

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี

ศึกษาและเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถั่วพุ่มเมล็ดสีดำ ขาว แดง ลายขาวดำ และถั่วแดง หลวงโดยนำแป้งจากส่วนเนื้อเมล็ด ส่วนที่บดรวมทั้งเมล็ด และส่วนเปลือกถั่วพุ่มมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังต่อไปนี้

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) (AOAC, 2000)

โดยทำการอบ Moisture Can พร้อมฝาในตู้อบที่อุณหภูมิ 100-102 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำมาใส่ Desiccators ให้เย็นลง ชั่งงานและฝาโดยใช้เครื่องชั่งชนิดละเอียด นำตัวอย่างอาหาร ใส่ Moisture Can ประมาณ 3-5 กรัม แล้วปิดฝา นำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน ที่ประมาณ 102 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำ Moisture Can ที่อบจนน้ำหนักคงที่ไปใส่ใน Desiccators ให้เย็นลง จากนั้นชั่งน้ำหนักและนำไปคำนวณหาปริมาณ ความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Dry ashing) (AOAC, 2000)

เผาถั่ว Crucible เปล่าในเตา Muffle Furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำถั่ว Crucible ออกมาทำให้เย็นใน Desiccators ประมาณ 1 ชั่วโมง จนเย็นถึง อุณหภูมิห้อง ชั่งถั่ว Crucible ในหน่วยมิลลิกรัม จากนั้นชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 5 กรัมลงในถั่ว Crucible จากนั้นนำไปเผาให้ความร้อนบน Hot Plate จนตัวอย่างอาหารเปลี่ยนเป็นถ่านสีดำ จากนั้นนำไปเผาต่อในเครื่องเผาถั่ว ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะได้เถ้าที่เป็นสีขาว จากนั้นนำไปทำให้เย็นด้วย Desiccators และนำไปชั่งน้ำหนักบันทึกผล และคำนวณปริมาณเถ้าต่อไป

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้}}$$

ก.3 การวิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธีเจลดาลท์ (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์โดยใส่วัสดุควบคุมการเดือด 2 – 3 ชิ้น (เศษกระเบื้องเผา) ในหลอดเจลดาลท์ (Kjeldahl Flask) และเติม K_2SO_4 ลงไป 3.0 กรัม แล้วชั่งตัวอย่างถั่วพุ่มแต่ละประเภทที่บดและร่อนผ่าน ตะแกรงขนาด 70 mesh ให้ทราบน้ำหนักแน่นอน (0.3-0.4 กรัม) ใส่ในหลอดเจลดาลท์ จากนั้นจึงเติม สารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 6 มิลลิลิตร ลงในหลอด เขย่าเบาๆ เพื่อผสมให้เข้ากัน ติดตั้งหลอด เจลดาลท์ ลงในช่องของเครื่องย่อยโปรตีน ซึ่งมีเตาไฟฟ้าและฝาครอบหลอดดูดแก๊สพิษ เปิดน้ำเพื่อดูดแก๊สพิษ เปิด

ผาครอบแล้วเติม CuSO_4 ลงไป 0.13 กรัม ปิดผาครอบให้สนิท ตั้งหน้าปัดควบคุมความร้อนหมายเลข 3 (อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที ปรับหน้าปัดควบคุมความร้อนไปที่หมายเลข 7-8 (อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส) แล้วทำการย่อยต่ออีก 45 – 60 นาที จนได้สารละลายใส แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำหลอดเจลดาลที่หย่อยแล้ว ใส่ในช่องสำหรับกลั่นของเครื่องกลั่นอัตโนมัติ กดปุ่ม H_2O ให้น้ำไหลลงผสมกับสารที่ถูกล่อย ในปริมาณ 3 เท่าของ H_2SO_4 ที่ใช้ย่อย กดปุ่มสารละลาย NaOH เข้มข้น 35% (w/v) ให้ไหลลงผสมกับสารในหลอดเจลดาลในปริมาณต่าง 5 เท่าของ H_2SO_4 ที่ใช้ย่อย กดปุ่มควบคุมเวลาในตำแหน่งที่ 4 นาน 3 นาที ตวงสารละลาย H_3BO_3 อิ่มตัว ประมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม mix indicator ผสมลงไป 2- 4 หยด นำไปวางที่ตำแหน่งรับสิ่งที่กลั่นได้ เมื่อเครื่องพร้อมทำงานจะมีไฟเขียวสว่างที่ตำแหน่ง ready กดปุ่ม start distillation เมื่อเครื่องกลั่นเสร็จจะมีไฟแดงที่ตำแหน่ง aspirating สว่าง เครื่องดูดของเหลวทิ้ง นำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสิ่งที่กลั่นได้ ไปไตเตรทกับสารละลาย HCl เข้มข้น 0.2 โมล จนถึงจุดสมมูลแล้วบันทึกผล

$$\% \text{ Nitrogen} = \frac{(\text{มล. HCl} - \text{มล. Blank}) \times (\text{Normality ของ HCl} \times 14.007) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (mg)}}$$

$$\% \text{ Protein} = \% \text{ Nitrogen} \times \text{conversion factor (6.25)}$$

ก.4 การวิเคราะห์ไขมันด้วยวิธีชอกท์เลท (AOAC, 2000)

โดยนำตัวอย่างถั่วพุ่มแต่ละประเภทที่บดไว้แล้วมาทำให้แห้งโดยวิธีตู้อบ จากนั้นนำตัวอย่างที่อบแล้วมาใส่ใน Extraction Thimble เตรียมไว้จากนั้นนำปิ๊กเกอร์มาชั่งเพื่อทราบน้ำหนักที่แน่นอน และใส่ตัวทำละลายในปิ๊กเกอร์ (Petroleum Ether) ลงในปิ๊กเกอร์ 70 มิลลิลิตร ใส่ Thimble บรรจุตัวอย่างลงในหลอดชอกท์เลท ปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านเครื่องสกัดให้เหมาะสม กลั่นระบบ Reflux ด้วยระบบ Steam Bath เป็นเวลา 30 นาที และหลังจากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายเป็นเวลา 30 นาที โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นลงใน Desiccators แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน)

ก.5 การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยดิบ (AOAC, 2000)

โดยนำตัวอย่างถั่วพุ่มแต่ละประเภทที่บดแล้วมาทำให้แห้งโดยวิธีตู้อบ จากนั้นชั่งตัวอย่างมา 1 กรัม ใส่ในถ้วยกรอง (Crucible) ที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว จากนั้นนำถ้วยกรองใส่ชุดหาปริมาณเส้นใยดิบ จากนั้นเติมสารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 1.25% ที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนบนแผ่นให้ความร้อน (Hot Plate) แล้วเติมในชื่อย่อยจนถึงระดับ 150 มิลลิลิตร หยดสารป้องกันการเกิดฟอง (N-Octanol) ประมาณ 3 หยด หลังจากเดือดแล้ว ต้มต่อไปอีก 30 นาที เปิดลิ้นไปที่ Vacuum เพื่อระบายกรด H_2SO_4 ออก แล้วล้าง Crucible ด้วยน้ำกลั่นร้อน 30 มิลลิลิตร ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง เติมสารละลาย KOH เข้มข้น 1.25% ที่ร้อนจำนวน 150 มิลลิลิตร พร้อมกับหยด N-octanol ประมาณ 3 หยด ต้มให้เดือดประมาณ 30 นาที ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 4-5 ล้าง Crucible ด้วยน้ำกลั่นเย็นอีกครั้ง และอีก 3 ครั้งด้วย

Acetone จำนวน 25 มิลลิลิตร อบตัวอย่างในถ้วยกรองที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส หรือจนกว่าได้น้ำหนักคงที่ จะได้น้ำหนักของเส้นใยดิบ (Crude fiber) ที่รวมกับน้ำหนักของเถ้า เผาตัวอย่างในถ้วยกรองที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นลงใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ได้เป็นน้ำหนัก ถ้วยกรองที่ตัวอย่างซึ่งเป็นเถ้า

ก.6 วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดด้วยวิธี Ninhydrin ดัดแปลงจาก(AOAC, 2000)

