัตราการลอยตัว

อัตราการลอยตัวของเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง นำมาเขียนแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบอัตราการลอยตัวของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูป 4.9 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบผสมของถั่วแต่ละชนิดกับเวลา

จากการทดลองพบว่าเวลาที่ได้อยู่ในช่วง 0.208-0.366 s สำหรับสูตรที่1 (ไม่ปรุงแต่งรส) และช่วง 0.202-0.426 sสำหรับสูตรที่ 2 (ปรุงแต่งรส)

เนื่องจากการทดลองหาค่าอัตราการลอยตัวนั้น เกิดค่าความแปรปรวนมาก อาจจะเกิดจากวิธีการทดลองที่ยังไม่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เอ็กทรูซ์เดทจากถั่ว 5สีและลูกเดือย

แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า ถั่วเหลืองสูตรไม่ปรุงแต่งรสและถั่วดำสูตรปรุงแต่งรส ใช้เวลานานสุดแสดงว่า มีอัตราการลอยตัวที่ต่ำสุด อาจจะเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความกรอบน้อยและน้ำซึมเข้าสู่ตัวผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์นิ่ม ต้องใช้เวลาในการกดนานจนกว่าจะถึงจุดแตกหัก จึงอาจสรุปได้ว่าถั่วเหลืองและถั่วดำมีอัตราการลอยตัวที่ต่ำกว่าถั่วชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 ค่าความเป็นสี

ค่าความเป็นสีของเอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตจากวัตถุดิบผสมระหว่างถั่ว 5 สีกับลูกเดือย ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาวและถั่วแดง นำมาเปรียบเทียบค่าความเป็นสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างสูตรแรกที่ไม่ปรุงแต่งกับสูตรที่สองที่มีการปรุงแต่ง พบว่ามีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ **4.2**

ตาราง 4.2 ค่าความเป็นสีของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดท

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 ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทที่เตรียมมาจากถั่วเขียวสูตรปรุงแต่งรสมีค่าความสว่าง L* มากสุดอยู่ที่ค่า 69.51

ถั่วเหลืองมีค่าความเป็นสีแดง a* มากสุดอยู่ที่ค่า 12.52 เนื่องจากวัตถุดิบเริ่มต้นมีสีเหลืองออกส้มทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นสีแดงมาก

ถั่วเขียวมีค่าความเป็นสีเหลือง b* มากสุดเนื่องจากใช้วัตถุดิบที่เป็นถั่วเขียวผ่าซีกซึ่งเป็นสีเหลืองจึงแสดงค่าความเป็นสีเหลืองออกมาได้มากสุด

อีกทั้งปริมาณโปรตีนมีผลต่อค่าความเป็นสีโดยเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นค่า L* จะลดลง ส่วนค่า 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน โดยใช้วัตถุดิบจากลูกเดือยผสมกับถั่ว 5 สี ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วเหลือง โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว อัตราส่วนน้ำหนักส่วนผสมของลูกเดือยกับถั่ว เท่ากับ 50 : 50 ส่วนลูกเดือยกับถั่วเหลือง 70 : 30 ความเร็วรอบสกรู 550 rpm อัตราการป้อนวัตถุดิบ 15 kg/hr อัตราการตัด 80 rpm ปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วย สูตรปรุงแต่ง กับสูตรไม่ปรุงแต่ง โดยสูตรปรุงแต่งมีการเพิ่มส่วนผสม คือ น้ำตาล 5% และ สารคาร์บอเนต 1% ของน้ำหนักวัตถุดิบจากถั่วและลูกเดือย ซึ่งส่วนผสมและส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณลักษณะของเอ็กซ์ทรูเดทที่ได้ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ในวัตถุดิบที่มีการเพิ่มน้ำตาลเป็นส่วนประกอบ จะมีผลทำให้เอ็กซ์ทรูเดทที่ได้มี ค่าความชื้นลดลง (ยกเว้นถั่วในถั่วเขียวและถั่วแดง) ความหนาแน่นจริงลดลง อัตราการขยายตัวลดลง ค่าอัตราการละลายน้ำลดลง อัตราการลอยตัวลดลง(ยกเว้นถั่วดำและถั่วขาว) ค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น (ยกเว้นในถั่วขาวและถั่วแดง) ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น และค่าความเป็นสีเหลือง ค่าความเป็นสีแดง ลดลง แต่ไม่มีผลต่อค่าอัตราการดูดซับน้ำและค่าความกรอบ
2. ในวัตถุดิบที่มีการเพิ่มสารคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบ สารคาร์บอเนต เป็นสารช่วยทำให้ฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวขณะที่ไอน้ำระเหยลอยตัวออกไป ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะด้านอื่นๆของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดท
3. ในวัตถุดิบที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบทางเคมีในปริมาณมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโปรตีนมากที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทจากเหลืองมีปริมาณโปรตีนมากสุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาว ถั่วแดง ตามลำดับ ซึ่งโปรตีนมีผลทำให้อัตราการขยายตัวลดลง ค่าอัตราการดูดซับน้ำลดลง ค่าอัตราการละลายน้ำเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น
4. ในวัตถุดิบที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบทางเคมีในปริมาณมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเหลือง มีปริมาณไขมันมากสุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วขาว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วเขียว ตามลำดับ ซึ่งไขมันมีผลทำให้อัตราการขยายตัวลดลง ความหนาแน่นรวมเพิ่มมากขึ้น
5. ในวัตถุดิบที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบทางเคมีในปริมาณมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วแดงมีปริมาณไขมันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วขาว ถั่วเหลือง ตามลำดับ ซึ่งคาร์โบไฮเดรตมีผลทำให้เพิ่มขนาดเซลล์ของโพรงอากาศระหว่างที่ผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัว ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความพอง

6. ในวัตถุดิบที่มีใยอาหารเป็นส่วนประกอบทางเคมีในปริมาณมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณใยอาหารมากที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทจาก ถั่วดำมีปริมาณใยอาหารมากสุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วแดง ถั่วขาว ตามลำดับ ซึ่งใยอาหารมีผลทำให้ ค่าอัตราการลอยตัวเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ค่าความพรุนลดลง ค่าอัตราการขยายตัวลดลง และค่าความชื้นลดลง

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ประสิทธิภาพของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เนื่องจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้ผ่านการใช้งานมาหลายปี ทำให้ระบบการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องลดลง ซึ่งมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแปรปรวน การแก้ปัญหาเบื้องต้น คือการทำให้สภาวะคงที่ตามที่ได้กำหนดไว้
2. อัตราการขยายตัว จากการทำการวิเคราะห์ค่าอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร พบว่าผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัวตามแนวยาวด้วย จึงควรวัดค่าอัตราการขยายตัวตามแนวยาวด้วยเช่นกัน
3. ขนาดอนุภาค ขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 40 mesh เมื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการเอ็กทรูชั่น อาจทำให้การป้อนวัตถุดิบไม่ต่อเนื่อง หรือติดขัดเวลาป้อนวัตถุดิบ เนื่องจากแป้งยิ่งมีขนาดเล็กลงจะเกิดการอัดตัวทำให้วัตถุดิบไม่ตกลงไปสู่ภายในเครื่อง ดังนั้นลักษณะของวัตถุดิบที่ดีควรมีลักษณะการไหลแบบ free flowing
4. ปัญหาของเปลือกถั่ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วขาวจะมีเปลือกหลุดออกมาจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเปลือกทำให้เกิดสีที่ไม่สม่ำเสมอและไม่น่ารับประทาน ดังนั้นจึงควรมีการแยกเปลือกถั่วออกจากแป้งถั่วก่อนนำมาผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

จุฑามณี คลายทุกข์ ทิพย์พิกุล ชนะพันธ์ และ มานิตา จำปาหอม. 2552. **การผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันของถั่ว 5 สี**. ปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จุฬาลักษณ์ จารุนุช. 2550. **Extruder Snack**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ฉบับที่ 3 ปีที่ 37, 218-222 .กรุงเทพมหานคร.

กรมอนามัย. 2553. **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย**. [online].

Available : http://nutrition.anamai.moph.go.th.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. **ธัญชาติและพืชหัว.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดุษฎี อุตภาพ. 2553. **Carbohydrate Technology**. [online].

Available : http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/contact.html.

บรรจบ ชุณหสวัสดิกุล. 2548. **ธัญพืช**. [online].

Available : http://www.balavi.com/webboard/QAview.asp?id=3577.

ปนิตา ทวยเจริญ. 2551. **ข้อควรปฏิบัติในการรับประทานอาหารเจ**. [online]. Available : http://202.143.146.195/km/index.php?option=com_content&task=view&id=3478&Itemid.

ประชา บุญญสิริกูล และจุฬาลักษณ์ จารุนุช. 2543. **การพัฒนาขนมอบกรอบเพิ่มคุณค่าโภชนาการด้วยแป้งถั่วเหลืองโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.ฉบับที่ 3 ปีที่ 30.

ประชา บุญญสิริกูล จุฬาลักษณ์ จารุนุช และมาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์. 2538. **การผลิตอาหารขบเคี้ยวจากถั่วเขียวโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูคู่**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มลศิริ วีโรทัย 2545. **เทคโลยีของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (บทที่ 10 อาหารของผู้สูงอายุ)**. กรุงเทพมหานคร : พัฒนาคุณภาพวิชาการ(พว.).

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2541. **วิศวกรรมอาหาร : หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันดี กฤษณพันธุ์. 2535. **สมุนไพรสารพัดประโยชน์.** คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

สิงหนาท พวงจันทน์แดง ศุภชัย ภูลายดอก เกษม นันทชัย วิเชียร วรพุทธพร สุนันทา ทองทา และวีระ สุวรรณศร. 2550. **อิทธิพลของแป้งจากธัญชาติชนิดต่างๆต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของผลิตภัณฑ์พองตัวที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน.** วารสารวิจัย มข. 12 (4).