นำตัวอย่างแบ่งแก้วฟุ่มแต่ละสีที่บดมา 0.05 กรัม จากนั้นเติม Petroleum Ether ปริมาณ 5 มิลลิลิตร กวนผสมด้วย Magnetic Stirrer เป็นเวลา 1 ชม. และนำตัวอย่างที่ได้มาปั่นเหวี่ยงที่ 11,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ดูดเอาส่วนใสทิ้งและเติม Petroleum Ether 5 มิลลิลิตร เพื่อสกัดไขมันทิ้งอีกครั้งและกวนผสมด้วย Magnetic Stirrer ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 11,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ดูดเอาส่วนใสทิ้งและเติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อทำการสกัดเอากรดอะมิโนออกมา และปั่นด้วย Magnetic Stirrer ประมาณ 30 นาที และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 11,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ดูดเอาส่วนใสเก็บไว้ จากนั้นนำสารละลายส่วนใสตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย Ninhydrin 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 16 นาที และนำไปทำให้เย็นในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้น Vortex แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 570 nm และนำค่าที่ได้ไปหาความเข้มข้นเทียบกับกราฟมาตรฐาน โดยใช้กรดอะมิโนลิซีนเป็นสารมาตรฐาน

ก.7 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ แป้งที่ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ และปริมาณแป้งรวมทั้งหมดของแป้งแก้วฟุ่ม

การวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ แป้งที่ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ และปริมาณแป้งรวมทั้งหมดของแป้งแก้วฟุ่ม ใช้วิธีการและชุดทดสอบของ Megazyme Resistant Starch Assay kit (Megazyme International Ireland Ltd, Bray, Ireland) (AACC Method) เริ่มจากชั่งตัวอย่างแก้วฟุ่มบดละเอียดมา 100 ± 5 มิลลิกรัม จากนั้นเติมน้ำละลาย Amyloglucosidase (AMG) 4 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในเครื่อง shaking incubator ด้วยอัตราเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นเติมน้ำละลาย 50% industrial methylated spirits (IMS) 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,500 g เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสเก็บไว้ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ นำส่วนที่เป็นตะกอนมาเติม 50% IMS 6 มิลลิลิตร และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,500 g เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสรวมไว้เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ และส่วนที่เป็นตะกอนเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

ก.8 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ของแป้งถั่วพุ่ม (Non-Resistant Starch)

นำส่วนใสที่เก็บไว้ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทั้งหมดมา ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วย Sodium Acetate Buffer (pH 4.5) ผสมให้เข้ากัน จากนั้นดูดสารละลายที่ได้มา 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย AMG 10 ไมโครลิตร และบ่มที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Glucose Oxidase Plus Peroxidase (GOPOD) 3 มิลลิลิตรและบ่มที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และนำไปคำนวณหาร้อยละของแป้งถั่วพุ่มที่สามารถย่อยได้

ก.9 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Resistant Starch)

นำส่วนตะกอนที่เก็บไว้ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างมาเติม 2 M KOH 2 มิลลิลิตร จากนั้นผสมให้เข้ากันในอ่างน้ำแข็งเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติม 1.2 M Sodium Acetate Buffer (pH 3.8) 8 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย AMG 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มใน Water Bath ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,500 g เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นส่วนใสมา 0.1 มิลลิลิตร และเติม GOPOD reagent 3 มิลลิลิตร จากนั้นผสมให้เข้ากัน และบ่มที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที เตรียม Blank โดยผสม 100 mM Sodium Acetate Buffer pH 4.5 0.1 มิลลิลิตร กับ GOPOD 3 มิลลิลิตร และเติมสารละลายกลูโคสมาตรฐาน 0.1 มิลลิลิตร บ่มที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง 510 นาโนเมตร เทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของ Blank และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของแป้งที่ทนต่อการย่อยของตัวอย่างถั่วพุ่ม

ก.10 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมดของตัวอย่างเมล็ดถั่วพุ่มแต่ละสี สามารถคำนวณได้จากผลรวมของปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ และปริมาณแป้งที่ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์} = \Delta E \times F/W \times 9.27$$

(g/100g sample) (samples containing < 10% RS)

$$\text{ปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์} = DE \times F/W \times 90$$

(Solubilised Starch (g/100g sample))

ปริมาณแป้งทั้งหมด = ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ + ปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์

โดยที่ ΔE = ผลต่างระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกับ blank
 F = conversion from absorbance to micrograms (the absorbance obtained for 100 μg of glucose in the GOPOD reaction is determined and $F = 100$ (μg of glucose) divided by the GOPOD absorbance for this 100 μg of glucose.
 $100/0.1$ = volume correction (0.1 mL taken from 100 mL).
 $1/1000$ = conversion from micrograms to milligrams.
 W = น้ำหนักตัวอย่างแห้ง $\times$ (100-ความชื้นของตัวอย่าง)/100

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่

ข.1 การวิเคราะห์ความขุ่น (Turbidity) (Perera and Hoover, 1999)

โดยนำแป้งถั่วพุ่มละลายให้เป็นสารแขวนลอย 1% จากนั้นนำไปให้ความร้อนใน Water Bath ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนกลายเป็นของเหลวหนืด จากนั้นนำไปทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลา 5 วัน ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดค่าความขุ่นโดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร ทุกๆ 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ใช้น้ำกลั่นเป็น blank

ข.2 ความสามารถในการพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility) (Unnikrishnan and Bhattacharya, 1981)

ชั่งตัวอย่างมา 5 กรัม และนำไปต้มในน้ำเดือด (90 องศาเซลเซียส) จำนวน 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที แล้วปรับให้มีน้ำหนัก 25 กรัมโดยการเติมน้ำ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนใสเก็บไว้ สำหรับส่วนที่เป็นตะกอนไว้แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักของการพองตัว จากนั้น ปิเปตในส่วนที่เป็นของเหลวใสมา 10 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ในภาชนะ ที่ทราบน้ำหนัก และนำไปประเหยใน Water Bath ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทำให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปคำนวณหาความสามารถในการพองตัวและการละลาย จากสูตรดังนี้

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

ข.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการจับกับน้ำ [Yamazaki, (1953) ดัดแปลงจาก Medcalf and Gilles (1965)]

ชั่งตัวอย่างแป้งถั่วพุ่ม ตัวอย่างละ 2.5 กรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่น 37.5 มิลลิลิตร และเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นน้ำออกจากส่วนที่เป็นแป้งเปียกทิ้งไว้อีก 10 นาที จึงชั่งน้ำหนักส่วนที่เป็นแป้งเปียก

$$\% \text{ ในการจับกับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนเป็นแป้งเปียก} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

ข.4 ความเหนียวของเจล (Gel strength) โดยใช้เครื่อง Texture analyzer Model TA-XT2

นำตัวอย่างของแป้งทำเป็นสารละลายความเข้มข้น 18% (w/v) และ โดยให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใน Water Bath จากนั้นทำให้เย็นในอ่างน้ำแข็ง เป็นเวลา 15 นาที และเก็บไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาวิเคราะห์ความเหนียวของเจล (Gel strength) โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รายงานผลหน่วยเป็น N/cm^2 โดยใช้หัว Cylinder Probe (P/35) สภาวะและ Parameter ดังต่อไปนี้

TA-XT2 Settings: Mode: Measure Force in Compression

Pre-Test Speed: 0.2 cm/s

Test Speed: 10.0 mm/s

Post-Test Speed: 0.2 cm/s Distance: 2 cm.

Trigger Type : Auto-5g

Data Acquisition Rate: 200 pps

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์

ค.1 คุณสมบัติความหนืด (Pasting properties)

นำตัวอย่างมาให้ความร้อนในเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA model 3D, Newport Scientific, Sydney, Australia) เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 – 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.3 นาที และจับเวลาต่อไปอีก 5 นาที และนำมาทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในเวลา 7.3 นาที จากนั้นเร่งปั่นที่ 160 รอบ เป็นเวลา 10 วินาทีแรกและเร่งเป็น 960 รอบ คุณสมบัติความหนืดรายงานค่าดังนี้ อุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัว (Pasting Temperature) ความหนืด (RVU) เมื่อเม็ดแป้งพองตัวสูงสุด (Peak Viscosity) ความหนืด (RVU) เมื่อแป้งเย็นตัว (Final Viscosity) ความหนืด (RVU) เมื่อแป้งยุบตัว (breakdown) ความหนืด (RVU) เมื่อแป้งคืนตัว (Setback) และความหนืด (RVU) เมื่อแป้งคงตัว (Trough)

ค.2 คุณสมบัติทางความร้อน Enthalpy ของแป้ง (Kim,1995)

นำแป้งที่ทราบความชื้นที่แน่นอน มาทำให้เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 30% (w/w โดยน้ำหนักแห้ง) ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นดูดสารละลายแป้งโดยคำนวณให้มีปริมาณแป้งเป็น 3.5-4.0 มิลลิกรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่ในภาชนะ Pan ของเครื่อง DSC บ่มไว้นานเกิน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำ Pan ใส่ในช่อง Sample ของเครื่อง DSC และวาง Reference Pan โดยใช้ Profile อุณหภูมิ 25-90 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 10 องศาเซลเซียส / นาที โดยใช้ indium ในการ Calibrate จากนั้นบันทึกค่าที่อ่านได้จากเทอร์โมแกรม ดังนี้ คืออุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลิ่งในเซชันของแป้ง (Onset Temperature) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลิ่งในเซชัน (Peak Temperature) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิ่งในเซชันของแป้ง (Enthalpy)

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

ง.1 การวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay (Randhir, Lin and Shetty, 2004)

ชั่งตัวอย่างเปลือกถั่วพุ่มแต่ละสีมา 0.5 กรัม จากนั้นเติม 95% ethanol 2.5 มิลลิลิตร ทำการสกัดโดยการปั่นโดยใช้ Magnetic Stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 13,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4 จากนั้นนำสารละลายที่ได้มา 1 มิลลิลิตร และเติม 95% ethanol 1 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสาร Folin-Ciocalteu Reagent 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 5 นาทีแล้วเติม 5% Na_2CO_3 1 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 nm โดยใช้สารกรดแกลลิก (Gallic Acid) เป็นสารมาตรฐาน

ง.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยวิธี Aluminium chloride colorimetric assay (Atangssova et al., 2011)

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในเปลือกถั่วพุ่ม โดยการชั่งตัวอย่างเปลือกถั่วพุ่มแต่ละสีมา 0.5 กรัม จากนั้นเติม 50% methanol 4 มิลลิลิตร ทำการสกัดโดยการปั่นโดยใช้ Magnetic Stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 13,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4 จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาปรับปริมาตรด้วย Volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร ด้วย 50% methanol จากนั้นดูดสารละลายที่ได้มา 1 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 10 มิลลิลิตร ที่เติมน้ำกลั่นไว้แล้ว 4 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 5% NaNO_2 0.3 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วเติม 10% AlCl_3 0.3 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 6 นาที แล้วเติม 1M NaOH 2 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm โดยใช้สารคาเทชิน (Catechin) เป็นสารมาตรฐาน

ง.3 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยวิธี pH-differential method (AOAC, 2000) และดัดแปลงจาก (Abu Bakar et al., 2009)

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในเปลือกถั่วพุ่ม โดยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยการชั่งตัวอย่างเปลือกถั่วพุ่มที่บดแล้วมา 2 กรัม จากนั้นเติม 50% MeOH 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1,4 เก็บในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ 2 ชนิด คือ Potassium Chloride Buffer, pH 1.0 (0.0025M) และ Sodium Acetate Buffer, pH 4.5 (0.4M) จากนั้นนำตัวอย่างที่สกัดไว้แล้วมา 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์ แต่ละตัว 2.8 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 และ 700 nm โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank ควรวัดค่าทั้งหมดภายในเวลา 20-50 นาที จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เทียบกับ สาร Cyaniding-3 glycoside (mg l^{-1}) จากสมการดังนี้

$$\Delta A \times MW \times Df \times 1000 / (Ma \times 1)$$

โดยที่ ΔA : คือ (ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นสูงสุดของตัวอย่างที่ใส่สารละลาย บัฟเฟอร์ pH 1.0 – ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นที่ 700 นาโนเมตร ของตัวอย่างที่ใส่สารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0) – (ค่าการดูดกลืนที่ ความยาวคลื่นสูงสุดของตัวอย่างที่ใส่สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5 – ค่าการดูดกลืนที่ ความยาวคลื่นที่ 700 นาโนเมตร ของตัวอย่างที่ใส่ สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5)

MW : คือ น้ำหนักโมเลกุลของ cyaniding-3-glucoside (449.2)

Df : คือ Dilution factor (ถ้าใช้ตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยสารละลาย บัฟเฟอร์จนมีปริมาตร เป็น 3 มิลลิลิตร ใช้ค่า DF เท่ากับ 15)

Ma : คือ molar absorptivity of cyaniding-3-glucoside (26.900)
รายงานผลหน่วยเป็น มิลลิกรัม/100 กรัม อบแห้ง เทียบกับ
Cyaniding-3-glucoside

ง.4 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแอนโธไซยานิน ด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

เตรียมสารสกัดจากตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่างเปลือกกล้วยที่บดผ่านตะแกรงร่อน 100 mesh แต่ละสีมา 0.5 กรัม เติมน้ำกลั่นความเข้มข้น 40% (1% HCl) 15 มิลลิลิตร เก็บในที่มืด เป็นเวลา 2 วัน อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นกรองผ่าน filter 0.45 μ m. เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอไปวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานิน ด้วยเครื่อง HPLC ใช้สภาวะในการวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิคอลัมน์ 40 องศาเซลเซียส คอลัมน์ชนิด C18 intersill 250 x 4.6 mm ด้วย guard column C18 ตัวตรวจวัดแบบ Diode Array Detector (DAD) วัดที่ความยาวคลื่น 520 nm เฟสเคลื่อนที่สำหรับวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานิน คือ สารละลาย A = Acetonitrile และสารละลาย B = 4% Phosphoric acid ด้วยอัตราการไหลคงที่ที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรฉีดเท่ากับ 20 μ l เทียบกับสารมาตรฐานแอนโธไซยานิน 4 ชนิด ได้แก่ Delphinidin chloride, Cyanidin chloride, Pelargonidin chloride และ Malvidin chloride

ภาคผนวก จ
การผลิตคุกกี้จากแป้งวุ้นฟูม

จ.1 ศึกษาการนำแป้งถั่วพุ่มดำบดรวมทั้งเมล็ดที่มีศักยภาพสูงสุดไปผลิตเป็นคุกกี้

โดยเลือกชนิดของถั่วพุ่มจากข้อมูลพื้นฐาน ด้านองค์ประกอบทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คุกกี้ และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของคุกกี้สูตรต่างๆ ที่ได้จากแป้งถั่วพุ่มดำกับคุกกี้ที่ได้จากแป้งสาลี ในการทดลองมีระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยถั่วพุ่ม ที่แตกต่างกัน 5 ระดับเป็นปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ 0, 10, 20, 30 และ 40% ซึ่งส่วนผสมต่างๆที่ใช้ในการผลิตคุกกี้ ดังแสดงในตาราง จ.1ดังนี้

ตาราง จ.1 สูตรและส่วนผสมในการทำคุกกี้ที่ผ่านการดัดแปลงแล้ว

ส่วนผสม	สูตรควบคุม	สูตรที่1	สูตรที่2	สูตรที่3	สูตรที่4
แป้งถั่วพุ่มดำ (กรัม)	0	22.5	45	67.5	90
แป้งสาลี (กรัม)	225	202.5	180	157.5	135
น้ำตาลทราย (กรัม)	130	130	130	130	130
ผงฟู (กรัม)	5	5	5	5	5
เกลือ (กรัม)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
มาการีน (กรัม)	96	96	96	96	96
น้ำสะอาด (กรัม)	130	130	130	130	130
นม (มล.)	20	20	20	20	20
ไข่ (กรัม)	28	28	28	28	28

ดัดแปลงจาก AACC method 10-50D (AACC, 2000).