Alex A. Anton, R. Gray Fulcher, Susan D. Arntfield. Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (Phaseolus vulgaris L.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

flour : Effects of bean addition and extrusion cooking. *Journal of food Chemistry* 2009; 113 : 989-996.

Alvarez-Martinez, L., Kondury, K.P., Harper, J.M., 1988. A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science* 53, 609–615.

Anderson, R. A. et al. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, v. 14, n. 1, p. 4-12.

AOAC. 1994. Official method of analysis**.** Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.

Autret, M., 1969. World Protein Supplies and Needs. In "Proteins as Human Food', ed. Lawrie, R.A., pp 3-19. The AVI Publishing Co, Inc. Westport. Conn.

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*.

Boonyasirikool, P., Reungmaneepaitoon,S., Thippayang, S. and Prabhavat, S. 1986. Research on the production of High Protein Snack Foods. Asean-Thailand Food Technology Research and Development 1982-1985. Institute of Food Research and Product Development. Kasetsart University. Bangkok. 67 p.

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.

Harper, J.M. 1981b. Extrusion of Food Vol. 2**.** Florida : CRC Press.

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.

Jintian Fan, John R. Mitchell, John M. V. Blanshard. 1996. The effect of sugars on the extrusion of maize grits: I. The role of the glass transition in determining product density and shape. International Journal of Food Science & Technology. Volume 31, Issue 1, pages 55–65.

Juan Antonio Ruano ORTIZ, Carlos Wanderlei Piler de CARVALHO, Diego Palmiro Ramirez ASCHERI, José Luis Ramirez ASCHERI, Cristina Tristão de ANDRADE. 2010. Effect of sugar and water contents on non-expanded cassava flour extrudates. *Journal of Food Science*; 30(1): 205-212.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

Mian N. Riaz.1999. Eetruders in food applications. Heat, Extrusion Technology Program, Food Protein Research and Development Center. Texas A&M University.

Narpinder, S., Sanjeev, S., Baljit , S. The effect of sodium bicarbonate and glycerol monostearate addition on extrusion behaviour of maize grits. *Journal of food engineering* 46: 61-66.

Normell Jhoe E. de Mesa , Sajid Alavi , Narpinder Singh , Yong-Cheng Shi , Hulya Dogan , Yijun Sang. 2009. Soy protein-fortified expanded extrudates: Baseline study using normal corn starch. *Journal of Food Engineering* 90 : 262–270.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. การคำนวณและตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการ
2. ตารางสัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณคุณค่าทางโภชนาการแต่ละสูตร

การคำนวณคุณค่าทางโภชนาการในแต่ละสูตร

ตัวอย่าง การคำนวณ ค่าโปรตีนของถั่วเขียว 50 % สูตรที่ 1 (ไม่ปรุงแต่ง)

จาก ลูกเดือย 100 g มีโปรตีน = 13.6 g

ลูกเดือย 100 g มีความชื้นเริ่มต้น = 10.1 g

ถั่วเขียว 100 g มีโปรตีน = 23.4 g

ถั่วเขียว 100 g มีความชื้นเริ่มต้น = 11.5 g

การคำนวณ

คิดค่าความชื้นเริ่มต้นจากลูกเดือย 50% = 0.5x10.1

= 5.05 g

คิดค่าความชื้นเริ่มต้นจากถั่วเขียว 50% = 0.5x11.5

= 5.75 g

คิดโปรตีนจากลูกเดือย 50% = 0.5x13.6

= 6.80 g

คิดโปรตีนจากถั่วเขียว 50% = 0.5x23.4

= 11.70 g

จะได้ ค่าความชื้นเริ่มต้นของสูตรถั่วเขียว 50% ที่วัตถุดิบเริ่มต้น

ความชื้นเริ่มต้นจากลูกเดือย 50% + ความชื้นเริ่มต้นจากถั่วเขียว 50%

= 5.05+5.75

= 10.80 g

ค่าโปรตีนของสูตรถั่วเขียว 50% ที่วัตถุดิบเริ่มต้น

โปรตีนเริ่มต้นจากลูกเดือย 50% + โปรตีนเริ่มต้นจากถั่วเขียว 50%

= 6.80+11.70

= 18.50 g

คิดค่าโปรตีนของสูตรถั่วเขียว 50% ของเอ็กซ์ทรูเดต 100 g

$$\frac{\text{โปรตีนของเอ็กซ์ทรูเดต}}{100-\text{ความชื้นของเอ็กซ์ทรูเดต}} = \frac{\text{โปรตีนของวัตถุดิบ}}{100-\text{ความชื้นของวัตถุดิบ}}$$

$$\text{โปรตีนของเอ็กซ์ทรูเดต} = \frac{18.50}{100-10.80} \times 98.4977$$

= 20.43 g

ดังนั้นปริมาณโปรตีนที่ได้จากสูตรถั่วเขียว 50 % คือ 20.43 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการถั่วแต่ละสี ของวัตถุดิบเริ่มต้น สูตรไม่ปรุงแต่ง