*หมายเหตุ สูตรควบคุม (0:100) สูตรที่ 1 (10:90) สูตรที่ 2 (20:80)

สูตรที่ 3 (30:70) สูตรที่ 4 (40:60) อัตราส่วนแป้งถั่วพุ่ม:แป้งสาลี

จ.2 ขั้นตอนการเตรียมคุกกี้ ดัดแปลงจาก (AACC,2000)

โดยเริ่มจากการชั่งส่วนผสมต่างๆในปริมาณตามแต่ละสูตร จากนั้นนำส่วนผสม ได้แก่ แป้งถั่วพุ่มดำที่บดรวมทั้งเมล็ด แป้งสาลี เกลือ ผงฟู และน้ำตาลทรายมาร่อนด้วยตระแกรงร่อนแป้ง เพื่อไม่ให้จับตัวกันเป็นก้อน จากนั้นนำแป้งถั่วพุ่มดำที่ชั่งน้ำหนักและร่อนไว้แล้วมาทำให้สุกก่อน โดยเติมน้ำและให้ความร้อนประมาณ 80- 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และพักไว้ มาการีนมาผสมกับน้ำตาลทราย โดยใช้เครื่องผสมจากนั้นนำส่วนผสมที่ร่อนไว้เติมลงไป และเติมแป้งถั่วพุ่มดำที่ทำให้สุกก่อนตามลงไป ผสมส่วนที่เป็นของเหลว ได้แก่ ไข่ และนมเป็นลำดับสุดท้าย จากนั้นผสมให้เข้ากันนำส่วนผสมที่เตรียมได้มาหยอด ใส่ถาดและนำไปอบที่อุณหภูมิ 205 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-20 นาที จากนั้นนำออกจากตู้อบ รอให้เย็นแล้วเก็บคุกกี้ใส่ขวดปากกว้างปิดฝาให้สนิทเพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส และรอทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ

ภาคผนวก ฉ
การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของคุณก็

ฉ.1 ความแข็งของคุกกี้ (Hardness) โดยใช้เครื่อง Texture analyzer Model TA-XT2

นำตัวอย่างตัวอย่างคุกกี้สูตรพื้นฐาน และสูตรที่ดีที่สุดมาทำการทดสอบโดยใช้ sharp-blade cutting probe สภาวะ และ Parameter ดังต่อไปนี้

TA-XT2 Settings: Mode: measure stress in compression''

Pre-Test Speed: 1 mm/s

Test Speed: 10.0 mm/s

Post-Test Speed: 1 mm/s Distance: 3 mm

Trigger Type : Auto-5g

Data Acquisition Rate: 200 pps

ฉ.2. สีของคุกกี้

การวัดสีของคุกกี้โดยใช้เครื่องวัดสี Chroma meter (Minolta CR-300)

ภาคผนวก ข
แบบสอบถาม

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธี 9 – point hedonic scale

การทดสอบความชอบโดยวิธีการให้คะแนน

ชื่อผู้ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์.....วันที่.....

คำแนะนำ มีผลิตภัณฑ์อยู่ 5 ตัวอย่างที่ทำการให้รหัสแล้ว กรุณาชิมตัวอย่างต่อไปนี้อย่างระมัดระวัง จากซ้ายไปขวาแล้วใส่คะแนนลงในช่องว่างให้ตรงกับระดับความชอบของท่าน และกรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่างทุกครั้งก่อนชิมตัวอย่างถัดไป การให้คะแนนถือหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก
9 = ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง					
ลักษณะปรากฏ					
สี					
กลิ่นโดยรวม					
รสชาติ					
ความกรอบ					
ความร่วน					
ความหยาบในปาก					
ความชอบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะ

.....

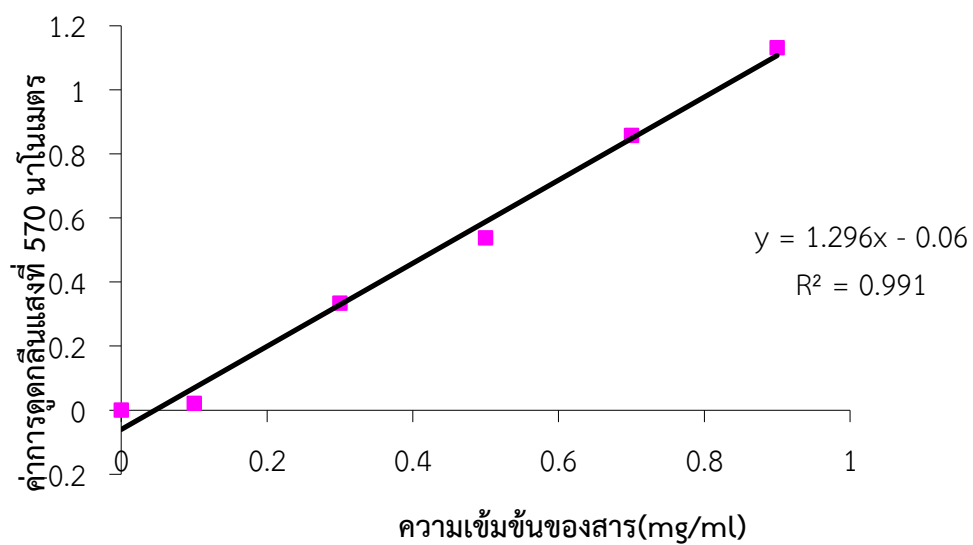
.....

.....

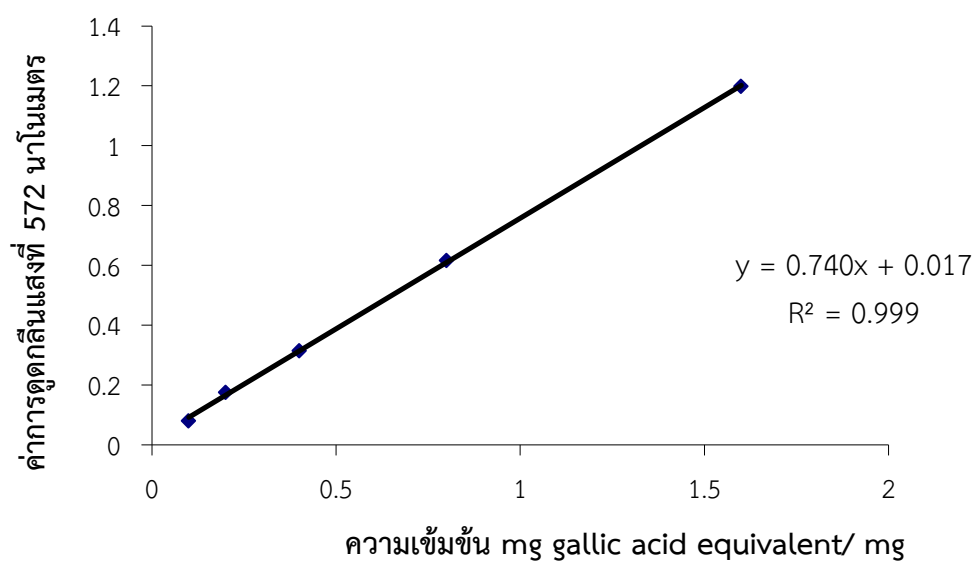
.....

.....