สูตร	JT:RB 50:50	JT:WB 50:50	JT:YB 70:30	JT:GB 50:50	JT:BB 50:50
ความชื้นเริ่มต้น (กรัม)	11.0500	10.6500	10.4000	10.8000	9.7000
โปรตีนของวัตถุดิบเริ่มต้น (กรัม)	15.9000	17.9500	19.7200	18.5000	18.7000
ไขมันของวัตถุดิบเริ่มต้น(กรัม)	2.9500	3.2500	8.2000	2.5000	2.6500
คาร์โบไฮเดรตเริ่มต้น(กรัม)	67.1500	66.0500	59.1200	65.6500	66.4000
เถ้าเริ่มต้น(กรัม)	2.9500	2.1000	2.5600	2.5500	2.5500
ใยอาหารเริ่มต้น(กรัม)	3.6000	3.2500	3.7900	3.8500	4.0000
แคลเซียมเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	67.0000	9.5000	86.8000	72.0000	38.0000
ฟอสฟอรัสเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	389.5000	182.0000	404.8000	352.0000	421.5000
เหล็กเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	4.0000	7.4000	8.6000	6.6000	12.2500
ไทอะมีนเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	0.2700	0.3500	0.4850	0.3800	0.2850
ไรโบฟลาวินเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	0.7100	0.2600	0.1270	0.1550	0.1100
ไนอะซินเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	2.9000	2.9000	2.6200	2.8500	2.3000
วิตามินซีเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	-	-	4.2000	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการถั่วแต่ละสี ของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดท สูตรไม่ปรุงแต่ง

สูตร	JT:RB 50:50	JT:WB 50:50	JT:YB 70:30	JT:GB 50:50	JT:BB 50:50
ความชื้นผลิตภัณฑ์ (กรัม)	1.9749	3.3801	3.2144	1.5023	2.4607
โปรตีนของผลิตภัณฑ์(กรัม)	17.5222	19.4105	21.3015	20.4283	20.1992
ไขมันของผลิตภัณฑ์(กรัม)	3.2510	3.5144	8.8576	2.7606	2.8624
คาร์โบไฮเดรตผลิคภัณฑ์(กรัม	74.0010	71.4241	63.8612	72.4930	71.7233
เถ้าผลิตภัณฑ์(กรัม)	3.2510	2.2709	2.7653	2.8158	2.7544
ใยอาหารผลิตภัณฑ์(กรัม)	3.9673	3.5144	4.0939	4.2513	4.3207
แคลเซียมผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	73.8357	10.2730	93.7611	79.5049	41.0464
ฟอสฟอรัสผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	429.2386	196.8083	437.2635	388.6905	455.2914
เหล็กผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	4.4081	8.0021	9.2897	7.2879	13.2321
ไทอะมีนผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	0.2975	0.3785	0.5239	0.4196	0.3078
ไรโบฟลาวินผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	0.7824	0.2812	0.1372	0.1712	0.1188
ไนอะซินผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	3.1959	3.1360	2.8301	3.1471	2.4844
พลังงาน(กิโลแคลลอรี่)	395.3514	394.9683	420.3692	396.5305	393.4517
วิตามินซีผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	-	-	4.5368	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการถั่วแต่ละสี ของวัตถุดิบเริ่มต้น สูตรปรุงแต่ง

สูตร	JT:RB:S:C 50:50:5%:1%	JT:WB:S:C 50:50:5%:1%	JT:YB:S:C 70:30:5%:1%	JT:GB:S:C 50:50:5%:1%	JT:BB:S:C 50:50:5%:1%
ความชื้นเริ่มต้น (กรัม)	10.7727	10.3953	10.1595	10.5368	9.4991
โปรตีนของวัตถุดิบเริ่มต้น (กรัม)	15.0001	16.9340	18.6034	17.4529	17.6416
ไขมันของวัตถุดิบเริ่มต้น(กรัม)	2.7830	3.0661	7.7356	2.3585	2.5000
คาร์โบไฮเดรตเริ่มต้น(กรัม)	63.3493	62.3116	55.7746	61.9342	62.6418
เถ้าเริ่มต้น(กรัม)	2.7830	1.9811	2.4150	2.4057	2.4057
ใยอาหารเริ่มต้น(กรัม)	3.3962	3.0661	3.5755	3.6321	3.7736
แคลเซียมเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	63.2078	8.9623	81.8826	67.9248	35.8492
ฟอสฟอรัสเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	367.4543	171.6988	381.8856	332.0768	397.6431
เหล็กเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	3.7736	6.9812	8.1132	6.2264	11.5567
ไทอะมีนเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	0.2547	0.3302	0.4575	0.3585	0.2689
ไรโบฟลาวินเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	0.6698	0.2453	0.1198	0.1462	0.1038
ไนอะซินเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	2.7359	2.7359	2.4717	2.6887	2.1698
วิตามินซีเริ่มต้น(มิลลิกรัม)	-	-	3.9620	-	-
น้ำตาลเริ่มต้น(กรัม)	4.6394	4.6394	4.6394	4.6394	4.6394
NaHCO3เริ่มต้น(กรัม)	0.6725	0.6725	0.6725	0.6725	0.6725