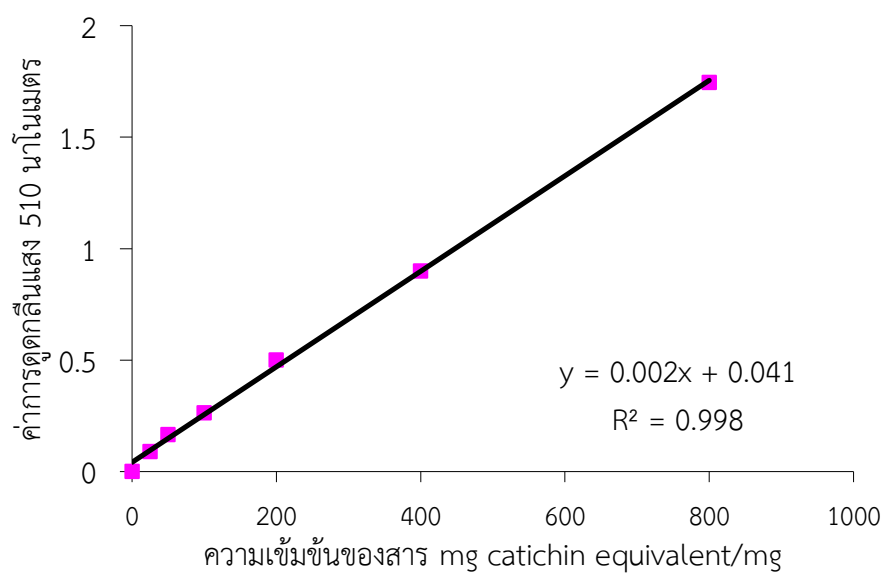
ภาคผนวก ซ
กราฟมาตรฐาน



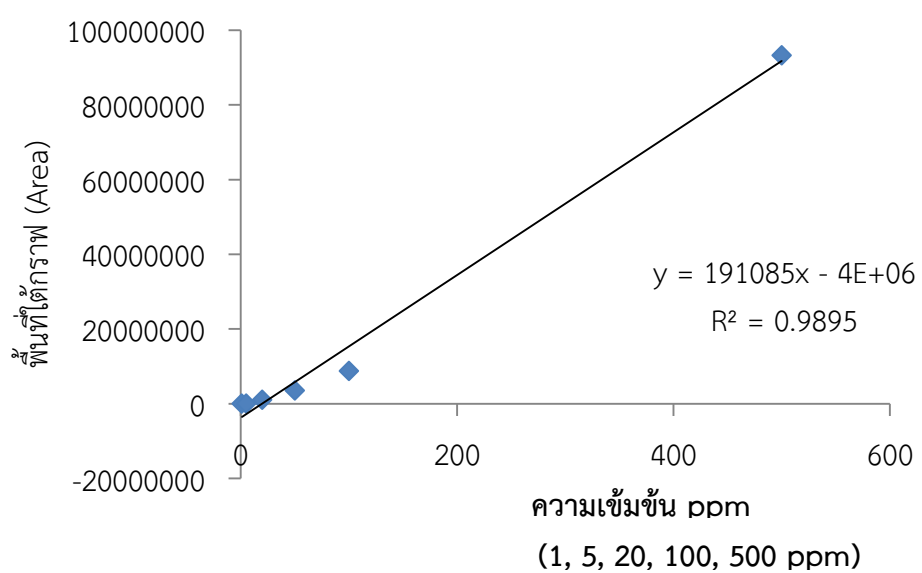
ภาพประกอบ ช.1 กราฟมาตรฐานของกรดอะมิโนทั้งหมด



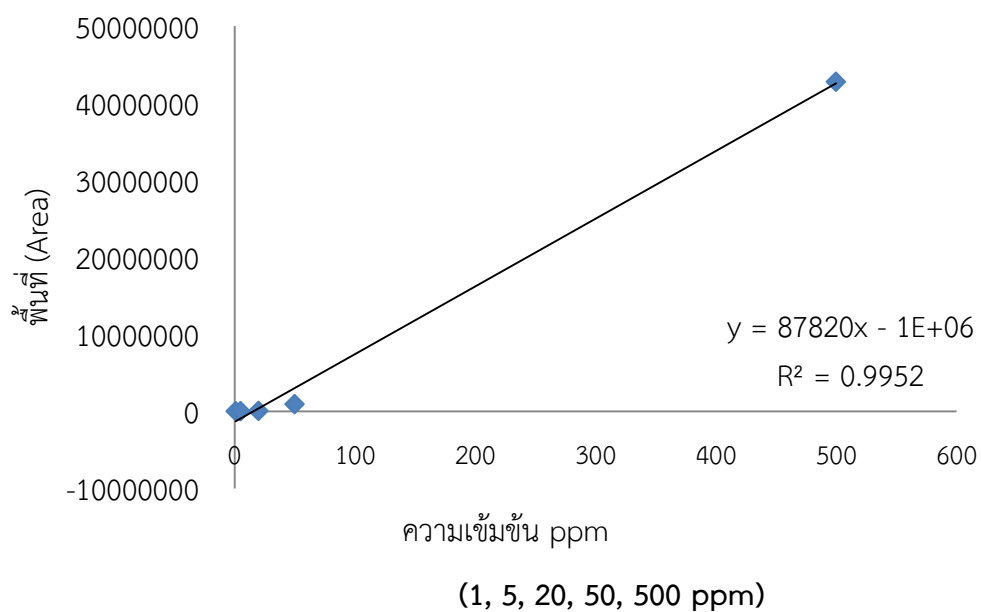
ภาพประกอบ ช.2 กราฟมาตรฐานสารประกอบฟีนอลิกส์



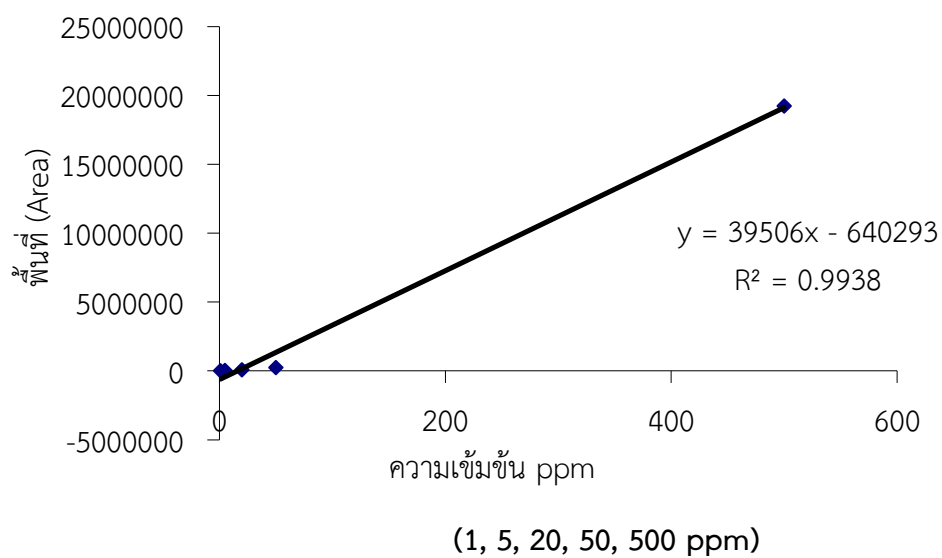
ภาพประกอบ ช.3 กราฟมาตรฐานสารประกอบฟลาโวนอยด์



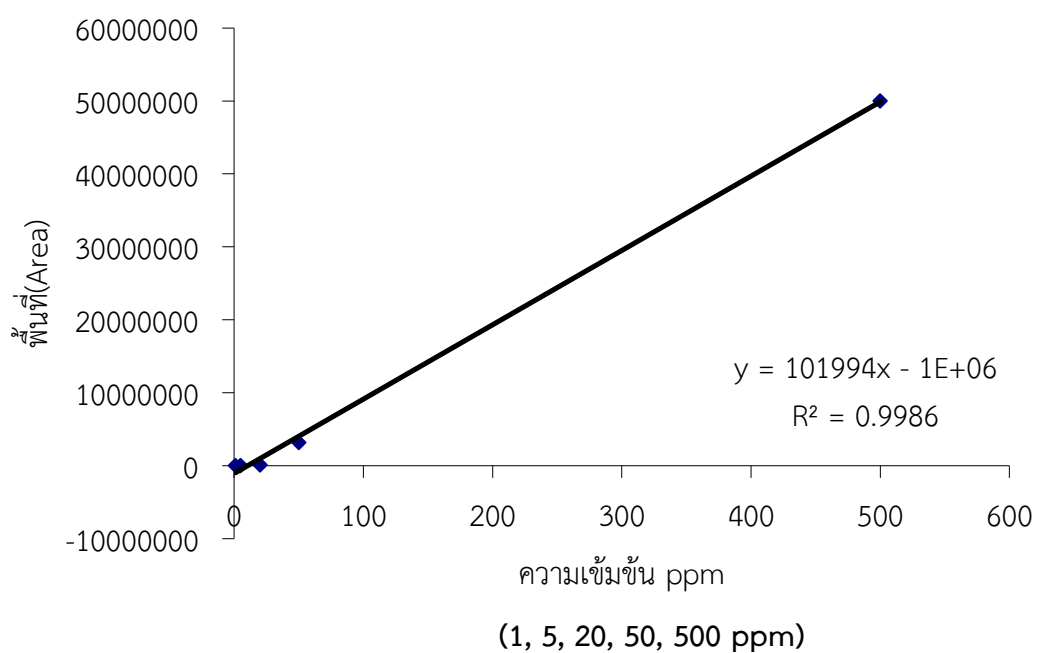
ภาพประกอบ ช.4 กราฟมาตรฐานแอนโทไซยานิน (Delphinidin chloride)