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการถั่วแต่ละสี ของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต สูตรปรุงแต่ง

สูตร	JT:RB:S:C 50:50:5%:1%	JT:WB:S:C 50:50:5%:1%	JT:YB:S:C 70:30:5%:1%	JT:GB:S:C 50:50:5%:1%	JT:BB:S:C 50:50:5%:1%
ความชื้นผลิตภัณฑ์ (กรัม)	2.6124	1.8349	2.1387	1.9537	2.0107
โปรตีนของผลิตภัณฑ์(กรัม)	16.3719	18.5518	20.2643	19.1273	19.1013
ไขมันของผลิตภัณฑ์(กรัม)	3.0376	3.3590	8.4262	2.5848	2.7069
คาร์โบไฮเดรตผลิคภัณฑ์(กรัม	69.1429	68.2645	60.7540	67.8762	67.8250
เถ้าผลิตภัณฑ์(กรัม)	3.0376	2.1704	2.6306	2.6365	2.6047
ใยอาหารผลิตภัณฑ์(กรัม)	3.7068	3.3590	3.8947	3.9806	4.0858
แคลเซียมผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	68.9885	9.8185	89.1929	74.4415	38.8155
ฟอสฟอรัสผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	401.0598	188.1021	415.9795	363.9364	430.5456
เหล็กผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	4.1187	7.6481	8.8375	6.8238	12.5129
ไทอะมีนผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	0.2780	0.3617	0.4984	0.3929	0.2911
ไรโบฟลาวินผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	0.7311	0.2687	0.1305	0.1603	0.1124
ไนอะซินผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	2.9861	2.9972	2.6924	2.9466	2.3494
พลังงาน (กิโลแคลลอรี่)	389.6520	397.8267	420.1235	391.6152	392.1601
วิตามินซีผลิตภัณฑ์(มิลลิกรัม)	-	-	4.3157	-	-
น้ำตาลผลิตภัณฑ์(กรัม)	5.0637	5.0826	5.0536	5.0845	5.0233
Na2CO3ผลิตภัณฑ์(กรัม)	0.7340	0.7367	0.7325	0.7370	0.7281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.5 ตารางสัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในโครงงาน

สัญลักษณ์	ความหมาย
GB	สูตรลูกเดือยผสมถั่วเขียว
RB	สูตรลูกเดือยผสมถั่วแดง
BB	สูตรลูกเดือยผสมถั่วดำ
YB	สูตรลูกเดือยผสมถั่วเหลือง
WB	สูตรลูกเดือยผสมถั่วขาว
Bean (%)	อัตราส่วนถั่ว
Rpm	ความเร็วรอบของสกรู รอบ/นาที
MC (%)	ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (moisture content)
BD (g/cm^3)	ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)
ER (เท่า)	อัตราการส่วนขยายตัว (Expansion Ratio)
WAI (g/g)	ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index)
WSI (%)	ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility Index)
L*	ค่าความสว่าง (Lightness)
a*	ค่าความเป็นสีแดง (Redness)
b*	ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness)
Hardness (Kg/mm^2)	ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์
Toughness ($Kg.mm/mm^2$)	ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์
Crispness ($no.peak/mm^2$)	ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์
Bowl life (s)	ความสามารถในการลอยตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

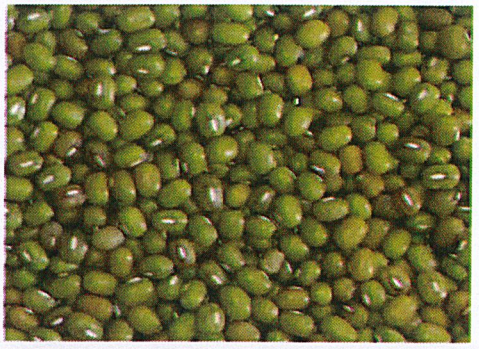
1. รูปวัตถุดิบ

- ลูกเดือย, ถั่วเขียว, ถั่วแดง, ถั่วดำ, ถั่วขาว, ถั่วเหลือง, น้ำตาลบดละเอียด และโซเดียมไบรคาร์บอเนต($NaHCO_3$)

2. รูปอุปกรณ์ เครื่องมือในการทดลอง
3. รูปผลิตภัณฑ์ที่ได้ในการทดลองทั้งสองสูตร

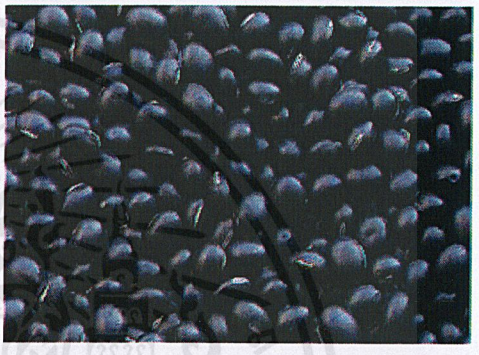
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข.1 ลูกเดือย

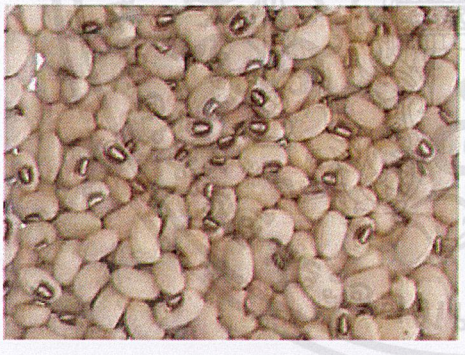


รูป ข.2 ถั่วเขียว

รูป ข. 3 ถั่วแดง

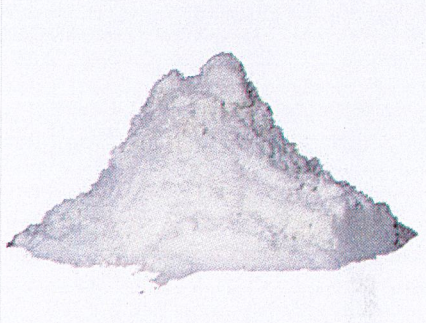


รูป ข. 4 ถั่วดำ



รูป ข.5 ถั่วขาว

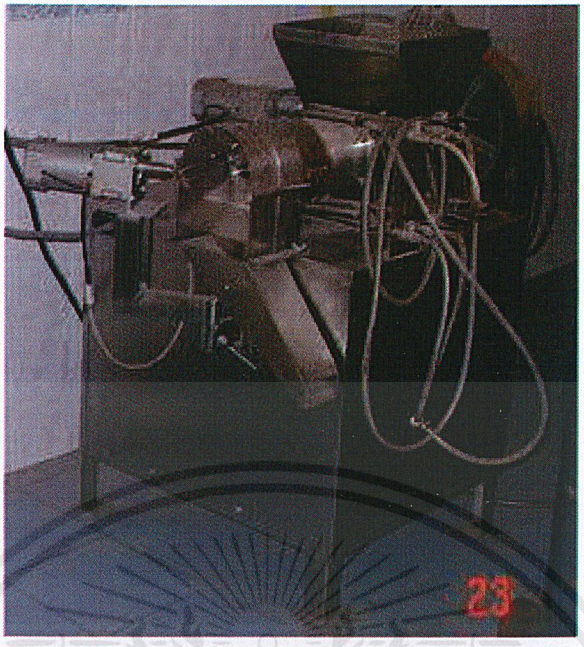
รูป ข. 6 ถั่วเหลือง



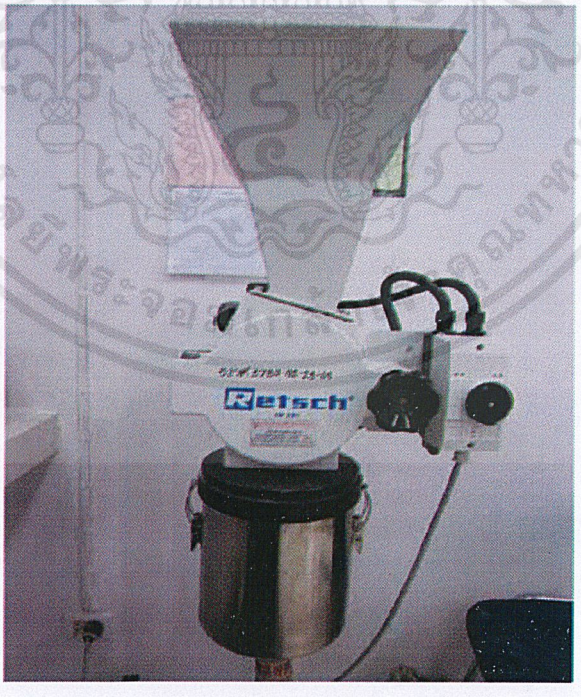
รูป ข.7 น้ำตาลบดละเอียด

รูป ข. 8 สารคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

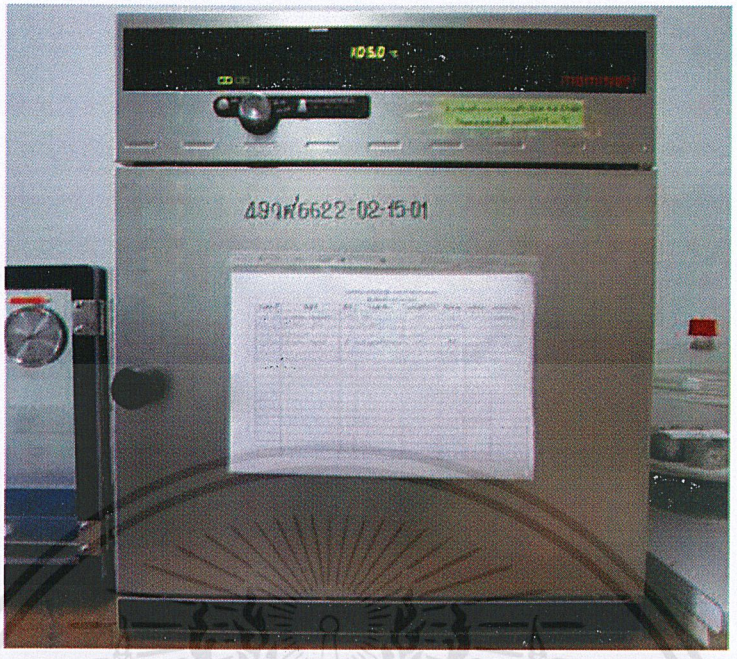