ภาพประกอบ ช.5 กราฟมาตรฐานแอนโทไซยานิน (Cyanidin chloride)



ภาพประกอบ ช.6 กราฟมาตรฐานแอนโทไซยานิน (Malvidin chloride)



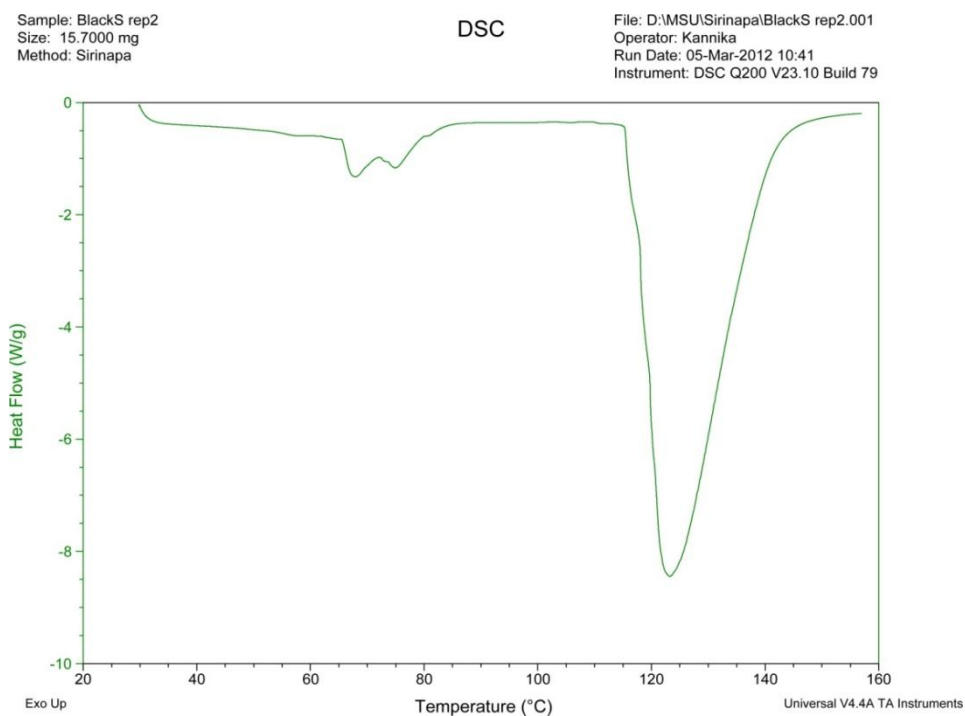
ภาพประกอบ ซ.7 กราฟมาตรฐานแอนโทไซยานิน (Pelargonidin chloride)

สารมาตรฐานแอนโทไซยานิน

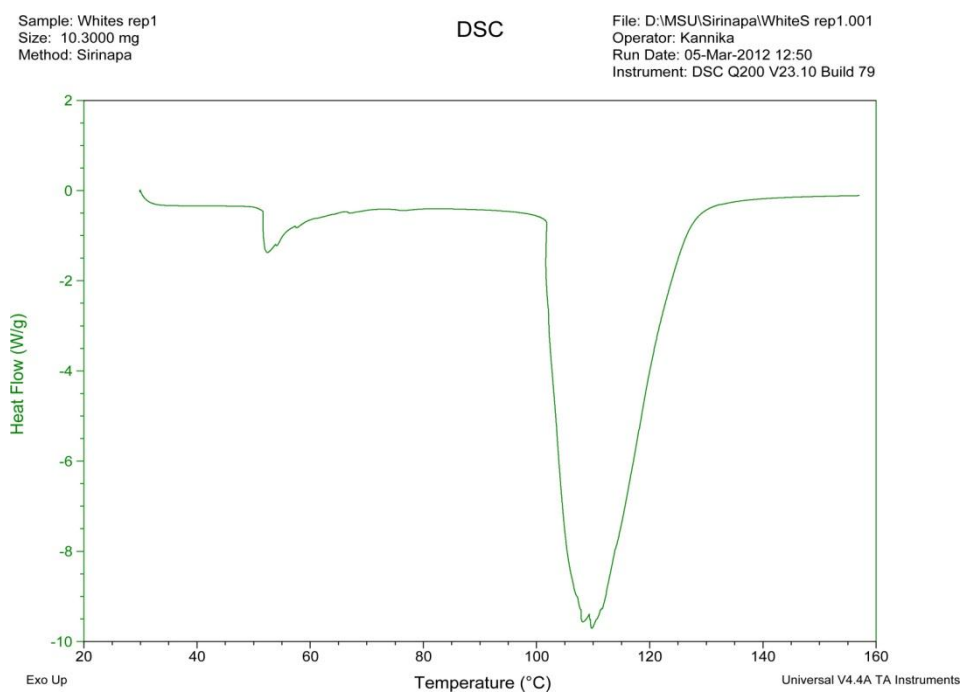
ลำดับ	สารมาตรฐาน	RT(min)	Calibration curve	R^2
1	Delphinidin chloride	34.065	$y = 191085x - 4000006$	0.9895
2	Cyanidin chloride	40.241	$y = 87820x - 1000006$	0.9952
3	Pelargonidin chloride	46.453	$y = 101994x - 1000006$	0.9986
4	Malvidin chloride	50.463	$y = 39506x - 640293$	0.9938

µg/ml

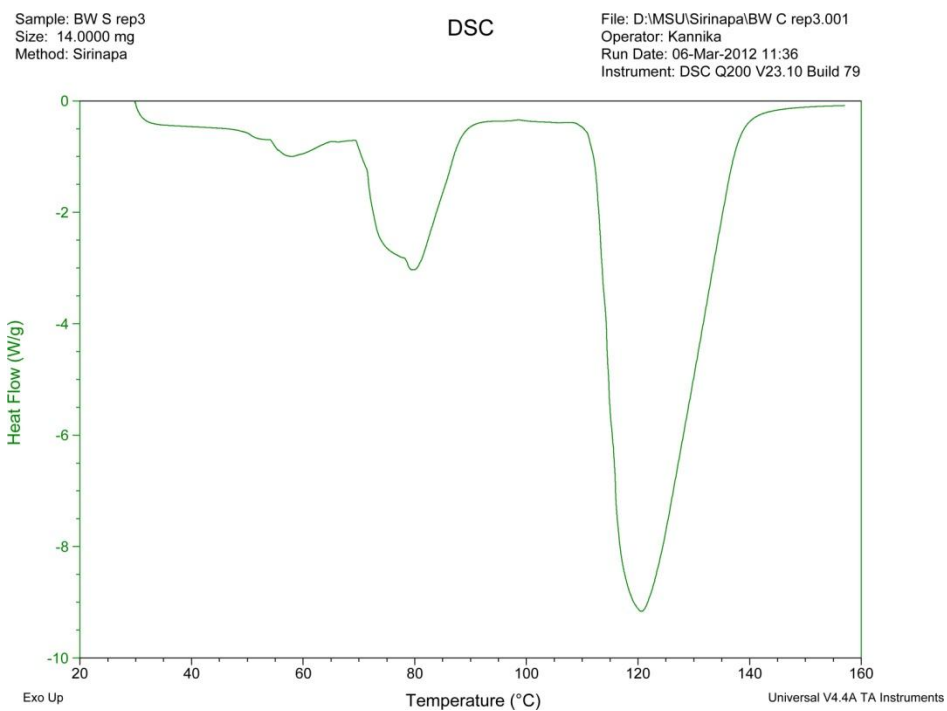
ภาคผนวก ณ
เทอร์โมแกรมของคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวฟ่าง