รูป ข. 9 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ชนิดสกรูเดี่ยว

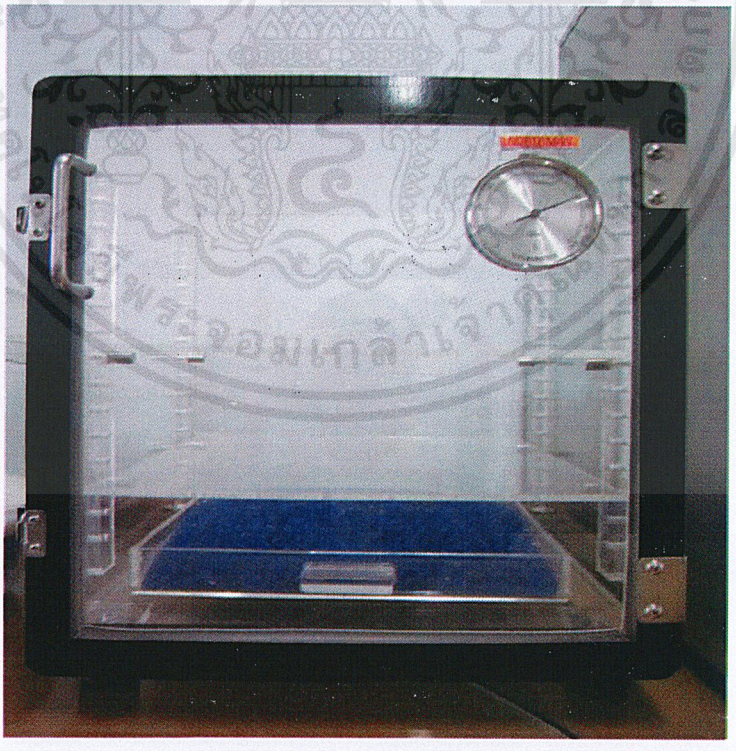


รูป ข. 10 เครื่องHammer mill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข. 11 ตู้อบลมร้อน



รูป ข. 12 ตู้ดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข. 13 เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT Plus

รูป ข. 14 เครื่องวัดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข. 15 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

รูป ข. 16 เครื่อง Hot Plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข.17 เครื่อง Centrifuge