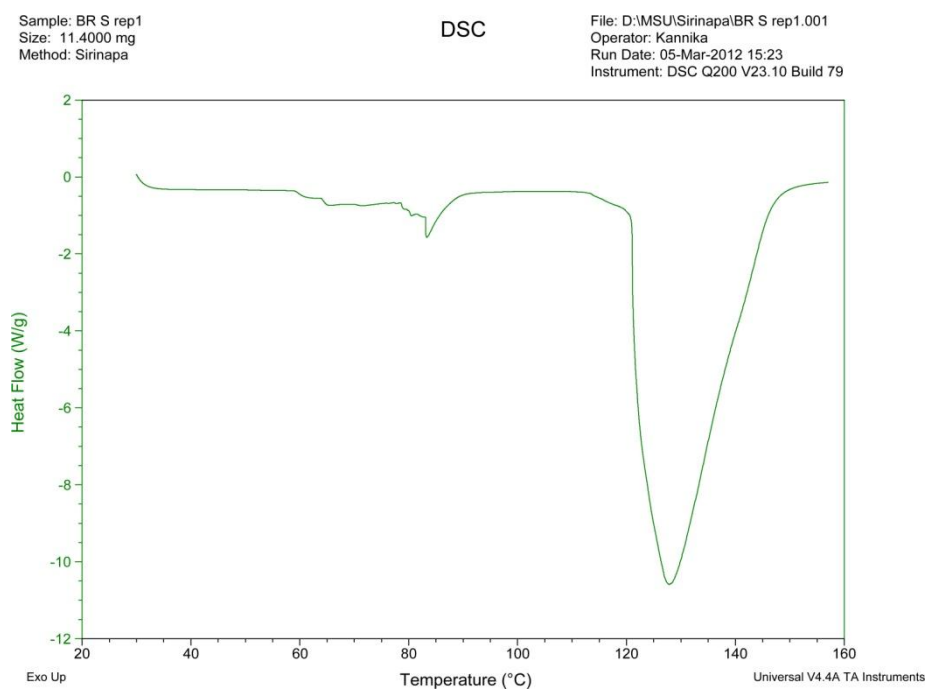
ภาพประกอบ ณ.1 เทอร์โมแกรมของแป้งถั่วพุ่มสีดำ



ภาพประกอบ ณ.2 เทอร์โมแกรมของแป้งถั่วพุ่มสีขาว



ภาพประกอบ ฅ.3 เทอร์โมแกรมของแป้งถั่วพุ่มลายขาวดำ

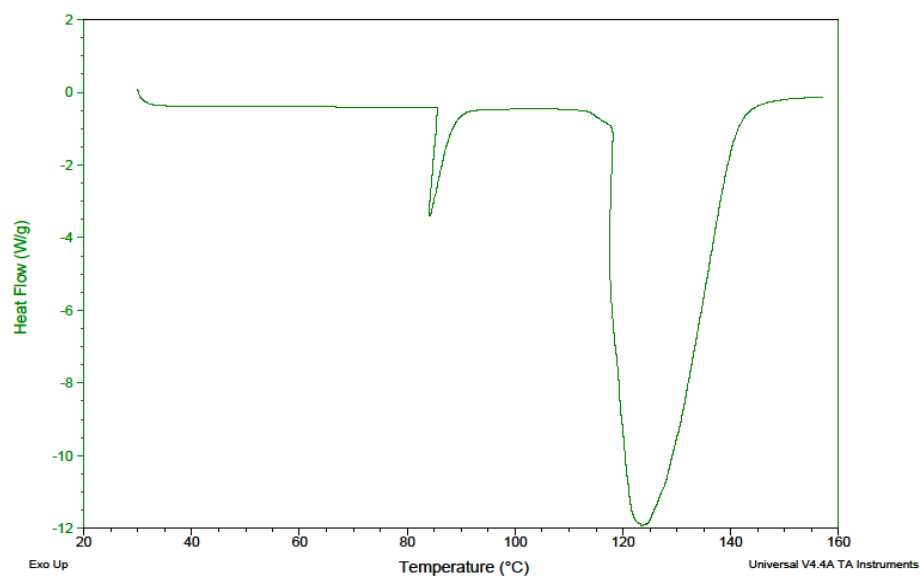


ภาพประกอบ ฅ.4 เทอร์โมแกรมของแป้งถั่วพุ่มสีแดง

Sample: KD SC rep4
Size: 11.1000 mg
Method: Sirinapa

DSC

File: D:\MSU\Sirinapa\KD SC rep4.001
Operator: Kannika
Run Date: 06-Mar-2012 14:13
Instrument: DSC Q200 V23.10 Build 79



ภาพประกอบ ณ.5 เทอร์โมแกรมของแป้งถั่วแดงหลวง

ภาคผนวก ญ
การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตาราง ญ. 1 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วพุ่ม (เนื้อเมล็ด)

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1.ปริมาณความชื้น					
ชนิดของถั่ว	20.047	4	5.012	1.322	0.327
ความคลาดเคลื่อน	37.910	10	3.791		
2.ปริมาณเถ้า					
ชนิดของถั่ว	1.849	4	0.462	1.882	0.190
ความคลาดเคลื่อน	2.457	10	0.246		
3.ปริมาณโปรตีน					
ชนิดของถั่ว	75.030	4	18.758	2.127	0.015*
ความคลาดเคลื่อน	88.176	10	8.818		
4.ปริมาณไขมัน					
ชนิดของถั่ว	3.466	4	0.866	18.402	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.471	10	0.047		
5.ปริมาณเส้นใยอาหาร					
ชนิดของถั่ว	10.708	4	2.677	62.421	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.429	10	.043		
6.ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์					
ชนิดของถั่ว	84.699	4	21.175	133.462	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	1.587	10	.159		
7.ปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์					
ชนิดของถั่ว	2528.950	4	632.237	34.002	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	185.940	10	18.594		
8.ปริมาณแป้งทั้งหมด					
ชนิดของถั่ว	2018.803	4	504.701	33.312	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	151.508	10	15.151		
9. ปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด					
ชนิดของถั่ว	10.766	4	2.691	3.645	0.044*
ความคลาดเคลื่อน	7.384	10	.738		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง ญ. 2 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วพุ่ม (บดรวมทั้งเมล็ด)

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1.ปริมาณความชื้น					
ชนิดของถั่ว	43.837	4	10.959	2.567	0.103
ความคลาดเคลื่อน	42.693	10	4.269		
2.ปริมาณเถ้า					
ชนิดของถั่ว	1.849	4	.462	1.882	0.019*
ความคลาดเคลื่อน	2.457	10	.246		
3.ปริมาณโปรตีน					
ชนิดของถั่ว	130.148	4	32.537	3.429	0.05*
ความคลาดเคลื่อน	94.897	10	9.490		
4.ปริมาณไขมัน					
ชนิดของถั่ว	3.617	4	.904	28.175	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.321	10	.032		
5.ปริมาณเส้นใยอาหาร					
ชนิดของถั่ว	7.626	4	1.907	18.092	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	1.054	10	.105		
6.ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์					
ชนิดของถั่ว	62.686	4	15.671	161.640	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.970	10	.097		
7.ปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์					
ชนิดของถั่ว	1228.783	4	307.196	46.223	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	66.460	10	6.646		
8.ปริมาณแป้งทั้งหมด					
ชนิดของถั่ว	913.763	4	228.441	32.076	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	71.219	10	7.122		
9. ปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด					
ชนิดของถั่ว	17.852	4	4.463	14.985	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	2.978	10	.298		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง ญ. 3 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของถั่วพุ่ม (เนื้อเมล็ด)

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1.กำลังการพองตัว					
ชนิดของถั่ว	15.604	4	3.901	15.051	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	2.592	10	.259		
2.ร้อยละของการละลาย					
ชนิดของถั่ว	78.268	4	19.567	2.770	0.047*
ความคลาดเคลื่อน	70.651	10	7.065		
3.ความแข็งของเจลจากแป้งถั่ว					
ชนิดของถั่ว	12.783	4	3.196	79.727	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.401	10	.040		
4.ความสามารถในการจับกับน้ำ					
ชนิดของถั่ว	419.023	4	104.756	8.060	0.004*
ความคลาดเคลื่อน	129.964	10	12.996		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตาราง ญ. 4 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของถั่วพุ่ม (บดรวมทั้งเมล็ด)

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1.กำลังการพองตัว					
ชนิดของถั่ว	18.152	4	4.538	55.845	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.813	10	.081		
2.ร้อยละของการละลาย					
ชนิดของถั่ว	111.047	4	27.762	9.372	0.002*
ความคลาดเคลื่อน	29.622	10	2.962		
3.ความเหนียวของเจลจากแป้งถั่ว					
ชนิดของถั่ว	82.506	4	20.627	38.324	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	5.382	10	.538		
4.ความสามารถในการจับกับน้ำ					
ชนิดของถั่ว	173.388	4	43.347	1.253	0.350
ความคลาดเคลื่อน	345.951	10	34.595		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตาราง ญ. 5 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของถั่วพุ่ม (ความชุ่มของสารละลายแป้ง) ในส่วนเนื้อเมล็ด

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ชั่วโมงที่ 0					
ชนิดของถั่ว	.175	4	.044	23.792	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.018	10	.002		
2. ชั่วโมงที่ 24					
ชนิดของถั่ว	.277	4	.069	6.008	0.010*
ความคลาดเคลื่อน	.115	10	.012		
3. ชั่วโมงที่ 48					
ชนิดของถั่ว	.308	4	.077	3.787	0.040*
ความคลาดเคลื่อน	.204	10	.020		
4. ชั่วโมงที่ 72					
ชนิดของถั่ว	.420	4	.105	5.581	0.013*
ความคลาดเคลื่อน	.188	10	.019		
5. ชั่วโมงที่ 98					
ชนิดของถั่ว	.533	4	.133	42.650	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.031	10	.003		
6. ชั่วโมงที่ 120					
ชนิดของถั่ว	.491	4	.123	5.191	0.016*
ความคลาดเคลื่อน	.236	10	.024		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง ญ. 6 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของถั่วพุ่ม (ความชุ่มของสารละลายแป้ง) ในส่วนบดรวมทั้งเมล็ด

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ชั่วโมงที่ 0					
ชนิดของถั่ว	.150	4	.037	9.136	0.002*
ความคลาดเคลื่อน	.041	10	.004		
2. ชั่วโมงที่ 24					
ชนิดของถั่ว	.122	4	.031	4.511	0.024*
ความคลาดเคลื่อน	.068	10	.007		
3. ชั่วโมงที่ 48					
ชนิดของถั่ว	.222	4	.056	14.637	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.038	10	.004		
แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
4. ชั่วโมงที่ 72					
ชนิดของถั่ว	.462	4	.116	20.107	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.057	10	.006		
5. ชั่วโมงที่ 98					
ชนิดของถั่ว	.403	4	.101	19.986	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.050	10	.005		
6. ชั่วโมงที่ 120					
ชนิดของถั่ว	1.120	4	.280	10.098	0.002*
ความคลาดเคลื่อน	.277	10	.028		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง ญ. 7 คุณสมบัติทางความหนืดของแป้ง (RVA) ในส่วนเนื้อเมล็ด

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Peak viscosity					
ชนิดของถั่ว	1508.141	4	377.035	21.090	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	178.777	10	17.878		
2. Trough					
ชนิดของถั่ว	1638.673	4	409.668	32.240	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	127.069	10	12.707		
3. Breakdown					
ชนิดของถั่ว	3.883	4	.971	1.457	0.286
ความคลาดเคลื่อน	6.664	10	.666		
4. Final Viscosity					
ชนิดของถั่ว	6530.545	4	1632.636	20.473	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	797.470	10	79.747		
5. Setback viscosity					
ชนิดของถั่ว	2872.995	4	718.249	19.060	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	376.831	10	37.683		
6. Peak Time					
ชนิดของถั่ว	.699	4	.175	1.917	0.184
ความคลาดเคลื่อน	.912	10	.091		
7. Pasting Temp.					
ชนิดของถั่ว	60.502	4	15.125	29.882	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	5.062	10	.506		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง ญ. 8 คุณสมบัติทางความหนืดของแป้ง (RVA) ในส่วนบดรวมทั้งเมล็ด

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. Peak viscosity					
ชนิดของถั่ว	1233.549	4	308.387	5.969	0.10
ความคลาดเคลื่อน	516.631	10	51.663		
2. Trough					
ชนิดของถั่ว	1226.945	4	306.736	8.348	0.038*
ความคลาดเคลื่อน	367.418	10	36.742		
3. Breakdown					
ชนิดของถั่ว	37.197	4	9.299	2.525	0.007*
ความคลาดเคลื่อน	36.826	10	3.683		
4. Final Viscosity					
ชนิดของถั่ว	1867.986	4	466.997	4.393	0.026*
ความคลาดเคลื่อน	1063.131	10	106.313		
5. Setback viscosity					
ชนิดของถั่ว	984.726	4	246.181	9.615	0.002*
ความคลาดเคลื่อน	256.033	10	25.603		
6. Peak Time					
ชนิดของถั่ว	10.028	4	2.507	16.095	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	1.558	10	.156		
7. Pasting Temp.					
ชนิดของถั่ว	177.519	4	44.380	42.489	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	10.445	10	1.045		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง ญ. 9 คุณสมบัติทางความร้อนของแป้งถั่วพุ่ม (DSC) ในส่วนเนื้อเมล็ด

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลง					
ชนิดของถั่ว	1297.168	4	324.292	85.147	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	19.043	5	3.809		
2. อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด					
ชนิดของถั่ว	929.390	4	232.348	16.059	0.005*
ความคลาดเคลื่อน	72.342	5	14.468		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง ญ. 9 คุณสมบัติทางความร้อนของแป้งถั่วพุ่ม (DSC) ในส่วนบดรวมทั้งเมล็ด (ต่อ)

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
3.พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป ΔH_1					
ชนิดของถั่ว	5986.928	4	1496.732	22.209	0.002*
ความคลาดเคลื่อน	336.965	5	67.393		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง ญ. 10 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเปลือกถั่วพุ่มแต่ละสี

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1.ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด					
ชนิดของถั่ว	15330.456	4	3832.614	2661.843	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	14.398	10	1.440		
2.ปริมาณ สารฟลาโวนอยด์					
ชนิดของถั่ว	414434.225	4	103608.556	10878.898	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	95.238	10	9.524		
3.ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด					
ชนิดของถั่ว	4845.865	4	1211.466	2256.440	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	2.684	5	.537		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตาราง ญ.11 องค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1.ปริมาณความชื้น					
ชนิดของคุกกี้	.116	2	.058	14.482	0.005*
ความคลาดเคลื่อน	.024	6	.004		
2.ปริมาณเถ้า					
ชนิดของคุกกี้	.000	2	.000	59.494	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.000	6	.000		
3.ปริมาณโปรตีน					
ชนิดของคุกกี้	.203	2	.101	1.996	0.217
ความคลาดเคลื่อน	.305	6	.051		
4.ปริมาณไขมัน					
ชนิดของคุกกี้	.851	2	.426	11.254	0.009*
ความคลาดเคลื่อน	.227	6	.038		
5.ปริมาณเส้นใยอาหาร					
ชนิดของคุกกี้	.173	2	.086	50.759	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.010	6	.002		
6.ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์					
ชนิดของคุกกี้	.085	2	.042	1027.455	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.000	6	.000		
7.ปริมาณแป้งที่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์					
ชนิดของคุกกี้	434.043	2	217.022	146.669	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	8.878	6	1.480		
8.ปริมาณแป้งทั้งหมด					
ชนิดของคุกกี้	422.414	2	211.207	141.982	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	8.925	6	1.488		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตาราง ญ. 12 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในคุกกี้

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1.ปริมาณสารฟีนอลิกส์ทั้งหมด					
ชนิดของคุกกี้	.001	2	.000	781.023	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.000	6	.000		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตาราง ญ. 12 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในคูกี้ (ต่อ)

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
2.ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด					
ชนิดของคูกี้	0.407	2	0.203	4183.260	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	0.000	3	0.000		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตาราง ญ. 13 ลักษณะทางกายภาพของคูกี้

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1.ความแข็ง (Hardness)					
ชนิดของคูกี้	20.246	2	10.123	297.394	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.204	6	.034		
2.น้ำหนักของคูกี้					
ชนิดของคูกี้	.400	4	.100	.353	0.836
ความคลาดเคลื่อน	2.833	10	.283		
3.ความหนาของคูกี้					
ชนิดของคูกี้	1.371	4	.343	1.454	0.287
ความคลาดเคลื่อน	2.357	10	.236		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตาราง ญ. 14 ค่าสีของคูกี้

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
1. ค่า L^*					
ชนิดของคูกี้	139.875	4	34.969	35.377	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	9.885	10	.988		
2. ค่า a^*					
ชนิดของคูกี้	12.220	4	3.055	9.441	0.200
ความคลาดเคลื่อน	3.236	10	.324		
3. ค่า b^*					
ชนิดของคูกี้	167.420	4	41.855	75.553	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	5.540	10	.554		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)