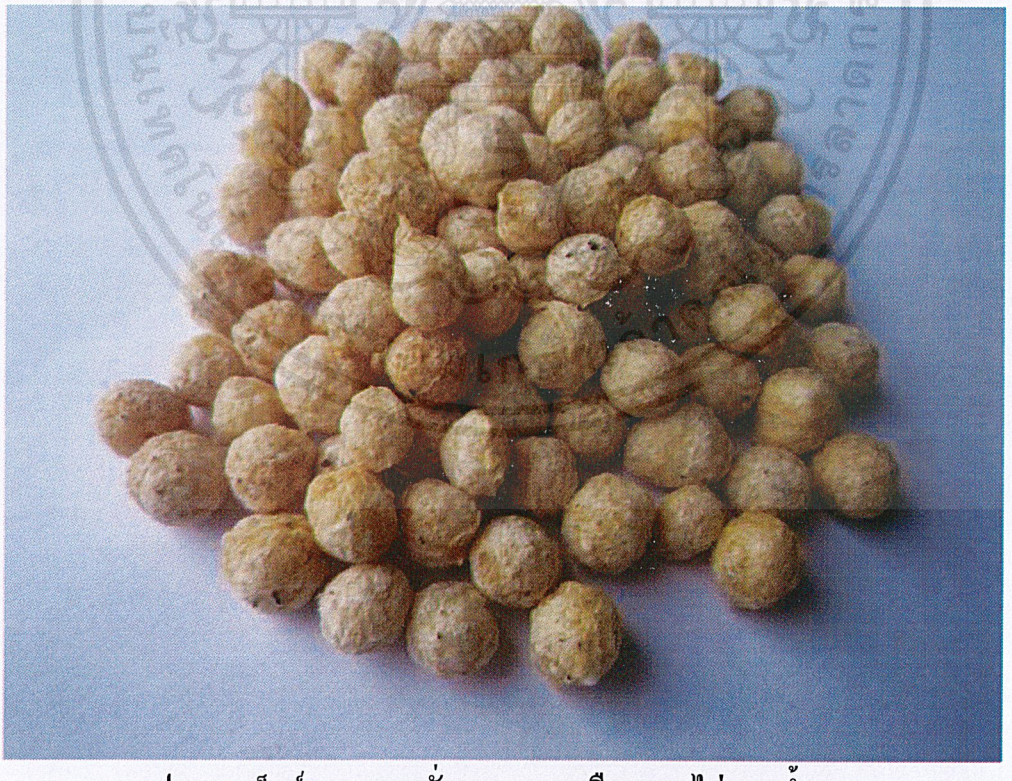
รูป ข.18 เวอร์เนีย คาลิเปอร์ แบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข.19 เอ็กซ์ทรูเดทที่ผลิตได้จากถั่ว 5 สี และลูกเดือย (a) ไม่ปรุงแต่ง (b) ปรุงแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข. 20 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเหลืองและลูกเดือย สูตรไม่ผสมน้ำตาล



รูป ข. 21 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วขาวและลูกเดือย สูตรไม่ผสมน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข. 22 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเขียวและลูกเดือย สูตรไม่ผสมน้ำตาล

รูป ข. 23 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วแดงและลูกเดือย สูตรไม่ผสมน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข. 24 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วดำและลูกเดือย สูตรไม่ผสมน้ำตาล

รูป ข. 25 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเหลืองและลูกเดือย สูตรผสมน้ำตาล

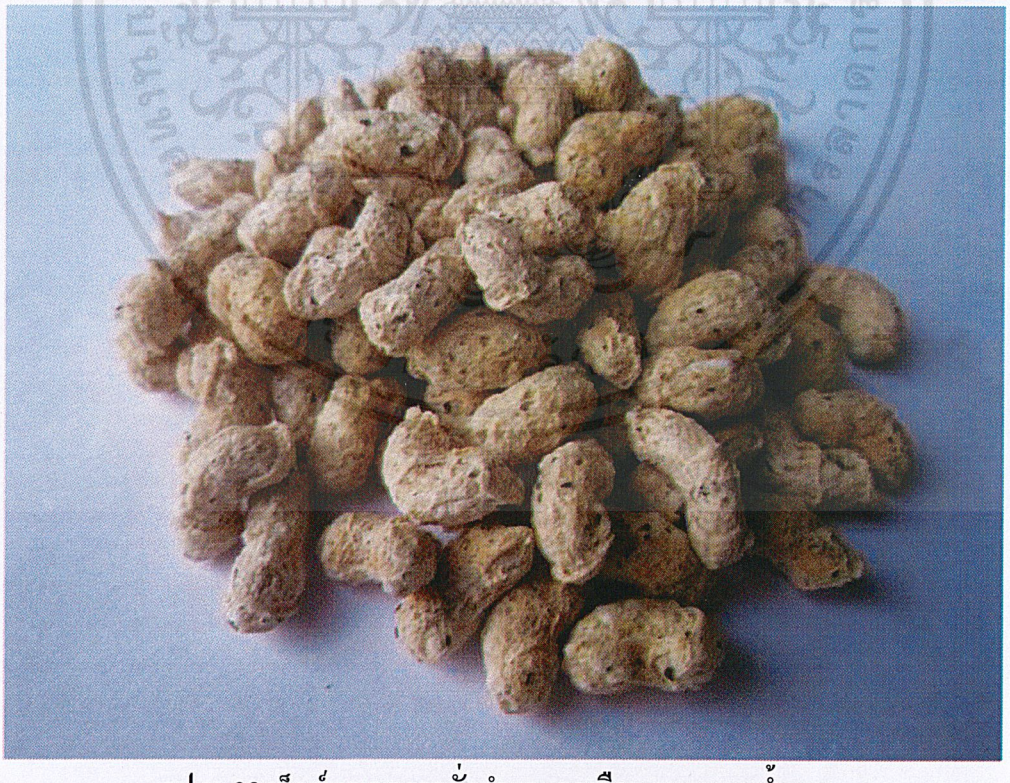
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข. 26 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วขาวและลูกเดือย สูตรผสมน้ำตาล

รูป ข. 27 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วเขียวและลูกเดือย สูตรผสมน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข. 28 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วแดงและลูกเดือย สูตรผสมน้ำตาล



รูป ข. 29 เอ็กซ์ทรูเดทจากถั่วดำและลูกเดือย สูตรผสมน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้